

# Procédé de valorisation de déchets et sous-produits en construction de sol pour la réhabilitation de sites dégradés

Geoffroy Séré<sup>a</sup> - Christophe Schwartz<sup>b</sup> - Jean-Christophe Renat<sup>a</sup> - Jean-Louis Morel<sup>b</sup>

a : TVD - Centre d'Affaires, ZI Clairs Chênes, 54230 Chavigny, France

b : Laboratoire Sols et Environnement - INPL(ENSAIA)/INRA, 2 avenue de la Forêt de Haye, BP 172, 54505 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France

Pour toute correspondance : g.sere@groupe.tvd.com - Tél : 01 46 56 66 91

## Résumé

Le procédé de construction de sol consiste en l'utilisation de sous-produits (par exemple : compost, sous-produits papetiers, terre polluée traitée) en lieu et place de terre végétale pour construire un sol fonctionnel sur des substrats présentant des problèmes de fertilité. L'écotechnologie présentée se situe à la confluence de deux problématiques environnementales : la réhabilitation des sites dégradés et le développement de voies alternatives de valorisation des déchets et sous-produits. La nature des matériaux parents utilisés pour mettre en place un sol construit engendre des coûts de mise en œuvre plus bas que les approches traditionnelles. Les objectifs de réhabilitation sont en premier lieu l'intégration paysagère (prairie, zone arborée, zone humide).

Un suivi expérimental réalisé durant trois années sur un pilote de grande taille a permis de valider à la fois l'efficacité et la pérennité de la refunctionalisation du sol et l'absence d'impact environnemental négatif sur les milieux. Le procédé a fait l'objet d'un dépôt de brevet national (n° 0757036). De plus, les développements complémentaires laissent envisager d'une part la possibilité de réaliser de la production de biomasse à vocation non alimentaire, et d'autre part d'utiliser cette technique pour optimiser certains traitements de dépollution (bioremédiation, oxydation *in situ*).

## Introduction

La réhabilitation des sites dégradés — en particulier des friches industrielles — est soumise à de multiples contraintes et exigences : réglementaires, économiques, environnementales, sociales. Citons notamment les moyens financiers limités généralement alloués à ces opérations, la garantie d'absence d'impact résiduel sur le milieu, la gestion des terres excavées puis des terres traitées, les relations avec les riverains et les collectivités locales. Par ailleurs, la nécessité de développer des voies alternatives de valorisation pour les déchets et les sous-produits est un sujet très sensible, alors que la filière agricole est proche de la saturation, que l'incinération fait débat (coûts élevés, bilan environnemental) et que dans les deux cas, des pressions sociologiques fortes existent.

C'est à partir de ces constats, au regard des développements actuels en France (Bacholle *et al.*, 2006) et surtout des expériences internationales en Amérique du Nord ou en Allemagne qu'a été développé le procédé de construction de sol.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un partenariat entre la société TVD (Groupe TVD) et le Laboratoire sols et environnement (INPL/INRA), au sein du Groupement d'intérêt scientifique sur les friches industrielles (GISFI - <http://gisfi.fr>) (Séré, 2007).

## Principe

Le procédé de construction de sol a pour objectif d'assurer la réhabilitation de sites dégradés (par exemple : friche industrielle, zone de démolition, lagune, décharge, carrière) en rendant au substrat ses propriétés agronomiques, afin de permettre une implantation pérenne d'un couvert végétal. Il consiste en l'utilisation de déchets et sous-produits (par exemple : composts, boues industrielles, boues urbaines, terres polluées traitées, terres de remblais) en lieu et place de terre végétale pour construire un sol fertile sur des substrats dégradés.

Son originalité est d'associer ces matériaux pour constituer différentes couches, de manière similaire à un sol naturel, afin de permettre une implantation optimale de la végétation (Figure 1).

## Phase de développement

Trois déchets et sous-produits ont été étudiés comme matériaux parents de sols construits, compte tenu de leur intérêt agronomique, de leur qualité environnementale, de leur disponibilité sur des sites à réhabiliter ou des problématiques liées à leur valorisation. Ces matériaux sont : un compost de déchets verts (produit normalisé NFU 44-051), un sous-produit papetier (produit d'épuration du recyclage de papier), une terre industrielle traitée (terre de cokerie initialement fortement polluée par des hydrocarbures, traitée par désorption thermique) (Tableau 1). Afin de tester l'efficacité du procédé et son absence d'impact sur l'environnement, deux approches complémentaires ont été menées dans l'esprit de la norme méthodologique européenne XP ENV 12920.

Des expérimentations en conditions contrôlées ont tout d'abord été réalisées. Elles étaient basées sur des tests de percolation à flux ascendant (ISO/TS 21268-3 qualité des sols) réalisés sur les matériaux parents (Figure 2a). Par ailleurs, un dispositif pilote de parcelles lysimétriques équipées de grande taille (superficie de 100 m<sup>2</sup>) a été mis en place sur la station expérimentale du GISFI, située sur l'ancienne cokerie d'Homécourt (Meurthe-et-Moselle, France) (Figure 3a). Cette expérimentation en conditions réelles a permis de mesurer pendant une période de 3 ans les transferts de polluants dans le milieu (dosage des eaux de drainage et des végétaux), le développement de la végétation et de suivre l'évolution des sols construits. Les teneurs en éléments en traces (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) ont été mesurées par torche à plasma (ICP séquentiel AES Liberty RL, Varian).

Ces travaux ont permis dans un premier temps d'évaluer le risque de transfert de polluants depuis les matériaux parents en conditions contrôlées. Les résultats présentés ici (exemple du Cr et du Zn) mettent en évidence un relargage limité en intensité et décroissant dans le temps. De plus, les concentrations en éléments en traces dans les percolats étaient inférieures aux valeurs seuils de la norme eau potable (Figures 2b et 2c). Ensuite, un suivi *in situ* a permis de mesurer l'impact environnemental des sols construits en conditions réelles. Les données obtenues ont montré que les concentrations dans les eaux de drainage étaient décroissantes et faibles — comparables dans une large mesure aux concentrations dans l'eau de pluie et significativement inférieures aux valeurs seuils de la norme eau potable (Figures 3b et 3c).

Par ailleurs, une analyse de l'implantation et de la croissance de la végétation, 12 mois après le semis d'un mélange ray-grass / luzerne, a été effectuée. Une mesure de biomasse produite a mis en évidence le bon développement des végétaux (absence de signe de phytotoxicité), une répartition homogène entre espèces (ray-grass, luzerne, espèces indigènes) et une production de biomasse comparable à celle d'une prairie extensive (Figures 4a, 4b et 4c). De plus, la réalisation d'un profil racinaire indiquait une bonne implantation des racines (70 cm de profondeur) après 1 année seulement de développement (Figure 4d).

Les résultats obtenus indiquent que les sols construits n'engendrent pas d'impact négatif sur les milieux, permettant d'aboutir dans un délai très court (1 année) à un fonctionnement comparable à celui d'un sol naturel.

## Perspectives

L'exemple présenté ici démontre la faisabilité d'une construction de sol à l'aide de sous-produits afin d'assurer la végétalisation extensive d'une zone dégradée. Au-delà de cet usage simple, deux voies de développement majeur sont actuellement testées.

Tout d'abord, offrir la possibilité de réaliser une production de biomasse à vocation non alimentaire qui permette non seulement de valoriser pleinement les superficies de sites dégradés, mais également d'économiser des surfaces agricoles pour la production de bioénergie. Cette option est aisément envisageable, compte tenu de la possibilité de moduler la composition du sol construit, c'est-à-dire sa fertilité physico-chimique et ses propriétés. Plusieurs essais concluants sur *Miscanthus x giganteus* ont d'ores et déjà été conduits en serre (Sauvage *et al.*, 2007).

La construction de sol peut également être envisagée comme un moyen d'optimiser certaines techniques de dépollution. Ainsi, la formulation de terres polluées avec des déchets et sous-produits peut être envisagée comme une manière de modifier — dans un sens ou l'autre — la disponibilité des polluants pour améliorer un traitement. Il serait envisageable par exemple d'abaisser la mobilité d'un élément dans le cadre d'une phytostabilisation, tout comme il serait possible d'augmenter sa biodisponibilité dans le cadre d'une biodégradation.

Enfin, insistons sur un des arguments majeurs de la construction de sol qui, dans une logique de développement durable, est l'utilisation de ressources et de gisements locaux de déchets et sous-produits. Ce principe est à la fois le garant d'une gestion raisonnable des matériaux présents sur le site à réhabiliter, une alternative de valorisation pour des déchets industriels ou municipaux et l'assurance de réaliser les travaux pour des coûts significativement inférieurs aux techniques classiquement mises en œuvre (utilisation de terre végétale ou d'amendements).

## Conclusions

La construction de sol à l'aide de sous-produits est un procédé qui assure la requalification de sites dégradés par la mise en place d'un sol fonctionnel permettant une revégétalisation. Les retours d'expérience actuels basés sur des expérimentations en conditions contrôlées et *in situ* et deux chantiers opérationnels démontrent l'innocuité environnementale de sa mise en œuvre. Un atout fort de cette technique est, outre son efficacité et sa pérennité, d'être réalisable à des coûts beaucoup plus faibles que ceux des approches traditionnelles.

Ce procédé a fait l'objet d'un dépôt de brevet national (n° 0757036) conjoint par la société TVD, l'INRA et l'INPL. Les perspectives complémentaires de développement sont actuellement explorées dans le cadre de l'ANR, Programme Ecotechnologie et Développement Durable (PRECODD), OxySol (GISFI, BRGM, Arcelor Real Estate France, Solvay, TVD).

La construction de sol s'inscrit plus globalement dans une démarche que l'on pourra qualifier de génie pédologique.

Cette discipline, qui constitue une composante du génie écologique, recouvre l'ensemble des savoir-faire liés à la gestion des sols dégradés. Elle s'inscrit de manière claire dans la logique de développement durable en combinant des objectifs de restauration écologique et de valorisation de déchets et sous-produits.

### Références

Bacholle C, Leclerc B., Coppin Y (2006). Utilisation de produits organiques en reconstitution de sol - Inventaire des pratiques en France - Etat de l'art des connaissances liées aux impacts de ces pratiques. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), Paris, Angers, Valbonne. Revue bimestrielle consacrée à l'actualité des travaux sur les matières organiques Echo-MO 59, 119 p.

ISO/TS 21268-3 (2007). Qualité du sol – Modes opératoires de lixiviation en vue d'essais chimiques et écotoxicologiques ultérieurs des sols et matériaux du sol - Partie 3 : Essai de percolation à écoulement ascendant, ISO.

Sauvage C., Séré G., Renat J.C., Schwartz C. (2007). Evaluation de la fertilité d'un Anthrope-sol construit, Actes du congrès, Journée nationale d'étude du sol.

Séré G. (2007). Fonctionnement et évolution pédogénétique de Technosols issus d'un procédé de construction de sol, Mémoire de thèse de doctorat en sciences agronomiques, 227 p.

Séré G., Renat J.C., Schwartz C. (2007). Procédé de traitement d'un sol dégradé et de construction d'un sol artificiel, brevet n° 0757036, Institut national de la propriété intellectuelle (INPI).

XP ENV 12920 (1998). Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées, AFNOR.

Figure 1 : Principe de la construction de sol

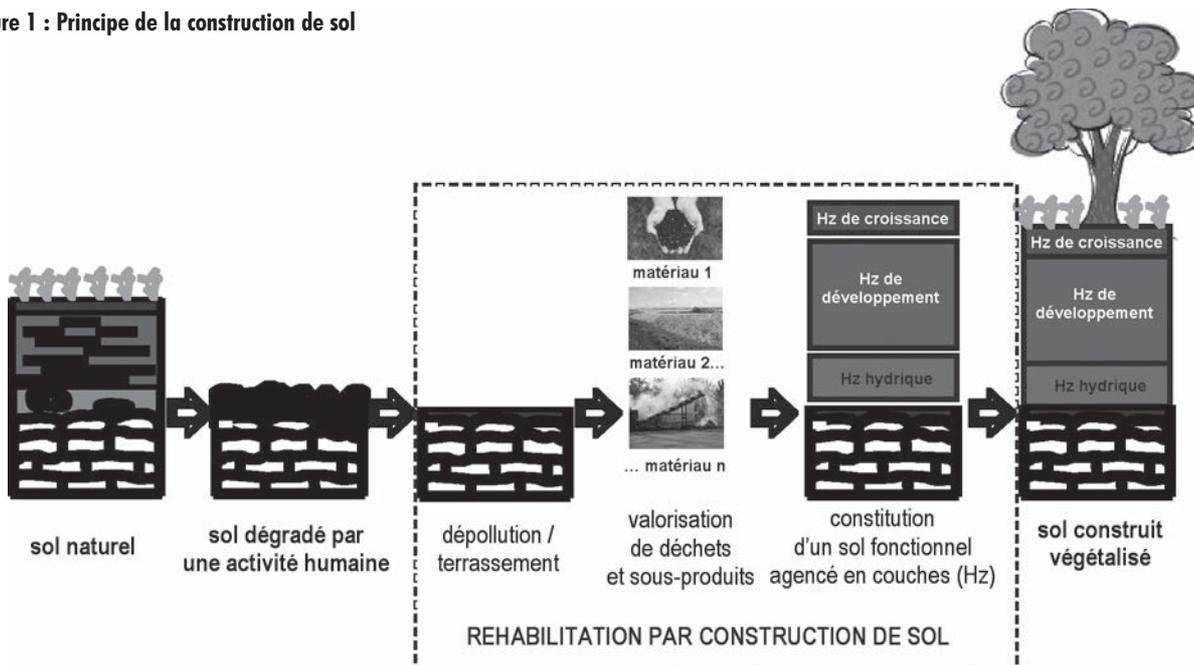


Figure 2 : Expérimentations en conditions contrôlées :

- a) schéma du dispositif
- b) courbe de percée du Cr dans les percolats des matériaux parents
- c) courbe de percée du Zn dans les percolats des matériaux parents

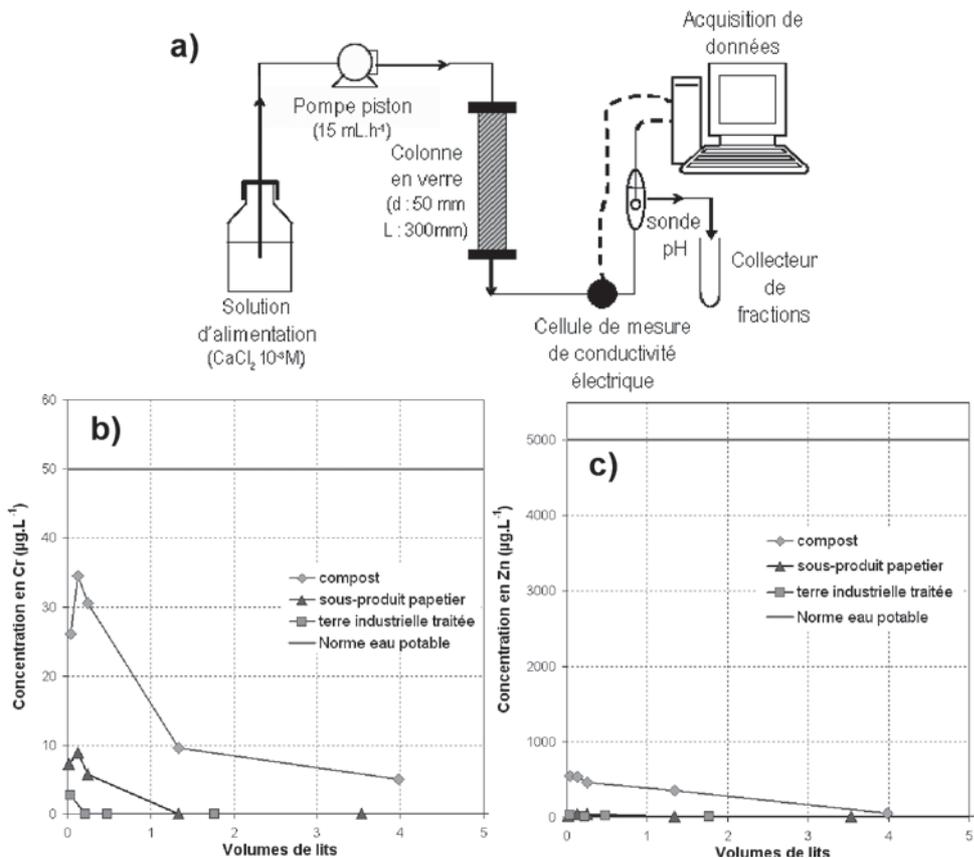


Figure 3 : Expérimentations en conditions réelles :

- a) schéma du dispositif
- b) courbe de percée du Cr dans les eaux de drainage
- c) courbe de percée du Zn dans les eaux de drainage

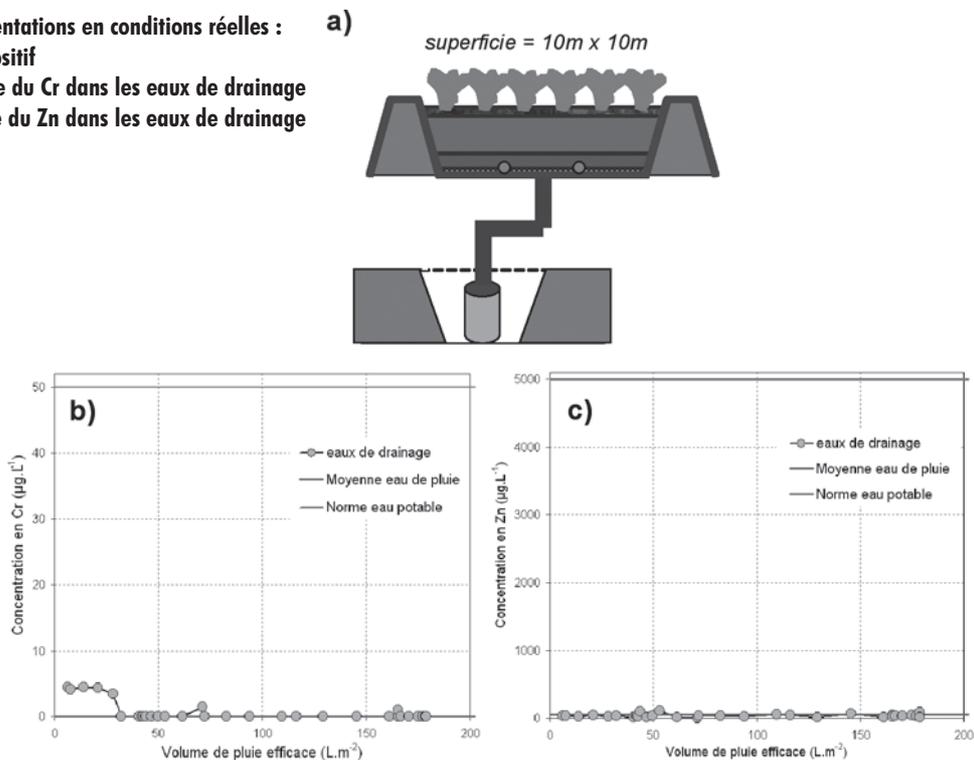


Figure 4 : Développement de la végétation

- a) vue de la parcelle
- b) vue du dessus
- c) mesure de la biomasse produite par espèce
- d) profil racinaire

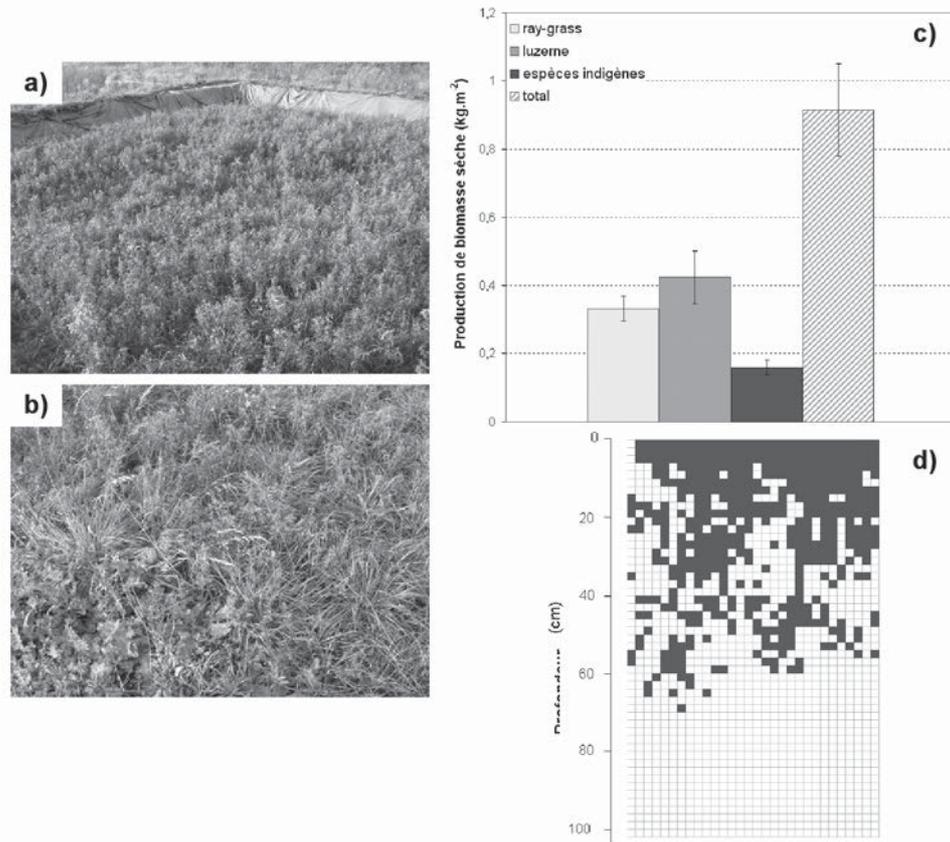


Tableau 1 : Caractérisation des matériaux parents

	pH	Matières organiques (g.kg <sup>-1</sup> )	C/N	CEC <sup>a</sup> (cmol.kg <sup>-1</sup> )	Concentrations (mg.kg <sup>-1</sup> )				
					ETM <sup>b</sup>				16 HAP <sup>c</sup>
					Cr	Cu	Pb	Zn	
Compost de déchets verts	8,6	376	20	42,3	46,1	60,4	64,1	287,5	5,7
Sous-produit papetier	7,9	251	27	4,6	17,2	47,8	10,1	41,1	1,8
Terre industrielle traitée	9,0	94	97	6,7	126,0	37,7	496,2	759,8	46,1

<sup>a</sup> CEC : Capacité d'échange cationique

<sup>b</sup> ETM : Eléments traces métalliques

<sup>c</sup> HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques