

## Phytomining : des plantes pour guérir les sols

Valorisation des minéraux extraits par les plantes

Le **phytomining** a-t-il un rôle à jouer dans l'avenir de notre biosphère? Ce procédé donne des applications industrielles au processus de **phytoremédiation**, mais reste encore très peu développé.

Est-ce une solution viable, qui permettrait d'allier **intérêt économique** et **dépollution naturelle et efficace**? Quelles substances peuvent être traitées et quel est son mode de fonctionnement?

### Contexte général

Différentes sources (schéma 1) sont à l'origine des **polluants organiques** ou **inorganiques** dans le sol, dont des métaux lourds : les **Eléments Traces Métalliques (ETM)** qui sont non biodégradables, persistants dans les organismes et écosystèmes contaminés et **toxiques** à haute dose. Une fraction dite disponible du polluant sera absorbée par la plante (schéma 2), et pourra passer dans la chaîne alimentaire (schéma 3).

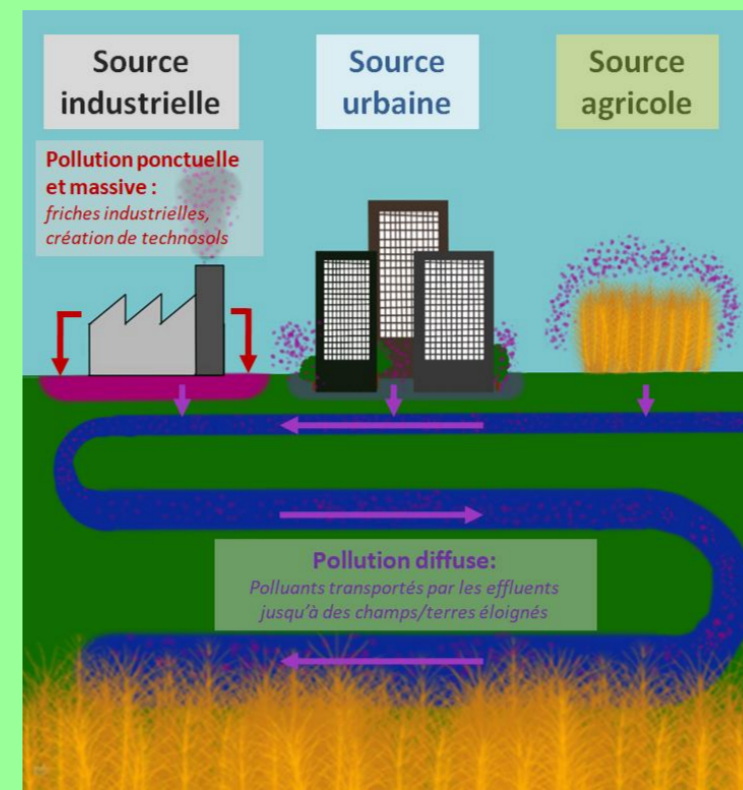


Schéma 1 Différents modes de pollution du sol

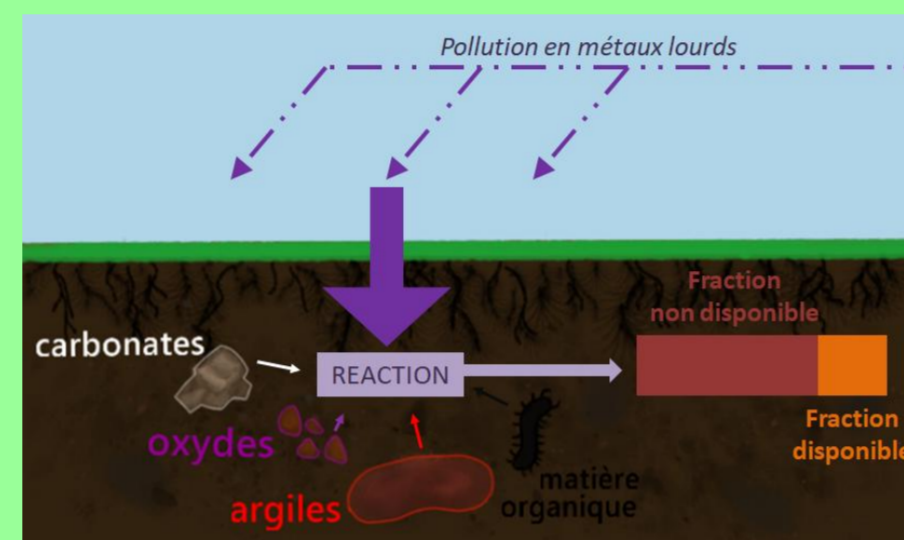


Schéma 2 Transformation des polluants dans le sol

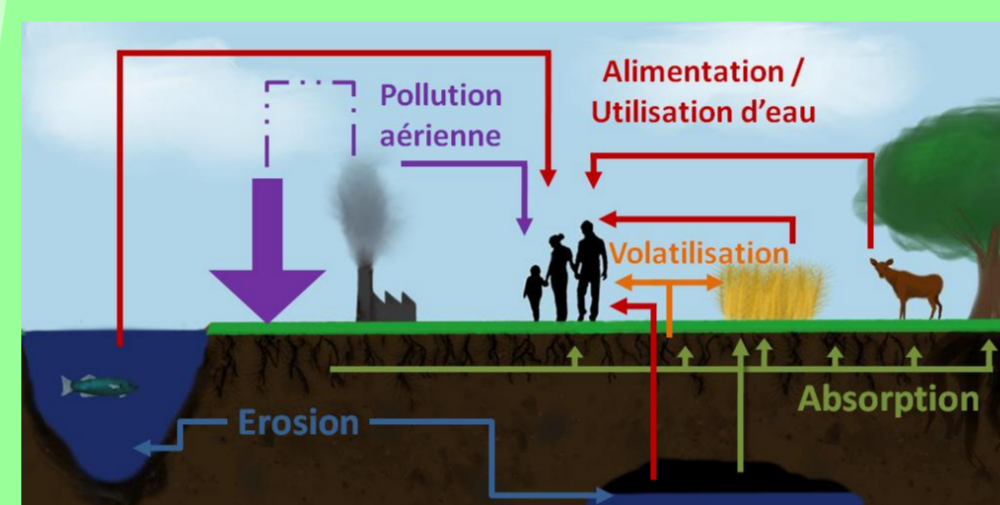


Schéma 3 Passage dans la chaîne alimentaire

La pollution par les ETM peut réduire la fertilité des sols, dont seulement 11% sur Terre sont cultivables sans interventions majeures!

Les méthodes classiques de gestion pour récupérer les sols pollués impliquant des coûts généralement très élevés, la **phytoremédiation** peut offrir une alternative intéressante.

### La phytoremédiation

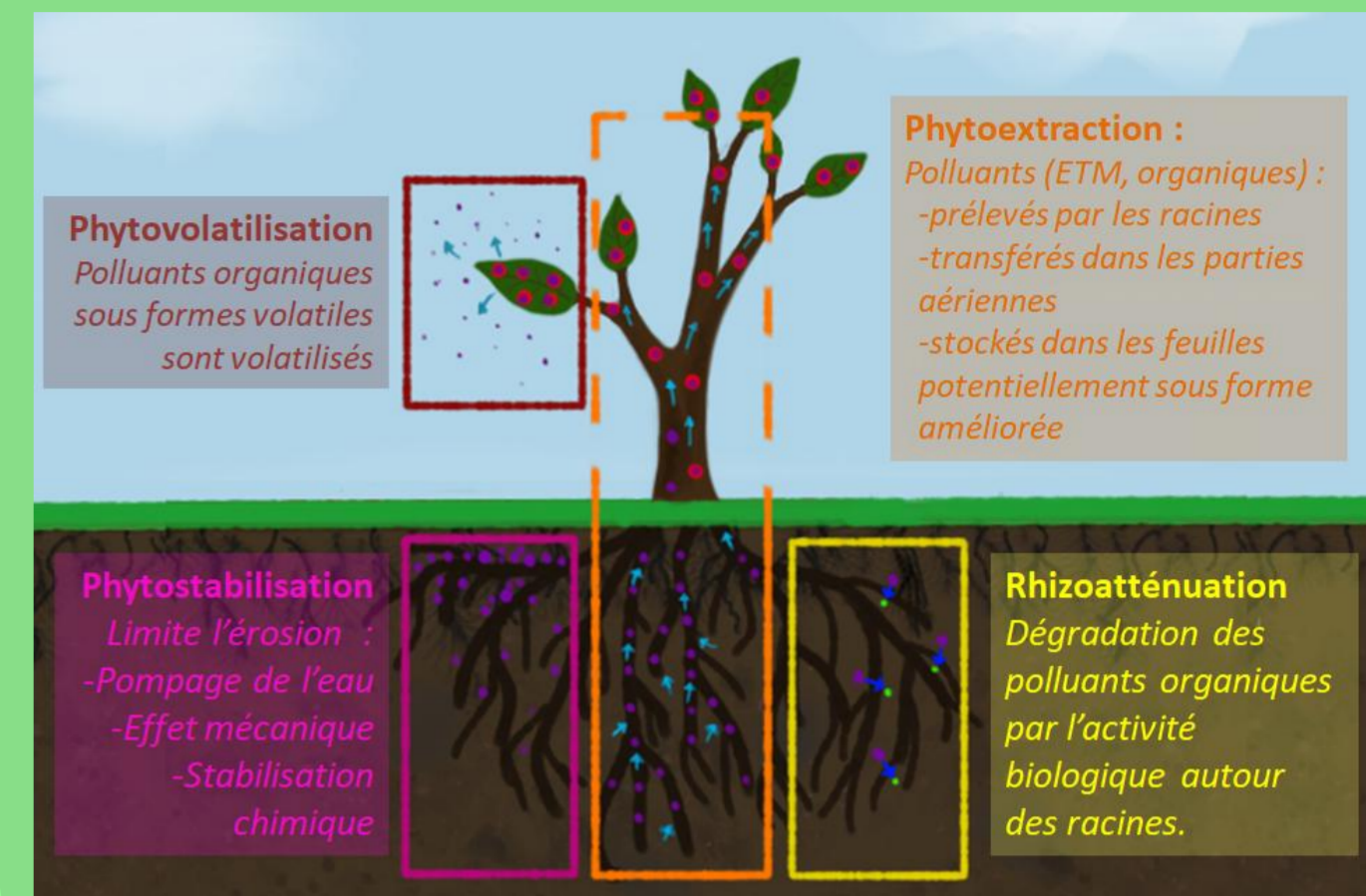


Schéma 3 Principe de la phytoremédiation

La phytoremédiation fonctionne selon plusieurs modes (schéma 3). C'est le processus de **phytoextraction** qui nous intéresse le plus.

Les sols métallifères ont sélectionnés des plantes dites **métallophytes**, capables de tolérer des concentrations élevées en ETM.

En choisissant de cultiver certaines de ces plantes, soit à fortes biomasses, soit dites **hyperaccumulatrices** (figures 1 et 2), qui stockent le polluant en grande proportion, on peut ainsi **extraire une partie de la pollution métallique du sol**.



Figure 1 : Psychotria Douareii : hyperaccumulateur en nickel



Figure 2 : Tabouret calaminaire : hyperaccumulateur en cadmium

### Le phytomining

On va chercher à valoriser les plantes, afin de ne pas seulement déplacer la pollution qu'elles auront captée et qui aurait pu être transformée en des composés à **forte valeur ajoutée**.

Pour cela, on récupère leurs parties aériennes pour les traiter : c'est ce qu'on appelle le **phytomining** (schéma 4).

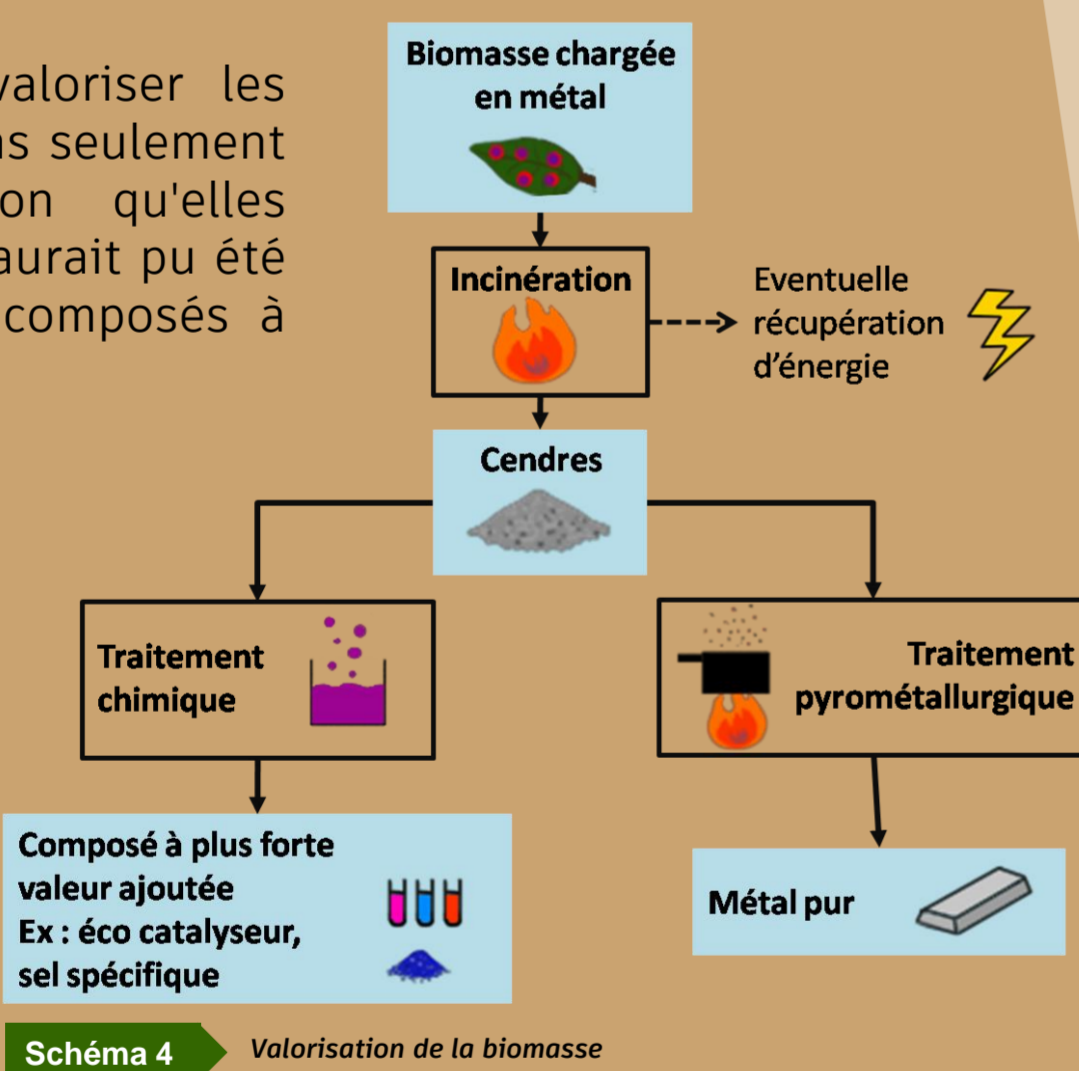


Schéma 4 Valorisation de la biomasse

Ainsi afin de montrer la pertinence des éco-catalyseurs issus de cette valorisation, en 2009 une équipe de chercheurs à l'université de Montpellier a mis en place de multiples réactions chimiques traditionnellement utilisées dans l'industrie (schéma 5).

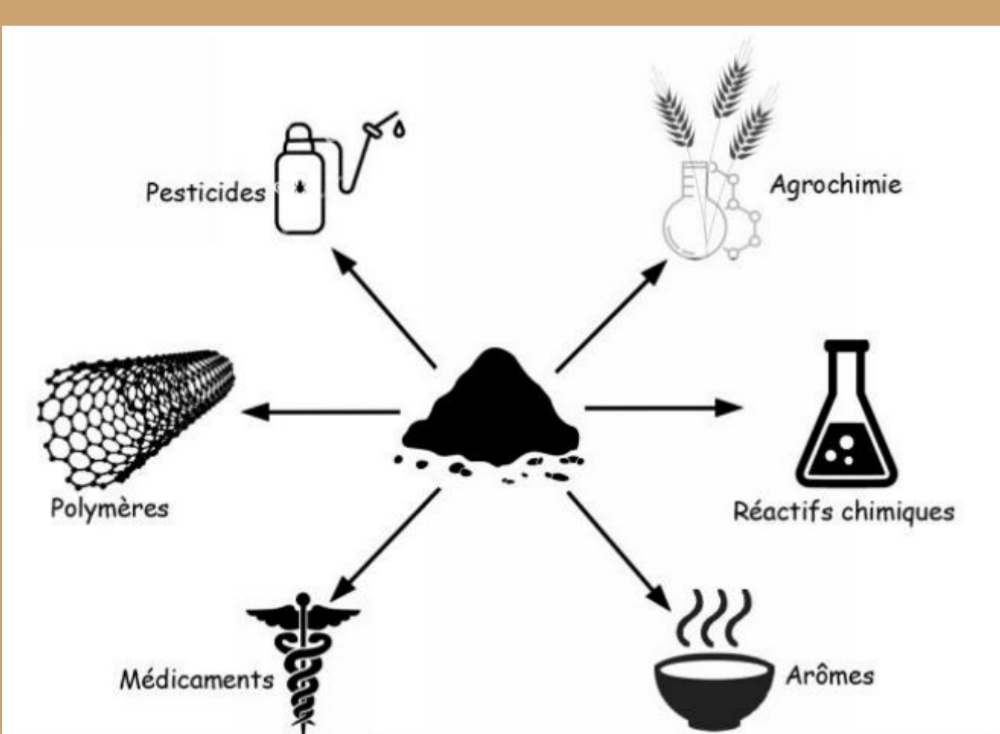


Schéma 5 Utilisation des phytocatalyseurs

Lors de chacune de ces réactions, les éco-catalyseurs ont permis de **meilleurs rendements** que les catalyseurs traditionnels, même s'il est à noter que cela demandait parfois un long temps de réaction, et **remplacent parfois des catalyseurs difficiles à obtenir ou très coûteux**!

### Aspect économique

Plusieurs études ont montré la **viabilité technique** de la phytomining pour plusieurs éléments traces différents, mais peu de projets sont en cours (tableau 1).

Sa mise en place est complexe (diagnostic des paramètres biologiques et physicochimiques des sols, ajout d'amendements chimiques ou biologiques), et son coût est de l'ordre de 10 000 €/hectare. Des entreprises comme Valorhiz proposent cette expertise.

Traces	Espèces	Rendement (hectare)	Usages
<b>Cadmium</b>	<i>Thlaspi nocea caerulescens</i> <i>Arabidopsis halleri</i>		Hydrométallurgie
<b>Zinc</b>	<i>Thlaspi Nocea caerulescens</i> , <i>Arabidopsis Halleri</i> , <i>Mischantus x giganteus</i>	7000 kg	Eco-matériaux catalytiques, synthèse de biomolécules
<b>Arsenic</b>	<i>Pteris vittata</i>		Chimie verte
<b>Nickel</b>	<i>Alyssum</i> , <i>Berkheya coddii</i>	200 kg 550\$	Hydrométallurgie, éco-matériaux, synthèse d'agents thérapeutiques
<b>Thallium</b>	<i>Iberis intermedia</i> , <i>Biscutella laevigata</i>	8 kg 1200\$ /	

Tableau 1 Usages et rendement pour divers hyperaccumulateurs

Les applications économiquement viables de la phytomining sont la **chimie verte** et la **synthèse de biomolécules**, le tout combiné à des projets de dépollution (tableau 2). Le rendement de la phytomining est ici considéré uniquement sur la masse de métal extraite et ne prend pas en compte les **bénéfices environnementaux** -qui restent moindres que ceux de la phytostabilisation seule.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Plus <b>concentré</b> en métal qu'un minéral classique.</li> <li>•Synthèse des <b>molécules difficiles à obtenir</b> en laboratoire.</li> <li>•Aspect <b>environnemental</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•<b>Temps</b> d'exploitation avant rentabilité (dizaines d'années)</li> <li>•<b>Production</b> dérisoire par rapport à une mine.</li> <li>•<b>Très grandes surfaces</b> nécessaires</li> <li>•<b>Viabilité économique</b> discutable</li> </ul>

Tableau 2 Points forts / points faibles du phytomining

La phytomining offre de nouvelles perspectives à la phytoremédiation et pourrait en faire une technique **alliant intérêt économique et écologique**.

Néanmoins, la phytomining n'est pas encore assez intéressante d'un point de vue strictement économique : **elle n'a de sens que combinée à des projets de dépollution**.

Par exemple, pour deux fonderies du nord de la France, Metaleurop et Umicore, la phytoremédiation est actuellement expérimentée comme alternative au décapage des technosols lourdement pollués, ce qui reviendrait **30 fois moins cher**.

### Bibliographie

Grison, Claude. « Ecologie et chimie : une combinaison gagnante ».

Hechelski, Marie, Alina Ghinet, Brice Louvel, Pierrick Dufrenoy, Benoît Rigo, Adam Daïch, et Christophe Waterlot. « From Conventional Lewis Acids to Heterogeneous Montmorillonite K10: Eco-Friendly Plant-Based Catalysts Used as Green Lewis Acids ». *ChemSusChem* 11, no 8 (25 avril 2018): 1249-77.

Université de Canterbury. « Phytomining ». C

SLN. « LE NICKEL - SLN | Groupe Eramet ».

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (France), Martine Ramel, Nadine Duesco, et Valérie. *Les phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués: état de l'art et guide de mise en oeuvre*. Les Ulis (Essonne): EDP sciences, 2015.

Institut Agronomique Néo-Calédonien. « Nouvelles ruralités et destin commun ».

Valorhiz. « Sols impactés ».

Robinson, Brett, Jose-Enrique Fernandez, Paula Madejon, Teodoro Maraño, Steve Green, et Brent Clothier. « Phytoremediation: An Assessment of Biogeochemical and Economic Viability », s. d., 9.

Morel, Jean-Louis. « Phytoremédiation des sols contaminés : des plantes pour guérir les sols », *Médiachimie*, 2011, 29.

Robinson, Brett, Garry Banuelos, Hector Conesa, Michael Evangelou, et Rainer Schulin. « The Phytomanagement of Trace Elements in Soils ». *Critical Review in Plant Science*, 2009.

