

## RÉHABILITATION DES SOLS POLLUÉS

par Christophe Schwartz<sup>1</sup>

Les trente dernières années ont montré à de nombreuses reprises la nécessité de protéger les sols contre les pollutions. Cependant, les réglementations sur la protection des sols, si elles existent, ne sont venues qu'après celles sur l'air ou l'eau potable. La pollution des sols n'a été prise en considération qu'après le constat qu'un sol ne peut pas indéfiniment absorber et détoxifier des quantités illimitées de déchets de l'agriculture, de la ville, de l'industrie et plus généralement des activités humaines. Cette limitation du pouvoir épurateur des sols peut avoir pour conséquences des flux de polluants vers les eaux de surface ou souterraines et vers la chaîne alimentaire. Les métaux peuvent être transférés via les végétaux pour se retrouver dans les animaux et éventuellement altérer la santé humaine et le fonctionnement des écosystèmes. La connaissance des flux de métaux est donc indispensable afin de définir les teneurs en métaux écologiquement acceptables et de développer des méthodes permettant de réduire ces flux et de décontaminer les milieux pollués. Le projet actuel de Directive européenne sur la protection des sols place alors le diagnostic et la remédiation dans les priorités. En Europe, 3,5 millions de sites dégradés sont recensés dont 500 000 sont contaminés par divers polluants. Ces sites sont souvent en interaction forte avec les populations humaines et nécessitent la mise en œuvre d'opérations d'évaluation des risques et de traitement. La stratégie européenne a donc pour objectif général de protéger les sols et de garantir durablement leur utilisation en prévenant leur dégradation, en préservant leurs fonctions et en restaurant les sols dégradés.

Pour réhabiliter des sols anthropisés et pollués, les méthodes physico-chimiques de traitement sont souvent coûteuses et ne sont généralement appropriées qu'à la décontamination de zones très localisées présentant une pollution aiguë et où la pression foncière est forte. Ces techniques lourdes affectent très souvent l'activité biologique des sols et dégradent leur structure en laissant un résidu pour tout ou partie stérile. Les voies biologiques de décontamination des sols apparaissent alors comme des méthodes de substitution ou des méthodes complémentaires, moins coûteuses, plus extensives et plus respectueuses des caractéristiques des sols. Elles font intervenir des bactéries, des champignons, parfois en association avec des végétaux supérieurs. Une voie de décontamination biologique consiste alors à installer un couvert de plantes hypertolérantes et hyperaccumulatrices de métaux pour les extraire des sols et réduire leur risque de dissémination. La phytoremédiation se définit comme l'utilisation de plantes pour extraire ou rendre moins biodisponibles les contaminants de l'environnement et plus particulièrement du compartiment sol. La phytoremédiation peut prendre plusieurs orientations : 1) la phytostabilisation (installation de végétaux tolérants afin de réduire la mobilité des polluants en association avec des amendements fixateurs), 2) la phytovolatilisation (absorption d'éléments comme Se ou Hg puis relargage sous forme méthylée dans l'atmosphère), 3) la rhizofiltration (absorption, précipitation et concentration de polluants d'effluents), 4) la phytoextraction (extraction de métaux par des plantes hyperaccumulatrices cultivées pour transporter et concentrer les métaux du sol vers leurs parties aériennes) ou par des arbres dont la biomasse peut être valorisée.

---

<sup>1</sup> Nancy Université, INPL, ENSAIA, Laboratoire Sols et Environnement, UMR1120 INRA, Vandœuvre-lès-Nancy.

Dans le cas particulier du site de Pierrelaye-Bessancourt et du programme de recherche Epandagri de l'INRA, les sols maraîchers progressivement transformés en anthroposols ou technosols ne pouvant plus être cultivés par des plantes à usage alimentaire, il a été envisagé d'implanter des végétaux destinés à contrôler les polluants des sols, ou des plantes à intérêt paysager. Dans toutes ces situations, les interactions sol-plante constituent un facteur déterminant du fonctionnement et de l'évolution de ces milieux et du devenir des déchets et des pollutions qu'ils engendrent.

La phytoextraction des métaux des sols pollués de la plaine maraîchère a été étudiée. Ce procédé biologique est une approche explorée depuis près de 20 ans, reposant sur l'utilisation de végétaux pour traiter les sols contaminés. Dans le domaine des polluants minéraux, les travaux du LSE ont porté sur la mesure de la biodisponibilité des éléments en traces métalliques et sur la phytoextraction de Cd, Ni et Zn par les plantes hyperaccumulatrices. Nous avons démontré l'intérêt des techniques de cinétique d'échange isotopique pour la description du compartiment des métaux disponibles dans le sol. Des populations naturelles de plantes hyperaccumulatrices ont été découvertes, offrant un potentiel d'extraction très élevé, qui peut être amélioré par la fertilisation (P, N, S). Des essais conduits en conditions contrôlées sur des terres du site et d'autres essais *in situ* ont confirmé l'importance des quantités de métaux extraites, justifiant l'investissement dans des recherches permettant le développement de la technologie. Les travaux ont également démontré un comportement particulier du système racinaire des hyperaccumulatrices en présence de métaux et que le processus de phytoextraction est étroitement dépendant de la disponibilité des métaux. Enfin, dans une optique de compréhension du cycle des métaux dans le système sol-hyperaccumulateur, nous avons démontré que les métaux phytoaccumulés offrent une disponibilité élevée dans les résidus végétaux incorporés dans le sol, ce qui s'explique par la localisation et la spéciation des métaux au sein des organes d'accumulation. Cet ensemble de travaux a démontré le potentiel de la phytoextraction pour diminuer la charge métallique des sols, en particulier la fraction la plus disponible.

Il reste néanmoins des verrous à lever avant de passer à un stade opérationnel. Assurer une conduite agronomique optimale de ces espèces hyperaccumulatrices, en conditions contrôlées et *in situ*, permettra en effet d'augmenter le rendement de l'extraction des métaux. La phytoextraction avec des hyperaccumulateurs choisis contribuerait ainsi à abaisser progressivement les teneurs des métaux biodisponibles dans les sols et par conséquent, réduirait potentiellement leur risque de dissémination. Intéressant les horizons supérieurs du sol, la phytoextraction pourrait être la première étape pour l'installation d'une flore durable sur des sites contaminés où elle apporterait un supplément sur le plan paysager.