

En sélectionnant certains micro-organismes, le biologiste tessinois Trello Beffa, Dr ès sciences, s'attaque aux sols contaminés et aux eaux souterraines polluées. La société Infors SA, spécialiste des fermenteurs, lui a apporté son savoir-faire pour la mise au point d'un bioréacteur qui, sur place, permet de déclencher rapidement et économiquement des processus biologiques de dégradation.

Bactéries gloutonnes et assainissement de l'environnement

Par Elsbeth Heinzelmänn*

Aux premières heures du 24 mars 1989, le pétrolier Exxon Valdez de 300 mètres de long s'échouait dans les eaux du Sud de l'Alaska sur le Bligh-Riff et se brisait, déclenchant ainsi l'une des plus grandes catastrophes de la navigation maritime. Plus de 40'000 tonnes de pétrole brut s'écoulèrent dans le Prinz-William Sund, polluèrent toute la région et en détruisirent la faune, entraînant ainsi dans une mort affreuse des centaines de milliers d'oiseaux de mer et d'individus marins.

De l'huile minérale au menu

Pour combattre la marée noire, les responsables de la lutte antipollution utilisèrent pour la première fois, à grande échelle, des micro-organismes chargés d'épurer de façon efficace un littoral de 1800 km sur les côtes de l'Alaska. Voraces, ces petits êtres unicellulaires peuvent digérer la majeure partie des constituants de l'huile minérale, en les utilisant comme source de carbone et d'énergie.

Au cours des premiers mois qui suivirent l'accident, on put déjà constater une dégradation rapide du pétrole; toutefois, uniquement aux endroits où le sol était poreux et où la faune et la flore terrestres étaient intactes. En effet, les micro-organismes refusaient leur concours là où les sauveteurs avaient essayé de décoller à la vapeur la peste noire de la vase, rendant ainsi le sol absolument stérile.

Les micro-organismes offrent un potentiel considérable au niveau des processus biologiques de remise en état de zones polluées. Avec les méthodes conventionnelles, on excave la terre chargée de substances polluantes, on la transporte pour la brûler dans des fours spéciaux ou on la met en décharge. La pre-

mière méthode coûte cher, la seconde ne résout pas le problème: elle ne fait que le décaler à plus tard, et le risque demeure!

Quant aux micro-organismes, ils attaquent le mal à la racine et sont souvent en mesure de transformer directement dans le sol ou dans les eaux souterraines, les substances polluantes en composés inorganiques.

Accélération des processus naturels

«Contrairement aux techniques traditionnelles de traitement sur base chimique et mécanique, les procédés de remise en état reposant sur la biotechnologie microbienne accélèrent les processus naturels de dégradation, et ce, de façon rapide, écologique et nettement plus économique que l'incinération et la mise en décharge », déclare Trello Beffa. « Les bactéries et les champignons permettent de décomposer la plupart des substances polluantes telles que les hydrocarbures, les huiles minérales, les solvants chlorés, le phénol et bientôt aussi les dioxines. »

Le chercheur tessinois a étudié la biologie à l'Université de Genève, travaillé à la Station fédérale de recherches agronomiques de Changins, avant de se rendre à l'Université de Neuchâtel où il a dirigé pendant dix ans le groupe «Compost/biodégradation». C'est là qu'à partir de l'an 2000, il a isolé des bactéries et des champignons destinés aux applications biotechniques, tout en acqué-

rant, avec l'appui du Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS) et de l'Agence pour la promotion de l'innovation (CTI), de solides connaissances dans ce domaine.

Au cours de leurs travaux, Trello Beffa et son équipe ont découvert des bactéries qui se développent rapidement aux températures élevées lors du compostage, et qui se prêtent à la valorisation des déchets organiques de provenance tant urbaine qu'industrielle. Ce travail, financé par le FNS, lui a permis, ainsi qu'au professeur responsable, Michel Aragno, de gagner l'estime de la communauté scientifique internationale. A Milan, le principe de la biodégradation de Trello Beffa a connu son premier franc succès: en l'espace de cinq



Le bioréacteur Terrafors destiné au traitement aérobie et anaérobie de substrats solides et semi-solides. (Photo MADEP/Infors)

* Journaliste «science et technique»



Ouverture du Terrafors lors d'opérations de surveillance et de prélèvement (ajustement du pH), d'addition de substances (nutriments) et de micro-organismes, de vérification, de remplissage, de vidange et de changement des diffuseurs. (Photo MADEP/Infors)

mois, il a réussi à assainir l'ancien terrain de l'usine Alfa Romeo dont le sol avait été pollué pendant vingt ans par du mazout, des huiles minérales lourdes et des hydrocarbures polyaromatiques très toxiques.

Un procédé de laboratoire pour le marché

C'est alors que lui vint l'idée de mettre sur pied un bioréacteur et de développer des procédés pour le traitement des déchets organiques au moyen de micro-organismes appropriés, dans des conditions environnementales spécifiques et contrôlées.

Dans le cadre d'un programme prioritaire PP BioTech, le FNS a financé un bioréacteur pilote rotatif de 110 litres, permettant de remuer et de malaxer le matériau à traiter. Trello Beffa voulait concrétiser les expériences faites, en concevant un réacteur compacte et robuste. C'est avec Alexander Hawrylenko et sa société Infors SA à Bottmingen (BL), que Trello Beffa allait trouver le partenaire idéal, possédant le savoir-faire indispensable à la réalisation de ses objectifs. Il s'agit en effet, à l'échelon mondial, d'un des premiers producteurs de fermenteurs innovants destinés à la recherche, à la mise au point de

processus et à la production.

Un tel investissement ne pouvait aller sans l'aide de la CTI, l'Agence pour la promotion de l'innovation, qui a participé au financement de la recherche. En 2002, Trello Beffa a fondé sa propre entreprise, la société MADEP SA en tant que spin-off de l'Université de Neuchâtel. Quatre années d'efforts intenses de recherche et de mise au point devaient encore s'écouler jusqu'à l'avènement du TERRAFORS durant l'été 2005, un bioréacteur remarquable développé par les partenaires du projet CTI.

Le tambour rotatif est une cuve en acier inoxydable d'une capacité de 15 litres; il mélange des échantillons de terre, de déchets organiques ainsi que des corps solides naturels et contaminés. Dans le cas d'un environnement précis et contrôlé, on peut sélectionner et cultiver toutes sortes de micro-organismes spéciaux. Parmi ces populations, on compte des bactéries, y compris les actinomycètes, des champignons, y compris les moisissures et les levures, pouvant développer dans des conditions aérobies, microaérophiles et anaérobies sur une vaste plage de température (de 1 °C à 82 °C).

En liaison avec la saisie des données et le progiciel de commande, le TERRAFORS permet d'évaluer sans délai les aspects de sélection des micro-organismes, les conditions physico-chimiques et nutritionnelles de biodégradation, d'assainissement biologique et de fermentation des substances solides, tout en optimisant rapidement les paramètres de processus indispensables.

Des substances toxiques omniprésentes

Le domaine d'application du TERRAFORS s'étend de la mise au point de processus et de la sélection à l'échelon du laboratoire en matière d'épuration des eaux usées et d'assainissement biologique des sols dans les décharges, à la décontamination et au recyclage des déchets solides et semi-solides ainsi qu'au compostage et à la digestion anaérobie, ainsi qu'à la mise au point de processus dans la fermentation des substances solides.

«Par rapport aux cultures immergées dans le fermenteur, les avantages du fermenteur à substances solides apparaissent

clairement», résume Trello Beffa. «La productivité des enzymes est dix fois plus grande, des rendements plus élevés s'obtiennent en très peu de temps, et ce, de façon plus simple et avec moins d'énergie. Par ailleurs, le processus de post-traitement des enzymes et des biomasses entraîne moins de dépenses.»

Mais à lui seul, l'équipement technique ne suffit pas pour réaliser de suite un assainissement: «Tout d'abord, il s'agit de procéder sur place à une caractérisation hydrogéologique et chimique, puis d'évaluer les processus de traitement disponibles, de définir les buts de la mise au point et de développer les processus en accord avec les priorités et les moyens du client» souligne le biologiste en sciences de l'environnement. «Seule une étroite collaboration avec les hydrologues, les géologues, les chimistes analytiques, les ingénieurs en génie civil et les autorités mène au succès.»

Les substances toxiques potentielles ne demandent qu'à entrer en scène, qu'il s'agisse des solvants chlorés, des explosifs ou des métaux lourds provenant de l'in-

Infors SA, pionnier des fermenteurs

Lors de la fondation de la société Infors SA en 1965, Alexander Hawrylenko a posé de nouveaux jalons en obtenant le brevet pour le premier agitateur destiné aux applications à grande vitesse. Toujours en quête de nouvelles technologies, son équipe devait, neuf ans plus tard, mettre au point l'entraînement magnétique breveté. Puis vinrent les premiers agitateurs et les agitateurs incubés, taillés sur mesure, pour des applications spécifiques, ensuite la première ligne de produits «fermenteurs», qui tient compte de l'exigüité des laboratoires.

A l'occasion d'une restructuration en 1985, Infors SA passe d'une entreprise de petite taille à une entreprise de taille moyenne avec planification et commande de la production intégrée, et obtient en 1996 la certification ISO 9001. Dans l'intervalle, Infors SA entretient des représentations dans toute l'Europe, noue des liens de partenariat aux Etats-Unis, occupe plus de 70 personnes au siège social de Bottmingen près de Bâle. Sous l'effet d'une bonne collaboration avec les instituts de recherche académiques, le savoir-faire acquis au fil des 40 ans se traduit par des produits innovants destinés à la recherche, à la mise au point de processus et à la production.

www.infors-ht.com

dustrie. Autre problème national: les stands de tir où des centaines de kilos de plomb, d'explosifs, d'antimoine et d'arsenic trouvent refuge dans le sol... une pensée plutôt macabre, puisque la Suisse couvre pratiquement 80% de ses besoins en eau par captage des inférolux.

Le sol diffuse la pollution

Le sol ne se limite pas à la couche superficielle, mais comprend aussi les roches sédimentaires et autres matériaux perméables, ainsi que les réserves d'eau souterraines. Or, la contamination du sol exerce également une influence sur d'autres composants environnementaux tels que l'atmosphère, l'hydrosphère, la biosphère et la lithosphère, partie solide de l'écorce terrestre pouvant atteindre une profondeur de 1200 km.

«La contamination du sol peut être due à des causes ponctuelles telles que les décharges non contrôlées, les anciennes friches industrielles, des conduites ou des réservoirs non étanches» souligne Trello Beffa. «Mais il existe également des sources diffuses telles que les substances polluantes en suspension dans l'atmosphère provenant de l'industrie, le mazout des chaudières domestiques, la circulation automobile, l'emploi abusif des engrais dans l'agriculture, les pesticides et les herbicides ou les dépôts de boues d'épuration contaminées. A en croire l'OFEP, la Suisse compte entre 50'000 et 60'000 points contaminés. Il s'agit aussi bien de décharges contrôlées ou sauvages que d'usines ou de lieux sinistrés, où les déchets ont été stockés, ou même lorsque des substances menaçant l'environnement s'infiltrèrent dans le sol. 3000 à 4000 points doivent être assainis, car ils présentent, sous une forme ou une autre, un danger inacceptable pour le sol, les eaux souterraines, les eaux superficielles, et l'air». Les

bactéries gloutonnes et les champignons de Trello Beffa, ainsi que les bio-réacteurs d'Infors ont encore du pain sur la planche.

Exemples concrets d'application des micro-organismes

La biotechnologie micro-bienne fait appel aux processus naturels de dégradation et les accélère. A cet effet, l'équipe MADEP isole, en fonction du lieu et de la nature des déchets et des polluants, les micro-organismes indispensables.

Au nombre des problèmes qui ont été résolus, il faut mentionner le traitement des sols et du sable contaminés par des huiles lourdes et de la paraffine, du kérosène ou du phénanthrène, cet hydrocarbure aromatique très tenace. Parmi les références, on trouve la raffinerie Petroplus à Cressier où MADEP a nettoyé 400 m³ de sols contaminés par du kérosène, avec une efficacité supérieure à 98%.

L'huile végétale ainsi que la graisse animale et végétale, une partie difficilement biodégradable des eaux usées communales, qui est généralement traitée à part et entraîne des coûts supplémentaires, constituent un thème particulier. MADEP a isolé à cet effet des bactéries et mis au point une technique d'application consacrée à la dégradation de mélanges aqueux concentrés (contenant jusqu'à 50% de substances solides), composés d'huile végétale et de graisse animale et végétale.

Dans une application concrète, la technologie MADEP a été testée durant deux

ans sur une installation urbaine d'épuration des eaux. Les bactéries ont amélioré les performances des systèmes de traitement biologiques et augmenté la capacité de dégradation des corps gras, sans devoir modifier l'infrastructure en place, telle que les réservoirs et l'aération).

Réduction des hydrocarbures chlorés

Comme pierre d'achoppement particulière, il faut signaler le traitement



Assainissement biologique de sols contaminés par des solvants chlorés. (Photo MADEP/Infors)

biologique des hydrocarbures chlorés. Dans l'un des cas, une nappe aquifère (eaux souterraines) avait été contaminée des années durant par des quantités inconnues de trichloréthylène (TCE). Comme une analyse des eaux souterraines l'a révélé, la principale substance polluante était formée par le cis-dichloréthylène (DCE) et, dans une moindre mesure, par le chlorure de vinyle. «Nous supposons que la déchloruration réductrice connue a transformé le TCE en cis-DCE», déclare le chef de MADEP, Trello Beffa. «Comme les eaux souterraines étaient anoxiques, il ne pouvait, de façon naturelle, se produire une déchloruration.»

A l'aide d'une technique biologique de culture, les chercheurs ont réussi à injecter et accroître une population bactérienne spécifique, chargée de dégrader les substances toxiques dans l'eau contaminée et ce, d'un facteur supérieur à mille, mettant ainsi en route la biodégradation là où elle ne se produisait pas, et l'accélération là où elle avait déjà pris naissance. Comme produits finaux, on obtenait de la biomasse, du CO₂ et des ions chlorure. «D'autres méthodes de traitement véhiculent souvent la substance toxique d'un point à un autre, certaines techniques requièrent des additifs chimiques», poursuit Trello Beffa. «Par rapport aux techniques telles que l'adsorption sur charbon actif, la nôtre réduit les coûts d'intervention et d'assainissement; la culture biologique requiert tout simplement l'utilisation de micro-organismes naturels spécifiques et l'installation d'un système de recirculation de l'eau.»

Trello Beffa
MADEP SA
2022 Bevaix
Tél. 0041 (0)32 846 4551
Mél.: info@madep-sa.com
www.madep-sa.com ●



Raclage du matériel fermenté lors des opérations de vidange. (Photo MADEP/Infors)