

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 157 (2006)

Heft: 5

Artikel: Reboisement de sites pollués : enseignements tirés d'une étude de cas avec des métaux lourds

Autor: Steiner, Laure / Rosselli, Walter / Combe, Jean / Barbezat, Vincent / Buttler, Alexandre

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097968>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 11.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Reboisement de sites pollués – Enseignements tirés d'une étude de cas avec des métaux lourds

LAURE STEINER, WALTER ROSSELLI, JEAN COMBE, VINCENT BARBEZAT et ALEXANDRE BUTTLER

Keywords: Remediation; reforestation; heavy metals; landfill; Switzerland. FDK 160 : 232 : 424 : 907 : (494)

Introduction

Historique

Le site de l'ancienne décharge des Abattes s'étend sur 3,2 ha au sud-est de la ville du Locle, dans le Jura neuchâtelois. Dès les années 1960, ce vallon est devenu une décharge de matériaux inertes. Il a été comblé pendant trois décennies avec du tout-venant d'excavation provenant de la construction de routes et de divers autres chantiers. Il s'agit surtout de déblais calcaires, marneux et argileux. Lors du remblayage de la partie haute de la décharge d'une surface d'environ 1,8 ha, entre 1987 et 1990, la surface a été recouverte par du compost à base de boues d'épuration, parfois mélangées avec de la terre végétale.

En 1990, dans le cadre d'un reboisement de compensation, le garde forestier de la commune du Locle a mis en place une plantation d'épicéas (*Picea abies* (L.) Karsten) d'une surface de 3100 m². Lors des travaux de plantation, l'équipe forestière trouva des morceaux de plastique et d'aluminium dans le sol et remarqua une odeur suspecte se dégageant de la terre. C'est alors que les autorités communales ont fait appel à des experts, découvrant ainsi le problème lié à l'épandage d'un compost chargé en métaux lourds.

Les dangers potentiels sur la décharge des Abattes

De nombreuses expertises et études ont été menées sur ce site entre 1991 et 2005. Une première d'entre elles a été réalisée par J.-P. Dubois de l'Institut d'aménagement des terres et des eaux (IATE) de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne¹ (EPFL). Elle met en évidence la pollution par des métaux lourds de la partie de la décharge recouverte par le compost à base de boues d'épuration, les teneurs en plomb, zinc, cuivre et cadmium dépassant largement par endroits les valeurs indicatives de l'OSol (Ordonnance sur les atteintes portées aux sols). Une expertise subséquente confiée à U. Hoins et R. Schulin de l'Institut d'écologie terrestre (ITÖ) de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich² confirme ces résultats. Le site est dès lors considéré comme pollué, sans obligation d'assainissement, mais avec une charge d'investigation et de surveillance. Cette étude précise cependant que la charge en métaux lourds se limite à la couche de fermeture de la décharge et que le remblai enfoui n'est pas contaminé. L'expertise constate d'autre part que la mobilité des métaux et le risque de pollution des eaux par lixiviation sont faibles, grâce au pH alcalin (pH > 7.0) et à la haute teneur en carbone organique de la couche polluée. D'autre part, la réserve en bases de la couche de fermeture (le compost avait été mélangé avec une quantité importante de gravier de route purement calcaire) devrait suffire, pour les prochaines décennies, à empêcher un abaissement du pH à un niveau critique où la mobilité des métaux serait accrue. La contamination du ruisseau en bordure de la décharge, le «Bied de la Jaluse», par une érosion superficielle de la couche chargée en métaux, est par contre jugée possible.

Tout site pollué présente des dangers potentiels pour l'environnement et la santé publique. Ce sont tout d'abord les risques liés à la pollution des ressources en eau. Il peut s'agir

soit d'une contamination des eaux souterraines, suite à une lixiviation des métaux, soit d'une contamination des eaux de surface par ruissellement ou érosion du sol. Les racines des arbres, de même que la litière, permettent une meilleure stabilisation du sol et immobilisation des métaux, ce qui tend à diminuer les risques de contamination des eaux. Dans le cas des Abattes, une étude de la teneur en métaux dans des échantillons d'eau de lixiviation et d'eau de surface a été effectuée en 2001 par l'Institut Forel.³ Concernant les lixiviats, aucun danger n'est à signaler, puisque les teneurs en métaux lourds correspondent aux normes édictées par l'OSites (Ordonnance sur l'assainissement des sites pollués). Au sujet de l'eau de surface, cette étude révèle que dans un des quatre échantillons, qui a été récolté à la limite de la décharge, les teneurs en métaux lourds étaient à l'intérieur des normes pour l'assainissement des sites pollués (OSites), mais dépassaient les normes pour les cours d'eau (Ordonnance sur la protection des eaux, OEaux) en ce qui concerne le plomb, le cuivre, le nickel et le zinc. Un autre danger potentiel lié à un site pollué provient de la contamination de la chaîne alimentaire, via les invertébrés et les micromammifères. Les études menées sur le site des Abattes à ce sujet ne permettent ni d'écarter, ni de confirmer ce risque. Face à ces dangers potentiels, le propriétaire est donc tenu d'adopter une attitude de précaution.

La conservation d'un pH élevé, l'amélioration de la fertilité du sol et de sa structure, ainsi que l'augmentation de son activité biologique étant recommandées, la décision a été prise de planter des essences pionnières feuillues. Sur la base des expertises, les autorités du Locle ont confié à l'Antenne romande du WSL les modalités de la plantation et le suivi scientifique des travaux effectués sur la décharge des Abattes de 1993 à 2005.

Méthode

Dans le cadre de ce mandat, plusieurs campagnes de plantation ont été effectuées entre 1997 et 1999 avec des collectifs d'essences pionnières soumis à des observations et des contrôles réguliers. Il s'agit d'érables (*Acer pseudoplatanus* L.), de saules (*Salix viminalis* L.) suédois et locaux, de sorbiers (*Sorbus mougeotii* Soy.-Willem. et Godr.), d'aulnes blancs (*Alnus incana* Moench), de bouleaux (*Betula pendula* Roth) et de frênes (*Fraxinus excelsior* L.). La variété suédoise du saule mise à part, les essences forestières sont de provenance locale. Les graines, ou les boutures en ce qui concerne l'aulne, ont été récoltées sur place puis élevées à la pépinière expérimentale de l'Institut

¹ Dubois, J.P. 1991: Rapport d'analyse concernant la teneur en métaux lourds des sols de la décharge des Abattes (Commune du Locle). Institut d'aménagement des terres et des eaux (IATE) de l'EPFL Lausanne.

² Hoins, U.; Schulin, R. 1993: Expertise sur la charge en métaux lourds de la décharge «les Abattes», Le Locle. Institut d'écologie terrestre (ITÖ), Section «Protection du sol», EPF Zurich.

³ Favarger, P.-Y. 2001: Rapport de lixiviation échantillon décharge du Locle. Institut F.A. Forel, Versoix.

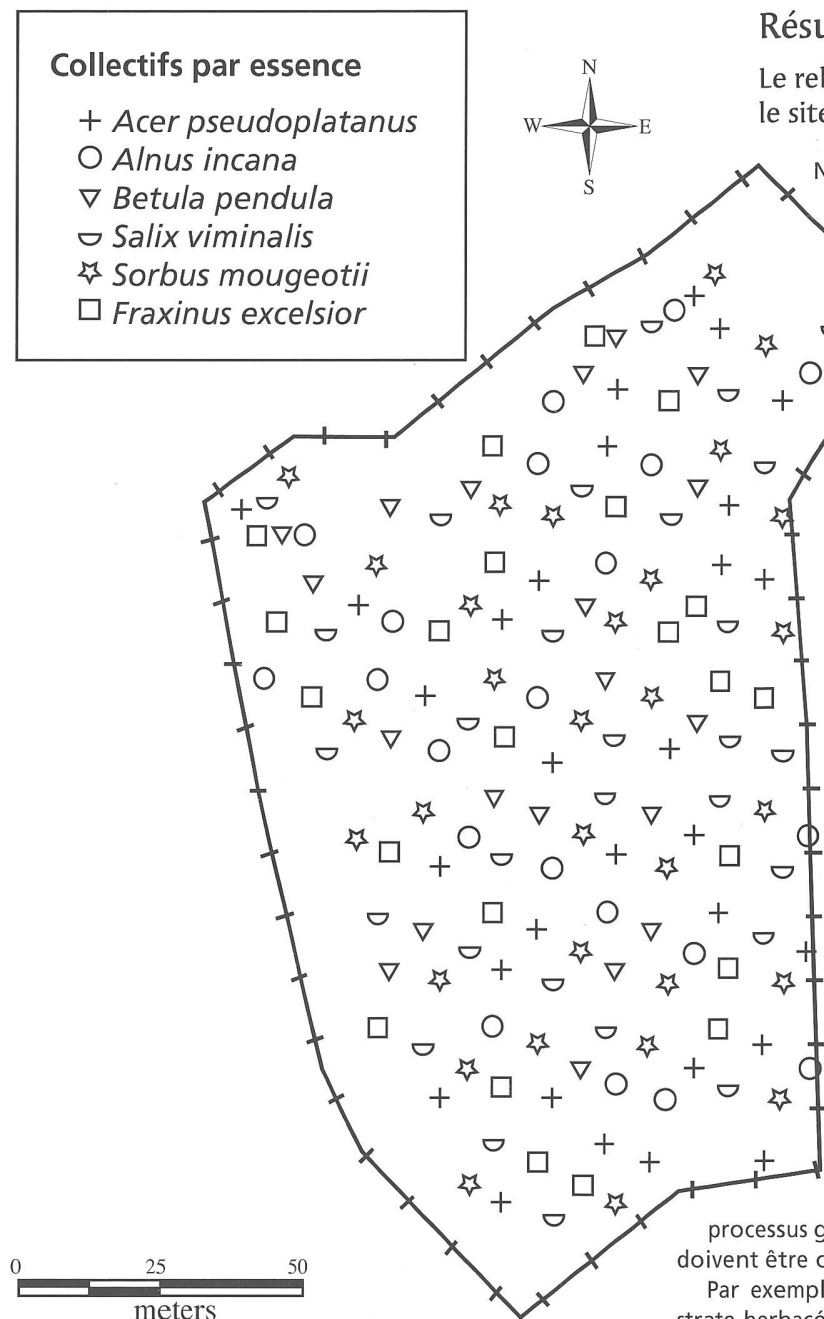


Figure 1: Plan d'aménagement de la plantation des collectifs d'essences forestières sur la décharge des Abattes NE.

Chaque collectif est composé de dix plants. La disposition des collectifs a été établie de façon semi-aléatoire.

fédéral de recherches WSL à Birmensdorf. Au total, 1920 arbres ont été plantés dans le cadre des mesures de reboisement (figure 1). Afin de mieux cerner l'étendue de la pollution sur le site, la couche de fermeture a été sondée et décrite et son épaisseur relevée pour chacun des trous de plantation. Depuis 1999, des inventaires par observations visuelles systématiques ont été effectués régulièrement pour suivre l'évolution de la plantation: hauteur des plants, dégâts, mortalité.

Par rapport au reboisement initial d'épicéas de 1990, il faut relever ici que si cette essence est souvent choisie pour des reboisements de compensation, c'est essentiellement à cause de sa croissance relativement rapide et de ses bonnes chances de survie face à la pression du gibier. Dans le cas des Abattes, il faut cependant être conscient que l'épicéa a un fort potentiel d'acidification du sol, ce qui peut entraîner une solubilisation des métaux lourds. C'est une des raisons pour lesquelles le mandat de recherche a été réalisé avec des essences pionnières.

Résultats et discussions

Le reboisement assainit-il le site des Abattes?

Notre étude sur la bioconcentration du cuivre, du zinc et du cadmium dans les parties aériennes des espèces ligneuses plantées sur le site (figure 2), montre qu'au stade actuel de développement du boisement, une véritable décontamination ne peut être mise en évidence (ROSSELLI *et al.* 2003). On aurait pu imaginer en effet une phytoextraction des métaux par l'une ou l'autre des essences *Alnus incana*, *Betula pendula*, *Fraxinus excelsior*, *Salix viminalis* et *Sorbus mougeotii*. Cependant dans aucun cas le facteur de bioconcentration dans les feuilles ou les tiges n'atteint 1.0, ce qui est insuffisant pour parler d'une possibilité de phytoextraction efficace des métaux à court ou à moyen terme (figure 3). Les recherches menées jusque-là aux Abattes n'ont donc pas permis de trouver un moyen de décontamination par des essences ligneuses qui soit efficace et spécifique aux conditions particulières du site, notamment au pH alcalin du sol. Grâce à la production de biomasse, les faibles concentrations de métaux, surtout de zinc, stockées dans le bois de *Salix viminalis* et *Betula pendula* pourraient peut-être permettre, à long terme, l'extraction de quantités raisonnables de métal. Des études fournissant des données quantitatives supplémentaires sont encore nécessaires pour évaluer ceci.

D'une manière générale, pour que le potentiel de décontamination d'essences forestières spécifiques puisse être sérieusement pris en compte dans des projets d'assainissement de sites faiblement pollués, les

processus globaux et les quantités extraites durablement doivent être connus.

Par exemple le potentiel du sous-bois, c'est-à-dire de la strate herbacée, à extraire des métaux du sol n'a pas été approfondi dans le cas des Abattes. Dans l'état actuel, la couche herbacée, très vigoureuse, n'est pas fauchée et la litière se décompose sur place, entraînant un recyclage annuel des métaux éventuellement extraits. Des analyses ciblées de la teneur en métaux d'un choix d'espèces herbacées particulièrement répandues sur le site pourraient indiquer si une fauche périodique de celles-ci, suivie de leur élimination, contribuerait à accélérer le processus d'assainissement du sol.

La phytoextraction des métaux par les arbres

Il n'est évidemment pas question ici d'évaluer le potentiel de phytoremédiation par les espèces ligneuses, en examinant seulement le cas particulier des Abattes. Il faut en effet garder en mémoire qu'il s'agit là d'un sol calcaire, basique, où les métaux sont naturellement peu mobiles.

PULFORD & WATSON (2003) passent en revue l'état de la recherche sur la phytoremédiation des métaux lourds par des essences ligneuses. A part les saules (*Salix viminalis*) qui ont un potentiel avéré dans certaines circonstances, le principal bénéfice que l'on peut retirer du boisement d'un site est la stabilisation du sol. Il s'agit d'une stabilisation physique par les racines et la couverture végétale, ainsi que d'une stabilisation

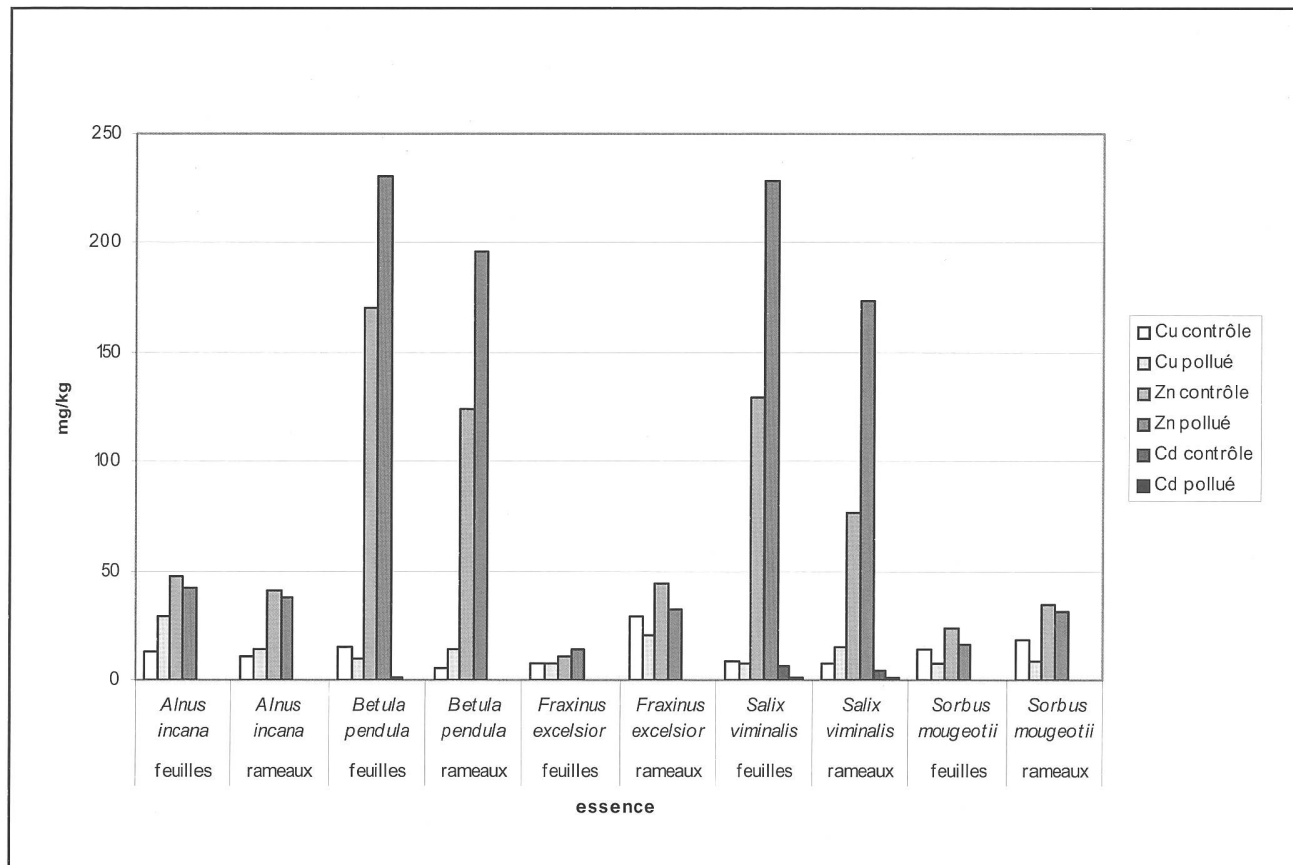


Figure 2: Concentrations des métaux lourds cuivre Cu, zinc (Zn) et cadmium (Cd) dans les feuilles et dans le jeune bois des essences plantées aux Abattes.

Betula et *Salix* montrent leur capacité naturelle à absorber le zinc, cela même sur des sols non pollués.

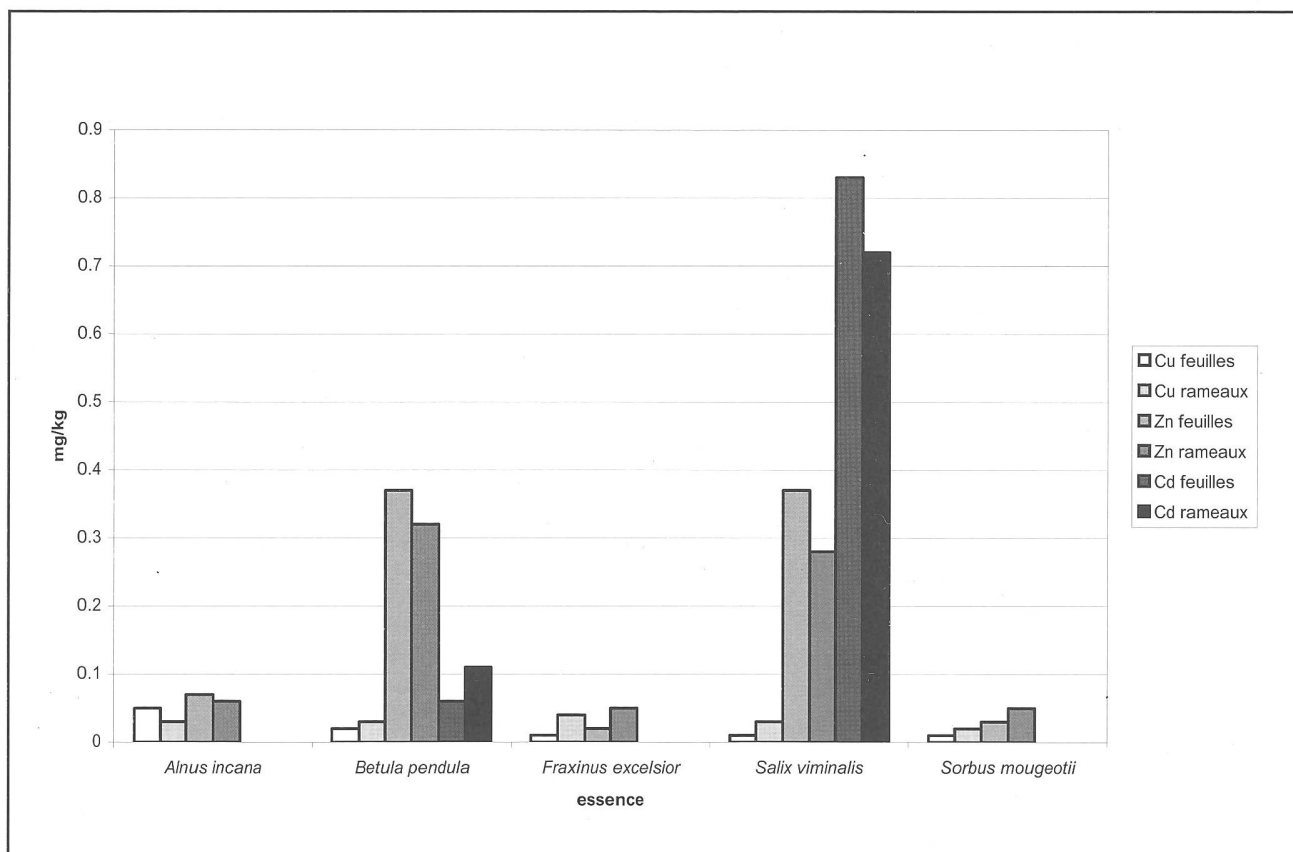


Figure 3: Facteurs de bioconcentration (rapport entre la concentration de métal dans les tissus végétaux et sa concentration dans le sol).

On retrouve la tendance naturelle à absorber le zinc chez *Betula* et *Salix*, ainsi qu'une affinité de *Salix* pour le cadmium, bien que les quantités absorbées soient faibles. Un facteur de bioconcentration inférieur à 1.0 n'est pas suffisant pour considérer la phytoextraction des métaux comme une méthode efficace pour assainir le sol.

chimique des métaux par l'apport au sol d'exsudats et de matières organiques qui lient les métaux. D'autre part, le flux de transpiration des arbres diminue d'autant le flux d'eau à travers le sol contaminé et réduit ainsi les risques de lixiviation de ces métaux.

Des essais de croisements de différents clones de *Salix viminalis* ont été menés en Suède et au Royaume-Uni et ont abouti à la production de clones qui ont une grande production de biomasse, en combinaison avec une accumulation importante de métaux et une bonne tolérance face à ces derniers. Ce sont les principales caractéristiques nécessaires dans un contexte de phytoremédiation. Il a été démontré qu'une rotation rapide de ces clones de saules en taillis peut permettre la décontamination d'un site faiblement pollué au cadmium (ibid.). Mais des preuves similaires n'existent pas pour d'autres métaux. Par conséquent, comme le mentionnent également VAN DER LELIE *et al.* (2001), des projets pilotes bien conçus et bien documentés sont nécessaires pour promouvoir cette technique comme une alternative à la décontamination. Il existe en effet une grande différence entre les essais en laboratoire et sur le terrain. Certains clones de *Salix viminalis* sélectionnés en laboratoire se révèlent parfois très peu efficaces sur le terrain. Une observation identique a d'ailleurs été faite aux Abattes. Dans tous les cas, la phytoremédiation par des plantes ligneuses ne permet pas actuellement la décontamination de sites hautement pollués, mais peut se révéler intéressante pour des sites faiblement pollués.

Quelles autres prestations un site pollué reboisé peut-il fournir?

La question de la pertinence du boisement de sites tels que celui des Abattes doit être posée. On peut également s'interroger sur les prestations qu'à terme cette forêt pourra fournir. Cela dépend de l'unité d'aménagement dans laquelle est inscrit le site reboisé lors de l'élaboration du plan directeur forestier. Dans ce cas particulier, les fonctions forestières prépondérantes sont définies en superposant le cadastre des sites pollués aux catégories du plan directeur forestier. Tout site, même faiblement pollué, qui se trouverait dans des unités où la forêt a une vocation de récréation et d'accueil, de protection de la faune ou de la flore ou dans une zone de protection de l'eau potable, devrait être assaini ou reclassé. D'autres prestations sont envisageables, telles que la production de bois de construction ou de chauffage. Mais cette forme d'exploitation devrait être soumise à un processus qualité. Le contrôle des produits sortants devrait être exigé et être orienté en fonction de l'utilisation finale à laquelle ils sont destinés. En effet, un bois chargé en métaux lourds n'est *a priori* pas approprié comme bois de chauffage par exemple, puisque les métaux peuvent se retrouver sous une forme concentrée dans les cendres ou être rejetés dans l'air. Mais les concentrations en métaux dans le bois peuvent varier selon les essences. Certaines essences, comme *Betula pendula* et certains clones de *Salix viminalis* par exemple, retiennent naturellement beaucoup de zinc et en accumulent d'autant plus sur un site contaminé (LANDBERG & GREGER 1996; NISSEN & LEPP 1997, figure 2). C'est pourquoi toute exploitation de bois d'une telle provenance devrait être précédée par une analyse de la teneur en métaux lourds. Selon le degré de concentration, des procédés particuliers doivent être appliqués (filtre, traitement des cendres, etc.).

Mesures de gestion et précautions

Dans le cas spécifique des Abattes, la prise de conscience du problème a permis notamment d'éviter la plantation d'épiciés dont la litière aurait à terme acidifié le sol et rendu les

métaux plus mobiles. Si le terrain avait été laissé en friche, une végétation adventice se serait installée, qui aurait uniquement eu pour effet de stabiliser physiquement le sol et d'éviter à long terme des phénomènes d'érosion. Actuellement, la décharge des Abattes figure dans le cadastre neuchâtelois des sites pollués avec le statut de site nécessitant une investigation pour déterminer s'il est à surveiller ou à assainir (sur la base légale de l'OSol).⁴ Ainsi, après le reboisement de feuillus indigènes, la commune se trouve toujours dans une situation où les risques de contamination diffuse de la faune et des eaux de surface ne sont pas complètement écartés. De plus, le site des Abattes est interdit au public et ne peut par conséquent pas être utilisé à des fins récréatives. Il ne remplit pas non plus les conditions nécessaires pour abriter des cervidés comme le chevreuil qui, par ailleurs, par manque d'entretien des clôtures, vient pourtant se nourrir sur le site. Bien que les connaissances aient évolué entre 1991 et 2005, la décision de reboiser le site serait sans doute la même aujourd'hui. En effet, compte tenu du degré modéré de pollution par les métaux lourds qui n'exige pas légalement un assainissement, le choix d'y planter des feuillus indigènes semble toujours correct; une dépollution par des méthodes conventionnelles lourdes et coûteuses paraît assurément disproportionnée dans un tel cas. La solution du reboisement reste cependant temporaire et doit être réévaluée à intervalles réguliers.

Une gestion attentive du site à l'avenir implique avant tout un suivi de la situation. De nombreux facteurs peuvent encore se modifier avec le temps, comme par exemple le degré de pollution du sol et le risque de contamination des eaux et de la chaîne alimentaire. Aussi longtemps que les risques ne sont pas écartés et que la pollution dépasse les valeurs légales, l'interdiction d'accès au site doit être maintenue, l'entretien des clôtures de délimitation et des panneaux d'information et de mise en garde au public assuré. En particulier la collecte et la consommation d'escargots et de pissenlits (*Taraxacum officinale* (L.) Weber), très répandus sur la décharge, mais aussi de champignons, doivent être évitées.

Les sites pollués en Suisse

Il est difficile d'évaluer le nombre de sites pollués en Suisse qui ne doivent pas être obligatoirement assainis, tant que les cantons n'auront pas terminé le recensement de leurs sites, comme l'exige l'OSites. En 2002, le nombre total de sites pollués était estimé à 50 000, dont 4 000 nécessitant une décontamination.⁵ Sur l'ensemble, combien exactement se trouvent sous régime forestier? L'Antenne romande du WSL avait mené en 1997 une rapide enquête qui lui avait permis d'évaluer très grossièrement à un millier le nombre de décharges en Suisse romande situées en forêt. Cela donne une idée du nombre de sites faiblement pollués que les communes et les cantons devront prendre en charge. La commune de Lausanne vient d'ailleurs de destiner, en novembre 2005, un crédit de 9,7 millions de francs pour assainir une vingtaine d'anciennes décharges et autres sites pollués sur son territoire.⁶

Conclusion

Un site pollué est toujours un lourd héritage, une servitude qu'il est difficile de gérer par manque d'outils et de moyens.

⁴ Selon communication personnelle reçue du Service cantonal compétent (novembre 2005).

⁵ Rapport environnemental Environnement Suisse 2002, OFEFP (2002), http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/fr/fachgebiete/fg_altlasten/grundlagen/index.html (18 avril 2006).

⁶ Le Matin Bleu, mercredi 2 novembre 2005, n° 3.

Le prix d'un assainissement doit-il être supporté par les finances des communes, alors que la loi ne le prévoit pas explicitement et que les responsables sont parfois inconnus? Dans ce contexte, le reboisement des sites faiblement pollués avec des essences adaptées peut être perçu comme une solution temporaire adéquate. En effet, bien que l'on ne puisse pas s'attendre pour le moment, dans la plupart des cas, à un assainissement du sol, un reboisement peut permettre de rendre la situation plus durable. Il est cependant difficile d'en retirer une prestation de décontamination qui s'inscrit dans un processus qualité. Dans tous les cas, la vigilance et la surveillance permanente de ces sites pollués, reboisés ou non, restent toujours aussi impératives qu'indispensables à long terme, car en tout temps la situation sur le terrain peut évoluer et les normes légales être modifiées.

Résumé

Parmi les dizaines de milliers d'anciennes décharges en Suisse, celle des Abattes (Le Locle NE) est polluée par des métaux lourds dans sa couche de fermeture. Selon la législation actuellement en vigueur, sa décontamination n'est pas nécessaire. Le site des Abattes a été reboisé avec des essences feuillues de provenance locale et a fait l'objet d'un suivi de 15 ans entre 1991 et 2005. Les enseignements tirés de cette expérience sont nuancés. En effet, le boisement a permis de stabiliser le sol physiquement et d'immobiliser les métaux, plus rapidement que ne l'aurait fait une végétation adventice sur un terrain en friche. Les études effectuées montrent que les arbres plantés ne présentent pas à ce jour de véritable capacité d'extraction des métaux lourds dans leurs parties aériennes. Le risque de pollution diffuse des eaux superficielles et de la chaîne alimentaire par des métaux lourds n'est pas totalement écarté. En l'état actuel des connaissances, le reboisement de sites pollués de ce genre doit être envisagé comme une solution provisoire, exigeant une surveillance permanente à long terme. Au mieux, cela permet une exploitation du bois sous certaines conditions. Il est vivement recommandé d'inscrire explicitement de telles servitudes dans les plans directeurs forestiers, actuellement en voie d'élaboration ou de mise à jour dans les cantons.

Zusammenfassung

Aufforstung von verseuchten Böden – Lehren aus einem Fallbeispiel mit Schwermetallen

Wie tausende anderer Deponien in der Schweiz ist die ehemalige Deponie Les Abattes (Le Locle NE) oberflächlich mit Schwermetallen leicht verseucht. Gemäss geltenden rechtlichen Normen bedarf sie keiner direkten Sanierung. Les Abattes wurde mit lokalen Baumarten aufgeforstet und während 15 Jahren, von 1991 bis 2005, regelmässig beobachtet und wissenschaftlich untersucht. Die so gewonnenen Erkenntnisse sind zwiespältig. Die forstliche Bepflanzung hat zwar den Boden gegen Erosion mechanisch stabilisiert und die Mobilität der Schwermetalle in einem Ausmass reduziert, wie es eine spontane Krautvegetation auf einer Brachfläche kaum erlauben hätte. Die Untersuchungen zeigen aber dass die Bäume bis jetzt nicht in der Lage waren, Schwermetalle in ihre oberirdischen Gewebe aufzunehmen. Das Risiko einer leichten und diffusen Schwermetallverseuchung durch den Oberflächenabfluss oder über die Nahrungskette kann nicht vollständig ausgeschlossen werden. Die Aufforstung solcher verseuchter Deponien muss als provisorische Lösung in Betracht gezogen werden, sofern eine langfristige Überwachung sichergestellt wird und die Holznutzung und -verwertung bestimmten Bedingungen unterworfen werden können. Es wird empfohlen, derartige Auflagen in den Waldentwicklungsplänen ausdrücklich zu erwähnen.

Summary

Reforestation of polluted soils – results of a case study on heavy metals

Les Abattes (Le Locle, Canton Neuchâtel) is an ancient dump contaminated by metals, like thousands of others in Switzerland, which, according to the law, does not require a reclaiming. Local trees have been grown on this site and data have been collected for 15 years between 1991 and 2005. Lessons grown from this experience are mixed. The plantation has stabilised the soil physically and immobilised the metals more rapidly than natural pioneer plants would. However growing trees have not been able to extract enough metals from soil. The risk of a diffuse metal contamination of surface water and food chain is still present. Therefore reforestation of low-contaminated sites has to be seen as a temporary solution requiring a continuous supervision in a long-term. At best it could provide timber under certain conditions. It is recommended to clearly indicate these constraints in the forest guiding plans which are now being elaborated.

Références

- LANDBERG, T.; GREGER, M. 1996: Differences in uptake and tolerance to heavy metals in *Salix* from unpolluted and polluted areas. *Appl. Geochem.* 11: 175–180
- NISSEN, L.R.; LEPP, N.W. 1997: Baseline concentrations of copper and zinc in shoot tissues of a range of *Salix* species. *Biomass. Bioenergy.* 12: 115–120.
- OSites 814.680 (Ordonnance du 26 août 1998 sur l'assainissement des sites pollués, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage).
- OSol 814.12 (Ordonnance du 1^{er} juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage).
- OEaux 814.201 (Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage).
- PULFORD, I.D.; WATSON, C. 2003: Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review. *Environment International* 29: 529–540.
- ROSSELLI, W.; KELLER, C.; BOSCHI, K. 2003: Phytoextraction capacity of trees growing on a metal contaminated soil. *Plant and Soil* 256: 265–272.
- VAN DER LELIE, D.; SCHWITZGUEBEL, J.P.; GLASS, D.J.; VANGRONVELD, J.; BAKER, A.J.M. 2001: Assessing phytoremediation's progress in the United States and Europe. *Environmental Science and Technology* 35, 21: 446A–452A.

Auteurs

- LAURE STEINER, dipl. biol., WSL Antenne Romande, boîte postale 96, 1015 Lausanne. E-mail: laure.steiner@epfl.ch.
- Dr WALTER ROSSELLI, WSL Antenne Romande, boîte postale 96, 1015 Lausanne. E-mail: walter.rosselli@epfl.ch.
- JEAN COMBE, WSL Antenne Romande, boîte postale 96, 1015 Lausanne. E-mail: jean.combe@epfl.ch.
- Dr VINCENT BARBEZAT, WSL Antenne Romande, boîte postale 96, 1015 Lausanne. E-mail: vincent.barbezat@wsl.ch.
- Prof. Dr ALEXANDRE BUTTLER, WSL Antenne Romande et Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), boîte postale 96, 1015 Lausanne. E-mail: alexandre.buttler@epfl.ch.