

# Impact économique et environnemental du phytomanagement

Période : septembre 2011 à décembre 2011

Arnaud GAUTHIER

Université Lille 1 – Laboratoire Génie-Civil et géoEnvironnement – Villeneuve-d'Ascq

Mots clés : Biodiversité, Économie, Gaz à effet de serre, Phytoremédiation, Valorisation énergétique

Le concept de phytomanagement<sup>(1)</sup> a été employé pour la première fois dans les années 1980, et a initié une intense activité de recherche, à la fois fondamentale sur la physiologie et la génétique des plantes candidates et appliquée, avec des tests de faisabilité réalisés le plus souvent en pots. Des revues récentes de ces travaux montrent que les méthodes comme la phytoextraction<sup>(2)</sup>, la phytovolatilisation<sup>(3)</sup>, la phytofixation<sup>(4)</sup> et la rhizofiltration<sup>(5)</sup> ont un réel potentiel, en raison principalement de leur plus grande efficacité (en particulier en termes de coût) et de leur moindre dangerosité par rapport aux méthodes traditionnelles (Pulford et Watson, 2003). La phytoextraction serait indiquée pour le traitement de sites peu ou moyennement pollués, alors que la phytostabilisation serait indiquée pour les sites fortement contaminés. Pourtant, ces méthodes peinent à être réellement utilisées. Les principaux freins sont : 1) le manque de connaissances de base sur les mécanismes responsables de la tolérance et de l'hyperaccumulation<sup>(6)</sup> des métaux, 2) le manque de données de terrain testant les différentes espèces ou écotypes candidats et les différentes conditions de culture (Clemens, 2001) et 3) d'une façon générale, le manque de données permettant d'apprécier la généralité du procédé, afin de pouvoir l'appliquer quelque soit la plante ou le sol choisi. De telles recherches associant recherche fondamentale et recherche finalisée sont donc nécessaires pour développer des procédés de phytoremédiation efficaces. En outre, peu d'études ont été menées sur l'impact économique et environnemental de ces cultures.

## Phytostabilisation par des sous-produits industriels de sols semi-arides contaminés par des éléments traces : durabilité et risques

Perez-de-Mora P, Madejon P, Burgos P, Cabrera F. Phytostabilization of semiarid soils residually contaminated with trace elements using by-products: Sustainability and risks. *Environ Pollut.* 2011; 159: 3018-3027

### Résumé

Ce travail porte sur les effets de trois amendements<sup>(7)</sup> (deux d'origine organique et le troisième minéral) sur la colonisation et la croissance de plantes dans une zone contaminée, l'accumulation éventuelle d'éléments traces dans les biomasses produites ainsi que les risques associés. L'étude a été réalisée sur un terrain *situé* en Espagne affecté par des dépôts miniers. Malgré des travaux antérieurs de dépollution, ce sol contient encore des éléments métalliques en quantité non négligeables (42,44 g kg<sup>-1</sup> de fer, 145 mg kg<sup>-1</sup> d'arsenic, 286 mg kg<sup>-1</sup> de plomb et 205 mg kg<sup>-1</sup> de zinc). Trois amendements ont été utilisés : un compost produit à partir de la fraction solide résiduelle du traitement d'une eau usée industrielle, de la leonardite<sup>(8)</sup> ainsi qu'un amendement minéral issu de la production de déchets de betterave stabilisés par de la chaux. Le terrain a été divisé en 12 parcelles expérimentales et sur chacune d'elles ont été apportés les différents amendements. L'expérience a ainsi été menée sur une durée totale de 4 ans. À la fin de ce traitement, des échantillons de sol ont été prélevés afin d'être analysés. Un inventaire de la flore présente a également été réalisé et trois espèces de plantes ont été plus spécifiquement étudiées : *Raphanus raphanistrum* L., *Poa*

*annua* L. et *Lamarckia aurea*. Ces plantes ont été retenues car c'était les plus abondantes sur ces terrains. Sur chacune de ces espèces, les teneurs en métaux traces (As, Cd, Cu, Pb et Zn) ont été mesurées. Les résultats obtenus montrent qu'en deux ans de traitement, la couverture végétale a augmenté d'au moins 50 % pour les sols ayant subi un amendement. De la même manière, la diversité a elle aussi augmenté pour les sols avec amendement (4 espèces pour le sol témoin sans amendement contre 15 espèces en moyenne pour les sols avec amendements). Concernant les concentrations en éléments traces métalliques, l'effet d'un amendement est également observable. Ainsi pour *Raphanus*, les concentrations en plomb sont respectivement de 3 mg kg<sup>-1</sup> (sol sans amendement) et 1 mg kg<sup>-1</sup> (sol avec amendement), celles en zinc de 500 mg kg<sup>-1</sup> et 100 mg kg<sup>-1</sup>, respectivement. Ces résultats montrent que l'incorporation de co-produits en tant qu'amendement du sol a un effet positif et durable sur la couverture végétale, la croissance des plantes, ainsi que la diversité de celles-ci dans des conditions de climat semi-arides où l'érosion des sols contaminés est un facteur important de dispersion des pollutions.

### Commentaire

L'objectif de cette étude était de suivre *in situ* l'effet de trois amendements sur la croissance d'espèces végétales en relation avec leurs propriétés hyperaccumulatrices. Il s'agit là d'une étude extrêmement complète s'intéressant à des sols issus de conditions pédoclimatiques précises, prenant en compte à la fois l'accumulation des métaux, mais aussi et surtout le

développement de ces plantes, notamment en termes de biodiversité et de développement du couvert végétal et en retour l'impact de ces plantes sur la translocation<sup>(9)</sup> des éléments traces. Afin de la rendre pleinement complète, il aurait été pertinent d'étudier également les interactions avec le sol, notamment en termes de structuration de celui-ci, de variation de son chimisme...

### Émissions de gaz à effet de serre et caractéristiques des plantes lors de culture de tournesol (*Helianthus annuus* L.) avec apport de fertilisants organiques ou minéraux

Lopez-Valdez F, Fernandez-Luqeno F, Luna-Suarez S, Dendooven L. Greenhouse gas emissions and plant characteristics from soil cultivated with sunflower (*Helianthus annuus* L.) and amended with organic or inorganic fertilizers. *Sci Total Environ.* 2011; 412-413: 254-264.

#### Résumé

L'objectif de cette recherche a été de voir dans quelle mesure l'apport d'amendement organique ou inorganique a pu modifier les propriétés d'un sol sur lequel étaient cultivés des tournesols, mais aussi de déterminer si l'apport d'urée ou de boues issues du traitement d'eaux usées augmente les émissions de CO<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>O. L'étude a été menée sur un site mexicain à 150 km au nord de Mexico. Des sols reconstitués ont été mis en place dans des tubes en PVC (50 cm de longueur et 16 cm de diamètre), et dans chacun d'entre eux ont été cultivés des graines de tournesol. Trois traitements différents ont été appliqués ont été réalisés pour chacune des échéances suivantes : 37, 60 et 95 jours. Le premier traitement a consisté en un apport de 1 g d'urée en deux périodes (soit un équivalent de 150 kg N ha<sup>-1</sup>), le second en un ajout de 30 g de boues, le troisième test a consisté à suivre les croissances sans amendement. Un sol témoin (sans plante et sans amendement) a également été étudié dans les mêmes conditions. À la fin de chaque échéance, des prélèvements de sols et de plantes ont été réalisés afin notamment de suivre la croissance des végétaux (longueur des racines, quantité de biomasse produite) et de doser l'azote sous différentes formes (nitrate, nitrite, ammonium). En outre, une expérience de quantification des teneurs en CO<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>O dans les échantillons de sol a également été menée. Les résultats montrent que l'utilisation d'urée ainsi que de boues en tant qu'amendement, modifie les caractéristiques du sol durant les deux premiers mois de traitement. Ces amendements ont également un impact sur la croissance des végétaux. Ainsi en présence de boues, la masse de graine par plante est de 4,43 g, contre 3,36 g dans le cas d'un apport d'urée et 2,82 g pour une culture sans amendement. Concernant la production de gaz à effet de serre, cette étude montre également un impact des amendements. Ainsi les quantités produites de CO<sub>2</sub> sont respectivement de 2,03 mg de C par kg de sol par jour pour une culture sans amendement, de 2,60 mg pour un ajout d'urée et de 2,96 mg lorsque cet amendement est une boue. Dans le cas du N<sub>2</sub>O, les variations sont encore plus importantes (0,27 µg N kg<sup>-1</sup> jour<sup>-1</sup> pour une plante seule, 0,66 µg N kg<sup>-1</sup> jour<sup>-1</sup> avec de l'urée et 2,49 µg N kg<sup>-1</sup> jour<sup>-1</sup> avec de la boue)

#### Commentaire

Il s'agit là d'une des rares études s'attachant non pas aux capacités d'absorption des métaux lourds par des plantes, mais bien aux effets même de ces cultures sur l'environnement et plus particulièrement des apports d'amendement. Pour être totalement complète, et afin de renseigner le cas de l'utilisation assez courante du tournesol pour la phytoextraction, il aurait été intéressant de mener des expériences similaires sur des sols présentant des teneurs en métaux lourds importantes afin notamment de voir quels pourraient être les effets de ces métaux sur le développement des plantes mais aussi sur l'efficacité des amendements.

### La phytoremédiation est-elle une technologie de remédiation durable? Conclusions à partir d'un cas d'étude. I: production d'énergie et diminution du dioxyde de carbone

Witters N, Mendelson RO, Van Slycken S, Weyens N, Schreurs E, Meers E, Tack F, Carleer R, Vangronsveld J. Phytoremediation, a sustainable remediation technology? Conclusions from a case study. I: Energy production and carbon dioxide abatement. *Biomass Bioenergy.* 2011 : 1-16.

#### Résumé

La phytoremédiation apparaît comme une technique efficace pour traiter des sols contaminés par des métaux lourds. Elle présente en outre l'avantage de pouvoir générer une biomasse intéressante d'un point de vue énergétique. La présente étude porte sur la potentialité énergétique de certaines cultures, mais aussi sur une analyse de leur cycle de vie et leurs effets sur la réduction du CO<sub>2</sub>. L'étude, réalisée dans la région de Campine en Belgique, a porté sur 3 espèces végétales : saule, maïs et colza. Pour chacune de ces cultures, la biomasse fraîche et sèche a été mesurée, de même que les concentrations en métaux. Les résultats obtenus, montrent une production de biomasse variable d'une espèce à l'autre. Ainsi dans le cas des saules elle est de 6 tonnes par hectare et par an, de 5,2 pour une culture de colza et de 20 pour le maïs. À partir de ces résultats, une estimation des durées de traitement a été réalisée. Ainsi, il faudrait un peu plus d'un siècle pour absorber l'ensemble du cadmium avec du saule et mille ans dans le cas d'emploi de maïs ou de colza. La suite de l'étude est consacrée à la valorisation énergétique de ces cultures. Ainsi, dans le cas du maïs, la culture annuelle d'un hectare produirait une énergie nette de 148 289 mégajoules (Mj), celle de saule de 63 230 Mj et celle de colza de 35 640 Mj. Ces résultats ont été obtenus en tenant compte des dépenses énergétiques pour la culture, le traitement des plantes et des déchets produits. Au-delà du gain énergétique, ont également été calculés les abattements de CO<sub>2</sub> lors des cultures. Ainsi, la culture d'un hectare de maïs permettrait d'éviter l'émission de 14 214 kg de CO<sub>2</sub> par an, celle de saule entre 4 460 et 25 055 kg en fonction de la filière choisie, tandis que la culture colza éviterait l'émission de plus de 2 tonnes de CO<sub>2</sub>. Ainsi les filières de culture d'espèces végétales présentant un potentiel en phytoextraction

permettent non seulement de traiter des sols contaminés mais aussi de produire de l'énergie en quantité équivalente à celle des énergies fossiles tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

### Commentaire

Article très complet avec un autre regard sur la technologie de phytoremédiation. Les auteurs se sont attachés à prendre en compte l'ensemble des étapes depuis la culture de la plante jusqu'à son traitement en valorisation énergétique, ce qui en fait son originalité. L'ensemble des filières de valorisation sont présentées et richement documentées avec notamment une liste bibliographique extrêmement riche et exhaustive. On peut cependant regretter que les auteurs ne se soient intéressés qu'à trois espèces. Il aurait pu être intéressant notamment de voir les résultats dans le cas de cultures utilisées dans d'autres pays pour leur intérêt énergétique tel que le *Miscanthus* par exemple, pour lequel en particulier ils pointent le manque de données.

### CONCLUSION GÉNÉRALE

Ces études ont permis de montrer que la gestion et la remédiation des sites et sols pollués par des techniques douces à l'aide de plantes peuvent être appréhendés autrement que par le prisme des seules teneurs en métaux extraits. La réalisation de bilans énergétiques complets et comparatifs avec les autres sources d'énergies (notamment fossiles) ainsi que ceux relatifs à la réduction des gaz à effet de serre devront permettre d'accroître nos connaissances dans le domaine du phytomanagement, mais surtout permettront d'aider à la décision lors de l'emploi de techniques alternatives de traitement des sols contaminés.

### Lexique

- (1) Phytomanagement : ensemble des méthodes permettant la gestion de sites contaminés grâce à l'utilisation de végétaux.
- (2) Phytoextraction : utilisation de plantes pour extraire les éléments traces métalliques présents dans un sol.
- (3) Phytovolatilisation : action de relargage des métaux présents dans une plante par évaporation.
- (4) Phytofixation : capacité des plantes à maintenir en place un couvert végétal et à stabiliser les métaux lourds présents dans le sol.
- (5) Rhizofiltration : technique de dépollution des sols, à l'aide de racines immergées de plantes captant les éléments traces métalliques
- (6) Hyperaccumulation : propriété que possèdent certaines plantes à stocker de manière importante des éléments métalliques.

- (7) Amendement : apport d'un produit fertilisant ou d'un matériau afin d'améliorer la qualité des sols.
- (8) Leonardite : argile riche en acide humique et fulvique produite par l'oxydation du lignite.
- (9) Translocation : action de transférer les métaux depuis les racines vers les parties aériennes d'une plante.

### Publications de référence

- Clemens S.** Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. *Planta*. 2001; 212: 475-486.
- Pulford ID, Watson C.** Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review. *Environ Int.* 2003; 29: 529-540.

### Revue de la littérature

- Megharaj M, Ramakrishnan B, Venkateswarlu K et al.** Bioremediation approaches for organic pollutants: A critical perspective. *Environ Int.* 2011; 37: 1362-1375.

### Autres publications identifiées

- Hartley W, Riby P, Dickinson NM et al.** Planting woody crops on dredged contaminated sediment provides both positive and negative effects in terms of remediation. *Environ Pollut.* 2011; 159: 3416-3424  
*Cette étude porte sur l'utilisation d'arbres (saule, peuplier, aulne) en tant qu'espèce accumulatrice de métaux lourds présents dans des sédiments de dragage.*
- Aryal N, Reinhold DM.** Phytoaccumulation of antimicrobials from biosolids: Impacts on environmental fate and relevance to human exposure. *Water Res.* 2011; 45: 5545-5552.  
*L'originalité de cette étude est de suivre l'incorporation d'antibiotique, provenant des boues de stations d'épuration, par des plantes et notamment des légumes.*
- Suruchi, Khanna P.** Assessment of heavy metal contamination in different vegetables grown in and around urban areas. *Research Journal of Environmental Toxicology.* 2011; 5: 162-179.  
*Cette étude porte sur l'assimilation par des légumes d'éléments métalliques (plomb, cadmium) et sur une comparaison entre différents sites contaminés dans le monde.*

### Mots clés utilisés pour la recherche bibliographique

Biodiversity, Economy, Greenhouse gas, Phytoremediation, Energy.