

# FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION  
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

## Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes  
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

[foretnature.be](http://foretnature.be)

**Rédaction** : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. [info@foretnature.be](mailto:info@foretnature.be). T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :  
**librairie.foretnature.be**

---

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :  
**foretnature.be**

Retrouvez les anciens articles de la revue  
et d'autres ressources : **foretnature.be**

## LA PHYTOREMÉDIATION PAR LE SAULE

ARICIA EVLARD – FANNY VANOBBERGHEN  
BRUNO CAMPANELLA – ROGER PAUL

*Les techniques d'assainissement des sols par les plantes en sont encore à leurs balbutiements dans notre région. Pourtant des résultats probants et des connaissances existent dans ce domaine. Les saules, par leurs qualités particulières de pionniers et d'accumulateurs, sont visés par cet usage, d'autant plus s'il est mixé avec la production de biomasse.*

**En** Wallonie, les sites potentiellement contaminés se comptent par milliers. La région subit aujourd'hui les conséquences de son manque historique de législations environnementales. Parmi les contaminants présents sur ces sites, les plus préoccupants sont certainement les métaux lourds qui s'accumulent dans le sol et menacent l'environnement. Pour remédier à ce problème, certains chercheurs s'intéressent particulièrement à la phytoremédiation, une technologie nouvelle qui exploite le potentiel des végétaux et de leur microflore associée pour extraire, stabiliser ou volatiliser ces métaux lourds. Cette technique biologique s'avère prometteuse et son application à l'aide de ligneux, comme le saule, serait une solution favorable à la préservation de la biodiversité et au développement des matériaux et des énergies renouvelables.

---

### ÉTAT DES SOLS EN WALLONIE

---

La Wallonie dispose de gisements métallifères d'origine naturelle liés à des fonds géochimiques (figure 1).

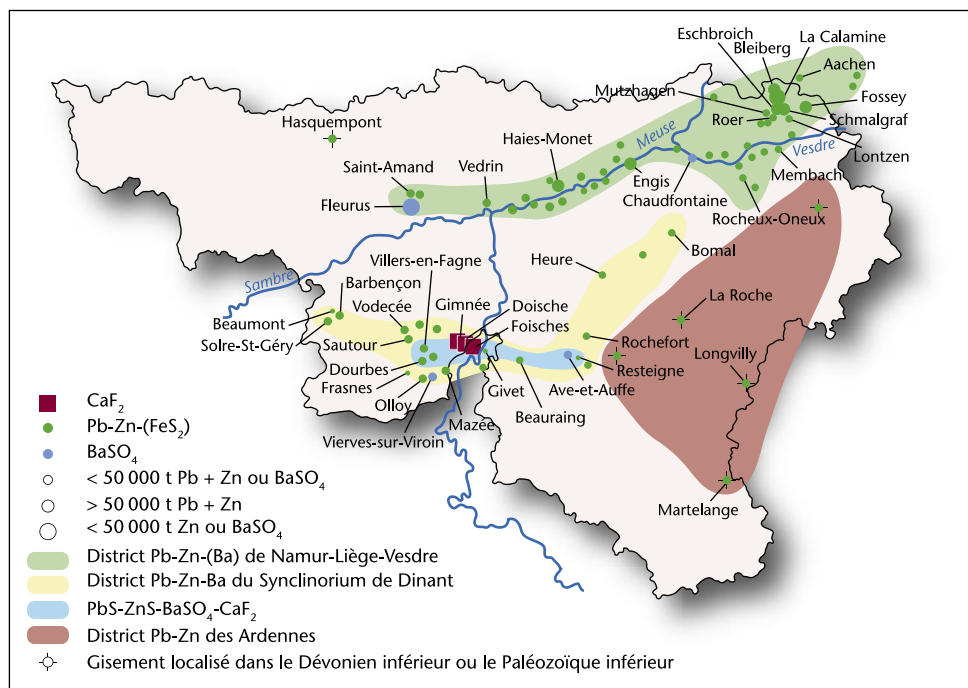
Cependant, suite à son passé industriel et au développement des techniques agricoles, la Wallonie compte également de nombreux sites contaminés. Dans la législation wallonne, ces sites sont répartis en trois catégories : les dépotoirs, les stations-service et les sites désaffectés ou à réaménager (SAR). En 2009, 1302 dépotoirs et 2338 stations-service étaient répertoriés. Un tiers des dépotoirs sont actuellement réhabilités et 55 % des stations-service ne présentent plus de risque de pollution du sol. En ce qui concerne les SAR, deux inventaires non coordonnés existent : selon la DGATLPE, sur 3921 sites, 1481 sont réellement désaffectés (SAR de fait). Et cent septante de ces SAR de fait montrent un risque de pollution du sol élevé.

Selon la SPAQuE, sur 3656 sites répertoriés, 1304 sont situés dans les anciens bassins industriels de Wallonie (Bassin sambro-mosan) et présentent un risque de pollution élevé<sup>3</sup>.

Ces trois catégories ne couvrent pas à elles seules l'ensemble des sols potentiellement pollués en Région wallonne. En effet, il faut y ajouter les sites en activité qui sont, ou ont été, occupés par des activités à risque, les sites désaffectés et dépotoirs anciens qui n'ont pas encore été répertoriés et enfin, les pollutions accidentelles non répertoriées.

Parmi les polluants rencontrés sur les sites contaminés, nous retrouvons « les métaux lourds ». Il s'agit d'un groupe

Figure 1 – Gisements métallifères de la Wallonie<sup>16</sup>.



spécifique d'éléments à propriété métallique (métaux et semi-métaux) souvent associés à des contaminations et à un potentiel de toxicité ou d'écotoxicité<sup>6</sup>. Durant les vingt dernières années, ce terme fut de plus en plus utilisé que ce soit dans la littérature ou dans les législations relatives aux risques chimiques et à la bonne utilisation de ces éléments chimiques. Ces « métaux lourds » ont généralement une densité comprise entre 3,5 et 7 g/cm<sup>3</sup> et un nombre atomique supérieur à 20. Sont inclus les métaux de transition et quelques métalloïdes. La catégorie « métaux lourds » regroupe donc classiquement le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cobalt (Co), le cuivre (Cu), l'étain (Sn), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le mercure (Hg), le molybdène (Mo), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le zinc (Zn) ainsi que trois

autres éléments, le bore (B), l'arsenic (As) et le sélénium (Se)<sup>17</sup>.

Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement mais généralement en quantités très faibles. On dit que les métaux sont présents « en traces ». C'est pourquoi l'appellation « éléments en traces métalliques » ou ETM est dorénavant utilisée.

---

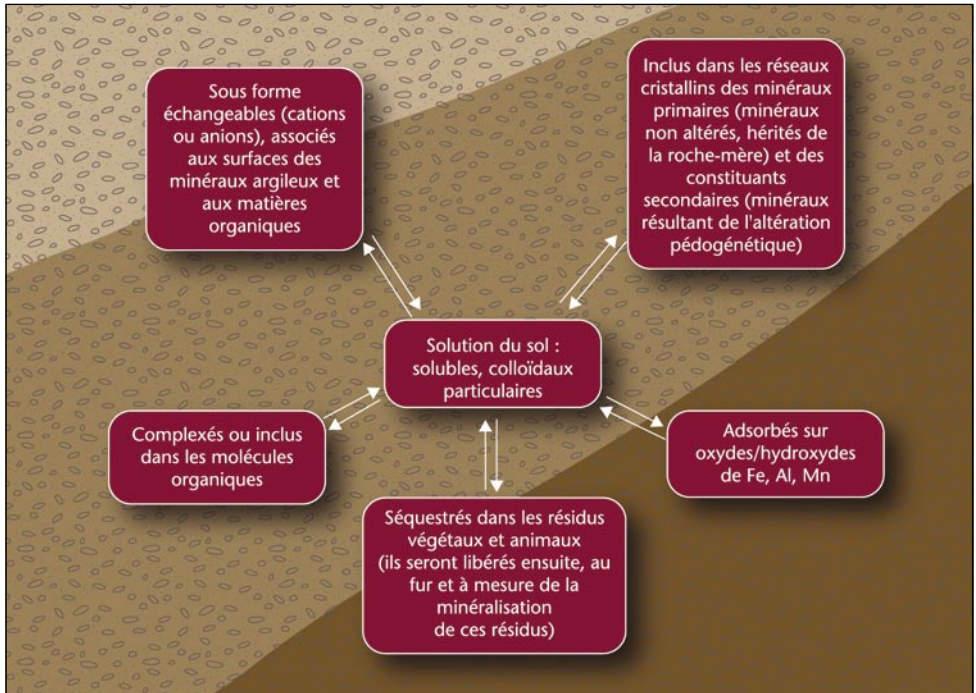
### FORMES ET BIODISPONIBILITÉ DES ETM DANS LE SOL

---

Les ETM existent dans six compartiments différents du sol (figure 2).

Sans un minimum de mobilité et de biodisponibilité, les ETM disséminés dans le

Figure 2 – Différentes formes et localisations des ETM dans le sol<sup>1</sup>.



sol pourraient y persister, vu leur faible capacité de dégradation par voie chimique ou biologique.

La mobilité d'un ETM réside dans son aptitude à passer dans des compartiments du sol où il est de moins en moins énergétiquement retenu, avec comme compartiment ultime la phase liquide ou, dans certains cas, l'atmosphère du sol<sup>12</sup>.

Il existe de multiples paramètres du sol influençant la mobilité des métaux dont les plus importants sont le pH, le potentiel redox, la quantité et la composition de la matière organique, la capacité d'échange cationique, la température et l'activité microbiologique.

La solution du sol peut être le lieu de fixation à une phase solide, c'est le phénomène de sorption tandis que l'influence des facteurs externes peut mener à ce que les ETM repassent en solution, c'est le phénomène de désorption. Les ETM associés à la phase solide se trouvent en quantité majoritaire, mais ce sont ceux associés à la phase liquide (solution du sol avec ses éléments solubles) qui, bien que minoritaires, sont les plus dangereux puisqu'ils sont les plus biodisponibles.

La biodisponibilité représente la capacité d'un élément trace métallique à passer d'un compartiment du sol, quel qu'il soit, vers une bactérie, un animal ou un végétal vivant dans ce dernier<sup>12</sup>. Et, bien que certains ETM soient essentiels à la vie, s'ils sont biodisponibles en concentrations trop importantes, ceux-ci deviennent toxiques. En conséquence, le fait

que les métaux lourds puissent remonter la chaîne trophique représente un danger pour les écosystèmes, pour la santé des organismes vivants et peut avoir des conséquences sanitaires, environnementales et économiques catastrophiques.

---

## MÉTHODOLOGIE D'INVESTIGATION ET TECHNIQUES D'ASSAINISSEMENT DE SITES CONTAMINÉS

---

Les techniques d'assainissement sont généralement précédées d'une étude de risque qui comporte trois étapes : une première étape d'orientation afin de localiser la source d'émission et estimer le flux des polluants vers l'air, le sol et l'eau. Une deuxième étape de caractérisation du site pour orienter la campagne d'échantillonnage. Et enfin, une étude de faisabilité pendant laquelle on compare les teneurs en polluants présentes dans le sol prospecté aux normes de concentrations en polluants déterminées dans le Décret Sol\*. Ces valeurs permettent de savoir quelles sont les actions qui doivent être menées en fonction du niveau de contamination atteint sur le site. Enfin, il faut déterminer le volume à décontaminer, un ordre de priorité des traitements et, bien sûr, les coûts, la durée, l'impact du traitement aux niveaux social, économique et environnemental.

Depuis les années '70, les techniques d'assainissement de type « classiques » se sont développées. Ces nombreuses techniques sont regroupées en trois classes non-exclusives : les techniques physiques, les techniques chimiques et les techniques thermiques. Ces techniques permettent soit d'éliminer les ETM accumulés dans le sol (par exemple : lavage des terres,

---

\* Décret du Gouvernement wallon du 5 décembre 2008.



électrocinétique, désorption thermique), soit de les insolubiliser afin de réduire leur mobilité (par exemple : stabilisation physico-chimique). Ces processus d'assainissement peuvent se faire in situ (sans excavation), sur site (excavation sur le site même, installation d'assainissement sur place) ou hors site (excavation et transport des terres vers les installations d'assainissement). Il existe également la technique de confinement qui consiste à regrouper les terres dans une cavité imperméable et où les eaux d'infiltration sont collectées via des drains et traitées.

Toutefois, bien que rapides et généralement efficaces, ces techniques se révèlent coûteuses et destructrices des propriétés du sol. De plus, ces techniques ne sont pas applicables sur certains types de terrains dont la localisation entrave l'activité.

---

## LES TECHNIQUES D'ASSAINISSEMENT BIOLOGIQUE

---

Dans les années '90, des techniques d'assainissement biologique s'appuyant sur l'utilisation de micro-organismes (bioremédiation) ou de végétaux (phytoremédiation) ont été développées. La phytoremédiation (étymologiquement issu du grec *phyto* qui signifie *plante* et du latin *remedium* qui signifie *corriger un méfait*) suscite l'intérêt de nombreux scientifiques. Cette technologie exploite le potentiel des végétaux et de leur microflore associée pour, entre autres, accumuler ou stabiliser les ETM contenus dans les sols. Ce qui donnera respectivement naissance aux termes de « phytoextraction » et de « phytostabilisation ». Bien qu'encore à l'étude, il s'avère que ces phytotechnologies, contrairement aux techniques con-

ventionnelles, nécessitent de faibles coûts et sont très respectueuses de la structure du sol et de l'environnement. Selon une estimation de 2000, les techniques classiques sont trois à trente fois plus chères<sup>14</sup>.

### La phytoextraction

Avec la phytoextraction, ce sont les capacités de certaines plantes à accumuler et séquestrer les ETM, via des transporteurs dans les tiges et les feuilles, qui sont utilisées afin de les extraire à moyen et long termes du sol. Les contaminants sont donc stockés dans la biomasse de la plante. Après l'accumulation des contaminants par les végétaux, les parties aériennes peuvent être récoltées et traitées. Ce procédé est répété jusqu'à ce que l'abaissement du niveau de pollution du sol soit significatif. L'objectif de cette technique étant d'obtenir une quantité maximale de métal extraite par les plantes, exprimée en grammes de métal extrait par hectare de plantation, les plantes idéales pour la phytoextraction devraient disposer des caractéristiques suivantes :

- une tolérance à différents types de sol contaminés ;
- une production importante de biomasse ;
- une capacité importante de translocation et d'accumulation de ces métaux vers les parties récoltables de la plante.

À partir de ces constats, trois grands axes de recherches ont été développés sur l'étude :

- des plantes hyperaccumulatrices (*Thlaspi caerulescens*, *Arabidopsis halleri*), dont la production de biomasse est limitée ;
- des plantes accumulatrices à forte biomasse (maïs, moutarde indienne, tabac, saule, peuplier, colza, miscanthus) ;
- des plantes transgéniques combinant (hyper)accumulation et biomasse élevée.

De ces trois axes, c'est le deuxième qui semble être le plus prometteur.

### La phytostabilisation

Avec la phytostabilisation, ce sont les capacités qu'ont d'autres plantes à piéger les polluants, non plus au niveau aérien mais surtout au niveau des racines, qui sont exploitées. Les plantes vont immobiliser les contaminants dans la zone racinaire par l'exsudation de composés chimiques, par l'inhibition des protéines de transport dans les membranes racinaires et par le stockage des contaminants dans les vacuoles des cellules racinaires. L'objectif est de limiter le lessivage des ETM vers les nappes phréatiques et l'environnement proche.

Les plantes idéales pour la phytostabilisation doivent aussi posséder un certain nombre de caractéristiques telles que la tolérance aux conditions de culture du site mais aussi :

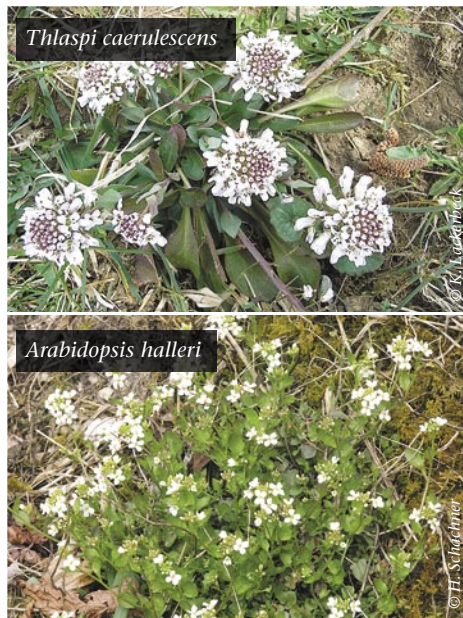
- une accumulation majoritairement racinaire ;
- la production de nombreuses racines stabilisant le sol et favorisant la création d'une importante couverture végétale.

---

### LE POTENTIEL DU SAULE EN PHYTOREMÉDIATION

---

De plus en plus, l'utilisation du saule est envisagée en raison de sa capacité de produire une forte biomasse (10 à 15 t/ha/an), mais aussi parce que, chez le saule, l'accumulation peut se faire soit au niveau des racines soit au niveau aérien (tiges et feuilles). La capacité d'accumuler varie en fonction de l'espèce mais est surtout liée à l'individu même. Au sein du genre *Salix*, on peut par exemple distinguer des individus « accumulateurs aériens forts » et des



« accumulateurs aériens faibles » d'ETM. Les premiers peuvent être utilisés comme phytoextracteurs, les seconds comme phytostabilisateurs<sup>2, 10, 11, 13</sup>.

Le saule est considéré comme candidat idéal pour la phytoremédiation, notamment parce qu'il s'agit d'une espèce pionnière, tolérante aux conditions environnementales difficiles et pouvant s'adapter à une large gamme de niches écologiques. Les saules profitent également d'une évolution dynamique des gènes, ce qui favorise la formation d'hybrides et augmente les possibilités de résistance par rapport aux terrains contaminés.

L'utilisation du saule en phytoremédiation permettrait d'assainir nos sols de manière naturelle, sans désagréments sonores ou visuels et sans perturbation du sol. Sa plantation garantirait un couvert végétal participant à la beauté du paysage. Ce couvert végétal permettrait de freiner

l'érosion du sol et le lessivage. En outre, dans certains cas, la plantation de cette essence permettrait de relancer le cycle de dégradation de la matière organique dans des zones où la végétation est limitée vu la présence de métaux qui altèrent la pédoflore et la pédofaune.

---

### VALORISATION DE LA BIOMASSE

---

Le taillis à très courte rotation (TTCR) est donc la technique de production à privilégier car les ETM se concentrent dans l'aubier. La récolte des parties ligneuses des saules accumulateurs, qui aurait lieu tous les trois à quatre ans, serait brûlée.

La chaleur produite pourrait être utilisée, fournissant de la bioénergie et permettant une certaine rentabilité économique. Toutefois, dans le cas des phytoextracteurs, la combustion devrait être contrôlée afin de récupérer les métaux contenus dans les cendres. Ces dernières pourraient être réinjectées dans le cycle de production des

métaux ou enfouies dans les centres d'enfouissement technique. Un cycle de recyclage des métaux lourds via la phytoremédiation est donc envisageable. Il s'agit donc ici d'une extraction peu onéreuse par rapport aux méthodes industrielles, qui, elles, demandent des investissements énergétiques et financiers élevés.

Les saules utilisés dans le cadre des techniques de phytostabilisation favoriseraient quant à eux la valorisation des sites contaminés. Comme signalé précédemment, ces sites sont nombreux et disponibles vu leur inaptitude pour d'autres affectations. Cette fonction biologique assurerait une stabilisation des contaminants mais aussi une stabilisation des terres telles que les berges de cours d'eau ou les zones de stockage des boues de dragage.

L'orientation de la production forestière vers le pôle des bioénergies pourrait donc être prolongée dans une fonction d'assainissement des sols comme dans d'autres contrées (Italie, Suède, États-Unis...).





Les parties ligneuses, ne contenant pas de métaux, pourraient alors servir dans d'autres thématiques telles que la vannerie, l'architecture végétale ou encore comme bois de chauffage sans précautions particulières.

---

### RÔLE DE LA MICROFLORE ASSOCIÉE AUX VÉGÉTAUX EN PHYTOREMÉDIATION

---

De fortes concentrations en éléments métalliques peuvent affecter les micro-organismes du sol. Parmi ces micro-organismes, il existe des champignons mycorhiziens qui sont un lien entre le sol et les racines.

Pour rappel, les mycorhizes sont des symbioses entre le champignon et les racines de l'arbre. Le champignon a besoin de sucres produits au niveau des feuilles et, en contrepartie, il extrait et transporte l'eau et les minéraux du sol vers les racines. De ce fait, le mycélium accroît considérablement le volume de sol prospecté. Il exploite les pores les plus fins où l'eau est fortement retenue ou très concentrée en solutés.

Les mycorhizes influencent alors les échanges entre le sol et la racine, puisque le manteau forme une barrière continue et que tous les flux doivent transiter par les tissus fongiques. C'est pourquoi elles peuvent aussi influencer l'absorption d'ETM et ce, de différentes manières. Elles peuvent favoriser l'accumulation du métal dans la partie aérienne de la plante ou, au contraire, favoriser l'exclusion et la concentration du métal au niveau des racines. Cela paraît être spécifique au métal et à la plante.

La contamination du sol par les métaux lourds peut être un stress pour le champignon comme pour la plante. C'est le cas, par exemple, du cadmium, qui peut réduire significativement la colonisation mycorhizienne par le bolet jaune (*Suillus luteus*). Cependant, face à ce stress, des études ont montré que des champignons issus de milieux contaminés seraient capables de restreindre l'absorption du zinc, par exemple. Les champignons qui développent plus de mycélium ont davantage de chances de survivre dans un sol contaminé. Il est donc impératif d'intégrer le rôle de la symbiose dans l'étude de la tolérance des ligneux aux ETM. La diversité des mycorhizes est importante : de l'ordre de la centaine d'espèces dans un peuplement forestier homogène et de la dizaine sur les racines d'un même arbre.

---

### APPLICATION DE LA PHYTOREMÉDIATION EN WALLONIE

---

La phytoremédiation est un concept qui a déjà été mis en œuvre avec succès en Europe et dans le monde. En Wallonie, contrairement à la Flandre, peu d'applications de la phytoremédiation, dont le but premier aurait été d'extraire ou de stabiliser des ETM, ont été réalisées actuellement. Mise à part la SPAQuE qui envisage l'utilisation de la phytoremédiation pour l'assainissement d'un site contaminé par des solvants chlorés et se tient à jour par rapport à l'évolution de ces techniques, les institutions wallonnes ne semblent pas encore sensibles aux possibilités qu'offrent ces techniques.

Or, de l'ensemble des travaux menés en phytoremédiation, nous retenons surtout

que la phytoremédiation par les ligneux reste pertinente sur des sites moyennement à faiblement contaminés, mais dont les teneurs dépassent toutefois, les concentrations admises par les Directives européennes. Plusieurs essais sur sites contaminés ont, par exemple, pu montrer la possibilité d'assainissement des sols là où les teneurs en cadmium dépassaient la valeur d'intervention et ce, grâce aux taillis à courte rotation de saules. D'autres études confirment que la phytoremédiation sur les boues de dragage reste potentiellement intéressante<sup>4, 9, 15, 19</sup>.

Au sein de la Commission régionale wallonne du peuplier et du saule, le procédé de la phytoremédiation, et en particulier celui de la phytostabilisation, est promu systématiquement comme solution biologique à la problématique des sols contaminés depuis la formation d'un groupe de travail sur les applications environnementales de la saliciculture. Cette initiative est maintenant appuyée par des recherches régionales.

Au Centre wallon de recherches agronomiques (CRA-W) ainsi que dans plusieurs universités, les recherches sur ce sujet sont nombreuses. Le Laboratoire de toxicologie environnementale (LTE, Gembloux Agro-Bio Tech, ULg), qui travaille en collaboration avec le CRA-W, est un des laboratoires dont les recherches sont les plus orientées vers l'évaluation des possibilités d'applications pratiques futures de la phytoremédiation en Wallonie. Les autres universités sont, soit tournées vers l'étude des mécanismes moléculaires des plantes hyperaccumulatrices, soit travaillent en partenariat et réalisent leurs expérimentations à l'étranger avec des plantes qui ne pourraient pas survivre dans nos régions.

Outre les applications spécifiques aux sites contaminés, les procédés de phytostabilisation peuvent s'adapter directement aux berges de cours d'eau. Les premiers travaux en ce sens se sont développés dans le cadre du projet européen, ECOLIRIMED.

---

## ECOLIRIMED

---

En 2009, l'INRA (F), l'AREXHOR (F), le Centre de recherche Gabriel Lippmann (L), le LTE et le CRA-W ont entamé le projet Interreg IVA Grande Région *ECOLIRIMED*. S'inscrivant dans la continuité du projet ECOLIRI, dont l'objectif était la création d'une collection d'écotypes ligneux représentant la biodiversité de la Wallonie, du Grand-Duché du Luxembourg et de la Lorraine française, le projet *ECOLIRIMED* vise au développement d'une filière d'écotypes ligneux pour la fixation durable et la phytoremédiation des berges de cours d'eau. Un volet du projet de recherche se concentre plus particulièrement sur l'étude de la tolérance de matériel végétal (saule et aulne) aux ETM et sur l'utilisation de la biomasse produite le long des cours d'eau pour l'assainissement des berges par phytoextraction.

Les gestionnaires publics sont convaincus que la renaturation des cours d'eau constitue la voie la plus favorable au contrôle des inondations et à la minimisation de leurs dégâts potentiels. Les formations végétales ont un rôle primordial à ce niveau, mais aussi pour la faune et la qualité de l'eau (épuration). L'aulne, le saule et le frêne sont les espèces ligneuses choisies pour fixer les berges durablement, principalement en raison de leurs enracinements complémentaires : système racinaire traçant pour le saule et l'aulne, pivotant pour le frêne.

Les ETM sont aussi véhiculés par les rivières et peuvent s'accumuler dans les sédiments des fonds et des berges. Par leur situation et l'exposition prolongée de leur système racinaire aux eaux et sédiments contaminés, les espèces ligneuses replantées sur les rives sont particulièrement exposées à ce problème. Elles accumulent dans leurs tissus des métaux lourds qui, à terme, les conduisent à un état de stress ou de dépression physiologique. Un certain niveau de tolérance aux polluants est donc essentiel à leur survie.

Étant donné les contraintes de plus en plus drastiques des normes de qualité des eaux de surface, il est nécessaire de disposer d'outils pour gérer les pollutions liées aux sédiments de cours d'eau. De plus, il est impossible d'utiliser des techniques de décontamination physico-chimiques du fait de leur coût élevé et de la nécessité de préserver la stabilité des berges. Il s'avère donc important d'évaluer la tolérance des plantes et des champignons aux polluants inaltérables que sont les ETM, et donc de proposer des associations ligneux-ectomycorhizes efficaces. Ces dernières peuvent jouer un rôle capital dans la disponibilité des ETM, et ce, tout en maintenant la biodiversité. Il faut aussi définir comment utiliser la biomasse produite le long des cours d'eau pour l'assainissement des berges par phytoextraction. La prise en compte de ces accumulateurs de métaux lourds lors de la re-végétalisation des berges de cours d'eau rencontre les objectifs de la Directive européenne sur l'eau\* qui impose aux états membres d'améliorer la qualité des eaux de surface selon un calendrier strict.

---

\* Directive Cadre Eau, 2000/60/CE.

La re-végétalisation des berges de cours d'eau envisage la plantation d'espèces et types locaux (écotypes) en vue de respecter l'équilibre existant des écosystèmes. Selon les spécialistes, l'occupation des sites par des plantes autochtones doit aussi devancer celle de plantes invasives d'origine « exotique », ce qui exige d'inclure dans les plans d'aménagement un matériel végétal de qualité. La conservation de la biodiversité des écotypes d'aulnes et de saules est assurée par l'élaboration de parcs à clones dont l'installation est en cours dans les trois régions concernées par le programme Interreg IVA.

---

## CONCLUSION

---

Le principe de la phytoremédiation est en perpétuelle évolution et amélioration. Une étude de faisabilité est nécessaire, car il faut considérer le temps et l'espace disponibles ainsi que la concentration en ETM dans le sol. La végétalisation des sites peut être donc considérée comme une technique d'assainissement complémentaire aux techniques conventionnelles ou de prévention contre les risques de contamination des sols, à faire valoir sur le long terme et nécessitant un suivi régulier de l'évolution des teneurs en ETM. De plus, l'aspect esthétique constitue un argument en termes de valorisation paysagère, qui s'ajoutera à l'aspect économique induit par les plantations de ligneux. ■

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- 1 BAIZE D. [1997]. *Teneurs totales en ETM dans les sols (France)*. INRA, Paris.
- 2 BRIEGER G., WELLS J.R., HUNTER R.D. [1992]. Plant and animal species composition and

- heavy metal content in fly ash ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution* **63**(1-2) : 87-103.
- <sup>3</sup> Cellule État de l'environnement wallon [2010]. *Tableau de bord de l'environnement wallon. Partie 4, chap. 3*. SPW-DGARNE-DEMNA-DEE, p. 120.
- <sup>4</sup> DICKINSON N.M., PULFORD I.D. [2005]. Cadmium phytoextraction using short-rotation coppice. *Salix* : the evidence trail. *Environment International* **31** : 609-613.
- <sup>5</sup> DRÉNOU C. [2006]. *Les racines*. Institut pour le Développement Forestier, CNPPE, 335 p.
- <sup>6</sup> DUFFUS J.H. [2002]. Heavy metals, a meaningless term ? *Pure Appl. Chem.* **74**(5) : 793-807.
- <sup>7</sup> Ecolirimed, ecoliri.cra.wallonie.be/page/index.php?page=2
- <sup>8</sup> EVLARD A., CAMPANELLA B., PAUL R. [2011]. Effects of Cd on ectomycorrhizal fungal growth. Efficacy of in vitro screening experiment. *Agrochimica* **2** : 85-93.
- <sup>9</sup> FRENCH C.J., DICKINSON N.M., PUTWAIN P.D. [2006]. Woody biomass phyto remediation of contaminated brownfield land. *Environmental Pollution* **141** : 387-395.
- <sup>10</sup> GREGER M. [1997]. *Willow as phytoremediator of heavy metal contaminated soil. Element cycling in the environment*. International scientific technical conference, Warsaw.
- <sup>11</sup> GREGER M., LANDBERG T., BERG B. [2001]. *Salix clones with different properties to accumulate heavy metals for production of biomass*. Universitet Stockholms, Akademytryck AB, Edsbruk.
- <sup>12</sup> JUSTE C. [1988]. Appréciation de la mobilité et de la biodisponibilité des éléments en traces du sol. *Science du sol* **26**(2) : 103-112.
- <sup>13</sup> LANDBERG T., GREGER M. [1994]. *Can heavy metal tolerant clones of Salix be used as vegetation filters on heavy metal contaminated soil ?* Swedish University of Agricultural Sciences, Proceedings of the conference and workshop on willow vegetation filters for municipal wastewaters and sludges - a biological purification system, Report 50.
- <sup>14</sup> RASKIN I., ENSLEY B.D. [2000]. *Phytoremediation of toxic metals : using plants to clean up the environment*. New York, John Wiley.
- <sup>15</sup> ROSSELLI W., KELLER C., BOSCHI K. [2003]. Phytoextraction capacity of trees growing on a metal contaminated soil. *Plant and Soil* **256** : 265-272.
- <sup>16</sup> ULg, Université de Liège, www2.ulg.ac.be/geolseed/geolwal/geolwal.htm#ANNEXE%205, 15/05/11.
- <sup>17</sup> VAMERALI T., BANDIERA M., MOSCA G. [2010]. Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land. A review. *Environ Chem. Lett.* **8** : 1-17.
- <sup>18</sup> VANOBERGHE F. [2011]. *La phytoremédiation en Wallonie*. Éd. Kluwer, Belgique.
- <sup>19</sup> VERVEAKE P., LUYSSAERT S., MERTENS J., MEERS E., TACK F.M.G., LUST N. [2003]. Phytoremediation prospects of willow stands on contaminated sediment : a field trial. *Environmental Pollution* **126** : 275-282.

ARICIA EVLARD

Aricia.Evlard@ulg.ac.be

FANNY VANOBERGHE

BRUNO CAMPANELLA

ROGER PAUL

Laboratoire de toxicologie  
environnementale, Gx-ABT, ULg

Passage des Déportés, 2  
B-5030 Gembloux