



RESEAU ALSACE DE LABORATOIRES EN INGENIERIE ET SCIENCES POUR L'ENVIRONNEMENT

LA LETTRE

EDITORIAL

Le réseau REALISE a comme mission principale de soutenir et de contribuer à la structuration de la recherche en environnement en Alsace. Outre les activités liées à cet objectif, nous sommes engagés, avec la CCI de Colmar et l'aide de la Région Alsace, dans un partenariat étroit avec le réseau des éco-entreprises d'Alsace. A ce titre, des laboratoires du réseau ouvrent leurs portes aux éco-entreprises.

Après les visites du laboratoire Matériaux Surfaces et Procédés pour la Catalyse (LMSPC) et du laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de Strasbourg (LHyGeS), nous organisons le 12 janvier 2011 la visite du laboratoire Gestion des Risques et Environnement (GRE) de Mulhouse. Ces visites, dont le format est à chaque fois défini en étroite relation avec les responsables du réseau des éco-entreprises de la CCI de Colmar, permettent un véritable dialogue entre des représentants des éco-entreprises et des chercheurs des laboratoires. L'objectif est de faire émerger des projets innovants, mais aussi d'aider à une plus grande ouverture des éco-entreprises vis-à-vis des étudiants des formations alsaciennes en environnement que ce soit pour l'obtention de stages au cours de leur cursus universitaire ou pour des emplois stables. C'est un travail de fond qui devrait être porteur d'une dynamique économique et scientifique réelle pour notre région.

Parallèlement, REALISE reste un outil majeur de soutien aux équipes de recherche du réseau, en particulier par la politique d'équipements qu'il défend et qui permet de maintenir les équipes de recherche au meilleur niveau de compétence internationale. Le réseau conduit aussi par les ateliers scientifiques qu'il organise, à faire émerger de nouveaux projets pluridisciplinaires qui bien souvent pourraient être porteurs en filigrane de nouveaux regroupements scientifiques. Le dernier atelier REALISE a ainsi illustré la réelle compétence des équipes alsaciennes dans le domaine de l'étude des cycles et transferts des éléments et des polluants dans les écosystèmes et hydrosystèmes. Nul doute que ces compétences en hydrologie, géochimie, chimie nucléaire, microbiologie et génétique, si elles se féderaient davantage, pourraient faire de Strasbourg un des pôles scientifiques internationaux du domaine. C'est un challenge ambitieux et motivant qui se présente aux chercheurs du réseau REALISE. A eux et à nous de le relever.

François Chabaux, Coordinateur de REALISE

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Mines de potasse : impact des terrils sur la nappe rhénane

Dans le cadre des travaux du Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de Strasbourg (LHyGeS), membre du réseau REALISE, une étude menée en partenariat avec le BRGM Alsace a permis de mieux comprendre les conséquences de la pollution saline issue des mines de potasse d'Alsace sur la qualité des eaux de la nappe phréatique rhénane.

Cette pollution est liée à la dissolution, par les eaux de pluie, des terrils entreposés à l'air libre au voisinage des puits d'exploitation des mines de potasse. Cette dissolution a conduit à une pénétration d'eau salée dans la nappe rhénane qui s'est propagée en aval des puits sous forme de langues de plusieurs dizaines de kilomètres de long.

Les travaux associant les analyses chimiques et isotopiques d'une série d'échantillons d'eau de nappe, prélevés le long de langues salées, aux approches de modélisation couplée hydro- et thermodynamique démontrent qu'un important phénomène d'échange chimique se produit au sein de l'aquifère entre le sodium des eaux de pollution et le calcium des argiles de l'aquifère. Par conséquent, ce processus induit une modification significative des caractéristiques chimiques des eaux de la langue salée au cours de sa pénétration puis de son transfert dans l'aquifère mais aussi de celles des argiles constituant cet aquifère.

Ces travaux montrent également que pour modéliser correctement l'évolution chimique de ces eaux, il convient de prendre en compte de façon satisfaisante l'historique de la pollution, dont l'intensité a changé en un siècle, notamment par les efforts de réduction de pénétration des eaux salines dans la nappe depuis 1976 et les protocoles de dissolutions accélérées menés depuis les années 1990.

Le modèle numérique indique également que lorsque le flux de pollution a cessé, un échange inverse se produit : le sodium piégé par les argiles est relâché dans les eaux de la nappe, constituant d'une certaine façon une modification différée de l'eau souterraine qui retrouvera progressivement son état initial. Cette étude est publiée dans la revue « Applied Geochemistry », Volume 25, Issue 11, pages 1644-1663 du mois de novembre 2010. (Lucas et *al.*)

Pour plus d'informations : Yann Lucas - yucas@unistra.fr

Les sidérophores bactériens, des outils pour la dépollution *in situ* de sols contaminés par des métaux

La présence de métaux lourds dans les sols engendre un risque potentiel de contamination de l'environnement. Afin d'améliorer les rendements d'extraction de ces métaux, une nouvelle technique est en émergence, la rhizomédiation, qui associe la bioaugmentation et la phytoextraction. Elle consiste à inoculer le sol avec certains micro-organismes et à cultiver des plantes accumulatrices de métaux. Différents travaux ont montré que la présence de micro-organismes présents au niveau racinaire influençaient la physico-chimie du sol par la synthèse de métabolites microbiens tels que les biosurfactants, sidérophores et acides organiques, permettant une meilleure assimilation des substrats par les plantes et une solubilisation des métaux présents. Néanmoins, le mécanisme n'est pour l'instant pas clairement établi.

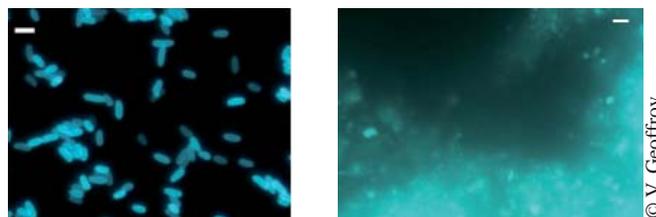
L'équipe « Métaux et micro-organismes » de l'École Supérieure de Biotechnologie de Strasbourg, membre du réseau REALISE, s'intéresse aux mécanismes moléculaires d'assimilation du fer chez les bactéries grâce à l'un des systèmes d'acquisition du fer le plus répandu chez les micro-organismes, la synthèse de sidérophores. Ces petites molécules sont sécrétées par les micro-organismes et sont capables de complexer le fer ferrique dans le milieu environnant. Le ferri-sidérophore ainsi formé pourra ensuite être internalisé dans le micro-organisme afin de subvenir à ses besoins essentiels en fer.

La spécificité de ces voies de transport utilisant des sidérophores vis-à-vis d'autres métaux est également étudiée. Il a été récemment montré au laboratoire, grâce aux propriétés de fluorescence des sidérophores, que ceux-ci peuvent complexer efficacement d'autres métaux que le fer, par exemple, l'aluminium, le cadmium, le cobalt, le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc sous des formes ionisées. De plus, la présence de certains de ces métaux activerait la production de sidérophores chez les *Pseudomonas*, conférant pour la première fois un rôle protecteur des sidérophores vis-à-vis de métaux toxiques et ceci, même en présence de fer.

L'objectif de toute cette étude est de valider l'utilisation des voies d'assimilation du fer dans des procédés de phytoextraction bioaugmentée. Les micro-organismes produisent naturellement dans la rhizosphère des sidérophores en quantité importante qui doivent jouer un rôle primordial dans la solubilité des métaux. Les données obtenues au laboratoire ainsi que dans la littérature indiquent que les sidérophores synthétisés par les micro-organismes modifient la spéciation des métaux du sol vers des formes qui pourraient être plus facilement et rapidement mobilisables par les plantes.

Des travaux menés au sein de l'équipe « Dépollution biologique des sols » de Colmar ont montré que les micro-organismes producteurs de sidérophores, notamment les *Pseudomonas*, étaient potentiellement intéressants pour augmenter la mobilité du chrome et du plomb dans le sol et permettent d'augmenter le prélèvement de ces métaux par les feuilles de maïs d'un facteur 4 à 5.

Depuis 2009, une doctorante, bénéficiant d'une bourse co-financée par la Région Alsace et la Direction générale des armées, étudie le rôle et l'importance des sidérophores dans les processus de bioaugmentation associé à la phytoextraction de sols contaminés par des métaux. Ces travaux sont également réalisés dans le cadre de collaboration avec l'équipe « Dépollution biologique des sols » de l'Université de Haute Alsace de Colmar, le laboratoire « Sols et environnement » de l'Institut National Polytechnique de Lorraine à Nancy et l'équipe « processus élémentaires et modélisation » du Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de Strasbourg. Afin de reproduire les conditions environnementales d'un sol, des smectites ont été artificiellement contaminées par des métaux. En présence des bactéries du genre *Pseudomonas*, un biofilm se forme progressivement, engluant les grains d'argiles au sein des exopolysaccharides produits (voir la photo ci-dessous).



Observations en microscopie à fluorescence d'un *Pseudomonas fluorescens*, bactérie produisant la pyoverdine (à gauche), biofilm bactérien marqué par la pyoverdine engluant les argiles, les micro-organismes et les métaux (à droite). Sur chaque image, le trait représente 2 micromètres.

Il a également été montré au cours de la thèse de Georges Aouad (Réalise, 2003-2006) que le biofilm, matrice complexe, au sein de laquelle est produit le sidérophore, est également capable de piéger de nombreux métaux tels que le zinc, le cadmium, le plomb ou le nickel. Des expériences sont maintenant initiées afin de déterminer le rôle des sidérophores et du biofilm dans le transfert et l'accumulation des métaux au niveau de la plante.

Au sein de l'équipe, la possibilité d'utiliser les bactéries productrices de sidérophores dans de nouveaux procédés de bioremédiation des effluents liquides contaminés en métaux est envisagée. Dans ce contexte, l'utilisation de bactéries, surtout sous forme de biofilm, devrait permettre de concentrer les polluants dans la matière organique.

Enfin, la chimie des sidérophores permet également de développer des outils environnementaux par la synthèse de métallobactères fluorescents. Ces derniers peuvent alors trouver des applications dans le domaine du diagnostic environnemental, pour la détection et/ou le dosage (colorimétrique/fluorimétrique) des métaux toxiques, ou dans le domaine de la dépollution en précipitant les métaux toxiques pour en faciliter la récupération puis l'élimination.

Contact : valerie.geoffroy@unistra.fr
Université de Strasbourg, Institut de Recherche de l'École de Biotechnologie de Strasbourg, équipe Métaux et micro-organismes, chimie, biologie et applications
<http://irebs.u-strasbg.fr>

Une approche de vérification pour mesurer les performances des techniques de suivi et de réhabilitation de l'hydrosystème souterrain

Pour favoriser l'émergence de technologies nouvelles de dépollution sur la marché européen, la Commission Européenne a décidé d'établir un système volontaire de vérification de la performance de ces technologies : il s'agit du système ETV (Environmental Technology Verification), appliqué aux domaines de l'air, de l'eau et des sols. Ce système devrait permettre, d'ici 2012, une reconnaissance mutuelle des différents systèmes existant au niveau international.

Le système ETV a pour objectifs, d'une part l'estimation indépendante quantitative de la performance d'une technologie spécifique en utilisant des outils de vérification rapide, faciles d'utilisation et à des prix compétitifs, et d'autre part la proposition de recommandations spécifiques et de protocole.

Il faut bien distinguer la vérification de la certification. Cette dernière vise à garantir qu'une technologie respecte constamment les standards techniques ou les exigences de la réglementation. La vérification, quant à elle, est d'une grande utilité dans les domaines où la performance d'une technologie n'est pas encore prouvée.

Un système ETV a été développé par le consortium du projet européen PROMOTE, financé dans le cadre du 6ème Programme Cadre. Ce consortium est composé de bureaux d'études, d'associations d'industriels, de vendeurs, d'équipes issues de centres de recherche (Delft, Mol) et d'universités (Stuttgart, Varsovie, Barcelone, Strasbourg), de représentants de la ville de Bydgoszcz (Pologne) et du Comité Européen de Normalisation.

Ce système ETV est appliqué à la caractérisation de sites, aux techniques de suivi et de réhabilitation du sol et de l'eau souterraine. La procédure générale comporte 5 phases majeures : contact, candidature, test, évaluation indépendante, et publication des résultats. Les chercheurs interviennent dans la définition des procédures à suivre, la réalisation des tests en laboratoire, critiquent et vérifient le protocole et proposent des recommandations.

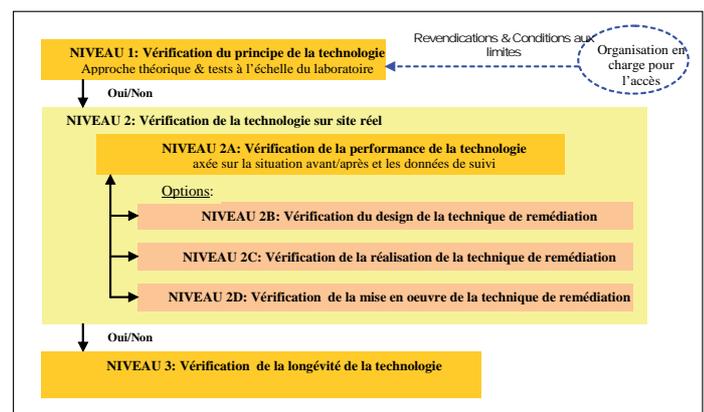
Dans un deuxième temps, le système de vérification a été appliqué plus spécifiquement aux techniques de réhabilitation. Afin de surmonter la complexité liée à la vérification de ces techniques, et en particulier de technologies proposées *in-situ*, une approche progressive permet d'évaluer les aspects spécifiques de la technologie sur la base des besoins et des ressources financières disponibles. Un aperçu schématique des différentes étapes, appelées « niveaux », est donné dans la figure ci-contre, en indiquant les différentes séquences suivies.

Plus particulièrement, la vérification concernera les techniques de réhabilitation *ex-situ* et *in-situ* : traitement de sols pollués par solutions tensioactives, traitement de sols pollués par ajout de solvant et traitement du panache de pollution (par exemple une barrière perméable réactive). Il s'agit d'évaluer si une technologie particulière est adéquate pour le(s) polluant(s) spécifique(s) du site et dans les conditions données de l'hydrosystème souterrain considéré.

En cas de résultat positif, un certificat de vérification est attribué, ainsi qu'un «ETV logo». Un document de synthèse résumant la vérification et ses résultats sont publiés. Le rapport a pour objectif de mettre en évidence la performance de la technologie et peut ainsi être utilisé comme outil d'aide à la décision par toutes les parties prenantes (maîtres d'ouvrage et d'oeuvre, développeurs, vendeurs, collectivités territoriales, etc.).

Cependant, l'attribution d'un «ETV logo» pour les technologies de réhabilitation, et plus particulièrement dans les applications sur site réel, ne doit pas être considérée comme une garantie de succès de la réhabilitation sur chaque site. Par contre, le logo montre que la technologie fonctionne sous certaines conditions, conditions qui sont spécifiées autant que possible dans les documents d'accompagnement.

Le protocole de vérification développé a été testé sur un cas réel à l'aide d'un jeu de rôle. Ainsi, les revendications de performance d'une nouvelle technologie de prélèvement d'eau, le « Mini Pressure Pump » proposé par le bureau d'études «Innovative Messtechnik Weiß» (Allemagne) ont été vérifiées à l'échelle du laboratoire et sur un site réel en Pologne. La vérification a notamment porté sur la récupération d'au moins 95 % de produits volatils de ce système de relevé d'eau dans un piézomètre. Dans ce cas, le protocole a été positif et un certificat de vérification pourrait être délivré.



Aperçu schématique de l'approche de vérification « niveau par niveau » proposée pour les techniques de réhabilitation

Pour plus de renseignements :

www.eu-etv-strategy.eu - www.promote-etv.org
Contact : Gerhard Schäfer - schafer@unistra.fr

Projet de création d'un Institut de Recherche sur l'Environnement du Rhin Supérieur

Le Karlsruher Institut für Technologie a lancé un projet de création d'un institut de recherche sur l'environnement du Rhin Supérieur associant les Universités de Bâle, Fribourg, Karlsruhe, Mulhouse et Strasbourg. L'objectif est de renforcer les connaissances et la recherche environnementale et de mettre en place un véritable groupe de travail indépendant sur les questions environnementales qui se posent dans la région trinationale du Rhin Supérieur.

Le réseau REALISE, par la participation de plusieurs de ses chercheurs, est partie prenante dans ce projet.

Une première réunion de travail a eu lieu à Karlsruhe le 19 novembre. Quatre ateliers ont été programmés sur les thématiques suivantes : Gestion durable des ressources, Approvisionnement durable en énergie et transport, Eau, sol et air, et Systèmes homme-environnement.

Cette première rencontre a permis de faire un tour d'horizon des projets transfrontaliers et de définir le champ d'action de ce futur institut, qui prendra naturellement sa place au sein de la confédération EUCOR.

Atelier scientifique sur les sols

Le 15 septembre dernier, une vingtaine de chercheurs du réseau REALISE se sont réunis à l'initiative de Mireille Del Nero et Catherine Galindo, dans les locaux de l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, pour un travail en atelier sur la thématique « Caractérisations des écosystèmes et étude des mécanismes de transfert de métaux et polluants ». La journée organisée sur la base d'exposés et de discussions a permis d'aborder le comportement et le devenir de quelques polluants types (métaux, actinides, pesticides) dans l'atmosphère et les sols.

Cette journée a permis de faire un premier point sur les larges compétences scientifiques des équipes strasbourgeoises dans ce domaine, que ce soit en chimie, géochimie, physico-chimie de l'atmosphère, biochimie, bactériologie, écologie ou encore en modélisations hydrologiques et géochimiques. Ces compétences pourraient être davantage mobilisées conjointement, notamment sur quelques questions clés liées aux rôles des microorganismes et de la matière organique dans les processus de mobilité de ces polluants dans les compartiments eau-sol-végétation. Ces exposés ont aussi illustré le rôle que tient le réseau REALISE dans l'aide au maintien et au développement de compétences et expertises analytiques au meilleur niveau international pour différents laboratoires travaillant dans ce domaine.

Cet atelier débouchera sur la mise en place, dès 2011, de nouveaux programmes scientifiques du réseau, impliquant plusieurs équipes autour de l'étude de quelques polluants spécifiques (cuivre, uranium et certains pesticides), en s'appuyant largement sur les sites expérimentaux du réseau (observatoire hydrogéochimique du Strengbach, site de Rouffach). Par ailleurs, un autre atelier sur la thématique «sols urbains, un enjeu de renouvellement», organisé par la Zone Atelier Environnementale Urbaine, aura lieu le 7 décembre prochain.

Dernières thèses soutenues

21 octobre 2010, Wuyin Zheng : « Développement d'un analyseur rapide et transportable du formaldéhyde dans l'air ». Directeurs de thèse : J.-L. Ponche et S. Le Calvé, Laboratoire des Matériaux, Surfaces et Procédés pour la Catalyse.

1^{er} octobre 2010, Adrien Deneuve : « Synthèse et caractérisation de supports de catalyseurs nano-macro à base de carbone et carbure de silicium - application à l'oxydation catalytique du sulfure d'hydrogène en soufre élémentaire ». Directeur de thèse : Cuong Pham-Huu, Laboratoire des Matériaux, Surfaces et Procédés pour la Catalyse.

15 octobre 2010, Vincent Allègre : « Couplages électrocinétiques en milieux poreux non saturés ». Directeurs de thèse : L. Jouniaux, P. Sailhac, Institut de Physique du Globe de Strasbourg et F. Lehmann, Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de Strasbourg.

28 septembre 2010, Marie-Laure Bagard : « Etude géochimique et isotopique (Sr, Ca, Séries de l'U et du Th) de bassins versants sibériens. Origine des flux géochimiques dissous et caractérisation des transferts eau-sol- plante en climat froid ». Directeurs de Thèse : F. Chabaux, Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de Strasbourg et O. S. Pokrovsky, Laboratoire des Mécanismes et Transferts en Géologie de Toulouse.

21 septembre 2010, Claude Schummer : « Evaluation de l'intérêt de l'échantillonnage passif d'air et des analyses de cheveux dans le biomonitoring de l'exposition humaine aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) et aux pesticides ». Directeurs de Thèse : M. Millet, Laboratoire des Matériaux, Surfaces et Procédés pour la Catalyse et R. Wennig, Université de Luxembourg.

20 Septembre 2010, Mélanie Petitjean : « Interactions des composés organiques volatils avec des surfaces de glace pure ou dopée, représentatives des conditions atmosphériques rencontrées dans la moyenne et haute troposphère - application à la chimie des nuages mixtes et des cirrus ». Directeur de thèse : S. Le Calvé, Laboratoire des Matériaux, Surfaces et Procédés pour la Catalyse.

7 Juillet 2010, Ahmed Meksem : «Etudes structurales et fonctionnelles des récepteurs Ton B-dépendants de bactéries à gram négatif». Directeur de thèse : I. Schalk, Ecole Supérieure de Biotechnologie de Strasbourg.

17 Juin 2010, Emilie Yeterian : « Bases moléculaires de la maturation et de la sécrétion de la pyoverdine chez *P. aeruginosa* ». Directeur de thèse : I. Schalk, Ecole Supérieure de Biotechnologie de Strasbourg.

REALISE
<http://realise.u-strasbg.fr>

Novembre 2010

Directeur de Publication : François Chabaux
Rédaction : Valérie Geoffroy, Yann Lucas, Marie-Ange Moser, Gerhard Schäfer
PAO : Marie - Ange Moser