

Bioremédiation

La **bioremédiation** consiste en la **décontamination** de milieux pollués au moyen de techniques issues de la dégradation chimique ou d'autres activités d'organismes vivants.

1 Introduction

Empiler et humidifier des résidus organiques permet la décomposition biologique : un processus connu comme le compostage de déchets organiques. La technologie a été étendue pour inclure le traitement de déchets alimentaires, des déchets agricoles et des eaux usées. Plus récemment, la bioremédiation a été appliquée au traitement des déchets dangereux. C'est-à-dire permettant la remédiation des sols pollués et des eaux usés.

2 Les techniques de Bioremédiation

2.1 Atténuation naturelle contrôlée

2.1.1 Principe

Suivi passif de la diminution des teneurs en polluants par le biais des processus naturels :

- Dégradation par la microfaune
- Dilution
- Absorption
- Évaporation

2.1.2 Méthode

Laisser la nature se débrouiller ! Le contrôle et la vérification des conditions de l'évolution se fait grâce à des puits d'observation.

2.2 Bioaugmentation

2.2.1 Principe

La bioaugmentation est une technique mettant en œuvre des micro-organismes (généralement des bactéries, nématodes, protozoaires, champignons) afin de traiter des

zones touchées (sol et eau) par divers polluants carbonés, azotés ou phosphorés.

Les micro-organismes déjà présents dans les sols ou l'eau, ne sont pas capables de dépolluer, c'est pourquoi l'utilisation de microorganismes extérieurs est nécessaire. Il est possible que des **modifications génétiques** soient apportés aux souches inoculées, afin d'améliorer ou de permettre la dépollution. L'utilisation de la bioaugmentation a pour exemple principal le traitement des eaux des villes par des **boues actives** (stations d'épuration). Les micro-organismes présents dans ces boues, vont utiliser les polluants comme source d'énergie ainsi que de l'oxygène, c'est pourquoi il est nécessaire d'aérer les boues activées afin de permettre la survie et la croissance des micro-organismes.

2.2.2 Méthode

Ajout direct de microorganismes pouvant décomposer les contaminants et en accélérer la destruction.

3 Les techniques de Biostimulation

3.1 Bioventing

Le **venting** est un procédé adapté au sol perméable (sableux) et principalement pour la dépollution des composés volatils. Le sol est mis en dépression par aspiration, l'air humide provenant du sol est alors aspiré, passé par une chambre de condensation et ensuite passé par un bio-filtre (support bactérien) ou sur **charbon actif** où les polluants seront alors dégradés. L'air est ensuite contrôlé et rejeté à l'extérieur.

Le **bioventing** est une variante du venting. Dans ce procédé, en plus de la **ventilation** classique on réalise une **aération forcée** du sol non saturé, cette circulation d'air amène un apport d'oxygène ce qui favorise le développement des micro-organismes présent dans la terre et donc la dégradation des polluants. Ce procédé est utilisé la plupart du temps pour des composés volatils tels que les hydrocarbures, les micro-organismes vont alors se développer en utilisant le carbone de ces polluants. Ce traitement est généralement couplé à un amendement du sol afin de rééquilibrer le rapport carbone-azote-phosphore.

De plus, ce courant d'air met en mouvement les composés volatils et favorise la volatilisation de la phase liquide. Le flux d'air injecté va être récupéré par aspiration sur

le modèle du venting. Néanmoins le débit d'injection et d'aspiration doit être suffisamment faible pour laisser le temps aux micro-organismes de dégrader les composés volatilisés qui circulent dans le courant d'air.

De plus le coût de revient de cette technique est relativement faible et le rendement efficace.

3.2 Biosparging

Le biosparging consiste à injecter de l'air dans l'eau souterraine pour volatiliser les polluants de la zone saturée. En parallèle la dissolution d'air dans la phase aqueuse permet d'améliorer la dégradation aérobie de certains dépolluants. Souvent couplé au Bioventing.

3.3 Bioslurping

Le Bioslurping consiste à créer une dépression à l'interface entre le polluant flottant et la nappe. Le polluant peut être ainsi extrait pour traitement et dégradation hors-site

3.4 Traitement biologique aérobie in situ

Ce traitement consiste à aérer des parties polluées (sols pauvres en O₂) par injection ou aspersion d'une solution riche en oxygène et en nutriments. La solution injectée ou aspergée va favoriser les phénomènes de cométabolismes.

4 Utilisation des bactéries et des micro-organismes

4.1 La bactérie qui dégrade les nitrates

La bactérie *Pseudomonas halodenitrificans* est capable de dégrader les nitrates. Ces derniers, utilisés en agriculture sous forme d'engrais, deviennent une menace pour la qualité de l'eau lorsqu'ils sont répandus dans l'environnement. La bactérie est capable pour respirer d'utiliser des nitrates qu'elle transforme par réduction en azote moléculaire, élément gazeux inerte, qui retourne dans l'atmosphère et ne présente plus de danger de pollution. Cette capacité à réduire les nitrates en azote moléculaire (dénitrification) est très répandue chez les bactéries. Elle est mise en œuvre dans les stations d'épuration pour éliminer l'azote des eaux usées après une étape de nitrification de l'azote organique et ammoniacal en nitrate.

4.2 Des micro-organismes contre les mauvaises odeurs

Ils sont capables d'éliminer les effluents gazeux simples ou composés organiques volatils (COV) : solvants, composés

soufrés et azotés, aldéhydes, cétones, etc dont le principal inconvénient est leur odeur désagréable.

Pour être purifié, l'air pollué traverse un filtre à ruissellement alimenté en continu par un bioréacteur qui contient des micro-organismes spécialisés dans la dégradation de ces polluants. Le rendement est supérieur à 99 % pour les dérivés soufrés. Pour les dérivés azotés, les acides organiques, les aldéhydes / cétones et les autres COV, l'efficacité est supérieure à 80 %. Autre avantage : entièrement biologique, cette technique produit très peu de résidus.

Cette technique s'adresse principalement aux industries agro-alimentaires, aux stations d'épuration et aux centres de traitement des déchets solides.

4.3 Quelques exemples

Quelques micro-organismes capables de dépolluer :

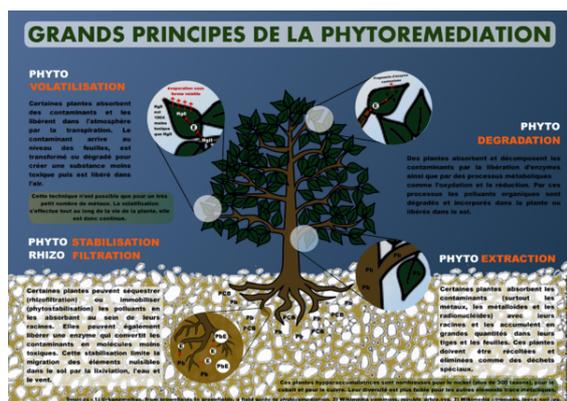
- Nitrates : *Comamonas*, *Hyphomicrobium*
- Phosphates : *Acinetobacter*, *Moraxella*
- Pesticides : *Enterobacter*
- Dioxines : *Brevibacterium*
- Cyanides : *Thiobacillus*, *Rhizoctonia*
- Composés soufrés : *Thiobacillus*
- Caoutchouc : *Sulfolobus*, *Rhodococcus*, *Thiobacillus*
- Huiles, graisses : *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Bacillus*
- Hydrocarbures : *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Arthrobacter*
- Métaux lourds : *Saccharomyces*, *Rhizopus*, *Chlorella*, *Thiobacillus*, *Zoogloea*^[1]

4.4 Phytoremédiation

La phytoremédiation est un procédé basé sur l'utilisation des plantes pour dépolluer un sol. En effet, certaines plantes sont capables de fixer dans leurs cellules des polluants présents dans les sols contaminés. Elles ont la propriété d'accumuler et de tolérer des niveaux extrêmement élevés de métaux, par exemple, dans leurs tissus et dans leurs parties aériennes.

4.4.1 Principe

On distingue plusieurs stratégies dans la phytoremédiation :



Grands principes de la phytoremédiation

Phytostabilisation La phytostabilisation consiste à immobiliser la pollution, c'est donc une méthode qui permet de limiter les polluants. Il s'agit d'installer un couvert végétal avec des espèces tolérant les polluants. Les racines de la plante combinées à des additifs capables d'immobiliser les métaux vont précipiter, absorber ou piéger les polluants contenus dans le sol. La présence de ces plantes permet de réduire les processus d'érosion et de ruissellement de particules porteuses de polluants et les processus d'entraînement de ces polluants en profondeur. Cependant, grâce à cette technique, les métaux sont seulement piégés dans la plante donc le sol n'est finalement pas réellement dépollué.

Phytoextraction La phytoextraction : c'est ce que font les plantes hyperaccumulatrices : elles sont capables d'accumuler plus de 1 % de métaux dans leurs tissus. Il en existe environ 400 espèces. Cette technique permet l'utilisation des plantes pour traiter les sols pollués par les métaux notamment. La pollution par les métaux est une des plus difficiles à traiter car ils ne sont pas biodégradables. Les polluants sont absorbés par les racines mais sont amenés vers les parties aériennes où ils sont accumulés. Les plantes sont donc ensuite fauchées et stockées dans un endroit prévu à cet effet puis incinérées. Les cendres de ces plantes peuvent être ensuite prises en charge par la métallurgie ou elles seront recyclées. On distingue deux types de phytoextraction : la phytoextraction continue (celle qui se produit naturellement) et la phytoextraction induite (celle qui se produit en présence de chélateurs). Pour que cette technique soit efficace il faut que les plantes produisent beaucoup de biomasse.

Exemple :

- *Thlaspi caerulescens*, hyperaccumulateur de zinc préférentiellement, accumulateur de plomb et de cadmium dans le feuillage.
- *Niemeyera acuminata*, accumulatrice de nickel dans la sève (plus de 20 %).
- Pensée caliminaire (*Viola calaminaria*), plante

croissant sur des terrains riches en plomb et en zinc et qui emmagasine donc ces métaux).

Phytodégradation La phytodégradation consiste à accélérer la dégradation des composés organiques polluants grâce aux plantes. Elle concerne donc les composés organiques et les hydrocarbures. Les polluants sont transformés en substances non toxiques par des réactions enzymatiques dans le sol ou dans la plante.

Exemple : Stimulation des micro-organismes du sol par l'action conjointe des hydrocarbures et des exudats de rhizosphère du maïs.

Phytovolatilisation La phytovolatilisation consiste en une dépollution des métaux. À la différence de la phytoextraction, elle regroupe seulement la dépollution de quelques métaux comme le mercure, le sélénium et hypothétiquement l'arsenic. Les métaux sont absorbés par les racines puis transférés dans les parties aériennes où ils seront stockés en attente d'être transformés en composés volatils pour être évapotranspirés par la plante sous forme méthylée dans l'atmosphère. Ces composés relargués sont en général moins toxiques que les composés du sol absorbés par les racines de la plante. La décontamination se fait en continu tout au long de la vie de la plante. La pollution du sol devient une pollution de l'air car on ne fait qu'évaporer les polluants.

4.4.2 Conclusion

La phytoremédiation peut être vue, comme une méthode de traitement des sols pollués, peu onéreuse et beaucoup plus respectueuse de l'équilibre naturel d'un biotope. Il est possible de l'utiliser en remplacement des techniques physico-chimiques ou bien en complément sur des sites de pollution agüe. Cette utilisation des plantes révèle de nombreuses actions bénéfiques comme la prévention de l'érosion grâce au réseau racinaire, la décomposition des matières organiques par les micro-organismes associés, le cycle biogéochimique des éléments, restauration du cycle de l'eau mais avant tout la concentration/dégradation des polluants. La phytoremédiation ouvre la voie à une colonisation végétale des espaces urbains pollués rendant le paysage plus esthétique et agréable à vivre.

5 Avantages et Inconvénients

6 Références

- [1] La dépollution des sols par les bactéries, tiré de Biodépol.

7 Bibliographie phytoremédiation

- CLESQUEL, Emmanuelle. Sols pollués – La phytoremédiation, un procédé prometteur. Disponible sur : <http://becque.blogspot.com/2009/12/sols-pollues-la-phytoremediation-un.html> (01.03.2010)
- INRA. Des plantes pour dépolluer les sols : la phytoremédiation. Disponible sur : www.nancy.inra.fr/.../1/.../presse-info_juin-juillet2000.pdf (28.02.2010)
- M.C. GIRARD, C. WALTER, J.C. REMY, J. BERTHELIN, J.L. MOREL. Sols et environnement. DUNOD, 2005. Chapitre 3.4, les sols en milieu urbain – traitement des sols urbains pollués. Chapitre 19.4, pollution organiques agricoles, urbaine ou industrielle : cas des hydrocarbures aromatiques polycycliques – traitement des sites contaminés. 75, 436.

8 Articles connexes

- Bioremédiation des hydrocarbures aromatiques polycycliques
- Bio-immobilisation
-  Portail de la microbiologie

9 Sources, contributeurs et licences du texte et de l'image

9.1 Texte

- **Bioremédiation** *Source* : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Biorem%C3%A9diation?oldid=113722687> *Contributeurs* : Anthere, Alno, Spedona, Phe-bot, Bibi Saint-Pol, Nicolas Ray, Poulos, Stanlekub, Gzen92, RobotQuistnix, YurikBot, Eskimbot, Jerome66, Ficelle, Litlok, Loveless, MelancholieBot, Jrcourtois, Pautard, Elapied, Karl1263, Alonso Quichano, JAnDbot, Écluse, Bertrand Cornu, TXiKiBoT, VolkovBot, Chicobot, Chmlal, Louperibot, MystBot, Dhatier, DumZiBoT, Philippe Giabbanelli, ZetudBot, Luckas-bot, Penjo, ArthurBot, Xqbot, MathsPoetry, Rubinbot, Ocerkan, UPVD-BioEcoL3-2010, WikitanvirBot, UPVD-BioEco-STEL3-2011, MerllwBot, Gtaf, Addbot et Anonyme : 17

9.2 Images

- **Fichier:Principes_phytoremediation.png** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Principes_phytoremediation.png *Licence* : FAL *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : UPVD-BioEco-STEL3-2011
- **Fichier:Question_book-4.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/Question_book-4.svg *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : Created from scratch in Adobe Illustrator. Originally based on Image:Question book.png created by User:Equazcion. *Artiste d'origine* : Tkgd2007
- **Fichier:Salmobandeau.jpg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Salmobandeau.jpg> *Licence* : Public domain *Contributeurs* : Transferred from fr.wikipedia ; transferred to Commons by User:Korrigan using CommonsHelper. *Artiste d'origine* : Original uploader was Elapied at fr.wikipedia
- **Fichier :_Crystal_Clear_action_run.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/Crystal_Clear_action_run.svg *Licence* : Public domain *Contributeurs* : All Crystal icons were posted by the author as LGPL on kde-look *Artiste d'origine* : Everaldo Coelho and YellowIcon Vectorizer : User:HereToHelp

9.3 Licence du contenu

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0