

Les nouvelles surfaces accessibles par la mobilisation de surfaces agricoles polluées impropres à la production de produits alimentaires : le projet LORVER

Simonnot M.-O.¹, Guimont S.², Morel J. L.³

¹ Laboratoire Réactions et Génie des Procédés, UMR 7274 Université de Lorraine – CNRS, 1 rue Grandville, BP 20451, F-54001 Nancy Cedex

² Valterra Dépollution Réhabilitation, 3, allée de Chantilly, F-54500 Vandœuvre-lès-Nancy

³ Laboratoire Sols et Environnement, UMR 1120 Université de Lorraine – INRA, 2 avenue de la Forêt de Haye, TSA 40602, F-54618 Vandoeuvre les Nancy

Correspondance : marie-odile.simonnot@univ-lorraine.fr

Résumé

L'objectif du projet LORVER (www.lorver.org) est de développer une filière de production de biomasse à vocation industrielle, en valorisant des sites dégradés (e.g. sols de friches industrielles) et des matériaux délaissés (e.g. sous-produits urbains ou industriels). Dans le contexte de l'économie circulaire, ces délaissés apparaissent non plus comme un handicap, mais comme de nouvelles ressources. Ce projet rassemble un consortium composé d'entreprises et de laboratoires possédant les compétences nécessaires à l'élaboration de cette filière opérationnelle, permettant la valorisation environnementale et économique de sites et matériaux délaissés, en respectant les principes du développement durable. Après avoir recensé les ressources en sites et matériaux disponibles, la démarche consiste à 1) construire des technosols à partir de sous-produits, présentant les propriétés agronomiques requises pour la culture, 2) mettre en place des cultures (taillis à courte rotation, chanvre, ortie, plantes hyperaccumulatrices, 3) développer les procédés permettant de produire de l'énergie, du biochar, des fibres, des composés à base de métaux, et 4) à évaluer la filière du point de vue de ses impacts environnementaux et économique. Ce projet, mené en Région Lorraine, permettra de démontrer la pertinence de l'approche.

Mots-clés : Sols de friches industrielles, Technosols construits, Taillis à courte rotation, Pyrolyse, Fibres, Analyse du cycle de vie

Abstract: New surfaces available for the cultivation of non edible plants on former industrial soils– the LORVER project

The LORVER project (www.lorver.org) aims at developing a chain to produce biomass for industrial purposes, by reusing degraded sites (e.g. brownfield soils) and abandoned materials (e.g. urban or industrial by-products). In the context of circular economy, these abandoned sites and materials must not be viewed as a drawback but as new resources. This project brings together a consortium composed of companies and laboratories having the required expertise to construct this chain, allowing the environmental and economic upgrading of abandoned sites and materials while respecting the principles of sustainable development. After having identified the resource of available sites and by-products, the approach consists of 1) construct Technosols from by-products, to reach the agronomic properties required for cultivation, 2) implement cultivations (short rotation coppices, hemp, nettle, hyperaccumulator plants), 3) develop processes to produce energy, biochar, fibres, metal-based

compounds, and 4) assess the environmental and economic impacts of the chain. This project, conducted in the Lorraine region (France), will demonstrate the pertinence of the approach.

Keywords: Brownfield soils, Contrasted Technosols, Short rotation coppices, Pyrolysis, Fibres, Life cycle assessment

Introduction

Dans de nombreuses régions, la déprise économique et l'arrêt d'activités industrielles ont laissé derrière eux de vastes surfaces de sols généralement contaminés. Le nombre de sites potentiellement contaminés en Europe est estimé à 2,5 à 3,5 millions ; en France, plus de 100 000 ha ont été recensés par l'Ademe en 2011. Dans les zones à forte pression foncière, comme au cœur des grandes villes, la dépollution et le changement d'usage ont été relativement rapides. En revanche, dans les régions moins convoitées par le marché immobilier, en l'absence de projets de reconversion, ces sites restent souvent à l'abandon. En parallèle, il existe de nombreux gisements de déchets inertes d'origine urbaine ou industrielle, qu'il est de plus en plus difficile de stocker en installation de stockage.

Dans le contexte de l'économie circulaire, ces sites et matériaux délaissés peuvent être considérés comme de nouvelles ressources. Les sols de sites industriels, même décontaminés, ont souvent perdu leur qualité agronomique et ne peuvent remplir leur fonction de support de végétation. En revanche, il a été démontré qu'il était possible de construire des Technosols, par assemblage de déchets urbains ou industriels, selon l'approche du génie pédologique (Séré et al., 2008 ; Séré et al., 2010 ; Rokia et al., 2014). Ces Technosols construits peuvent fournir de nombreux services écosystémiques, particulièrement d'approvisionnement et de régulation (Morel et al., 2014). La construction de sols, initiée dès 2003 et décrite dans un brevet (Valterra, Université de Lorraine, INRA), a fait l'objet notamment du projet Biotechnosol (programme GESSOL, 2009-2013). Dans ce contexte, une parcelle d'un hectare a été installée sur la plate-forme expérimentale du GISFI à Homécourt (54), en vue de créer une prairie pour restaurer la biodiversité et l'esthétique de la friche. Les recherches ont clairement montré l'évolution des matériaux et la formation d'horizons sous l'effet de processus pédogénétiques accélérés, l'évolution de fonctions comme la capacité de stockage de carbone et de rétention d'eau, ainsi que la restauration de la biodiversité (Cluzeau et al., 2012). Par ailleurs, d'autres projets ont été menés pour étudier la phytostabilisation de sols pollués, comme le projet PHYTOPOP (ANR 2006), portant sur les stratégies culturales, la valorisation de la biomasse, et la sélection d'espèces plus performantes appliqués à l'utilisation du peuplier pour la remédiation de sols pollués. A notre connaissance, LORVER est le premier projet allant de la construction de technosols à la culture et la valorisation de végétaux.

L'objectif du projet LORVER (www.lorver.org) est de construire une filière complète de valorisation des sites et matériaux délaissés. Après avoir recensé les surfaces et les gisements de matériaux disponibles, il s'agit de construire des sols par le procédé de construction de sols, d'y implanter des cultures de plantes à vocation industrielle, non seulement énergétique, mais aussi pour la production de fibres ou de produits à base de métaux, de développer les solutions de valorisation et d'évaluer l'impact environnemental et technico-économique de la filière. Le schéma général est illustré par la Figure 1 et l'organisation est décrite sur la Figure 2. Ce projet, financé par la Région Lorraine et le FEDER (2012-2018) rassemble un consortium composé de laboratoires de l'Université de Lorraine (LERMAB, LIEC, LRGP, LSE), de centres de transferts (CETELOR, PROGEPI) et d'entreprises (Arcelor Mittal, Duval Moselle, Elbé Technologies, Sea Marconi, Sita France Déchets, Valterra Dépollution Réhabilitation). Il est coordonné par Valterra.

Cet article donne un aperçu général des recherches menées, sachant que le projet n'est pas terminé. Pour plus de détails, le lecteur pourra consulter les références citées.

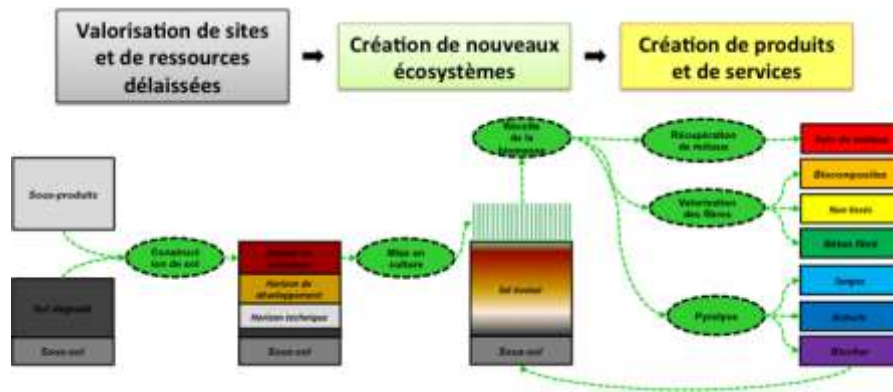


Figure 1 : Schéma général de la filière LORVER (www.lorver.org)

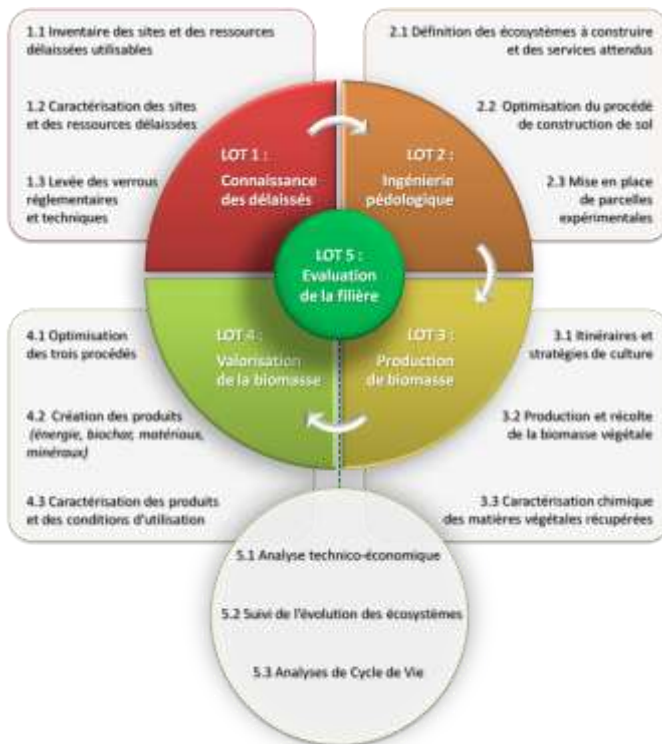


Figure 2 : Organisation du projet LORVER

1. Recensement des sites et gisements de sous-produits - réglementation

La première partie de ce travail a consisté à identifier les sites et les gisements de sous-produits disponibles pour l'installation d'une telle filière en Lorraine. Plus de 8 000 ha de sites y ont été recensés et pourrait accueillir une telle filière. De la même façon, les flux de sous-produits s'élèvent à plusieurs centaines de milliers de tonnes par an, comprenant notamment des terres excavées, des sédiments fluviaux, des boues industrielles, des sables de fonderie, des déchets de démolition, des composts.

Au plan réglementaire, la mise en place d'une telle filière nécessite une demande ICPE, ceci y compris à des fins de recherche, en raison des quantités de matériaux apportés sur le site, même s'il s'agit de déchets inertes.

Une filière telle que LORVER est transposable aux régions dans lesquelles se trouvent des friches industrielles et gisements de déchets inertes, en France ou à l'étranger. Ces surfaces et gisements

doivent être identifiés dans une première étape et les démarches réglementaires doivent être entreprises dès le début du projet d'implantation.

2. Génie pédologique – construction de sols

En attendant l'autorisation ICPE, un ensemble de 4 parcelles de 15 m sur 15 m chacune a été implanté sur le site sécurisé de stockage Sita France Déchet à Jeandelaincourt (54). Les sols y ont été construits à partir de terres excavées traitées et de boues industrielles riches en métaux, autorisées sur ce site. Les recherches menées ont permis de mieux comprendre l'évolution pédogénétique des sols construits et les conditions de culture de peupliers, chanvre, ortie et plantes hyperaccumulatrices (*Noccaea caerulescens*) (Kanso, 2016). Le transfert des métaux vers chaque type de plante a été évalué, de même que l'influence d'un amendement au biochar.

Une fois l'autorisation ICPE obtenue, une parcelle expérimentale de 2 ha de technosol construit à partir de déchets inertes a pu être installée au printemps 2016 sur le site expérimental du GISFI (www.gisfi.fr). Cette plate-forme de recherche est située sur le site d'une ancienne cokerie à Homécourt (Meurthe et Moselle). Le site industriel, exploité à partir de 1922 a été arrêté dans les années 1980. Différents traitements ont été appliqués pour traiter les sols pollués par des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des métaux ; il reste une contamination diffuse ainsi que des résidus de goudron et des déchets. Sur ce site dégradé, un technosol d'une épaisseur de 1 m a été construit, à partir de terres excavées traitées par bioremédiation, des boues de papeterie, des sédiments de dragage, des boues de station d'épuration et du compost de déchets verts (Figure 3). La parcelle a été couverte de végétation et laissée en stabilisation pour la période d'automne-hiver. Elle sera plantée au printemps 2017.

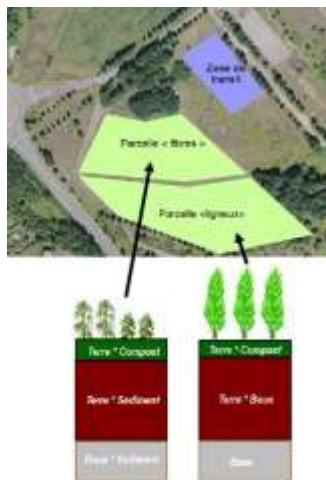


Figure 3: Schéma d'implantation des parcelles et vue d'une de la parcelle de Technosol construit sur le site du GISFI à Homécourt.

3. Génie agronomique

Les recherches sur les plantes hyperaccumulatrices ont concerné la sélection de *N. caerulescens* en vue d'obtenir des cultivars adaptés pour la dépollution par phytoextraction de sols pollués aux métaux et la culture pour la production de composés à base de métaux, ou agromine. Des cultures ont été menées sur parcelles à Jeandelaincourt (Kanso, 2016).

Pour le peuplier, le chanvre et l'ortie, les itinéraires culturaux ont été identifiées, puis de premières cultures ont été effectuées sur les parcelles de Jeandelaincourt. Les transferts de métaux vers les plantes, l'influence des mycorhizes et celle du biochar sur les transferts ont été particulièrement étudiées (Rees, 2014 ; Rees et al., 2014 ; Berthelot, 2017). Peupliers, chanvre et orties vont être implantés à grande échelle sur les parcelles d'Homécourt au printemps 2017.

4. Développement des procédés aval

Les filières étudiées concernent la production d'énergie et de biochar par pyrolyse du peuplier, la production de fibres à partir de chanvre et par la suite de composites polymères/fibres et de composés riches en métaux à partir de la biomasse de plantes hyperaccumulatrices.

Concernant la pyrolyse, le travail a porté sur la modélisation des transferts de masse et de chaleur dans un réacteur de laboratoire (Maione et al., 2016) et la transposition à l'échelle du pilote. Des campagnes d'essai ont été réalisées sur un pyrolyseur de taille pilote avec un dispositif construit par l'entreprise Sea Marconi. Une attention particulière a été portée au risque de transfert de métaux dans le cas où la biomasse ligneuse pourrait contenir des métaux, même à très faible teneur.

Les recherches sur les fibres ont pour objectif la mise au point d'un procédé et la compréhension également de l'influence de la présence potentielle de métaux sur la qualité des fibres. Les résultats sont en cours d'acquisition sur le traitement du chanvre par explosion à la vapeur et l'utilisation des fibres pour la fabrication de matériaux composites à partir de chanvre et de fibres textiles à base d'ortie.

Enfin, concernant la valorisation de la biomasse de plantes hyperaccumulatrices, un procédé a été conçu pour récupérer le cadmium et le zinc présent dans la biomasse de *N. caerulea* (Hazotte et al., soumis).

5. Evaluation environnementale de la filière LORVER

Dans le cadre de LORVER, plusieurs indicateurs de la qualité des sols ont été particulièrement étudiés. Un travail a été mené sur les champignons mycorhiziens, surtout la souche modèle champignon Dark Septate Endophyte (DSE), colonisant les racines des plantes, pour comprendre les mécanismes de résistance aux métaux (Berthelot, 2017). Une recherche est également entreprise sur la biodiversité et la dynamique des écosystèmes, et a donné lieu à l'étude de 6 anthroposols délaissés aux caractéristiques contrastées (Vincent, 2017). Enfin, un autre travail porte sur la dynamique du carbone dans les Technosols construits, comparativement aux sols naturels (Rees et al., 2016).

Les impacts environnementaux de la filière ont été étudiés par analyse du cycle de vie (Rodrigues, 2016). Plusieurs scénarios ont été considérés et des analyses de sensibilité ont été effectuées. L'impact environnemental est surtout lié au transport des matériaux depuis leur site de stockage jusqu'à celui de la parcelle. Les points positifs concernent le stockage de carbone et l'effet sur le changement climatique ainsi que la stabilisation des pollutions. Les résultats sont aussi interprétés en termes d'impacts évités en raison de l'utilisation des déchets.

Conclusions

Le projet LORVER permet d'explorer tous les aspects de la création d'une filière de valorisation de sites et matériaux délaissés pour produire de la biomasse à vocation industrielle. Des résultats sont en cours d'acquisition, puisque l'installation des grandes parcelles expérimentales a été retardée. Toutefois, LORVER a d'ores et déjà permis d'apporter des réponses à des questions scientifiques et/ou liées à l'application, comme l'atteste la liste de publications.

Les recommandations quant à la diffusion de cette démarche à d'autres sites ou régions seront clairement formulées à l'issue des cultures de ligneux, de chanvre et d'ortie sur les parcelles et d'après les résultats de l'évolution des Technosols. Elles donneront lieu la rédaction d'un guide à paraître en 2019.

Remerciements

Les auteurs remercient la Région Lorraine et le FEDER pour le financement du projet LORVER. Ils remercient également toutes les personnes impliquées dans le projet.

Références bibliographiques

- Berthelot C., 2017. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, Nancy, France
- Cluzeau D., Guernion M., Chaussod R., Martin-Laurent F., Villenave C., Cortet J., Ruiz-Camacho N., Pernin C., Mateille T., Philippot L., Bellido A., Rougé L., Arrouays D., Bispo A., Pérès G., 2012. Integration of biodiversity in soil quality monitoring: Baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types. *European Journal of Soil Biology*, 49, 63-72
- Hazotte C., Laubie B., Rees F., Morel J.L., Simonnot M.O., 2017. An innovative process for the recovery of cadmium and zinc from *Noccea caerulescens*, soumis à Hydrometallurgy
- Kanso A., 2016, Optimisation des cultures d'agromine du Cd et du Zn sur des Technosols construits. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, Nancy, France, 203 p.
- Maione R., De Richter S.K., Mauviel G., Wild G., 2016. Axial segregation of a binary mixture in a rotating tumbler with non-spherical particles: Experiments and DEM model validation. *Powder Technology*, in press
- Morel J.L., Chenu C., Lorenz K., 2014. Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs). *Journal of Soils and Sediments*, p. 1-8.
- Rees F., 2014. Mobilité des métaux dans les systèmes sol-plante-biochar, Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, Nancy, France, 324 p.
- Rees F., Leguëdois S., Derrien D., Dagois R., Morel J.L., Simonnot M.O., Schwartz C., Séré G., 2016. Modeling the storage of organic carbon in constructed Technosols, *Proceedings of Austin International Conference on Soil Modeling (ISMC)*, Austin, Texas, US
- Rees F., Simonnot M.O., Morel J.L., 2014. Short-term effects of biochar on soil heavy metal mobility are controlled by intra-particle diffusion and soil pH increase, *European Journal of Soil Science*, 65, 149-161
- Rodrigues J., 2016. Analyse de cycle de vie intégrative de filières de production de biomasse à usage industriel par la valorisation de délaissés. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, Nancy, France
- Rokia S., Séré G., Schwartz C., Deeb M., Fournier F., Nehls T., Damas O., Vidal-Beaudet L., 2014. Modelling agronomic properties of Technosols constructed with urban wastes. *Waste Management* 34, 2155-2162.
- Séré G., Schwartz C., Ouvrad S., Sauvage C., Renat J.C., Morel J.L., 2008. Soil construction: A step for ecological reclamation of derelict lands. *Journal of Soils and Sediments* 8,130-136.
- Séré G., Schwartz C., Ouvrad S., Renat J.C., Watteau F., Villemin G., Morel J.L., 2010. Early pedogenic evolution of constructed Technosol. *Journal of Soils and Sediments* 10,1246-1254.
- Vincent Q., 2017. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, Nancy, France

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL)