

# La phytoremédiation, ou comment soigner le sol par les plantes.

Cadmium, plomb, zinc, dérivés du pétrole,... En voilà des « crasses » ! Avec l'ensemble des activités industrielles, urbaines et agricoles, nous assistons à une dégradation de la qualité de nos sols cultivables, déjà bien rares. La phytoremédiation s'avère utile afin de recoloniser nos terres polluées de façon durable.

## I. Le sol : une ressource non renouvelable.

Le sol est important pour l'Homme, car celui-ci nous fournit des ressources capital pour notre santé et notre alimentation : grâce à lui les plantes peuvent pousser et fournir nourriture et oxygène aux être vivant. A peine un dixième des terres de notre planète son cultivables, les autres étant trop sèches, trop fines (ne permettant pas l'enracinement des plantes), polluées, etc. (Figure 1). Les terres cultivables peuvent ne plus être cultivables à causes de phénomènes naturels (érosions, épuisement des ressources, etc), de reconversion (construction de maison ou de route par l'Homme), ou encore de pollution. Environ 33% des sols sont touchés par ces phénomènes dit « de dégradation des sols ». En Europe cela représente plus ou moins 52 millions d'hectares – soit un peu plus de 17 fois la Belgique.

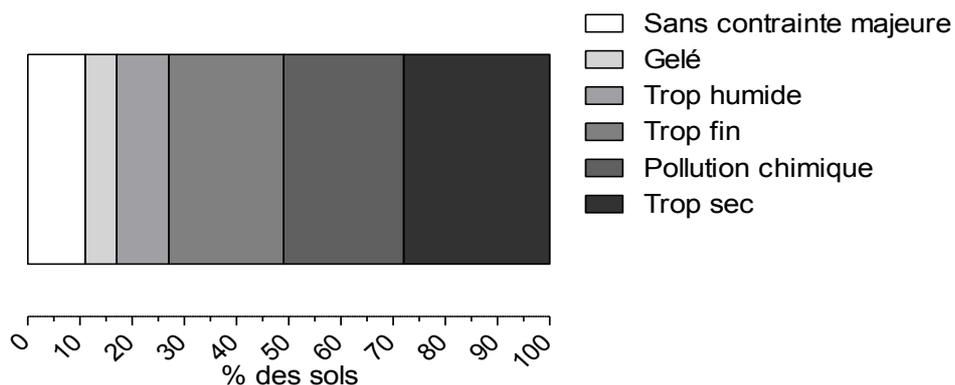


Figure 1. Pourcentage mondial de couverture du sol. Seuls 11% de celui-ci sont cultivables (blanc) Source : FAO, 1998.

Ce faible taux de ressources accessibles, combinée à une pression croissante, menace fortement l'approvisionnement des générations futures. Et ce d'autant plus que la population devrait augmenter de 2 à 3 milliards d'individus d'ici 2050, entraînant un accroissement de la demande des besoins élémentaires... Il faut donc réagir !

## II. La pollution des sols

Si on ne peut pas faire grand chose contre l'épuisement ou l'érosion, on peut par contre agir contre la pollution des sols. Celle-ci affecte l'ensemble du monde vivant, depuis les bactéries et les champignons microscopiques jusqu'aux mammifères et donc l'Homme.

Parmi les principaux polluants, on trouve trois grandes classes : (i) les métaux (plomb, mercure, cadmium, zinc,...), (ii) des dérivés du pétrole et des résidus de combustion provenant des activités

industrielles et urbaines, (iii) des composés comme l'azote provenant des activités agricoles (restes d'engrais).

Ces agents polluants sont semblables à ceux retrouvés dans l'eau mais à la différence de l'eau (ou même de l'air), ils sont difficilement éliminables car ils se lient fortement aux particules du sol.

Les sols pollués par l'Homme sont nombreux et dispersés à travers le monde. Rien que pour l'Union Européenne, plus de 300 000 sites pollués ont déjà été identifiés et, d'après les dernières estimations, il y en aurait près de 1,5 million au total. La Belgique et surtout la Wallonie ne sont pas épargnées par ce phénomène. Prenons par exemple le site LBP à Chênée, mieux connu sous le nom Cuivre et Zinc : classé par la SPAQuE (Société Publique d'Aide à la Qualité de l'Environnement) dans la liste de sites les plus pollués de Wallonie, il fait depuis 2008 l'objet d'une réhabilitation. Et ce n'est pas un cas unique : depuis plus de 20 ans, la SPAQuE a traité plus de 70 friches et décharges.

Origine des métaux polluants l'environnement	
Utilisation	Métaux polluants
Batteries et autres appareils	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni
Alliage et soudure	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
Pigments et peinture	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe
Biocides (pesticides, conservateurs, herbicides,...)	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
Verres	As, Sn, Mn
Fertilisants	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
Plastiques	Cd, Sn, Pb
Textiles	Cr, Fe, Al
Cosmétiques	Sn, Hg
Carburants	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

Source : FAO

Les métaux les plus retrouvés sur les sites pollués sont à classer en deux catégories : (i) les non essentiels à la vie, qui sont toxiques à très faibles concentrations (l'arsenic, le cadmium, le plomb et le mercure) et ceux essentiels à la vie mais qui deviennent qu'à très forte concentration (le zinc, le nickel, le fer et le cuivre par exemple). Cette toxicité empêche les végétaux de se développer correctement et même, si les concentrations sont très fortes, à empêcher toute vie sur et dans le sol. Pour l'Homme, une intoxication avec ces métaux peut causer de graves problèmes de santé – prenons le cas du mercure qui peut causer des troubles neurologiques (pertes de mémoires, maux de têtes, tremblements, etc) pouvant même aller jusqu'à la mort.

### III. Une solution : la phytoremédiation

Il existe différentes stratégies pour dépolluer des sols. Elles sont réparties en deux catégories, selon leur mode de mise en œuvre : (i) Le traitement dit « *ex situ* » qui consiste à prélever le sol du site contaminé et à lui faire subir plusieurs traitements pour enlever les contaminants, la terre ainsi traitée

pouvant être réutilisée à l'endroit où elle a été prélevée ou ailleurs ; (ii) Le traitement « *in situ* » qui consiste à laisser la terre sur place et à la traiter suivant différents procédés chimiques et/ou biologiques.

La méthode la plus utilisée pour le moment est le prélèvement de la terre hors du site et son remplacement par de la nouvelle terre (stratégie i). Toutefois, ce processus, en plus d'être coûteux, n'est pas durable car il ne fait que déplacer le problème ailleurs sans pour autant y remédier. Depuis les années 2000, une nouvelle méthode est donc considérée. Elle consiste à planter des plantes afin de décontaminer le sol pollué, sur place. Cela s'appelle de la **phytoremédiation** (Figure 2). Il peut s'agir de :

- La phytoextraction : les contaminants tels que les métaux sont extraits par les plantes.
- La phytostabilisation : les contaminants (métalliques ou non) sont maintenus sur place par des plantes afin d'éviter leur propagation.
- La phytodégradation : les plantes transforment les polluants en composés moins toxiques, qui restent stockés sur place.
- La phytostimulation : les plantes stimulent d'autres dépollueurs (champignons, bactéries)
- La phytovolatilisation : les contaminants sont rendus volatiles par la plante.

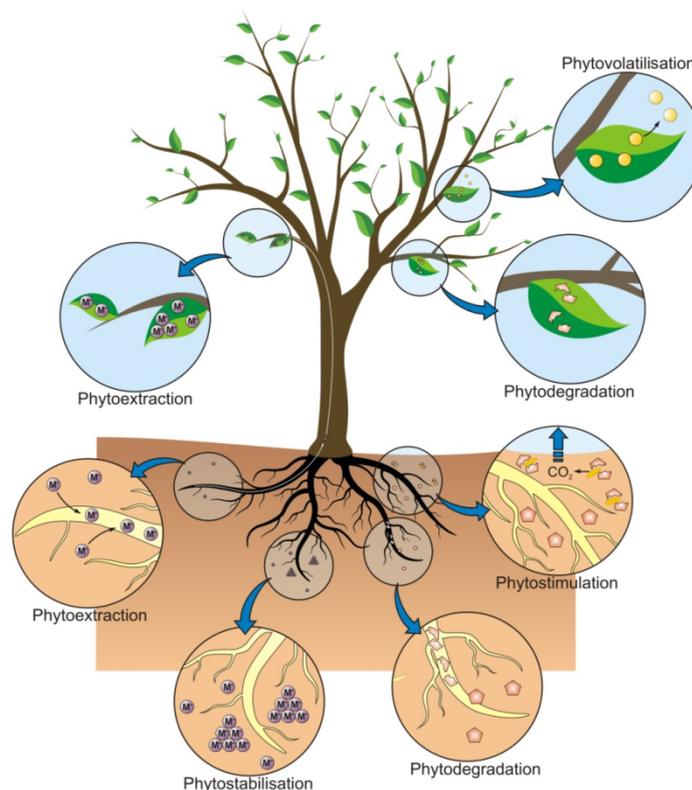


Figure 2. Représentation schématique des différents types de phytoremédiation. Adapté de <http://www.intechopen.com/books/environmental-risk-assessment-of-soil-contamination>.

### La Phytoextraction:

La phytoextraction se base sur la propriété de certaines plantes à accumuler les contaminants des sols dans leurs parties aériennes (feuilles, tiges, tronc, etc). Les plantes sont ensuite récoltées et brûlées dans des chaudières munies de filtres empêchant les polluants de se reprendre dans les fumées. Cette dernière étape peut être utilisée pour produire de l'énergie et permet même de récolter les métaux afin de les recycler et les réutiliser.

Deux types de plantes sont utilisés pour la phytoextraction : soit des plantes accumulatrices, soit des plantes « hyperaccumulatrices ». Les premières compensent leur faible capacité d'accumulation par leur grande taille. Les deuxièmes sont des plantes dans lesquelles la concentration en métaux (nickel, zinc, cadmium, plomb, cuivre, etc.) peut être jusqu'à 1000 fois plus élevée que dans d'autres plantes qui leur sont proches et ce, sans symptômes visibles d'intoxication. Par exemple, *Serbertia acuminata*, l'arbre à nickel, une plante de Nouvelle Calédonie, qui peut contenir jusqu'à 26% de nickel dans son latex (sève) sec (Figure 3).



Figure 3. Latex de *Serbertia acuminata*, sa couleur bleue turquoise est due à sa grande teneur en nickel. (<http://pierrealainpantz.photoshelter.com/image/I0000Oyf42sl3kAA>)

De manière arbitraire, une plante possédant 1% de zinc, 0,1% de nickel ou 0,01% de cadmium dans ses feuilles (après séchage) est considérée comme hyperaccumulatrice. La première hyperaccumulation de nickel a été découverte, en 1948 car les scientifiques commençaient à s'intéresser aux sols pollués par des métaux. Mais bien avant cela, en 1865, le phénomène d'hyperaccumulation au zinc avait déjà été observé chez une autre plante : *Noccaea caerulescens*. Aujourd'hui, on connaît plus de 450 espèces de plantes hyperaccumulatrice. Celles-ci sont pour 75% d'entre elles des hyperaccumulatrice de nickel. Actuellement, dans le cadre d'une collaboration internationale, des chercheurs (de France, du Canada, d'Albanie, etc) travaillent afin d'arriver à extraire le nickel de plantes. Les meilleurs résultats conduisent à une récolte de plus de 100 kg de nickel par hectare de terrain cultivé. Ce nickel pourrait, entre autres, être réutilisé pour la fabrication de batteries. Cette importante diversité d'hyperaccumulation au nickel coïncide avec le nombre important de sites géographiques enrichis en ce métal, notamment dans les régions méditerranéennes et en Nouvelle Calédonie. Mais l'on retrouve aussi des plantes hyperaccumulatrices pour d'autres métaux tels que le zinc, le cadmium ou l'arsenic.

#### **La phytostabilisation :**

La technique de phytoextraction est actuellement applicable à des sols peu à moyennement pollués, or la majeure partie des sols pollués présente des taux de pollution extrêmement importants, qui auraient besoin d'une extraction très longue. Heureusement, il existe une alternative : la phytostabilisation.

Cette technique a pour but de retenir les contaminants et de parer à leur potentielle propagation. Les contaminants sont retenus par les racines des plantes. Le peuplier est ainsi utilisé depuis plusieurs années dans le cadre de recherches sur la phytostabilisation.

### La phytodégradation :

Elle a pour objectif de transformer certains contaminants du sol en composés moins toxiques à l'intérieur de la plante. Ici aussi le peuplier est au centre de plusieurs recherches.



Le peuplier, futur acteur majeur de la dépollution des sols ?

(<http://www.photo-paysage.com/displayimage.php?album=212&pid=416>)

### La phytostimulation :

Dans ce cas-ci, les végétaux ne sont pas les acteurs principaux, mais elles aident ceux-ci en les nourrissant. Ainsi, les substances émises par la racine des plantes stimulent des champignons et/ou des bactéries du sol qui coopèrent afin de dégrader des polluants non-métalliques avec, en général, une production finale de CO<sub>2</sub> (gaz carbonique). Bien que cette technique offre la possibilité de dépolluer les sols, elle ne résout pas tous les problèmes car la pollution est déplacée dans l'air sous forme de CO<sub>2</sub>.

### La phytovolatilisation :

Cette technique, basée sur la transpiration des plantes vise à transformer les contaminants des sols en des composés gazeux qui sont relâchés dans l'atmosphère. Ici aussi, comme le cas de la phytostimulation, cette technique offre la possibilité de dépolluer les sols, mais ne résout pas tous les problèmes car la pollution est déplacée dans l'air.

## IV. Conclusion

Des techniques végétales peuvent aider à dépolluer les sols, les techniques de **phytoremédiation**. Elles sont peu coûteuses, que ce soit en énergie ou en argent, tout en améliorant le paysage. De plus, les plantes récoltées peuvent être valorisées économiquement. Il n'y a que quelques limitations à ces techniques. Ainsi, la taille de la couche de terre qui peut être décontaminée est souvent inférieure à 5m de profondeur à cause de la taille des racines - et encore, cette limite correspond au meilleur des cas, celui de l'utilisation d'arbres. De plus, à résultats identiques, ces techniques demandent plus de temps que les traditionnelles techniques physico-chimiques.

Bien qu'innovantes et prometteuses, nous devons donc encore laisser du temps à la recherche scientifique afin de développer au mieux ces techniques pour nous permettre de profiter de nouveau d'un environnement sain.

Maxime Scheepers

Université de Liège

**Pour plus d'infos :**

Société Publique d'Aide à la Qualité de l'Environnement (SPAQuE)

<http://www.spaque.be/>

International Fertilizer Association

<http://www.fertilizer.org/>

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)

<http://www.fao.org/home/fr/>

Agence européenne pour l'environnement

<http://www.eea.europa.eu/>

"Environmental Risk Assessment of Soil Contamination" Edites by M. C. Hernandez-Soriano, ISBN978-953-51-1235-8, Intech, DOI: 10.5772/57469.

**Antonovics, J.** (1971). The effects of a heterogeneous environment on the genetics of natural populations. *Am Sci* 59(5): 593-599.

**Verbruggen, N., Hermans, C. & Schat, H.** (2009). Molecular mechanisms of metal hyperaccumulation in plants. *New Phytol.*