

LES Enjeux DES Géo sciences

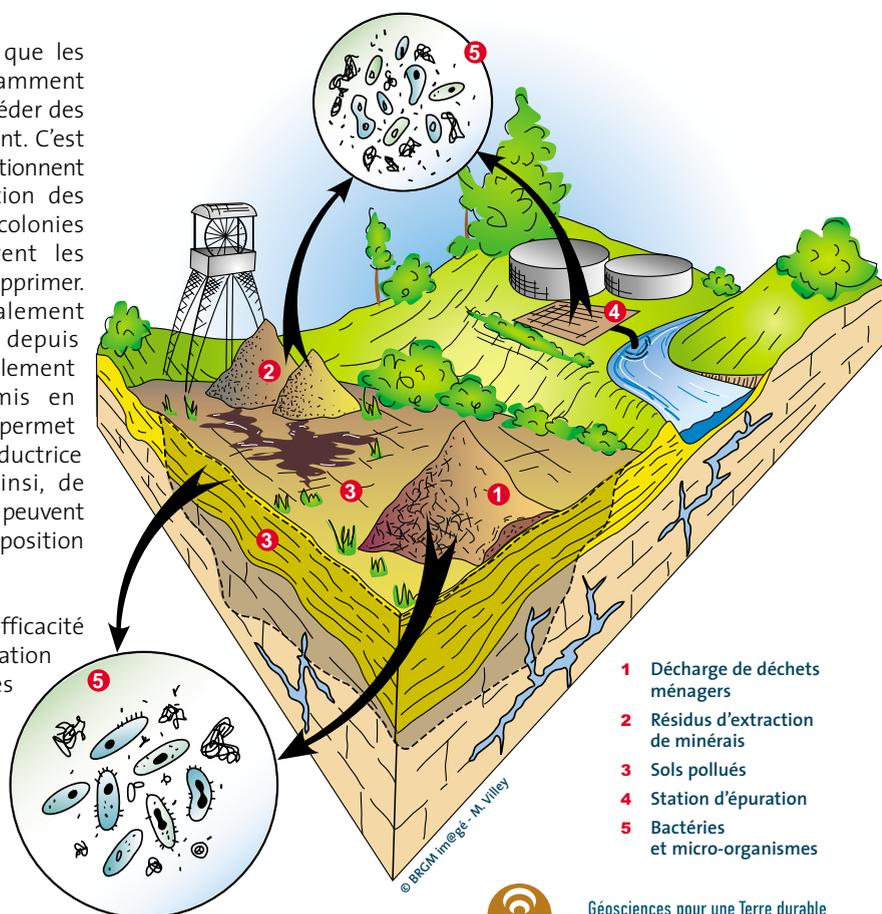
FICHE DE SYNTHÈSE SCIENTIFIQUE
N° 16 - Novembre 2006

Les biotechnologies au service de la dépollution et de la protection de l'environnement

Les micro-organismes présents naturellement dans le sol peuvent être des agents efficaces pour traiter les effluents, les eaux et sols pollués mais aussi pour extraire des minerais. Alternative aux traitements classiques ou chimiques, cette technique biologique, naturelle et économique attend encore de grands développements. Cependant, elle est déjà opérationnelle et efficace dans certains secteurs industriels. Le BRGM s'est résolument orienté dans cette voie au sein de projets européens et nationaux en partenariat avec des industriels.

On sait depuis longtemps que les micro-organismes et notamment les bactéries peuvent posséder des capacités étonnantes de traitement. C'est notamment sur ce principe que fonctionnent la plupart des stations d'épuration des eaux usées en France où des colonies de bactéries gloutonnes digèrent les pollutions pour les réduire ou les supprimer. Des effluents miniers sont également traités par ces techniques depuis quelques années. C'est vrai également pour les déchets ménagers mis en décharge où l'activité bactérienne permet une décomposition rapide et productrice de gaz comme le méthane. Ainsi, de nouvelles ressources énergétiques peuvent être produites à partir de la décomposition de ces déchets.

Des recherches ont déjà prouvé l'efficacité des bactéries dans la biodégradation du phénol, du cyanure, des hydrocarbures, des pesticides ou l'élimination de l'arsenic et de métaux lourds. Mais d'autres perspectives s'ouvrent également dans le combat pour la réduction des impacts du CO₂. Ainsi, les



- 1 Décharge de déchets ménagers
- 2 Résidus d'extraction de minerais
- 3 Sols pollués
- 4 Station d'épuration
- 5 Bactéries et micro-organismes



Géosciences pour une Terre durable

brgm

hydrocarbures extraits dans les forages pétroliers sont “contaminés” par du CO₂ et de l’H₂S, qu’il faut séparer avec des techniques coûteuses et polluantes. Les moyens biologiques utilisés in situ, au sein même de la ressource, permettraient de réduire très sensiblement ces problèmes. C’est dire que ces techniques “naturelles” sont appelées à un bel avenir.

LES BIENFAITS DE L’ATTÉNUATION NATURELLE

Le sol abrite des quantités phénoménales de micro-organismes. On estime en effet que chaque gramme de sol peut contenir des milliers d’espèces microbiennes (bactéries, algues, champignons...) dont 5 % seulement sont connues et peuvent être isolées et cultivées en laboratoire. Dominique Morin, spécialiste français des biotechnologies au sein du BRGM, rappelle qu’il y a “autant de biomasse dans le sous-sol jusqu’à 500 mètres qu’en surface mais dont on ne connaît pas le rôle et l’importance sur l’environnement”. Certains considèrent cette biomasse comme une énorme lessiveuse, une formidable machine biologique naturelle capable de retraiter, de recycler et même d’éliminer des éléments indésirables ou dangereux comme les hydrocarbures ou les métaux lourds. En s’appuyant sur l’activité de certaines bactéries, il est en effet possible de réduire la dangerosité de métaux en les immobilisant, ou, à l’opposé de faciliter leur récupération.

Les recherches actuelles portent d’abord sur l’activité des bactéries qui sont les plus nombreuses et les plus actives dans les processus de biodégradation. Pour assouvir leur besoin d’énergie, ces bactéries se “nourrissent” de composés organiques, de minéraux ou de lumière, entraînant ainsi un processus de biodégradation. Dans certains cas, cette biomasse est suffisamment active naturellement pour permettre de réduire l’impact des pollutions dans un délai assez long. Il s’agit alors d’atténuation naturelle. Des phénomènes physiques, chimiques ou biologiques dans le sol ou le sous-sol peuvent en effet conduire à une diminution de la concentration ou de la toxicité des polluants dans le milieu. Ce concept récent doit être cependant bien évalué afin qu’il ne devienne pas un argument pour le laisser faire des adeptes de l’auto-régulation des pollutions. C’est pourquoi des études sont en cours pour évaluer l’impact et les effets de cet “auto-nettoyage”. Cependant, il faut parfois activer la population microbienne par des réactifs, voire injecter de la biomasse et effectuer ainsi une “bio augmentation”.

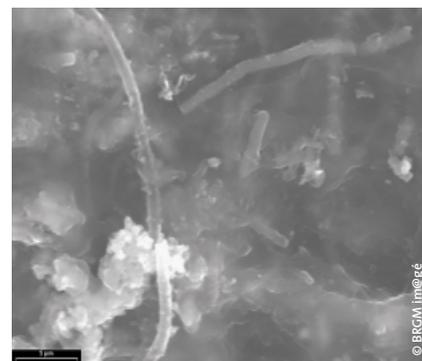
BACTÉRIES	FINALITÉS
Bactéries oxydant les composés soufrés, les sulfures et le fer en condition aérobie (présence d’oxygène)	<ul style="list-style-type: none"> - Mise au point de procédés biohydrométallurgiques pour la récupération des métaux à partir des ressources minérales. - Etude du cycle géochimique du soufre et du fer. - Etude des phénomènes de drainage minier acide.
Bactéries oxydantes et réductrices de l’arsenic en condition aérobie (présence d’oxygène) ou anaérobie (absence d’oxygène)	<ul style="list-style-type: none"> - Mise au point de procédés de traitement des eaux, des effluents et des sols contaminés par l’arsenic. - Etude du cycle géochimique de l’arsenic et des phénomènes de drainage minier.
Bactéries hétérotrophes qui dégradent les composés organiques en condition aérobie (présence d’oxygène) ou anaérobie (absence d’oxygène)	<ul style="list-style-type: none"> - Mise au point et étude de procédés de dépollution des effluents, des déchets et des sols. - Exemples : biotraitement des sables de fonderie contaminés par du phénol. - Biodégradation des pesticides.
Bactéries réduisant les sulfates en condition anaérobie (absence d’oxygène)	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation pour le traitement biologique des effluents acides miniers et industriels contaminés par des métaux (Cr,...). - Implication dans le cycle géochimique du soufre et dans les phénomènes de drainage minier acide.
Bactéries produisant du méthane et de l’hydrogène	<ul style="list-style-type: none"> - Dégradation de matière organique en condition réductrice. - Exemple : biotraitement des déchets organiques et récupération de gaz énergétiques.
Bactéries minéralisant du carbone sous forme de carbonates	<ul style="list-style-type: none"> - Piégeage du dioxyde de carbone sous forme minérale.

Tout cela suppose cependant des analyses poussées : isolement des familles de bactéries actives et des processus bactériens avec, en particulier, les moyens de la biologie moléculaire, puis extrapolation du principe de l’échelle laboratoire au pilote semi-industriel. Enfin, dernière étape avec la mise en œuvre industrielle d’un procédé de traitement.

DÉPOLLUTION “IN SITU”

La présence de métaux lourds dans les eaux souterraines est un problème mondial avec des enjeux sanitaires et environnementaux considérables. Des recherches sont engagées depuis des années pour appliquer les biotechnologies à ces questions notamment avec les bactéries sulfato-réductrices. Celles-ci transforment le sulfate en sulfure qui lui-même précipite les métaux présents dans les eaux qui peuvent ainsi être récupérés et éliminés. Ce fut notamment le cœur du programme européen “Metalbioréduction”, coordonné par le

BRGM, qui a impliqué de nombreux laboratoires et centres de recherches français et européens. Les recherches ont notamment porté sur le traitement du chrome et de l’arsenic. Des bactéries peuvent en effet modifier l’état d’oxydation de certains métaux comme le chrome pour le passer de la forme chrome 6, où il est un polluant soluble et dangereux car, entre autres, cancérigène, en chrome 3, où il est peu soluble, peu toxique et même à faible dose considéré comme nécessaire à la santé.



Bactéries sulfato-réductrices engluées dans du sulfure d’arsenic.

On estime aujourd'hui que 450 sites en France sont pollués par le chrome (cf. <http://www.basol.ecologie.gouv.fr>). Une opération pilote de traitement "in situ" a d'ailleurs été lancée sur le site des anciens ateliers de chromage d'Hispano Suiza à Bois-Colombes en région parisienne à travers un projet soutenu par l'ADEME et associant le BRGM, l'entreprise et la société TVD. Un procédé de traitement chimique, Chromstab, est notamment issu de cette recherche.

On a sensiblement la même ambition avec la question de l'arsenic. Dans ce cas, on utilise des processus bactériens qui favorisent la transformation de l'arsenic 3, qui est une forme très toxique du métalloïde, en arsenic 5, qui est la plus répandue naturellement et nettement moins dangereuse.

Aujourd'hui, 70 % des sites pollués, souvent par des hydrocarbures ou des métaux lourds, se situent en milieu urbain où les techniques de dépollution sont complexes et coûteuses car il faut extraire les matériaux pollués pour les traiter à l'extérieur sur une plateforme spécialisée. Un traitement in situ notamment par voie biologique a un coût nettement inférieur.



Dépollution in situ de chromates dans le sol : chantier pilote dans l'atelier de chromage des anciennes usines Hispano-Suiza à Bois-Colombes.

De grands développements sont donc attendus dans l'application des biotechnologies dans ce domaine et cela d'autant plus que les nouveaux outils de

biologie moléculaire ont considérablement amélioré la maîtrise des processus utilisés. La mise en œuvre de cette technique reste cependant encore limitée en France.

Biophon pour dépolluer les sables de fonderies

Dans les fonderies, les moules utilisés pour couler des pièces de moteurs sont souvent constitués de sable lié par des résines à base de phénol, ce qui en interdit sa réutilisation, sans traitement préalable.

C'est pourquoi une collaboration entre le BRGM, ANTEA et la société Soccoim-Onyx a permis d'aboutir à un traitement biologique de ces sables.

Le principe repose sur la métabolisation du phénol par des bactéries qui l'utilisent comme source de carbone et d'énergie.

Cultivées sur le site, les bactéries sontensemencées et agissent durant trois semaines sur le sable préalablement désagrégé des moules qui peut ensuite être réutilisé comme remblais. Ce principe, Biophon, a fait l'objet d'un brevet. Une plate-forme industrielle permettant le traitement, par ce procédé, de 30 000 tonnes de sable par an a été installée par la Soccoim, à Chaingy, près d'Orléans.



Plateforme de traitement des sables de fonderie - Chaingy, Loiret.



Analyse lixiviée.



Vue d'un essai de démonstration en cours de biolixiviation en tas (réalisé dans le cadre de Bioshale).

LES BIOTECHNOLOGIES POUR EXTRAIRE DES MÉTAUX DE VALEUR

Les capacités de transformation des minéraux de certaines bactéries sont utilisées depuis longtemps dans les mines pour extraire des métaux plus proprement et à moindre coût.

Le traitement des pollutions par les biotechnologies a, au BRGM, pour antécédent une technique déjà éprouvée, celle de la bio-hydrométallurgie qui repose sur l'utilisation de bactéries pour extraire des métaux de valeur à partir de ressources minérales. Certains micro-organismes peuvent en effet dégrader des minerais sulfurés, principaux porteurs de métaux non-ferreux de valeur, favorisant ainsi la récupération des métaux qu'ils contiennent. Pilote de cette technique avec son projet KCCL en Ouganda, le BRGM avait ainsi réussi à produire du cobalt avec le renfort des biotechnologies.



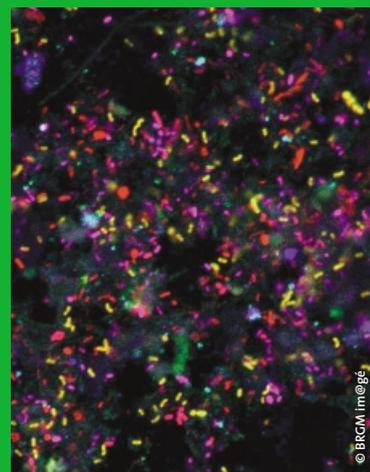
Retraitement par biolixiviation de stériles miniers en Ouganda : le projet KCC a été l'occasion de développer un procédé innovant visant à exploiter économiquement un sous-produit minier cobaltifère dont le stockage avait de graves conséquences sur l'environnement local.

Dans son 6^e PCRD (Programme Cadre de Recherche et Développement), l'Union Européenne a sélectionné deux projets de bio-hydrométallurgie : BioMinE et Bioshale qui mobilisent pour le premier programme 36 partenaires de 14 pays européens et d'Afrique du Sud et 13 partenaires de 8 pays pour le second. Sous la coordination du BRGM, BioMinE doit notamment permettre d'identifier les ressources minérales européennes susceptibles d'être valorisées par biotechnologies. C'est vrai notamment pour des métaux comme le cuivre, le cobalt ou le nickel. Bioshale de son côté doit contribuer à évaluer cette même technique pour des métaux (cuivre, nickel, or, argent) contenus dans les schistes noirs d'Europe centrale et de Scandinavie. La bio-hydrométallurgie répond d'abord à un objectif industriel d'optimiser les récupérations des métaux, avec des techniques moins coûteuses et surtout d'exploiter des gisements à plus faibles teneurs en métaux. Mais l'ambition est également environnementale car la bio-hydrométallurgie évite la production d'un gaz dangereux, le dioxyde de soufre, produit en grande quantité par la pyrométallurgie qui est la technique de récupération la plus utilisée.

Ces deux programmes européens coordonnés par le BRGM doivent également permettre d'améliorer la connaissance sur les biotechnologies et notamment de constituer une banque de données sur les micro-organismes actifs et les procédés de traitement applicables.

Caso1 une bactérie brevetée

Cheni Arsenic Oxydante 1 (Caso1) est le nom d'une nouvelle bactérie antipollution découverte par l'unité Biotechnologies du BRGM qui l'a brevetée et déposée à l'Institut Pasteur. La découverte de cette bactérie est issue d'un programme de recherche mené durant plusieurs années sur le site de dépôt d'un résidu de l'ancienne mine d'or de Cheni située près de Limoges. Des études avaient notamment montré la présence sur le site de bactéries de la famille des Thiomonas capables d'oxyder naturellement l'arsenic III très toxique en arsenic V considéré comme inoffensif. Cette découverte laisse entrevoir des retombées importantes pour le traitement des effluents, notamment des mines d'or où l'arsenic est fréquemment utilisé.



Vue de bactéries utilisées dans la mise au point d'un procédé d'élimination de métaux lourds contenus dans les boues de station d'épuration.

Pour en savoir plus :
Dominique Morin - BRGM - Environnement Industriels et Procédés - Tél. 02 38 64 32 00

Collaboration rédactionnelle :
Jean-Jacques Talpin

Centre scientifique et technique
BRGM - 3, avenue Claude-Guillemin - BP 6009
45060 Orléans Cedex 2 - Tél. 02 38 64 34 34
www.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable
brgm