

Étude Cassiopée : cadmium et arsenic dans les sols : impact observé sur une population exposée - Octobre 2008

Pages 15 - 18 : Evaluation de l'exposition à des sols pollués au plomb, au cadmium et à l'arsenic en Aveyron

⇒ Mesures dans les légumes et les sols de jardins privés

A la demande de la Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (Drire), l'industriel UMICORE dans le cadre de son dossier de demande d'autorisation (2004) de dépollution du site industriel, a également ajouté dans son dossier (2006) des analyses de sols de quelques jardins privés ainsi que des légumes qui y poussaient. L'Institut national de recherche agronomique (INRA), chargée de cette expertise, a conclu que l'étude sur les jardins potagers de la commune montrait une contamination importante des sols de surface en arsenic (As), cadmium (Cd), plomb (pb) et zinc (Zn) avec des concentrations maximales atteignant respectivement 159, 62, 1696 et 5853 mg/kg [Denaix 2006].

En ce qui concerne les végétaux, des concentrations importantes ont également été mesurées avec des différences constatées suivant les végétaux consommés (tableaux 1). Les légumes feuilles étaient fortement contaminés par l'arsenic, le cadmium et le zinc; les légumes racines étaient contaminés par le cadmium.

Tableau 1 : synthèse des résultats des analyses de végétaux pour le Cadmium (Cd) Viviez-Aveyron

	Salade mg/kg	Tomate mg/kg	Radis mg/kg	Haricots mg/kg	Carotte mg/kg	Courgette mg/kg	Poireaux mg/kg
Nombre	9	8	5	10	6	4	5
Minimum	0.12	0.028	0.07	0.007	0.01	0.005	0.11
Maximum	1.65	0.102	0.24	0.27	0.43	0.065	1.14
Médiane	0.67	0.055	0.20	0.02	0.14	0.008	0.22
Norme	0.20	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05	0.1

Source : INRA Institut National de Recherche Agronomique

Dans les légumes et les fruits, les concentrations étaient beaucoup plus faibles à l'exception de celles mesurées dans les tomates qui étaient également contaminées par l'arsenic, le cadmium et le zinc, en particulier lorsque les sols présentaient un pH acide. S'agissant du cadmium, pour lequel existe une valeur limite européenne dans l'alimentation humaine, 22 analyses sur 46 (48%) étaient non-conformes avec un maximum observé de 1,65 mg/kg de matière fraîche dans les légumes feuilles (pour une limite à 0,2 mg/kg de matières fraîches) et de 1,14 mg/kg de matière fraîche dans les légumes racines (pour une limite à 0,1 mg/kg de matière fraîche).

⇒ La contamination au niveau des zones d'habitation mesurée par la Cire

Après ces premières analyses, la Cire a conduit une campagne d'analyses des sols plus approfondie (sur 14 paramètres : plomb, cadmium, arsenic, zinc, manganèse, thallium, antimoine, vanadium, cobalt, baryum, mercure, sélénium, nickel, chrome) dans tout le village ainsi que sur le hameau du Crouzet, dont une partie se situe sur la commune voisine de Aubin, en novembre 2007, afin d'évaluer la dispersion de la pollution dans les sols des habitations voisines. Les analyses ont aussi été menées sur la commune de Montbazens définie comme non exposée.

Deux types d'analyses ont été conduits, ce qui explique les légères différences de résultats :

- une analyse d'échantillons de sols en laboratoire, notée labo ;
- une mesure directe sur site des concentrations dans les sols par fluorescence X, notée fluo.

Quatre polluants se sont dégagés comme étant très présents dans les jardins privés : le plomb, le cadmium, l'arsenic et le zinc et les trois premiers ont retenu l'attention de la Cire en raison de leur toxicité (résultats ci-dessous).

	Plomb (mg/kg)	
	labo	fluo
nombre de valeurs	51	353
minimum	43	19
maximum	24000	68308
médiane	450	443
valeur de référence Zone non exposée	80	80

	Cadmium (mg/kg)
	labo
nombre de valeurs	101
minimum	2,4
maximum	180
médiane	27
valeur de référence Zone non exposée	1.25

	Arsenic (mg/kg)	
	labo	fluo
nombre de valeurs	51	353
minimum	19	26
maximum	800	2510
médiane	140	122
valeur de référence Zone non exposée	48	48

Tableau 2 : Gamme des concentrations des polluants métalliques les plus répandus dans l'environnement

Eléments	Gamme des teneurs en mg.kg ⁻¹	Limites réglementaire en mg.kg ⁻¹	Valeurs maximales mesurées pendant enquête en mg.kg ⁻¹	Conclusion > N ou < N
Plomb	1 - 6900	600		
Cadmium	0.1 - 345	100		
Arsenic	0.1 - 102	20		
Chrome	0.005 - 3950	100		
Mercure	0.0001 - 1800	270		
Cuivre	0.030 - 550	600		
Zinc	0.150 - 5000	1500		

- Dans le tableau ci-dessus :
 - o replacer les valeurs de concentrations maximales mesurées dans le cadre de l'enquête
 - o comparer les valeurs mesurées aux valeurs limites réglementaires : > N ou < N (< : inférieur, > supérieur, N : Norme)
- Conclure sur la contamination des sols de surface :
- Vos conclusions concordent-elles avec l'analyse de l'enquête Cassiopée ?
- Quelles informations supplémentaires apporte la campagne d'analyse des sols conduite par la Cire :

Rechercher et Mettre en œuvre des techniques adaptées pour la dépollution des eaux et des sols pollués

Remobilisation : à travers l'atelier scientifiques, la présentation de la dépollution de la zone du centre de Mme Marty de la CCC Decazeville Aubin et la visite du chantier de dépollution du site Umicore vieille montagne avec M. Pastorelli et Mme Colasse, répondre aux questions suivantes :

- Quelles techniques de dépollution connaissez-vous pour remédier les sols contaminés aux métaux lourds ?
 - o
 - o
- À l'aide des documents ci-après, trouver la/les technique(s) de dépollution adaptée(s) pour dépolluer l'échantillon d'eau du site industriel non dépollué et l'échantillon de sol pollué aux métaux lourds et proposer une mise en œuvre pour chaque technique. Une fois validé par le professeur, il ne vous restera plus qu'à vous lancer.

Dépollution par les plantes des sols pollués :

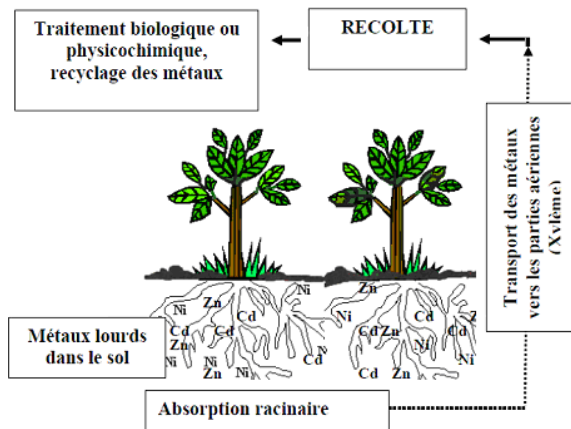
La phytoremédiation consiste à utiliser la capacité naturelle des plantes à contenir, dégrader ou éliminer les produits chimiques toxiques et les polluants du sol ou de l'eau. On s'en sert pour éliminer les métaux, les pesticides, les solvants, les explosifs, le pétrole brut et les contaminants qui risquent de s'échapper des sites de décharge. Le terme phytoremédiation est composé de deux mots : phyto, qui signifie plante, et remédiation, qui signifie remise en état.

La phytoremédiation est une technique de [dépollution](#) basée sur les plantes et leurs interactions avec le sol et les [microorganismes](#) (bactéries, algues, champignons, microscopiques...). Cette technique concerne plus particulièrement l'épuration des [eaux](#) et la [dépollution des sols](#). L'efficacité de l'application à la pollution de l'[air](#) est plus contestée.

En « collaboration » avec les microorganismes du sol, les [plantes](#) et les [algues](#) réduisent la mobilité de certains polluants (phytostabilisation), les absorbent (phytoextraction), les fixent dans leurs tissus (phytostabilisation) ou les métabolisent, permettant leur détoxification et leur élimination (phytodégradation).

Phytoextraction

C'est la voie dans laquelle les chercheurs se sont le plus investis depuis le début de cette décennie. La phytoextraction utilise des plantes capables de prélever les éléments traces toxiques et de les accumuler dans les parties aériennes qui seront ensuite récoltées puis incinérées (schéma ci-dessous).



Représentation schématique du processus de phytoextraction des métaux lourds

Le plomb est naturellement peu biodisponible car il est sorbé (fixé) ou précipité donc peu soluble. L'ajout d'un chélateur comme l'EDTA (acide éthylène diamine tétra acétique) ou l'acide citrique aux sols augmente la solubilité du plomb et stimule l'absorption et l'accumulation du plomb dans la partie aérienne des plantes, on parle de phytoextraction assistée.

Ainsi le taux de plomb dans la partie aérienne peut dépasser 1% de la matière sèche contre 0.01 à 0.06 % sans chélateur.

De plus, il semblerait que l'intégration facilitée du plomb dans la plante tende à réduire la production de biomasse (la plante se développe moins bien et reste plus petite) (Römken et al., 2003)

Pour cette technique, il convient de prévoir un système pour contenir le lessivage du plomb et éviter en particulier son transfert vers la nappe phréatique.

La quantité du métal extraite du sol est représentée par sa teneur dans le matériel végétal multipliée par la quantité de biomasse récoltée.

Des expériences réalisées sur des sols contaminés par plusieurs métaux, montrent une accumulation simultanée du plomb, du cadmium, du cuivre, et du zinc chez des plantes de colza après application de l'EDTA.

Les estimations suggèrent que les plantes peuvent extraire entre 180 et 530 kg.ha⁻¹ de plomb par an et que la dépollution d'un sol qui renferme plus de 2500 mg/Kg de plomb est possible sur une dizaine d'années.

Après chaque récolte, le matériel végétal contaminé est réduit par incinération et les cendres sont déposées en décharge. Si le coût le permet, le métal extrait d'un sol pollué peut être réutilisé de nouveau dans les différentes activités industrielles.

PRINCIPALES PHYTOLOGIES

Polluants à traiter	Plantes utilisées	Action
PHYTOSTABILISATION		
Métaux (Pb, Cd, Zn, Cu, As, Cr, Se).	Plantes à racines fibreuses et profondes.	Confinement des polluants par le couvert végétal pour limiter le risque de lessivage et d'envol des polluants.
PHYTOEXTRACTION		
Métaux (Pb, Cd, Zn, Cu), nitrate.	Thlaspi, alyssum, brassica (moutarde).	Extraction des polluants du sol par des plantes accumulatrices dans leurs parties récoltables (feuilles, tiges, racines).
PHYTODÉGRADATION / PHYTOTRANSFORMATION		
Composés organiques, nitrate, phosphate.	Arbres (famille du saule, peuplier), herbes, légumes.	Transformation par la plante de molécules organiques complexes en composés plus simples, intégrés dans les tissus de la plante.
RHIZODÉGRADATION		
Composés organiques, solvants, produits phytosanitaires.	Herbes à racines fibreuses: bermuda, blé, seigle, fétuque.	Dégradation des polluants par les racines et l'activité microbienne qui y est associée.
PHYTOVOLATILISATION / PHYTOSTIMULATION		
Métaux (As, Hg, Se), composés organiques volatils.	Brassica juncea (moutarde), plantes marécageuses.	Volatilisation du polluant absorbé par la plante et éliminé par évapotranspiration.

Sources :

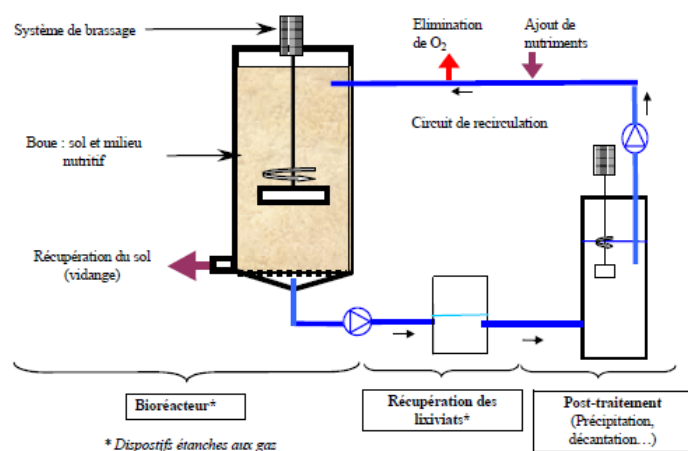
- INSTITUT SUPERIEUR DE L'EDUCATION ET DE LA FORMATION CONTINUE DEPARTEMENT DES SCIENCES NATURELLES Bioremédiation / Phytoremédiation SN 232 Professeur : Chedly ABDELLY Année Universitaire 2006/2007
- Guide méthodologique du plomb appliqué à la gestion des sites et des sols pollués rapport final BRGM/RP – 52881 – FR juin 2004
- http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/developpement-durable-2/d/phyto remediation_6863/
- <http://www.blog-habitat-durable.com/article-la-valorisation-de-la-biomasse-issu-de-la-phyto remediation-85634460.html>
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/Phytorem%C3%A9diation>
- http://www.inra.fr/les_partenariats/collaborations_et_partenaires/entreprises/en_direct_des_labos/depollution_par_les_plantes_des_sols_pollues_en_selenium_exemple_de_phyto remediation

Biolixiviation par agitation en bioréacteur

La bio-lixiviation permet l'extraction biologique du plomb insoluble grâce à l'action des microorganismes (bactéries *Thiobacillus*, champignons microscopiques *Aspergillus*, *Penicillium*) du sol qui solubilisent les polluants dans l'eau.

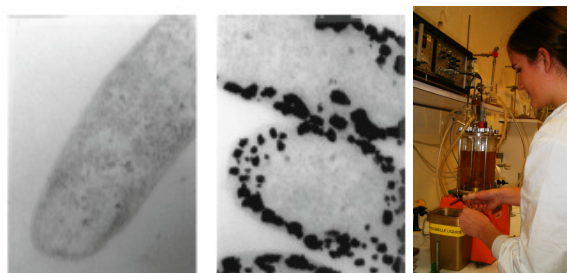
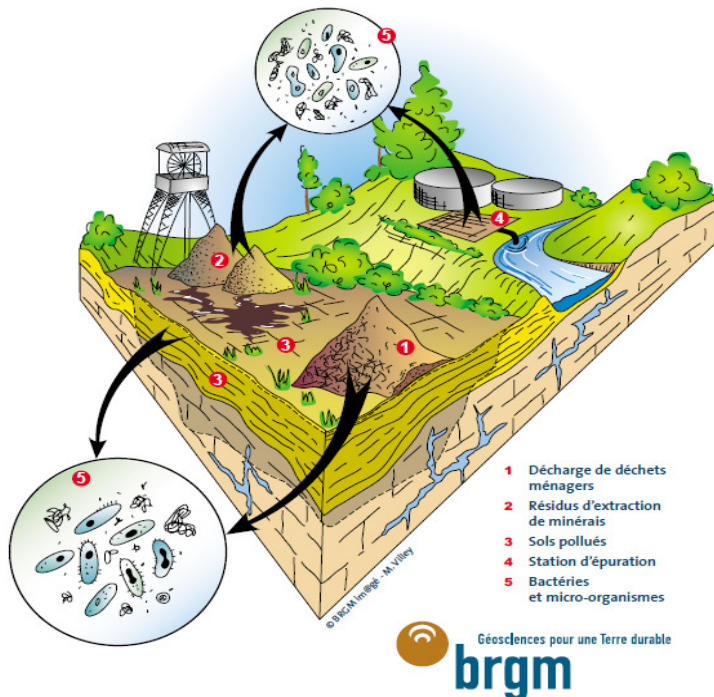
Les terres polluées sont excavées et mises en pulpe (entre 1 et 20 grammes de solide pour 100 mL de milieu) dans des réacteurs étanches aérobie ou anaérobie, la pulpe mélangée dans l'eau de ville est additionnée de nutriments (une source de carbone et d'énergie (glucose), azote, phosphore, magnésium, potassium...) et éventuellement d'un agent chélatant (EDTA). Le pH est rendu acide, la température d'incubation est réglée à 28-30 °C, le bioréacteur est agité de façon continue ou discontinue.

Le traitement est suivi d'une séparation liquide/solide, puis du traitement de la phase liquide pour élimination des métaux dissous.



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.



Accumulation de Palladium bactéries sulfato-réductrice et bioréacteur utilisé au lycée

Sources :

ADEME Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie www.ademe.fr

Traitabilité des sols pollués « Guide méthodologique pour la sélection des techniques et l'évaluation de leurs performances »

Enjeux des Géosciences

FICHE DE SYNTHÈSE SCIENTIFIQUE
N° 16 - Novembre 2006

Stabilisation à la chaux

Cette technique dite de « chaulage » permet de traiter :

- les effluents et les eaux contaminées par le plomb qui sont acides, en relevant le pH par un ajout de chaux (ou parfois simplement par un ajout de carbonate de calcium). Un précipité dit de « boues d'hydroxydes » est obtenu. Il piège une forte partie des métaux indésirables initialement présents en solution. Ces boues doivent ensuite être traitées en bassin de décantation pour séparer le précipité d'hydroxyde et l'effluent clarifié.

- la terre polluée en la mélangeant avec un réactif (chaux, bitume...) de façon à fixer les polluants sur une matrice minérale ce qui évite leur relargage dans le milieu naturel. Le réactif enrobe et neutralise les polluants. Les terres ainsi stabilisées peuvent être réutilisées ou stockées en centre d'enfouissement technique.

Source : Guide méthodologique du plomb appliqué à la gestion des sites et des sols pollués rapport final BRGM/RP – 52881 – FR juin 2004

Lavage chimique des sols contaminés

Le lavage chimique consiste à extraire le plomb par dissolution de la phase qui le porte au moyen d'un agent d'extraction (d'acides (acide acétique, acide chlorhydrique), d'agents chélatants (complexants) EDTA ...) approprié qui mobilise le polluant. Le sol et l'agent d'extraction sont mis en contact soit par lessivage en tas (percolation) soit par agitation (réacteur agité). Puis la phase solide et la phase liquide contenant les polluants sont séparés par décantation, filtration..., la phase liquide fait alors l'objet d'un traitement pour neutraliser le plomb.

Gamme de teneurs initiales (mg kg ⁻¹)	Gamme de teneurs après traitement (mg kg ⁻¹)
3 000 à 6 000	50 à 300
1 000 à 10 000	50 à 5 000
1 000 à 6 000	50 à 300

Illustration 36 - Exemple de réduction de teneur en plomb obtenu après lavage acide - EPA Annual Status Report Remediation Database.