

LALOUI RESEARCH GROUP

Media Presence
2010 - 2020
Laboratory of
Soil Mechanics



Lausanne, July 2020

Dear Readers,

In this year 2020, we are delighted to celebrate the 85th anniversary of the Laboratory of Soil Mechanics (LMS) at EPFL. The Laboratory has been led by a series of distinguished professors and entrepreneurs (A. Stucky from 1935 to 1947; D. Bonnard from 1947 to 1972; E. Recordon from 1973 to 1993; L. Vulliet from 1994 to 2007). Since 2008 I have had the pleasure to work towards the development of a "Swiss" academic spirit: undertaking cutting-edge research with a strong focus on actual and practical problems, providing a quality education for our future engineers, and strengthening the economic and social fabric through technology transfer, including new start-up and spin-off companies.

Our scientific performance translates into several forms of financial support, from public institutions (Advanced ERC, European programs, Swiss National Science Foundation, Federal offices) to industry. The Laboratory of Soil Mechanics is today one of the most internationally renowned geomechanics research groups, both in terms of scientific production and intellectual impact.

LMS activities are constantly evolving, shaped by new challenges within the energy, sustainability, and environmental fields. We continue to develop world-leading expertise in various domains from geo-energy to nuclear waste storage, but also in bio-inspired technologies and natural geo-hazards.

I believe that we have the social responsibility to innovate, and that our research and activities can play a major role in reshuffling the current codes and enriching the debate on leading issues through the perspective of experts and scientists. Our group always responds positively to media engagements, and we also publish our own perspectives and new developments. To illustrate these contributions, our annual report this year is a compendium of our recent media appearances

I wish you an insightful reading,
Respectfully yours,

Chère lectrice, cher lecteur,

L'année 2020 marque le 85^{ème} anniversaire du Laboratoire de mécanique des sols (LMS) de l'EPFL. Successeur privilégié d'éminents professeurs-entrepreneurs ayant dirigé ce Laboratoire (A. Stucky de 1935 à 1947; D. Bonnard de 1947 à 1972; E. Recordon de 1973 à 1993; L. Vulliet de 1994 à 2007), j'œuvre depuis ma prise de direction en 2008 à développer un esprit académique « suisse » : une recherche de pointe au plus haut niveau international avec des préoccupations d'ingénierie concrètes, une formation d'étudiants polytechniciens performants, et un transfert technologique contribuant à renforcer le tissu économique avec de nouvelles start-ups et spin-offs.

Les performances scientifiques de mon groupe se traduisent par différentes formes de soutien financier, des institutionnels (Advanced ERC, nombreux programmes européens, Fonds National de la Recherche Scientifique, Offices fédéraux), aux industriels. Le LMS est aujourd'hui l'un des plus prestigieux groupes de recherche en géomécanique au niveau international à la fois en production scientifique qu'en impact intellectuel.

Nos axes de recherche et d'innovation évoluent constamment répondant aux nouveaux défis de l'énergie, de la durabilité et de l'environnement. Nos expertises vont de la géo-énergie, à l'enfouissement des déchets nucléaires, en passant, entre autres, par la bio-cimentation et les dangers naturels.

Je considère que nous avons aussi une responsabilité sociétale à enrichir les débats avec des points de vue d'experts et scientifiques. Avec mon équipe, nous avons toujours répondu favorablement aux sollicitations des journalistes pour les éclairer au mieux de nos connaissances sur leurs sujets de préoccupation, et publié nos propres points de vue à chaque fois que cela nous semblait utile. Pour illustrer ces contributions, notre rapport annuel cette année est un recueil de nos récentes présences dans les médias.

Je vous en souhaite une très bonne lecture,
Avec mes respectueuses salutations,

Prof. Dr Lyessse Laloui

TOPICS

Lines of Research

p. 2

Energy Geostructures

p. 20

CO₂ Storage

p. 80

Nuclear Waste Storage

p. 110

Bio-improved Soils

p. 128

Landslide Analysis

p. 136

Radio and TV interviews

p. 144

LINES OF RESEARCH

Our research group gives the priority to the protection against the geological hazards and the damage to the industrial environment and structures. Our experimental and modelling expertise allow for understanding, describing and foreseeing the environmental impact of the future technologies.



À l'EPFL, l'avenir de l'homme mûrit sous terre.

June 2018

24 heures



À l'EPFL, l'avenir de l'homme mûrit sous terre

Lyesse Laloui À la tête du Laboratoire de mécanique des sols, le professeur développe des connaissances permettant de réduire la pollution

Alain Détraz Texte
Patrick Martin Photo

Une énorme clé à molette. Voilà un outil qu'on ne s'attend pas à trouver dans le laboratoire de mécanique des sols que dirige le professeur Lyesse Laloui, à l'EPFL. Elle montre pourtant que la recherche, même très pointue, nécessite des machines dont l'aspect relève un peu du bricolage. Des cylindres métalliques, quelques gros écrous pour fixer le tout... Et pourtant leur valeur se chiffre en centaines de milliers de francs. C'est ici que le spécialiste du sous-sol, qui fêtera bientôt ses 55 ans, apporte sa pierre à l'avenir de l'humanité. Du moins dans sa capacité à limiter son impact sur l'environnement. Son projet de géostructures énergétiques vient d'être primé par la BCV. Un prix de 132 000 francs destiné à favoriser l'utilisation de cette technique, qui consiste à profiter des fondations d'un bâtiment pour le chauffer, ou le tempérer, en puisant l'énergie du sol. Le procédé a déjà pris son essor à l'étranger, mais peine encore à convaincre en Suisse.

Le prix de la BCV vient en réalité compléter un large éventail de distinctions, fièrement affichées aux murs de son bureau à l'EPFL. Le précédent, doté d'un soutien de 2,5 millions d'euros, lui a été décerné par le très prestigieux Conseil européen de la recherche. C'est que le professeur Laloui est une sommité mondiale dans son domaine. On le connaît à l'Université de Duke, aux États-Unis et, l'an dernier, c'est la Chine qui est venue solliciter ses connaissances. Il collabore désormais avec l'Université Hohai, mais également avec le géant du pétrole Sinopec.

«On pense souvent aux voitures autonomes, mais le futur sera souterrain», prédit Lyesse Laloui. C'est déjà ce qu'il pensait en préparant sa thèse sur l'enfouissement des déchets nucléaires. C'était bien avant que la Suisse ne se décide à démanteler ses centrales. Ce processus générera des milliers de mètres cubes de résidus à sécuriser dans les profondeurs. Pour le professeur, la dépollution de la terre passe en effet par le sous-sol. Il préconise ainsi la séquestration du gaz carbonique dans des couches géologiques profondes, accessibles par des puits. «Les températures et pres-

The 24 Heures published a long piece devoted to the activities of Prof. Lyesse Laloui, head of the Laboratory of Soil Mechanics at EPFL. In this extensive article, we can read the professional story of Professor Laloui, up to his most recent success, the award of the Advanced ERC Grant.

sions qui règnent à environ 1000 mètres de profondeur compriment le gaz en réduisant son volume de 500 fois», explique le scientifique. Un seul puits permettrait ainsi de séquestrer un bon million de tonnes de ce gaz à effet de serre, alors que la Suisse en produit 40 millions chaque année. «Isoler les bâtiments, c'est très bien, mais on est loin de l'échelle du problème», dit le professeur, qui regrette le manque de volonté politique. Et de citer la Norvège en exemple, qui organise le captage des gaz carboniques à la sortie des usines jusqu'à leur enfouissement.

À l'écouter, on ressent presque l'envie de commencer à creuser ces fameux puits. Non content de trouver des solutions aux problèmes, le scientifique est en effet un communicateur efficace. Reste que son combat contre la méfiance vis-à-vis de l'enfouissement des salétés humaines semble sans fin. «Les ingénieurs qui sortent de nos écoles ont la même formation, qu'ils calculent des bâtiments ou des structures d'enfouissement de déchets, mais personne ne doute de la solidité d'une toiture», soupire le scientifique.

Installé à l'EPFL depuis 1994, le professeur Laloui est né en Algérie, près de Constantine. Sa mère voulait qu'il soit médecin, c'est une école d'ingénieurs à Alger qu'il choisira, avant de poursuivre sa formation à Paris. «À l'époque, je voulais faire de la physique nucléaire, à cause de sa consonance moderne, sourit-il. Mais j'ai préféré une formation plus large.» Le jeune homme avait alors le choix de faire ce qu'il entendait, il était bon à l'école. «J'étais un peu celui qui se cachait pour travailler, confie-t-il. Je n'osais pas le dire aux copains, car le travail n'est pas valorisé, en Algérie.» La remarque en dit un peu sur les rapports ambigus qu'il entretient avec le pays qui l'a vu naître, mais dans lequel il ne s'est pas rendu depuis dix-huit ans. Il dit avoir davantage de liens avec les États-Unis, la Chine ou la Suisse, où il a vécu plus longtemps qu'en Algérie. La culture religieuse musulmane qui l'a vu grandir, il ne l'a d'ailleurs pas transmise à ses enfants. En famille, on fête Noël.

Le bonheur des équations

Infatigable bûcheur, le professeur l'est encore et toujours. Conscient de passer parfois pour un «asocial», il ne quitte plus son ordinateur, même lorsqu'il s'agit d'assister au match de

“C'est un bonheur pour moi d'être dans mes équations, mais je sais que c'est un peu égoïste”

hockey de son fils. «Là, je rédige un livre, et c'est un bonheur pour moi d'être dans mes équations, mais je sais que c'est un peu égoïste», assume-t-il, non sans louer la compréhension que lui accorde son épouse.

Cela ne l'empêche pas de se passionner pour ce sport de glace. Son compte Twitter, largement nourri de publications relatives à sa vie de scientifique, ose parfois se distraire de quelques commentaires sportifs. Ses mains recouvertes de quelques sparadraps trahissent aussi un week-end de travail dans son jardin et un piquant échange avec ses rosiers... Et, puisqu'on détourne son attention sur les loisirs, le professeur confie volontiers fréquenter quelques festivals de musique, comme Paléo ou le Cully Jazz. Un moment d'évasion qui lui permet de se souvenir encore de sa collection d'affiches de cinéma. «J'aurais pu devenir producteur de cinéma, rêve-t-il. Finalement, c'est mon frère qui l'est devenu.» C'est qu'il y a dans la famille le gagnant d'une Palme d'or à Cannes, dans les années septante.

Mais le naturel revient vite. Il sort de sa bibliothèque un caillou fait de sable aggloméré. Encore un procédé dont il partage la paternité, qui permet de transformer le terrain en ciment par l'adjonction de bactéries dans le sous-sol. C'est la biocimentation, une invention démarrée en 2006, qui va avoir son brevet et dont la start-up chargée de sa commercialisation existe déjà. Encore une technologie dédiée à l'environnement, puisqu'elle rend obsolète l'injection de béton dans les sols pour leur stabilisation. «Mais je ne suis pas un écologiste, jure le scientifique. Juste un citoyen responsable.»

Bio

1963 Naissance le 29 juillet à Skikda, en Algérie.
1989 Rencontre avec Claire Barassin, qui deviendra son épouse. **1994** Il quitte un laboratoire associé au CNRS, en France, pour rejoindre l'EPFL. **1996** Lancement des recherches sur les géostructures énergétiques. **1998** et **2000** Naissance de leurs enfants, Sinan et Inès. **2006** Lancement des recherches sur la biocimentation. **2008** Direction et développement du Laboratoire de mécanique des sols. **2018** Prix Advanced ERC Grant, du Conseil européen de la recherche.

— Techniques de demain cherchent à faire leur(s) trou(s)

— Mars 2018
swissinfo.ch

SWI **swissinfo.ch**

MÉCANIQUE DES SOLS

Techniques de demain cherchent à faire leur(s) trou(s)

Par [Marc-André Miserez](#)



Glissements de terrain et minage du sol par les eaux: la technique inventée à l'EPFL pourrait aider beaucoup à stabiliser les sols.

(Keystone)

Un prix international pour un livre avant-gardiste, une technique nouvelle pour fixer les sols mouvants avec des agents biologiques. A l'EPFL de Lausanne, les spécialistes de la mécanique des sols se taillent une réputation mondiale, mais peinent à être prophètes en leur pays.

«Ce que ce livre a d'exceptionnel? Il faudrait le demander au jury du [Prix Roberval](#)». Lyesse Laloui, directeur du Laboratoire de mécanique des sols ([LMS](#)) de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne a le triomphe modeste. Avec ses collègues Laurent

— In this article, published by swissinfo.ch, the three main activities of Laboratory of Soil Mechanics are discussed: energy geostructures, carbon sequestration and bio-improved soils.

Vuillet et Jian Zhao (qui enseigne désormais en Australie), il a pourtant reçu en janvier à Paris le prix international pour la promotion et la diffusion de la science et des technologies en langue française. Une récompense que des lauréats du Nobel ont décroché avant lui.

L'ouvrage est sobrement intitulé [Mécanique des sols et des roches](#). «Ce livre a comme particularité de mettre ensemble la mécanique des sols et celle des roches, que d'habitude on traite séparément. Mais surtout, il apporte un éclairage sur des sujets jusqu'ici plutôt réservés à des publications très spécialisées et pas nécessairement à des livres pour les étudiants, les ingénieurs ou les constructeurs. Soit des questions liées à l'énergie, aux dangers naturels, à l'environnement», résume le professeur Laloui.

C'est que depuis une dizaine d'années, on n'envisage plus les fondations d'un bâtiment ou un tunnel sous le seul angle de la solidité. On va aussi essayer de profiter du fait que l'on est en sous-sol pour tirer de l'énergie. On fait aussi plus attention aux aspects environnementaux.



La maison écolo doit avoir les pieds bien au chaud

Pour chauffer un bâtiment en brûlant le moins d'énergie possible, il suffit d'utiliser ses fondations pour puiser la chaleur dans le sol. L'idée ...

Par [Marc-André Miserez](#)

La chaleur des fondations

Concrètement, on peut capter directement la chaleur du sol par les fondations des bâtiments, en intégrant des tubes remplis de liquide aux piliers de béton qui soutiennent l'ensemble. Et les pompes à chaleur la transforment ensuite en énergie, assurant le chaud en hiver et le froid en été. Le LMS est un des pionniers de cette technique, dite des géo structures énergétiques. Et pourtant, malgré quelques belles réalisations, comme le nouveau terminal de l'aéroport de Zurich, elle peine à décoller (ou plutôt à s'implanter) en Suisse.

● — *Tec̄Aiques de demain cherchent à faire leur(s) trou(s)*

Réticences du politique, de l'économie, ou simplement force de l'habitude? «Un peu des trois, répond Lyesse Laloui. Il est clair que si l'impulsion politique vient d'en haut, cela aide beaucoup». Et de citer l'exemple de Londres, la ville qui a enfoncé dans son sol plus de 5000 pieux énergétiques en quelques années, certainement un record mondial. Et ceci parce qu'à une époque, le maire avait imposé une étude sur la réalisation de pieux énergétiques avant toute construction de bâtiment public. Et leur réalisation s'est avérée payante dans la plupart des cas, d'où leur prolifération.

Résultat: les Anglais ont développé un tel savoir-faire dans ce domaine que quand Google a construit son nouveau campus en Californie, équipé de 2500 pieux énergétiques, ils sont venus chercher à Londres l'entreprise anglaise qui savait le mieux faire ça.

Dans ce domaine donc, la Suisse, qui était là au départ, a pris un sérieux retard, et Lyesse Laloui ne peut que le regretter. Son laboratoire est impliqué dans la réalisation de 13 gares de métro à Paris avec géo structures énergétiques, dans le cadre des extensions de lignes prévues pour les JO 2024, mais rien de tel ne pointe à l'horizon pour la 3^e ligne de métro à Lausanne par exemple.

«Manque de volonté politique, note le professeur Il y a aussi le fait que les architectes sont assez traditionnalistes dans leur approche. Il faut leur expliquer, cette nouvelle technique, les convaincre de l'utiliser alors qu'ils ont l'habitude d'autre chose». Tâche d'autant moins aisée que les géo structures énergétiques sont plus chères à l'installation que des fondations traditionnelles. Néanmoins, à moyen terme (de l'ordre de quelques années), elles deviennent plus économiques et elles fourniront une énergie pratiquement gratuite pour le reste de la vie des bâtiments (minimum 50 ans).

Mais les choses vont bouger, Lyesse Laloui en est persuadé. Venue de Californie, l'impulsion a gagné l'ensemble des Etats-Unis et atteint maintenant l'Europe. L'UE a défini une [stratégie](#) pour des bâtiments à bilan énergétique proche de zéro dès 2020. La Suisse finira par s'y mettre aussi.

Quand le CO2 redevient de la roche

Il est un autre domaine d'expertise du LMS où l'innovation se heurte au poids des habitudes, c'est celui de la séquestration du CO2 dans les sols. «Du point de vue quantitatif, c'est de loin la première méthode d'élimination de ce gaz, explique Lyesse Laloui. Cela se fait au Japon, au Canada, aux Etats-Unis, mais ce sont les Norvégiens qui sont les plus avancés dans ce domaine. Ils font payer le captage du gaz à ceux qui le produisent et c'est l'Etat qui prend en charge le transport et la séquestration». Toujours la fameuse volonté politique.

Elle là aussi, elle fait cruellement défaut en Suisse. «Quand on a commencé il y a 4-5 ans, on voulait faire un site de démonstration, comme celui que les Allemands ont réalisé aux portes de Berlin, raconte le directeur du LMS. Il est important de montrer que ça marche pour avoir une bonne acceptation de la population. L'Office fédéral de l'énergie a financé nos analyses, mais celui de l'Environnement était très réticent».

Sans compter qu'en Suisse, le sous-sol appartient aux cantons, ce qui ne facilite pas l'adoption d'une réglementation nationale. Au final, le groupement de laboratoires suisses dont le LMS fait partie n'a obtenu que l'autorisation pour deux essais à tout petite échelle, dans deux laboratoires souterrains existants, au Grimsel et au Mont Terri, dans le Jura. Lyesse Laloui le regrette vivement, car la technique est au point, et la Suisse est en train de prendre du retard dans un domaine où elle pourrait être pionnière.

Et l'environnement? Aucun problème selon le professeur: aux températures et à la pression qui règnent à 1 kilomètre de profondeur, le gaz carbonique voit son volume diminué par 500 et finit par redevenir ce qu'il était avant d'être extrait du sol sous forme d'hydrocarbures: de la roche.

Du bio ciment pour le sol

Il est encore un autre domaine où la Suisse pourrait être pionnière. Et là, rien n'est joué, car la technique est encore expérimentale et le LMS est sans concurrents. C'est lui que l'a inventée – et brevetée.

Il s'agit des sols «bioaméliorés» pour les rendre plus résistants, tant au poids des bâtiments qu'aux glissements de terrain – sujet d'actualité s'il en est. Le principe: injecter une bactérie dans le sol pour le densifier en formant des liaisons cristallines fines et résistantes. Une manière de remplacer les injections de ciment à haute pression, plus économique et plus écologique, parce que l'on commence par isoler le type de bactérie présent sur le site avant de la rendre au sol en plus grande quantité. Un coup de pouce à la nature en quelque sorte.

Pour développer la technique, le LMS a créé [Medusoil](#), une start-up qui en novembre dernier a décroché la seconde place du [Climate-KIC Launchpad](#), la plus grande compétition au monde d'idée d'entreprises durables, à laquelle s'étaient inscrits cette année plus 15'00 participants. Et Lyesse Laloui est très optimiste pour l'avenir de cette technique, une fois surmontée la fameuse force de l'habitude...

La Chine débauche un spécialiste mondial en géothermie de l'EPFL

Juillet 2017

Le Temps

La Chine débauche un spécialiste mondial en géothermie de l'EPFL

ÉNERGIE Le chercheur Lyesse Laloui aidera le géant asiatique à diversifier son mix énergétique et à réduire sa dépendance au charbon. En même temps, il ouvre de nouvelles perspectives en matière d'échanges entre institutions chinoises et suisses

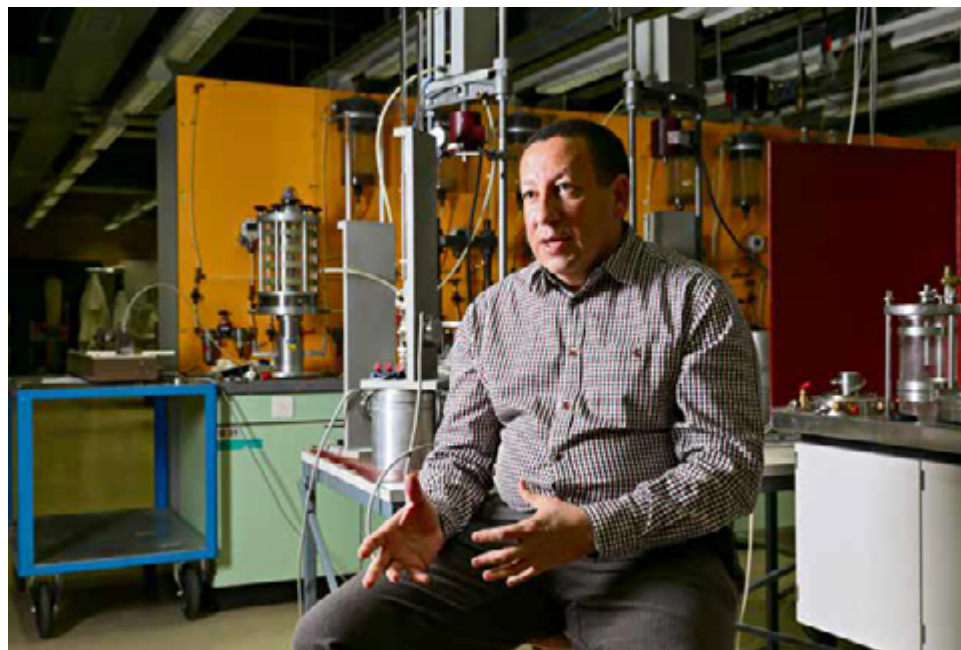
ROSA BROSTRA, HONGKONG

Quand il a consacré son doctorat au stockage des déchets nucléaires au début des années 1990, ce sujet «non conventionnel paraissait un peu exotique dans la communauté scientifique». Mais Lyesse Laloui dit avoir eu alors «un pressentiment». Les besoins actuels de nos sociétés en dépollution et en énergies vertes lui ont donné raison. Le chercheur de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) étend désormais son savoir en Chine, un pays qui vise 15% de renouvelables dans son mix énergétique en 2020 pour diminuer sa dépendance au charbon et une pollution endémique.

De l'extraction d'énergie pour chauffer ou refroidir au stockage de gaz carbonique ou à l'enfouissement de déchets en passant par le gaz de schiste, Lyesse Laloui pourra dès la rentrée suivre des doctorants de Hohai sur les nombreux champs d'application couverts par l'énergie tellurique et les technologies. Le chercheur de 54 ans, actuellement à la tête de la , s'enthousiasme pour cette nouvelle aventure du fait «du très grand potentiel de développement» chinois, confiait-il avant son départ pour la Chine.

Recueillir l'énergie de la terre

La deuxième puissance économique mondiale «devient une force de frappe extrêmement importante dans le domaine du savoir scientifique», décrit le chercheur de l'EPFL. Né en Algérie près de Constantine, Lyesse Laloui se forme d'abord à Alger, puis à l'Ecole centrale de Paris. Après un passage par un laboratoire associé au CNRS en France, il rejoint l'EPFL en 1994. Il fonde une publication dédiée



Le Professeur Lyesse Laloui, directeur de la section de génie civil de l'EPFL, supervisera également des recherches à Hohai, en Chine. (ALAIN HERZOG/EPFL)

à ses problématiques de prédilection, multiplie les conférences, les publications, rejoint une université américaine, et enchaîne les expertises auprès d'industriels et de décideurs politiques – en Chine notamment, auprès du géant du pétrole Sinopec.

L'université de Hohai s'intéresse aujourd'hui tout particulièrement à ses connaissances sur les géostructures thermiques qui constituent une source d'énergie propre et renouvelable. Cette technique déjà utilisée en

«La Chine construit énormément de tours. Elle offre donc les conditions idéales pour la géo-énergie, car plus la tour est haute, plus les fondations sont profondes»

LYESSE LALOUI

— Professor Lyesse Laloui will help the Asian giant to diversify its energy sources and reduce coal addiction. At the same time, this collaboration opens up new perspectives in terms of scientific exchanges between Chinese and Swiss institutions.

Europe, à l'aéroport de Zurich ou dans le métro du Grand Paris par exemple, est en expansion en Chine.

Le principe est simple: les fondations de ces édifices permettent de recueillir l'énergie de la terre et d'alimenter le bâtiment et les habitations environnantes dans un périmètre de 600 mètres. Cette technique peut rendre les bâtiments pratiquement autonomes pour le refroidissement et le chauffage et s'applique aussi aux ponts, parkings, gares et tunnels.

Or, les réserves chinoises de chaleur souterraine sont immenses (elles représentent un sixième du potentiel géothermique mondial), notamment dans les montagnes du Tibet et du Sichuan, mais elles satisfont pour l'instant moins de 0,5% de la consommation énergétique du géant asiatique. A présent, 65% de son courant provient des centrales à charbon, très polluantes.

Une technique combinée avec des panneaux solaires

La volonté politique est manifeste: Pékin compte doper en cinq ans sa capacité d'électricité géothermique à 530 mégawatts (l'équivalent de 72 millions de tonnes de charbon/an) contre seulement 30 MW actuellement, et tripler sa surface de bâtiments chauffés par géothermie.

Qui plus est, «la Chine construit énormément, et principalement des tours. Elle offre donc les conditions idéales pour la géo-énergie, car plus la tour est haute, plus les fondations sont profondes, plus vous arrivez à tirer d'énergie», fait valoir le scientifique. La technique peut être couplée à des panneaux solaires pour être encore plus efficiente. De quoi intéresser la Chine, qui est désormais le plus gros producteur d'énergie solaire en termes de capacité.

La Chine est aussi le plus gros pollueur mondial en raison notamment des combustibles fossiles et de la production de ciment. Elle regarde donc de près un autre domaine d'expertise de Lyesse Laloui: la capture de dioxyde de carbone (principal gaz à effet de serre). L'expert préconise de capter le CO₂ à la sortie de l'usine. «On liquéfie ce CO₂ ou on le laisse sous forme de gaz et on le transporte via des pipelines dans des lieux où l'on va le séques-

trer et l'envoyer sous terre dans des endroits de l'ordre du kilomètre», schématise le chercheur.

200 étudiants chinois à Lausanne

«J'espère que cette solution sera retenue», confie-t-il, car elle pourrait contribuer à faire que la Chine tienne les engagements pris à Paris en 2015: atteindre le pic de ses émissions de CO₂ autour de 2030 et baisser son intensité carbone de 60 à 65% par rapport à 2005.

C'est donc plein d'envies que Lyesse Laloui envisage son nouveau poste, qui permettra de créer «un partenariat de façon plus naturelle». Avec à la clé «l'espoir d'accéder aux financements publics et privés» pour soutenir ses projets de recherche et en faire bénéficier les étudiants suisses, pour qui «la Chine deviendra incontournable dans leur carrière». A la clé aussi, le renforcement des liens tissés par l'EPFL, qui compte actuellement environ 200 étudiants chinois sur son campus et envoie chaque année une dizaine de ses étudiants effectuer une partie de leur cursus en Chine. ■

— Les experts, des boucs émissaires?

— June 2013

Le Temps

LE TEMPS

Risques Samedi 1 juin 2013

Les experts, des boucs émissaires?

Par Pascaline Minet

En 2012, des sismologues ont été condamnés à la suite du séisme de L'Aquila, qui a fait plus de 300 morts en Italie en 2009. Lors d'un récent colloque, l'Académie suisse des sciences naturelles s'est interrogée sur la responsabilité des scientifiques dans les expertises livrées aux décideurs politiques. Enquête

Tremblements de terre, avalanches, épidémies... les scientifiques sont régulièrement amenés à évaluer différents types de menaces. Mais que se passe-t-il s'ils se trompent? Peuvent-ils, par exemple, être tenus pour responsables de dégâts qu'ils n'ont pas su anticiper? La communauté scientifique s'en inquiète depuis la condamnation, l'an passé, de sismologues, à la suite du tremblement de terre dévastateur de L'Aquila, en Italie. Se saisissant de la problématique, [l'Académie suisse des sciences naturelles, SCNAT](#), a organisé il y a quelques jours à Berne une conférence sur la responsabilité des experts dans la gestion des risques. L'occasion d'entendre l'avis de scientifiques concernés et d'interroger la manière dont ils communiquent leurs connaissances.

En octobre 2012, une cour italienne condamnait à des peines de prison six sismologues, reconnus coupables d'homicide dans le tremblement de terre qui avait fait plus de 300 morts en 2009 à L'Aquila, dans les Abruzzes. Ce que le tribunal leur reprochait? Pas d'avoir échoué à anticiper le séisme; en l'état actuel des connaissances, personne n'en est capable. Mais d'avoir livré aux autorités et au public des informations «incomplètes, imprécises et contradictoires».

Quelques jours avant la catastrophe, ces experts ont participé à une réunion d'information au cours de laquelle ils se sont montrés rassurants. Ils ont expliqué que les petites secousses ressenties par la population ne permettaient pas d'anticiper la survenue d'un séisme plus important. Ce qui est exact d'un point de vue scientifique. Mais ils n'ont pas contredit le responsable local de la sécurité civile lorsqu'il a affirmé que ces petites secousses permettaient de libérer de l'énergie, et rendaient donc moins probable un tremblement de terre... ce qui est pourtant faux! Rassurée, la population de L'Aquila n'a pas évacué la ville. Avec les conséquences que l'on sait.

«Dois-je craindre de me retrouver en prison? Me retirer dans ma tour d'ivoire et renoncer à mon travail?» s'interrogeait lors de la conférence [Max Wyss](#), directeur de [Wapmerr, l'Agence mondiale pour la surveillance planétaire et la réduction du risque sismique](#), une ONG basée à Genève qui œuvre pour

— An article about the issue of responsibility for risk management has been published within the newspaper *Le Temps*. It relays the opinion of Lyesse Laloui in regard to L'Aquila's earthquake.

la prévention du risque lié aux séismes. Revenant sur différents cas, ce sismologue a montré que le sort réservé aux experts mis en cause lors de tremblements de terre était très variable. Ainsi, lorsqu'en 2006 des expériences de fracturation du sol ont donné lieu à des petits séismes à Bâle et qu'il a fallu arrêter l'expérience, le chef de projet n'a pas été inquiété. «Pourtant, l'abandon du projet a coûté 100 millions de francs suisses, et les secousses ressenties étaient largement prévisibles», affirme Max Wyss.

Que dit le droit suisse quant à la responsabilité des experts? D'après [Christine Chappuis](#), doyenne de la Faculté de droit à Genève, un expert ne peut pas être reconnu personnellement responsable d'un point de vue civil – et donc payer d'éventuels dommages et intérêts – s'il fait partie d'une collectivité publique. Par contre, qu'il soit agent public ou pas, il peut être considéré comme responsable d'un point de vue pénal – et ainsi risquer d'aller en prison –, et cela dès lors qu'il se trouve dans une position de «garant».

C'est justement ce qui est arrivé au chef de la sécurité d'Evolène, l'alpiniste André Georges, reconnu coupable de négligence lors [des avalanches qui ont fait 12 morts dans le village en 1999](#), et condamné en 2005 à 2 mois de prison avec sursis. La justice a considéré qu'il n'avait pas pris les mesures nécessaires – évacuer une route et des chalets –, alors que les informations dont il disposait «ne lui permettaient pas d'exclure la possibilité d'une avalanche».

Christine Chappuis se montre critique envers ce jugement: «Je m'interroge sur le caractère justifié de cette condamnation. Le jugement suit l'avis d'un autre expert des avalanches. Mais lui a-t-on seulement posé les bonnes questions? Il existe chez certains juges une tendance à se référer de manière aveugle aux experts», estime la juriste. Qui compare le sort réservé à l'alpiniste à une «chasse aux sorcières».

Le philosophe de l'Université de Lausanne [Dominique Bourg](#), contacté à l'issue du colloque, est aussi de cet avis: «Il me semble incongru de condamner des scientifiques de bonne foi, alors qu'il existe des cas dans lesquels des experts ont dissimulé ou manipulé des informations de manière intentionnelle, comme autrefois en matière de recherche sur les effets cancérigènes du tabac.» Et d'ajouter: «Le risque de ce type de condamnation est aussi que les scientifiques renoncent à s'exprimer en tant qu'experts.»

Comment faire, donc, pour que des situations telles que celle des sismologues italiens ne se reproduisent pas? Pour [Lyesse Laloui](#), la situation est claire. Le titulaire de la chaire de mécanique des sols à l'EPF de Lausanne, qui ne participait pas à la conférence de l'Académie mais intervient en tant qu'expert pour établir les zones à risque de glissement de terrain, estime que son rôle est de donner des informations sur la possibilité de réalisation d'un événement, mais pas d'en gérer les éventuelles conséquences. «Il revient aux autorités de décider comment réagir face à un danger, en fonction des données scientifiques que nous leur fournissons mais aussi de critères économiques et politiques qui ne sont pas de notre ressort», considère-t-il. Une opinion partagée par [Ulrich Kihm](#), ancien directeur

● — *Les experts, des boucs émissaires?*

Comment faire, donc, pour que des situations telles que celle des sismologues italiens ne se reproduisent pas? Pour [Lyresse Laloui](#), la situation est claire. Le titulaire de la chaire de mécanique des sols à l'EPF de Lausanne, qui ne participait pas à la conférence de l'Académie mais intervient en tant qu'expert pour établir les zones à risque de glissement de terrain, estime que son rôle est de donner des informations sur la possibilité de réalisation d'un événement, mais pas d'en gérer les éventuelles conséquences. «Il revient aux autorités de décider comment réagir face à un danger, en fonction des données scientifiques que nous leur fournissons mais aussi de critères économiques et politiques qui ne sont pas de notre ressort», considère-t-il. Une opinion partagée par [Ulrich Kihm](#), ancien directeur de l'Office vétérinaire fédéral, qui était en poste lors de la crise de la vache folle et qui participait au colloque. Selon lui, évaluation et management du risque doivent être séparés afin de garantir l'indépendance des évaluateurs.

Enfin, l'épisode de L'Aquila interroge les scientifiques sur la manière dont ils communiquent leurs connaissances. Comment s'assurer qu'un message parfois complexe, et comportant souvent une part d'incertitude, soit bien compris? «Efforcez-vous d'être clairs et honnêtes. Ne vous comportez pas de manière paternaliste comme l'ont fait les experts de L'Aquila lorsqu'ils ont déclaré à la population que tout allait bien!» C'est ainsi qu'[Hanna Wick](#), journaliste scientifique à la radio alémanique SRF, a exhorté les scientifiques rassemblés pour la conférence à mieux s'exprimer.

A l'appui de sa présentation, elle a diffusé un discours du gouverneur de l'Etat américain du New Jersey, Chris Christie, tenu à la veille du passage de l'ouragan Sandy: «Ne soyez pas stupides, évacuez vos maisons. Je préfère avoir tort en vous disant cela, et que vous passiez deux jours chez des amis pour rien, plutôt que de ne rien vous dire, que la catastrophe se produise, et que vous soyez blessés ou morts.» Un message exemplaire par sa limpidité.

Les richesses du sol

March 2010

Flash

Labo story

Laboratoire de mécanique des sols (LMS)
25 collaborateurs
Site internet:
<http://lms.epfl.ch/>

Cécilia Carron-Gasco
Médias & communication
Alain Herzog - photographe

Dans les locaux du Laboratoire de mécanique des sols reposent des centaines d'échantillons de toutes sortes: roches, sables, matériaux issus du terrain ou fabriqués. De nombreuses machines permettent de leur faire subir les contraintes physiques subies dans un milieu naturel sur des dizaines d'années, en quelques jours. Pesés, découpés, séchés ou humidifiés ils livrent leurs secrets. Fort d'une équipe d'une vingtaine de personnes, ce groupe de recherche piloté par le professeur Lyesse Laloui, exploite de nombreux axes liés au sous-sol: géothermie, solidification des sols, prévision des risques de glissement de terrain, conservation des déchets nucléaires, notamment.



Lyesse Laloui dirige le Laboratoire de mécanique des sols



Les richesses du sol

→ ENVIRONNEMENT: Stabiliser les géostructures, conserver des déchets radioactifs, évaluer le comportement d'un terrain, chauffer les bâtiments par leurs fondations, le Laboratoire de mécanique des sols propose des domaines de recherche variés.



→ DES BACTÉRIES POUR RENFORCER LES FONDATIONS

Stabiliser un sol grâce à de simples bactéries: une technique révolutionnaire à la frontière entre mécanique des sols et microbiologie à laquelle les scientifiques commencent seulement à s'intéresser. «La variété de bactérie que nous utilisons, la *Sporosarcina pasteurii* existe naturellement dans les sols. Nous ne faisons qu'en augmenter la concentration», explique **Suzanne Fauriel**, doctorante. Les bactéries sont mises en présence d'une solution de nutriment puis d'un traitement chimique composé d'urée et de calcium. A leur contact, les échantillons de sols sablonneux ou limoneux, durcissent en quelques



The soil allows many things. *Flash*, the EPFL magazine, published an article about the Laboratory of Soil Mechanics.



tron», explique **Suzanne Fauriel**, doctorante. Les bactéries sont mises en présence d'une solution de nutriment puis d'un traitement chimique composé d'urée et de calcium. A leur contact, les échantillons de sols sablonneux ou limoneux, durcissent en quelques jours et deviennent semblables à de la roche. Le but est de créer un nouveau matériau bio-renforcé. «Il existe un réel potentiel de déve-



loppement d'applications innovantes tel que la restauration de fondations faibles, la lutte contre

les conséquences de séismes et la protection contre l'érosion», souligne la scientifique.

19

Campus

FLASH
09.03.10



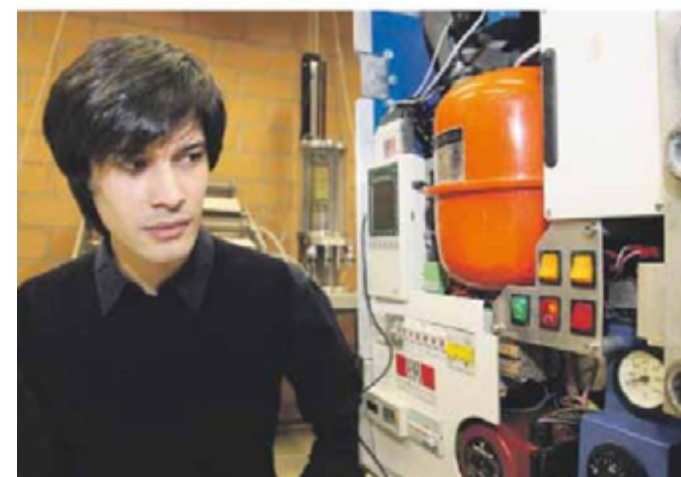
→ UN RÉSEAU DE NEURONES POUR PRÉDIRE LE COMPORTEMENT DU TERRAIN

La prédiction du comportement des glissements de terrain est un des défis majeurs des ingénieurs et géologues. **John Eichenberger** participe à un projet européen qui vise à synthétiser les outils les plus récents pour traiter la stabilité de grands glissements de terrain (plus d'un million de mètres cubes). Il perfectionne un modèle informatique complexe mis au point au LMS pour tenir compte des phénomènes physiques et prévoir le comportement du terrain. L'objectif de sa thèse est d'offrir d'ici 2012 un logiciel prêt à l'emploi avec un modèle déterministe, qui ne fait intervenir aucune variable aléatoire, ainsi qu'un réseau de



neurones, optimisé par des méthodes d'apprentissage basées sur les statistiques. «Arriver à ce dernier avec un modèle détermi-

niste est le véritable challenge de ma thèse», souligne cet ingénieur en génie civil qui se perfectionne en modélisation numérique.



← LA CHALEUR DU SOL

En Suisse près de la moitié de l'énergie est utilisée pour les bâtiments, notamment pour le chauffage et la climatisation. Les géostructures énergétiques, développées par le LMS, se profilent comme une alternative. Elles absorbent et transportent l'énergie thermique du sol vers les bâtiments par le biais d'un fluide circulant dans des tuyaux incorporés aux fondations. Le fluide qui y circule est naturellement chauffé par la température constante d'environ

15 degrés qui règne à plus de cinq mètres de profondeur. «Le nouveau terminal de l'aéroport de Zurich en est équipé», explique **Mathieu Nuth**, qui travaille à l'optimisation de ces installations. Le système nécessite une pompe à chaleur permettant de passer de 15 degrés à une température acceptable dans un appartement en hiver, mais par rapport au chauffage traditionnel les émissions de CO₂ sont réduites de 45 à 100 %. «La rentabilité est assurée sur 12 à 15 ans», assure le chercheur. ☐

● — *Les richesses du sol*

→ LA BENTONITE POUR CONSERVER LES DÉCHETS NUCLÉAIRES

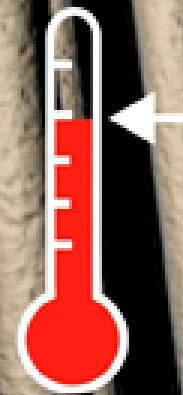
Pour l'instant, la meilleure manière de conserver des déchets avec un fort taux de radioactivité est de les placer dans les couches géologiques profondes. La sûreté à long terme de ces dépôts est basée sur l'existence de superposition de barrières ouvragées naturelles et artificielles constituées de rocher, d'un container métallique rempli des déchets préalablement traités pour obtenir un composé vitrifié et d'autres matériaux de scellement qui les entourent. Le principal but de la recherche de **Marta Rizzi**, financée par la NAGRA (la coopérative suisse pour la conservation des déchets radioactifs), est de tester les propriétés de la bentonite en la soumettant à des perturbations thermo-hydro-mécaniques complexes qui

imitent le vieillissement sur plusieurs siècles. «Plus je me suis immergée dans le sujet, mieux j'en ai perçu l'importance», explique la scientifique. Elle rencontre d'autres chercheurs du domaine plusieurs fois par an pour mettre en commun l'avancée de leurs travaux. Sa thèse débouchera en 2012 sur les éléments scientifiques pour une décision quant à l'utilisation ou non de ce matériau dans le concept de stockage suisse. «Plutôt que de fermer les yeux face au nucléaire, mieux vaut être impliquée», souligne-t-elle.



ENERGY GEOSTRUCTURES

Energy geostructures are an innovative, multifunctional technology that can serve as structural support as well as heating and cooling elements for buildings and infrastructures. The basis of our work consists of observing, measuring, understanding and predicting how energy geostructures behave from a multiphysical perspective. Our goal is to ensure an optimal energy, geotechnical and structural performance of the technology.



Analysis and Design of Energy Geostructures

November 2019

Geothermie Schweiz

Analysis and Design of Energy Geostructures

19.11.2019

Energy geostructures provide a constant source of renewable heating and cooling in buildings and infrastructures and perform very well. Professor Lyesse Laloui, the director of EPFL's Laboratory of Soil Mechanics (LMS), has co-authored a new book that takes stock of the latest developments in a field where Lausanne leads the way globally.

Researchers at EPFL have spent the past 25 years studying energy geostructures – a method that uses the earth's natural warmth to heat and cool buildings and infrastructures. Yet for all its benefits, the technology has yet to catch on: only around 1,000 buildings worldwide are fitted with energy geostructures, and 40 of them are in Switzerland. In an [interview on the EPFL website](#), Professor Laloui explains why, in his opinion, the time has come for this technology.



Professor Lyesse Laloui heads at l'EPFL the Soil Mechanics Laboratory at EPFL. ©Alain Herzog/EPFL

What are energy geostructures?

Energy geostructures are heat exchangers installed in new building and infrastructures. They use the constant temperature of the earth's core to heat and cool a single structure or a group of neighboring structures. The idea is simple: heat is drawn from the ground to warm a

- Prof. Lyesse Laloui talks about the book *Analysis and Design of Energy Geostructures*, co-authored with Prof. Alessandro Rotta Loria. The book gathers in a unified framework the theoretical and experimental competence available on energy geostructures.

building, and injected back into the ground to cool it. Energy geostructures are also incredibly easy to fit; all it takes is a few plastic pipes laid in the building's foundations, with no extra drilling needed, plus a heat pump with a lifespan of 15–20 years. Once installed, the system provides a constant, reliable, renewable source of heating and cooling – meeting between 60% and 80% of a building's energy needs. And unlike solar panels, they work around the clock and don't rely on the vagaries of the weather.

In the introduction to your book, you argue that the technology's time has come.

The idea itself dates back to Roman times. Yet there were still huge gaps in scientific understanding when our lab began working on energy geostructures in the 1990s. What's more, their potential remained unclear because the practice at the time favored cheaper energy sources. Back then, we saw the matter first and foremost as a scientific challenge. But as generations of young researchers have passed through our lab, we've gained a clearer scientific picture of how to capture this free source of underground heat, how to connect it to a building, and how to use it as efficiently as possible.

Meanwhile, the world has changed.

In 2020, laws will take effect in Europe and the United States requiring all new buildings to generate their own energy on site. Google, for example, has just fitted the technology to its new research center in California. This new landscape holds great promise for everyone working in our field – especially at EPFL, where our understanding of energy geostructures has advanced by leaps and bounds in the past 25 years. For instance, we've just patented geothermal panels – a system that works much like solar panels and can be fitted to existing buildings.

Who is your book aimed at?

The book, which I teamed up with Alessandro Rotta Loria to write, draws on previous scientific articles, as well as on PhD and postdoctoral research at my lab. Much of that work was funded by the Swiss Federal Office of Energy, the Swiss National Science Foundation and various European projects. It also builds on the content of two courses: a Master's-level class in civil engineering that EPFL launched three years ago, and a joint University of Lausanne and EPFL continuing education class I give on the same subject. EPFL is currently the only university in the world with a specialization in energy geostructures. The book covers the theory behind the technology and shows how to deploy it. We wrote the book because we wanted to promote energy geostructures by sharing our expertise with other universities, as well as with practitioners and authorities. Our hope is that, eventually, energy geostructures will become as widespread as solar panels are today. The publication also underscores EPFL's unique expertise – and its ambition to become a global leader in the field.

Un tunnel de métro converti en source d'énergie géothermique

— April 2020

EPFL Annual Report



Des chercheurs sont parvenus à quantifier avec précision les échanges de chaleur dans un tunnel. En appliquant leurs calculs à la future ligne de métro M3 de Lausanne, ils ont estimé l'économie d'énergie que ferait la ville en équipant le tunnel d'un système géothermique. Il s'agirait d'une première mondiale.

Dans un tunnel abritant un train ou un métro, les échanges de chaleur sont nombreux. Lorsque le métro freine et accélère, par exemple, le tunnel connaît un pic de chaleur. Cet air chaud se mélange à l'air naturellement présent dans le tunnel et à la chaleur émanant du sol.

Le calcul de la chaleur provenant de l'air était jusqu'ici effectué de manière imprécise par les ingénieurs. Les chercheurs du Laboratoire de mécanique des sols (LMS) de l'EPFL ont corrigé ceci dans une parue dans la revue *Applied Thermal Engineering*.

- In the 2019 EPFL annual report, an entire article is devoted to a study carried out by researchers at LMS, aiming to convert a metro tunnel into a geothermal energy source.

Les ingénieurs sont en effet parvenus à donner une estimation précise de ce coefficient-clé, appelé le coefficient de convection thermique.

Cette découverte ouvre la voie à l'exploitation d'un tunnel géothermique au bénéfice des bâtiments situés en surface. Les chercheurs ont d'ailleurs testé leurs calculs sur le cas du tunnel du futur métro lausannois, le M3, amené à relier la gare centrale au nord de la ville (quartier de la Blécherette).

Alimentation de 1500 appartements

«Nos recherches montrent qu'en utilisant 50 à 60% du tracé planifié, 60'000 M du tunnel pourraient être activés avec ce système géothermique et alimenter en chaleur 1500 appartements standards d'une taille moyenne de 80m et 4000 appartements Minergie», explique Margaux Peltier, assistante scientifique au LMS dont le projet de Master est à l'origine de la publication.

Ce système a l'avantage de pouvoir stocker de la chaleur et la diffuser en temps voulu dans les logements. «La ville éviterait l'émission de 2 millions de tonnes de CO par an, comparé à un système de chauffage au gaz», ajoute la chercheuse dont le calcul n'a pas

« Une fois équipé, le tunnel aurait l'avantage de chauffer les appartements alentours en hiver, en assurant jusqu'à 80% des besoins énergétiques. »



● — *Un tunnel de métro converti en source d'énergie géothermique*

tenu compte des gares du métro ni du dépôt des rames, prévu au nord de la ville, qui pourraient aussi bénéficier de cette énergie.

Dans les infrastructures souterraines, la température de l'air tend à retrouver sa stabilité et à rejeter en surface la chaleur et la fraîcheur excédentaires. Ce rejet se traduit par des mouvements d'air chaud que l'on ressent parfois en passant près d'une bouche de métro. C'est ce phénomène physique que comptent exploiter les ingénieurs, en complément de la chaleur naturellement présente dans le terrain.

Concrètement, les chercheurs proposent d'introduire des tubes de plastique dans la structure en béton du tunnel du métro à intervalles réguliers et de les relier à une pompe à chaleur. Un fluide calorifique ou, tout simplement, de l'eau, serait ensuite introduit dans les tubes, à l'image d'un frigo. En introduisant de l'eau froide dans les tubes du tunnel durant l'hiver, c'est de l'eau chaude que le système rejettera en surface, et inversement durant l'été. L'équipement géothermique du tunnel présenterait un investissement et une énergie grise négligeables, précisent les chercheurs, pour une durée de vie allant de 50 à 100 ans. Seules les pompes à chaleur devraient être remplacées toutes les 25 ans.

Chauffage et climatisation

Une fois équipé, le tunnel aurait l'avantage de chauffer les appartements alentours en hiver, en assurant jusqu'à 80% des besoins énergétiques. Les besoins restants seraient complétés, idéalement, par une autre énergie renouvelable.

En été, et c'est là la singularité de ces géostrutures, les appartements pourraient aussi être refroidis par le système géothermique: «Le tunnel offrirait un système de chauffage et de climatisation très fiable toute l'année», indique Margaux Peltier, qui souligne que le cas lausannois offre un grand potentiel de climatisation. Le système pourrait notamment servir à refroidir la patinoire prévue dans le futur éco-quartier «Métamorphose».

«Cette publication montre que la technologie des tunnels énergétiques est mature et que nous pourrions l'exploiter au niveau d'un quartier», précise Lyesse Laloui, directeur du LMS. «Reste à savoir si l'industrie suisse est prête à jouer le rôle de pionnière en la matière car seuls des tronçons-tests ont été exploités à ce jour dans le monde.» A noter que les chercheurs ont présenté les résultats de leur étude aux Services industriels de Lausanne, aux Transports Lausannois (TL), au Canton de Vaud, le maître d'oeuvre du futur métro, et à la Ville de Lausanne.

Energy tunnels: novelty in energy and building techniques

February 2020
Haustech magazine

Tunnelwärme

Heizwärme aus dem Tunnel

Das Wärmepotenzial unterirdischer Infrastrukturbauten wird bislang kaum ausgeschöpft. Forschenden ist es nun gelungen, den Wärmetausch in einem Tunnel genau zu beziffern. Damit könnte die Tunnelwärme künftig zur Beheizung von Gebäuden genutzt werden.

Text **Antonio Suárez**
Bilder **LMS/EPFL, zVg**

In Tunneln gibt es zwei Wärmequellen: den Untergrund und die Luft. In Nahverkehrs- oder U-Bahntunneln entsteht durch den Transit der Passagiere, die Brems- und Beschleunigungsmanöver sowie die Motoren der Züge zusätzliche Wärme, die an die Luft abgegeben wird. Diese Luftwärme vermischt sich mit der vom Boden abstrahlenden Wärme. Erhitzt sich die Luft im Untergrund, so neigt sie dazu, die überschüssige Wärme an die Oberfläche abzugeben. Normalerweise wird diese Wärme über Ventilations- und Lüftungsschächte, aber auch über oberirdische Zugänge an die Umgebung abgeführt und bleibt damit thermisch ungenutzt.

Forschende des Labors für Bodenmechanik (LMS) der ETH Lausanne wollen dieses physikalische Phänomen nun zur Erzeugung zusätzlicher thermischer Energie nutzbar machen. Dafür wurden anhand digitaler Modelle Berechnungen zur Ermittlung des sogenannten thermischen Konvektionskoeffizienten durchgeführt. Die Resultate wurden letzten Sommer in der Zeitschrift «Applied Thermal Engineering» veröffentlicht. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse erlauben genauere Angaben zum Wärmepotenzial von Tunneln und damit zum Betrieb von oberflächennahen Geothermieranlagen zur Heizwärmeerzeugung.

Präzisere Angaben zur Abwärme

Die wissenschaftlichen Befunde beruhen auf der Masterarbeit der Ingenieurin Margaux Peltier: «Die Resultate meiner Forschung haben es ermöglicht, den Konvektionskoeffizienten besser zu ermitteln», sagt sie. «Damit kann man die Abwärme, die man aus einem Tunnel rückgewinnen kann, mit höherer Präzision bestimmen.» Für ihre Kalkulationen hat die Wissen-

schaftlerin erstmals auch die komplexen Luftströmungen und -wirbel, die in Tunnelssystemen erzeugt werden, in die Betrachtungen einbezogen. Ausserdem konnte sie nachweisen, dass das thermische Potenzial der Tunnel Luft steigt, je unebener und rauer die Oberfläche der Tunnelinnenwände ist. Bis anhin waren solche Berechnungen für Tunnel ungenau. Für ihre Studie berechnete Peltier die Werte des Tunnels der Lausanner Metrostrecke M3, die nach geplanter Fertigstellung 2027 den Hauptbahnhof mit dem Flugplatz Blécherette im Nordwesten der Stadt verbinden wird.

«Unsere Forschung zeigt, dass bei Nutzung von 50 bis 60 Prozent der geplanten Trasse 60 000 Quadratmeter des Tunnels mit dieser Geothermieranlage betrieben und 1500 Standardwohnungen mit einer durchschnittlichen Grösse von 80 Quadratmetern und 4000 Minergie-Wohnungen mit Wärme versorgt werden könnten», erklärt Peltier. Der Vorteil dieses Systems ist, dass es Wärme speichern und zeitnah an die Haushalte verteilen kann. «Im Vergleich zur Beheizung mit Gas würde die Stadt den Ausstoss von 2 Millionen Tonnen CO₂ jährlich vermeiden», fügt die Forscherin hinzu.

Wärmetauscherrohre in Tunnelwänden

Bei Konkretisierung der Pläne würden in regelmässigen Abständen Wärmetauscherrohre in die Betonkonstruktion des U-Bahntunnels eingebracht und diese an eine Wärmepumpe angeschlossen. Durch das Einleiten von Kaltwasser in die Röhren gibt das System Heisswasser an die Oberfläche ab. Die Ausstattung des Tunnels mit diesen geothermischen Installationen würde es erlauben, die umliegenden Wohnhäuser im Winter zu beheizen. Bis zu 80 Prozent des Energiebedarfs könnten so gedeckt werden. Die Investitionen wären



Schematische Darstellung des U-Bahntunnels mit Wärmetauscherrohren in der Tunnelinnenwand zur Rückgewinnung von Erdwärme und Konvektionswärme aus der Luft.



Ingenieurin Margaux Marie Valérie Peltier hat im Rahmen ihrer Masterarbeit die entscheidenden Modellberechnungen zur Ermittlung des thermischen Konvektionskoeffizienten durchgeführt.

vernachlässigbar. Mit einer Lebensdauer von 50 bis 100 Jahren rechnet sich auch die graue Energie, denn Wärmepumpen müssten nur alle 25 Jahre ausgetauscht werden.

Mit umgekehrten Vorzeichen könnte im Sommer beim Einsatz von reversiblen Wärmepumpen auch Kälte für das Free-cooling genutzt und gleichzeitig die Gebäudewärme im Untergrund gespeichert werden. «Der Tunnel würde so das ganze Jahr über eine sehr zuverlässige Heizungs- und Klimaanlage verfügen», sagt Peltier. Insbesondere könnte das System zur Heizung, aber auch zur Kühlung des zukünftigen Ökoquartiers «Métamorphose» genutzt werden. Dafür könnte man kleinräumige Tieftemperaturnetze bauen. Ein Anschluss an das bestehende Fernwärmenetz wäre allerdings nicht möglich, da es sich in Lausanne um ein Hochtemperaturnetz handelt, das sich aus der Abwärme der Müllverbrennung speist.

Machbarkeitsstudie

«Diese Publikation zeigt, dass die Energietunnel-Technologie ausgereift ist und wir sie auf Quartierniveau nutzen können», sagt LMS-Direktor Lyette Laloui zur Studie. «Es bleibt abzuwarten, ob die Schweizer Industrie bereit ist, auf diesem Gebiet eine Vorreiterrolle zu übernehmen.» Bislang wurde weltweit noch nirgends eine vollständige U-Bahntunnelstrecke mit solchen energetischen Geostrukturen ausgestattet. Pilottests wurden auf gewissen Streckenabschnitten bisher erst in London, Stuttgart und Wien realisiert. «Die technische Machbarkeit ist bereits seit Jahren erwiesen», präzisiert Peltier. «Bislang hat man jedoch den Energieertrag solcher Infrastrukturbauten unterschätzt.»

Die Forschenden des LMS haben die Ergebnisse ihrer Studie den Lausanner

Stadtwerken (SiL) und Verkehrsbetrieben (TL), dem Kanton Waadt – dem Hauptauftragnehmer der künftigen U-Bahn – sowie der Stadtgemeinde Lausanne vorgelegt. Eine Machbarkeitsstudie wurde inzwischen in Auftrag gegeben. Peltier ist zuversichtlich, was die Realisierungschancen betrifft. «Politisch wäre es eine einzigartige Gelegenheit für die Stadt Lausanne, für den Kanton Waadt und die Schweiz im Allgemeinen», sagt sie. «Die Technologie der energetischen Geostrukturen fügt der Geothermie eine neue Dimension hinzu, die öfter genutzt werden sollte.» Zwar bewege man sich hier in der oberflächennahen Geothermie, die im Vergleich zur Tiefengeothermie geringere Leistungskapazitäten aufweise, schränkt die Forscherin ein. «Doch wenn man neue unterirdische Bauten und Infrastrukturen bereits bei Errichtung mit dieser Technologie ausrustet, könnte der Energiebedarf nach und nach gesenkt und der Anteil der erneuerbaren Energien in der Schweiz erhöht werden.»

Die Forschungen am LMS gehen unterdessen weiter. Margaux Peltier arbeitet zurzeit an einer Weiterentwicklung der Technologie. So könnten energetische Geostrukturen auch bei existierenden Tiefbauten zum Einsatz kommen, etwa wenn bestehende Tunnel saniert werden. Aktuell befasst sich Peltier mit den Möglichkeiten, die beispielsweise die Erneuerung von Tunneltrassen bieten. So kann sie sich vorstellen, Wärmeabsorbersysteme auch unter Eisenbahnschienen zu installieren. Voraussetzung dafür wäre einzig, dass in der Nähe ein Abnehmer für die Abwärme vorhanden wäre, weil ansonsten beim Transport zu hohe Wärmeverluste auftreten würden. ■

— Innovations en sous-sol prêtes à faire surface

— December 2019

Le Nouvelliste

Le Nouvelliste

Travailler ensemble pour bousculer les codes.

Innovations en sous-sol prêtes à faire surface

«Les fondations, à savoir les pieux, murs de soutènement, dalles, mais aussi les parkings, tunnels, etc., en bref, toute structure en béton en contact direct avec le sol, peuvent être utilisées comme échangeurs de chaleur pour approvisionner les bâtiments en surface.»

Le choix du Laboratoire de mécanique des sols (LMS) de l'EPFL est d'innover sous la surface, développant des solutions à l'interface entre la géotechnique, la structure, l'énergie et l'architecture. Parmi elles, se trouvent les géostructures énergétiques. Cette technologie permet de rendre les bâtiments producteurs de leur propre énergie. Cela est obtenu en combinant le rôle structurel et porteur des fondations d'un bâtiment avec le rôle énergétique d'échangeurs de chaleur géothermiques. Les fondations, à savoir les pieux, murs de soutènement, dalles, mais aussi les parkings, tunnels, etc., en bref, toute structure en béton en contact direct avec le sol, peuvent être utilisées comme échangeurs de chaleur pour approvisionner les bâtiments en surface. Ce concept utilise le principe de la géothermie dite de surface, selon le même principe utilisé dans les conventionnelles sondes géothermiques. Au-delà des cinq premiers mètres surface, le sol jouit d'une température constante, autour des 12-13°C en Suisse.

Chauffage et climatisation.

En hiver, la chaleur du terrain est extraite pour satisfaire les besoins de chauffage du bâtiment. En été, la chaleur du bâtiment peut quant à elle être injectée dans le terrain, maintenant un certain confort estival (géocooling), mais surtout, recharge le terrain et en assure la pérennité. Il suffit d'équiper les fondations d'échangeurs thermiques lors de leur construction, avant d'y couler le béton. Ces échangeurs, à savoir des tubes où circule un fluide à base d'eau, valorisent ainsi ces fondations qui seront de toute façon construites et leur ajoutent une dimension énergétique. Avec les géostructures énergétiques, on ne construit pas une infrastructure énergétique «per se», de ce fait les coûts sont limités. La technologie peut couvrir jusqu'à 80% des besoins énergétiques d'un bâtiment, tout en proposant une solution intégrée à ses fondations.

Une innovation qui peine à voir la surface

Le schéma actuel du déroulement d'un projet limite parfois son caractère innovant. Chaque corps de métiers a son rôle bien précis et intervient selon une séquence précise et souvent rigide. Cette inertie, particulière au domaine de la construction, freine considérablement l'innovation dans ce secteur. Les géostructures énergétiques, comme bien d'autres innovations d'ailleurs, nécessitent anticipation, interdisciplinarité et échanges entre les différents corps de métiers. Dans ce domaine, l'innovation technologique ne suffit pas, il faut aussi bousculer les codes et notre façon de construire. Apprendre et travailler ensemble pour une meilleure intégration des corps de métiers, voilà une des missions de l'EPFL. Cela passe par la formation des jeunes générations comme des professionnels, mais aussi le développement de spin-off, réelles interlocutrices entre le monde de l'innovation et le monde de la construction. Nous n'en perdons pas pour autant le goût pour l'innovation. Notre laboratoire continue à innover, s'inspirant de la nature pour stabiliser et renforcer les sols ou encore de l'intelligence artificielle pour améliorer les systèmes géothermiques.

- In an article in *Le Nouvelliste*, Prof. Lyesse Laloui takes the opportunity to talk about the innovations developed at LMS, and more precisely about energy geostructures. He highlights the importance of working together to reshuffle the status quo of current codes in order to make our buildings more innovative, smarter and more sustainable.

Un tunnel de métro converti en source d'énergie géothermique

November 2019

Effience21

RECHERCHE Géothermie

Un tunnel de métro converti en source d'énergie géothermique

Des chercheurs de l'EPFL sont parvenus à quantifier avec précision les échanges de chaleur dans un tunnel. En appliquant leurs calculs à la future ligne de métro lausannoise M3, ils ont estimé l'économie d'énergie que ferait la Ville en équipant le tunnel d'un système géothermique. Il s'agirait d'une première mondiale.

SANDRINE PERROUD*

Dans un tunnel abritant un train ou un métro, les échanges de chaleur sont nombreux. Lorsque le métro freine et accélère, par exemple, le tunnel connaît un pic de chaleur. Cet air chaud se mélange à l'air naturellement présent dans le tunnel et à la chaleur émanant du sol. Le calcul de la chaleur provenant de l'air était jusqu'ici effectué de manière imprécise par les ingénieurs. Les chercheurs du Laboratoire de mécanique des sols (LMS) de l'EPFL viennent de corriger ceci dans une étude parue dans la revue *Applied Thermal Engineering*. Les ingénieurs sont en effet parvenus à donner une estimation précise de ce coefficient clé appelé coefficient de convection thermique. Cette découverte ouvre la voie à l'exploitation d'un tunnel géothermique au bénéfice des bâtiments situés en surface. Les chercheurs ont d'ailleurs testé leurs calculs sur le cas du tunnel du futur métro lausannois, le M3, amené à relier la gare centrale au nord de la ville (quartier de la Blécherette).

ALIMENTATION DE 1500 APPARTEMENTS

«Nos recherches montrent qu'en utilisant 50 à 60% du tracé planifié, 60 000 m² du tunnel pourraient être activés avec ce sys-

tème géothermique et alimenter en chaleur 1500 appartements standards d'une taille moyenne de 80 m² et 4000 appartements Minergie», explique Margaux Peltier, assistante scientifique au LMS, dont le projet de master est à l'origine de la publication. Ce système a l'avantage de pouvoir stocker de la chaleur et la diffuser en temps voulu dans les logements. «La ville permettrait ainsi d'éviter l'émission de 2 millions de tonnes de CO₂ par an, comparé à un système de chauffage au gaz», ajoute la chercheuse, dont le calcul n'a pas tenu compte des gares du métro ni du dépôt des rames, prévu au nord de la ville, qui pourraient aussi bénéficier de cette énergie.

Dans les infrastructures souterraines, la température de l'air tend à retrouver sa stabilité et à rejeter en surface la chaleur et la fraîcheur excédentaires. Ce rejet se traduit par des mouvements d'air chaud, que l'on ressent parfois en passant près d'une bouche de métro. C'est ce phénomène physique que comptent exploiter les ingénieurs, en complément de la chaleur naturellement présente dans le terrain.

Concrètement, les chercheurs proposent d'introduire des tubes de plastique dans la structure en béton du tunnel du métro à intervalles réguliers et de les relier à une pompe à chaleur. Un fluide calorifique ou, tout simplement, de l'eau serait ensuite

introduit dans les tubes, à l'image d'un frigo. En introduisant de l'eau froide dans les tubes du tunnel durant l'hiver, c'est de l'eau chaude que le système rejettera en surface, et inversement durant l'été. L'équipement géothermique du tunnel présenterait un investissement et une énergie grise négligeables, précisent les chercheurs, pour une durée de vie allant de 50 à 100 ans. Seules les pompes à chaleur devraient être remplacées tous les vingt-cinq ans.



ADOBE STOCK

CHAUFFAGE ET CLIMATISATION

Une fois équipé, le tunnel aurait l'avantage de chauffer les appartements alentour en hiver, en assurant jusqu'à 80% des besoins énergétiques. Les besoins restants seraient complétés, idéalement, par une autre énergie renouvelable. En été, et c'est là la singularité de ces géostrutures, les appartements pourraient aussi être refroidis par le système géothermique: «Le tunnel offrirait un système de chauffage et de climatisation

très fiable toute l'année», indique Margaux Peltier, qui souligne que le cas lausannois offre un grand potentiel de climatisation. Le système pourrait notamment servir à refroidir la patinoire prévue dans le futur éco-quartier Métamorphose. «Cette publication montre que la technologie des tunnels énergétiques est mature et que nous pourrions l'exploiter au niveau d'un quartier», précise Lyesse Laloui, directeur du LMS. «Reste à savoir si l'industrie

suisse est prête à jouer le rôle de pionnier en la matière, car seuls des tronçons tests ont été exploités à ce jour dans le monde.» A noter que les chercheurs ont présenté les résultats de leur étude aux Services industriels de Lausanne (SIL), aux Transports lausannois (TL), au canton de Vaud, le maître d'œuvre du futur métro, et à la Ville de Lausanne. ●

* avec l'aimable autorisation de Mediacom/EPFL

Le Maroc, offre des conditions idéales pour le développement des géostructures énergétiques

October 2019

Chantiers du Maroc

Le Maroc, offre des conditions idéales pour le développement des géostructures énergétiques

ACTUALITES INTERVIEW - 07/10/2019



Les géo-structures énergétiques, une énergie renouvelable sous nos pieds, telle est le thème de la conférence qui sera donnée le 8 octobre 2019 à Casablanca (Hôtel Hyatt regency) par **Lyesse LALOU**, professeur – chaire mécanique des sols et directeur de la section génie civil à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne **EPFL**. Dans cet entretien exclusif il nous parle de cette technique d'avenir pourtant inusitée au Maroc : les géo-structures énergétiques.

Les géo-structures énergétiques, de quoi s'agit-il ?

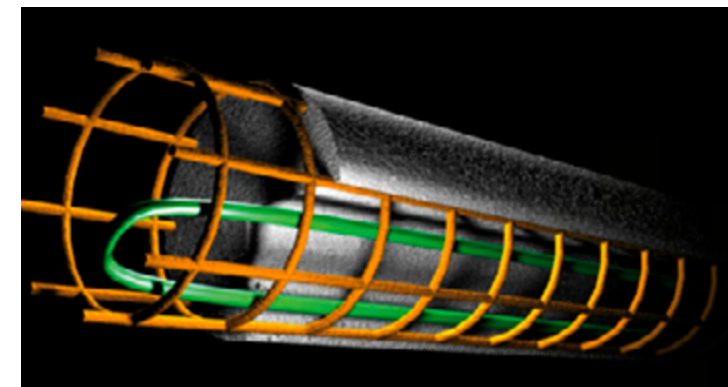
« Le principe est assez-simple : on se sert des fondations d'une construction pour échanger de l'énergie avec le sol grâce à des échangeurs géothermiques. Toute construction possède des fondations en contact avec le sol, alors pourquoi ne pas les utiliser comme source d'énergie ?

Les premiers mètres de terrain sont sous l'influence de la température ambiante. Mais, au-delà de 5 mètres de profondeur, la température du sol reste constante tout au long de

- "Energy geostructures – renewable energy under our feet." That was the main theme of the conference in Casablanca in 2019. Prof. Laloui, in the interview with Chantiers de Maroc talks about this promising technology and possibility of its implementation in Morocco.

l'année. A Lausanne, par exemple, elle est de 13 degrés. Nous pouvons tirer profit de cette chaleur constante avec les géo-structures énergétiques. Nous insérons des tubes en plastique dans les fondations pendant la construction, avant de couler le béton. Puis nous faisons transiter de l'eau dans les tubes. Le fluide se réchauffe dans le sol. On crée en quelque sorte le radiateur du bâtiment. A l'inverse, en été, on peut assurer l'air conditionné pour rafraîchir l'édifice en injectant l'énergie dans le sol. Pour amplifier les valeurs de température, nous couplons le système à une pompe à chaleur. Toutes sortes de fondations peuvent être utilisées : celles des bâtiments, mais aussi, par exemple, les piles d'un pont, les parois enterrées des parkings ou les voûtes des tunnels routiers ou ferroviaires. On ne parle que de nouvelles constructions car il n'est pas encore possible d'équiper un bâtiment existant en géo-structure énergétique, pour des raisons de coûts. Les tubes doivent être posés au moment de la construction des fondations ».

Les géo-structures énergétiques couvrent-elles tous les besoins en énergie du bâtiment ?



« Alors c'est au cas par cas, certains projets sont couverts entièrement d'autres qu'à 60 ou 70%. Cela dépend du sol et des besoins des bâtiments. En règle générale, on couple les géo-structures énergétiques avec une pompe à chaleur, car cela permet d'avoir de meilleurs résultats et de plus hauts

niveaux de températures. Avec une pompe à chaleur on peut tirer entre 50 et 100 W par mètre d'ouvrage. On peut également coupler l'installation avec des panneaux solaires pour stocker l'énergie solaire dans le sol. Bien entendu cette technique est valable autant que les fondations soient assez profondes. En Europe, les géo-structures énergétiques ne couvrent pas entièrement les besoins en énergie toute l'année et ce n'est pas le but de la technologie. Contrairement à l'énergie solaire par exemple, l'énergie géothermique est disponible en continu, toute l'année peu importe la saison ou l'heure de la journée. C'est à la fois un atout et un désavantage, cette technologie comme tous les systèmes géothermiques sont de facto moins réactifs et ont une certaine inertie. C'est pourquoi, en général le but n'est pas de couvrir tous les besoins car ce n'est pas viable, mais plutôt de la combiner avec d'autres énergies renouvelables comme le solaire. La technologie permet quand même à elle seule de réduire jusqu'à 80% les besoins en énergie d'un bâtiment ! ».

● — Le Maroc, offre des conditions idéales pour le développement des géostrutures énergétiques

A quel prix ?

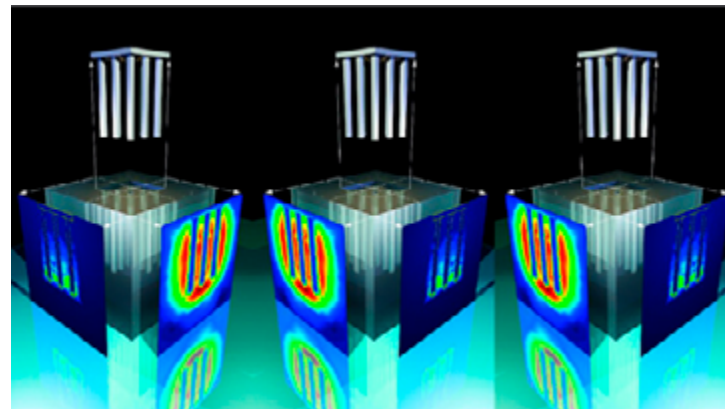
« L'énergie est gratuite et renouvelable puisqu'elle se trouve de manière naturelle dans le sol. Et toute construction nécessite de toute façon des fondations. On ne construit pas un système géothermique en soi, on ajoute des échangeurs aux fondations, ce qui est avantageux en termes de coût. Cette technique renchérit très peu le coût de la construction puisqu'au final il s'agit de quelques tubes en plastiques, de pompes et quelques éléments hydrauliques. Alors quitte à forer des fondations autant les équiper ! Il faudra tout de même compter les coûts d'une pompe à chaleur mais la technologie dans son ensemble est en moyenne amortie sur 5 ou 6 ans. La diffusion de la technologie permettra aussi d'accumuler les expériences nécessaires pour optimiser encore davantage les connaissances sur les géo-structure énergétiques. Et elle permettra de réduire les coûts, d'autant si les architectes, les ingénieurs et les constructeurs apprennent à la maîtriser ».

N'y-a-t-il pas de contraintes ou de précautions particulières ?

« En soi, la technologie et sa mise en place repose sur des concepts simples. Il faut du savoir-faire c'est certain, mais avec une bonne coordination et une bonne communication entre les corps de métiers sur le chantier, en général, cela ne pose pas de problèmes ou de contraintes particulières. Il faut tout de même agir avec précaution et s'assurer de certains aspects. Par exemple, le coulage du béton doit se faire de manière délicate pour ne pas endommager les tubes. Il faut maintenir les tubes en pression pour éviter qu'ils soient écrasés par la prise du béton, ou encore faire attention au moment du recépage pour ne pas endommager les tubes. Ces éléments peuvent rallonger légèrement le processus de mise en place des fondations. Mais à force d'expérience et de savoir-faire désormais certaines entreprises n'ont besoin que de 15 minutes supplémentaires pour faire un pieu énergétique ! ».

Facile d'installation mais quand est-il du dimensionnement ?

« Il est certain que coupler un rôle structurel et un rôle énergétique n'est pas sans incidence sur le dimensionnement, qu'il soit structurel ou géotechnique. L'innovation de cette technologie tient du fait qu'elle intègre plusieurs fonctions au sein d'un même produit. Avec les géo-structures énergétiques nous sommes vraiment à l'interface entre



l'énergie, la géotechnique et la structure. Cela demande donc des compétences

interdisciplinaires. Cependant la technologie est mature et nous la maîtrisons bien, il suffit d'avoir les outils et les connaissances nécessaires pour le dimensionnement. Nous développons cette technologie depuis plus de 20 ans à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), nous avons développé des outils de calculs, des tables de dimensionnement etc... nous formons même les futurs ingénieurs de l'EPFL à la technologie. En attendant, la spin-off GEOEG que j'ai co-fondé apporte ses compétences et expertises pour le développement de projets de géo-structures énergétiques des plus simples aux plus complexes ».

Quels potentiels pour le développement des géo-structures énergétiques au Maroc



« Les géo-structures énergétiques ont un véritable potentiel de développement au Maroc, pays dont les besoins en énergie sont variés et les climats différents. Ces structures peuvent être très efficaces avec une utilisation tout au long de l'année, pour faire du chauffage et du rafraichissement des bâtiments. Cette utilisation duale permet d'équilibrer le système et d'en augmenter ainsi la durée de vie. Au Maroc, les besoins

de climatisation sont prépondérants, et les géo-structures énergétiques peuvent y répondre favorablement. De plus, le chauffage par cette source d'énergie permettra d'évacuer le surplus de chaleur injecté dans le sol et d'en maintenir la température. Même dans les zones arides, où les terrains peuvent être secs, ce qui diminue la conductivité thermique du terrain, nous avons développé des technologies basées sur la bio-cimentation pour créer des ponts thermiques entre les grains de sable et augmenter significativement le potentiel énergétique du terrain. Le Maroc, pionnier en Afrique en termes d'énergies renouvelables, offre des conditions idéales pour le développement des géo-structures énergétiques ».

Interview réalisée par Fouad AKALAY

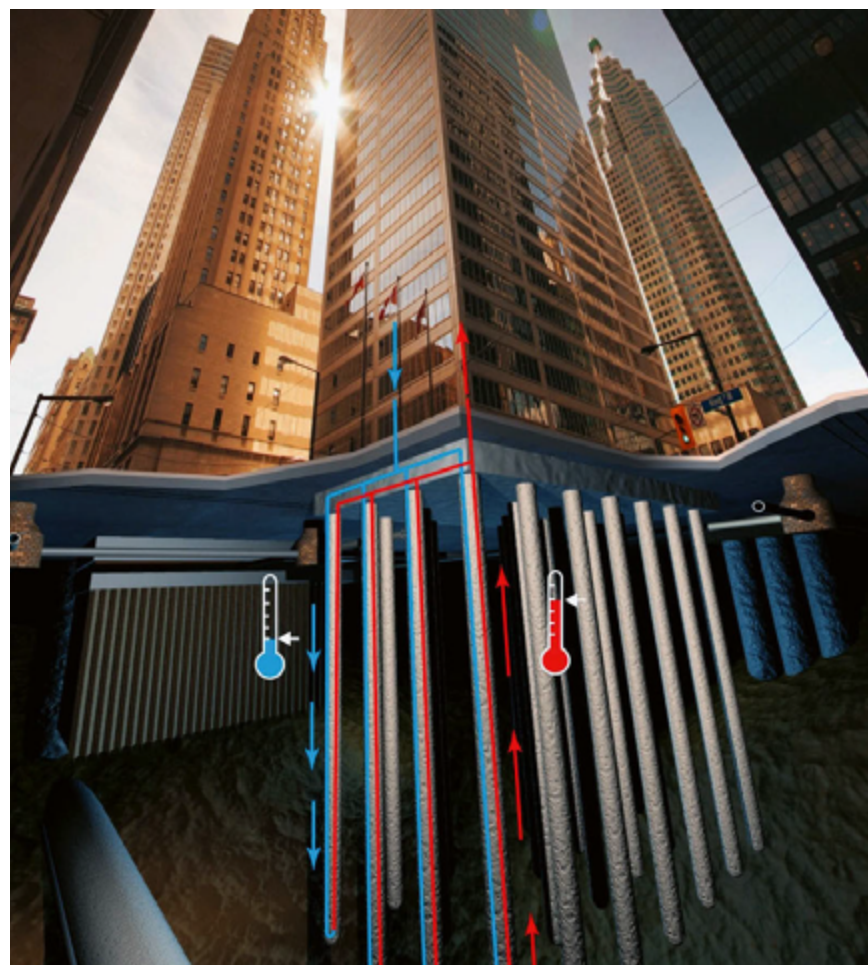
Fraîcheur durable grâce aux géostructures énergétiques

Septembre 2019

Association des Communes Suisses

Fraîcheur durable grâce aux géostructures énergétiques

De plus en plus, nos bâtiments sont confrontés à des problèmes de surchauffes estivales. Il convient d'y penser avant toute nouvelle construction: les géostructures énergétiques constituent une solution simple et durable.



La géothermie de surface peut être utilisée directement grâce aux fondations des bâtiments qui sont en contact avec le sol et peuvent être équipées de tubes échangeurs. Photo: mäd.

En Suisse, la demande en froid de nos habitations est faible et souvent limitée par les autorités, mais la tendance commence à s'inverser. Alors quelles solutions? Outre une modification de nos réflexes de conception des bâtiments – surfaces vitrées, brise-soleil, ventilation naturelle –, des solutions techniques vont devoir être de plus en plus adoptées. Il existe actuellement plusieurs technolo-

gies permettant de chauffer en hiver mais aussi de rafraîchir les bâtiments en été. L'une de ces technologies utilise la géothermie de surface directement grâce aux fondations des bâtiments: il s'agit des géostructures énergétiques.

Insérer des tubes en plastique

Les géostructures, le plus souvent les pieux, murs ou dalles servant de fonda-

tions aux bâtiments, sont des éléments porteurs qui permettent de soutenir nos constructions. Ces éléments généralement en béton armé et en contact avec le sol peuvent être équipés de tubes échangeurs à des fins énergétiques. Des tubes en plastique sont insérés dans les fondations durant la construction, puis noyés dans le béton.

Remplacer les climatisations et économiser de l'énergie

Le principe est simple: dès quelques mètres de profondeur, le sol bénéficie d'une température constante, autour des 12° C en Suisse. Cette énergie thermique est durable, disponible toute l'année, peu importe les conditions climatiques ou l'heure de la journée. Dans le plus simple des cas, de l'eau circule dans les tubes et se réchauffe ou se refroidit au gré des saisons en échangeant de la chaleur ou du froid avec le sol. Le plus souvent connectées à une pompe à chaleur pour le chauffage en hiver, en été les géostructures énergétiques peuvent être utilisées directement pour rafraîchir les bâtiments à moindre coût, grâce au géocooling. Cette méthode permet de faire diminuer les températures de 4 à 5° C avec une très faible consommation d'électricité, et permet d'éviter ou de remplacer la climatisation ou autres systèmes frigorifiques, souvent très énergivores.

Recharge thermique du terrain assurée

Chauffer et refroidir, c'est même plus efficace! En réalité, en rafraîchissant le bâtiment grâce au géocooling, on assure aussi la recharge thermique du terrain. Les échanges de chaleur avec le terrain sont donc plus équilibrés, le système plus efficace, plus durable, et plus intelligent que d'autres systèmes géothermiques qui n'extraient que de la chaleur; extraction qui doit être limitée et bien maîtrisée pour ne pas refroidir excessivement le terrain. De plus, le fait d'utiliser le même système pour une application duale en utilisant la même source d'énergie de façon équilibrée, est aussi plus avantageux puisqu'on évite de mul-

Energy geo-structures, coupling sustainable heating and cooling potentials, make the list of promising solutions at the service of swiss municipalities.



Des tubes en plastique sont insérés dans les fondations durant la construction, puis noyés dans le béton: un aperçu du chantier à Fully. Photo: mäd.

tiplier les systèmes et la technique du bâtiment. A l'avenir, l'augmentation des besoins en frais des bâtiments sera donc plutôt bénéfique pour le développement de cette technologie particulièrement adaptée à cette double utilisation saisonnière.

Réduction des émissions en CO₂

Les géostructures énergétiques permettent donc avec un seul système énergétique la production de chaleur et de froid renouvelable pour nos bâtiments. Cette technologie fonctionne en circuit fermé, ce qui évite les risques de pollution ou contamination de nappes ou du terrain. De plus, elle réduit jusqu'à 70% les émissions de CO₂ d'une construction. Cette technologie 2 en 1 a de nombreux avantages, outre le fait qu'il s'agit d'une solution durable, elle n'engendre pas de surcoûts importants puisqu'elle est intégrée à la construction. Seuls les coûts liés à la mise en place des tubes et éventuellement de la pompe à chaleur doivent être considérés, un investissement rapidement amorti par la production d'énergie. Néanmoins, cette solution doit être adoptée au plus tôt dans le projet puisque la technologie ne peut être installée que lors de la construction des fondations. C'est malheureusement souvent la raison pour laquelle un projet de géostructures énergétiques n'aboutit pas, l'étude de la technologie arrivant trop tard dans le processus, faute d'information ou de connaissance. C'est pourquoi, le Laboratoire de Mécanique des Sols de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (LMS-EPFL), qui a lar-

gement contribué au développement de cette technologie au cours des vingt dernières années, multiplie ses actions pour informer et assurer le transfert technologique de cette innovation. Cela passe en partie par la formation, le LMS formant entre autres les futures générations d'ingénieurs en proposant un cours de Master spécialisé sur les géostructures énergétiques aux étudiants de Génie civil de l'EPFL. Et les jeunes architectes ont aussi l'occasion d'être sensibilisés à la technologie pendant une semaine de projet interdisciplinaire. Le laboratoire accompagne également les praticiens grâce au développement d'outils de calculs, de méthodes ou encore en proposant son expertise via la spin-off GEOEG.

Certains ont tout de même passé le pas. Plusieurs projets ont été réalisés en Suisse, la majorité en Suisse allemande. Actuellement, les bâtiments tertiaires, administratifs ou scolaires se prêtent bien à ce type de technologie en raison de leurs besoins saisonniers en chaud et en froid. Quelques projets de logements ont également été réalisés.

Fully (VS) montre l'exemple

La commune de Fully est sûrement une des communes pionnières en Suisse romande, qui optait pour cette technologie pour l'école primaire de Charnot en 2001, puis pour sa salle polyvalente en 2007. En raison de la nature du terrain, le bâtiment de l'école (en Minergie) repose sur 118 pieux battus dont 41 sont équipés d'échangeurs géothermiques pour subvenir aux besoins de l'établissement en chauffage comme en froid. Le réseau de pieux énergétiques permet de chauffer le bâtiment à l'aide de quatre pompes à chaleur, tandis qu'en été, le même réseau permet de rafraîchir le bâtiment (free-cooling) et d'assurer la recharge thermique du terrain. La distribution de chaud ou de froid dans les salles de classe est quant à elle assurée par un système de rayonnement par le plafond. Ce système basse température remplace les radiateurs conventionnels et permet une distribution uniforme de l'énergie dans les classes. Dès la première année de mise en service, les résultats de l'installation étaient très prometteurs et montrèrent une bonne performance. A ce jour, l'installation est toujours en service et satisfait ses utilisateurs.

Les 80 pieux énergétiques de la salle polyvalente de Charnot maintiennent quant à eux des températures confortables dans la salle de sport depuis sa mise en service. Les pieux énergétiques permettent également un rafraîchissement estival de l'installation sportive,

Quelques chiffres caractéristiques:

Ecole primaire de Charnot

Bâtiment: Minergie
Surface de référence énergétique: 2635 m²
Nombre de pieux énergétiques: 41
Profondeur moyenne des pieux: 23 m
Utilisation de l'énergie: chauffage et rafraîchissement estival sans machine frigorifique (free-cooling)
Puissance totale des 4 pompes à chaleur: 56 kW
Coefficient de performance COP (annuel): 3,8
Coût total de l'installation du projet: 250 000
Maître d'ouvrage: Commune de Fully, contact — Raphaël Bender

Salle polyvalente de Charnot

Bâtiment: Minergie
Nombre de pieux énergétiques: 80
Profondeur moyenne des pieux: 25 m
Utilisation de l'énergie: chauffage, eau chaude sanitaire et rafraîchissement estival avec machine frigorifique et free-cooling
Puissance totale de la pompe à chaleur: 125 kW (chauffage) et 89 kW (froid)
Coefficient de performance COP: 3,5 (pompe à chaleur avec ECS)/4,3 (free-cooling)
Maître d'ouvrage: Commune de Fully, contact Raphaël Bender

avec ou sans machine frigorifique. Pour cette installation, deux types de rafraîchissement ont été choisis, soit la chaleur extraite des locaux est directement injectée dans le sol grâce à des pompes de circulation, ce qui permet de gagner quelques degrés en free-cooling. Soit une machine frigorifique est utilisée pour augmenter l'écart de température et rafraîchir davantage des locaux, particulièrement apprécié pendant un événement sportif.



Margaux Peltier
Ing. Civil EPF

Laboratory of Soil Mechanics, EPFL

Références:

Le chaud et le froid sous nos pieds, Energielnnovation n° 58, SuisseEnergie, 2004
Rapport final Pieux énergétiques avec distribution de chaleur et de froid intégrée dans la structure, M. Bonvin, P. Cordonier, Haute école valaisanne, OFEN, 2002
Tecnoservice Engineering SA

Making use of metro heat

August 2019

Tunnel Talk

TunnelTECH

Making use of metro heat

08 Aug 2019

Jonathan Rowland, *TunnelTalk*

Research by the Swiss Federal Institute of Technology (EPFL) is currently working on systems whereby heat generated in metro systems is captured and utilised, effectively turning the tunnel into a large geothermal heat-recovery system to supply municipal heat systems. EPFL researchers have for the first time estimated precisely the coefficient that allows them to establish the amount of heat that the air contains. This coefficient, called the convection heat transfer coefficient, defines the rate of heat transfer between the airflow within a tunnel and the surrounding ground. A higher convection heat transfer coefficient could therefore imply a higher potential for heat recovery.

"A good estimate of the convection heat transfer coefficient is essential, as it can affect the final thermal potential," said Margaux Peltier, a researcher at EPFL. "Nevertheless, the convection heat transfer

coefficient is limited by the tunnel environment. Other parameters also affect the heat transfer rate, which is why the whole tunnel environment should be taken into consideration to evaluate the heat recovery potential," the engineer told *TunnelTalk*.

In addition to the convection heat transfer coefficient, the cross-section, the roughness of the walls and the air temperature were also found to impact the heat transfer rate and therefore the heat recovery potential.

Researchers investigated different types of underground construction to determine their impact on heat transfer. "We compared three typical cross-sections: a circular TBM cross-section, a drill+blast horse-shoe excavation, and rectangular cut-and-cover work," explained Peltier. Although the differing cross-sections had some impact, overall



Turning tunnels into heat-recovery systems

the effect was negligible. This means "constant values can be used to describe the overall heat transfer phenomenon in underground structures, regardless of their cross-sections."

In contrast, the roughness of the walls was found to have a great impact with rougher walls "leading to higher values and increased heat transfer rate," said Peltier.

Lausanne M3 Metro modelling

The scientists applied their research to the new 4km M3 metro line in Lausanne, which will carry passengers between the main train station and the Blecherette district in the north. According to the research, fitting a heat recovery system along 50-60% of the planned route would cover the heating needs of 1,500 x 80m² apartments. In addition to providing heat during the winter, the system could also be reversed in the summer with heat taken from the surface and stored underground.

Margaux Peltier, scientific assistant at the Laboratory of Soil Mechanics (LMS) proposed utilizing urban subway tunnels as large heat exchangers to warm nearby buildings. Her research on the topic was published earlier this summer. and caught the attention of British journalists, at a time when temperatures in the London Tube are skyrocketing.

"To provide low-temperature district heating or direct heating to surrounding buildings, heat is extracted from the air, as well as the surrounding ground, via heat exchangers and water-based heat pumps," said Peltier. "To provide cooling, heat from the surface is injected back into the tunnel, where it dissipates or, in some circumstances, can be partially stored."

"This research shows the technology is mature and could be deployed at district-wide scale," said Lyesse Laloui, Head of the Laboratory of Soil Mechanics at EPFL. "Despite this, we have only seen systems like this used on test sections." One of the first pilot installations was in Vienna and more recently, an underground station was equipped with a heat-recovery system in Geneva. The application has also been tested in the Crossrail project in London.

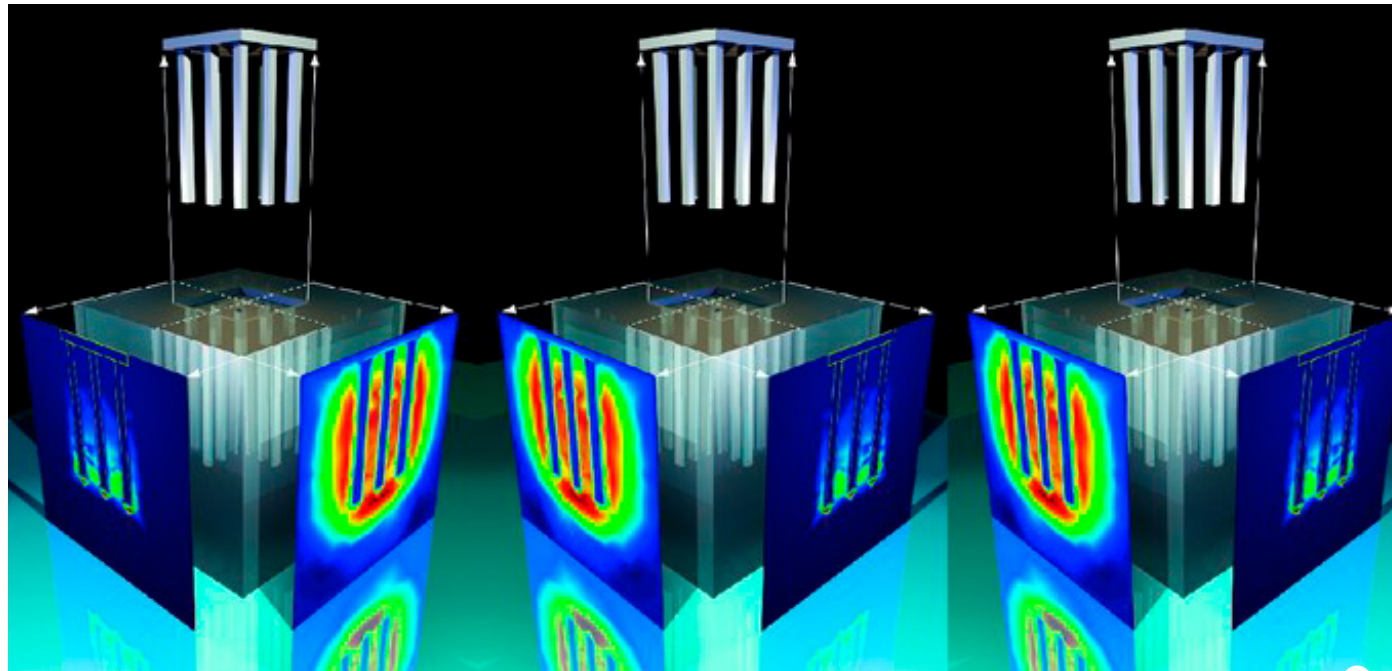
The results of the research have been presented to the main contractor working on the Lausanne M3 metro line, as well as the local utility agency and local public transport operators in Lausanne, and the regional government. "It remains to be seen whether Swiss companies are now prepared to take the lead," concluded Laloui.

Geothermal piles on the list of the 50 feats of EPFL in L'Illustré

June 2019

L'Illustré

Geothermal piles on the list of the 50 feats of EPFL in L'Illustré



Geothermal piles, developed at the laboratory of soil mechanics (LMS) by Prof. Lyesse Laloui, are retained among the 50 feats of EPFL in celebration of its 50 years.

50 feats matching 50 years of EPFL is the title chosen by the magazine L'Illustré for their article visiting the brightest events, technologies and discoveries that have influenced the development of the region's scientific cradle. Geostructures, and more particularly, geothermal piles, have been developed at the laboratory of soil mechanics (LMS) by Prof. Lyesse Laloui. They made the list of the historical 50 achievements ever made by the university. These revolutionary foundations go beyond supporting structures, as they contribute to building energetics through heat exchanges with the underground. Since their first test in 1998 at EPFL, the LMS has been a worldwide pioneer of their development, culminating with their application on our own campus in 2014 with the construction of the SwissTech Convention Center. In 2018, a spinoff of the lab, GEOEG, has been launched, putting into practice the lab's accumulated expertise in an attempt to further boost the transition of the technology from academia into the industry. Geothermal piles are also listed among EPFL's symbolic inventions, which will be presented in augmented reality starting September 14 2019 at the ArtLab of EPFL. An exposition entitled "Infinity Room 2" celebrating the history of the campus over its 50 years of existence will take place during the EPFL open doors (01/09/2019 – 26/01/2020).

- Geothermal piles, developed at the Laboratory of Soil Mechanics by Prof. Lyesse Laloui, are retained among the 50 feats of EPFL in celebration of its 50 years.



L'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) célèbre son demi-siècle de fédéralisation. Hommage en 50 points à ce berceau scientifique en attendant les portes ouvertes de septembre.

34. Les pieux géothermiques

Développées au Laboratoire de mécanique des sols (Dr Lyesse Laloui), des fondations intelligentes peuvent récupérer la chaleur du sous-sol en profondeur. Ce concept a été appliqué lors de la construction du SwissTech Convention Center.

L'EPFL imagine un tunnel du M3 converti en source d'énergie géothermique

June 2019

RTS Info

Sciences-Tech. Modifié le 26 juin 2019 à 11:50

L'EPFL imagine un tunnel du M3 converti en source d'énergie géothermique



L'EPFL imagine un tunnel du M3 converti en source d'énergie géothermique Le Journal horaire / 27 sec. / le 25 juin 2019

Des chercheurs de l'EPFL ont quantifié les échanges de chaleur dans un tunnel. En appliquant leurs calculs au futur M3 à Lausanne, ils ont estimé l'économie d'énergie que ferait la ville en équipant le tunnel d'un système géothermique.

Lorsqu'un métro ou un train freine et accélère dans un tunnel, celui-ci connaît un pic de chaleur. Sauf que le calcul de la chaleur provenant de l'air était jusqu'ici fait de manière imprécise par les ingénieurs. Les chercheurs du Laboratoire de mécaniques des sols (LMS) de l'EPFL viennent de corriger cela dans **une étude** parue dans la revue Applied Thermal Engineering. Ils sont parvenus à donner une estimation précise de ce coefficient-clé, appelé le coefficient de convection thermique.

- The RTS interviewed Margaux Peltier, scientific assistant at the LMS, during their broadcast "CQFD" in order to talk about the geothermal potential of the future M3 metro line of Lausanne.

Cette découverte ouvre la voie à l'exploitation d'un tunnel géothermique au bénéfice des bâtiments situés en surface. Les chercheurs ont d'ailleurs testé leurs calculs sur le cas du tunnel du futur métro lausannois, le M3, amené à relier la gare centrale au nord de la ville, dans le quartier de la Blécherette. Il s'agirait d'une première mondiale.

Pompes à chaleur

Concrètement, les scientifiques proposent d'introduire à intervalles réguliers des tubes de plastique dans la structure en béton du tunnel et de les relier par une pompe à chaleur. De l'eau ou un fluide qui transporte la chaleur serait introduit ensuite dans les tubes, à l'image d'un frigo.

En introduisant de l'eau froide dans les tubes du tunnel durant l'hiver, c'est de l'eau chaude que le système rejettera en surface, et inversement durant l'été. L'équipement géothermique du tunnel présenterait un investissement et une énergie grise négligeables pour une durée de vie allant de 50 à 100 ans. Seules les pompes à chaleur devraient être remplacées tous les 25 ans.

Jusqu'à 4000 appartements alimentés

"Nos recherches montrent qu'en utilisant 50% à 60% du tracé planifié, 60'000 m2 du tunnel pourraient être activés avec ce système géothermique et alimenter en chaleur 1500 appartements standards d'une taille moyenne de 80m2 ou 4000 appartements Minergie", explique Margaux Peltier, assistante scientifique au LMS dont le projet de Master est à l'origine de la publication.

Ce système a l'avantage de pouvoir stocker de la chaleur et la diffuser en temps voulu dans les logements. "La ville éviterait l'émission de 2 millions de tonnes de CO2 par an, comparé à un système de chauffage au gaz", ajoute la chercheuse dont le calcul n'a pas tenu compte des gares du métro ni du dépôt des rames, prévu au nord de la ville, qui pourraient aussi bénéficier de cette énergie.

ats/ani

● — EPFL: un tunnel du métro M3 source d'énergie?

● — June 2019

Tribune de Genève, LeMatin.ch, 20 minutes, 24heures, La Liberté

EPFL: un tunnel du métro M3 source d'énergie?

Géothermie Des chercheurs songent à équiper un tunnel du futur M3, à Lausanne, d'un système géothermique pour récupérer la chaleur de l'ouvrage. Ce serait une première mondiale.



Il s'agirait d'une première mondiale, précise l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) mardi dans un communiqué.
Image: Keystone

Des chercheurs de l'EPFL ont quantifié les échanges de chaleur dans un tunnel. En appliquant leurs calculs à la future ligne de métro M3, à Lausanne, ils ont estimé l'économie d'énergie que ferait la ville en équipant le tunnel d'un système géothermique.

Dans un tunnel abritant un train ou un métro, les échanges de chaleur sont nombreux. Lorsque le métro freine et accélère, par exemple, le tunnel connaît un pic de chaleur. Cet air chaud se mélange à l'air naturellement présent dans le tunnel et à la chaleur émanant du sol.

Manière imprécise

Le calcul de la chaleur provenant de l'air était jusqu'ici effectué de manière imprécise par les ingénieurs. Des chercheurs du Laboratoire de mécanique des sols (LMS) de l'EPFL viennent de corriger cela dans une étude parue dans la revue «Applied Thermal Engineering». Ils sont en effet parvenus à donner une estimation précise de ce coefficient clé, appelé le coefficient de convection thermique.

Cette découverte ouvre la voie à l'exploitation d'un tunnel géothermique au bénéfice des bâtiments situés en surface. Les chercheurs ont d'ailleurs testé leurs calculs sur le cas du tunnel du futur métro lausannois M3, amené à relier la gare au nord de la ville (quartier de la Blécherette). Il s'agirait d'une première mondiale, précise l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) mardi dans un communiqué.

- — The results of LMS research on geothermal potential could be applied in the Lausanne's metro line M3. The researches are looking for a way to harness the heat. It could be the world's first installation of this type.

Alimentation de 1500 appartements

«Nos recherches montrent qu'en utilisant 50 à 60% du tracé planifié, 60'000 m2 du tunnel pourraient être activés avec ce système géothermique et alimenter en chaleur 1500 appartements standards d'une taille moyenne de 80 m2 ou 4000 appartements Minergie», explique Margaux Peltier, assistante scientifique au LMS, dont le projet de master est à l'origine de la publication.

Ce système a l'avantage de pouvoir stocker de la chaleur et de la diffuser en temps voulu dans les logements. «La ville éviterait l'émission de 2 millions de tonnes de CO2 par an, comparé à un système de chauffage au gaz», ajoute la chercheuse, dont le calcul n'a pas tenu compte des gares du métro ni du dépôt des rames, prévu au nord de la ville, qui pourraient aussi bénéficier de cette énergie.

Dans les infrastructures souterraines, la température de l'air tend à retrouver sa stabilité et à rejeter en surface la chaleur et la fraîcheur excédentaires. Ce rejet se traduit par des mouvements d'air chaud que l'on ressent parfois en passant près d'une bouche de métro. C'est ce phénomène physique que comptent exploiter les ingénieurs, en complément de la chaleur naturellement présente dans le terrain.

Concrètement, ils proposent d'introduire des tubes de plastique dans la structure en béton du tunnel du métro à intervalles réguliers et de les relier à une pompe à chaleur. Un fluide calorifique ou, tout simplement, de l'eau, serait ensuite introduit dans les tubes, à l'image d'un frigo.

En introduisant de l'eau froide dans les tubes du tunnel durant l'hiver, c'est de l'eau chaude que le système rejettera à la surface, et inversement durant l'été. L'équipement géothermique du tunnel présenterait un investissement et une énergie grise négligeables pour une durée de vie allant de cinquante à cent ans. Seules les pompes à chaleur devraient être remplacées tous les vingt-cinq ans.

Chauffage et climatisation

Une fois équipé, le tunnel aurait l'avantage de chauffer les appartements alentour en hiver, assurant jusqu'à 80% des besoins énergétiques. Les besoins restants seraient complétés, idéalement, par une autre énergie renouvelable.

En été, et c'est là la singularité de ces géostructures, les appartements pourraient aussi être refroidis par le système géothermique. «Le tunnel offrirait un système de chauffage et de climatisation très fiable toute l'année», indique Margaux Peltier, qui souligne que le cas lausannois offre un grand potentiel de climatisation. Le système pourrait notamment servir à refroidir la patinoire prévue dans le futur écoquartier Métamorphose.

«Cette publication montre que la technologie des tunnels énergétiques est mature et que nous pourrions l'exploiter au niveau d'un quartier», précise Lyesse Laloui, directeur du LMS.

Reste à savoir si l'industrie suisse est prête à jouer le rôle de pionnière en la matière, car seuls des tronçons-tests ont été exploités à ce jour dans le monde. À noter que les chercheurs ont présenté les résultats de leur étude aux Services industriels de Lausanne, aux Transports Lausannois (TL), au Canton de Vaud, maître d'œuvre du futur métro, et à la Ville de Lausanne. (ATS/nxp)

Metrotunnel könnten Lausannes Wohnungen heizen und kühlen

June 2019

baublatt, Handelszeitung

25.06.2019 | 14:21 | VERSCHIEDENES

Metrotunnel könnten Lausannes Wohnungen heizen und kühlen

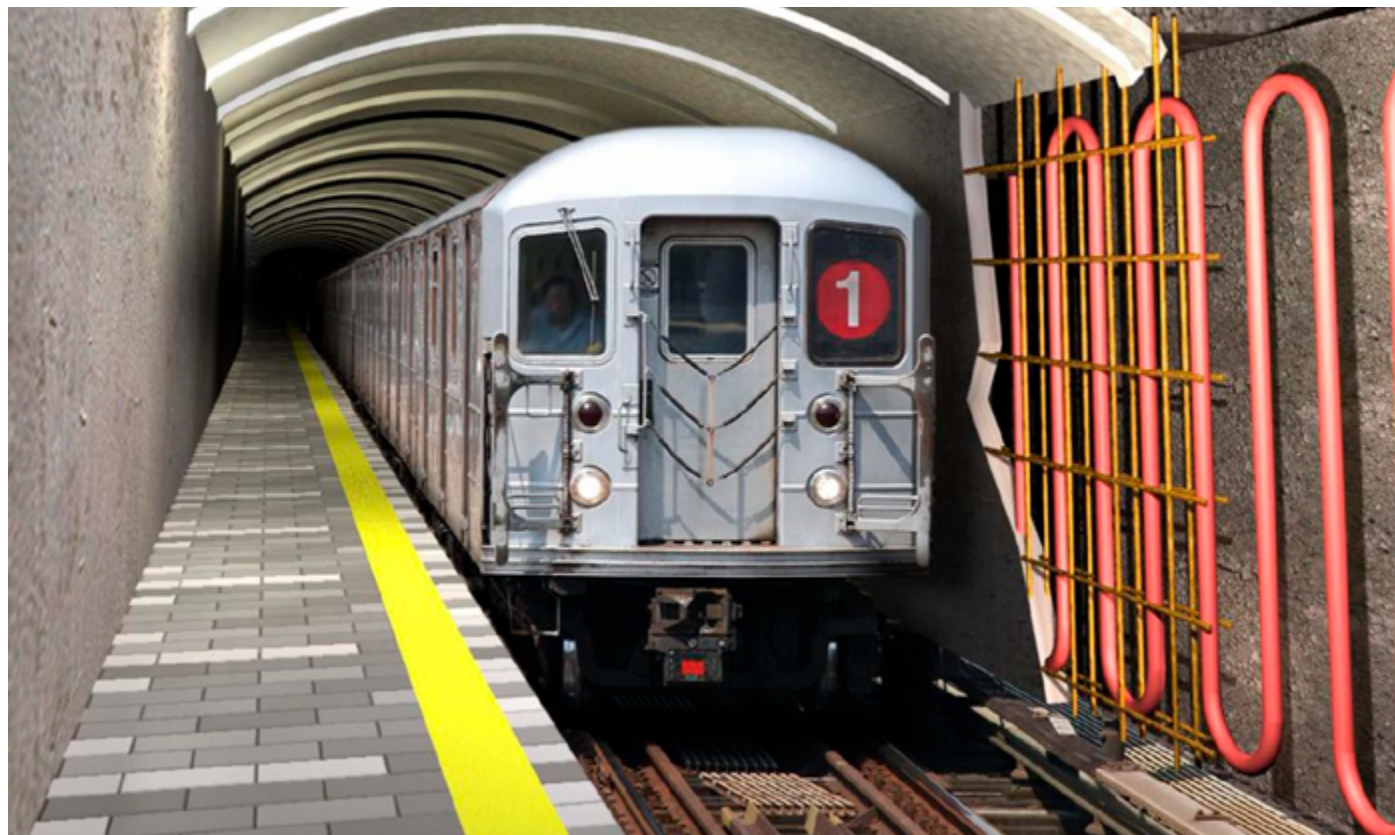
NEWS



Teaserbild-Quelle: LMS / 2019 EPFL

baublatt

In Bahn- und Metrotunnels sammelt sich einiges an Wärme und strömt durch Lüftungsschächte ungenutzt ins Freie. Forschende der EPFL haben diese Wärme quantifiziert und berechnet, wie viel Energie sich durch Abwärme-Gewinnung der zukünftigen M3 Metrolinie in Lausanne sparen liesse.



Quelle: LMS / 2019 EPFL

Diagramm vom Laboratory of Soil Mechanics der ETH Lausanne.

Forschende um Lyesse Laloui von der ETH Lausanne (EPFL) ist es gelungen, die Wärme der Luft in Tunnels zu berechnen. Dieser Durchbruch, von dem die Wissenschaftler im Fachblatt «Applied Thermal Engineering» berichten, könnte den Weg ebnen, um die Wärme in Tunneln zur Energiegewinnung zu nutzen, wie die EPFL am Dienstag mitteilte.

Die Forschenden wendeten ihr neues Berechnungsmodell auch auf die zukünftige M3-Metrolinie in Lausanne an. «Unsere Forschung zeigt, dass die Installation eines Wärmetauschersystems entlang 50 bis 60 Prozent der Strecke - oder 60'000 Quadratmetern Tunneloberfläche - den Wärmebedarf von 1500 Standardapartments von 80 Quadratmetern decken könnte», erklärte Margaux Peltier, auf deren Masterarbeit die Studie basiert.

- Baublatt, the platform that shares knowledge about civil engineering, along with the portal Handelszeitung published an article about LMS research on energy geostrutures, precisely about heat exchange in metro tunnels.

Zwei Millionen Tonnen weniger CO2

Das System erlaube auch, die Wärme zu speichern und dann einzusetzen, wenn sie zum Heizen gebraucht werde. Dies könnte die CO2-Emissionen der Stadt Lausanne pro Jahr um zwei Millionen Tonnen senken, hiess es weiter. Andersherum könnten Metrotunnel im Sommer auch zur Kühlung dienen.

Um die Tunnel auf diese Weise zu nutzen, müssten in regelmässigen Abständen in der Tunnelwand Rohre verlegt werden, durch die mithilfe einer Wärmepumpe Wasser strömt. Im Winter würde kaltes Wasser in die Rohe gepumpt, das durch die Abwärme des Tunnels aufgeheizt wird. Im Sommer passiere genau das umgekehrte, so die EPFL: Warmes Wasser könne in den Tunneln abkühlen und anschliessend zur Kühlung von Gebäuden dienen.

«Der Tunnel würde als zuverlässiges, ganzjähriges Heiz- und Kühlsystem dienen», so Peltier. Die Forschenden haben ihre Ergebnisse den Lausanner Stadtwerken, dem Betreiber des öffentlichen Nahverkehrs, dem Kanton Waadt, der Stadt Lausanne und dem Hauptauftragsnehmer für die neue Metrolinie vorgestellt, schrieb die EPFL. (sda)

Um die Tunnel auf diese Weise zu nutzen, müssten in regelmässigen Abständen in der Tunnelwand Rohre verlegt werden, durch die mithilfe einer Wärmepumpe Wasser strömt. Im Winter würde kaltes Wasser in die Rohe gepumpt, das durch die Abwärme des Tunnels aufgeheizt wird. Im Sommer passiere genau das umgekehrte, so die EPFL: Warmes Wasser könne in den Tunneln abkühlen und anschliessend zur Kühlung von Gebäuden dienen.

«Der Tunnel würde als zuverlässiges, ganzjähriges Heiz- und Kühlsystem dienen», so Peltier. Die Forschenden haben ihre Ergebnisse den Lausanner Stadtwerken, dem Betreiber des öffentlichen Nahverkehrs, dem Kanton Waadt, der Stadt Lausanne und dem Hauptauftragsnehmer für die neue Metrolinie vorgestellt, schrieb die EPFL. (sda)

Handelszeitung Metro-Tunnel als Kühltruhe und Heizkörper

Dass sich in Tunnels viel Wärme staut, lässt sich dieser Tage bestens am eigenen Leib erldbm. Etwa in wo die einzige urbane U-Bahn der Schweiz verkehrt Ob sich diese sommerliche Wärme (und winterliche Kälte) auch als Energie speichern und nutzen lassen könnte, haben Forscher der EPFL in aufwendigen Studien erforscht. Resultat: Ca va. Ausgehend von der künftigen dritten Lausanner Metrolinie (M3) wurde errechnet, dass entlang der Hälfte

der Strecke - 60 000 Quadratmeter Tunneloberfläche - etwa 1500 Wohnungen von jeweils 80 Quadratmetern geheizt oder gekühlt werden könnten. Einfach so ginge das aber nicht, wie das «**Baublatt**» schreibt: «Um die Tunnels auf diese Weise nutzen zu können, müssten in regelmässigen Abständen in der Ttunnelwand Rohre verlegt werden, durch die mithilfe einer Wärmepumpe Wasser strömt.» Ein Umweltnutzen sollte ebenfalls drinliegen. Mittels Tunnelenergie könnte man in Lausanne jährlich Emissionen von zwei Millionen Tonnen CO2 einsparen. (ag)

Researchers precisely quantified convection heat transfer in rail tunnels

June 2019

Tech Explorist, Mirage News,

Researchers precisely quantified convection heat transfer in rail tunnels

BY ASHWINI SAKHARKAR / JUNE 25, 2019 / INVENTION



Researchers at EPFL have precisely quantified convection heat transfer in rail tunnels. / Image: EPFL

Whenever there is a temperature difference, heat transfer occurs. Heat transfer happens in several ways in rail tunnels, for instance, when trains accelerate or brake, they produce heat that warms the surrounding air. That hot air is then mixed with other air in the tunnel and with heat radiating from the ground. Until now, engineers have been unable to accurately calculate the amount of heat present in the air of the tunnel.

Now, a team of researchers at Soil Mechanics Laboratory (LMS) of EPFL has found a solution for this. They have precisely estimated the convection heat transfer coefficient, and this could pave the way for innovative applications involving so-called energy tunnels that can supply energy to build environments.

- Team of researches at Soil Mechanics Laboratory has found a solution to precisely calculate the amount of heat present in the air of the tunnel. This could be a step towards development of innovative heat-recovery systems and creation of so-called energy tunnels that would supply heat to homes.

"Our research shows that fitting the heat-recovery system along 50–60% of the planned route – or 60,000 square meters of tunnel surface area – would cover the heating needs of 1,500 standard 80m² apartments or as many as 4,000 Minergie-certified energy-efficient units," explains Margaux Peltier, a scientific assistant at the LMS, whose Master's research forms the basis of the article.

The system also allows heat to be stored so it can be supplied to homes when needed. "Switching from gas-fired heating would cut the city's CO₂ emissions by two million tons per year," adds Peltier. Her calculation does not include the savings obtained from metro stations or at the planned rolling-stock depot in the north of the city, which could also benefit from the system.

Temperature naturally stabilizes in underground tunnels, so the excess heat or cold evicted to the surface. The resulting warm air flow is usually seen at the entrance of the metro tunnel. The idea behind the innovation is to harness this surplus warmth, in addition to heat naturally present in the ground.

Just like a refrigerator, the system has plastic pipes which contain heat-transfer fluid, or simply water. These pipes are placed at regular intervals inside the concrete tunnel walls and connected to a heat pump.

The geothermal heat-recovery system would be cheap and energy-efficient to install, according to the researchers. It has a lifespan of between 50 and 100 years, with only the heat pumps having to be replaced every 25 years. Once equipped, heat from the tunnel would cover up to 80% of the heating needs of local apartments throughout winter, with the shortfall preferably coming from other renewable sources.

But what makes geothermal systems like these unique is that they work in summer too. "The tunnel would act like a highly reliable, year-round heating and air-conditioning system," says Peltier, adding that it would make a real difference to keeping Lausanne's homes cool during hot weather. The system could even chill the ice rink set to be built in the city's new Métamorphose eco-district.

The team also tested its model on the future M3 Metro Line in Lausanne. Once complete, the metro line will carry passengers between the city's train station and the Blécherette district to the north.

"This article underscores the fact that energy-tunnel technology is mature and could be deployed at district-wide scale," explains LMS head Lyesse Laloui. "It remains to be seen whether Swiss companies are now prepared to take the lead. Globally, we've only seen systems like these used on test sections so far."

Their findings have been published in Applied Thermal Engineering.

— L'énergie enfouie sous nos bâtiments

— March 2019

Immorama

L'énergie enfouie sous nos bâtiments

Les pieux de fondation, les dalles ou parois indispensables aux constructions peuvent servir comme supports d'une installation géothermique. Cette technologie prometteuse est de plus en plus répandue.

Professeur et directeur du Laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL, Lyesse Laloui a présenté en novembre dernier au Cercle littéraire de Lausanne une vraie révolution : les géostructures énergétiques. « La consommation énergétique des bâtiments représente aujourd'hui environ 40% de la consommation d'énergie globale au niveau mondial. En fonction des pays, 60 à 80% de cette énergie est utilisée pour chauffer et refroidir nos locaux, ainsi que pour produire de l'eau chaude, précise-t-il d'emblée. Pour ce faire, nous recourons essentiellement à des énergies fossiles et émettrices d'émissions de gaz à effet de serre. » Dans le contexte de la transition énergétique engagée par la Suisse, les géostructures énergétiques représentent une piste intéressante : elles permettent une réduction importante des émissions de CO2 et leur investissement est amorti en quelques années seulement. Pour donner un ordre de grandeur, un tunnel de 500 mètres de long peut couvrir les besoins en chauffage et refroidissement de 200 appartements ! Les géostructures sont parfois capables de produire davantage d'énergie qu'elles n'en nécessitent, comme certaines gares souterraines qui fournissent en énergie les immeubles voisins. Selon le professeur de l'EPFL, toute nouvelle construction devrait être équipée de ces ouvrages, même si on ne prévoit pas de les utiliser immédiatement, car l'énergie puisée dans le sol est gratuite et renouvelable.

L'innovation se cache sous la surface

Les géostructures **énergétiques** (ou thermiques) sont des composantes du **bâtiment** – pieux, fondations, dalles, murs de soutènement, parkings, tunnels – qui sont en contact direct avec la terre et qui peuvent servir de conducteurs de chaleur. L'avantage de cette technologie est qu'elle associe le rôle structurel des ouvrages à l'approvisionnement énergétique, en utilisant le principe de la **géothermie** peu profonde. En hiver, la chaleur est extraite du sol afin de satisfaire les besoins en chauffage et en été, la chaleur est injectée dans le sol afin d'assurer les besoins en refroidissement. Ces équipements peuvent aussi servir à dégivrer le bitume des routes et des pistes d'aéroport, ou à stocker de l'énergie fournie par des **panneaux solaires**. Car au-delà de 5 mètres de profondeur, la température du sol reste constante tout au long de l'année (13° à Lausanne).



Pieux thermiques. Un moyen efficace de couvrir nos besoins en chaleur et en refroidissement.

Il suffit de munir les indispensables structures de la **construction** de tubes dans lesquels un fluide circule, en général de l'eau, de manière à pouvoir échanger de la chaleur avec le terrain. Dès leur construction, les pieux en béton sont par exemple équipés de tubes en plastique, ne générant qu'un surcoût très faible. En résumé, on ne fait qu'ajouter de la valeur à des éléments qui sont de toute façon réalisés. Cette **technologie** peut couvrir jusqu'à 70% des besoins énergétiques des bâtiments. Son efficacité est encore accrue si une pompe à chaleur est couplée aux pieux. Elle présente plusieurs avantages par rapport aux sondes géothermiques classiques : pas de coûts liés à des forages, ni

The *Immorama* journal dedicated an article to energy geo-structures. Professor Laloui has once again presented the merits of energy geo-structures, and how they are revolutionizing our constructions by directly harnessing the renewable energy buried beneath our buildings, that had remained thus far overlooked.

de perte de surface et de **terrain à bâtir**, et surtout, elle permet de fournir le chaud et le froid. Comme les géostructures énergétiques constituent une nouvelle technologie en ingénierie, il est essentiel d'approfondir les connaissances scientifiques à leur sujet et de définir les procédures à mettre en œuvre. Depuis une vingtaine d'années, l'**École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)** s'attelle à cette mission, tout en s'engageant à diffuser le procédé en Suisse et à l'étranger. Lyesse Laloui préconise une meilleure intégration des corps de métier, notamment ceux en charge du génie civil et de l'énergie, couplée avec une forte volonté politique.

“ Cette technologie peut couvrir jusqu'à 70% des besoins énergétiques des bâtiments. ”

Déjà présent à Carouge

Les géostructures énergétiques connaissent un réel essor dans de nombreux pays, comme en témoignent des réalisations variées : Lainzer Tunnel à Vienne, Main Tower à Francfort, One New Change Building à Londres, Shanghai Tower en Chine, etc. Bien qu'elle soit pionnière en matière de recherche, la Suisse reste à la traîne avec une cinquantaine de projets seulement. Le plus connu d'entre eux est le Dock Midfield (Terminal E) de l'aéroport de Zurich-Kloten, mis en service en 2003. Cet édifice repose sur un terrain argileux-limoneux et ses fondations sont constituées de 300 pieux énergétiques, fournissant 85% des besoins en chaleur annuel. Le refroidissement du bâtiment est également réalisé à l'aide des pieux échangeurs. La station CEVA Carouge-Bachet à Genève est équipée en géostructures énergétiques (murs et dalles) et des études sont en cours pour la nouvelle ligne de métro M3 à Lausanne. « En puisant les ressources énergétiques sur les lieux mêmes des constructions, cette technologie contribue à rendre nos **bâtiments** neutres en carbone, voire à énergie positive », conclut avec enthousiasme Lyesse Laloui. De quoi réchauffer les cœurs.

Pourquoi négliger une énergie indigène, renouvelable, durable et neutre en carbone?

February 2019

L'AGEFI

'AGEFI

Pourquoi négliger une énergie indigène, renouvelable, durable et neutre en carbone?

lundi, 25.02.2019

Lyesse Laloui*



Lyesse Laloui

Après la votation du 10 février dernier, des interrogations subsistent. Aujourd'hui, nul ne peut nier l'impact de nos villes, et de nos bâtiments sur l'environnement. Nos constructions sont gourmandes en ressources, que ce soit en territoire ou en énergie. Et, si les milieux construits tendent à occuper un fort pourcentage de notre territoire, ils consomment également près de la moitié de l'énergie primaire en Suisse!

Alors construire mieux, plus dense, plus durable et plus propre, oui mais comment? Depuis plusieurs années, nombres de stratégies ont été conduites, avec des subventions et d'autres aides, pour diminuer la consommation d'énergie, améliorer l'efficacité des systèmes énergétiques et favoriser les énergies renouvelables... certaines plus que d'autres! En effet, un effort certain est consenti pour le développement de l'énergie solaire, qu'elle soit photovoltaïque ou thermique. La plupart des cantons romands favorisent explicitement cette énergie renouvelable dans le cadre de nouvelles constructions, aux dépends des autres types d'énergies renouvelables. Si celles-ci ne sont pas exclues des recommandations ni des discussions, il semble bien qu'elles ne bénéficient cependant pas du tout de la même notoriété.

La dernière votation a mis en évidence le besoin de préserver notre environnement, notre territoire, notre sol, et celui-ci a été plus d'une fois caractérisé comme une «ressource non-renouvelable». Oui et non! N'oublions pas qu'en qualité de ressource énergétique, le sol constitue justement une source renouvelable, durable, neutre en carbone... et aussi indigène. L'énergie provenant du sol, autrement dit la géothermie, est une ressource puissante, au grand potentiel de développement chez nous.

- Urban sprawl has a big impact on the environment. New constructions need numerous resources and hefty amounts of energy, that is why Laboratory of Soil Mechanics, has been working since many years to develop an innovative technology tht uses geothermal energy to heat and cool buildings.

La Suisse est d'ailleurs championne du monde en installations de sondes géothermiques, qui utilisent majoritairement la géothermie de surface. Car l'énergie du sol contenue en surface permet d'approvisionner nos bâtiments en chauffage, eau chaude voir même en climatisation! Ce qui en termes d'usage la place au même rang que l'énergie solaire; alors qu'elle ne soit vraiment pas considérée comme son égale dans les législations cantonales. Et c'est bien là qu'est le problème! Certains diront qu'un panneau solaire thermique est plus simple et moins cher qu'une sonde géothermique qui nécessite un forage assez coûteux. Il ne s'agit pas de le nier... mais de voir l'ensemble du tableau. Car le sol bénéficie, lui, d'une température constante tout au long de l'année, quelles que soient les conditions climatiques. Energie et efficacité sont donc assurées au fil des mois et à n'importe quel moment de la journée. En outre, si les forages coûtent cher, d'autres solutions existent!

Depuis deux décennies maintenant, nous développons à l'EPFL des moyens de rendre nos bâtiments autonomes pour leurs besoins quotidiens en chauffage, en eau chaude et en climatisation, à l'aide de solutions durables, performantes et peu onéreuses. Utiliser les constructions souterraines, à savoir les fondations de nos bâtiments, leurs parkings, nos gares, voire même nos métros pour tirer l'énergie thermique du sous-sol, voilà les technologies disponibles aujourd'hui grâce aux géostrutures énergétiques dont nous préconisons l'utilisation à grande échelle dans toutes les nouvelles constructions.

Alors du solaire oui, mais aussi de la géothermie! Surtout que ces deux énergies combinées améliorent encore davantage le système: rendements augmentés, chaleur stockée dans le terrain et durabilité assurée.

La géothermie de surface, et notamment ces géostrutures énergétiques, ne sont pas la solution à tous nos problèmes, mais presque! Construire durable, c'est surtout construire mieux. Que ce soit en termes d'étalement urbain, d'efficacité énergétique ou d'émissions de gaz à effet de serre, le sous-sol suisse nous réserve bien des surprises. Alors pourquoi tant de mutisme et de favoritisme?

Les géostrutures énergétiques: une énergie renouvelable sous nos pieds

November 2018

TRACÉS



Les géostrutures énergétiques: une énergie renouvelable sous nos pieds

Le Laboratoire de mécanique des sols (LMS) de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) a fait œuvre de pionnier dans le domaine des géostrutures énergétiques. Récemment récompensé par la Fondation de la Banque Cantonale Vaudoise pour ses développements techniques dans ce domaine, il s'engage pour la diffusion à large échelle de ce procédé.

RECHERCHE TRACÉS

La part des bâtiments représente environ 40 % de l'énergie consommée aujourd'hui au niveau mondial. En fonction des pays, 60 à 80 % de cette énergie est utilisée pour le confort thermique des locaux et la production d'eau chaude. Le recours à des énergies fossiles pour cette production de chaleur est responsable d'une grande partie des émissions de gaz à effet de serre. Minimiser l'impact environnemental du bâti est donc primordial; les géostrutures énergétiques représentent une piste intéressante pour y parvenir.

Le principe en est simple: exploiter l'énergie thermique naturellement présente dans le sol (voir encadré La Terre cette machine thermique) grâce à des ouvrages en contact avec celui-ci (fondations d'immeubles, parkings, etc.). Dès quelques mètres de profondeur, la température du sol n'est plus affectée par les conditions extérieures et leurs variations saisonnières: à partir d'une profondeur donnée, elle reste constante. Il est donc possible d'exploiter cette énergie tout au long de l'année, quels que soient les caprices de la météo et ce de manière durable.

Par rapport aux autres systèmes géothermiques, le principal avantage de cette technologie réside dans son intégration dans des structures indispensables à la réalisation d'un projet de construction. Les pieux en béton, par exemple, sont équipés de tubes en plastique avant d'être coulés; il suffit dès lors d'y faire circuler de l'eau pour échanger de la chaleur avec le sol. En hiver, l'eau se réchauffe en captant la chaleur du sol et approvisionne les bâtiments en chauffage. En été, l'eau se refroidit au contact du sol et rafraîchit les bâtiments. La technologie peut ainsi couvrir jusqu'à 70 % des besoins énergétiques des bâtiments au moyen d'énergie renouvelable. Son efficacité est encore accrue si une pompe à chaleur est couplée aux pieux.

En ajoutant un rôle énergétique au rôle structurel des fondations, les géostrutures énergétiques permettent d'optimiser et de multiplier les usages de chaque nouvelle construction, tout en exploitant au maximum les ressources environnementales durables.

Additionner les fonctions structurelles et thermiques

En puisant les ressources énergétiques sur les lieux des constructions, potentiellement dans un rayon de 500 mètres, cette innovation répond aux nouvelles directives européennes et internationales pour des édifices neutres en carbone, voire à énergie positive. Parkings, gares souterraines et même tunnels peuvent servir à des fins énergétiques et bénéficier d'une technologie capable de délivrer de la chaleur mais aussi de dégivrer le bitume des routes ou d'une piste d'aéroport, ou encore, à de plus larges échelles, d'assurer l'alimentation d'un chauffage urbain ou le stockage de

- TRACÉS published a long piece devoted to the activities of the Soil Mechanics Laboratory. This article details how the laboratory educates current and future engineers, conducts research oriented towards technology transfer, and supports the industry through consulting.

chaleur. A des coûts comparables aux autres solutions énergétiques, un quart des nouvelles constructions, en Suisse comme ailleurs, pourraient ainsi être équipées au cours des prochaines années.

Une technologie peu onéreuse

L'énergie puisée dans le sol est gratuite et renouvelable. Les géostrutures énergétiques étant directement intégrées aux indispensables fondations, elles permettent de substantielles économies en comparaison avec d'autres technologies. Contrairement à de simples sondes géothermiques, on évite non seulement les coûts liés à des forages supplémentaires, mais aussi une perte de surface et de terrain à bâtir.

En comparaison avec des fondations classiques, le surcoût de la construction lié à cette technologie est très faible. L'installation des tuyaux dans les géostrutures est rapide, et l'investissement vite amorti grâce à la production d'énergie. En revanche, les coûts associés à la maintenance d'une pompe à chaleur doivent être pris en compte. Mais ceux-ci peuvent être amortis en quelques années seulement.

Du laboratoire à la pratique

Il y a 20 ans, l'EPFL réalisait les premiers tests de pieux énergétiques sur son campus. En 2003, c'est au tour du terminal E de l'aéroport de Zurich d'être équipé de plus de 300 pieux énergétiques. Depuis, le LMS est parvenu à amener cette innovation à maturité et joue un rôle majeur dans l'essor de cette technologie, aujourd'hui mondialement reconnue. En Suisse, une centaine de constructions ont fait le pas. Depuis plusieurs années maintenant, ce sont les dalles, les gares et les tunnels qui suscitent l'intérêt des spécialistes. Le LMS intervient comme expert dans de nombreux projets internationaux et contribue au développement des géostrutures énergétiques, notamment grâce au bureau d'ingénieurs conseils GEOEG. Cette spin-off transfère son expertise afin de proposer des solutions adaptées et optimisées à chaque étape de l'ouvrage, depuis le soutien à la conception architecturale, au monitoring d'optimisation énergétique, en passant par les dimensionnements structurels et géotechniques nécessaires à la prise en compte des variations thermiques dans les ouvrages. L'intégration de géostrutures énergétiques dans un projet de tour reposant sur un parking souterrain de 7 étages dans la Principauté de Monaco, ou encore dans une construction souterraine de 1 km de long en Corée du Sud, est actuellement à l'étude.

Le développement de cette technologie passe aussi par la formation. En 2016, première mondiale, un cours sur les géostrutures énergétiques était donné aux étudiants en génie civil de l'EPFL. Son but était d'initier les futurs ingénieurs à l'analyse et au dimensionnement des géostrutures énergétiques et connaît depuis un vrai succès. En effet, plusieurs projets de diplôme master EPFL ont été réalisés en collaboration avec différents bureaux de la région. Ils ont permis aux futurs ingénieurs civils de travailler sur des projets concrets tout en apportant l'expertise de l'EPFL aux bureaux d'ingénieurs conseils. A titre d'exemple, en Suisse et en France, ces trois derniers semestres, des travaux ont été réalisés sur la faisabilité technique de la mise en place de géostrutures énergétiques dans des gares et des tunnels, pour des projets de grandes infrastructures, ainsi que pour une tranchée couverte d'une nouvelle ligne de chemin de fer.

Auteurs:

Margaux Peltier, ingénieure civile EPF

Alessandro Rotta Loria, Dr Sc. EPF

Lyess Laloui, prof. Dr Sc., Laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL

Chauffer les bâtiments grâce à leurs fondations en béton

January 2018

24heures

6 Immobilier

24 heures | Mercredi 10 janvier 2018

Construction

Chauffer les bâtiments grâce

La géostructure énergétique, en développement à l'EPFL, permet de capter l'énergie du sol sous-jacent d'un édifice. Explications

Laurent Buschini

Chauffer les bâtiments grâce à leurs fondations et à l'énergie contenue dans le sol sous-jacent. L'idée paraît incroyable. Et pourtant cela fait vingt ans que l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) développe la géostructure énergétique, le nom de cette technique qui connaît un certain succès à l'étranger mais qui reste méconnue dans notre pays. Explications avec la figure de proue de ces développements, Lyesse Laloui, professeur à l'EPFL.

Ce n'est pas un hasard si la Haute école a développé la géostructure énergétique. «Nos besoins en énergie ne cessent d'augmenter», explique Lyesse Laloui. Les bâtiments englobent 40% de l'énergie consommée dans le monde. La plus grande partie va pour le chauffage (70%) ou pour la production d'eau chaude (13%). On utilise souvent des moyens fossiles qui dégagent beaucoup de gaz à effet de serre. Réduire cet impact en développant des énergies renouvelables est donc important. Avec la géostructure énergétique, on peut satisfaire la plus grande partie de cette consommation avec une énergie renouvelable en utilisant les fondations des bâtiments.»

Le principe de la géostructure énergétique est simple (voir l'infographie ci-contre): utiliser l'énergie thermique - renouvelable - contenue dans le sol qui se situe sous le bâtiment. «Toute construction possède des fondations, poursuit Lyesse Laloui. Ces dernières sont en contact avec le sol. Les premiers mètres de terrain sont sous l'influence de la température ambiante. Mais, au-delà de 5 mètres de profondeur, la température du sol reste constante tout au long de l'année. A Lausanne, par exemple, elle est de 13 degrés. La géostructure énergétique cherche à tirer profit de cette chaleur cons-



La géostructure énergétique prend appui sur les fondations des bâtiments pour capter la chaleur du sol sous-jacent et l'utiliser pour chauffer ou rafraîchir l'édifice. EPFL/IMAGE DE SYNTHÈSE

Article explains the functioning of energy foundations. By coupling the role of the ground structures with that of the geothermal heat exchangers, energy geostructures such as so-called energy piles, energy walls and energy tunnels can serve as structural supports as well as heating and cooling elements for buildings and infrastructures.

24 heures | Mercredi 10 janvier 2018

Immobilier 7

à leurs fondations en béton

tante. Nous insérons donc des tubes en plastique dans les fondations en construction, avant de couler le béton. Puis nous faisons transiter de l'eau dans les tubes. Le fluide se réchauffe dans le sol. On crée en quelque sorte le radiateur du bâtiment.»

A l'inverse, en été, on peut assurer l'air conditionné pour rafraîchir l'édifice en injectant l'énergie dans le sol. Toutes sortes de fondations peuvent être utilisées: celles des bâtiments, mais aussi, par exemple, les piles d'un pont, les parois enterrées des parkings ou les voûtes des tunnels routiers ou ferroviaires. On ne parle que de nouvelles constructions car il n'est pas possible d'équiper un bâtiment existant en géostructure énergétique, pour des raisons de coûts. Les tubes doivent être posés au moment de la construction des fondations.

Energie peu coûteuse

L'énergie est gratuite et renouvelable puisqu'elle se trouve de manière naturelle dans le sol. Et toute construction nécessite de toute façon des fondations. On ne les construit pas pour la géostructure énergétique. «Cette technique renchérit très peu le coût de construction, assure Lyesse Laloui. Il faut prendre un peu de temps pour poser les tubes de plastique. Et le coulage du béton doit se faire de manière délicate pour ne pas endommager les tubes. L'opération est donc légèrement plus lente.»

La géostructure énergétique a encore de meilleurs résultats lorsqu'on la couple à une pompe à chaleur. «On

tire entre 40 et 60 W par mètre d'ouvrage dans le sol, explique Lyesse Laloui. Avec une pompe à chaleur, on atteint entre 50 et 100 W par mètre d'ouvrage. On peut aussi coupler l'installation avec des panneaux solaires pour stocker l'énergie dans le sol. Bien entendu, la technique est valable pour autant que les fondations soient assez profondes.»

La technique peut aussi servir à d'autres besoins. «Nous pouvons assurer le dégivrage du bitume d'un ta-

«Nous faisons transiter de l'eau dans les tubes. Le fluide se réchauffe dans le sol. On crée en quelque sorte le radiateur du bâtiment»



Lyesse Laloui

Professeur à l'EPFL

blier en équipant les piles d'un pont ou celui de la piste d'un aéroport en dotant les murs d'un nouveau bâtiment d'un aéroport, explique Lyesse Laloui. On peut transporter l'énergie dégagée par le sol dans un rayon de 500 mètres autour des fondations.»

Sous nos latitudes, la géostructure énergétique ne peut pas couvrir entièrement les besoins en énergie tout au long de l'année. Certaines périodes, comme les mois les plus

froids de l'hiver, demandent un complément d'énergie. «On ne peut pas faire plus que le sol peut offrir, admet Lyesse Laloui. Dans des périodes de pic de consommation comme en janvier, il faut prévoir un système d'appoint. Mais elle permet d'économiser 80% de l'énergie consommée par un bâtiment. De plus, on pourrait aussi diminuer drastiquement la quantité d'énergie nécessaire à la vie d'un bâtiment. Par exemple, dans les installations actuelles, l'eau chaude est réglée pour être chauffée à 75 degrés. On pourrait parfaitement réduire la chaleur de l'eau chaude à 55 degrés, ce qui diminuerait le besoin énergétique pour la chauffer.»

Amortissement rapide

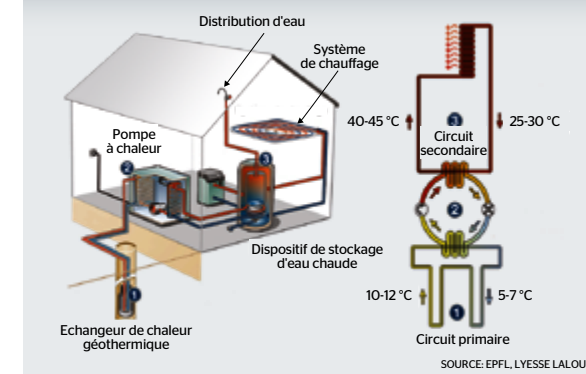
L'investissement de la géostructure énergétique est amorti en 7 ou 8 ans, affirme le professeur à l'EPFL. «Mis à part les coûts de construction supplémentaires, il faut prévoir des coûts de maintenance de la pompe à chaleur, par exemple. La diffusion de la technologie permettra d'accroître les expériences nécessaires pour optimiser encore davantage les connaissances sur la géostructure énergétique. Et elle permettra de réduire les coûts, d'autant si les architectes, les ingénieurs et les constructeurs apprennent à la maîtriser.» Lyesse Laloui estime que plus d'un quart des nouvelles constructions en Suisse pourraient être équipées de cette technique. Le professeur à l'EPFL propose d'ailleurs un cours destiné à un public de professionnels (lire ci-contre).

A l'étranger, la géostructure énergétique connaît un certain succès. La ville de Londres a fait la promotion de cette technique. Elle l'exige même pour toute nouvelle construction publique d'importance. D'autres pays l'ont aussi développée. Ainsi les fondations de la Shanghai Tower, en Chine, en sont dotées. Les 3000 pieux du nouveau siège de Google, en Californie, en seront aussi équipés. Tout comme les nouvelles gares de métro de Paris.

Et en Suisse? L'EPFL a réalisé les premiers tests sur le campus vaudois en 1999, une première mondiale. Elle reste à la pointe dans ce domaine. La Haute Ecole a ainsi développé le seul logiciel utilisé pour dimensionner correctement les infrastructures. Cependant, à peine une cinquantaine de constructions en sont équipées dans notre pays. Il existe notamment une installation dans une gare du CEVA. L'aéroport de Zurich l'a adopté pour son terminal E. Cette rareté tient avant tout à la méconnaissance de cette technique. «On rate des occasions en Suisse, déplore Lyesse Laloui. Il faut expliquer et diffuser l'information auprès des ingénieurs et des architectes. Ces derniers doivent comprendre le fonctionnement de cette technique. Si l'on pouvait dès le départ proposer une variante avec la géostructure énergétique, des maîtres d'ouvrage l'adopteraient.»

Lyesse Laloui se met à espérer: «Lausanne va peut-être construire le M3. Imaginez quel potentiel nous pourrions avoir en équipant ce tunnel de géostructure énergétique!»

Principe de la géostructure énergétique



Une formation à Lausanne

● Faire connaître les bases de la géostructure énergétique aux ingénieurs, architectes, urbanistes et constructeurs, tel est le but du cours organisé par l'EPFL du 20 au 22 mars prochain. La formation s'adresse à des professionnels qui n'ont aucune expérience dans ce domaine comme à d'autres qui ont déjà été impliqués dans ce genre de projet.

Le cours doit permettre de comprendre le comportement des géostructures énergétiques à travers des exemples pratiques. Les participants vont apprendre à calculer la performance

énergétique obtenue à travers le temps. Ils seront aussi initiés à l'analyse et au dimensionnement des installations.

Le cours est donné, entre autres, par le professeur Lyesse Laloui. Différents intervenants viendront échanger leurs expériences. On peut notamment citer Tony Amis, chargé de la partie géostructure énergétique du nouveau siège de Google, en Californie. Le cours est donné en anglais.

Infos sur: www.formation-continue-unil-epfl.ch/formation/energy-geostructures-analysis-design

Stocker la chaleur de l'été en sous-sol

May 2015

Terre&Nature

21 MAI 2015

Nature

RECHERCHE VERTE

Stocker la chaleur de l'été en sous-sol

Les géostructures énergétiques permettent de conserver la chaleur de l'été pour la redistribuer durant l'hiver. Cette méthode développée à Lausanne essaime dans le monde entier.

Utiliser les fondations comme un système de chauffage, il fallait y penser. Directeur de la section de génie civil de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Lyesse Laloui a consacré une bonne partie de sa carrière à mettre au point ce que l'on appelle des géostructures énergétiques. «Toutes les constructions reposent sur des fondations, explique-t-il. Ces piliers qui servent à supporter le poids du bâtiment sont tout désignés pour jouer un rôle de réserve de chaleur.» Cela fait vingt ans que Lyesse Laloui et son équipe de chercheurs étudient la possibilité d'utiliser le sol comme lieu de stockage.

Le système qu'ils ont développé repose sur une pompe à chaleur située dans le bâtiment. Elle fait circuler de l'eau dans un réseau de serpentins, comme pour un chauffage conventionnel. Mais après avoir pris la température de l'air ambiant, elle est envoyée dans les fondations. C'est là, à quelques dizaines de mètres sous la surface du sol, que l'eau passera plusieurs mois, tout en conservant une température élevée. «Imaginons qu'il fasse 20 degrés en surface, résume Lyesse Laloui. Même si l'eau perd un peu de chaleur, sa température sera



Directeur de la section de génie civil de l'EPFL, Lyesse Laloui a développé une technique permettant d'utiliser les fondations des bâtiments pour stocker de la chaleur.

toujours de 15 ou 16 degrés sous terre. Elle chauffe alors le béton du pilier, ainsi que la terre environnante.» Puis, lorsque le besoin se fait sentir, la pompe remonte l'eau. Un processus de compression lui fait gagner quelques degrés et elle est réinjectée dans le circuit de chauffage.

Les avantages de cette méthode, dont l'installation ne provoque qu'un faible surcoût, lui valent de se multiplier, en Suisse, mais surtout à l'étranger. «Dans notre pays, les ingénieurs hésitent à utiliser des techniques qu'ils ne connaissent pas, regrette le

professeur. Pourtant, les propriétaires ont beaucoup à y gagner. Prenez le nouveau terminal de l'aéroport de Zurich: les piliers énergétiques comblent 75% de ses besoins en chauffage. Et le tout gratuitement!» D'ailleurs, les enjeux ne sont pas uniquement financiers, puisque le chauffage des bâtiments est responsable de la moitié des émissions de gaz carbonique en Suisse.

- Terre&Nature published an article on energy geostructures and the advances brought by the LMS in this sector. Prof. Lyesse Laloui and his teams have developed a technique to use building foundations to store heat.

Souffler le chaud et le froid

Soucieux de combattre la frilosité helvétique, Lyesse Laloui encourage les collectivités à franchir le pas. «A Londres, chaque projet de construction publique doit prendre en compte cette alternative», cite-t-il en exemple.

Des géostructures énergétiques pourraient soutenir tous types de bâtiments, de l'usine à la maison individuelle. «Ce qui compte, c'est le volume de stockage de chaleur, soit le nombre et la longueur des pieux. Du coup, cette installation est forcément moins rentable pour une construction de petite dimension.» Justement, à deux pas de son bureau, Lyesse Laloui éprouve désormais ses théories en grandeur nature: le Swiss Tech Convention Center, inauguré en 2014, repose sur 150 pieux dont une partie peut stocker de la chaleur. Bardés de capteurs, ils envoient une multitude de données aux scientifiques.

Lyesse Laloui ne compte pas s'arrêter en si bon chemin. En fin de semaine, il s'envolera pour Abu Dhabi, où il présentera une nouvelle application de son concept: «Si les pieux peuvent conserver de la chaleur, cela fonctionne aussi dans l'autre sens. On peut utiliser ce système pour refroidir les bâtiments lors des périodes de forte chaleur.» Mais tout n'est pas si facile: un sol sablonneux ne conserve pas aussi bien la chaleur que la terre. En laboratoire, l'équipe de scientifiques a donc utilisé une bactérie qui agglomère le sable, le changeant en une roche bien plus utilisable.

Au chapitre des projets, Lyesse Laloui aimerait aussi exploiter la chaleur présente dans les tunnels routiers et ferroviaires, ou encore éviter que le tablier des ponts ne gèle en hiver. A la croisée des intérêts financiers et écologiques, les pieux énergétiques ont un bel avenir.

CLÉMENT GRANDJEAN ■

+ D'INFOS Laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL: lms.epfl.ch

— Les routes intelligentes arrivent en Europe

— April 2014

Bilan

Les routes intelligentes arrivent en Europe

PAR **MATTHIEU HOFFSTETTER**

Une portion de route au centre des Pays-Bas a été équipée pour s'illuminer la nuit en emmagasinant l'énergie le jour. D'autres développements sont attendus dans le domaine des routes intelligentes.



Une peinture expérimentée par le même cabinet d'ingénierie peut réagir à la température ambiante et afficher des idéogrammes en forme de flocons pour signaler un risque de verglas.

Crédits: Image: Studio Roosegaarde

Aujourd'hui la lumière, demain le chauffage et les messages pour les automobilistes. La ministre néerlandaise des transports, Melanie Schultz van Haegen, est venue à Oss (Sud du pays) la semaine dernière pour l'inauguration d'une route innovante. En fait de route, il s'agit d'un tronçon expérimental de 500m de long sur lequel le cabinet d'ingénierie Studio Roosegaarde a fait poser une peinture innovante qui emmagasine l'énergie en journée et la restitue sous forme de lumière la nuit. Une peinture qui n'est pas seulement phosphorescente car elle ne réagit pas à la lumière des phares mais éclaire réellement le tronçon.

Actuellement, les propriétés de cette peinture font qu'une recharge minimale à la lumière du jour permet de diffuser de la lumière pendant un minimum de dix heures en réagissant à la luminosité ambiante. Mais d'autres fonctionnalités sont déjà programmées. Les ingénieurs ont ainsi développé la Dynamic Paint, une peinture qui réagit à la température

- Harnessing renewable energy can have multiple applications. The article in *Bilan* presents intelligent roads, illuminated by solar energy and mentions Laboratory of Soil Mechanics which is also working on the concept of renewable and sustainable energy. The aim is to develop heat-exchange technology and use the heat present in the metro tunnels.

ambiante. L'idée serait alors d'alerter les conducteurs du risque de gel et de verglas lorsque le mercure flirte avec le zéro, en affichant des flocons ou autres idéogrammes sur le revêtement de la chaussée. D'autres fonctions comme l'indication d'un vent fort ou le risque d'aquaplaning sont envisagées.

La chaleur pour dégivrer

Autre fonction "intelligente" de la route: le chauffage qui évite la formation de verglas. Cette technologie n'est pas révolutionnaire: un pont de montagne a été équipé en Suisse grâce à un système d'échange de chaleur intégré dans l'asphalte. «Il concerne un pont dans des conditions très particulières, sujet à de très grands dangers de gel en hiver», expliquait en 2010 Antonello Laveglia, porte-parole de l'Office fédéral des routes (OFROU). Cet équipement se base sur des accumulateurs rechargés par le soleil à la belle saison et qui libèrent l'énergie et donc la chaleur en période de grand froid.

L'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) travaille aussi sur ce concept, notamment le laboratoire des mécaniques des sols. Le professeur Lyesse Laloui se base notamment sur la chaleur qui règne dans les tunnels (jusqu'à 25°C dans les ouvrages les plus longs): «C'est une énergie qui est là, disponible. Notre idée est d'utiliser les barres d'ancrage du tunnel comme échangeur de chaleur. Il s'agit, pour nous, d'un véritable transfert de connaissances. Les outils développés pour les bâtiments nous servent maintenant à faire des simulations numériques de faisabilité».

La recharge par induction

Après le transfert d'énergie dans la chaussée pour chauffer les revêtements, la prochaine étape devrait être le transfert d'énergie en vue de recharger les voitures qui circulent sur la route. Grâce à la technologie de l'induction, des essais sont menés en Allemagne, en Corée du Sud et en Italie pour fournir un complément d'énergie à des autobus électriques alors que ceux-ci circulent. Le Studio Roosegaarde travaille sur ces thématiques également et envisage, là où la topographie le permet, une voie spéciale pour recharger les véhicules électriques par le sol.

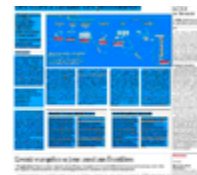
Encore faudra-t-il que les automobilistes intègrent ces changements. Dès les premiers jours suivant la mise en fonction de la smartroad d'Oss, les réseaux sociaux et des médias néerlandais signalaient des cas d'automobilistes ayant éteint leurs phares pour admirer ces lignes de signalisation éclairantes. En pleine nuit sans lumière sur l'autoroute: voilà un comportement qui ne rime pas avec route intelligente...

Des villes à l'assaut des profondeurs

January 2013

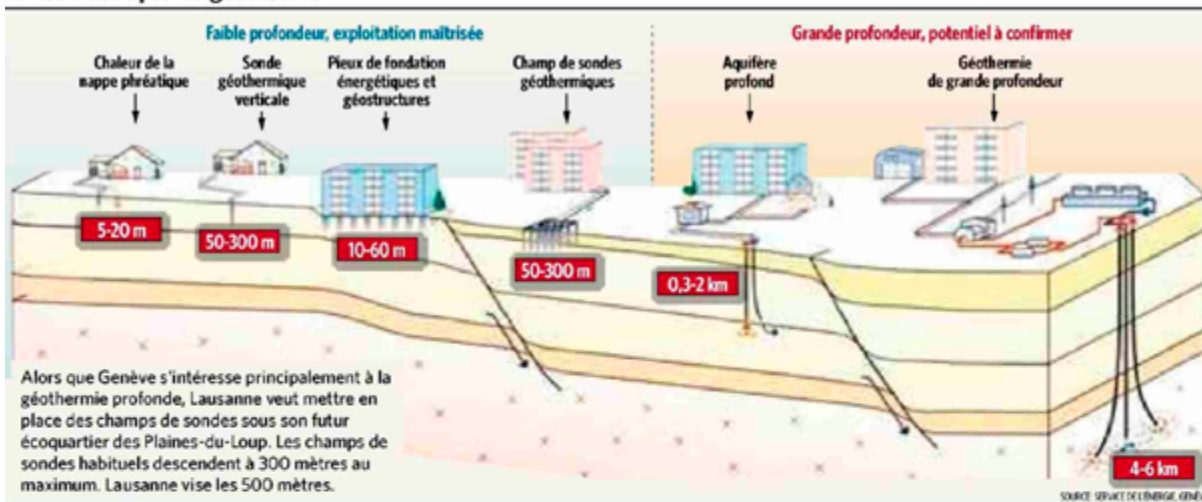
Le Temps

LE TEMPS



Des villes à l'assaut des profondeurs

Six solutions pour la géothermie



> Energie Lausanne met en place un projet pilote de géothermie à 500 mètres. Genève vise même les 4000 mètres
> L'intérêt est grand pour des cités où la place manque

Mathieu Signorelli

100, 200 ou 300 mètres? Pas assez profond pour aller chercher de la chaleur, répondent en chœur Lausanne et Genève. Les deux villes lémaniques visent encore plus bas: 500 mètres pour Lausanne, et même 4000 à Genève. Chacune son défi: la grande profondeur au bout du Léman, et

le manque de place dans la capitale vaudoise. À terme, Lausanne veut chauffer les 2000 logements de son futur écoquartier des Plaines-du-Loup, au nord de la ville.

«Nous manquons d'espace pour mettre en place des installations classiques»

Ses autorités mettront prochainement en service une installation témoin de huit sondes de 500 mètres dans le quartier de Prélaz. L'une d'elles fonctionne déjà. Elles chaufferont 104 appartements. «Notre défi est d'utiliser les technologies traditionnelles permettant de forer à 200 ou 300 mètres, mais pour aller beaucoup plus loin», explique Francesco Barone, ingénieur aux Services industriels

de Lausanne (SIL).

«Nous manquons d'espace en ville pour mettre en place des installations classiques, des champs de sondes nombreuses mais peu profondes, ajoute le spécialiste.

Nous sommes donc obligés de descendre plus bas pour exploiter la chaleur du sous-sol. Et nous avons réussi! Le projet s'appelle Sirius et coûtera 930 000 francs.

Le défi était aussi d'utiliser du matériel qui ne l'avait jamais été pour de telles profondeurs. Si certains forages peuvent descendre à 3000, 5000 voire 10 000 mètres, «ils nécessitent des installations qui prennent parfois jusqu'à un terrain de foot», explique Gerald Augsburger, patron de l'entreprise qui a foré l'installation test de Lausanne.

En faisant descendre de l'eau à 12 degrés, le but est qu'elle remonte à 17 degrés en passant dans de la terre à 26 degrés. Avec

- Le Temps published an article about geothermal energy and its possible implementation in infrastructures of Lausanne and Geneva. Laurent Tacher from the Laboratory of Soil Mechanics highlights the importance of wise exploitation of the geothermal energy, taking in consideration the time of its renewal.

huit sondes, l'addition des forages atteindra 4000 mètres pour 16 kilomètres de tuyaux. Aux Plaines-du-Loup, les chiffres pourraient monter à 80 ou 100 km de forage, et quatre fois plus de tuyaux.

Dans le sol, la foreuse a traversé un mille-feuille, comme le dit Gerald Augsburger: du terrain meuble de gravier, de sable et de terre sur 15 mètres, puis de la molasse sur 500 mètres, pas toujours très consolidée et qui avait parfois tendance à se refermer.

Genève voit plus grand, souligne le Service cantonal de l'éner-

gie, mais en parallèle à la géothermie à grande profondeur, annoncée l'an dernier dans le cadre du projet «Géothermie 2020». «Les enjeux les plus importants pour nous se situent à plusieurs milliers de mètres», explique Olivier Epelly, chef du service. À grande profondeur, Genève a pour but de produire de la chaleur et de l'électricité. Avec une hausse de la température de 3 degrés tous les 100 mètres, la température à 4000 mètres est supérieure à 100 degrés.

A côté de ça, les 500 mètres de Lausanne paraissent modestes. D'autant plus face aux 3000 mètres du projet de géothermie à Lavey (VD), des 2500 mètres d'un autre projet présenté en 2010 sur la Côte ou des 5 kilomètres du puits de Bâle, abandonné après un séisme. «À Bâle, la technologie était différente. Il s'agissait de fracturer le sous-sol, d'injecter de l'eau et de recueillir de la vapeur», note Francesco Barone. Et sur la Côte, les machines utilisées pour les études en 2010 étaient gigantesques, pesant parfois plusieurs dizaines de tonnes (IT du 07.04.2010).

Attention à ne pas refroidir la terre

Pourquoi creuser à 500 mètres sous nos villes, et ne pas se contenter de 100 ou 200? «On commence à aller plus profond pour éviter de trop refroidir le sol en prenant de la chaleur», explique Jon Mosar, professeur en tectonique des plaques et en géodynamique à l'Université de Fribourg.

Le mix énergétique lausannois

Alors que Lausanne se met à chercher de la chaleur loin sous terre, d'où vient son énergie? En été, 40% de son électricité provient de sa centrale hydro-électrique de Lavey, tout à l'est du canton de Vaud. Le chiffre baisse à 25% en hiver. En 2009,

que à l'Université de Fribourg. «Cela entraîne des soucis si une vingtaine de maisons pompent la chaleur à la même profondeur, les unes à côté des autres. C'est d'autant plus le cas en ville avec de nombreux logements à chauffer.»

Lavey a produit 402 millions de kilowattheures. Ses éoliennes «Cime de l'Est» et «Mont d'Ottan», situées en Valais, fournissent respectivement 4,5 et 5,5 millions de kWh par an. Le gaz de son réseau de 720 km provient de l'Union

européenne et de Norvège principalement. Et l'eau dans tout ça? Après traitement, le lac Léman en fournit 60%, soit 20 millions de mètres cubes. 120 sources qui vont du pied du Jura aux Alpes comblent 25% des besoins. Le

chaleur que ce que la régénération naturelle produit. Cette source d'énergie est infinie, mais elle est lente et diffuse.» M. Si.

lac de Bret, sur le plateau, apporte 14%. Le solde, soit 1%, vient d'achats et d'échanges. M. Si.

Pieux énergétiques

February 2012

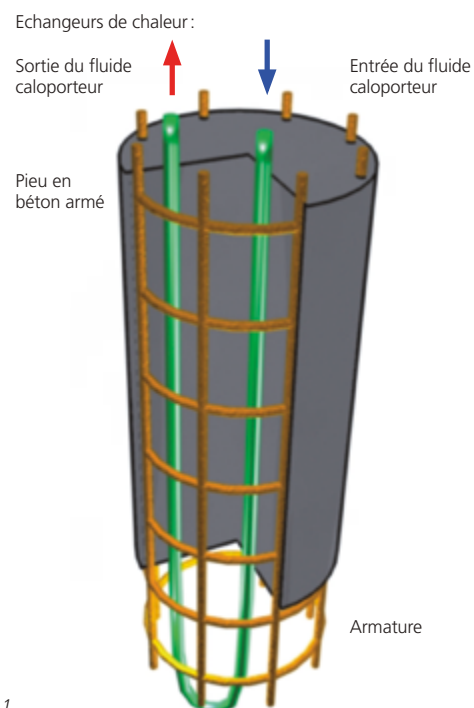
TRACÉS

Pieux énergétiques

ÉNERGIE

On sait aujourd'hui que les géo-structures en contact avec le sol (ancrages des tunnels, dalles de fondation, fondations profondes, murs de soutènement, etc.) peuvent être utilisées pour échanger de la chaleur avec le sol [1]¹. L'utilisation de ces structures à des fins énergétiques induit cependant des sollicitations thermiques additionnelles (contraintes et déformations) qui peuvent être importantes et doivent être prises en compte lors de la conception, notamment dans le cas de pieux de fondation.

L'utilisation de géo-structures énergétiques peut conduire à une forte réduction des émissions de CO₂ d'un bâtiment. Selon les besoins d'exploitation, il est en effet possible soit d'extraire de la chaleur du sol pour chauffer un bâtiment pendant l'hiver (pompe à chaleur), soit au contraire de la réinjecter dans le sol pendant l'été pour assurer sa climatisation.



1

En matière de production de chaleur, il est possible d'extraire de 20 à 100 W par mètre de pieu, des valeurs qui varient en fonction des propriétés du sol, de la géométrie de la fondation et des conditions d'exploitation du système. A titre d'exemple, une sonde géothermique peut produire à long terme entre 75 et 150 kWh/m par an [2].

L'échange de chaleur entre le sol et la structure en béton est assuré par un système de tubes disposés à l'intérieur de cette dernière et au sein duquel circule un fluide caloporteur (fig. 1). Si le sol est suffisamment perméable (écoulement de l'eau souterraine supérieur à 0,5-1 m par jour), le stockage saisonnier de chaleur n'est pas réalisable et l'extraction est découplée de l'injection. Dans ce cas, la température du sol, qui aurait tendance à diminuer lors de l'extraction (hiver), se rééquilibre grâce à l'écoulement souterrain. Il est aussi possible d'utiliser le système pour la climatisation en injectant de la chaleur pendant l'été. Néanmoins, celle-ci risque d'être transportée par convection. Dans ce cas de figure, elle ne restera pas stockée dans le sol et n'est plus réutilisable pour chauffer pendant l'hiver. Si l'écoulement est très faible, une recharge thermique du sol est nécessaire afin de garder la température du sol constante sur le long terme et le système doit donc être utilisé en refroidissement aussi [12].

Le principal avantage de la mise en place de géo-structures énergétiques par rapport à d'autres systèmes géothermiques tient au fait qu'on utilise des éléments structuraux qui sont nécessaires pour des raisons statiques et doivent par conséquent être réalisés indépendamment de toutes considérations énergétiques.

Exemples d'application

Les géo-structures énergétiques se sont développées en Europe et dans le reste du monde à partir des années 1980 [3]. En Suisse, plus d'une quarantaine de projets ont déjà été réalisés dans des écoles, des bâtiments privés ou des constructions publiques. Le plus connu d'entre eux est sans doute le terminal E de l'aéroport de Kloten, mis en service en 2003. Conçu par Amstein et Walthert SA, en partenariat avec ARGE ZAYETA,

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

Fig. 1 : Equipement d'un pieu énergétique

Fig. 2 : Effets thermiques sur un pieu (ΔT variation de température, P charge mécanique, δth déplacement induit par la température, ϕ contraintes additionnelles induites par la température, c' cohésion et ϕ' angle de frottement du sol)

Fig. 3 : La Main Tower à Frankfurt (<www.panoramio.com>)

Fig. 4 : Le One New Change Building à Londres (<www.archsociety.com>)

An article published in *TRACÉS* about energy piles by A. Di Donna and L. Laloui. The article discusses energy geostructures that could be used for heating and cooling of buildings, at the same time reducing emission of the CO₂.

il repose sur un terrain argileux-limoneux et ses fondations sont constituées de 350 pieux forés de 27 m de longueur avec un diamètre compris entre 90 et 150 cm. Parmi eux, 306 sont équipés comme pieux énergétiques et fournissent 85 % du besoin de chaleur annuel. Le refroidissement du bâtiment est aussi réalisé à l'aide des pieux échangeurs [12].

On trouve de nombreux autres exemples de géo-structures énergétiques : le Lainzer Tunnel à Vienne, la Main Tower à Frankfurt (fig. 3) ou encore le One New Change Building à Londres (fig. 4).

Dans le cas du Lainzer Tunnel, la chaleur est échangée avec le sol à l'aide de murs latéraux, faits de pieux de 20 m de longueur et 120 cm de diamètre. Un pieu sur trois étant équipé, le système comprend 59 pieux échangeurs utilisés pour du chauffage [3].

La Main Tower est un bâtiment de 198 m de hauteur qui repose sur 302 pieux forés, dont 262 sont équipés comme pieux échangeurs. La construction inclut en outre 130 pieux énergétiques intégrés dans les murs latéraux de soutien. Le système géothermique a une puissance de chauffage et de refroidissement de 1000 kW. L'énergie disponible pour le chauffage est d'environ 2350 MWh/an et celle de refroidissement de 2410 MWh/an [8].

Le One New Change Building a été inauguré en 2010. Cette construction repose sur 219 pieux énergétiques forés, qui fournissent, combinés avec des puits géothermiques, une puissance de 1638 kW en chauffage et 1742 kW en refroidissement.

Cette technologie commence aussi à se s'implanter aux Etats Unis et en Asie, à l'instar de ce qui se fait pour la Shanghai Tower, actuellement en construction. Cette tour, qui sera la plus haute de Chine avec ses 630 m, reposera sur 2000 pieux de 86 m de long et 1 m de diamètre, dont une centaine seront des pieux énergétiques.

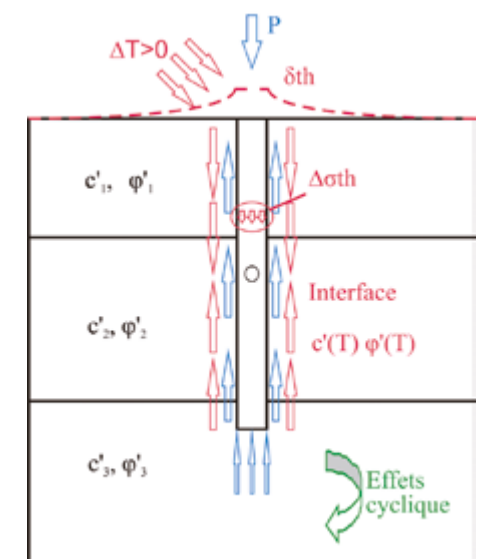
Des effets peu connus

Malgré le nombre croissant de géo-structures énergétiques déjà opérationnelles, leur conception reste principalement basée sur des recommandations. Il n'existe pas encore de normes permettant un véritable dimensionnement géotechnique ; cette carence est principalement imputable aux connaissances encore limitées du comportement thermomécanique de ce type de structures.

L'utilisation de fondations pour garantir l'échange de chaleur avec le sol engendre une modification des variations de température du sol et de la structure, un phénomène qui n'est pas sans conséquence sur le fonctionnement global du système (fig. 2). Les pieux énergétiques sont ainsi soumis à un chargement thermomécanique qui se traduit par des déformations supplémen-

taires. En s'opposant partiellement à ces déformations, le sol de fondation génère alors des contraintes additionnelles dans les pieux. De plus, les variations cycliques de température, imposées par les pieux sur le sol, ont aussi un effet sur le comportement thermomécanique du sol, en termes de déformation et résistance au cisaillement.

Finalement, il convient de signaler le rôle important joué par les effets de groupe dans la conception de fondations énergétiques. Si on imagine par exemple de chauffer un seul pieu situé au sein d'un groupe, sa dilatation thermique sera contrariée par la présence des autres pieux qui, du fait de leur température constante, ne se dilateront pas avec lui ; un phénomène qui sera à l'origine de contraintes thermiques encore plus élevées dans le pieu en question.



2



3

4

— Pieux énergétiques

Sollicitations supplémentaires

Lorsqu'elle est libre de se déformer, une barre en béton se dilate sous l'effet d'une augmentation de sa température ou se contracte en cas de refroidissement. Les fondations profondes de type pieux ne sont toutefois pas à même d'accepter librement de tels mouvements. Prisonnières qu'elles sont du sol dans lequel elles sont construites (efforts de frottement le long des pieux), leurs extrémités sont en outre partiellement bloquées, par la présence du bâtiment à la tête du pieu et, parfois, par une couche rigide située à leur base (effet de pointe). Leur déformation thermique est par conséquent partiellement empêchée, une situation qui se traduit par une contrainte additionnelle qui doit être considérée comme une charge supplémentaire appliquée au pieu. De plus, la part de déformation thermique qui n'est pas empêchée se traduit par des déplacements additionnels qui concernent aussi bien la fondation que la structure qui repose sur elle.



Fig. 5 : Equipement d'un pieu énergétique (Photo LMS-EPFL)

L'ordre de grandeur et la distribution des contraintes et déformations thermiques des pieux dépendent ainsi à la fois du type de sol (angle de frottement) dans lequel ils sont réalisés et des conditions de déplacement qui sont imposées à leurs extrémités [9]. Dans des conditions normales, un pieu soumis à une sollicitation verticale subit des contraintes normales de compression qui l'amènent à subir un tassement qui dépend essentiellement de l'intensité de la charge imposée. Si un tel pieu est soumis à une diminution de température, il se contracte et toute forme d'opposition à cette contraction (sol, structure, ...) se traduit par une contrainte additionnelle de traction. Dans ce cas, la répartition des déformations du pieu sur sa longueur montrent que sa partie supérieure a tendance à s'enfoncer vers le bas alors que la partie inférieure tend à bouger vers le haut. Il existe donc un point sur la longueur du pieu qui ne bouge pas : c'est le point nul. En outre, dans la partie supérieure du pieu, le frottement d'interface généré par les mouvements thermiques est mobilisé dans la même direction que celui pour la charge mécanique alors que, dans sa partie inférieure, le frottement s'exerce dans la direction inverse. Symétriquement, lorsque le pieu se réchauffe, la dilatation empêchée se traduit par une contrainte additionnelle de compression. Dans ce cas, la déformation du pieu est telle que sa partie supérieure bouge vers le haut, alors que sa partie inférieure tend à s'enfoncer vers le bas.

En conclusion, on constate que le chargement thermique des pieux induit des contraintes et des déformations additionnelles qui influencent diversement la stabilité et les tassements de la structure.

Comportement thermomécanique des sols

La réponse des sols à une charge thermique joue elle aussi un rôle important dans le comportement des géo-structures énergétiques. Selon l'historique de chargement des matériaux qui le composent, la réponse du sol à des variations de température peut être contractante ou dilatante. En particulier, on différencie un sol normalement consolidé, pour lequel la charge mécanique actuelle correspond à la charge maximale à laquelle il a été soumis, d'un sol sur-consolidé, qui a été soumis à une charge supérieure à l'actuelle. C'est ainsi que, en cas d'échauffement, des sols normalement consolidés montrent une contraction quasiment irréversible en cas de refroidissement. A l'opposé, toujours en cas de réchauffement, les sols sur-consolidés montrent une dilatation quasi réversible lors du refroidissement [5].

En outre, la dépendance de l'angle de frottement vis-à-vis de la température [7] et l'augmentation du module élastique initial [4] sont des aspects à considérer dans un dimension-

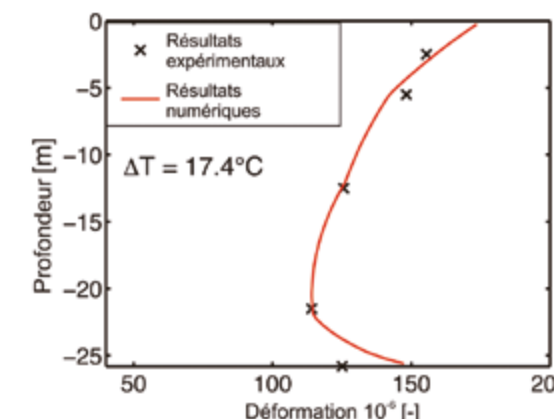
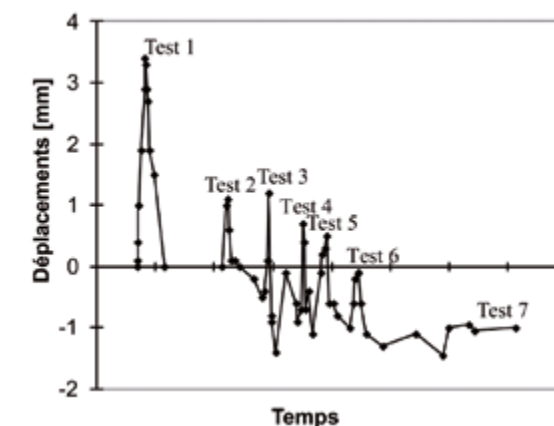
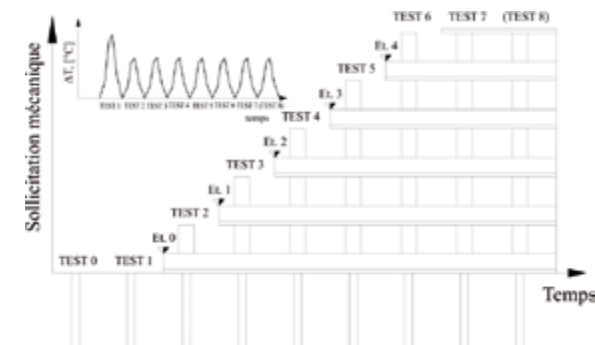
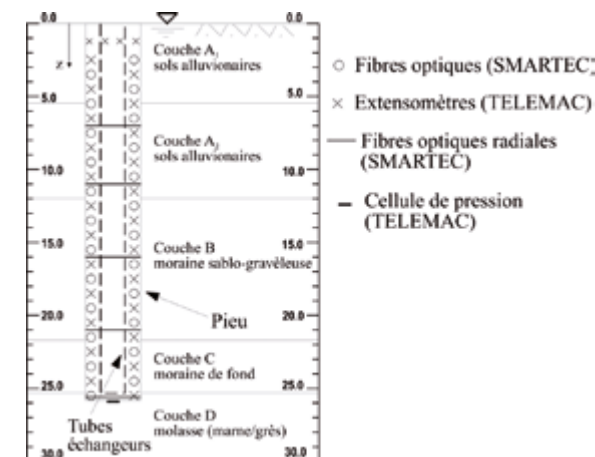


Fig. 6 : Situation géologique et équipement du pieu-test de l'EPFL [10]

Fig. 7 : Programme de sollicitations thermomécaniques sur le pieu-test de l'EPFL [10]

Fig. 8 : Déplacement du pieu-test induit par la charge thermomécanique appliquée [10]

Fig. 9 : Comparaison entre les résultats expérimentaux et numériques (Thermo-Pile) des déformations thermiques d'un pieu

nement. Il a ainsi été montré que la température peut avoir un effet sur l'angle de frottement de pic, tandis que l'angle de frottement à l'état critique reste constant même pour des températures très élevées. Concernant le module élastique, un certain nombre d'études expérimentales ont montré que l'échauffement produit une augmentation de la rigidité initiale du sol, qui est moins importante pour des états de contraintes supérieures.

Evaluation in situ du comportement de pieux énergétiques

Les essais expérimentaux in situ sur des pieux équipés pour des échanges de chaleur constituent un moyen très intéressant pour étudier le comportement thermomécanique des pieux énergétiques. C'est ainsi qu'un essai in-situ a été réalisé sur le campus de l'EPFL en 1998 [10]. Le pieu-testé a un diamètre de 88 cm et une longueur de 25,8 m. Il a été foré dans un sol dont le profil géologique est représenté sur la figure 6, où on voit aussi l'instrumentation adoptée pour la mesure des déformations, des températures et de la charge en pointe. Le pieu a été soumis à des cycles d'échauffement et refroidissement, avec des variations de température entre 10 et 35° C, sous des charges mécaniques correspondant à différentes phases de la construction du bâtiment (fig. 7).

Parmi les résultats de ce test, on soulignera le fait que le degré de liberté du pieu (ratio entre la déformation thermique mesurée et celle qu'on aurait si le pieu était libre de se déformer thermiquement) diminue avec l'augmentation de la charge mécanique et que la déformation mesurée était thermo-élastique. De plus, on a observé que les déplacements dus à la température étaient du même ordre de grandeur de ceux induits par la charge mécanique (fig. 8). Enfin, les contraintes thermiques induites étaient importantes au regard des contraintes mécaniques.

Cependant, il faut noter que le pieu-testé était le seul à être chauffé parmi les autres pieux de la fondation. En raison de l'effet de groupe évoqué plus haut, sa déformation thermique était probablement plus contrariée que dans un cas réel, avec comme conséquence que ses contraintes thermiques additionnelles étaient accrues.

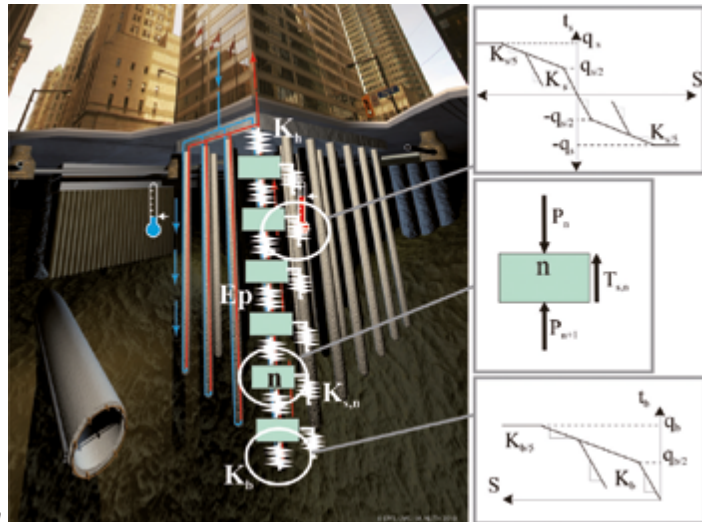
Thermo-Pile : un outil pour le dimensionnement des pieux énergétiques

L'expertise acquise au Laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL a permis de développer un outil informatique de dimensionnement des pieux énergétiques, Thermo-Pile [9]².

² <http://lms.epfl.ch/thermopile-fr>

Pieux énergétiques

Fig. 10: Méthode de transfert de charge: E_p module de Young du pieu, K_b , K_h et K_{si} rigidités de base, de tête et latérale, s déplacements, T_i et t_j force et contrainte transmise à l'interface et q_b et q_s résistance de base et latérale du pieu



A partir des paramètres standards du sol (angle de frottement et cohésion), il permet de calculer les effets induits par la température sur un pieu isolé, en terme de contraintes et de déformations.

Thermo-Pile repose sur la discrétisation d'un pieu en un certain nombre d'éléments, ce qui permet de tenir compte de plusieurs couches de sol qui présentent des différentes propriétés. L'interaction entre la structure et le sol est modélisée par des ressorts qui ont un comportement elasto-plastique (fig. 10). La déformation du pieu est considérée comme thermo-réversible. Différentes lois de transfert de charge sont disponibles pour décrire à la fois la relation entre le déplacement latéral et le frottement latéral ainsi que celle entre le déplacement à la base du pieu et la charge transmise à la base du pieu [6]. Le logiciel a été validé sur la base de tests in situ. La figure 9 illustre la comparaison entre les mesures expérimentales et les résultats numériques en termes de contraintes pour le pieu-testé à l'EPFL, pour une variation de température de 17,4° C allant de 16,6° C à 34° C.

Une technologie en devenir

L'exploitation énergétique des géo-structures représente une nouvelle technologie en plein développement, en Suisse et à l'étranger. Le nombre de structures qui reposent sur des pieux échangeurs augmente exponentiellement et ne semble pas s'arrêter. De nombreux nouveaux projets de géo-structures énergétiques sont en cours de réalisation. Comme il s'agit d'une nouvelle technologie de construction, les connaissances scientifiques nécessaires doivent être acquises. Dans ce sens, de nombreux projets de recherche et d'autres tests in situ sont aujourd'hui en cours. Le Laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL continue à s'engager dans ce domaine. Récemment, un nouveau site expérimental a été conçu dans les fondations du nouveau centre des congrès de l'EPFL. Il inclut quatre pieux-test, entièrement équipés et instrumentés, qui permettront d'investiguer la réponse de ce type de fondation sous différentes configurations et d'acquérir des connaissances majeures sur leur comportement.

Alice Di Donna, ing. civil Politecnico di Torino, doctorante EPFL, alice.didonna@epfl.ch

Lyesse Laloui, ing. civil ENTP, dr Prof. EPFL, lyesse.laloui@epfl.ch

Laboratoire de mécanique des sols (LMS), EPFL, CH – 1015 Lausanne

Références

- [1] ADAM D., MARKIEWICZ R., «Energy from earth-coupled structures, foundations, tunnels and sewers», *Géotechnique*, 59, N° 3, 2009, pp. 229-236
- [2] BOËNNEC O., «Piling on energy», *Geodrilling International*, March 2009, pp. 25-28
- [3] BRANDI H., «Energy foundations and other thermo-active ground structures», *Géotechnique*, 56, N° 2, 2006, pp. 81-122
- [4] BURGHIGNOLI A., DESIDERI A., MILIZAINO S., «A laboratory study on the thermo mechanical behaviour of clayey soils», *Canadian Geotechnical Journal*, 37, 2000, pp. 764-780
- [5] CEKEREVAC C., LALOUI L., «Experimental study of thermal effects on the mechanical behaviour of a clay», *International Journal of Numerical and Analytical Method in Geomechanics*, 28, N° 3, 2004, pp. 209-228
- [6] FRANK R., ZHAO S.R., «Estimation par les paramètres pressiométriques de l'enfoncement sous charge axiale de pieux forés dans des sols fins», *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, No. 119, Paris, 1982, pp. 17-24
- [7] HUECKEL T., FRANÇOIS B., LALOUI L., «Temperature dependent internal friction of clay in a cylindrical heat source problem», *Geotechnique*, 61, 2011, p. 124
- [8] KATZENBACH R., RAMM H., WABERSECK T., «Recent developments in foundation and geothermal engineering», 2nd International Conference on New Developments in Soils Mechanics and Geotechnical Engineering, 18-30 May 2009, Near East University, Nicosia, North Cyprus.
- [9] KNELLWOLF C., PERON H., LALOUI L., «Geotechnical analysis of heat exchanger piles», *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, volume: 137, Issue 10, 2011, pp. 890-902
- [10] LALOUI L., MORENI M., VULLIET L., «Comportement d'un pieu bi-fonction, fondation et échangeur de chaleur», *Canadian Geotechnical Journal*, 40, 2003, pp. 388-402
- [11] LALOUI L., NUTH M., VULLIET L., «Experimental and numerical investigation of the behaviour of a heat exchanger pile», *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 30, N° 8, 2006, pp. 763-781
- [12] SIA, «Utilisation de la chaleur du sol par des ouvrages de fondation et de soutènement en béton», Guide pour la conception, la réalisation et la maintenance, Société Suisse des ingénieurs et des architectes, Documentation SIA DO 190, 2005

Estrarre calore direttamente dal sottosuolo. L'esperimento del Politecnico di Losanna

February 2012

La Regione Ticino

Extracting the heat from the ground, an article published by the Swiss Italian newspaper *La Regione Ticino*. The experiments run in the Laboratory of Soil Mechanics were the world's first.

Date: 02.02.2012

laRegioneTicino

La Regione Ticino
6500 Bellinzona
091/ 821 11 21
www.laregione.ch

Genre de média: Médias imprimés
Type de média: Presse journ./hebd.
Tirage: 32'489
Parution: 6x/semaine



N° de thème: 999.56
N° d'abonnement: 1086739
Page: 2
Surface: 16'304 mm²

Il caso

Estrarre calore direttamente dal sottosuolo. L'esperimento del Politecnico di Losanna

Per riscaldare un edificio con il minor dispendio energetico possibile, basta utilizzare le sue fondamenta per estrarre il calore dal sottosuolo. L'idea si sta facendo strada grazie in particolare a un laboratorio del Politecnico federale di Losanna, vero e proprio pioniere in questo campo. Un recente articolo del sito d'informazioni swissinfo.ch ha riportato all'attenzione pubblica quanto è importante il calore del sottosuolo per il risparmio energetico.

Lo scorso gennaio, una schiera di specialisti mondiali nelle «geostrutture energetiche» si sono riuniti su invito del professore Lyesse Laloui, direttore del laboratorio di meccanica del suolo del Politecnico federale di Losanna, per un seminario cofinanziato dalla National science foundation americana. L'idea di base è talmente semplice da sembrare quasi banale eppure la posta in gioco è enorme. Senza saperlo, infatti, noi tutti viviamo su un'autentica fornace. Pur non conoscendo la temperatura esatta del centro della Terra, il 99 per cento della massa del nostro pianeta ribolle letteralmente sotto i nostri piedi a oltre mille gradi centigradi. Più si scende in profondità e più la temperatura sale. Poiché ogni costruzione di una certa importanza possiede fondamenta più o meno profonde, è sufficiente inserirvi dei tubi in cui scorre un fluido che trasmette bene il calore (detto anche fluido termovettore) per recuperare questa energia termica tramite delle pompe di calore.

Il sistema funziona sia nei pali di fondazione di grandi

immobili o ponti, sia negli ancoraggi o nelle pareti di tunnel o scantinati di ville private. Nelle città dove manca lo spazio per posare delle serpentine che corrono in orizzontale nel sottosuolo, è perfino la soluzione ideale. Le geostrutture energetiche sono opere che sfruttano la geotermia a bassa energia, ossia il calore esistente tra gli 1 e i 100 metri sotto la superficie terrestre. A queste profondità, la temperatura resta pressoché stabile tutto l'anno attorno ai 10-12 gradi centigradi. Non è molto, ma per una buona pompa di calore è più che sufficiente per riscaldare un edificio impiegando il sottosuolo come sorgente di calore. Tale processo può funzionare anche all'opposto per raffreddare l'edificio durante l'estate. Nulla a che vedere quindi con la geotermia profonda che prevede la perforazione di pozzi profondi fino a cinque chilometri e l'utilizzo dei 150-200 gradi centigradi di temperatura ambiente per produrre vapore che aziona delle turbine elettriche. Inoltre, con le geostrutture energetiche, il rischio di provocare un terremoto come quello verificatosi nel 2006 a Basilea (3,4 gradi sulla scala Richter) in seguito alle trivellazioni per il progetto "Deep Heat Mining" è nullo. L'idea di integrare nelle fondamenta degli edifici dei tubi contenenti un fluido termovettore è vecchia tanto quanto le pompe di calore che rendono possibile lo sfruttamento di questi pochi gradi. Al Politecnico di Losanna sono stati però i primi a testare il comportamento di questo tipo di fondamenta in condizioni reali.

Heat from the ground, it's there for the taking

December 2011

swissinfo.ch

SWI **swissinfo.ch**

Heat from the ground, it's there for the taking

By Marc-André Miserez



Before sinking the foundation into the ground, pipes are integrated into the frame for the concrete

(epfl)

To heat a building using the least energy possible, simply use its foundations to draw heat from the earth. It's an idea gaining traction thanks to a Swiss laboratory.

In April, Lyesse Laloui, head of the Laboratory of Soil Mechanics at the Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL) will host a meeting of world specialists in "energy geostructures" for a workshop that has the support of the American National Science Foundation.

EPFL were the first to test in real conditions the behaviour of heat transfer pipes integrated into the foundations of buildings.

Humans live on a furnace, and although the exact temperature of the centre of the earth is unknown, 99 per cent of the earth's mass beneath our feet is cooking away at 1,000 degrees centigrade. The more we dig, the more the temperature increases.

Prof. Lyesse Lalou, was interviewed by Marc-André Miserez from swissinfo.ch on 21st December 2011 about energy geostructures. The stakes are high and the world's leading specialists in the field will gather at the EPFL in April 2012 for a dedicated workshop.

Given that even the most unimportant construction needs foundations buried in the earth, it is possible to integrate them with tubes containing a liquid which can transport heat and thus recover thermal energy via heat pumps.

It's a system which works equally well in foundations for large buildings, pylons for bridges, in walls of tunnels or basements of houses. In urban environments where there is little space to run heating coils in the ground, it's an ideal solution.

Near surface geothermal energy takes heat from a field from up to 100 metres below the earth's surface. At these depths, the temperature remains stable at about 10 or 12 degrees Celsius all year round. It's not much, but a good heat pump is pretty much all that is needed to heat a building from the earth. The process can also function in the reverse – cooling the building in the summer.

It is a different concept to that of deep geothermal energy in which steam needed to power electric turbines is gathered from up to five kilometres into the earth's crust. And energy geostructures remove the risk of causing an earthquake as happened in Basel in 2006, when tests for the Deep Heat Mining project caused an earthquake that measured 3.4 on the Richter scale.

Centre of excellence

The idea of integrating heat transfer pipes into the foundations of buildings is as old as the heat pumps which make it possible to exploit these few degrees.

"We've been doing it for the last 30 years," Laloui told swissinfo.ch. "But it is being done in an empirical manner. Here at the EPFL, we were the first to test the behaviour of such foundations in real conditions."

"What you have to consider is that you're going to heat and cool the foundations and the earth around them, so the materials will expand and contract," Laloui said. "If the building is constructed on clay, the soil will shrink when it is heated but will not revert to its original size when cooled."

To measure these kinds of movements, the EPFL drilled the first energy stakes in the world entirely dedicated to tests more than a decade ago.

"We are the only ones to have developed software for architects and engineers to measure this kind of thing," added Laloui.

With this expertise, the EPFL is hoping to have geothermal heat transfer systems incorporated into the foundations of the planned Museum of Fine Arts in Lausanne and the Riviera-Chablais hospital in Rennaz.

In the first case, the desire to find ecological solutions for energy supply is stipulated in the tender process. In the second, the EPFL is counting on its vice-president Francis-Luc Perret, a member of the establishment committee for the planned hospital, to push the idea.

● — Heat from the ground, it's there for the taking

Way of the future

For the moment however, neither architects nor developers are flocking to still largely misunderstood technology, preferring to stick with established solutions for heating and cooling.

"If they have to gamble on economising energy consumption over the next 50 years, but compromise their chances of getting the project because the technology is more expensive, then it doesn't seem to them to be a most fundamental [need]," said Laloui.

"It's up to political leaders to provide the impetus," he said. "The Federal Energy Office has made a lot of effort, but now it's up to the cantons and local councils to promote this technology. But I think we're heading in the right direction."

Taking the example of Britain, the number of buildings which draw energy from the earth through the foundations has increased over the last five years from a few hundred buildings to more than 5,000.

And it's not just by chance that it's happened – the mayor of London has issued a recommendation that all new public buildings should be built on foundations equipped with heat transfer systems.

Again, the challenge is significant. Around half of all the energy consumed in Switzerland is used to heat buildings and produce hot water.

Although there is no statistical study on the subject, it is not hard to imagine the potential such technology has to significantly reduce energy consumption and carbon dioxide emissions.

The green terminal

Inaugurated in 2003, terminal E of Zurich Airport is the most famous example among the around 40 buildings in Switzerland which use energy producing foundations.

500 metres long and 30 metres wide, it rests on 350 concrete piles driven 30 metres into the earth, including 306 which are equipped with cooling pipes.

In the summer, the cold drawn from the ground enables the building to be air-conditioned without the need of a heat pump.

The heat that is injected into the ground is retrieved in winter and increased to 30-40 degrees by a heat pump.

In total, 75 per cent of the energy used for heating and cooling the terminal comes from the foundations.

Geothermal energy in Switzerland

2640 gigawatt hours (GWh) is the total heat production from the ground in Switzerland in 2010.

It is 19 per cent more than in 2009, but still a fraction of the energy produced and consumed each year.

Source: Swiss Geothermal Society

(Translated from French by Sophie Douez), swissinfo.ch

Optimale Auslegung ergibt besseren Nutzen

Mars 2011

Geothermie.ch

Optimale Auslegung ergibt besseren Nutzen

Im Labor für Bodenmechanik an der EPFL in Lausanne erarbeitet ein Forschungsteam konstruktive Empfehlungen zur optimalen und zuverlässigen Auslegung von Energiepfählen. Dazu gehört auch die Entwicklung eines neuen Berechnungsprogramms.

Für Gebäude wird in der Schweiz beinahe die Hälfte des gesamten Energieverbrauchs eingesetzt. Heizung und Kühlung gehören zu den wichtigsten Verursachern der CO₂-Emissionen. Die Herausforderung besteht deshalb, die Umweltauswirkungen des Gebäudeparks zu verringern und gleichzeitig den Einsatz erneuerbarer Energien zu verstärken. Das Labor für Bodenmechanik an der EPFL in Lausanne erforscht und entwickelt deshalb Methoden zur Nutzung von Erdwärme mit den vorhandenen Geostrukturen im Boden.

Pfähle dienen der Unterstützung

Pfähle sind Teil dieser Geostrukturen und werden im Allgemeinen als Gebäude- und Brückenfundamente eingesetzt, um umfangreiche Senkungen der oberen Strukturen zu vermeiden, sowie bei Baukonstruktionen im Meer. Sie nehmen die hohen Lasten der Baukörper auf und überwinden schlechten Baugrund. Bei der Planung von Geostrukturen sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Erd- und Grundwassersituation
- Installationsmethode
- Verhalten und Sicherheit des Gebäudes
- Auswirkungen auf die Umwelt usw.

Es besteht ein Optimum zwischen der Pfahlkonzeption, den Pfahlabständen und der Gestaltung der tragenden Struktur des Gebäudes.

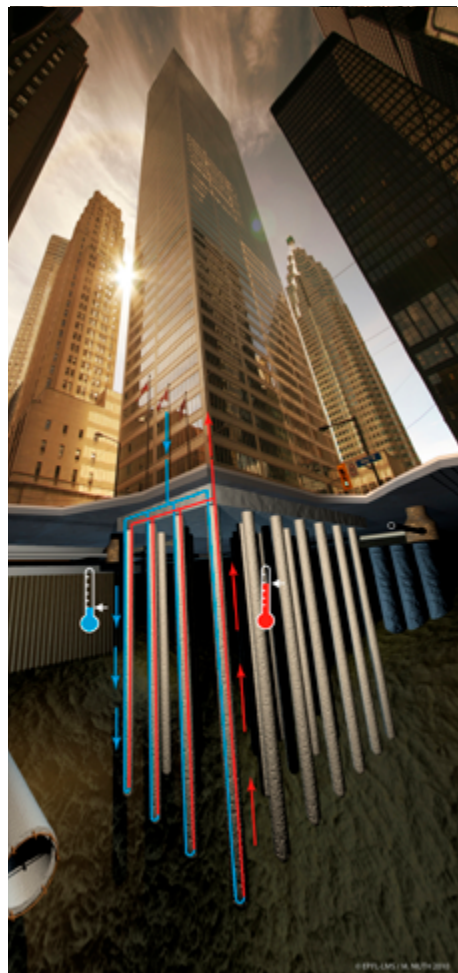
Zum Einsatz kommen Pfähle ohne Aushub des Untergrunds (z.B. Rammpfähle). Hierzu werden vorfabrizierte Pfähle verwendet. Bei sandigem Untergrund wird dieser beim Einbringen des Pfahles komprimiert. Bei der anderen Pfahlversion wird die Erdmasse zunächst ausgehoben oder ausgebohrt. Danach giesst man Beton in das entstandene Loch und stellt so den Pfahl her (z.B. Ortbetonpfähle). Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal betrifft die Lage eines Pfahls. Der eine stützt sich auf felsigem Untergrund auf, während die andere Version im Untergrund «fixiert» ist und nur durch den seitlichen Widerstand hält.

Vielzahl an Geostrukturen ist im Einsatz

Geostrukturen haben die Aufgabe, als Fundamente zu dienen und die Stabilität von Konstruktionen, Infrastrukturen und Abstützungen zu gewährleisten. Auch diese Elemente können als Wärmetauscher und Energiespeicher ge-

nutzt werden. Sowohl bei Energiepfählen als auch anderen Formen von Geostrukturen werden Absorberrohre eingebaut, mit welchen ein Primärkreislauf realisiert und der Energiegewinn zur Wärmung und Kühlung von Gebäuden und Infrastrukturen eingesetzt werden kann. Im Allgemeinen nutzt man die saisonale Speicherfähigkeit des Untergrunds aus und schaltet nach dem winterlichen Wärmeentzug im Sommer auf das Free-cooling-System, bei welchem der Untergrund wieder thermisch aufgeladen wird.

Vorgefertigte Pfähle für das direkte Einbringen in den Untergrund sind in der Regel dünner, weisen nur ein einziges U-Rohr auf. Aufgrund der Beschädigungsgefahr dieser Rohre nehmen die



> Prof. Dr. Lyesse Laloui
> Alice Di Donna
EPFL – ENAC – LMS
CH-1015 Lausanne
lms@epfl.ch
<http://lms.epfl.ch>

>> Geostrukturen bieten in Agglomerationen interessante Wärme- und Kältepotenziale.

>> Les géostructures offrent des potentiels de chaleur intéressants dans les agglomérations.

Geothermie.ch presented an article about energy piles and Laboratory of Soil Mechanics' research on the topic. The laboratory's team of researchers developed recommendation about optimal installation of energy piles. Researchers worked also on elaborating a new calculation program.

INSERAT

Heizen und Kühlen mit Erdwärme und Erdkühle

Pfahlfundierungen, Schlitzwände und Fundamentplatten lassen sich mit dem von **ENERCRET** entwickelten System zum Heizen u. Kühlen von Gebäuden einsetzen.

Das **ENERCRET** - System findet vom Einfamiliengebäude bis zum Bürokomplex Verwendung.

ENERCRET bietet:

- Beratung
- Planung
- Simulation
- Installation

ENERCRET

- 25 Jahre Erfahrung
- 500 Projekte im In- und Ausland

ENERCRET GmbH
Bundesstrasse 20
A - 6832 Röthis

www.enercret.com
enercret®

gebohrten und vor Ort gegossenen Pfähle mit grossem Durchmesser und somit mehreren Absorberrohren an Bedeutung zu.
Leistungsannahmen:

- Energiepfähle Durchmesser 0.3 – 0.5 m:
40 – 60 W/m
- Energiepfähle Durchmesser > 0.6 m:
35 W/m² Erdkontaktfläche
- Schlitzwände (Diaphragm Walls):
30 W/m².

Thermische Beanspruchungen sind wesentlich

Lyesse Laloui, Direktor des Labors, sagt: «Es sind in der Praxis Berechnungswerkzeuge vorhanden, mit denen die Auslegung der Pfähle und ihrer Abstände entsprechend den vorhandenen Gewichten, der Beschaffenheit des Untergrunds und den notwendigen Materialien durchgeführt werden kann. Wir wollen aber weiter gehen. Ziel unserer Studien sind Empfehlungen für die Auslegung von energetisch genutzten Pfählen, also Energiepfählen, welche einerseits die bauphysikalischen und geologischen Bedingungen erfüllen müssen, andererseits aber mit thermischen Belastungen konfrontiert werden. Es gilt nämlich zu beachten, dass Betonpfahl und Untergrund von den hohen Temperaturschwankungen gegenseitig beeinflusst bzw. verändert werden.»

Seit den frühen 1980er-Jahren werden Fundamentelemente geothermisch genutzt, vor allem in Deutschland, Österreich, England und der Schweiz, aber auch zunehmend in Japan, Kanada, Italien, Holland usw. In der Schweiz gehören der Terminal E des Flughafens Zürich, die Primarschule in Fully sowie das Pago-Gebäude in Grabs zu den frühen Leuchtturmprojekten. In Österreich werden erfolgreich Tunnelanlagen energetisch genutzt (Lainzer-Tunnel, U2/2 Metrostation in Wien usw.).

Die SIA-Dokumentation 190 nennt einige Anforderungen an Geostrukturen: Innentemperaturen müssen positiv sein, die Oberfläche zwischen Pfahl und Erde darf nicht einfrieren usw. Das thermomechanische Verhalten des Erdreichs war aber stets eine fundamentale Herausforderung für Geotechnik-Ingenieure. Das Verständnis dieser Zusammenhänge bildet jedoch einen wesentlichen Aspekt der Gestaltung von Geostrukturen.

Erforschung des Bodenverhaltens

Alice Di Donna, Doktorandin am LMS, meint: »Während einige Erkenntnisse zum Verhalten von Lehm bei Temperaturen zwischen 18 und 100 °C vorhanden sind, fehlen fundierte Resultate für den tieferen Temperaturbereich. Zum einen geht es um Deformationseffekte durch Temperaturschwankungen bei konstanter Belastung, zum andern um den Einfluss von Temperaturen auf die Kompressions- und Verformungsfähigkeit

— Optimale Auslegung ergibt besseren Nutzen

sowie den Scherwiderstand des Untergrunds. Experimente an der EPFL testeten das thermo-mechanische Verhalten bei tiefen Temperaturen.»

In Lausanne werden Tests mit Heiz- und Kühlzyklen durchgeführt. Dazu nutzte man beispielsweise einen 1998 erstellten Pfahl, der mit einem Wärmetauscher ausgestattet ist. Zunächst wurde er ohne Gewicht thermisch beansprucht, danach jeweils mit der Erstellung der einzelnen Gebäudeetagen. Es konnte festgestellt werden, dass die thermische Beanspruchung auf der gesamten Pfahllänge signifikant ist. Der Pfahl steht also in einer Wechselwirkung mit dem Untergrund; Berechnungen für einen Pfahl einzig auf rein mechanische Lasten auszulegen entspricht somit nicht den tatsächlich auftretenden Effekten. Diese Erkenntnisse konnten auch von Untersuchungen in England (Lambeth-College) und Österreich (Bad Schallerbach) gewonnen werden.

Neuartiges Berechnungsmodell im Einsatz

Ein unter Last stehender Pfahl verhält sich bei Erwärmung und Abkühlung durch den energetischen Austausch sehr komplex. Seine natürlichen Deformationsbewegungen sind – eingebettet im Untergrund – limitiert, jedoch von der Bodenbeschaffenheit abhängig.

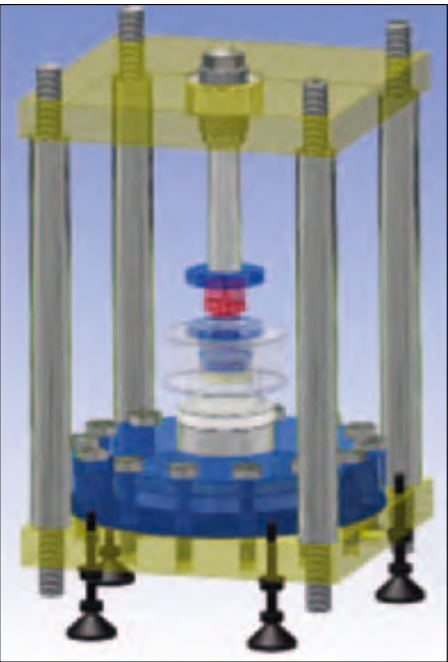
«Wir haben an der EPFL in den vergangenen Jahren an Finite-Elemente-Modellen zur Simulation des Energiepfahlverhaltens gearbeitet. Dieses thermo-hydro-mechanische Modell berücksichtigt den Wärmefluss nach dem Fourier-Gesetz und den Porenfluss nach Darcy-Regel», bestätigt Lyesse Laloui.

Eine im 2009 durchgeführte Weiterentwicklung berücksichtigte eine Gruppe von neun Pfählen jenseits konventioneller Temperaturbereiche. Zurzeit wird am LMS ein nutzerfreundliches Werkzeug entwickelt: ThermoPile. Es beruht auf einer Aufteilung des Pfahls in einzelne Segmente und erlaubt damit, unterschiedliche Erdschichten zu berücksichtigen, also ihr jeweiliges elastisch-plastisches Verhalten einzubeziehen.

Komplexe Zusammenhänge erforschen

Bei der Dimensionierung von Energiepfählen und anderen Geostrukturen wurden die Berechnungen üblicherweise nur mit einem empirischen Ansatz zum Wärmeaustausch durchgeführt, ohne die mechanischen Effekte der Temperaturschwankungen zu berücksichtigen. Damit konnte die Dimensionierung jedoch ausschliesslich mit einfachen Wärmeflusswerten erfolgen. Eine optimale Dimensionierung sollte allerdings die thermo-mechanischen Effekte miteinbeziehen.

Eine Weiterentwicklung der Berechnungswerkzeuge muss die komplexen Zusammenhänge von mechanischen Parametern des Fundamentsystems, der Temperaturen und Grundwasser-



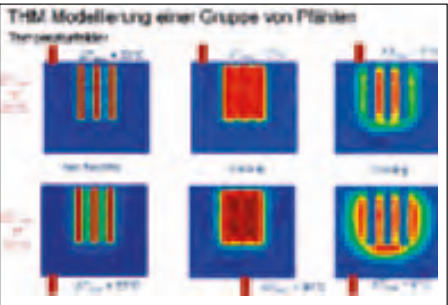
>> Bodenverhalten unter variierender Temperatur; Analyse der Bodenproben bei Temperaturveränderungen (0 – 60 °C).

>> Comportement du sol par températures variables; analyses des échantillons de sol lors de changements de températures (0 – 60 °C).



>> Modellierung eines Boden-Pfahl-Systems.

>> Modélisation d'un système de pieux de sol.



>> Modellierung einer Gruppe von Pfählen.

>> Modélisation d'un groupe de pieux.



>> ThermoPile separiert einzelne Pfahlsegmente und berücksichtigt damit unterschiedliche Bodenverhältnisse.

>> Le ThermoPile sépare des segments isolés de pieux et prend en compte les différentes conditions du sol.

>> Bilder: LMS / EPFL

Beispiele

Pago-Gebäude in Grabs:	570 Energiepfähle
Terminal E, Flughafen Zürich:	ca. 300 Energiepfähle, 90 und 150 cm Durchmesser, 30 m Länge, Erdvolumen ca. 200'000 m³
Main Tower in Frankfurt (D):	112 Energiepfähle, 150 cm Durchmesser, 30 m Länge, Erdvolumen ca. 150'000 m³
Kunstzentrum Bregenz (A):	Schlitzwände
Lainzer-Tunnel (A):	Seitenwände mit Absorberrohren
Keble College (UK):	Gemischte Pfahlwand.

vorkommen sowie die nichtlinearen Gesetzmäßigkeiten des Erdspeichers berücksichtigen. Auf diese Weise können die Kosten der Anlage reduziert und die Energieeffizienz erhöht werden.

Das Forschungsprojekt der EPFL befasst sich im Weiteren mit der thermo-mechanischen Bestimmung von Erdproben im Labor, inkl. triaxialen und ödometrischen Tests im Temperaturbereich von 0 – 60 °C. Dabei werden die Effekte der Temperatur auf die Deformier- und Komprimierbarkeit, Plastizität, Scherwiderstand usw. von lehmiger und sandiger Erde analysiert. Zudem sollen Scherversuche zwischen Beton und Erde mit Zyklentests im gesamten Temperaturbereich Aufschluss über das Aufwärm- und Abkühlver-

halten geben. Mit einem Pfahltest im Labor werden die errechneten und gemessenen Resultate überprüft.

«Ziel dieses Projekts sind konstruktive Empfehlungen zur optimalen und zuverlässigen Auslegung von Energiepfählen», sagt Alice Di Donna. <

Résumé

Une équipe de recherche du laboratoire de mécanique des sols à l'EPFL élabore des recommandations sur la pose optimale et sûre des pieux énergétiques. Ses travaux intègrent aussi le développement d'un nouveau programme de calcul. Le dimensionnement des pieux énergétiques et d'autres géostructures n'étaient habituellement calculés qu'au moyen d'une équation empirique d'échange de chaleur sans tenir compte des effets mécaniques dus aux changements de température. Le résultat se basait donc sur de simples valeurs de flux de chaleur. Un dimensionnement optimal devrait assurément inclure les effets thermo-mécaniques.

INSERTATE

CO₂

CO₂ STORAGE

CO₂ sequestration in deep geological formations is one of most suitable solutions for CCS (Carbon Capture and Storage). The interplay between transport, reaction and mechanics is tackled through innovative interdisciplinary research both experimentally and numerically. Our research focuses on experimental investigation of the behaviour of shale caprocks as well as on the quantitative risk prediction of large earthquakes occurring in the basement rocks below fluid injection intervals.



Remettre le CO₂ d'où il vient!

December 2018

Le Temps

LE TEMPS

Le Temps
1002 Lausanne
058 269 29 00
<https://www.letemps.ch/>

Genre de média: Médias imprimés
Type de média: Presse journ./hebd.
Tirage: 32'535
Parution: 6x/semaine



Page: 9
Surface: 39'518 mm²



Ordre: 1086739 Référence: 72009672
N° de thème: 999.056 Coupure Page: 1/1

Remettre le CO₂ d'où il vient!

OPINION

Les politiques énergétiques de faible, voire zéro émission de CO₂ tendent à se développer au niveau des villes, des territoires et des infrastructures pour répondre aux accords de Paris pour des températures ciblées de 1,2 à 1,5°C à la deuxième moitié du siècle. Il apparaît de plus en plus que, avec les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique et la taxe carbone, il est nécessaire de développer la technologie de captage et séquestration du CO₂ pour atteindre les objectifs. Avec la COP21 à Katowice, en Pologne, la technologie CCS (Carbon Capture and Sequestration) est de nouveau mise en avant comme l'une des technologies permettant de s'attaquer au changement climatique. Cela concerne à la fois le secteur de l'énergie et l'ensemble des activités industrielles. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et l'Agence internationale de l'énergie (AIE) ont tous deux montré le rôle crucial que la technologie CCS doit jouer pour atteindre les objectifs globaux de réduction des émissions de CO₂. En particulier, en permettant de décarboner les industries « traditionnelles » et en préservant ainsi des postes de travail et des pans entiers d'une économie nécessaire.

Le CCS est la seule technologie permettant de diminuer les émissions de CO₂ de manière significative dans différentes industries. Elle permet d'éviter que de grandes quantités de CO₂ ne soient lâchées dans l'atmosphère. Elle se développe depuis quarante-cinq ans à une échelle industrielle de manière globalement sûre. A ce jour, 17 grands projets dans le monde permettent de capturer 37 millions de tonnes par an, soit l'ordre de grandeur des émissions annuelles de CO₂ en Suisse. En valeurs cumulées, ce sont 220 millions de tonnes de CO₂ qui ont été séquestrées sous terre à ce jour. Quatre nouveaux grands projets (i.e. plus d'un million de tonnes de CO₂ par an) sont en phase d'achèvement, et d'autres sont en cours de lancement, dont 7 uniquement en Chine.

Une grande partie de ce CO₂ séquestré est en liaison avec la production des hydrocarbures, et ce n'est pas ce qui nous intéresse en

Suisse. Notre intérêt est lié au transfert de ce savoir-faire et à son utilisation pour décarboner l'industrie suisse. La technologie CCS a trois composantes. Celle de capturer le CO₂ au niveau des industries émettrices de carbone comme les aciéries, les cimenteries, mais aussi les productions de produits chimiques, d'engrais, de produits pétrochimiques ou de papier. Le CO₂, séparé des autres gaz, peut alors être comprimé et transporté dans des pipelines, citernes ou autres vers le lieu de formations géologiques adéquates. C'est la deuxième composante de la technologie. La troisième consiste en l'injection de ce CO₂ sous terre dans des formations géologiques à des profondeurs qui dépassent en général le km. Les installations en surface sont assez minimes, comparables à celles d'un projet de géothermie. En procédant de la sorte, le CO₂ est remis sous terre dans des roches où il était naturellement enfoui pendant des millions d'années.

Des volumes annuels de 300 000 à 400 000 tonnes de CO₂ pourraient être séquestrés dans un premier temps

Dans de nombreuses industries, il n'est toujours pas possible de trouver des solutions compatibles avec le « renouvelable », et où les émissions de CO₂ continueraient à se produire. A titre d'exemple, dans les aciéries (en Suisse, deux aciéries usinent environ 1,4 million de tonnes d'acier – en plus, 20 fonderies de métaux ferreux et aciéries produisent environ 75 000 tonnes de fonte) ou encore les cimenteries (environ 4,3 millions de tonnes de ciment par an sont produites en Suisse).

Pour la Suisse, la sécurité de l'approvisionnement pour un bon nombre de ces industries constitue un enjeu stratégique et représente un grand nombre de postes de travail. Dans ce contexte, la réduction des émissions de CO₂ dans l'industrie avec la technologie CCS devrait être un bon complément aux autres mesures prises par la Confédération pour le renouvelable.

Des études préliminaires démontrent que la Suisse dispose de sites géologiques permettant de séquestrer de très grands volumes de CO₂. En particulier, la zone de plaine entre Baden et Fribourg, dans une direction, et Olten et Lucerne, dans l'autre, constitue une zone à très fort potentiel. La constitution géologique requiert de disposer d'une roche-réservoir poreuse surplombée d'une couche de couverture tel le schiste argileux.

Pour sa phase de lancement, je recommande la création d'un site central vers lequel du CO₂ compressé provenant de différents sites industriels suisses peut être acheminé. Des volumes annuels de 300 000 à 400 000 tonnes de CO₂ pourraient être séquestrés dans un premier temps. Ces volumes sont similaires à ceux d'autres pays, comme le Japon ou la Chine, qui s'initient à cette technologie.

Esérons que la technologie CCS retienne l'attention et le soutien qu'elle mérite dans notre pays. La Confédération et les industries devraient s'associer dans un ambitieux programme national pour mettre en place cadre, moyens et outils nécessaires à une telle démarche. Comme pour les autres initiatives écologiques et renouvelables, la technologie CCS devrait bénéficier de subventions pour la phase de lancement. ■

YVESSE LALOU
PROFESSEUR DE GÉO-ÉNERGÉTIQUE
À L'EPFL, DIRECTEUR
DE LA SECTION DE GÉNIE CIVIL



- In the context of global warming, a technique referred to as Carbon Capture and Sequestration (CCS) may hold the greatest potential in significantly reducing emissions for different industries. Prof. Laloui explains the basis of this technique presenting practical estimates for its potential applications in Switzerland, in comparison with other countries.

Gaz naturel et tournant énergétique

November 2018

L'Extension

Gaz naturel et tournant énergétique

Gaznat investit massivement dans la recherche pour se positionner comme l'une des clés de voûte de la transition énergétique en Suisse. Une place que la société gazière a bien du mal à imposer aux politiques qui, pour des raisons idéologiques, ne sont guère favorables au gaz naturel. Dans ce contexte de défiance, le gaz a-t-il encore ses chances ?

Le gaz est une molécule incolore et inodore. Toutefois, afin de déceler les fuites éventuelles, un produit odorant y est adjoint, permettant ainsi de détecter sa présence bien avant que le seuil de dangerosité ne soit atteint.

2018 offre l'occasion à Gaznat de célébrer son 50^e anniversaire ; l'opportunité également pour la société gazière d'affirmer son ancrage dans le futur et ses efforts dans la recherche. En l'état, même si le gaz, troisième agent énergétique de Suisse derrière le pétrole et l'électricité, jouit d'une notoriété et d'un capital confiance auprès des consommateurs, son avenir pourrait bien s'assombrir dans la perspective d'un monde sans énergies fossiles.

ÉNERGIE DE SUBSTITUTION À COURT TERME

En Suisse, la transition énergétique telle que formulée par les autorités dans la stratégie 2050 du pays, tend à l'abandon du nucléaire, à la diminution des énergies fossiles et au développement du renouvelable pour remplir l'objectif d'une diminution de 50% des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2030 par rapport à 1990. Pour l'heure, les énergies renouvelables n'étant pas encore en mesure de prendre la relève, le marché du gaz (13,5% de la consommation d'énergie finale) est en phase ascendante. Sur et concurrentiel, il devrait continuer sa progression car il permet de réduire, dans les délais les plus brefs et à des prix abordables, les émissions de gaz à effet de serre imputables aux énergies fossiles tels que pétrole, mazout, diesel, essence et charbon occulte de l'électricité importée.

En effet, dans le domaine du chauffage, la moitié des immeubles est encore chauffée au mazout et pour-

rait être facilement convertie au gaz naturel pour comprimer d'un coup les émissions de CO₂. En ce qui concerne l'électricité, le gaz pourrait dès à présent remplacer la production actuelle des centrales nucléaires pour éviter de se tourner vers les importations, et donc vers de l'électricité produite dans des centrales au charbon. L'argument vaut aussi pour la mobilité : la généralisation des automobiles au gaz naturel contribuerait à la compression des émissions de CO₂, d'autant que la technologie est déjà mûre et les infrastructures développées.

Le gaz a donc encore quelques beaux jours devant lui en tant qu'énergie de substitution et n'attend plus qu'un signal du prix du carbone, qui fait encore défaut et n'encourage pas la production par des moyens propres. En Europe, la taxe CO₂ tourne autour de 8 euros, ce qui reste encore trop éloigné de la vraie valeur de compensation. En Suisse, à 96 francs, elle est assez élevée et pourrait inciter à la substitution par le gaz de la production d'électricité, si l'électricité importée était elle aussi taxée, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui et crée une distorsion en faveur de cette dernière, pourtant très polluante.

DÉCARBONATION ET GAZ VERTS

Une vision à plus long terme, avec un système de compensation plus justement évalué, pourrait offrir aux gaziers l'opportunité de proposer des réponses innovantes très adaptées, notamment en captant et en stockant le CO₂ afin de le valoriser sous diverses formes.



Outre la décarbonation, l'industrie gazière s'engage dans le développement durable à travers le biogaz.

15

In this release of the *L'Extension* magazine the role of natural gas as an alternative source of energy is discussed. The importance of the extensive research works in the field of CO₂ sequestration of the Chaire Gaz Naturel – Petrosvibri at EPFL, contributing to the leadership of Switzerland in the field is highlighted.



Outre la décarbonation, le gaz doit également s'engager dans la voie de l'écologisation. En effet, même s'il représente la plus vertueuse des énergies fossiles, il n'en demeure pas moins fossile. L'industrie gazière, qui voit tout le potentiel d'un approvisionnement entièrement renouvelable, projette donc de porter la part des gaz renouvelables à 30% du marché de la chaleur d'ici à 2030. Elle devrait pour cela bénéficier du soutien politique qui lui est encore refusé aujourd'hui. En effet, à l'heure actuelle le biogaz ne figure pas parmi les énergies renouvelables citées dans les prescriptions énergétiques applicables aux bâtiments. Encore pire, le biogaz importé par réseau est assujéti à la taxe sur le CO₂...

Le rôle du gaz dans l'intégration des énergies renouvelables est également primordial. Car la vraie difficulté n'est pas tant le manque d'électricité mais le manque de phasage entre l'énergie disponible et la demande. Le réseau gazier, utile au transport autant qu'au stockage de l'énergie, lui permet de pallier avec souplesse les éventuelles carences d'approvisionnement (en hiver notamment) ou au contraire, de stocker sous forme gazeuse les excédents d'énergie photovoltaïque ou éolienne après leur conversion par électrolyse et méthanisation (power-to-gas).

UNE PLACE ENCORE SUJETTE À CONTROVERSE

Le gaz est l'un des maillons forts de l'avènement d'un approvisionnement énergétique renouvelable et durable. Il répond aux exigences de sécurité d'approvisionnement ainsi qu'aux exigences écologiques dans une stratégie ambitieuse et évolutive. Dans cette vision pragmatique qui, en toute humilité, soutient que l'on ne peut pas encore se passer totalement du fossile, le gaz naturel fait partie de la solution et non du problème. ■

Sophie Barenne

L'industrie gazière multiplie les efforts de recherche dans ce domaine. De par la publication des travaux de la Chaire "Gaz Naturel" – Petrosvibri à l'EPFL, menés par le professeur Lyess Laloui, la Suisse fait d'ailleurs figure de leader

en la matière. Elle possède la technologie et les propriétés géologiques qui lui permettraient, comme la Norvège, de séquestrer le CO₂ dans le sous-sol mais la population et les politiques se montrent encore très frileux.

"Lorsque la demande d'énergie est inférieure à la production, la technique novatrice du power-to-gas permet de convertir l'électricité excédentaire d'origine renouvelable en hydrogène ou en méthane puis de l'injecter dans le réseau de gaz naturel afin de le stocker."

Balise identifiant
le passage
d'un gazoduc

Gaznat se tourne vers les chercheurs de l'EPFL pour réussir sa transition

May 2018

L'AGEFI

L'AGEFI
QUOTIDIEN DE L'AGENCE ÉCONOMIQUE ET FINANCIÈRE À GENÈVE

L'Agefi
1026 Echandens-Denges
021/ 331 41 41
www.agefi.com

Genre de média: Médias imprimés
Type de média: Magazines populaires
Tirage: 5'450
Parution: 5x/semaine



Page: 6
Surface: 53'755 mm²



Ordre: 1086739
N° de thème: 999.056
Référence: 69665302
Couverture Page: 1/3

Gaznat se tourne vers les chercheurs de l'EPFL pour réussir sa transition

Le gestionnaire des gazoducs romands au demi-siècle d'existence veut prouver que le gaz naturel prend le tournant des énergies vertes et décarbonées.

SOPHIE MARENGO

«A l'occasion de notre cinquantième anniversaire, nous voulons non seulement parler du passé mais aussi de l'avenir», déclare René Bantz, CEO de Gaznat depuis 2008, il explique que l'entreprise est concernée par les nombreux défis énergétiques qui se profilent et qu'elle essaie de contribuer à leur résolution. La transition énergétique helvète – telle qu'imaginée par les autorités – pousse à l'abandon du nucléaire, au ralentissement du fossile et au développement du renouvelable dans l'objectif d'une diminution de 50% des émissions des gaz à effet de serre d'ici 2050, par rapport à 1990. Cette stratégie pose de nombreuses questions en matière de sécurité d'approvisionnement ou de stockage, par exemple.

Alors qu'en Suisse, le gaz est le troisième agent énergétique après le pétrole et l'électricité, quel rôle prendra l'industrie gazière dans ce futur paysage qui dessine son avenir sans énergie fossile? «Le gaz a une trop mauvaise réputation qu'il ne mérite absolument pas. Il peut apporter des solutions intéressantes dès aujourd'hui. Je pense à la mobilité notamment avec des voitures qui sont très efficaces», martèle le CEO. La

part des gaz renouvelables dans l'offre du fournisseur ne cesse d'ailleurs d'augmenter. Elle provient de trente installations bio gaz suisses qui injectent leur production dans le réseau et Gaznat s'est engagé à porter à 30% la part de renouvelable d'ici 2030.

«Je suis convaincu du rôle indispensable du gaz naturel dans la future politique énergétique», affirme René Bantz. Dans cette optique, Gaznat a organisé le 18 mai une journée de conférences consacrée à la recherche et au développement dans l'industrie gazière, en collaboration avec l'EPFL. Au sein du Rolex Learning Center, l'événement a rassemblé des scientifiques et représentants des grandes compagnies gazières internationales pour dresser un état des lieux des recherches menées par l'EPFL, notamment en matière de capture, de séquestration et d'utilisation du CO₂. Depuis un peu moins de cinq ans, Gaznat sponsorise ces recherches dont le but est de faire progresser les technologies. Pas moins de 12 millions ont déjà été investis dans trois chaires de l'EPFL ainsi que dans six initiatives de recherche plus spécifiques. «Deux nouveaux appels à projet seront lancés dans les années à ve-

nir», commente René Bantz. Dr Martin Vetterli, président de l'EPFL, ajoute: «Notre partenariat avec Gaznat conduit à toute une série d'interactions intéressantes et satisfaisantes pour nos chercheurs».

Transition énergétique

Selon les experts présents lors du rassemblement de vendredi, il est impensable de développer des théories énergétiques uniquement basées sur les productions renouvelables. «Le gaz doit être partie prenante dans la transition énergétique. Il nous faut donc créer des processus de décarbonisation pour tenir nos objectifs de limitation du réchauffement climatique», dit René Bantz.

Fondée en 1968, Gaznat réalise un chiffre d'affaires qui va de 450 à 650 millions, en fonction des années et du prix du gaz. L'entreprise emploie 67 collaborateurs répartis entre le siège de Vevey et le centre de surveillance d'Aigle. Le gaz naturel qu'elle acquiert provient essentiellement d'opérateurs européens. Le CEO conclut: «Je vois un bel avenir pour notre entreprise, si elle arrive justement à développer d'autres voies dans ces technologies. Il nous faut être innovant».

In Switzerland, gas is the third energy agent after oil and electricity. What role will the gas industry take in the future without fossil energy? More than 12 million have already been invested in three EPFL chairs to tackle the transition.

Le transition énergétique se fera avec les technologies gazières

L'industrie gazière est innovante et résolument tournée vers l'avenir: voilà, en bref, ce qu'il faut retenir de la journée de conférences consacrée à la recherche et au développement dans l'économie gazière du 18 mai. Sous l'œil des géants du secteur, les scientifiques se sont succédé à la tribune pour exposer leurs divers travaux.

Les technologies les plus abouties sont liées à la capture et à la séquestration du CO₂. Dr Lyesse Laloui, de la chaire *Gaz Naturel Petrosvibri* décrit: «L'objectif de la Confédération est de faire passer les émissions de CO₂ par personne de cinq à une tonne». Selon cet expert, le confinement souterrain du dioxyde de carbone serait une solution pour y parvenir. «Nous enfouissons le gaz à une profondeur de plus de 800 mètres. Le fluide devient supercritique et réduit son volume 500 fois.» Au-dessus, des matériaux imperméables empêchent toute fuite. Plus de 200 millions de tonnes de CO₂ ont déjà été stockées de la sorte dans le monde, notamment en Norvège, pays pionnier dans le secteur. Dr Philip Ringrose, spécialiste en stockage de CO₂ et géoscience pétrolière au sein de la compagnie norvégienne Equinor renchérit: «Bien entendu, les énergies renouvelables sont séduisantes. Tout le monde les apprécie. Mais elles ne suffisent pas! La seule voie possible est de la captation

du dioxyde de carbone, auprès des industries, pour l'enfouir. Malheureusement, ce n'est pas un phénomène très attractif pour le tout venant». Le pays des fjords est précurseur en la matière avec son centre de test, opérationnel depuis 2012. Stable et sécurisé selon ces experts, un site pilote pourrait en théorie voir le jour dans le Jura. «Mais cela dépendra de la volonté politique», dit Lyesse Laloui.

Afin de capter au mieux le CO₂, des membranes de séparation sont aussi étudiées à l'EPFL. Dr Kumar Varoon Agrawal, de la chaire *Advanced Separations*, a lui aussi présenté les résultats de ses travaux sponsorisés par Gaznat: «La membrane ultime est en graphite robuste, de l'épaisseur d'un atome. Elle présente d'excellentes propriétés de scellage». En outre, les recherches de l'EPFL se penchent sur la réutilisation du CO₂ capté. Dr Raffaella Buonsanti du *Laboratoire de nanochimie pour l'énergie* de l'EPFL a exposé ses travaux qui visent à convertir le dioxyde de carbone en carburants et produits chimiques. «Nous voulons le rendre utile», dit-elle. Grâce à des catalyseurs en cuivre, de nouveaux éléments sont tirés de ce qui était auparavant considéré comme un déchet. Ces produits ne seront cependant pas encore implémentés sur le marché avant au moins dix années de recherches. – (SM)

L'EPFL envisage le stockage du CO₂ comme une planche de salut

February 2017

Terre&Nature

Nature

Terre&Nature

11

ENVIRONNEMENT

L'EPFL envisage le stockage du CO₂ comme une planche de salut

Enfouir le CO₂ plutôt que le laisser s'échapper dans l'atmosphère: l'idée séduit les chercheurs. Le fait que cette technique encore en développement soit sujette à débat n'empêche pas l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) de plancher sur la question.



À la tête du laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL, Lyesse Laloui estime que la séquestration du CO₂ est le seul moyen de respecter les engagements pris par la Suisse.

Qu'on l'appelle CO₂, dioxyde de carbone ou anhydride carbonique, impossible de manquer ce gaz qui fait les gros titres de la presse et donne des cheveux blancs aux politiciens. Le CO₂ est au cœur des discours sur le climat. C'est le plus célèbre des gaz à effet de serre: s'il est invisible, son impact ne l'est pas. La lutte contre le réchauffement pourrait prendre un tournant avec la séquestration du CO₂, une méthode qui consiste à enfouir le dioxyde de carbone plusieurs centaines de mètres sous terre. Depuis la COP21 et son traité universel sur le climat, la réduction des émissions de CO₂ figure en tête des résolutions des pays signataires. Ainsi la Suisse s'est-elle engagée à diviser par deux ses rejets de dioxyde de carbone par rapport à 1990. Le délai imparti? Deux mille trente, soit demain, à l'échelle du climat. Cette urgence pousse les scientifiques à chercher des solutions permettant d'abaisser suffisamment les quantités de CO₂ dans l'atmosphère pour maintenir la hausse de température sous les 2°C.

La Suisse est en retard

«Il faut être pragmatique, lance Lyesse Laloui. La stratégie fédérale reposant sur un changement de nos habitudes ne suffira pas. On ne pourra pas se passer aussi vite des hydrocarbures. La séquestration des gaz à effet de serre est une alternative intéressante.» Lyesse Laloui dirige le Laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL qui suit de

de mécanique des sols de l'EPFL qui suit de près les projets menés depuis vingt ans par nos voisins: «Plusieurs pays exploitent déjà cette technologie. Ils parviennent à éliminer des millions de tonnes de CO₂.» Plutôt que des initiatives gouvernementales, ces expériences sont souvent le fait de groupes pétroliers qui y voient un moyen de s'affranchir des taxes sur le CO₂ émis. Le processus est simple (voir notre infographie): d'abord, il faut capter le dioxyde de carbone à la source, soit à la fin du cycle de production d'une usine, puis le transporter jusqu'au lieu de stockage. «Le CO₂ peut être manipulé sous forme liquide ou gazeuse, explique Lyesse Laloui. On choisit le moyen le plus adapté à chaque situation. Aux États-Unis, on le transporte via les pipelines de gaz naturel.» La séquestration proprement dite consiste à injecter le gaz carbonique dans le sol. «On doit trouver une couche de roche poreuse. On creuse un puits à 800 mètres: à cette profondeur, température et pression font atteindre au CO₂ un état appelé «supercritique». Il perd de la masse jusqu'à devenir 500 fois moins volumineux.» Pour empêcher le dioxyde de carbone

de remonter à la surface, il faut veiller à ce que la poche poreuse soit recouverte d'une couche de roche imperméable. Argument de poids, on trouve des zones poreuses sous tous les pays du monde. D'après une estimation, la Suisse dispose d'un potentiel lui permettant de stocker deux cents ans de sa production actuelle de CO₂.

BON À SAVOIR

La Confédération suit la question de près

«Le stockage du CO₂ concerne d'abord les industries», explique Angela Brunner, porte-parole de l'Office fédéral de l'énergie. Ce n'est pas pour autant que la Confédération ne s'y intéresse pas: constatant l'essor de cette technologie à l'étranger et soucieux d'atteindre ses objectifs climatiques, l'Office fédéral de l'environnement soutient désormais la recherche dans ce domaine. Une étude a été effectuée dans le laboratoire souterrain du Mont Terri (JU).

In the interview for Terre&Nature Prof. Laloui explains the concept of CO₂ storage and the progress of Switzerland in research related to this area.

Enfouir un gaz, c'est mal?

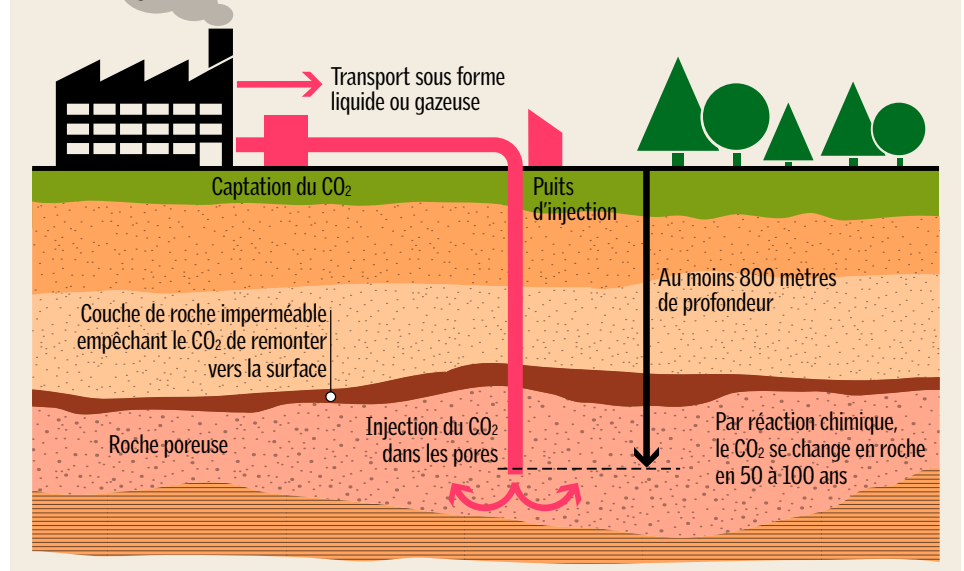
Si Lyesse Laloui prêche le pragmatisme, c'est parce qu'il sait que l'idée d'injecter un gaz sous nos pieds a quelque chose d'inquiétant. C'est ce qui retient certaines ONG écologistes de soutenir le procédé. «Mais on ne fait que reproduire un processus naturel, rétorque-t-il. Ce CO₂ provient des hydrocarbures que l'on a extraits du sol. On le ramène d'où il vient.» Selon le scientifique, les réticences du grand public sont avant tout liées à une dimension culturelle: «Les précurseurs de cette technique sont des pays producteurs de pétrole, comme la Norvège ou le Canada. Pour eux, l'exploitation du sous-sol fait partie du quotidien. Ce n'est pas le cas chez nous. On a l'impression que si l'on cache quelque chose, c'est mal. Mais est-ce vraiment moins bien d'injecter un produit dans le sol que de l'extraire, comme on le fait pour le gaz naturel ou la géothermie?» Notons qu'une fois enfoui, le CO₂ ne reste pas longtemps sous forme gazeuse: en cinquante à cent ans, un transfert chimique le change en roche.

En Suisse, le sous-sol est propriété des cantons, mais la législation actuelle ne permet pas d'envisager de tels projets. Les recherches menées par le laboratoire de Lyesse Laloui restent donc abstraites. «Nous n'avons pas de site pour faire des tests en conditions réelles. Nous nous contentons de simulations, ce qui ne nous empêche pas d'améliorer les aspects techniques de l'injection et de la minéralisation du CO₂. C'est une question de maîtrise technologique: si personne n'est formé le jour où la Suisse se résoudra à cette solution, nous devrons engager des spécialistes à l'étranger. L'expertise a de la valeur.» La dimension économique, en effet, fait partie intégrante du débat: le stockage coûte entre 80 et 100 francs par tonne de CO₂. Une fortune face aux 11 francs par tonne dont s'acquitte la Suisse pour acheter des certificats destinés à soutenir des projets à l'étranger, outil sur lequel elle s'appuie largement pour s'approcher de son objectif. Lyesse Laloui en est convaincu, la solution doit venir d'une volonté politique forte, comme en Norvège: le gouvernement a décidé de prendre en charge les coûts liés à l'enfouissement du CO₂. La captation, elle, est financée par les entreprises qui le produisent. «Si l'on agit sans tarder, on peut non seulement limiter le réchauffement climatique à 2°C, mais même l'abaisser à 1,5°C. Pour cela, il faut qu'un déclic se produise. J'ai peur qu'il n'arrive trop tard.»

CLÉMENT GRANDJEAN ■

+ D'INFOS www.lms.epfl.ch

LA SÉQUESTRATION DU CO₂



© INFOGRAPHIE PASCAL ERARD

CONFÉRENCE

Sommités scientifiques réunies à Lausanne

En novembre dernier, en pleine COP22, c'est à Lausanne que s'est tenue la 13^e conférence «Greenhouse gas control technologies». Une rencontre qui a réuni 1000 chercheurs et industriels autour de la thématique du CO₂. Outre son rôle de plateforme d'échange et la présentation de nouveaux projets, la conférence a été le cadre d'une annonce de l'Agence internationale de l'énergie: placée sous l'égide des Nations unies, l'organisation adoube le stockage de CO₂ en annonçant que la technique doit être prise en compte.

+ D'INFOS www.ghgt.info

Le stockage du CO₂ : une solution immédiate pour le climat

July 2016

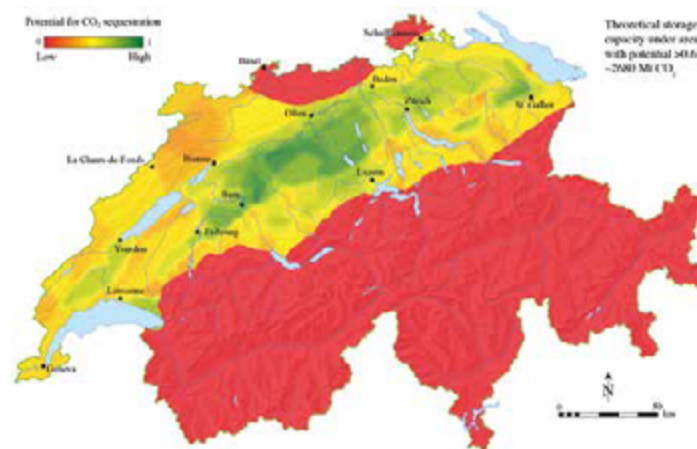
L'Extension

.énergie/interview

Les grands rendez-vous pour la planète s'enchaînent et ne se ressemblent pas. A peine la COP21 terminée, voici poindre en novembre prochain la GHGT 13, la 13^{ème} Conférence internationale sur les technologies de contrôle des gaz à effet de serre (GreenHouse Gas control Technologies) un événement scientifique phare organisé par l'Agence Internationale de l'Energie (IEA). Elle a choisi la Suisse et notamment le tout nouvel EPFL Swiss Tech Convention Center pour l'accueillir. L'occasion de revenir sur les grands enjeux environnementaux liés à la production électrique et l'industrie lourde en Europe avec le Prof. Lyesse Laloui directeur de la Chaire « Gaz Naturel » - Petrosvibri à l'EPFL. Grand ordonnateur de la manifestation, il prône la séquestration souterraine des gaz à effet de serre comme réponse majeure au réchauffement climatique.

LE STOCKAGE DU CO₂ : UNE SOLUTION IMMEDIATE POUR LE CLIMAT

POTENTIEL DE SÉQUESTRATION DU CO₂ EN SUISSE



Source : Diamond, L.W., Leu, W., Chevalier, G., 2010. Potential for geological sequestration of CO₂ in Switzerland (Studie zur Abschätzung des Potenzials für CO₂-Sequestrierung in der Schweiz), Report for the Swiss Federal Office of Energy, p. 23.)

de répondre aux exigences des nouvelles stratégies énergétiques. En Suisse, pour remplacer progressivement d'ici 2050 la production des 40% de nos besoins en électricité fournis par l'énergie nucléaire, il n'existe pas d'autre option réelle que de produire l'électricité à partir des centrales à gaz, les énergies renouvelables n'étant pas encore en mesure de prendre la relève. Mais bien que le gaz soit l'énergie

fossile qui produise le moins de CO₂, ces émissions restent problématiques. Pour pallier cette difficulté, on pourrait acheter des « droits à polluer » qui varient aujourd'hui de 5 à 10 euros la tonne mais, dans notre pays, 70 pour cent du CO₂ doit être compensé ici en Suisse, d'où la solution revenant à le stocker durablement dans le sous-sol.



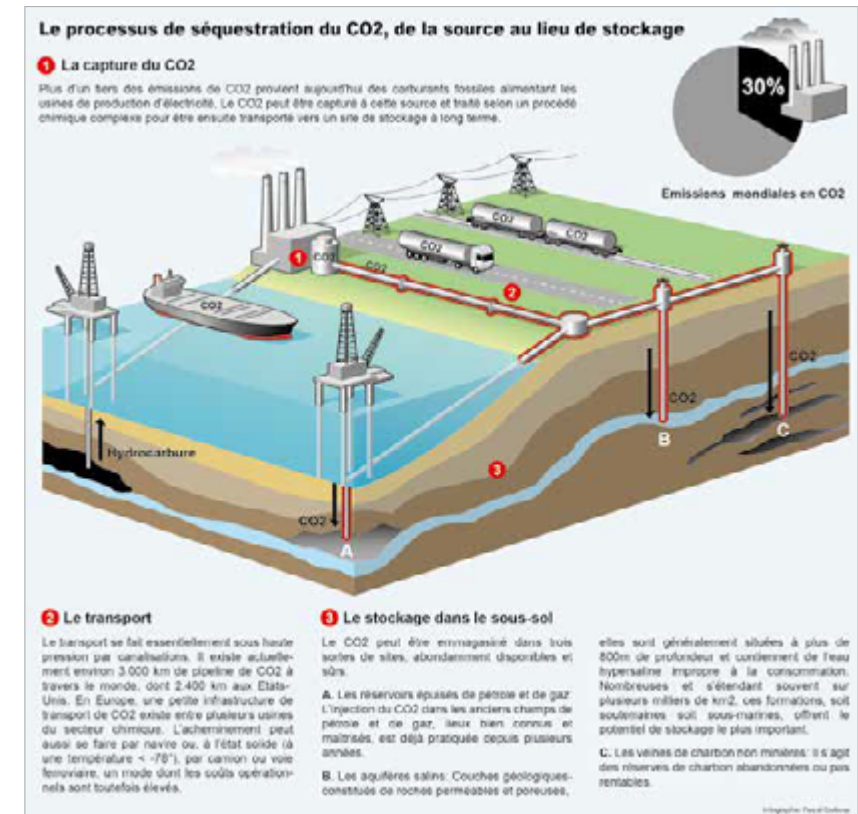
PAR SOPHIE BARENNE

3 Si la séquestration du CO₂ est une solution viable, quels sont les principaux écueils à une mise en œuvre élargie du procédé?

En Suisse, nous possédons l'essentiel: d'une part la technologie, et d'autre part, les couches géologiques nécessaires au stockage à plus de 800 m sous terre, notamment au niveau du plateau situé entre Fribourg et Baden (voir carte). Les principaux blocages sont d'ordre réglementaire, chaque canton possédant un cadre juridique propre qui, pour le moment, ne prend pas en compte la possibilité de stockage souterrain du CO₂; d'ordre psychologique, notre pays n'ayant pas une culture développée en matière d'hydrocarbure, la population et les politiques se montrent toujours très méfiants à l'égard des solutions énergétiques qui en découlent; et d'ordre financier enfin, ce frein ayant tendance à diminuer considérablement avec le temps.

4 Et quels risques présente-elle ?

L'enfouissement géologique du CO₂ comporte certains risques, comme toute activité humaine. A court terme, ils sont plutôt liés aux conditions de pression induite par l'injection de CO₂ (risque de micro-séismes notamment). A long terme, ils sont inhérents à l'étanchéité du



« En Suisse, pour remplacer progressivement d'ici 2050 la production des 40% de nos besoins en électricité fournis par l'énergie nucléaire, il n'existe pas d'autre option réelle que de produire l'électricité à partir des centrales à gaz, (...) et de stocker durablement [le CO₂] dans le sous-sol. »

stockage et aux probabilités de fuites pouvant altérer la biodiversité en surface. C'est pourquoi nous développons des possibilités de monitoring en temps réel et des outils de prédiction permettant de rendre de plus en plus négligeables ces considérations.

5 Quelles sont vos attentes à l'égard de ce grand rendez-vous de la science qu'est le GHGT 13 ?

Au-delà des contributions scientifiques, il s'agira de transmettre aux populations et aux politiques nos convictions : la recherche est mûre, il est temps de transférer le travail en laboratoire en projet pilote pour que la Suisse puisse maîtriser sa sortie du nucléaire avec une production électrique locale et des émissions contenues de CO₂.



LE PROFESSEUR LYESSE LALOUI DIRECTEUR DE LA CHAIRE «GAZ NATUREL» - PETROSVIBRI À L'EPFL

L'EPFL s'attaque à l'injection de CO₂ dans le sol pour lutter contre le réchauffement

July 2016

Le Nouveliste, arcinfo.ch, La côte, Info Hightech

L'EPFL s'attaque à l'injection de CO₂ dans le sol pour lutter contre le réchauffement



L'EPFL est active sur de nombreux fronts, dont la récupération du CO₂. KEYSTONE

INNOVATION Injecter et stocker le CO₂ dans le sol pourrait bien être l'une des solutions pour limiter l'impact des gaz à effet de serre sur notre environnement. L'EPFL a développé un outil capable de simuler l'impact géologique de ce type de procédés.

En quatre ans et demi, le sol autour de la centrale à gaz d'In Salah, dans le désert algérien, s'est élevé de seize millimètres. Cette élévation est provoquée par l'injection des émissions de dioxyde de carbone capturées sur le site dans un aquifère à 1800 mètres de profondeur.

Le soulèvement du socle rocheux à In Salah est bénin, mais l'injection de quantités excessives de gaz dans le sous-sol pourrait fracturer les couches de roche imperméables qui maintiennent le gaz en place.

- Articles about CO₂ storage appeared in various media, as: *Le Nouveliste*, *arc.info*, *Info Hightech* and *La côte*. The media write about injection and stockage of CO₂, which could be one of the solutions for reducing the greenhouse effect.

Des chercheurs de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) ont développé un modèle informatique qui simule l'impact géologique de l'injection de CO₂ dans le sous-sol et détermine la quantité de gaz qu'un réservoir peut accueillir en toute sécurité.

La séquestration de CO₂ est déjà utilisée dans certains sites du monde, afin de moins rejeter le gaz à effet de serre dans l'atmosphère. L'Accord de Paris, qui vise à limiter l'impact du changement climatique anthropique, pourrait accélérer l'usage de cette technologie, y compris en Suisse.

La géologie complexe et très diverse des sites potentiels de séquestration dans le monde nécessite de développer des outils. Ceux-ci doivent déterminer dans quelles conditions leur imperméabilité peut être assurée.

Phase critique

La phase d'injection est très critique, estime Li Chao, coauteur de l'étude avec Lyesse Laloui. "Lorsque le CO₂ est injecté dans un aquifère profond, parfois à des milliers de mètres, il est beaucoup plus froid que la roche environnante et comprimé à tel point qu'il occupe 500 fois moins de volume qu'il ne le ferait dans l'atmosphère", explique-t-il, cité dans un communiqué de l'EPFL.

En raison de sa température, de sa pression et du volume qu'il occupe, le CO₂ interagit avec la roche environnante. Cela peut déformer la roche et provoquer ainsi des instabilités géologiques. Dans le pire des cas, cela peut fracturer la roche supérieure qui scelle l'aquifère, laissant le gaz s'échapper à la surface.

Selon Li Chao, cette simulation peut servir à déterminer la pression jusqu'à laquelle le CO₂ peut être injecté sans danger dans un site géologique donné. Pour la tester, les chercheurs ont tenté de reproduire le soulèvement observé à In Salah, provoqué par quatre ans et demi de séquestration de CO₂.

Simulation prometteuse

Tandis que le gaz froid contracte la roche hôte située autour du site d'injection, sa pression élevée accroît la taille des pores de la roche. En associant les processus thermiques, hydrauliques et géomécaniques dans une simulation unique, les auteurs ont pu déterminer comment ces forces conspirent pour former le réservoir et les couches rocheuses au-dessous et autour de celui-ci.

"Les résultats de notre simulation approchent de très près les observations par satellite", résume Chao. A l'avenir, il espère développer son modèle et l'appliquer à d'autres types de sites de séquestration de CO₂, tels que champs gaziers abandonnés ou aquifères Salins, afin de simuler la formation de fractures dans le socle rocheux. Ces travaux sont publiés dans l'International Journal of Greenhouse Gas Control.

ATS

EPFL Researchers Develop Computer Model to Evaluate Impact of Injecting CO₂ Underground

July 2016

AZoCleantech, myScience, PHYS.org, Learning Freely

A new tool to ensure the safety of injecting CO₂ underground

1 July 2016

Environment



01.07.16 - Sequestering carbon dioxide underground is likely to play a key role in meeting reduction targets set at the IPCC conference in Paris last year. Researchers at EPFL have developed a simulation tool to evaluate the impact of the injection process on the host rock.

Over the course of four and a half years, the ground surrounding the In Salah gas-fired power plant in the Algerian desert rose by sixteen millimeters. This rise was triggered by the injection of the carbon dioxide emissions captured at the plant into a deep aquifer, 1800 meters underground. The heaving of the bedrock at In Salah was benign, but injecting excessive amounts of gas into the subsurface could potentially fracture the impermeable rock layers keeping the gas in place. Researchers at EPFL have developed a computer model that simulates the geological impact of injecting CO₂ underground and assess how much gas a reservoir can safely accommodate. They published their results in the *International Journal of Greenhouse Gas Control*.

- Researchers at EPFL have developed a computer model that simulates the geological impact of injecting CO₂ underground. They published their results in the *International Journal of Greenhouse Gas Control*. The researches hope to develop this model in the future.

Underground CO₂ sequestration is already being used at several sites around the world to keep the greenhouse gas out of the atmosphere. The Paris agreement, which seeks to limit the extent of anthropogenic climate change, will likely accelerate the adoption of this technology, which according to a study published in 2010 could be feasible in parts of Switzerland as well. The complex and highly variable geology of potential sequestration sites around the world call for the development of tools to determine under what conditions their impermeability can be assured.

The injection phase is most critical, says Li Chao, a researcher at EPFL's Chair "Gaz Naturel"-Petrosvibri and co-author of the study with Prof. Lyesse Laloui. "When CO₂ is injected into a deep aquifer, sometimes thousands of meters underground, it is much cooler than the surrounding rock and compressed to the point that it occupies 500 times less volume than it would in the atmosphere. Because of its temperature, its pressure, and the volume it occupies, it interacts with the surrounding rock," he explains. This can deform the rock, causing geological instabilities, and in the worst case, fracture the cap-rock that seals the aquifer, allowing the gas to escape to the surface.

Chao says he can use his simulation to determine the pressure up to which CO₂ can safely be injected in a given geological setting. To test it, he and his co-author attempted to replicate the observed heaving in In Salah, caused by four and a half years of CO₂ sequestration. While the cold gas contracts the host rock surrounding the injection site, its high pressure increases the size of the pores in the rocks. By coupling thermal, hydraulic, and geomechanical processes in one simulation, Chao and Laloui were able to determine how these competing forces conspire to shape the reservoir and the rock layers above and around it.

"Our simulation results came very close to matching the satellite observations," says Chao. In the future, he hopes to further develop his model, which can be applied to other types of CO₂ sequestration sites, from abandoned oil or gas fields, to saline aquifers, to simulate for the formation of fractures in the bedrock.

Reference: Chao Li, Lyesse Laloui, Coupled multiphase thermo-hydro-mechanical analysis of supercritical CO₂ injection: Benchmark for the In Salah surface uplift problem, *International Journal of Greenhouse Gas Control* Volume 51, August 2016, Pages 394-408

Forscher berechnen sichere Bedingungen für CO₂-Lager

July 2016

Austrian Gas Grid Management AG, barfi.ch



Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)

1. Juli 2016, 07:00 Uhr

Aktualisiert am 1. Juli 2016, 08:00 Uhr

sda / barfi / keystone

Forscher berechnen sichere Bedingungen für CO₂-Lager

Kohlendioxid in Felsgestein zu speichern könnte eine wichtige Rolle spielen bei dem Versuch, die Ziele des Pariser Klimaabkommens zu erreichen.

Forschende der EPFL stellen nun eine Computersimulation vor, die hilft, die Risiken dieser Technologie abzuwägen.

Innerhalb von viereinhalb Jahren hob sich das Erdreich rund um das Gaskraftwerk von In Salah in der algerischen Wüste um 16 Millimeter. Grund dafür ist das CO₂, das aus den Emissionen des Kraftwerks abgeschieden und in 1800 Metern Tiefe in den Untergrund injiziert wurde.

Dieses Heben des Erdreichs bei In Salah war ungefährlich. Bei grösseren Mengen CO₂ könnte allerdings das undurchlässige Felsgestein brüchig werden, dass das Treibhausgas unter Verschluss hält. Um solche Risiken besser einschätzen zu können, haben Forschende der ETH Lausanne (EPFL) eine Computersimulation entwickelt, wie die Hochschule am Freitag mitteilte.

Mögliches Volumen berechnet

Das Modell erlaubt zu berechnen, wie viel Gasvolumen das Felsgestein aushält. Die Forscher

- CO₂ sequestration can help reduce greenhouse effect and meet the targets set at the IPCC conference in Paris.

stellen ihre Simulation im "International Journal of Greenhouse Gas Control" vor.

"Carbon Capture and Storage"-Technologie wird weltweit bereits vielerorts eingesetzt, um CO₂-Emissionen zu senken. Das Pariser Klimaabkommen, in dem sich die Länder darauf geeinigt haben, den Klimawandel zu begrenzen, wird dieser Technologie vermutlich weiteren Aufschwung verleihen, schrieb die Hochschule. Neueren Studien zufolge könnte man sie auch in der Schweiz einsetzen.

Da mögliche CO₂-Lagerstätten weltweit geologisch sehr unterschiedlich sind, brauche es Werkzeuge, um die jeweiligen Bedingungen zu bestimmen. So lasse sich die Sicherheit der CO₂-Lager gewährleisten.

Kritische Phase

Das Einspritzen sei die kritischste Phase, sagte Studienautor Li Chao von der EPFL laut der Mitteilung. "Wenn man CO₂ in ein tiefes Aquifer spritzt, manchmal tausende Meter unter der Erdoberfläche, dann ist das Gas viel kälter als das Gestein und auf ein Volumen komprimiert, dass 500 mal kleiner ist als es in der Atmosphäre wäre."

Durch seine Temperatur, seinen Druck und das Volumen, das es einnimmt, wechselwirke das Gas mit dem umgebenden Fels. Es könne das Gestein verformen und es instabil machen. Schlimmstenfalls bricht dabei der Felsen, der wie ein Deckel über dem Aquifer aus porösem Gestein liegt, und lässt das Kohlendioxid an die Oberfläche entweichen.

Prozesse nachgespielt

Laut Li Chao erlaube die Simulation, den Druck zu berechnen, bis zu dem CO₂ injiziert werden kann ohne die geologische Stabilität des Felsens zu gefährden. Um das System zu testen, spielten sie damit die Entwicklung des Untergrunds bei In Salah nach.

Während die Kälte des Gases die Poren im Gestein dazu brachte, sich zusammenzuziehen, presste sein Druck die Poren auseinander. Indem das Computermodell die thermischen, hydraulischen und geomechanischen Prozesse zusammenführt, konnten die Forschenden bestimmen, wie sie zusammenwirken, um das poröse Felsgestein zu verformen.

"Unsere Ergebnisse kamen den Satelliten-Beobachtungen ziemlich nah", sagte Chao. Nun hoffen die Forscher, ihre Simulation auch auf andere Gebiete anwenden zu können, wo andere Bedingungen herrschen.

Comment changer le CO₂ en roche, une recette pour refroidir l'atmosphère

— June 2016

Le Temps

Comment changer le CO₂ en roche, une recette pour refroidir l'atmosphère



En transformant du dioxyde de carbone en une roche calcaire, des chercheurs ont fait un pas de plus dans la lutte contre le réchauffement climatique



Depuis que l'homme exploite des énergies fossiles comme le pétrole, il déverse dans l'atmosphère le CO₂ qui était naturellement stocké dans des roches, ce qui provoque le réchauffement de la planète. Une des solutions pour réduire la progression de ce réchauffement s'appelle le «captage et stockage du CO₂» (CSC) et vise à remettre dans les roches le carbone se trouvant dans l'atmosphère. Une équipe internationale de chercheurs dont Wallace S. Broecker, leader dans la

- The journal *Le Temps* published an article about a new technology of CO₂ geological sequestration in which Prof. Lyesse Laloui talks about his opinion on the topic.

recherche sur le changement climatique, publie aujourd'hui dans la revue *Science* une étude qui démontre comment ils sont parvenus grâce au CSC, à transformer du CO₂ atmosphérique en une roche calcaire.

L'étude, réalisée en Islande depuis plus de dix ans, a consisté à récupérer le CO₂ émis par une usine pour ensuite le dissoudre dans de l'eau alors injectée dans la croûte terrestre en utilisant d'anciens puits de forage.

225 tonnes de CO₂

En 2012, les chercheurs ont ainsi injecté 225 tonnes de CO₂ dissout dans l'eau. Dans un puits parallèle, ils ont placé des capteurs afin d'observer le comportement de cette eau gazeuse.

Deux ans plus tard, ils ont constaté que la totalité du mélange s'était transformée en roches calcaires, ce qu'on appelle la minéralisation. «C'est un processus naturel qui prend habituellement des centaines d'années. Notre étude montre comment il est possible d'accélérer ce phénomène pour qu'il se fasse en deux ans seulement», explique Eric Oelkers, coauteur de l'étude et géologue à l'Université de Toulouse.

Par quels moyens ont-ils réussi à accélérer ce processus? Le CO₂ a été injecté dans des roches basaltiques qui sont très riches en minéraux tels que le calcium ou le fer. Lorsque ces derniers entrent en contact avec de l'eau enrichie en CO₂, une réaction chimique provoque la précipitation du carbone, ce qui le fait passer d'un état gazeux à un état solide. Ainsi transformé en roche, le carbone reste stable et demeure emprisonné pour des centaines de milliers d'années.

Ce trésor qui repose sous le Léman

May 2013

Bilan



Bilan
1204 Genève
022/ 322 36 36
www.bilan.ch

Genre de média: Médias imprimés
Type de média: Magazines populaires
Tirage: 13'767
Parution: 26x/année



N° de thème: 999.56
N° d'abonnement: 1086739
Page: 12
Surface: 152'169 mm²

TENDANCES

LE COCKPIT DE L'ÉCONOMIE NATIONALE ET INTERNATIONALE



Philippe Petitpierre dirige les opérations de Petrosvibri, l'entreprise qui a foré sous le Léman.

Ce trésor qui repose sous le Léman

PAR ALAIN CAMPIOTTI

La révolution des hydrocarbures non conventionnels a touché la Suisse. Le Jura et le Plateau sont des zones de prospection. Mais la technique fait peur. Enquête.

SUR LA CARTE, c'est un petit rectangle blanc. Vu de près, c'est un chantier en sommeil auquel les promeneurs qui marchent vers la réserve naturelle des Grangettes prennent à peine garde. Une bataille de l'énergie se livre là, qui a pour toile de fond la révolution mondiale des hydro-

- The magazine *Bilan* published an article about the potential of non-conventional hydrocarbons that lies in the Swiss underground and the possibility to store CO₂ after extraction of the gaz.

carbures non conventionnels. A deux kilomètres de Villeneuve, entre Noville et le Léman, le rectangle blanc coiffe un puits de 4300 mètres qui descend en arc sous le lac, à 3500 mètres de profondeur. La roche qui a été ramenée de si loin montre la présence de gaz naturel emprisonné dans une épaisse couche de grès sous l'anticlinal au large de Clarens. Beaucoup de gaz? «Oui, dit avec malice Philippe Petitpierre. Entre zéro et vingt cinq années de consommation suisse, mais plus près de vingt cinq ans.»

Petitpierre, en Suisse romande, est le prince du gaz: tous les fils de cette industrie semblent conduire à lui. Entre autres casquettes, il dirige les opérations de Petrosvibri, l'entreprise qui a foré sous le Léman. Ce printemps, il parle par ellipses prudentes, parce que la passe est délicate. Ses actionnaires diront dans quelques semaines s'ils sont prêts à envisager l'exploitation du trésor gris sous le lac bleu. Or, venant en majorité des Services industriels genevois, lausannois et d'autres, ils font plutôt la moue devant le pactole promis. Pourquoi? A cause de ce gros mot qui fait peur aux politiques: fracturation.

Les voisins des Grangettes avaient été les premiers à s'inquiéter, au moment du lancement du projet, il y a cinq ans. Petrosvibri avait fait valoir un investissement de près de 8 millions dans des travaux préparatoires de protection du site, ce qui avait amené Pro Natura à retirer son opposition. Le gérant de la réserve, Olivier Epars, qui est aussi député vaudois Vert, a encore récemment interpellé le Conseil d'Etat. Les écologistes comme lui reçoivent toute nouvelle découverte de source d'énergie fossile comme une malédiction: c'est chaque fois un obstacle, ou un détour sur le chemin du renouvelable. Si vraiment le gaz non conventionnel du Léman doit être exploité, ils demandent des garanties absolues sur les techniques qui seront employées. Or la technique connue, la fracturation hydraulique abondamment utilisée outre-Atlantique, les

gouvernements romands n'en veulent pas, les Fribourgeois et les Vaudois l'ont déjà fait savoir.

«Ce qui s'est passé aux Etats-Unis, c'est le catalogue de tout ce qu'il ne faut pas faire!», admet Jon Mosar,

BEAUCOUP DE GAZ?

«OUI ENTRE ZÉRO ET VINGT-CINQ ANNÉES DE CONSOMMATION SUISSE, MAIS PLUS PRÈS DE VINGT-CINQ ANS»

professeur de géologie à l'Université de Fribourg, l'un des meilleurs connaisseurs du sous-sol suisse. La faute à George Mitchell? Ce pétrolier texan, à la fin du siècle dernier, a dépensé beaucoup de millions et de subventions fédérales pour développer des techniques et des instruments capables d'arracher au sous-sol les hydrocarbures insaisissables.

Le pétrole et le gaz (conventionnels) que nous consommons sont puisés dans des structures volumineuses: on plante une paille, et on suce. Mais des quantités plus importantes de résidus précieux (non conventionnels) sont emprisonnées dans des roches plus profondes, schiste, grès, etc. La fracturation hydraulique, qui permet de libérer ce gaz ou ce liquide en fissurant la roche, est connue depuis longtemps, elle est couramment utilisée en géothermie.

Mais quand le prix des hydrocarbures était bas et la technique rudimentaire, l'exploitation non conventionnelle n'avait aucun sens économique. Ce que Mitchell a apporté, au moment où les cours prenaient l'ascenseur, c'est la maîtrise, à grande profondeur, du forage horizontal le long de la couche de schiste ou de grès gorgée d'hydrocarbures. Le puits est alors rempli d'un mélange d'eau, de sable et de produits chimiques sous une pression telle que la roche se fissure: le sable – ou de petites billes de verre – maintient les failles ouvertes; les produits chimiques

aident au forage et stimulent l'écoulement des hydrocarbures libérés.

Craintes mondiales

Avant de devenir un fracas mondial, la ruée sur le schiste américain a commencé en douceur. Profitant d'une législation souple et de la structure de la propriété, les pétroliers, petits et gros, sont partis à la chasse au trésor, creusant des trous partout. Aux Etats-Unis, les privés possèdent aussi leur sous-sol. Les prospecteurs leur proposaient des contrats juteux, qu'ils ont souvent signés.

Cette anarchie a mis en lumière les risques du fracking. La fracturation en profondeur, si elle se propage jusqu'à des failles sismiques, peut provoquer de petits tremblements de terre. Les énormes quantités d'eau utilisée (au moins 10 000 m³ par forage), polluée par les adjuvants chimiques, n'étaient souvent pas retraitées. Une nappe phréatique peut être empoisonnée si une fissure provoquée arrive jusqu'à elle. Le méthane, à très fort effet de serre, peut fuir.

Ces menaces ont fait naître aux Etats-Unis un actif mouvement de résistance. A côté de la Pennsylvanie, où le fracking bat son plein, l'Etat de New York, dont le sous-sol est riche en gaz de schiste, a imposé sur son territoire un moratoire. Mais le gouverneur, qui a ordonné de minutieuses études d'impact, va sans doute lever l'interdit.

Comment résister à cette promesse? Le pays est devenu le premier producteur de gaz du monde. Dans dix ans, il sera exportateur net de pétrole. Ses émissions de CO₂ diminuent au fur et à mesure que le gaz remplace le charbon pour produire de l'électricité. Des industries, pour profiter du bas prix de l'énergie et de celui du gaz qu'elles utilisent comme matière première (agrochimie, verre, etc.) rapatrient aux Etats-Unis des productions naguère délocalisées. L'allemand BASF annonce pour la même raison un transfert progre

Ce trésor qui repose sous le Léman

sif de fabrication outre-Atlantique.

La crainte et l'euphorie se sont rapidement répandues dans le monde. La connaissance imparfaite que les géologues ont du sous-sol montre que les réserves d'hydrocarbures non conventionnels sont inégalement réparties sous la surface de la terre. L'Amérique du Nord est gâtée, mais l'Argentine aussi, comme la Chine. L'Europe n'est pas mal lotie non plus: du bassin parisien à l'Ukraine, il y a beaucoup de schiste pour faire saliver les gaziers, et d'autres roches à explorer pour en extraire ce gaz qu'on dit serré (tight). Devant ce mirage énergétique, les Européens réagissent avec ambivalence. L'Allemagne est en train de se doter de règles pour encadrer rigoureusement la fracturation. La France, unanime de la droite aux Verts, a banni la technique il y a deux ans, mais la gauche au pouvoir se demande aujourd'hui si elle n'aurait pas dû y réfléchir à deux fois.

La Suisse, elle, se tâte. Des hydrocarbures sous le Plateau et le Jura? Des les années 1960 de l'autre siècle, des explorations et des campagnes sismiques assez intenses ont été menées, sans juteux résultats: quelques barils de pétrole ici ou là, à Essertines par exemple, pas vraiment de quoi installer un pipeline. Les prospecteurs, allemands alors pour la plupart, ont

**BIZARRE DÉCISION:
LES GAZIERS ONT
LE DROIT DE
RECHERCHER UN BIEN
QU'ILS N'ONT PAS
LE DROIT DE TOUCHER**

plié bagage.

Puis la fièvre est revenue, au milieu de la décennie passée. Des compagnies ont demandé aux cantons des concessions pour entreprendre en surface et en sous-sol de nouvelles recherches. Qu'elles le disent

ou non, elles étaient naturellement guidées par les progrès technologiques et la possibilité désormais de capter des sources d'énergie naguère inatteignables. Les autorisations accordées, essentiellement à cinq sociétés, couvrent maintenant la quasi-totalité du plateau suisse (voir carte ci-dessus).

En Suisse romande, la britannique Celtique Energie a obtenu trois permis sur toute la longueur du Jura, de la vallée de Joux à Biémme, avec concentration pour le moment sur le Val de Travers. Le Plateau est réparti entre la SEAG (Schweizerisches Erdöl), déjà active au siècle passé, et la compagnie de Martin Schuepbach, un Texan d'origine suisse. Le bassin lémanique est divisé entre Petrosvibri à l'est, et la suédoise Tethys Oil à Genève.

Que peuvent-elles trouver? «Du pétrole, sans doute pas, ou pas en quantité économiquement exploitable», estime Jon Mosar. Mais du gaz, peut-être bien. Je pensais déjà dans les années 1980 qu'il y en avait sous le Léman, et je l'ai dit alors.»

Werner Leu est plus catégorique. Il est géologue aussi, et il a conduit le forage de Noville. Il évalue la quantité de gaz non conventionnel contenue dans les couches de grès ou de schiste sous le sol suisse entre 200 et 450 milliards de mètres cubes. La consommation actuelle de gaz dans le pays est de 3,5 milliards de mètres cubes par année. La comparaison entre les deux chiffres avait de quoi éveiller des appétits dans un pays entièrement dépendant, par un gazoduc central nord-sud, du fluide importé de mer du Nord et indirectement de Russie (19%).

Moratoire vaudois

Au printemps 2011, deux événements d'inégale importance ont amené une considérable perturbation dans le nouvel élan gazier. La catastrophe de Fukushima d'abord, qui contenait un message ambigu. D'un côté, une inquiétude diffuse sur les interactions entre les entreprises industrielles humaines et la nature. De l'autre, une onde de choc sur la politique énergétique de la Suisse. Doris Leuthard

annonçait la fin, à terme, du nucléaire en Suisse, et émettait l'idée que la transition vers les sources renouvelables passerait sans doute par la production d'électricité dans des centrales à gaz. Les gaziers en ont eu chaud au cœur, mais ça n'a pas vraiment duré, parce qu'ils croient percevoir chez la conseillère fédérale une moue de dégoût et de mépris pour leur source d'énergie encore fossile.

L'autre événement, ce fut la décision française, devant l'agitation écologique et le portrait terrifiant fait en Europe du fracking américain, de bannir la recherche de gaz de schiste et la fracturation hydraulique. Dans la foulée, le Conseil d'Etat fribourgeois a décidé de ne pas renouveler l'autorisation de prospection qu'il avait accordée trois ans auparavant à Schuepbach Energy, actif en France aussi. Quelques mois plus tard, la conseillère vaudoise Jacqueline de Quattro décrétait un moratoire sur toutes les autorisations données dans le canton: les compagnies conservent le droit de mener des recherches en surface, mais tout ce qui

touche le gaz de schiste et la fracturation est prohibé. Bizarre décision: les gaziers ont le droit de rechercher un bien qu'ils n'ont pas le droit de toucher. Et l'interdiction de la fracturation, remarque Jon Mosar, entrave aussi les recherches en géothermie, qui ont recours à la même technique.

Dans le Val de Travers, Celtique continue ses travaux en surface, espérant obtenir l'autorisation d'atteindre par forage une réserve de gaz en profondeur. «Du gaz conventionnel», assure Stuart Catterall, son porte-parole à Londres. On comprend sa prudence. Car si le mot fracking était prononcé, la porte se refermerait sur Celtique: les réserves d'eau du canton sont dans les parages.

Reste Noville. Quand le canton de Vaud a imposé son moratoire, Petrosvibri avait déjà réalisé son forage sous le Léman. L'entreprise, explique Philippe Petitpierre, avait au départ un double objectif: vérifier

d'abord si l'anticlinal sous lacustre contenait ou non du gaz qu'on pensait alors conventionnel, voir ensuite si cette structure ne pourrait pas être utilisée pour la séquestration du CO₂, nouveau grand souci climatique.

L'affaire du dioxyde de carbone était si sérieuse que Petrosvibri s'est associé à l'EPFL en finançant la chaire du gaz naturel du professeur Lysses Laloui au laboratoire de mécanique des sols. Mais l'hypothèse de la séquestration s'est évanouie quand les roches remontées à Noville ont révélé la présence de gaz, non

**UNE NOUVELLE MÉTHODE
REMPLACER L'EAU
PAR DU PROPANE
LIQUIDE, SANS ADDITIFS
CHIMIQUES, SELON
SES PROMOTEURS**

pas conventionnel et facilement exploitable, mais enfermé dans une épaisse couche de grès, tight, comme disent en anglais les géologues. Le laboratoire de l'EPFL reste cependant dans la course: il vient de signer un contrat avec le géant américain

Chevron pour étudier l'interaction des fluides et des schistes.

Petrosvibri est aujourd'hui à un carrefour. Philippe Petitpierre propose à ses mandants, donc aussi aux autorités, de redescendre au fond du puits sous le Léman pour prolonger les analyses déjà réalisées. Sa certitude d'avoir découvert une réserve de gaz volumineuse et exploitable était faible au départ, moyenne aujourd'hui, et il est convaincu que la poursuite des recherches permettra de la conforter. Cette nouvelle étape devrait durer une année. A cette échéance, il s'agira de décider d'exploiter le trésor, ou de conserver le gaz dans le grès pour des jours meilleurs.

Nouvelles promesses

Mais, pour exploiter, il faut une autorisation du canton. Et Jacqueline de Quattro vient de répéter que la fracturation hydraulique était exclue. Philippe Petitpierre tient sa réponse: supprimons l'eau.

C'est tout nouveau, ça vient de sortir: eCORP, un gazier américain déjà actif en Suisse, a développé avec le canadien GasFrac une nouvelle méthode de «stimulation» de la roche pour récupérer les hydrocarbures emprisonnés en profondeur. L'eau est remplacée par du propane liquide, sans additifs chimiques, disent ses promoteurs. Un essai a été réalisé avec succès en janvier au Texas. Chevron, justement, a aussi effectué un test dans le Colorado. Et la méthode est proposée à New York pour lever le moratoire en vigueur. Les adversaires du fracking, dans l'Etat, demandent à voir.

Que diront les réticents gouvernements romands? Car c'est une particularité suisse: la gestion des hydrocarbures est une compétence cantonale. Cette répartition des tâches semble absurde au conseiller national Vert Christian Van Singer. «Une réserve d'hydrocarbures sous le sol ne connaît pas de frontières, ni cantonale ni nationale. Et les forages avec fracturation se font horizontalement, sur de longues distances. Il faut que la Confédération s'en mêle.»

Son groupe vient de soumettre à Berne un postulat qui, s'il était adopté, donnerait au Conseil fédéral de nouvelles compétences draconiennes: il demande un moratoire de dix ans ou une interdiction définitive de la fracturation hydraulique et de l'exploitation du gaz de schiste. Le gouvernement n'a pas encore répondu, mais les services de Doris Leuthard répondent à Bilan qu'il garde «une attitude critique face à l'exploration de gaz de schiste. Il souhaite en outre que les avantages et les dangers de la technique de fracturation hydraulique soient mieux étudiés.» On n'est pas plus prudent.

En fait, derrière leurs propositions maximalistes, les écologistes savent faire preuve de pragmatisme. Bien sûr, ils souhaitent un basculement aussi rapide

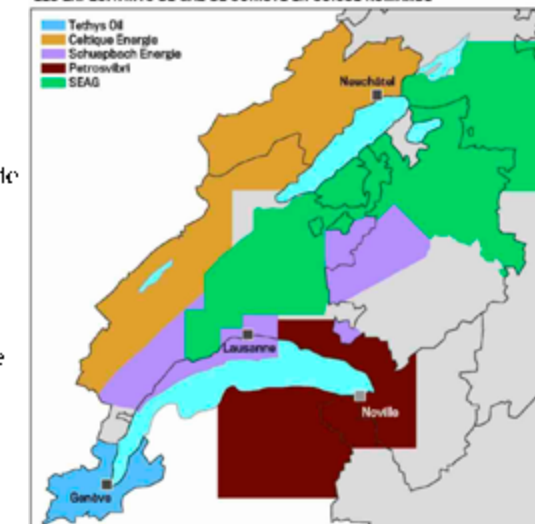
que possible vers les énergies renouvelables. Mais ils savent aussi qu'il n'y aura pas de voie magique vers un monde sans CO₂. Après le nucléaire, il faudra une transition avant que le soleil et le vent nous éclairent et nous chauffent. «Et pour cette transition, dit Philippe Petitpierre, le gaz est incontournable.»

La réponse est politique. Comme dit Jon Mosar, il faut savoir quelles nuisances et quels risques nous sommes prêts à accepter. ■



Un forage à Noville a révélé la présence de gaz enfermé dans une épaisse couche de grès.

LES EXPLOITANTS DE GAZ DE SCHISTE EN SUISSE ROMANDE



Nos études de stockage du CO₂ devraient limiter la micro-séismicité

December 2012

Swiss Engineering Magazine

« Nos études de stockage du CO₂ 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 CO₂, 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 CO₂, 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 %

Interview with Prof. Laloui by the Swiss Engineering Magazine. Prof. Laloui talks about research on geomechanics carried out at the LMS Laboratory, technology transfer and future of geo-engineering.

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 CO₂ ?

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 CO₂ 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 CO₂ 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 du CO₂ 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 labo 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, CO₂), 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 CO₂. 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).

— L'EPFL veut enfouir le CO₂

— May 2010
24heures



ENVIRONNEMENT

Petrosvibri la société exploitant le forage de Noville va déboursier 2.5 millions pour financer ès 2011 une nouvelle chaire de géologie. But? Etudier la séquestration de Co2.

CELINE ROCHAT TEXTES
CHANTAL DERVEY PHOTOS

«Remettre le carbone d'où il vient» BLC est en ces termes que Lyesse Laloui directeur du Laboratoire de mécanique des sols à l'EPFL a présenté hier le partenariat contracté avec la société Petrosvibri qui exploite le forage de Noville. Dès l'an prochain la société veveysanne détenue par Gaznat et Holdigaz va consacrer 2.5 millions à la création d'une chaire dédiée à l'étude du stockage souterrain et à long terme du dioxyde de carbone (CO₂). «La quantité de CO₂ émise dans l'atmosphère a presque doublé depuis 1971 développe le professeur. En limiter sa concentration est un des enjeux écologiques de demain.

Les objectifs de la chaire sont clairs: étudier les mécanismes d'interaction chimico-mécanique entre le CO₂ et la roche, s'interroger sur la sécurité des sites de stockage à long terme et identifier les lieux potentiels. Un des avantages d'enfouir le CO₂ en profondeur permettrait de réutiliser les gisements de pétrole et de gaz. Et la séquestration du CO₂ fait partie des agendas des gouvernements européens et nord-américains «C'est un domaine émergent. Avec ces études l'EPFL va pouvoir contribuer au savoir scientifique international» se rejouit Lyesse Laloui.

Petrosvibri a commencé son exploration pour vérifier la présence de gisements de gaz naturel sous le Léman en novembre 2009. La fin de l'exploration était initialement prévue pour ces jours mais deux pépins majeurs

— Petrosvibri, the company operating the drilling Noville, will spend 2.5 million in 2011 to fund a new chair in geology. Purpose? Studying sequestration CO₂.

(ndlr la tête foreuse s'est désintégré entraînant un arrêt de tout le forage puis la cavité s'est affaissée nécessitant de gros moyens pour remonter le tube de forage) ont repoussé ce délai d'environ 45 jours «Ce retard va nous coûter entre 3 et 4 millions précise Daniel Mouchet président de Petrosvibri. Un montant inclus dans les 22.5 millions budgétés.

Résultat pour 2011

Selon le président les échantillons prélevés jusqu'à maintenant ont révélé la présence «d'un peu de gaz mais en quantité trop faible pour pouvoir en tirer des conclusions» Si les résultats finaux - attendus pour le premier trimestre 2011 - confirment la présence de gaz naturel ces réserves pourraient couvrir l'équivalent des besoins de la Suisse pour vingt ans.

Les ingénieurs estiment à 20% la chance de découvrir du gaz. «C'est un taux suffisamment raisonnable pour justifier cette exploitation affirme Daniel Mouchet. Sur certaines plates formes pétrolières cette hypothèse n'est que de 10%. Et même si nous ne trouvons rien, ou peu, nous pouvons participer à la recherche de stockage souterrain. Ce n'est pas de l'argent perdu.

La sécurité au centre de l'attention.

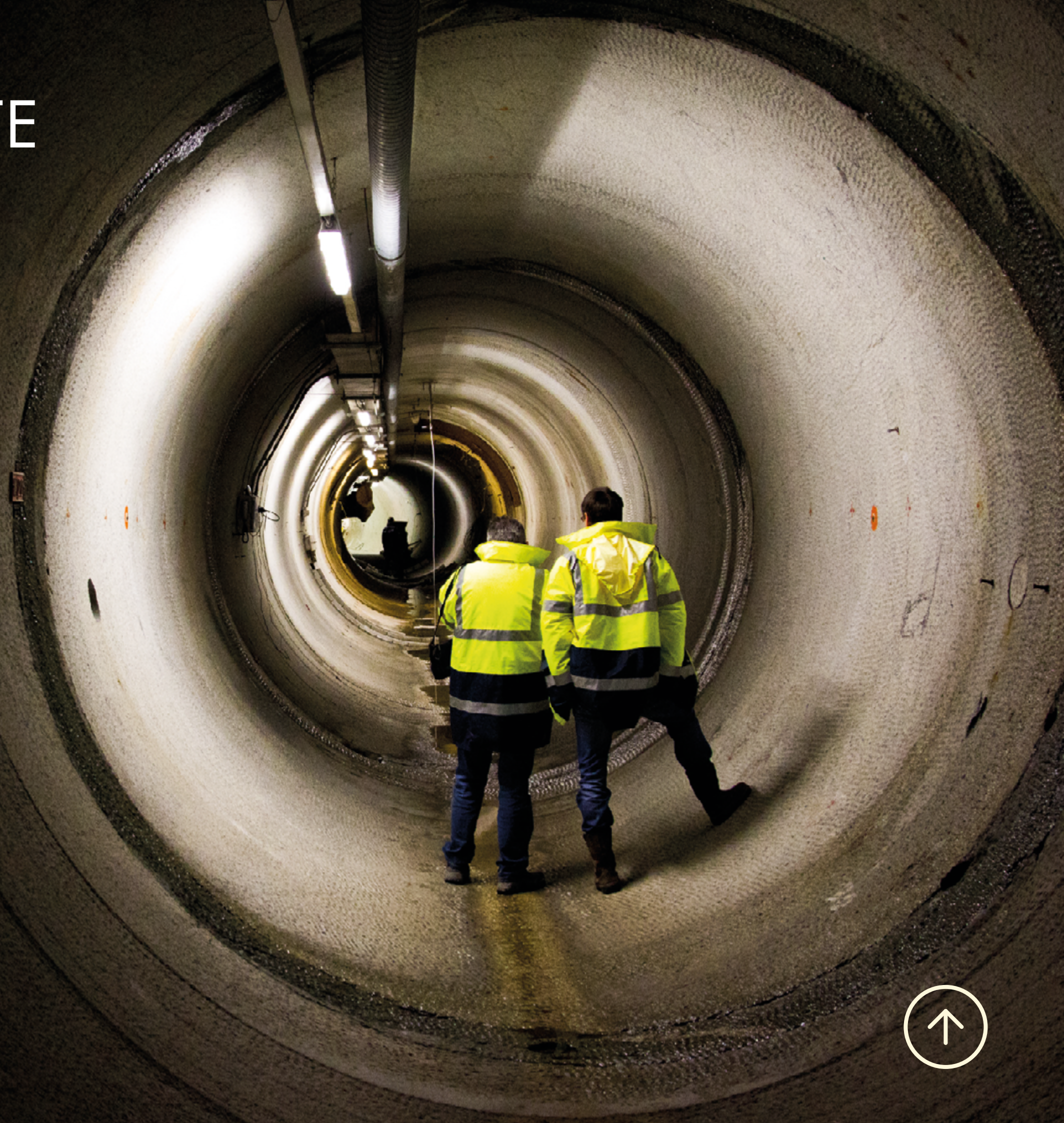
Le puits de la plate forme de 10 000 m² - l'une des plus grandes de Suisse - est équipé de trois niveaux de «vannes guillotines» qui, en cas de remontées incontrôlées de fluide obturent le puits. Si cela ne suffit pas, une 4e vanne hydraulique écrase et ferme physiquement le puits. Un réseau de mesures sismiques a aussi été mis en place afin de vérifier les effets du forage sur le terrain. A Baie les travaux d'un projet géothermique «sans commune mesure par rapport à celui de Noville» selon le vice-président de Petrosvibri Philippe Petitpierre, avaient entraîné un tremblement de terre en 2006.



Les spécialistes: Lyesse Laloui, prof à l'EPFL, Philippe Gillet, vice-président EPFL, Philippe Petitpierre et Daniel Mouchet, vice-président et président de Petrosvibri.

NUCLEAR WASTE STORAGE

Disposal in deep clay geological formations is the most promising way to dispose of high-level wastes. The laboratory works as well as numerical modelling are being conducted taking into account complex thermo-hydro-mechanical (THM) behaviour of materials. Involved materials are deeply analyzed in order to provide reliable predictions for the behaviour of storage facilities.



Déchets radioactifs:

qui veut d'un site d'enfouissement près de chez lui?

March 2018

Migros Magazine

Déchets radioactifs: qui veut d'un site d'enfouissement près de chez lui?

Depuis 2006, il est interdit d'acheminer les déchets de nos centrales nucléaires à l'étranger. La Confédération est donc à la recherche d'un site d'enfouissement. Mais la population est inquiète.

Texte [Laurent Nicolet \(/profile/564547\)](#)



La caverne pourra abriter jusqu'à 100 000 mètres cubes de déchets radioactifs. (Photo: Nigel Treblin/AP/Keystone)

- In the interview for *Migros Magazine*, Prof. Lyesse Laloui talks about nuclear waste storage and highlights solutions to manage radioactive waste now and in the near future.

Ni celle de Platon, ni celle d'Ali Baba: cette caverne-là flanquerait plutôt la pétroche. On veut parler de l'aménagement souterrain qui devra abriter les déchets radioactifs de nos centrales nucléaires. Près de 100 000 mètres cubes, faiblement, moyennement ou hautement radioactifs.

Jusqu'en 2006, les déchets des centrales suisses étaient acheminés à l'étranger, pratique désormais proscrite, à la suite d'accords internationaux stipulant que chaque pays était tenu de gérer ses déchets sur son territoire. D'où la nécessité d'un site d'enfouissement, de la grandeur du [hall de la gare de Zurich](https://company.sbb.ch/fr/les-cff-comme-partenaire-commercial/plate-forme-publicitaire/a-la-gare/evenements-zurich-gare.html), (<https://company.sbb.ch/fr/les-cff-comme-partenaire-commercial/plate-forme-publicitaire/a-la-gare/evenements-zurich-gare.html>), creusé dans le sol de la Confédération, dans des couches géologiques profondes constituées de roches argileuses imperméables.

De façon consultative, le peuple jurassien vient de se prononcer contre l'un des trois projets retenus situé dans l'Argovie voisine. Les deux autres encore en lice concernent les cantons de Zurich et Thurgovie. À noter que les cantons, propriétaires du sol, ont cédé sur cette question leurs prérogatives à la Confédération.

 **Canton du Jura**
@CantondJura

Consultation fédérale sur l'entreposage des déchets nucléaires: les citoyens du [#CantondJura](#) se prononcent contre la poursuite des études relatives au domaine d'implantation "Jura-est", qui fait partie des sites sélectionnés par la Confédération bit.ly/2HNNZJ4

3 15:51 - 4 mars 2018

[Voir les autres Tweets de Canton du Jura](#)

● — Déchets radioactifs: qui veut d'un site d'enfouissement près de chez lui?

La caverne nucléaire suscite en tous les cas des peurs nombreuses chez les citoyens, comme le résume le député vaudois Christian van Singer: «La population se dira, on n'a pas envie d'avoir des déchets enfouis qui risquent un jour de contaminer les nappes phréatiques, voire de revenir à la surface.» Pour des raisons techniques et politiques, le site ne fonctionnera pas avant plusieurs décennies. Après, il ne restera plus qu'à répéter très fort, et pour longtemps: Sésame, ne t'ouvre pas.

«En matière de gestion des déchets, il n'existe pas d'autres options»



Lyesse Laloui, directeur du *Laboratoire de mécanique des sols, EPFL*.
(<https://lms.epfl.ch/>).

Quels sont les critères qui font que c'est un site plutôt qu'un autre qui va être retenu pour l'enfouissement des déchets radioactifs?

S'agissant des déchets hautement radioactifs, on privilégie de grandes profondeurs, dans des zones qui sont très faiblement tectoniques, où l'on imagine qu'il ne va rien se passer sur des centaines de milliers d'années. Ni tremblement de terre ni érosion de la montagne qui ferait que les déchets se retrouveraient un jour en surface. **On va enfouir ces**

déchets à des profondeurs de 400 à 500 mètres, de telle sorte que rien ne filtre, que pas le moindre radionucléide ne puisse remonter en surface. Les roches les plus adaptées pour cela sont les argiles Opalinus qu'on trouve un peu partout en Suisse. C'est une argile qui s'autocicatrise, qui va se refermer elle-même une fois qu'on creuse et qui est imperméable. L'eau et les radionucléides ont beaucoup moins de chances de pouvoir les traverser que d'autres matériaux.

C'est la meilleure roche que l'on ait en Suisse ou la meilleure roche en soi?

Beaucoup de pays ont opté pour le même genre d'argile, en France par exemple à Bure ou encore en Belgique. Personnellement, je ne vois pas d'autres matériaux qui pourraient idéalement offrir de meilleures conditions. C'est donc plutôt une chance que d'en avoir en Suisse.

Pensez-vous que cela suffise à rassurer, à faire que les populations accepteraient ce genre d'installation près de chez eux?

C'est un réflexe naturel, humain, que ce soit vis-à-vis des déchets nucléaires, des éoliennes, des antennes pour la G5 ou du voisin qui se construit un étage supplémentaire: personne n'aimerait avoir quoi que ce soit devant chez lui.

Cette roche garantit-elle par exemple que les nappes phréatiques ne soient pas contaminées?

À ces profondeurs, on est très loin des nappes phréatiques. On peut parler de conditions de sécurité extrêmes. Après, je ne sais pas si «garantie» est le mot qui convient. Quand on parle d'ingénierie, par exemple pour un immeuble, il n'y a pas de garantie. Ce que l'on fait, c'est d'offrir les meilleures conditions, le meilleur savoir dont on dispose pour que cela marche. Et puis il faut comprendre qu'aujourd'hui en matière de gestion des déchets il n'existe pas d'autres options.

● — *Déchets radioactifs: qui veut d'un site d'enfouissement près de chez lui?*

Bref, il n'y a pas le choix...

On va renforcer en tout cas la sécurité en adoptant un système dit de multi-barrières. Les déchets sont mis dans des fûts, sont vitrifiés. Les fûts sont entourés d'une bentonite qui a la caractéristique de gonfler dès qu'elle entre en contact avec l'eau et ferme ainsi tous les espaces. La troisième barrière c'est l'argile dont on parlait tout à l'heure.

Dans combien de temps la caverne nucléaire sera-t-elle opérationnelle?

Les déchets à haute radioactivité émettent beaucoup de chaleur au début. On va donc devoir commencer par les refroidir en les mettant dans des piscines. Cette phase de refroidissement dure entre quarante et cinquante ans. Il faut tenir compte du processus politique. Vers 2021, un site unique aura été sélectionné. Vers 2024-2025, la Nagra (<https://www.nagra.ch/fr>). (ndlr: la société suisse responsable du stockage des déchets radioactifs) présentera son rapport au Conseil fédéral. Cela va passer au Parlement, puis probablement en votation, vers 2027-2028. **C'est vers 2030 que l'on commencera les premières opérations de réalisation.** Il faut compter à peu près septante ans pour avoir un premier site de stockage en fonction. Enfin, il sera toujours possible de récupérer les déchets les deux cents premières années si des problèmes apparaissent ou que de nouvelles techniques sont découvertes pour leur traitement ou leur utilisation.

En chiffres

9400

mètres cubes. C'est la quantité de déchets hautement radioactifs, issus des centrales, qui seront enfouis dans le site retenu.

63 000

mètres cubes de déchets moyennement et faiblement radioactifs ont été produits jusqu'à présent par les centrales suisses.

20 000

mètres cubes de déchets faiblement et moyennement radioactifs ont été produits par la médecine, l'industrie et la recherche.

— Identifying the right sites for storing radioactive waste

— February 2017

Homeland Security News Wire

Homeland Security News Wire

Nuclear waste

Identifying the right sites for storing radioactive waste

In 2008, a Swiss government agency identified six regions in Switzerland, approved by the Federal Council, which could be used to store radioactive waste. An EPFL research project has developed a detailed profile of the sites selected to store radioactive waste from Swiss nuclear power plants. The project helped identify the two sites that meet both safety and feasibility requirements.

An EPFL research project has developed a detailed profile of the sites selected to store radioactive waste from Swiss nuclear power plants. The project also helps identify sites that meet both safety and feasibility requirements.

“Radioactive waste containers are safer the deeper they are buried in rock, but that makes the process much more technically challenging too. I had to consider both of these factors in my thesis, while maintaining a very long-term perspective,” says Valentina Favero, a civil engineer and a researcher in EPFL’s Laboratory of Soil Mechanics (LMS) who passed her Ph.D. oral exam on 16 January. Her public defense will take place on 3 March at EPFL.

“Favero’s findings will play a role in selecting radioactive waste storage sites in Switzerland,” says Professor Lyesse Laloui, one of her Ph.D. advisors and head of the LMS. “Her work is sure to have major scientific implications and a significant impact on society.”

EPFL notes that in 2008, the National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste (NAGRA) identified six regions in Switzerland, approved by the Federal Council, which could be used to store radioactive waste. Since then, the list has been whittled down to two regions – northeast Zurich and eastern Jura (Aargau) – on the basis of work done by Favero for her Ph.D.. According to Favero, these two sites meet the safety and feasibility requirements of storing highly radioactive waste from Swiss nuclear power plants, as well as low-activity waste, which is produced by medical,

- Six regions in Switzerland that could be used for nuclear waste storage were proposed. LMS’ civil engineer, Valentina Favero, contributed to identifying the sites that meet safety and feasibility requirements.

research and engineering activities. But Favero’s contributions do not end there: her research will also be used in a more detailed study of the sites approved by the Federal Council during the next step of the selection process. This study was granted financial support from NAGRA.

Detailed analysis of Opalinus clay

What was Favero’s approach in her Ph.D.? First, she learned more about the properties of Opalinus clay, which is the type of rock commonly used in Switzerland for storing radioactive waste. She studied the clay’s characteristics at different depths in the six regions short-listed by NAGRA. This was meticulous work, as the clay’s properties vary with depth.

Favero noted all of the clay’s physical, mechanical, and chemical features, and studied how the heat given off by radioactive waste containers affects both the clay and the materials (such as bentonite) used to surround the canisters – materials that may expand or contract in the presence of heat. She also identified the chemical composition of the liquid found in the clay’s pores, since the composition may change in response to heat. She needed to investigate other hydraulic properties of rocks as well, including “suction,” which refers to rocks decreasing in volume when they become partially saturated. In order to see the big picture – how these properties, taken together, could lead to radiation leaks – Favero had to crosslink her data. That was a laborious task, but it led to one of the key outcomes of her Ph.D.

Desaturation and convergence

“The deeper you go, the more rigid and impermeable the rocks are. And that’s exactly what we want – a solid barrier between us and the radioactive waste. But the technical challenges also increase the further down you go,” says Favero. Even the process of drilling the tunnel that the radioactive waste containers will go through will affect how the surrounding rocks behave.

This led Favero to analyze how the materials will react during the various phases of this process: “Rocks located at the upper end of the tunnel will be exposed to air,” she explains. “That will lead to desaturation, in which some of the water held in the rocks evaporates. As they dry out, the materials could crack, which would make them more permeable. Yet we need impermeable rocks to achieve an effective seal.”

EPFL says that the researcher carefully studied this phenomenon and the related risks. Leaving no stone unturned, Favero also looked at the redistribution of forces when the tunnel is dug. This is called convergence, and it refers to the tunnel’s tendency to collapse on itself. The deeper the tunnel, the greater the convergence.

Favero’s exhaustive research was instrumental for the NAGRA in selecting the best two sites for storing radioactive waste in Switzerland and determining the safest and most technically feasible depth at which to place the steel canisters.

Déchets nucléaires. L'éternelle question

February 2017

Moustique

Déchets nucléaires L'ÉTERNELLE QUESTION



Stockage des déchets nucléaires à Bure (France).



NOTRE
EXPERT

LYESSE LALOUI
EST LE DIRECTEUR
DU LABORATOIRE DE
MÉCANIQUE DES SOLS DE
L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE.

L'État compte enfouir des matières radioactives à 200 mètres de profondeur. Puis les sceller à tout jamais. Une hérésie pour les écologistes.

Que faut-il faire de nos déchets nucléaires? C'est la question à plusieurs milliards d'euros que se posent opposants comme partisans de cette énergie. C'est surtout une question à plusieurs centaines de milliers d'années - la durée de vie des matières les plus radioactives. Un débat aussi vieux que les premières centrales nucléaires bâties en Europe au milieu des années 50 qui a accouché de solutions pour le moins variées

et... originales. Certains pays comp- taient les envoyer sur la Lune, d'autres - Russie et Angleterre en tête - ont commencé par les jeter au fond des océans à 10 kilomètres de profondeur. Tandis que les moins scrupuleux d'entre eux les déchar- geaient sur des plages africaines... Heureusement, ce temps est (qua- si) révolu et un consensus se déga- ge aujourd'hui sur l'enfouissement de ces matières. Reste la manière. À quelle profondeur doit-on les en- terrer? Dans de la roche, du schiste, de l'argile? Et surtout, doit-on sceller ces fûts radioactifs à tout jamais?

En Belgique, pays le plus densément nucléarisé au monde, l'Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies (ONDRAF) a bien évidemment son idée sur la question. Précisons qu'on parle ici des matières de moyenne à très haute radioactivité, soit environ 15.000 m³ de déchets à très longue vie. L'Ondraf compte donc les enfouir à 200 mètres de profondeur dans l'argile meuble de la région de Mol (Anvers). L'affaire a déjà été coulée dans un avant-projet d'arrêté royal. Une hérésie, selon le groupe Écolo- Groen. Et les députés Kristof Calvo (Groen) et Jean Marc Nollet (Écolo)

The burying of the nuclear wastes is the generally used technique today. Nevertheless, the way remains an open question. Belgium plans to bury them at 200m of depth, which aroused the indignation of the ecologists. Prof. Laloui explains problems of a burying considered too superficial.

d'opter pour un stockage en subsur- face, c'est-à-dire à très faible profon- deur, comme le font notamment les Américains. "On peut effectivement l'imaginer dans un pays comme les États-Unis, où l'armée possède, dans le Nevada par exemple, des centai- nes de kilomètres carrés grillagés et surveillés qui ne laisseraient person- ne passer", leur répond Lyesse Laloui, de l'École polytechnique fédé- rale de Lausanne. "Mais dans des pays plus densément peuplés, com- me la Belgique, un stockage en surfa- ce serait en revanche beaucoup plus risqué." Parmi ces risques, pointons notamment le crash d'un avion sur le site ou une attaque terroriste.

Les écologistes seraient donc prêts à enfouir ces matières radioactives mais dans un sol en schiste ou en granit. Autre fausse bonne idée? "Le granit a été étudié par de nombreux pays dans des labos souterrains et tous l'ont abandonné", renchérit l'in- génieur civil qui vient de chapeauter un symposium rassemblant les scientifiques de quelque 26 pays autour, notamment, de la question de l'enfouissement de ces déchets. "Ce matériau a en effet une fâcheuse tendance à se fissurer. Il faut savoir que les déchets à haute radioactivité vont dégager de la chaleur durant quelques décennies. Le granit va donc se réfracter avant de refroidir et de se fracturer de partout."

En revanche, le schiste affiche un bien meilleur profil. C'est d'ailleurs l'un des matériaux d'enfouissement sélectionnés par les Suisses et les Français. Il ne se fracture pas comme le granit et est moins perméable à la radioactivité que l'argile. "Reste que votre argile de Mol possède un solide atout: les fissures engendrées par le forage des tunnels cicatrisent bien mieux avec elle. On le voit, il n'y a donc pas de matériau idéal."

Pas de matériau idéal, ni de recul né- cessaire pour estimer son cycle de vie. Massivement employé dans ces projets, le béton, par exemple, existe à peine depuis un siècle. Il est pour- tant censé tenir des millénaires. Les ingénieurs essaient donc de dimi- nuer ces incertitudes en multipliant les barrières. Comme des poupées russes. En espérant que l'accumula- tion de nos connaissances sur cha- cune de ces barrières en produise une globale plus efficace. "C'est ça le

véritable défi technique. Il faut chan- ger notre échelle du temps. Sinon, c'est un ouvrage comme un autre. On est aujourd'hui capables de creuser le tunnel du Saint-Gothard (qui traver- se le massif suisse du même nom - NDLR) sous 2.300 mètres de roche. Alors un forage à quelques centaines de mètres n'a rien d'extraordinaire."

NAPPES PHRÉATIQUES MENACÉES

À quelle profondeur faut-il enfouir ces déchets? Là aussi, chaque pays y va de sa propre initiative. Les Japonais creusent jusqu'à 1.000 mètres, les Suisses tablent sur une profondeur de 400 à 800 mètres, les Français se limitent à 500 mètres et les Belges à 200 mètres. Ce que conteste, à rai- son sans doute, le parti Écolo. "La Belgique fait figure d'exception, s'étonne le professeur Laloui. Car le consensus scientifique se situe clai- rement au double de cette profon- deur. Au minimum." Et ce pour trois raisons. En cas de fuite radioactive, un stockage à grande profondeur constitue une soupape de sécurité. Tandis que le risque de contaminer les nappes phréatiques utilisées pour l'alimentation et l'irrigation est également moins élevé. "Et n'oublions pas l'érosion. Dans quel- ques milliers d'années, il se pourrait bien que cette zone à 200 mètres de profondeur se retrouve en surface!" Un risque limité, si l'on en croit cet ingénieur. Nos connaissances techni- ques permettraient d'ailleurs aujour- d'hui de prédire les processus géo- mécaniques sur les 10.000 prochai- nes années.

Pourquoi la Belgique ne creuse-t-elle pas plus profondément? Parce que cela n'est pas nécessaire, visible- ment, et surtout que cela coûte trop cher. À 200 mètres, l'Ondraf estime que cela devrait coûter environ 3 mil- liards d'euros. À 500 mètres, la factu- re pourrait monter à 9 ou 12 milliards. Un argument de taille qui pèse égale- ment sur l'épineuse question de la réversibilité de ce stockage. Lequel principe est, en France, coulé dans une loi et oblige donc les exploitants de ces déchets à ne pas sceller défi- nitivement ces sites. Afin de contrô- ler ce stockage régulièrement, de l'améliorer ou de récupérer ces matières radioactives afin de les re- cycler ou de les traiter différemment selon les connaissances que nous

aurons dans 100 ou 1.000 ans. L'Ondraf compte pourtant sceller ces déchets à tout jamais. "C'est mal- heureusement un luxe que vous ne pouvez visiblement pas vous permet- tre", déplore l'ingénieur suisse.

Et de pointer le surcoût d'une solu- tion de stockage réversible. "Au lieu de tout remblayer comme une tom- be, il faudra que chaque sas de pro- tection puisse être détruit pour per- mettre l'accès. Il faudra aussi assurer la maintenance et la possibilité d'aller rechercher ces fûts. Pas par des humains mais des robots." Pourquoi ne choisirions-nous pas alors une solution intermédiaire? En Suisse, la mise en place de ces structures d'enfouissement durera plusieurs décennies. "L'idée est donc de commencer à creuser une pre- mière zone et de l'analyser sur une très longue durée tout en continuant à remplir les zones suivantes. Si on se rend compte que quelque chose ne va pas ou si on découvre une meilleure façon de faire, on peut s'ar- rêter." Et recommencer autrement.

✖ Harold Nottet

Le facteur humain

La science a fait beaucoup de chemin en matière de déchets nucléaires. Reste à en informer l'opinion publique.

Les projets d'enfouissement ne sont-ils pas autant d'emplâtres sur une jambe de bois? Et un autre indice que le secteur du nucléaire est de plus en plus dépassé par sa créature monstrueuse? Le professeur Lyesse Laloui balaie ces critiques d'un revers de la main. "Boostés par l'Union européenne, les investissements en recherche et développement en matière d'enfouissement de ces déchets ont permis une avancée scientifique énorme. C'est même l'un des domaines d'ingénierie où nous avons fait le plus de progrès. Mais à côté des connaissances scientifiques et techniques, il reste le facteur humain... Comment va t-on mettre en application ce savoir? Quels sont les entreprises et les bureaux d'études qui vont le faire? Avec quel sérieux? Face à la résistance des populations qui ne voient pas ces enfouissements d'un bon œil, il est capital que ce monitoring soit le plus transparent possible et que le public puisse y avoir accès." À bon entendeur...

Sorti du nucléaire: quid des déchets?

January 2017

L'EXTENSION

SORTI DU NUCLÉAIRE : QUID DES DÉCHETS ?

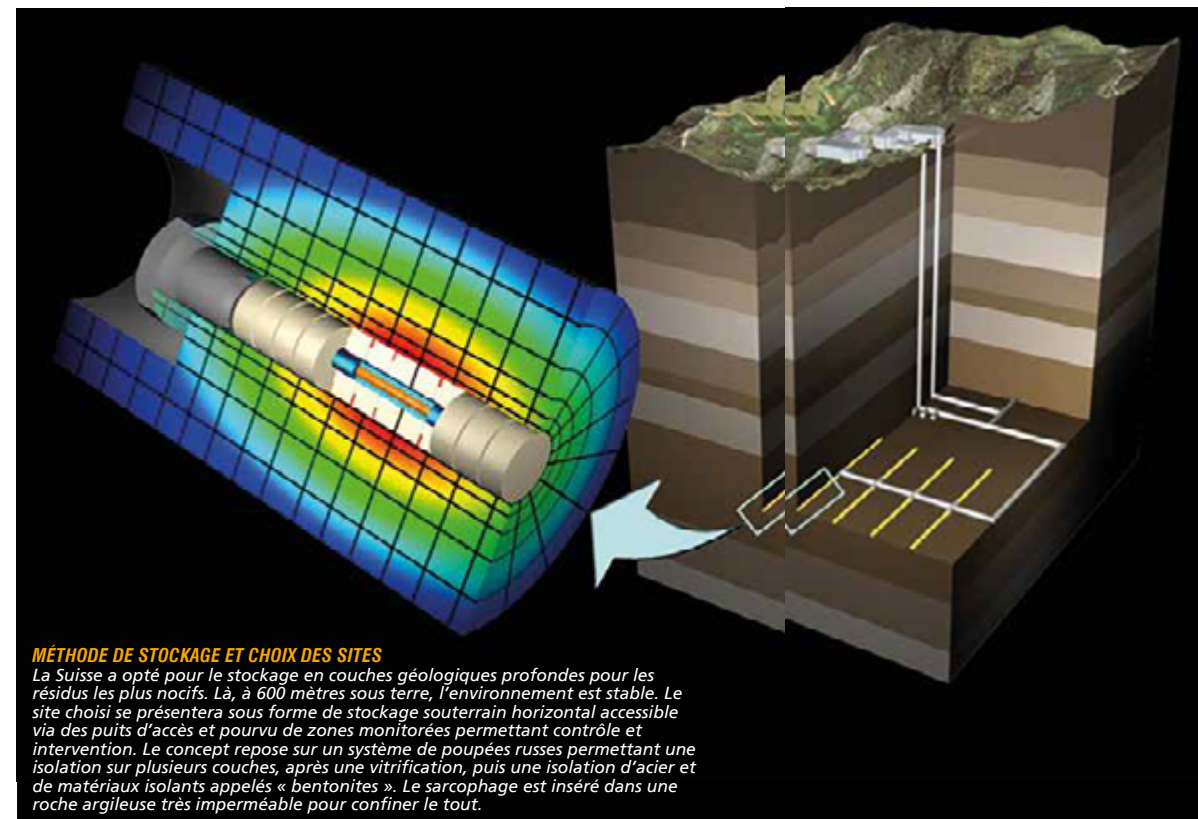
Le nucléaire n'a pas fini de faire débat. Une fois le sort des centrales définitivement scellé, viendront nécessairement les doutes liés à leur démantèlement. La Suisse s'est engagée à traiter ses propres déchets sur son sol et devra définitivement trancher sur la méthode la plus sûre, ainsi que le lieu le plus propice pour leur stockage. Prévu en 2025, le processus devrait également s'enclencher avec son lot de nouveaux questionnements. A qui sont confiées les procédures de sélections des sites ? Comment garantir la neutralité des experts ? Quel est le savoir-faire de la Suisse ? Quelle position adopter pour favoriser l'éthique la plus irréprochable et la sécurité la plus infaillible ? A quel prix ? Car le coût est, en fin de compte, le nerf de la guerre.

.énergie/

Avec une part d'électricité nucléaire de près de 40%, la Suisse s'est aussi construite d'une forte culture du nucléaire lui permettant de financer et de développer des équipes et des infrastructures de recherche très importantes depuis près de 50 ans. Elle s'est également dotée d'institutions dans le but de contrôler et sécuriser les infrastructures, veiller à l'intérêt des populations, informer, fédérer et mettre en place les solutions, parmi lesquelles l'Office fédérale de l'énergie, l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire ou encore La Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs (NAGRA/CEDRA) fondée par les exploitants des centrales nucléaires mais aussi le Conseil fédéral afin d'assurer une gestion des déchets nucléaires sûre, durable et respectueuse de l'environnement.

LA SUISSE, UN CENTRE MONDIAL POUR LA RECHERCHE SUR LES DÉCHETS NUCLÉAIRES

Le côté polémique du sujet occulte totalement le fait que la Suisse joue un rôle de leader en la matière et jouisse des travaux d'experts les plus réputés au monde. De nombreux pays tels la France, l'Allemagne ou le Japon viennent pourtant s'enrichir des résultats issus des laboratoires installés à l'EPFL, et sur les sites souterrains de Mont-Terri ainsi que



de Grimsel notamment. Ainsi, si le traitement des déchets radioactifs constitue un véritable défi pour l'humanité, il est aussi l'un des sujets que l'on maîtrise le mieux dans notre pays. De quoi apaiser la discussion concernant la gestion du risque de stockage et dépassionner quelque peu le débat sociétal sur le sortir du

nucléaire. « Sortir prématurément ou non du nucléaire ne changeait rien au niveau des déchets, si ce n'est en terme de délais. L'anticipation revenait seulement à gérer 5 fois plus de matière radioactive d'un seul coup et à accélérer la mise en place du programme d'enfouissement de nos déchets... » rassure le Prof. Lyesse Laloui,

The article calls back the politics adopted by Switzerland regarding nuclear waste, as well as the socio-economic stakes. The Prof. Lyesse Laloui explains that a premature exit from nuclear power changes nothing at the level of waste.



« C'est l'échelle de temps qui crée un très fort impact dans l'esprit des gens, plus que le volume de déchets nocifs à stocker. »

Professeur Lyesse Laloui, détenteur de la chaire de mécanique des sols à l'EPFL

et moyenne activité à vie courte, provenant de la médecine, de l'industrie et de la recherche requérant un stockage superficiel, les résidus de moyenne activité et à vie longue, provenant de l'exploitation et du démantèlement des cinq centrales nucléaires présentes sur notre territoire, réclamant un stockage semi-profond, et les déchets de haute activité et à vie longue, issus de l'assemblage des combustibles usés et déchets vitrifiés hautement radioactifs qui exigent un stockage profond. Le traitement de ces derniers représente un réel enjeu pour l'humanité car l'ouvrage d'entreposage et de stockage doit pouvoir se maintenir sur 1 million d'années. « C'est cette échelle de temps qui crée un très fort impact dans l'esprit des gens, plus que le volume de déchets nocifs à stocker. Ce dernier s'évalue à 7400 m3 et tient dans un espace cubique de 20m de côté. Ramenées au nombre d'habitants en Suisse, les quantités de déchets nucléaires produites s'élèvent à 500 grammes par habitant en 50 ans » explique le Prof. Lyesse Laloui.

D'ici à 2021, la CEDRA/NAGRA, devra choisir un lieu parmi les 6 sites retenus en Suisse pour le stockage. Tous se situent en Suisse alémanique et ont pour particularité de présenter les couches géologiques les plus adaptées. Les risques sont évalués grâce à des méthodes de calculs très savantes et des tests en laboratoire. La détermination de la profondeur est un enjeu important, car entre 400, 600 et 900 mètres, la sécurité et les coûts varient considérablement. On ne parle plus uniquement de choix techniques mais d'optimisation du risque pour garantir le meilleur stockage au prix le plus raisonnable.

LE RISQUE, UN CHOIX DE SOCIÉTÉ

Cette gestion du risque n'est pas propre à la radioactivité, elle est inhérente à la perception du monde actuel, au même titre que le risque de nouvelles pandémies, les risques terroristes, écologiques ou de crises financières. Mais ceux liés à la gestion de la radioactivité des déchets nucléaires occupent une place à part dans l'imaginaire collectif, compte tenu de la dimension temporelle à laquelle la radioactivité se réfère. La science est devenue l'instrument incontournable de mesure et de gestion de risque. Elle crée des modèles et des estimations. Mais l'évaluation du risque repose aussi, en bonne partie, sur la subjectivité et révèle, au bout du compte, d'un choix de société et de politiques publiques. Si le risque est volontariste et connu de la société, la tolérance est plus importante que si le risque est involontaire : on admet plus facilement un accident au volant d'une moto qu'en traversant un passage pour piéton. Dans un système de démocratie directe comme le nôtre, il convient de bien informer la sphère citoyenne afin d'en affiner ses choix, réduire la part d'émotionnel pour raisonner et tolérer la potentialité d'un danger.

ILLUSION DU RISQUE ZÉRO

Ainsi, statuer aujourd'hui sur les conditions de stockage de déchets radioactifs ne réside pas seulement sur l'expertise scientifique. L'illusion du risque zéro étant écartée, le débat public doit mener à un consensus social sur le degré d'acceptation du risque, pour prendre les mesures en fonctions de critères autant économiques qu'écologiques ou éthiques ■ **SB**

détenteur de la chaire de mécanique des sols à l'EPFL.

500 GRAMMES PAR HABITANT EN 50 ANS

La classification qui détermine l'importance des protections à mettre en place comprend essentiellement trois catégories : les résidus de faible

Burying the nuclear waste problem

August 2011

swissinfo.ch

SWI **swissinfo.ch**

Burying the nuclear waste problem

By Marc-André Miserez



A simulation in Grimsel granite shows the uranium rods, the steel container and the buffer layer of bentonite

(Alessio Ferrari)

Within 20 years Switzerland should have turned the page on nuclear energy. But what to do with the tens of thousands of tonnes of waste?

Scientists at the Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL) are testing a storage system using multiples barriers, where waste could be kept for centuries until it becomes harmless.

Today, Swiss nuclear waste is cooled very slowly in massive pools in power stations themselves and in the interim storage facility for nuclear waste in Würenlingen, canton Aargau.

- Interview of Dr. A. Ferrari about the nuclear waste storage, published on *Swissinfo.ch*. Within 20 years Switzerland should have turned the page of nuclear energy. But what to do with the tens of thousands of tonnes of waste?

In 2006, the government imposed a ten-year moratorium on the export of nuclear waste. Since then no waste has been sent for recycling at French reactor maker Areva's factory in The Hague.

Areva claims that 96 per cent of rods used in French reactors are re-enriched to be re-used as fuel – a figure that makes Greenpeace activists glow with anger.

For the environmental organisation, the real number is ten times lower – the difference being explained by the illegal export of rods to dumps in Siberia.

In June the cabinet decided to decommission Switzerland's five nuclear power reactors by 2034, once they reach the end of their lifespan. But when it comes to nuclear facts and figures, nothing is ever simple or transparent...

Lab progress

Alessio Ferrari is a scientist, not a politician. He is a researcher at EPFL's Laboratory of Soil Mechanics and is working on how rock can take in waste without it ever coming into contact with the environment or groundwater.

This option of deep geological landfill sites is how Switzerland and its neighbours have decided to deal with the problem – and if on the surface the process appears to have reached a standstill, in laboratories the research is making rapid progress.

"In the past five or ten years things have really speeded up at a European level," Ferrari told *swissinfo.ch*.

"Scientists now have better labs, better results and a better understanding of how soils behave when conditions change. And public authorities are also pushing research – they realise that ultimately a solution has to be found."

Barriers

The waste that can no longer be recycled is first of all vitrified, i.e. stabilised into a glass matrix which in theory will neither react nor degrade for extended periods of time.

Nevertheless, these substances remain active and this activity generates heat: up to 150 degrees Celsius for centuries. Total cooling takes 10,000-100,000 years. Plus, nothing guarantees that after that period of time radionuclides don't escape from the vitrification process.

So this first barrier isn't enough. The second is a steel container. But this too, even with

● — Burying the nuclear waste problem

walls decimetres thick, is no absolute guarantee against radioactive leaks.

Not to mention any external aggressions, especially by water, which could in the long term corrode the metal.

In principle, rock is almost impermeable to liquid, but in order to not leave anything to chance for their great-great-grandchildren, scientists see a third barrier before that of substratum rock.

“You can’t simply put the containers at the end of a tunnel,” Ferrari said. “There has to be a buffer material between them and the rock. We’re testing bentonite, a sort of clay, which has the very interesting property of being able to absorb four to five times its initial volume in liquid. And once saturated, it’s impervious.”

“Nuclear dustbin”

The Laboratory of Soil Mechanics is therefore testing the resistance of bentonite and its behaviour faced with heat, humidity and the pressure of the containers, which weigh between eight and 26 tonnes.

Another part of the work is being carried out in the hillsides of the Grimsel and Mont Terri in the Jura. The laboratory there is run by a consortium of public and academic bodies, under the aegis of the Federal Topology Office.

This does not mean, however, that this warren of tunnels, dug to a depth of 300 metres, is Switzerland’s future “nuclear dustbin”. Currently, any storage of nuclear waste is banned there.

“But the rocks here are found around most of the country,” Ferrari said. Part of his work is studying the behaviour of the rock under the same conditions imposed by the storage of waste.

The Laboratory of Soil Mechanics is partly funded by the National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste (Nagra), for whom the Lausanne lab is the main reference point in its field.

Close, sesame

But how can one be sure that what is tested today remains valid for what appears to be half an eternity?

Ferrari is well aware of the problem. “The time scale of a laboratory is limited to a few years at most. For rocks it’s less serious, because 10,000 years is nothing on a geological scale, and we’re going to choose very stable rocks. But for bentonite we’re going to have to extrapolate using a mathematical model.”

If possible without making any mistakes, since the Swiss notion of nuclear storage means that once something’s shut, it isn’t touched again.

Swiss nuclear power

Switzerland has five nuclear power stations: Beznau I, Beznau II, Mühleberg, Gösgen and Leibstadt.

They account for around 40% of the country’s electricity production. Projects for three new plants are under discussion to meet the Swiss power demand.

Switzerland sent spent fuel rods to reprocessing plants in Britain and France until July 2006, when a ten-year moratorium came into force.

Under Swiss law, radioactive waste must in principle be stored within the country at the expense of the producers.

Since 2001 high-level radioactive waste has been stored in an interim facility in northern Switzerland, known as Zwiilag.

In 2002 voters in canton Nidwalden threw out a plan to build a permanent underground nuclear waste repository in their region.

Six potential storage sites in northern and central Switzerland are currently under consideration, including the one in Nidwalden.

Storage will be 400-900 metres below the surface, within stable rock formations. The aim is to ensure the safe storage of radioactive material for up to one million years.

The government expects to make an initial selection in 2011 and take a final decision between 2016 and 2019. This will have to be approved by parliament, and may be the subject of a referendum.

The selected sites should come into operation in 2030 or 2040, depending on the type of waste.

(Translated from French by Thomas Stephens), swissinfo.ch

SOIL BIOIMPROVEMENT

We investigate a novel soil improvement strategy, inspired by the natural process of biologically driven crystal mineralization. The research aims to develop the conception of a geo-mechanical model to describe the enhanced behavior of the bio-treated soil, optimize the improvement process and enhance the practical applicability of this technique. The works are carried out from laboratory to field scales.



Des bactéries pour soutenir le sol de Rances

July 2018

La Région



RANCES

Des bactéries pour soutenir le sol de Rances

18 JUILLET 2018 | EDITION N°2291

Projet pilote – Une première mondiale sera réalisée en terres nord-vaudoises, en septembre. Le laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL va tester son ciment bactérien, une biotechnologie qui pourrait faire évoluer le secteur de la construction.

Qu'est-ce qu'il se passe si on mélange de l'urée – une molécule de synthèse non toxique –, du calcium et des bactéries? On concocte une solution miracle qui résoudrait de nombreux problèmes, comme les glissements de terrain et l'érosion des sols. En effet, après huit années de recherche, le laboratoire de mécanique des sols (LMS) de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) a découvert que ce mélange générerait un ciment bactérien unique en son genre.

Dr. D. Terzis preparing to bring bio-cement to Rances soil. Rances become the new playground where MeduSoil technology was tested as a remediation for this type of events. This was a decisive new step, after the technology has been extensively proven and tested in laboratory conditions.

Et les premiers à découvrir les effets de cette mixture seront les habitants de Rances, puisque l'essai pratique va être mené, dès le mois de septembre, sur le terrain longeant la route cantonale reliant le village à Method. Pour rappel, en janvier dernier, un important mouvement de terrain avait déplacé quelque 2000 m³ de terre sur la route.

Plus écolo et économique

Si la Direction générale de la mobilité et des routes (DGMR) avait pris des mesures d'urgence pour sécuriser le site, désormais l'heure est à la stabilisation de la zone. Pour cela, la DGMR aurait pu utiliser une méthode traditionnelle visant à construire des infrastructures en béton et à injecter du ciment dans le sol. Mais c'était compter sans les scientifiques de l'EPFL. «Ce sont eux qui nous ont contactés, car ils cherchaient un terrain pour réaliser une première application pratique, explique Pierre Bays, chef de la division infrastructures à la DGMR. Nous entretenons de bonnes relations avec l'EPFL, alors quand ils nous ont proposé une alternative plus respectueuse de l'environnement que le béton, on s'est dit: pourquoi pas essayer? Si le test est concluant, on l'utilisera peut-être ailleurs.»



● — Des bactéries pour soutenir le sol de Rances

Concrètement, les chercheurs utilisent des bactéries naturellement présentes dans les sols, qu'ils lyophilisent et stimulent avant de les mélanger à un liquide contenant de l'urée et du calcium, mais dont la composition, brevetée, reste un secret bien gardé. Les bactéries vont ensuite produire une protéine qui, en se liant au calcium, transforme l'urée en cristaux de calcite. «C'est un minéral très dur et durable, précise Dimitrios Terzis, responsable scientifique au sein du LMS. Contrairement au béton, une fois le produit injecté dans le sol, les bactéries se développent toutes seules (ndlr: pour un kilo de terre, 40 grammes de bio-ciment est généré). De plus, il n'y a pas d'entretien à prévoir car le bio-ciment est imperméable et donc la zone devient plus résistante aux forces du terrain.»

D'un point de vue économique, le Canton y gagne également, puisqu'il investira 280 000 francs pour préparer le terrain avant le bio-renforcement (près de 3000 m³ de terre vont être évacués et la pente du talus rabaissée de 33 à 20 degrés environ). Mais les frais du projet pilote, soit plusieurs centaines de milliers de francs, seront à la charge du laboratoire. Son directeur, Lyesse Laloui, a d'ailleurs reçu en janvier dernier le 30e Prix Roberval Enseignement Supérieur, ainsi qu'une enveloppe de 2,5 millions d'euros par le European Research Council pour développer cette technologie. Si le bio-ciment se commercialise, il devrait coûter entre 10 et 15% moins cher que les techniques actuelles, selon Dimitrios Terzis.

Une étape décisive

Cette technologie, soutenue par plusieurs institutions et sociétés de construction, n'a été testée qu'en laboratoire. «Nous avons installé des colonnes de terre et de sable de deux mètres de haut dans le laboratoire, mais pour passer à une expérience à plus grande échelle, il nous fallait un site, poursuit Dimitrios Terzis. D'ailleurs, à Rances, nous devons creuser des forages de deux mètres de profondeur pour atteindre le limon, qui est la partie à consolider, avant d'injecter le bio-ciment. Ce sera un vrai challenge car le sol de cette zone est différent de ce dont on a l'habitude. C'est un bon moyen de voir comment la technologie va s'adapter.»

Christelle Maillard

● — Des bactéries contre l'érosion

● — July 2018

La Liberté

Date: 31.07.2018



La Liberté
1705 Fribourg
026/ 426 44 11
www.laliberte.ch

Genre de média: Médias imprimés
Type de média: Presse jour./hebd.
Tirage: 39'390
Parution: 6x/semaine



Page: 15
Surface: 13'304 mm²



Ordre: 1086739
N° de thème: 999.056

Référence: 70435054
Coupage Page: 1/1

Des bactéries contre l'érosion

Rances » Une première mondiale sera réalisée dans le Nord vaudois en septembre. Le laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL va tester son ciment bactérien, une biotechnologie qui pourrait faire évoluer le secteur de la construction.

Que se passe-t-il si on mélange de l'urée – une molécule de synthèse non toxique –, du calcium et des bactéries? On concocte une solution miracle qui résoudrait de nombreux problèmes, comme les glissements de terrain et l'érosion des sols. Après huit ans de recherche, le laboratoire de mécanique des sols de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne a découvert que ce mélange générerait un ciment bactérien unique en son genre.

Les premiers à découvrir les effets de cette mixture seront les habitants de Rances. Dès septembre, l'essai pratique sera mené sur le terrain longeant la route cantonale qui mène à Method. En janvier dernier, un important mouvement de ter-

rain avait déplacé quelque 2000 m³ de terre sur la route.

Si la Direction générale de la mobilité et des routes (DGMR) avait pris des mesures d'urgence pour sécuriser le site, désormais l'heure est à la stabilisation de la zone. Pour cela, la DGMR aurait pu utiliser une méthode traditionnelle visant à construire des infrastructures en béton et à injecter du ciment dans le sol. Mais c'était compter sans les scientifiques de l'EPFL. «Ils nous ont contactés, car ils cherchaient un terrain pour réaliser une première application pratique», explique Pierre Bays, chef de la division infrastructures à la DGMR.

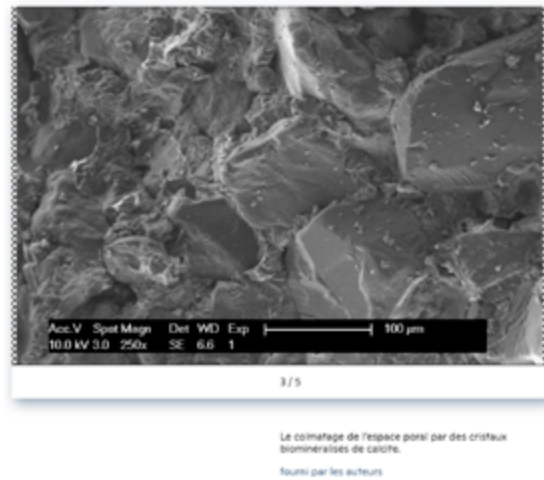
Concrètement, les chercheurs utilisent des bactéries naturellement présentes dans les sols, qu'ils lyophilisent et stimulent avant de les mélanger à un liquide contenant de l'urée et du calcium, mais dont la composition, brevetée, reste un secret bien gardé. »

CHRISTELLE MAILLARD, LA RÉGION

Sols biorenforcés: vers un changement de paradigme

August 2016

TRACÉS



Sols biorenforcés: vers un changement de paradigme

Des chercheurs du Laboratoire de mécanique des sols de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) développent une méthode permettant de renforcer et imperméabiliser le sol à l'aide de bactéries. Ils démontrent ainsi qu'un changement de paradigme est possible dans un domaine où l'utilisation d'un ciment industriel est actuellement prédominante. A plus petite échelle, la méthode pourrait s'appliquer également au renforcement de briques en terre.

Le Laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL a développé une technique de biominéralisation de la calcite pour produire un géomatériau biocimenté et fournir ainsi des solutions applicables à une large palette de problématiques géotechniques. La biocimentation des sols permet même de reconsidérer leur rôle comme matériau de construction.

Pourquoi améliorer les sols?

Le béton, l'acier et le bois sont des matériaux de construction. Tous peuvent être à chaque fois adaptés aux besoins du projet: section des éléments porteurs, composition du béton, armature etc. Mais, pour un ingénieur géotechnicien, les matériaux de travail sont les formations géologiques naturelles. Les sols et les roches in situ représentent un «état donné», une constante qui joue le rôle le plus décisif lors de la conception des fondations et pour la protection des structures contre les risques d'instabilité. Souvent, les ingénieurs se trouvent face à des terrains moins résistants, avec de faibles paramètres mécaniques, qui empêchent la réalisation des projets. Il n'est pas exagéré de dire que les bons sols, surtout dans les régions urbaines, sont déjà occupés et que ceux qui restent sont souvent d'une qualité inférieure. Le renforcement des terrains va, dans plusieurs cas, main dans la main avec la mise en place des fondations, ouvrant ainsi un grand marché pour les techniques d'amélioration de sols.

La biominéralisation comme technique d'amélioration des sols, mode d'emploi

Sables et graviers sont des matériaux sans cohésion. Plus ils sont denses, plus ils sont résistants. Selon la taille des grains, ces matériaux peuvent se densifier jusqu'à une certaine limite qui correspond à une résistance ultime. Dans la technique de bio-minéralisation, des cristaux de calcite se forment et occupent une partie de l'espace poreux, ce qui donne une structure plus dense. Au lieu de points de contact, les forces sont transmises par des surfaces de contact dans le matériau biotraité. De cette façon, il acquiert des paramètres mécaniques améliorés. Les résultats obtenus pour des sables biocimentés montrent une résistance au cisaillement, en l'absence de confinement, de plus de 6 MPa, et une cohésion au bout du traitement de l'ordre de 400 kPa.

La maîtrise du processus permet de créer différents niveaux de cimentation et donc de l'appliquer à différentes problématiques. Par exemple, de faibles quantités de calcite permettent l'obtention d'une résistance suffisante contre la liquéfaction de telle sorte que les sols graveleux puissent résister à des forces de cisaillement lors d'importants tremblements de terre, induire des améliorations au niveau des échanges thermiques entre le sol et les structures et apporter des solutions aux problèmes de stabilisation des pentes ou de restauration de fondations existantes. Avec des contenus de calcite plus importants, le biomatériau peut être considéré comme matériau de construction, ou même

- The issue of TRACÉS, illustrated the existing state of the art and the debates currently taking place around the role of earth materials in construction. Prof. Lyesse Laloui and his PhD student Dimitrios Terzis, explain why the technique of soil improvement, can actually mark a change of paradigm in the field of soil strengthening techniques.

pour des applications d'imperméabilisation des sols. Ce dernier cas est illustré sur l'image du colmatage poreux, où tout l'espace poreux du matériau avant l'application du traitement est désormais occupé par des cristaux minéralisés.

La biocimentation permet de reconsidérer le rôle des sols dans la construction, surtout dans les régions du monde où il y a une pénurie de logements à cause de la surpopulation, des migrations ou des catastrophes naturelles: grâce à de faibles ajouts de calcite dans les matériaux locaux, il devient envisageable de produire des briques de sol biominéralisées et fournir ainsi une solution rapide, économique et surtout durable.

Le facteur(-clé) biologique

Trois éléments sont nécessaires pour l'application de la technique: des bactéries, et plus précisément de l'espèce *Sporosarcina Pasteurii*, de l'urée et du calcium. Deux réactions chimiques sont au cœur de la technique: l'hydrolyse de l'urée qui produit des anions de carbonate (CO_3^{2-}) et la précipitation des cristaux de calcite (CaCO_3). La première se fait grâce à l'activité métabolique des bactéries qui décomposent l'urée et utilisent les produits pour se nourrir et améliorer leur microenvironnement. Le carbonate qui se dégage (CO_3^{2-}) réagit immédiatement avec le calcium (Ca^{2+}) pour former des particules solides de CaCO_3 . Avec la présence de l'enzyme uréase l'hydrolyse de l'urée se fait 1017 fois plus vite que la réaction non catalysée. Cet ordre de vitesse de réaction fait que, selon le niveau de densification finale souhaitée, le traitement se réalise en quelques jours, permettant ainsi de considérer la technique pour des applications réelles.

Les bactéries s'attachent aux grains de sol et se multiplient pour former finalement des biofilms, avant l'introduction dans le système de l'urée et du calcium. Tout le processus susmentionné se développe alors sur les grains de sol, et les cristaux qui précipitent lors de la réaction croissent et s'étalent à la surface des grains. Les cristaux remplissent l'espace entre les grains de sol et de cette manière ils agissent comme des «ponts» entre eux, ce qui résulte en une structure cimentée.

La biocimentation vis-à-vis de la cimentation par injection

Si le renforcement du sol par injection de ciment et la biominéralisation de la calcite ont en commun le but de rendre le terrain plus stable afin de permettre la réalisation de projets de construction, ils le font de manière diamétralement opposée. La première technique améliore les propriétés du sous-sol en passant d'abord par la destruction de son état initial pour mélanger, à grande vitesse, les grains du sol avec du ciment. La seconde se réalise dans l'espace poreux de la structure initiale où les particules de la calcite se forment, et ne nécessite pas l'application de grande vitesse d'injection pour la circulation des réactifs.

La technique de biominéralisation vise surtout à élargir l'effet de la cimentation et offrir une méthode contrôlable et adaptable à différentes conditions. C'est une méthode pour améliorer l'injectibilité, grâce à la faible viscosité des solutions employées (égale à celle de l'eau) qui permet d'accéder à un grand volume de terrain sans détruire son état. La technique offre la possibilité de contrôler la masse finale de la calcite, et par conséquent, d'adapter la réponse aux différents problèmes à traiter. De plus, l'utilisation du ciment industriel a suscité des soucis écologiques, surtout quant à l'effet sur les eaux souterraines des produits chimiques employés lors du traitement par injection. Au contraire, la calcite est un élément naturel abondant dans divers types de sols et l'espèce de bactéries employée pour la technique de biominéralisation est un genre non-pathogène qui prospère naturellement dans les sols.

Etat actuel de la recherche

Actuellement les travaux du Laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL se focalisent d'une part sur l'impact de la technique, selon le type de sol, sur la formation de la nouvelle structure, renforcée avec de la calcite et, d'autre part, sur les paramètres mécaniques améliorés en fonction de la masse et de la morphologie des particules de CaCO_3 . Une étude à micro-échelle nous a fourni des informations cruciales qui permettent de mieux comprendre les principes du fonctionnement de la technique. Des expériences à grande échelle sont actuellement en cours pour compléter le passage du laboratoire au chantier, où la technique sera testée quant à sa capacité à fournir des solutions pour une grande gamme de problèmes géotechniques. Des collaborations ont été forgées avec des partenaires académiques et industriels afin de mettre la biocimentation des sols en première ligne de l'innovation dans l'ingénierie géotechnique et développer l'application industrielle de cette technique.

LANDSLIDE ANALYSIS

The Soil Mechanics Laboratory (LMS) research activities in landslide analysis cover several aspects for a proper understanding of landslide behaviour: Mechanical characterization of the involved materials under saturated and unsaturated conditions by means of advanced laboratory analyses for model parameter determination.- Numerical modeling of slope behaviour using coupled hydro-mechanical finite element analyses and advanced unsaturated soil mechanics constitutive laws.



Les Alpes oppressées par le temps ?

October 2010

L'EXTENSION

Les Alpes oppressées par le temps ?

Bien qu'il soit hasardeux d'attribuer formellement au changement climatique un événement isolé tel le glissement de terrain ayant emporté huit personnes à Bondo dans les Grisons, ces dernières années ont révélé une forte concentration de phénomènes intenses en lien avec des événements météorologiques extrêmes, particulièrement prononcés dans les régions alpines. Ces événements sont-ils si exceptionnels ou relèvent-ils plutôt du fonctionnement "normal" de la montagne ? Faut-il apprendre à vivre avec ces catastrophes ou peut-on s'en prémunir ? Nous avons demandé l'avis d'un expert, le Professeur Lyesse Laloui, directeur du Laboratoire de mécanique des sols de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.

CHIFFRE

18 milliards d'euros C'est le montant des pertes économiques liées aux aléas climatiques en Europe pour l'année 2014.

(source Munich Re 2014 NatCatServices)

Records de pluie, températures excessives, sécheresses prolongées, les changements du climat se font peu à peu ressentir depuis quelques années. Nous avons tous en mémoire l'été caniculaire de 2015, le plus chaud depuis le début des relevés de températures en 1880, et de juillet 2014, lors duquel de nombreux records pluviométriques sont tombés. Si les gens souffrent de ces épisodes de précipitations intenses ou de températures élevées, il en va de même pour la nature qui était en équilibre avec le climat pré-changement. Avec l'augmentation de la fréquence des extrema météorologiques, cet équilibre se rompt petit à petit, en-

traînant avec lui des phénomènes naturels générateurs de dommages. Mais contrairement à ce que pourrait laisser penser la tendance actuelle à tout imputer au changement climatique du fait de la surmédiation spectaculaire de ces questions, ces aléas naturels relèvent aussi d'autres facteurs.

LE CLIMAT RESPONSABLE ?

« Il est impossible de tirer les conclusions d'un glissement de terrain qui vient de se produire. Nul ne peut encore affirmer, par exemple, que le climat est responsable du détachement de la masse rocheuse du Piz Cengalo, affirme Lyesse Laloui. Il faut trois à six mois d'analyses de données pour se prononcer sur les causes d'un sinistre. Le génie civil contribue au développement et au renforcement de technologies permettant d'améliorer l'intervention au moment où la catastrophe se produit, de répondre à la question des déblais ou du retour des populations ou encore d'affiner les critères de reconstruction dans les zones à risque. Encore faut-il une exploitation plus systématique des données disponibles pour approfondir



ce retour d'expérience et tirer des conclusions plus abouties concernant les liens statistiques entre ces événements et les évolutions climatiques récentes. »

AMÉNAGER, C'EST RISQUER

Bien que la vulnérabilité des popu-

- Professor Lyesse Laloui expressed his opinion on the relations cause-effect between extreme meteorological events and climate change in an interview for *L'Extension*. He noticed in particular the difficulty in establishing a direct relation between a particular event and the climate change.

risques liés à l'augmentation de la population, au développement de constructions dans des zones plus exposées qu'auparavant, ainsi qu'à l'usage plus intense de l'espace», poursuit Lyesse Laloui. Et de s'interroger : « Les impacts successifs ou simultanés peuvent devenir particulièrement critiques en montagne. Ces situations, induites avant tout par une exposition croissante aux aléas naturels liés à la conquête de nouveaux espaces, soulèvent à leur tour la question de la capacité des populations de montagne à s'adapter à une possible multiplication de ce type de phénomènes. »

RÉACTUALISER LES STATISTIQUES

Ainsi, comment garantir l'intégrité d'une voie de communication, telle qu'un col alpin, ayant été assainie à la suite des aléas ayant touché l'infrastructure le siècle dernier ? Peut-on assurer que ces systèmes d'assainissement soient à même d'absorber les changements du climat ? Sommes-nous capables de détecter à l'avance des zones autrefois stables qui vont se mettre en mouvement ? « Une réévaluation de la sécurité du patrimoine bâti dans les zones sensibles par rapport aux risques naturels est une nécessité à moyen terme. Les cartes des dangers naturels ont été établies relativement récemment. Cependant, elles ont été créées sur la base de statistiques datant du siècle dernier. Les dangers naturels devraient être gérés dans un contexte de changement du climat en considérant les scénarii climatiques prévus, et non plus des statistiques désormais désuètes, afin de prévenir des pertes économiques considérables (18 milliards d'euros pour l'Europe en 2014). Pour limiter ces pertes, il faudrait évidemment investir dans des campagnes de reconnaissance et de surveillance... », conclut Lyesse Laloui. ■

Sophie Barenne

Eboulement près du Petit Mont Blanc

Prévoir l'imprévisible

May 2013

Flash

Prévoir l'imprévisible

↳ **RISQUES** : Les chercheurs de l'EPFL viennent de développer le premier système d'alerte précoce pour les glissements de terrain. Les «early warning» existent notamment pour d'autres catastrophes naturelles comme les tsunamis et les tornades.



Cabane de Stieregg DR

Sandy Evangelista
Médiacom

Un pays montagneux comme la Suisse est régulièrement confronté à des glissements de terrain. Environ 6% de sa superficie totale comprend des pentes instables. Sous l'effet du changement climatique il faut aussi s'attendre à ce que ces événements deviennent de plus en plus fréquents. La combinaison entre un accroissement des

précipitations et la fonte des glaciers risque d'augmenter la quantité d'eau, pouvant potentiellement déclencher des glissements de terrain dans de nouveaux secteurs.

John Eichenberger, du Laboratoire de mécanique des sols (LMS), a travaillé pendant 4 ans sous la direction du professeur. Lyesse Laloui au développement d'un outil de calcul permettant de reproduire le comportement des fortes pentes sous l'effet

de précipitations considérables. Des recherches ont été menées en laboratoire et sur le terrain, notamment sur les pentes du Rhin où il a couplé des capteurs à un modèle informatique. Celui-ci détecte avec précision quand l'état de saturation du sol devient inquiétant et permet de lancer une alerte précoce.

Toutes ces données qui ont été récoltées donnent les informations indispensables pour pro-

Article published by the EPFL newspaper *Flash* about the development by the Laboratory of Soil Mechanics of a tool that can reproduce the behavior of steep slopes when subjected to heavy precipitation.

téger la population d'une région de montagnes comme la Suisse. Les chercheurs étudient également d'autres endroits sur la planète qui présentent des sols de nature très différente comme les pentes abruptes d'un volcan au Costa-Rica.

QUAND L'EAU S'INFILTRE

Il est extrêmement difficile de prévoir l'intensité d'un glissement de terrain. Les scientifiques en distinguent deux types. Les glissements de grande profondeur se déplacent lentement, de l'ordre de quelques millimètres par année ou par siècle. Ils sont connus et souvent placés sous surveillance. «En fonction de la vitesse on peut déterminer si la situation devient critique mais en aucun cas on ne saurait le prévoir», explique le chercheur.

Les glissements de surface, à quelques mètres seulement de profondeur sont les plus difficiles à prédire. Jusqu'à présent, il était quasi impossible de les anticiper. Ils sont inattendus et présentent des vitesses élevées de l'ordre du mètre, voire de plusieurs mètres par seconde. C'est sur ce problème spécifique que le docteur s'est penché. «En général, un terrain à forte pente reste stable grâce aux effets capillaires, c'est-à-dire grâce à la succion qui agit entre les grains. Des effets qui sont perdus lors de l'infiltration de l'eau de pluie.»

INSPIRÉ DES ALERTES TSUNAMIS

Comment déterminer le moment où il faut procéder à une évacuation, en sachant que les prévisions météorologiques ne suffisent pas? C'est l'objet de la thèse lancée par Lyesse Laloui, directeur du LMS : «Je me suis inspiré des alertes de tsunami. Il fallait coupler le modèle

déterministe qui s'appuie sur les mécanismes physiques, avec un modèle probabiliste, basé sur un réseau de neurones. Car d'autres paramètres, comme les variations climatiques, viennent compliquer la chose. Ce sont des données que l'on ne connaît pas.»

DU PROJET DE RECHERCHE AU CAS APPLIQUÉ

En 2009, les chercheurs gorgent d'eau les pentes du Rhin à Rüdlingen. Pour ce projet, grandeur nature, de déclenchement artificiel d'un glissement de terrain, le sol est largement instrumenté, criblé de capteurs. Après 15h d'infiltration, la rupture se produit à 3h du matin. 150 mètres cubes de terrain glissent dans un filet de protection et valident le modèle!

Le système d'alerte précoce des glissements de terrain développé au laboratoire de l'EPFL est aujourd'hui appliqué au Costa-Rica. Il est indispensable d'assurer la stabilité de la plus grande mine de Pozzolana d'Amérique Latine qui se trouve sur les pentes du volcan Irazu.

En 2005, des coulées de boues ont fini leur course dans cette mine. La production a été stoppée sans savoir à quel moment l'activité pourrait reprendre en toute sécurité. Les cendres volcaniques présentent des caractéristiques particulières, des échantillons ont été testés dans le laboratoire de l'EPFL afin d'adapter le modèle à la qualité du sol.

L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE EN QUESTION

Les glissements de terrains sont intimement liés à l'aménagement du territoire et vice et versa. Si les catastrophes sont ponctuelles en Suisse, d'autres régions du monde comme Hong-Kong doivent y faire

face régulièrement. Les constructions ne peuvent se confronter indéfiniment à la nature. «Notre outil est une aide à l'aménagement du territoire en indiquant précisément les endroits dangereux», conclut le professeur. ☰

↳ lms.epfl.ch

Cette montagne qui n'avait de cesse de descendre vers le fond de la allée

— April 2013

L'EXPRESS

GLISSEMENTS DE TERRAIN Prévention et dégâts engloutissent chaque année des millions. Reportage.

Cette montagne qui n'avait de cesse de descendre vers le fond de la vallée

YANN HULMANN (TEXTES ET PHOTOS)

Alors que notre petite citadine tend à verser sur la droite de la route accidentée, la camionnette qui arrive en face s'offre, elle, une radicale gémflexion vers l'autre bord de la chaussée. De quoi désarçonner la plus équilibrée des oreilles internes. Et par là même offrir une délirante valse automobile au piéton qui s'aventurerait sur ce tronçon désarticulé de la route reliant Aigle au Sépey (VD). Une route qui, avec sa voisine du dessus menant à Leysin, n'a de cesse, depuis sa création, de descendre et descendre encore en direction du lit de la rivière en contrebas, la Grande Eau.

En 30 ans, ce sont près de 13 millions de francs qui ont été engloutis pour le seul entretien de deux tronçons routiers d'à peine plus de deux kilomètres traversant la zone du glissement dit de La Frasse. «Et si la route devait être embarquée par le terrain, cela se calculerait en millions par jour», ajoute Laurent Tacher, hydrogéologue à l'EPFL. Spécialiste des glissements de terrain, il a participé à la stabilisation de celui de La Frasse. Un chantier de plus de 14 millions qui a permis d'apporter une réponse, du moins jusqu'ici, à l'inevitable descente du terrain vers le fond de la vallée.

Un milliard sur 40 ans

En Suisse, l'Office fédéral de l'environnement évalue le coût des dégâts occasionnés par les glissements de terrains à près d'un milliard sur la période 1972-2011. Une coquette somme pour des événements qui ne concernent «que» 6% du territoire national.

«La première étude sur le glissement de La Frasse remonte à 1863», glisse Laurent Tacher. «Il est très bien documenté, c'est d'ailleurs l'un des plus étudiés au monde.» Malgré cela, il aura fallu attendre 2008 pour que le site soit stabilisé, en dépit de plusieurs interventions – dont l'installation de vingt drains équipés de pompe en 1994. Une solution insuffisante, le terrain cisailant les drains dans son mouvement.

Dans sa partie aval, le glisse-



Le chantier de La Frasse, tout à côté du Sépey (VD), a permis d'apporter une réponse, du moins jusqu'ici, à l'inevitable descente du terrain.



⚠ Attention, on parle de stabilisation. On n'arrête pas un glissement de terrain.»

LAURENT TACHER HYDROGÉOLOGUE, EPFL

ment dévale tranquillement mais sûrement la pente de 15 à 60 cm par an depuis quelque 10 000 ans, une brouille sur l'échelle du temps géologique. «Attention, on parle de stabilisation. On n'arrête pas un glissement de terrain», souligne Laurent Tacher. On ne peut que ralentir et subir le mouvement.

Héritage glaciaire

A La Frasse, sur les territoires de Leysin et d'Ormont-Dessous, le terrain est anormalement bosselé, constellé de sources, de petites zones humides, et parsemé d'arbres tordus, tourmentés. Autant de signes de surface d'un mouvement profond. «Plus lent en amont, avec une épaisseur de la

couche mobile d'une cinquantaine de mètres, qu'en aval, où l'épaisseur atteint une trentaine de mètres», explique Laurent Tacher.

Héritage de la dernière ère glaciaire (12 000 ans), le glissement de La Frasse doit son existence au glacier des Diablerets. Lorsque le glacier occupait la vallée, celui-ci prenait appui sur la pente de La Frasse pour virer en direction d'Aigle. «C'est là qu'il a érodé la couche calcaire au-dessus de laquelle se trouvaient des roches sans grande cohésion (les flyschs).» Et par là même effacé la butée qui retenait le terrain, détaille Laurent Tacher. Résultat: lorsque l'eau s'en mêle, le sol bouge sans obstacle ou presque pour le freiner. «Nous avons pu évaluer qu'en

Prévenir l'imprévisible

John Eichenberger, du Laboratoire de mécanique des sols, a travaillé pendant quatre ans, sous la direction du Pr Lyesse Laloui, au développement d'un outil de calcul permettant de reproduire le comportement des fortes pentes sous l'effet de précipitations considérables. Des recherches ont été menées en laboratoire et sur le terrain, notamment sur les pentes du Rhin, où il a couplé des capteurs à un modèle informatique. Celui-ci détecte avec précision quand l'état de saturation du sol devient inquiétant et permet de lancer une alerte précoce.

Contrairement au glissement profond, les glissements de surface, à quelques mètres seulement de profondeur, sont difficiles à prédire. Laurent Tacher estime que ce type de système permettra de sauver de nombreuses vies, notamment dans les endroits du globe où l'aménagement de territoire est peu développé. Un dispositif est ainsi déjà actif au Costa Rica, où il est indispensable d'assurer la stabilité de la plus grande mine d'Amérique latine, qui se trouve sur les pentes du volcan Irazu. **COM-M-RÉD**

dix mille ans, un bon tiers du matériel qui constitue la pente a été emporté par la Grande Eau» en direction du Rhône.

Galerie pour décompresser

Moteur des glissements de terrain, l'eau fonctionne ici comme

rain, l'eau fonctionne ici comme un agrégateur de pression. «On parle de l'équivalent pression de colonnes d'eau de 30 à 40 mètres», note Laurent Tacher, qui image son propos. «Prenez un tuyau en caoutchouc. Vous ouvrez le robinet sans permettre à l'eau de sortir.

— In the article published by L'Express Laurent Tacher, hydrogeologist at the LMS, explains the stabilization at La Frasse.

SURVEILLANCE CONTINUE

A La Frasse, le terrain est surveillé de manière continue par un système développé par l'EPFL et la société Geodev. Cette installation située sur le versant opposé permet, à l'aide d'un laser, de suivre en continu et en trois dimensions la position de 14 cibles installées sur le glissement de La Frasse. A cela s'ajoute une série de piézomètres (mesure de pressions) et d'inclinomètres (puits de mesure de l'inclinaison), dont beaucoup ont été rendus inutilisables par les mouvements de terrains.

sans permettre à l'eau de sortir. Puis, après avoir coupé l'alimentation, vous laissez l'eau sortir. Vous verrez gicler une petite quantité d'eau accompagnée d'un «pschitt» caractéristique de la libération de pression. Dans le cas de notre glissement de terrain, c'est exactement la même chose qui se produit.»

L'eau piégée dans des lentilles hermétiques, des aquifères captifs, est libérée d'un seul coup. Ce qui permet, à l'échelle du grain de sable, à des éléments de rouler, de se déplacer. De quoi amener tout un terrain à avancer. «Ce qui peut être dévastateur.»

En s'appuyant sur ce principe, une galerie de plus de 700 mètres a été creusée dans la partie «stabilisée» du glissement. «Une série de drains recueille désormais l'eau, afin de casser ces fluctuations de pression.» Et à l'endroit où l'exutoire de la galerie retrouve la Bonne Eau, affluent de la Grande Eau, ce n'est qu'un tout petit ruisseau qui sort de terre. Une infime quantité d'eau qui permet pourtant de contrôler plusieurs milliers de mètres cubes de matériaux. **COM-M-RÉD**

Vidéo et images en lien avec cet article disponibles sur le site internet de votre quotidien.



Le terrain n'est pas seul à descendre. Avec lui, les marques apposées par l'homme, mais aussi la chaussée et les cibles du système de surveillance continue du glissement.

RADIO AND TV INTERVIEWS



Géo Ingénierie: la promesse de Prométhée

May 2019

Radio Suisse Romande la 1ère RTS

Projects imagined by scientists to influence the sun's rays are presented as a solution, sometimes even as THE solution, to prevent the climate from unbalance. But is this highly technological approach to the climate problem justified from both a scientific and ethical point of view? Prize de Terre offers a brief overview of the promises and uncertainties raised by Geo Engineering.

Scan to listen:



[Link to the interview](#)

Prof. Laloui interviewé par RTS au sujet de la séquestration du CO2

December 2018

Radio Suisse Romande la 1ère RTS

Prof. Lyesse Laloui was interviewed during a broadcast of the famous "19h30" of the RTS (Swiss Television and Radio) to shed more light on the topic of CO2 sequestration. As an expert in the matter, Prof. Laloui is currently looking for potential sequestration sites in Switzerland and during the interview, he provided estimated values revealing the potential of the method and how it contrasts with its current situation in other places in the world.

Scan to listen:



[Link to the interview](#)

Finlande: un tombeau nucléaire pour l'éternité?

November 2018

Radio Suisse Romande la 1ère RTS

What should be done with radioactive waste? The question is becoming more and more urgent for all the countries which have chosen atomic energy. Switzerland decided to phase out nuclear energy and the Federal Council is reflecting on the most favorable places to bury all the radioactive waste. Three sites are being considered - all in the German part of Switzerland - in the regions of Baden, Zurich, and Schaffhausen.

Scan to listen:



[Link to the interview](#)

La géothermie, ce potentiel inexploité: interview de Lyesse Laloui, professeur à l'EPFL

September 2018

Radio Suisse Romande la 1ère RTS

Is there still a big potential for geothermal energy? Interview with Lyesse Laloui, professor of civil engineering at EPFL, specialist in geo-energies. He also gave a conference on geothermal energy in Chicago in 2018.

Scan to listen:



[Link to the interview](#)

Berges Instables

January 2018

Radio Suisse Romande la 1ère RTS

Adverse weather conditions in Switzerland had caused flooding and landslides. After the heavy rainfall had stopped, the soil still remains unstable, says Prof. Lyesse Laloui, especially on the river banks, where it can easily collapse if walked on. According to Prof. Laloui it takes at least a week to evacuate the water absorbed during floods.

Scan to listen:



[Link to the interview](#)

Rencontre avec Lyesse Laloui

March 2017

Radio Suisse Romande la 1ère RTS

Every Friday, "CQFD" invites a scientist to talk about his or hers work and research. This time, the host Silvio Dolzan invited soil specialist - Professor Lyesse Laloui.

Scan to listen:



[Link to the interview](#)

« Le Génie Civil face à la problématique des dangers naturels »

May 2017

Radio Suisse Romande la 1ère RTS, Couleur3

Scan to listen:



What are the criteria to safely store nuclear waste underground? At what depth they should be stored and in what types of soils? What sites can be taken into consideration? Prof. Lyesse Laloui responds to the questions related to nuclear waste disposal.

[Link to the interview](#)

Où stocker le CO2

November 2013

Radio Suisse Romande la 1ère RTS

Scan to listen:



Nowadays, nature can no longer absorb CO2 (carbon dioxide) produced in mass by our human activities. CO2 is a greenhouse gas, responsible for global warming or ocean acidification. Despite the Kyoto Protocol, greenhouse gas emissions have continued to increase, more than 60% since 1970! Professor Lyesse Laloui shares his knowledge about research on CO2 storage.

[Link to the interview](#)

Des bactéries pour durcir le sol

October 2013

Radio Suisse Romande la 1ère RTS

Scan to listen:



Hardening the soil with the injection of bacteria as a novel solution for stabilizing the ground. It is enough to mix bacillus pasteurii with sand for it to harden. Professor Lyesse Laloui highlights the technology behind soil biocementation.

[Link to the interview](#)

Stocker le CO2 dans le sol

August 2013

Radio Suisse Romande la 1ère RTS

Scan to listen:



CO2 is a greenhouse gas responsible for global warming and ocean acidification. Despite the Kyoto Protocol, greenhouse gas emissions continue to increase. This talk focuses on a solution which applies burying CO2 under the surface of our earth. The technology is explained by Lyesse Laloui, director of the EPFL Soil Mechanics Laboratory.

[Link to the interview](#)

RTS Interview about Landslides

April 2013

Radio Suisse Romande la 1ère RTS

Scan to listen:



Landslides strike unpredictably, often causing damages to infrastructure. However, there are tools available that allow to estimate the risk and warn the population beforehand. A tool of this type has recently been developed at the EPFL soil mechanics laboratory, directed by Professor Lyesse Laloui.

[Link to the interview](#)

What to do with nuclear waste?

March 2013

Radio Suisse Romande la 1ère RTS

Scan to listen:



For decades researchers and engineers have been studying solutions to store nuclear waste. Natalie Bougeard and Bastien Confino offer us interviews and a report in an underground laboratory in the Bernese Oberland, near the Col du Grimsel. With Lyesse Laloui, professor of soil mechanics and director of the civil engineering section of EPFL, Gérald Ouzounian, international director of the National Agency for Radioactive Waste Management (France) and Marcos Buser, geologist and sociologist, specialist sustainable waste management.

[Link to the interview](#)

CONTACT US:



lms.epfl.ch



lms@epfl.ch



[@geomecha_EPFL](https://twitter.com/geomecha_EPFL)



+41 21 693 23 15 or 25



Laboratory of Soil Mechanics
EPFL - ENAC - LMS
Station 18
CH-1015 Lausanne

Document prepared by:
Wioletta Kucharska

Printing:
Atelier de reprographie EPFL
© 2020

Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL)