



**HAL**  
open science

# Production de biomasse à partir de matériaux délaissés et de sites dégradés : recensement des matériaux délaissés et des sites dégradés en Lorraine

Valéry Collin

► **To cite this version:**

Valéry Collin. Production de biomasse à partir de matériaux délaissés et de sites dégradés : recensement des matériaux délaissés et des sites dégradés en Lorraine. Sciences de la Terre. 2013. hal-01859680

**HAL Id: hal-01859680**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01859680>**

Submitted on 22 Aug 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

# - Rapport de Stage -

## Production de biomasse à partir de matériaux délaissés et de sites dégradés

Recensement des matériaux délaissés et des sites dégradés  
en Lorraine



Maître de stage : Sophie GUIMONT

Valéry COLLIN

2012/2013

## Remerciements

Je remercie M. Jean Louis Chemin, co-fondateur et Président de Valterra Environnement ainsi que M. Pierre Terrier, Président de Valterra dépollution réhabilitation de m'avoir permis de faire mon stage au sein de Valterra dépollution réhabilitation.

Je tiens évidemment à remercier Mme Sophie Guimont, ma maître de stage de m'avoir encadré durant ces 6 mois de stage. Je la remercie pour sa disponibilité, pour la confiance qu'elle m'a accordée, ainsi que pour tous ses conseils qui me seront précieux dans mon futur métier

J'adresse mes remerciements à Mme Julie Flocmoine, directrice de l'agence de Vandœuvre-lès-Nancy pour sa bonne humeur.

Je remercie également M. Marc Weiler pour sa sympathie et son envie de transmettre ses connaissances notamment lors des visites sur le terrain.

J'adresse ma sympathie à Mme Isabelle Rusier, secrétaire, pour sa bonne humeur ainsi que pour toutes les discussions que l'on a pu avoir.

J'adresse également ma sympathie à Mme Anne Lemaire pour sa gentillesse.

Je tiens aussi à remercier tous les partenaires du projet LORVER que j'ai rencontré lors de mon stage, notamment ceux avec lesquels j'ai travaillé (LSE, LIEC,...), ainsi que les techniciens de la plateforme GISFI d'Homécourt (Rémi et Lucas).

Je salue également les deux stagiaires qui se sont succédées à l'agence (Elise et Céline) avec lesquelles les « missions » kieselguhr se sont toujours bien passées.

# Sommaire

<b>I.</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>Présentation de l'entreprise .....</b>	<b>2</b>
	1. Présentation de Valterra Environnement .....	2
	2. Le pôle Recherche et Développement.....	2
<b>III.</b>	<b>Synthèse Bibliographique .....</b>	<b>3</b>
	1. Introduction .....	3
	2. Définitions et caractéristiques des sites délaissés .....	3
	a) Définitions .....	3
	b) Caractéristiques des sols de sites délaissés.....	4
	3. Réhabilitation de sites.....	5
<b>IV.</b>	<b>Etude de cas.....</b>	<b>6</b>
	1. Qu'est-ce que la construction de sol ?.....	6
	2. Recensement des sites délaissés : .....	6
	a) Méthodologie .....	6
	b) Résultats du recensement.....	7
	3. Recensement des sous-produits : .....	9
	4. Caractéristiques des différents sous-produits recensés : .....	12
	a) Les caractéristiques étudiées .....	12
	b) Présentations des valeurs des deux arrêtés de référence .....	14
	c) Caractéristiques des matériaux recensés.....	14
	d) Classification des matériaux.....	18
	e) Evaluation des avantages et des contraintes des matériaux .....	19
	5. Analyse économique de la gestion des matériaux.....	20
	a) Gestion actuelle des matériaux recensés.....	20
	b) Coût de traitement.....	20
<b>V.</b>	<b>Discussion générale.....</b>	<b>22</b>
<b>VI.</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>23</b>
<b>VII.</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>24</b>
	<b>Annexes .....</b>	<b>27</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Vue aérienne du site 1.....	7
Figure 2 : Photographie de la friche du site 2 .....	7

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition géographique des sites délaissés en Lorraine .....	8
Tableau 2 : Synthèse des gisements de sous-produits délaissés lorrains .....	12
Tableau 3 : Arrêté du 8/01/98 relatif à l'épandage agricole .....	14
Tableau 4 : Arrêté du 28/10/2010 relatif aux déchets inertes.....	14
Tableau 5 : valeurs de siccité pour les bois raméaux fragmentés.....	18
Tableau 6 : Valeurs de siccité pour différents types de végétaux.....	18
Tableau 7 : Teneurs en métaux lourds dans les BRF d'après deux sources .....	18
Tableau 8 : Classification des matériaux délaissés.....	19
Tableau 9 : Avantages et contraintes liés à l'utilisation des matériaux .....	19
Tableau 10 : Filières de valorisation actuelles des matériaux délaissés recensés .....	20
Tableau 11 : Coûts pratiqués pour chaque filière de gestion des sous-produits.....	21

## Liste des cartes

Carte 1 : localisation des gisements de sous-produits en Lorraine.....	12
--	----

## Liste des abréviations

**AME** : Agence de Mobilisation Economique  
**AMREF** : Arcelor Mittal Real Estate France  
**BASIAS** : Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Service  
**BTEX** : Benzène Toluène Ethylène Xylène  
**BRF** : Bois Raméaux Fragmentés  
**BRGM** : Bureau de Recherche Géologique et Minière  
**BTP** : Bâtiments et Travaux Publics  
**CBR** : California Bearing Radiotest  
**CEC** : Capacité d'Échange Cationique  
**COT** : Carbone Organique Total  
**DRAAF** : Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de le Forêt  
**EPFL** : Etablissement Public Foncier de Lorraine  
**FEDER** : Fonds Européens de Développement Régional  
**HAP** : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique  
**IAA** : Industrie Agro-Alimentaire  
**INPL** : Institut National Polytechnique de Lorraine  
**INRA** : Institut National de Recherche en Agronomie  
**IPI** : Indice de Portance Immédiat  
**LIEC** : Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux  
**LSE** : Laboratoire Sol Environnement  
**PCB** : Polychlorobiphényle  
**RFF** : Réseau Ferré de France  
**VDR** : Valterra Dépollution Réhabilitation  
**VNF** : Voie Navigable de France  
**VMO** : Valterra Matière Organique  
**VZEC** : Valterra Eau Etude Conseil

# I. INTRODUCTION

La France étant un pays industrialisé, elle hérite d'un lourd passé industriel. Les nombreuses années d'activités industrielles ont impacté l'environnement et laissé ainsi un héritage lourd de conséquence en matière de pollution des sols et des eaux. Les régions les plus touchées par ces problèmes liés aux activités industrielles sont notamment le Nord Pas de Calais et la Lorraine. A partir du milieu du XXe siècle, les activités industrielles ayant cessé, les sites industriels ont laissé place à de vastes zones dégradées et délaissées. Ces zones sont plus connues sous le nom de friches industrielles et représentaient une surface de 6000 hectares en 2001 pour la région Lorraine (Schwartz et al, 2001). Ces sites étant situés le plus souvent en zones urbaines ou péri-urbaines, il est important de les réhabiliter, que ce soit en raison de la pression démographique (construction de logements), que pour des raisons d'esthétique du paysage. En 1973 a été fondé l'Etablissement Public Foncier de Lorraine (EPFL) qui est un organisme mandaté par l'Etat pour gérer les friches industrielles. La plupart du temps, les projets de réhabilitation sont basés sur l'implantation de logements (création de lotissements), ou plus simplement sur une réhabilitation paysagère. Cependant il arrive parfois que ces programmes de réhabilitation ne puissent pas être réalisés en raison des sources de pollutions ou de l'état du site (topographie), mais aussi à cause de raisons financières. Dans ce cas il est nécessaire de développer de nouveaux moyens de réhabilitation de ces sites délaissés.

Depuis plusieurs années des recherches (exemple du programme Siterre) sont réalisées afin de trouver un moyen de reconvertir des sites délaissés. En 2011 est né le projet LORVER dont l'objectif est de créer une filière pérenne de production de biomasse végétale à partir de matériaux délaissés sur des sites dégradés. Ce projet présente divers intérêts que sont d'une part l'utilisation de friches industrielles pour la production de biomasse végétale à des fins non alimentaires (il n'y a donc pas de concurrence avec les terres agricoles), et d'autre part la valorisation de matériaux délaissés (= sous-produits industriels).

Ce programme de recherche lorrain a débuté en 2012 pour une durée de 5 ans. Il est construit en 5 lots et 15 tâches, et fait intervenir différents partenaires scientifiques (Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux, Laboratoire Sol Environnement, Institut National de Recherche Agronomique,...) et partenaires industriels (Sita FD, Sea Marconi, les Chanvriers de l'est et Valterra). Ce projet est financé par la Région Lorraine (AME) et par les Fonds Européens de Développement Régional (FEDER).

Mon stage au sein de Valterra Dépollution Réhabilitation s'inscrit dans la première tâche du programme LORVER. Le travail effectué durant le stage s'est articulé dans un premier temps sur le recensement des sites délaissés en Lorraine, et dans un second temps sur le recensement des sous-produits industriels pouvant intégrer le projet ainsi que l'étude de leurs caractéristiques.

Le rapport présente en première partie la société Valterra Environnement et en deuxième partie une synthèse bibliographique sur les caractéristiques des sols de friches et sur les techniques de réhabilitation habituelle. La troisième partie présente enfin le recensement des sites, ainsi que celui des matériaux délaissés avec leurs caractéristiques intrinsèques.



## II. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

### 1. Présentation de Valterra Environnement

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2011, le groupe TVD (Traitement Valorisation Décontamination) est devenu Valterra Environnement. Valterra Environnement est divisé en trois filiales autonomes :

- **Valterra Matière Organique (VMO)** : intervient notamment dans les études agronomiques, l'épandage et le compostage des boues d'épuration industrielles et urbaines.
- **Valterra Eau Etude Conseil (V2EC)** : réalise des études d'assainissement collectif et non collectif.
- **Valterra Dépollution/Réhabilitation (VDR)** : cherche des solutions de traitements de sols, nappes, sédiments et effluents pollués. VDR intervient également dans la requalification de sites dégradés.

Ces trois entités sont représentées dans un organigramme placé en annexe 1.

L'ensemble du groupe Valterra Environnement compte une cinquantaine d'employés, répartis sur plusieurs agences en France : Vandoeuvre-lès-Nancy (54), Montrouge (92), Lezay (79), Chabons (38) et Etival-Clairefontaine (88), et sur plusieurs sites de production de compost.

### 2. Le pôle Recherche et Développement

Valterra Dépollution Réhabilitation se démarque de ses concurrents grâce à son pôle de recherche et de développement (pôle R&D). Valterra Environnement dédie une partie de son chiffre d'affaire à ses activités de recherche afin de mettre en place des techniques de dépollution et de réhabilitation innovantes.

Par ailleurs Valterra Dépollution Réhabilitation intervient dans des programmes de recherche et développement en collaboration avec différentes entités de recherche public (INPL, INRA et BRGM) et des industriels (Total, Solvay, AMREF).

Valterra Dépollution Réhabilitation a développé 3 brevets dans le domaine de la gestion des sites et sols pollués :

- Procédé de construction de sols sur des sites dégradés (en collaboration avec l'INRA et l'INPL).
- Procédé de traitement de nappe (brevet commun avec le groupe Total SA).
- Valterra Mix (exemple : **Mix2000**<sup>®</sup>)

Le groupe Valterra détient également une licence d'utilisation exclusive d'un procédé de stabilisation physico-chimique du Chrome VI dans les sols, **Chromstab**<sup>®</sup> (développé par le BRGM) ; ainsi qu'un procédé de stabilisation des pollutions métalliques dans les sols et les sédiments, **Novosol**<sup>®</sup> (développé par Solvay et Sérrip).

Depuis 2012 Valterra Dépollution Réhabilitation est chef de file et partenaire du programme LORVER. Valterra intervient dans le cadre de la construction de sol, une parcelle ayant déjà été réhabilitée par ce procédé à des fins paysagères.

Le procédé de construction de sol implique l'utilisation de matériaux délaissés pour reconstituer un sol fonctionnel. Les matériaux concernés sont notamment les sous-produits générés par les activités industrielles en Lorraine, qui seront recensés dans le présent rapport.

### III. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

#### 1. Introduction

Cette synthèse bibliographique sera axée dans un premier temps sur les caractéristiques spécifiques (chimiques, physiques, biologiques) des sites délaissés qui diffèrent des sols « classiques ».

Dans un second temps les techniques de réhabilitation couramment pratiquées seront développées. Les projets de réaménagements et de gestion des sites délaissés dépendent des types de polluants retrouvés sur les sites, de leurs localisations et des critères économiques.

#### 2. Définitions et caractéristiques des sites délaissés

##### a) Définitions

D'après le dictionnaire de l'environnement, un site délaissé est un site laissé à l'abandon. Les sites délaissés sont aussi connus sous le nom de friches industrielles.

D'après l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), une friche est « *un terrain bâti ou non qui peut être pollué. Sa fonction initiale ayant cessé, le site de taille très variable demeure aujourd'hui abandonné, voire délabré. Sa pollution réelle ou perçue rend d'autant plus difficile son réaménagement. En conséquence, afin que la friche puisse être aménagée, une intervention préalable sera nécessaire en vue du respect de certaines normes réglementaires et juridiques.* »

Les friches industrielles sont des terrains sur lesquels subsistent des installations industrielles à l'abandon (Journal Officiel du 16/12/1998).

Les friches industrielles sont apparues dans les pays occidentaux avec le développement de l'industrie. Le nombre de friches a fortement augmenté ces dernières années suite à l'arrêt des activités industrielles, ou à cause de leur délocalisation. Les friches industrielles ont souvent un impact négatif pour l'environnement (présence de polluants), et pour le paysage.

Dans la littérature, les friches industrielles sont appelées en anglais « brownfields sites ». D'après Page et Berger (2006), une friche industrielle est un terrain qui a déjà été occupé par une activité quelconque, et qui est actuellement partiellement ou totalement inutilisé. Ces terrains peuvent être potentiellement contaminés, ils ne sont donc pas disponibles pour une utilisation immédiate, sans une intervention de dépollution.

La présence de polluants sur ces sites complique les travaux de réaménagement ou la réutilisation de ces derniers.

La réhabilitation des friches industrielles est un sujet important car les sols de ces sites exercent une forte influence sur la santé humaine, sur les plantes, sur les organismes du sol, ainsi que sur les eaux infiltrées (Morel et al, 2005).

## b) Caractéristiques des sols de sites délaissés

Les sols des sites délaissés sont des sols industriels urbanisés ou anthropisés. Ces sols diffèrent des sols naturels par leurs compositions et leurs propriétés (Séré, 2007).

Les sols urbains qui ont été délaissés sont constitués d'un mélange de sols « jeunes » et de sols « vieux » (Schleuß et al, 1998). De plus ces sols présentent une forte hétérogénéité qui s'explique par le fait que la terre « naturelle » est mélangée par endroit avec certains déchets et à d'autres endroits avec d'autres types de déchets (Schleuß et al, 1998). Ce phénomène d'hétérogénéité spatiale due à l'apport exogène de matériel avec le sol présent a aussi été observé par Baumgartl en 1998 et Morel & al en 2005. L'hétérogénéité de ces milieux est aussi due à la présence de réseaux et d'ouvrages souterrains, de fondations profondes, de dépôts de déchets, de sous-produits de l'activité industrielle et de pollutions éventuelles (Schwartz et al, 2001).

En milieux fortement anthropisés, les transformations multiples des sols s'accompagnent éventuellement de superposition des usages dans le temps et rendent ainsi imperceptibles les évolutions pédologiques naturelles. L'homme doit alors être considéré comme le facteur prédominant, voire unique de la formation de ce type de sol (Schwartz et al, 2001).

- Caractéristiques chimiques :

Les propriétés chimiques des sols de friches industrielles dépendent étroitement des activités qui s'y déroulent. Ces sols présentent donc souvent des déficits en éléments majeurs comme l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) (Bradshaw, 1983 ; Vetterlein et Hüttl, 1999 ; cités dans Séré, 2007). Ces déficits provoquent des carences nutritives pour les espèces végétales (Hiller, 2000). Les faibles teneurs en nutriments dépendent à la fois des teneurs en matière organique et de la capacité d'échange cationique (CEC) qui reflète le potentiel d'un sol à fixer les cations échangeables (Séré, 2007).

Les sols de friches industrielles sont aussi caractérisés par des valeurs de pH très variables. Par exemple, les anciens sites miniers ont des sols plutôt acides ce qui peut réduire la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes (Bradshaw, 1983). Il est important de noter ici que les sites délaissés présentent des teneurs en polluants. Ces polluants peuvent être de différentes natures :

- *organiques* : les hydrocarbures issus notamment des activités de cokerie,
- *inorganiques* : les métaux issus des activités sidérurgiques. Les métaux les plus souvent retrouvés dans les sols sont le Cadmium (Cd), le Plomb (Pb), le Zinc (Zn) et le Chrome (Cr). Ils peuvent provoquer des problèmes de toxicité pour les plantes et donc limiter leur développement (Shanker et al, 2005).

- Caractéristiques physiques :

Les sols des sites délaissés présentent des valeurs de densités apparentes de moins de 0,5 à plus de 1,6 (Morel et al, 2005). Ces valeurs dépendent des matériaux présents dans les sols. Les valeurs de densité élevée s'explique notamment par la présence de zone de scellement (béton, matériaux compactés) en surface ou en profondeur (Baumgartl, 1998). La présence de ces zones bétonnées ou compactées provoque une perturbation pour la circulation de l'eau dans le sol, ainsi qu'un obstacle à l'ancrage et la pénétration des racines (Hiller, 2000).

Les sols de ces sites délaissés sont fortement dégradés d'un point de vue pédologique. En effet ces sols présentent un déficit important d'agrégation, ce sont les structures massives ou au contraire particulières qui dominent ces sols (Séré, 2007). L'étude de la texture de ces sols a permis de mettre en évidence les faibles teneurs en argiles et les fortes teneurs en sables, par comparaison avec des sols

« naturels » (Lefort et al, 2006, cité dans Séré, 2007). La structure est donc hétérogène et il y a potentiellement un manque de cohésion.

Ce défaut de structure peut conduire à deux problèmes différents :

- ➔ Une grande porosité avec un réseau de macropores bien établi conduisant ainsi à une forte conductivité hydraulique, provoquant une capacité de rétention en eau faible (Hiller, 2000).
- ➔ A l'inverse la quantité de pores peut être très limitée générant ainsi des phénomènes d'hydromorphie ou de ruissellement.

- Caractéristiques biologiques :

Les deux paramètres biologiques qui permettent couramment de juger un sol sont le développement de la végétation et l'activité des organismes du sol. Ces deux paramètres sont étroitement liés à la qualité physique et chimique des sols délaissés (Bone & al, 2010).

Les sites délaissés se caractérisent notamment par un défaut plus ou moins prononcé de végétalisation (Vetterlein et Hütthl, 1999 ; cités dans Séré, 2007), la végétation est souvent rase ou présente sous forme d'îlots.

L'activité de la microfaune et celle de la macrofaune peut être perturbée par la présence de substances toxiques dans le sol, par des carences en nutriments (Lorenz & Kandeler, 2005) et par un faible volume de sol exploitable (10 à 20 cm).

### 3. Réhabilitation de sites

D'après le dictionnaire de l'environnement, la réhabilitation est un ensemble d'opérations (réaménagement, traitement de dépollution, confinement, résorption des déchets) effectuées en vue de rendre un site apte à un usage donné.

Il existe une confusion dans l'utilisation des termes « réhabilitation », « restauration » et « remise en état ». La réhabilitation signifie le rétablissement dans le premier état, la restauration exprime l'action de remettre en bon état un système dégradé en respectant l'état initial et la remise en état correspond à la réparation d'un système dégradé (Séré, 2007).

La politique de réhabilitation des sites et sols pollués a notamment été définie par les textes du 8 février 2007. Ainsi le niveau de traitement d'un site pollué dépend à la fois de son impact sur l'homme et l'environnement et de l'usage auquel il est destiné (Circulaire du 8 février 2007).

Un projet de réhabilitation d'une friche industrielle passe par 3 étapes que sont (Costes et Druelle, 1997) :

- L'étude des sols : qui a pour but de connaître l'état de pollution de ces sols, ainsi que le contexte environnemental.
- L'évaluation des risques : qui a pour objectif d'évaluer l'impact des polluants retrouvés, sur l'homme et l'environnement. Cette évaluation est aussi un outil d'aide à la décision sur le devenir du site.
- Le traitement du site (si nécessaire) : le traitement est fonction des résultats de l'évaluation des risques et du devenir du site.

On peut citer plusieurs exemples de réhabilitation de friches industrielles.

Dans le sud de la France, à Salsigne, au nord de Carcassonne, un ancien site minier dont l'activité a cessé en 1999 a été réhabilité. Ce site, pollué par de l'arsenic, a fait l'objet d'une réhabilitation par revégétalisation (Revue Travaux n°831, juin 2006). Sur ce site, les sols les plus pollués ont été confinés.

Pour cela il y a tout d'abord eu une étape d'excavation des terres polluées, puis l'installation d'une géomembrane imperméable afin d'éviter toute propagation de polluants. Suite à cela, le site a été revégétalisé par l'installation d'un couvert végétal dense et adapté afin d'éviter l'érosion par l'eau et le vent (phytostabilisation). Cette stabilisation du site par le couvert végétal n'est qu'une étape avant une potentielle réutilisation.

Le deuxième exemple de réhabilitation de friche concerne un site du nord de la France, situé à Escaudain, délaissé depuis 1985 (Les fiches développement durable de l'APVF, mai 2010). Le site a tout d'abord été dépollué puis remis en état afin d'éviter tous les risques liés à la présence de polluants. En effet le projet de réhabilitation est basé sur l'implantation de logements, d'une médiathèque, d'aménagements urbains. Dans ce cas de réhabilitation immobilière, l'étape de dépollution doit être efficace.

En Grande-Bretagne, à Markham Vales, un ancien site minier a fait l'objet d'une réhabilitation. Ce site comprend plus de 10 millions de m<sup>3</sup> de dépôts en surface de déchets miniers chimiquement instables et s'érodant (ADEME et ministère du développement durable). Dans ce cas, il a été décidé une combinaison entre le recyclage des déchets organiques et la production de biomasse pour générer une énergie renouvelable. Ce projet est donc basé sur une phytostabilisation des déchets miniers, couplée à une production de biomasse végétale.

Entre 2002 et 2005 le programme RESCUE a regroupé 14 partenaires de 4 pays européens (Allemagne, France, Pologne et Royaume-Uni) afin de proposer des solutions pour la reconversion des friches industrielles. Ce projet avait pour but de fournir un catalogue des meilleures pratiques pour l'aménagement sur les sites et sols pollués.

Le projet LORVER se présente comme un moyen de réhabiliter des sites dégradés, sans pour autant nécessiter une étape de traitement des sites.

## IV. ETUDE DE CAS

### 1. Qu'est-ce que la construction de sol ?

L'étape de construction de sol constitue la première étape de la filière LORVER. Ce procédé a pour but de construire un sol (constitué de plusieurs horizons) sur le site délaissé, sol qui deviendra le support d'un couvert végétal. La biomasse produite sera par la suite valorisée en fibres et en énergie (finalité de la filière LORVER). Les sols sont construits à partir de sous-produits délaissés, comme les sous-produits papetiers, les cendres volantes, les déchets verts, les déchets de démolition du BTP.

Le sol construit devra répondre aux exigences agronomiques, hydriques,... du couvert végétal.

### 2. Recensement des sites délaissés :

#### a) Méthodologie

Pour réaliser le recensement des sites délaissés lorrains nous avons sollicité l'Etablissement Public Foncier de Lorraine. Nous visons à collecter une liste de friches qui pourraient accueillir la filière



LORVER selon certains critères, accompagnées de quelques caractéristiques de ces sites. Ces critères concernent la topographie, les sites doivent être relativement plats pour être cultivés, et une surface d'au moins 5 ha afin d'avoir des rendements suffisants.

En parallèle, des recherches ont été effectuées sur la base de données BASIAS (Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Service). Les critères de sélection des sites sont les mêmes, c'est-à-dire que les sites doivent faire au minimum 5 ha. Les secteurs d'activité des sites sélectionnés sont divers, ce sont des anciennes carrières, des crassiers, des sablières ou des anciennes usines. Les sites comme les anciennes stations essences, les boucheries, les activités de menuiseries ont été exclues du périmètre de recherche du fait de leur surface et de la présence de bâtiments, incompatible avec l'implantation de la filière LORVER. Les informations recueillies à partir de la base de données BASIAS ont ensuite été exportées dans un fichier excel afin d'être traitées plus facilement.

## b) Résultats du recensement

### ➤ Informations transmises par EPFL :

A l'heure actuelle, l'EPFL a transmis des informations sur 5 sites délaissés en Lorraine. Ces sites se trouvent dans l'ancien bassin sidérurgique. Les caractéristiques et les situations de deux de ces sites sont bien détaillées. En revanche pour les trois autres sites seuls leur localisation est renseignée.

**Site 1** : Ce site est un ancien bassin à boues (cf Figure 1). La superficie du site est comprise entre 2 et 5 ha. Ce site est une zone répertoriée comme sensible et à enjeux en terme de biodiversité.

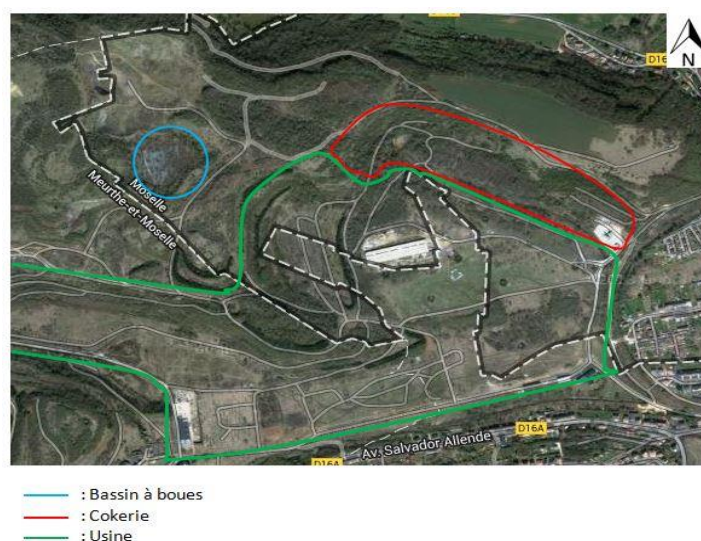


Figure 1 : Vue aérienne du site 1

**Site 2** : Ce site est une ancienne gare de triage délaissée par Réseau Ferré de France (RFF) d'une superficie de 18 ha (cf Figure 2).



Figure 2 : Photographie de la friche du site 2

Cette friche présente quelques contraintes techniques. En effet cette zone est marquée par un réseau souterrain assez complexe de gazoducs et de réseau électrique.

En 2011, l'EPFL a fait réaliser une étude de diagnostic et d'aménagement du site. Cette étude a permis de mettre en évidence la pollution du sol par des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), des hydrocarbures et des métaux.

**Site 3 :** Ce site se trouve sur une ancienne cokerie.

**Site 4 :** Cette friche se trouve à proximité d'un crassier.

**Site 5 :** Ces site se situe à proximité d'un crassier et d'un bassin à boue.

➤ Informations issues de BASIAS :

L'utilisation de la base de données BASIAS permet d'avoir un recensement exhaustif des sites délaissés lorrains. Cependant la base de données ne fournit pas d'informations très détaillées.

Les informations que cette base de données fournit sont les suivantes :

- Nom de la commune concernée,
- Raison sociale de l'ancienne entreprise présente sur le site, et son nom usuel,
- Etat de connaissance : savoir si le site est inventorié ou non,
- Etat d'occupation du site : savoir si l'activité a cessé ou non,
- Activités effectuées sur le site,
- Coordonnées GPS,
- Superficie,
- Réaménagement du site ou non (type, projet),
- Statut du site (en friche ou non).

Cette base de données a permis de recenser un nombre très important de sites. En effet la région Lorraine comprend 1100 sites, d'une surface minimum de 5 ha et dont les activités sont celles citées dans la partie méthodologie. La répartition géographique de ces sites est présentée dans le Tableau 1.

**Tableau 1 : Répartition géographique des sites délaissés en Lorraine**

Départements	Nombres de sites délaissés
Meurthe et Moselle	193
Meuse	289
Moselle	569
Vosges	50

La Moselle présente la quantité de sites délaissés la plus importante, cela s'explique par le fait que ce département a concentré le plus d'industries comme la sidérurgie ou l'industrie minière.

Certains de ces sites sont partiellement réaménagés, d'autres non, mais pour la plupart des sites, l'information sur un possible réaménagement n'est pas renseignée dans la base de données.

La base de donnée BASIAS ne renseigne pas sur la présence de polluants, ni sur la topographie des sites. Ces deux facteurs présentent un intérêt pour l'implantation de projet LORVER. Afin d'avoir plus d'informations sur ces sites, il est nécessaire d'effectuer d'autres recherches sur ces sites et de faire des visites de terrain.

### 3. Recensement des sous-produits :

Dans le cadre du programme LORVER, et de l'étape de construction de sol, un travail de recensement des gisements de sous-produits lorrains a été effectué. On appelle sous-produits, les déchets industriels produits par l'industrie, le commerce, l'artisanat et les transports (ADEME). Les déchets industriels se divisent en deux catégories : les recyclables et les destructibles. Dans le cadre du programme LORVER se sont les déchets industriels recyclables et inertes qui sont intéressants. La terminologie de sous-produits est privilégiée pour le rapport.

Pour cela, des entreprises productrices de déchets dans différents secteurs d'activités ont été contactées par téléphone ou par mail afin d'obtenir un large panel de matériaux délaissés.

Le projet LORVER étant lorrain, les industries contactées se situent dans la région. Seules sept entreprises se trouvant dans des départements limitrophes (Haute-Marne, Haut-Rhin) ont été contactées.

Lors de la prise de contact avec les industriels, les informations suivantes ont été demandées :

- types de sous-produits qu'ils génèrent ou doivent gérer et le code déchet ;
- quantités de sous-produits ;
- filières de gestion ou de valorisation des sous-produits ;
- coût de gestion des sous-produits ;
- résultats d'analyses des sous-produits ;
- demande de mise à disposition des matériaux pour le projet.

Ce recensement a permis de mettre en évidence les multiples catégories de déchets, minéraux et organiques, qu'il est possible de trouver dans la Région Lorraine.

Suite au recensement, 8 types de matériaux délaissés ont été distingués et sont présentés ci-dessous.

#### ➤ Sous-produits papetiers :

Le choix des sous-produits papetiers s'est fait naturellement car c'est un matériau bien connu de la société Valterra qui réalise des épandages agricoles de boues de papeterie depuis 20 ans. Par ailleurs Valterra a réhabilité un site délaissé (ancienne cokerie) en construisant un sol, à partir de sous-produits papetiers.

Dans la région Lorraine, 11 papeteries ont été contactées dont sept ont transmis les renseignements souhaités.

A partir des données recueillies auprès des papeteries il est possible de déterminer que le gisement lorrain en boue de papeterie est d'environ **52 000 t/an**.

Les voies de valorisation de ces sous-produits sont la briqueterie, le compostage, l'épandage agricole et l'incinération.

#### ➤ Boues d'industries agro-alimentaires (IAA) :

Les industries agro-alimentaires génèrent d'importantes quantités d'effluents provenant du lavage des matières premières ou du lavage du matériel de fabrication (cuves, matériels de cuisson) (Agreste Primeur, juillet 2010). Ces boues sont souvent riches en matières organiques. Les plus grandes industries possèdent leur station d'épuration pour traiter leurs effluents.



Les plus grandes industries agroalimentaires en termes de salariés (au moins 50 personnes) ont été contactées. Pour cela une liste issue de la DRAAF Lorraine (Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de le Forêt) a été utilisée afin d'obtenir les coordonnées des industries agro-alimentaire de 50 salariés et plus de la région.

23 entreprises dans différents secteurs de l'agro-alimentaire comme les fromageries, les compagnies laitières, les entreprises de transformation et conservation de viande de boucherie, les boulangeries industrielles ont ainsi été sélectionnées.

Les informations recueillies proviennent exclusivement des industries laitières. Ces industries représentent un gisement de boues de **27 000 m<sup>3</sup>/an**. Quelques industries n'ont pas souhaité communiquer pour des raisons de confidentialité.

Les voies de valorisation de ces sous-produits sont pour la majorité l'épandage agricole. Il y a aussi le compostage et la méthanisation.

➤ Boues industrielles autres :

Afin d'élargir les connaissances concernant les boues issues de process industriels, autres que les IAA nous avons contacté des entreprises issues de l'industrie chimique, textile, et une entreprise de recyclage de plastique.

Ces industries représentent un gisement d'environ **5 000 t/an** de boues.

Les voies de valorisation de ces sous-produits sont l'épandage agricole, le compostage, le recyclage dans le BTP et le stockage en bassin de décantation.

Un autre type de boues industrielles a également été recensé : les kieselguhrs. Ce sont les résidus de filtration de la bière ou du vin, déshydratés par décantation.

Pour ce type de sous-produit, une brasserie a été contactée avec un gisement de **350 t/an** de boues. Ce gisement est très faible. Habituellement les kieselguhrs sont valorisés par compostage.

➤ Cendres volantes :

Les cendres volantes sont des résidus de procédé thermique ; plus précisément, ce sont les produits de la combustion de charbon dans les centrales thermiques. Elles sont obtenues par une séparation électrostatique ou une précipitation mécanique des fumées de combustion (Fabien Ayrinhac, juin 2005).

Les cendres volantes de papeterie sont issues de l'incinération des boues de désencrage (Pauline Segui, juin 2011). Pour le recensement de ce type de sous-produits, une papeterie, une soudeuse et deux centrales thermiques ont été contactées.

La quantité de cendres volantes recensée est de **123 000 t/an**. Ces sous-produits sont valorisés en recyclage dans le BTP et en technique routière.

➤ Sables de fonderie :

L'industrie de la fonderie utilise des sables pour la fabrication de ses pièces, les sables constituant les moules et les noyaux (ADEME). Les sables de fonderie sont régénérés, c'est-à-dire réutilisés plusieurs fois, mais une fois qu'ils ne peuvent plus être recyclés ils sont considérés comme déchets. Pour ces sous-produits les fonderies de Lorraine et deux fonderies en Haute-Marne ont été contactées. Les différentes fonderies lorraines contactées ne génèrent pas de sables. Cela s'explique par le fait que leur procédé de fabrication n'utilise pas ce type de matériau. En revanche, les deux fonderies contactées en Haute-Marne génèrent **15 000 t/an** de sables et possèdent des crassiers représentant

un stock d'environ 900 000 tonnes. Les sables de fonderie sont recyclés en technique routière ou envoyés en cimenterie.

➤ Gravats/déchets du Bâtiment et Travaux Publics (BTP) :

Les gravats et déchets du BTP sont des débris de pierre, de plâtre ou d'autres matériaux issus de la démolition d'un bâtiment. Les chantiers de démolition génèrent en général des mélanges de déchets, ce qui rend leur composition hétérogène. Ces compositions sont aussi très variables d'un chantier à l'autre.

Les entreprises ou les plateformes qui gèrent les déchets du BTP et les gravats ont été contactées. L'ensemble des entreprises contactées représentent un gisement de **7 000 t/an**. Ces sous-produits sont valorisés en remblaiement ou broyés avant d'être réutilisés dans le BTP.

➤ Sédiments de dragage :

Les sédiments de dragage ont été sélectionnés dans le recensement car ils peuvent représenter un gisement important de matériaux à valoriser et présentent des caractéristiques physico-chimiques intéressantes.

En France, environ 25 à 45 millions de tonnes de sédiments (matière sèche) sont annuellement dragués pour l'entretien des ports et rejetés dans le milieu marin. Les volumes de sédiments déplacés les plus importants proviennent des grands ports (Rouen, Nantes-Saint-Nazaire et Bordeaux) [Foucher, 2005]. Le dragage de l'ensemble des fleuves et rivières de France permet d'extraire 6 millions de mètres cube par an [DREAL Nord Pas de Calais]. Dans la région Nord-Est, le gisement est de **50 000 m<sup>3</sup>/an** (communication personnelle). Cependant l'approvisionnement en sédiments dragués n'est pas régulier.

Ces sous-produits sont habituellement stockés.

➤ Déchets verts :

Les déchets verts sont les résidus d'origine végétale issus des activités de jardinage et d'entretien des espaces verts (tontes, branches, élagage, taille d'arbres). Ils peuvent provenir des particuliers et aussi des services techniques des communes. Les déchets verts qui seront potentiellement installés dans les parcelles peuvent comprendre des bois raméaux fragmentés (BRF). Selon Gilles Lemieux de l'Université de Laval au Québec, les BRF sont les bois verts (diamètre inférieur à 7 cm), dépourvu de feuilles, récolté en sève dormante et broyé en copeaux de 2 à 5 cm<sup>3</sup>.

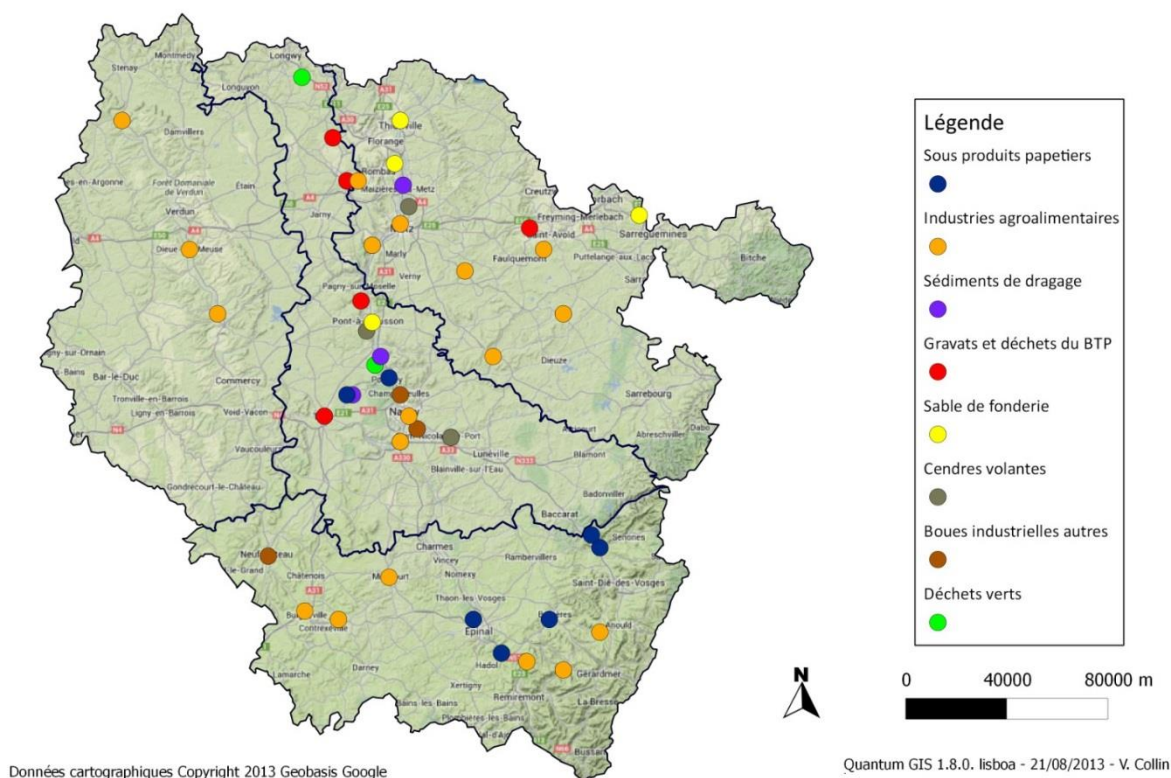
Pour ce type de sous-produits, nous avons contacté des plateformes de stockage de déchets ainsi que des déchetteries privées. La quantité de ce type de matériaux disponible est d'environ **7 500 t/an**, cependant le recensement est non exhaustif. Les déchets verts sont valorisés en compostage.

Le Tableau 2 synthétise l'ensemble des sous-produits recensés associé à leurs quantités :

**Tableau 2 : Synthèse des gisements de sous-produits délaissés lorrains**

Matériaux recensés	
Sous-produits papetiers	52 000 t/an
Boues d'industries Agro-Alimentaire	27 000 m <sup>3</sup> /an
Boues industrielles autres	5 000 t/an
Kieselguhrs	350 t/an
Cendres volantes	120 000 t/an
Sables de fonderie	15 000 t/an
Gravats/déchets du BTP	7 000 t/an
Sédiments de dragage	50 000 m <sup>3</sup> /an
Déchets verts	7 500 t/an

La Carte 1 présente la localisation des gisements pour chaque type de sous-produits recensés.


**Carte 1 : localisation des gisements de sous-produits en Lorraine**

## 4. Caractéristiques des différents sous-produits recensés :

### a) Les caractéristiques étudiées

Suite au recensement des sous-produits délaissés, une étape de caractérisation est indispensable afin de connaître les propriétés physico-chimiques de ces sous-produits. Ces caractérisations ont été possibles grâce à des données issues de la bibliographie et d'analyses fournies directement par les entreprises interrogées.

Dans le cadre du programme LORVER un rapport complet sur les paramètres physiques et chimiques pour chaque matériau, ainsi que leur dangerosité (teneur en polluants) a été rédigé lors du stage.

Les paramètres physiques étudiés sont :

- **la portance** est l'aptitude d'un matériau à supporter des charges. La construction de sol à partir de ces matériaux délaissés étant une étape du projet, les matériaux choisis devront avoir une portance suffisante car ils seront support de végétation, impliquant l'utilisation d'engins. La siccité des matériaux est un élément qui influence la portance, elle sera donc précisée pour chaque sous-produit.
- **la perméabilité à l'eau** est la propriété d'un matériau à se laisser traverser par l'eau. Plus il est perméable, plus l'eau s'infiltré. Ce paramètre est important car les sous-produits sélectionnés visant à être support de végétation, leur perméabilité devra être suffisante afin d'avoir une nutrition hydrique satisfaisante pour les plantes. La texture et la structure des sous-produits influencent la perméabilité.
- **la granulométrie** est la distribution des tailles des particules des matériaux. La granulométrie influence la porosité, qui elle-même influence les flux d'eau interstitiels. La granulométrie doit donc être moyenne (particules de taille millimétrique à centimétrique) pour permettre un bon flux d'eau pour les plantes.

De plus pour construire un sol à partir de sous-produits délaissés, la répartition granulométrique doit être relativement homogène.

Les paramètres chimiques étudiés sont les suivants :

- **pH** : le pH des matériaux qui seront utilisés devront être compris entre 6 et 8. En effet ce sont les valeurs de pH pour lesquels la croissance végétale est favorable.
- **Le  $\text{CaCO}_3$**  qui est le carbonate de calcium est un élément important pour la nutrition des plantes et des microorganismes. Il peut aussi permettre de tamponner le pH du sol construit.
- **$\text{N}_{\text{tot}}$**  : c'est le taux d'azote total présent dans les matériaux étudiés. L'azote est important puisque c'est un fertilisant pour les plantes. Si les matériaux utilisés pour le projet sont riches en azote total, il n'y aura pas nécessairement besoin d'en apporter par la suite. La forme de l'azote est aussi importante.
- **$\text{C}_{\text{organique}}$**  : le carbone organique comme l'azote total a un rôle dans la nutrition des plantes. C'est pourquoi ce paramètre est étudié. Les matériaux support de végétation doivent subvenir aux besoins organiques des végétaux.
- **Phosphore assimilable** : tout comme l'azote, c'est un élément essentiel pour la croissance végétale. Son taux doit être optimal dans les matériaux utilisés.

L'étude de la dangerosité a pour but de vérifier les teneurs en métaux et en polluants organiques (HAP) dans les matériaux recensés.

Pour les matériaux sous forme de boue, l'étude de la dangerosité sera orientée sur la vérification de la conformité à l'épandage agricole de ces boues (d'après l'arrêté du 8/01/98). Dans ce cas les analyses se font sur les échantillons bruts. Pour les sous-produits autres que les boues, les teneurs en polluants sont comparées à l'arrêté relatif aux déchets inertes (arrêté du 28/10/2010) et les analyses sont effectuées majoritairement sur les éluats.

Les analyses de dangerosité des matériaux sont importantes car les sous-produits délaissés, utilisés pour la filière LORVER ne doivent pas impacter l'environnement dans lequel ils seront installés.

## b) Présentations des valeurs des deux arrêtés de référence

Les valeurs seuils de l'arrêté du 8/01/98 relatif à l'épandage des boues, et celle de l'arrêté du 28/10/2010 relatif aux déchets inertes sont respectivement présentées dans le Tableau 3 et dans le Tableau 4.

Tableau 3 : Arrêté du 8/01/98 relatif à l'épandage agricole

Elements Traces Metalliques		Teneurs limites dans les boues destinées à l'épandage (arrêté du 8/01/98)
Cadmium	mg/kg MS	10
Chrome		1000
Cuivre		1000
Mercure		10
Nickel		200
Plomb		800
Zinc		3000
Cu+Cr+Ni+Zn		4000
Composés Traces Organiques		
Somme PCB	mg/kg MS	0,8
Fluoranthène		5
Benzo(b)fluoranthène		2,5
Benzo(a)pyrène		2

Tableau 4 : Arrêté du 28/10/2010 relatif aux déchets inertes

		stockage pour déchets inertes (arrêté 28/10/ 2010)
<b>Contenu total</b>		
COT	mg/kg de MS	30000
Somme BTEX		6
somme des 7 PCB		1
Hydrocarbures C10-C40		500
somme des 16 HAP		50
<b>Test de lixiviation</b>		
Arsenic	mg/kg de MS	0,5
Baryum		20
Cadmium		0,04
Chrome		0,5
Cuivre		2
Mercure		0,01
Molybdène		0,5
Nickel		0,4
Plomb		0,5
Antimoine		0,06
Selenium		0,1
Zinc		4
Chlorures		800
Fluorures		10
Sulfates		1000
Indice phénols		1
COT sur éluat	500	
Fraction soluble	4000	

## c) Caractéristiques des matériaux recensés

Pour des raisons de synthèse, toutes les caractéristiques ne seront pas détaillées dans ce rapport. Seuls la portance (propriété physique), le pH (propriété chimique) et la dangerosité sont exposés.

### ➤ Sous-produits papetiers :

- **Portance** : les résultats d'analyses présentent un taux de matière sèche d'environ 50%. Cela signifie que ce matériau peut être qualifié de peltable. Sa portance a tendance à être faible.
- **pH** : Les valeurs de pH obtenues directement auprès des papeteries font état de pH variables, allant de 7 jusqu'à 9.5.

La valeur du pH dépend du type de boue considéré et est mesurée sur le contenu total :

- ➔ Pour les boues de désencrage (boues issues de la séparation de l'encre des fibres de papiers et de cartons) le pH est de l'ordre de 8.
- ➔ Pour les boues primaires (boues issues d'une simple décantation), le pH est plutôt aux alentours de 7.

- Un mélange boues primaires/boues biologiques aura un pH compris entre 7 et 8. [ADEME, 2011]. Les boues biologiques sont issues des traitements biologiques et sont aussi appelées boues secondaires.
- **Dangerosité** : Les teneurs en métaux lourds dans les boues primaires sont inférieures à la limite de l'arrêté du 8/01/98 destiné à l'épandage.  
Pour des mélanges boue biologique/boue primaire, les données issues de la bibliographie mettent en évidence la présence de polluants à l'état de trace (HAP, cuivre, plomb, nickel, zinc) mais toujours inférieures aux valeurs de l'arrêté du 8/01/98 relatif à l'épandage agricole. [G.Séré].
    - **Boues d'industries agro-alimentaires (IAA) :**  
Les caractéristiques détaillées ci-dessous sont celles des industries laitières car ce sont les seules à nous avoir communiqué des données.
  - **Portance** : La siccité est très faible, de l'ordre de 4%, les boues sont liquides. La portance a tendance à être nulle.
  - **pH** : Le pH des effluents de laiterie peut varier de 1,5 à 13,4 en fonction de l'utilisation de d'acide nitrique ou de soude pour le lavage des lignes de production. [Hamdani.A and al, 2004]. Sur une trentaine de mesures de pH effectuées sur les effluents laitiers la moyenne est de pH = 9.  
Sans ajout d'acides ou de bases, les effluents ont un pH de l'ordre de 7.5. [Castillo De Campins.S, 2005].  
Les résultats d'analyses reçus des industries laitières de Lorraine concordent avec les données bibliographiques.
  - **Dangerosité** : Les teneurs en métaux sont conformes à l'arrêté relatif à l'épandage.  
Concernant les polluants organiques (HAP, PCB) les analyses fournies par les industriels montrent des teneurs proches de 0 (< 0.02 mg/kg MS).
    - **Boues industrielles autres : les kieselguhrs**
  - **Portance** : Les résultats d'analyses sur ce type de matériaux indiquent une siccité de 25%. Les kieselguhrs sont pâteux et présenteraient une portance faible. Ils sont donc difficilement pelletable et peu propices au procédé de construction de sol.
  - **pH** : Les résultats d'analyses de ces matériaux donnent des valeurs de pH de l'ordre de 5.5. Ils sont donc légèrement acides.
  - **Dangerosité** : Les teneurs en polluants dans les kieselguhrs sont inférieures aux seuils fixés par l'arrêté du 8/01/98 destiné à l'épandage de ces sous-produits.
    - **Cendres volantes :**
  - **Portance** : Les cendres volantes étant hydrophiles, elles peuvent absorber des quantités d'eau assez importantes (jusqu'à 20 à 25%) sans perdre leur stabilité mécanique. En revanche, dès lors que la teneur en eau atteint 40%, les cendres volantes deviennent des boues liquides ce qui réduit leur résistance et accroît leur déformabilité. [M.Afechkar et M.Nahhass].  
Les cendres silico-calciques sont issues de la combustion du charbon dans les centrales thermiques. Elles peuvent être utilisées pour traiter et stabiliser des sols en vue d'obtenir une portance immédiate pour la circulation des engins. [Guides d'utilisation des matériaux lorrains en technique routière]. Les cendres silico-alumineuses proviennent aussi de la combustion du charbon dans les centrales thermiques. En usage routier, ces cendres sont toujours utilisées humides. Ces deux types de cendres diffèrent par leurs compositions chimiques et minéralogiques.



- **pH** : Des analyses réalisées ont révélé que le pH des lixiviats de cendres de papeterie est de 12.4. Le pH est donc très alcalin. Cela peut s'expliquer par la présence de CaO dans les cendres. [Pauline SEGUI, 2011].

Les cendres volantes silico-alumineuses et les cendres volantes silico-calciques ont respectivement des pH de l'ordre de 10 et 11. Ces cendres sont donc elles aussi très alcalines. [Guides d'utilisation des matériaux lorrains en technique routière].

- **Dangerosité** : Les polluants retrouvés dans les cendres dépendent des matériaux qui sont incinérés au départ. Les cendres volantes de papeterie (issues de la combustion des boues de papeterie) peuvent contenir certains polluants métalliques qui sont susceptibles d'être relargués. Les analyses issues de la bibliographie montrent que le taux de baryum est supérieur au seuil des déchets non-dangereux. Le plomb a aussi des teneurs dépassant le seuil pour les déchets inertes. [Pauline SEGUI, 2011].

Dans certains cas les taux de métaux dans les lixiviats dépassent le seuil de l'arrêté déchets inertes (arrêté du 28/10/2010).

La dangerosité des cendres volantes dépend principalement du procédé de combustion dont elles sont issues. Il n'est pas possible de généraliser sur la dangerosité de ces sous-produits.

#### ➤ Sables de fonderie :

- **Portance** : Les courbes proctor sont des courbes qui permettent de définir la portance d'un matériau. Pour les sables de fonderies elles sont plutôt plates. Cela illustre le peu de dépendance du matériau vis-à-vis de l'eau lors de la densification. Les sables de fonderie sont donc difficilement traficables à l'état sec et deviennent impraticables à l'état saturé. [Démarche Prédic].

- **pH** : D'après les analyses provenant d'une fonderie, le pH sur les lixiviats est de 7,65. Ce pH est presque neutre et propice à une croissance végétale.

- **Dangerosité** : Les sables de fonderie peuvent contenir des phénols. La présence de phénols dans les sables de fonderie s'explique par le fait que les phénols entrent dans les procédés de fabrication des fonderies. Ces phénols sont utilisés comme liants dans les procédés de moulage. Lorsque la teneur en phénols totaux de la fraction lixiviable des sables est inférieure à 50 mg/kg de sable rapporté à la matière sèche, ces sables sont considérés comme déchets non dangereux, assimilables à des déchets ménagers. À l'inverse, les sables de fonderie dont la teneur en phénols totaux de leur fraction lixiviable est supérieure à 50 mg/kg rapporté à la matière sèche sont des déchets industriels dangereux. [B.Duquet, 2007].

Des données fournies par une fonderie font état d'un taux de phénol inférieur à 0,5 mg/kg de MS. De plus ces analyses fournissent des informations sur les concentrations en BTEX, HAP et PCB. Pour tous ces composés les résultats sont inférieurs aux seuils de stockage pour déchets inertes.

#### ➤ Gravats/déchets du BTP :

- **Portance** : Il a été possible d'obtenir des données sur un matériau issu du BTP, le RBE (Recyclé Béton Enrobé). Ce matériau est un granulats de 0/20 mm issu des déchets inertes du BTP et constitué d'un mélange de 50% de béton et de 50% d'enrobé.

Son indice CBR est de 65 à un optimum proctor (= teneur en eau optimale) de 9%. Cela montre la bonne portance du RBE, même après immersion. Le RBE est insensible à l'eau. [Y.Bentarzi and al, 25<sup>e</sup> rencontre de l'AUGC Bordeaux 2007].

- **pH** : Le pH des déchets du BTP varie en fonction de leur composition.

En 1989, le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussée de Strasbourg (LRPC) a mené une analyse complète sur un matériau issu du concassage de produits de démolition. Les analyses sur lixiviats ont fait apparaître un pH fortement alcalin (supérieur à 10). [Méhu et al 2000].

Plus récemment, 3 études ont été réalisées à la demande de l'ADEME par l'INERIS et l'INSAVALOR sur des matériaux issus de démolition de bâtiments et des matériaux prélevés en centre de tri. Les résultats sur les tests de lixiviation mettent en évidence un pH compris entre 7 et 12. [Abdelghafour et Méhu, 2000 ; Pépin, 2001 ; Domas, 2003].

- **Dangerosité** : Il n'existe pas de données disponibles pour les mélanges de béton, briques, tuiles et céramiques. Cependant les matériaux recyclés provenant de bâtiments peuvent présenter des pollutions issues des parements de murs (peintures, plâtre,...) et des produits fabriqués ou stockés dans ces bâtiments.

L'INSA a réalisé des essais de lixiviation pour l'ADEME en 1991 – 1993 sur différents matériaux issus des déchets de chantier du BTP qui révélaient :

- ➔ Une fraction soluble faible, sauf pour les matériaux comprenant du plâtre qui libère des ions sulfates et calcium.
- ➔ De faibles quantités de métaux sauf pour les matériaux à base de ciment qui peuvent libérer d'importantes quantités d'aluminium.

Plus récemment l'ADEME a demandé 3 études sur des matériaux issus de la démolition de bâtiments et sur des matériaux prélevés en centre de tri. Ces études ont été menées par l'INERIS et INSAVALOR et ont révélé :

- ➔ Un relargage en sulfates, zinc, baryum, métaux très faible,
- ➔ Un relargage en chrome inférieur à 0,4 mg/kg (sauf sur un échantillon mesuré à 1,65 mg/kg),
- ➔ Un relargage en ammonium et nitrate variable (allant du non détectable à des concentrations 5 à 10 fois supérieures au seuil de détection).

#### ➤ Sédiments de dragage :

- **Portance** : Les sédiments récupérés lors des curages réalisés sont de différentes natures, il y a des sables, des graves (granulométrie supérieur à 2 mm) et des vases (granulométrie inférieur à 2 mm). Ces différents matériaux n'ont pas les mêmes propriétés de portance à cause de leurs différences de texture, structure et de leurs tailles.

Keller en 1982 a montré qu'une quantité de 3 à 4% de matières organiques était nécessaire pour modifier les caractéristiques physiques et mécaniques du matériau. [Keller, 1982].

- **pH** : Tout d'abord, les résultats d'analyses issues de Voie Navigable de France Est indique un pH moyen sur éluat de 7,7. Ces données peuvent être appuyées par les données bibliographiques. Ainsi les données issues de la littérature font état d'un pH de 7,92 pour les sédiments de dragage de Cheufas [Bourabah. M and al, 2009].
- **Dangerosité** : Les résultats de VNF indiquent que les sédiments fluviaux sont considérés comme des déchets inertes car il n'y a aucun dépassement de l'arrêté relatif aux déchets inertes (28/10/2010). Les données sont assez variables d'une source à l'autre, mais il y a toujours présence de polluants même si ils ne dépassent pas les seuils autorisés.

#### ➤ Déchets verts :

- **Portance** : Afin d'avoir une idée sur la portance de ce type de sous-produits, il est utile de connaître leur siccité. Le Tableau 5 présente des valeurs de siccité de bois raméaux fragmentés (BRF):



**Tableau 5 : valeurs de siccité pour les bois raméaux fragmentés**

Sources	Matière Sèche (% MB)
Chambre Agriculture de Languedoc-Roussillon, 2011. Résultat issu de prélèvement sur BRF de platane	47
Centre des technologies Agronomiques, 2006.	59.2
Chambre Agriculture des Alpes de Haute Provence, 2011-2012. Résultat issu de prélèvement sur BRF de platane	49.2

Ainsi la siccité pour les bois raméaux fragmentés est de l'ordre de 52 % sur Matrice Brute (MB), ce type de matériau est donc plutôt sec.

La portance doit être moyenne.

Une autre étude a permis de collecter d'autres données sur la siccité des broyats de déchets verts de différentes essences d'arbres [Martin Emilie, 2007]. Les résultats sont présentés dans le Tableau 6 :

**Tableau 6 : Valeurs de siccité pour différents types de végétaux**

	Matière Sèche (%)
Feuillus	65.2
Bois	57.4
Résineux	62.7
Palme	61.8

- **pH** : La moyenne de pH pour 5 BRF étudiés par le centre de technologie agronomique est de 6.5.
- **Dangerosité** : Les données issues de la bibliographie renseignent sur les teneurs en métaux présents dans les BRF. Ces teneurs sont récapitulées dans le Tableau 7 :

**Tableau 7 : Teneurs en métaux lourds dans les BRF d'après deux sources**

	Rey. F (2009)	Centre des Technologies Agronomiques Wallon, 2006
<b>Cr</b> (mg/kg MS)	0.6	13.7
<b>Cu</b> (mg/kg MS)	5.4	14
<b>Ni</b> (mg/kg MS)	< 0.3	9.9
<b>Zn</b> (mg/kg MS)	53.7	97.6
<b>Cd</b> (mg/kg MS)	0.74	0.7
<b>Pb</b> (mg/kg MS)	< 1.6	22.6
<b>Hg</b> (mg/kg MS)	0.1	0.1
<b>Se</b> (mg/kg MS)	< 0.2	-
<b>As</b> (mg/kg MS)	< 0.5	2

Pour certains métaux les résultats sont différents d'une source à l'autre (Cr, Cu, Ni, Pb), et pour d'autres métaux les résultats sont assez similaires (Cd, Hg). Les différences de concentrations peuvent s'expliquer par la nature des BRF analysés, dans ces deux sources elles ne sont pas précisées.

Les concentrations en Zn sont plus élevées par rapport aux autres métaux dans les deux études citées.

#### d) Classification des matériaux

L'étude des caractéristiques des matériaux a permis de les classer en différentes catégories afin d'orienter leur utilisation en construction de sol. La classification de ces matériaux est présentée dans le Tableau 8 :

**Tableau 8 : Classification des matériaux délaissés**

Matériaux « squelette »	Matériau « organo-minéraux »	Matériaux « amendants »	Matériaux « techniques »		
			Stabilisant	Réserve en eau	Drainant
- Gravats, déchets du BTP	- Sédiments de dragage	- Boues industries Agro-Alimentaires - Boues industrielles autres - Sous-produits papetiers - Déchets verts	- Cendres volantes	- Sous-produits papetiers - Cendres volantes - Déchets verts	- Sables de fonderie - Gravats, déchets du BTP

**e) Evaluation des avantages et des contraintes des matériaux**

Après l'étude des propriétés des matériaux délaissés recensés, les avantages ainsi que les contraintes liés à l'utilisation de ces matériaux en construction de sol ont été déterminés. Le Tableau 9 résume ainsi les aspects positifs et négatifs de ces matériaux délaissés :

**Tableau 9 : Avantages et contraintes liés à l'utilisation des matériaux**

Types de matériaux	Avantages	Contraintes techniques
Boues des industries agro-alimentaires	- Valeurs fertilisantes significatives - pH favorable à la croissance végétale - Conformité seuil de l'épandage	- Siccité faible (4%)
Kieselguhr	- Conformité seuil de l'épandage	- Siccité faible (25%) - pH = 5
Sous-produits papetiers	- Matériaux très bien connus de Valterra - Conformité au seuil de l'épandage - Capacité de rétention en eau - Pouvoir tampon (CaCO <sub>3</sub> )	- Matériaux semi-perméables - Distance entre les papeteries (la plupart sont dans les Vosges) et Homécourt
Déchets verts	- Proximité du Gisement - Amendement naturel	- Etape de broyage avant installation en parcelle
Cendres volantes	- Matériaux stabilisant - Capacité de rétention en eau	- Granulométrie très fine (0,5 à 315 µm) → forte volatilité - pH très basique (pH = 12) - Dépassement de l'arrêté déchets inertes : matériaux pollués
Sables de fonderie	- Apport de porosité - Conformité à l'arrêté déchets inertes	- Gisement uniquement en Haute-Marne
Gravats/déchets du BTP	- Pour certains matériaux, pH proche de 7	- Taille des gravats (il peut y avoir des blocs pluri-centimétriques) - pH compris entre 7 et 12
Sédiments de dragage	- Matériaux pelletables - pH compris entre 7 et 8	- Approvisionnement irrégulier - Etape de ressuyage entre le dragage et l'utilisation en parcelle

## 5. Analyse économique de la gestion des matériaux

Pour cette analyse économique de la gestion des matériaux, il faut connaître les différentes voies de gestion des sous-produits recensés et le coût qu'elles représentent pour l'entreprise productrice du sous-produit.

### a) Gestion actuelle des matériaux recensés

Les matériaux recensés étant de nature différente, les filières de valorisation sont donc variées. Les filières de valorisation pour chaque matériau sont présentées dans le Tableau 10 :

Le projet LORVER se positionne comme une filière de valorisation des matériaux délaissés innovante et à des coûts qui seront peut être compétitifs par rapport aux filières de valorisation habituelles.

Tableau 10 : Filières de valorisation actuelles des matériaux délaissés recensés

Matériaux	Filières de gestion
Sous-produits papetiers	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Envoi en briqueterie</li> <li>- Compostage</li> <li>- Epannage</li> <li>- Incinération</li> </ul>
Boues d'industries agro-alimentaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Epannage (majoritairement)</li> <li>- Compostage</li> <li>- Méthanisation</li> </ul>
Boues Industrielles autres	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recyclage dans le BTP</li> <li>- Stockage en bassin de décantation</li> <li>- Epannage</li> <li>- Compostage</li> </ul>
Kieselguhr	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compostage</li> </ul>
Cendres volantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recyclage dans le BTP</li> <li>- Recyclage en technique routière</li> <li>- Mise en décharge</li> </ul>
Sables de fonderie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recyclage en technique routière</li> <li>- Envoi en cimenterie</li> <li>- Mise en décharge</li> </ul>
Gravats/déchets du BTP	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remblaiement</li> <li>- Broyage</li> <li>- Mise en décharge (Classe 3)</li> </ul>
Sédiments de dragage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stockage</li> </ul>
Déchets verts	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compostage</li> </ul>

Dans ce contexte, la filière LORVER peut être un moyen de valoriser des matériaux délaissés qui sont parfois envoyés en décharge (cendres volantes, sables de fonderie, déchets du BTP).

Les définitions de chaque voie de gestion sont présentées en annexe 4.

### b) Coût de traitement

Les coûts de gestion des sous-produits sont des données issues de la littérature et sont présentés dans le Tableau 11 :

Tableau 11 : Coûts pratiqués pour chaque filière de gestion des sous-produits

Filières de gestion	Coût (€/t)	Sources
Envoi en briqueterie	Pas de données	-
Compostage	Environ 25	Direction des routes, les déchets et la route, mars 2003 et Le marché des composts en Provence Alpes Côte d'Azur, juin 2007 par GERES.
Epandage	Entre 6 et 15	Valterra Matière Organique
Incinération	Entre 60 et 110	Enquête sur les prix de l'incinération des déchets municipaux par l'ADEME, 2011 ; L'incinération des déchets municipaux et assimilés par l'ADEME, 2012
Méthanisation	Entre 5 et 10	Valterra Matière Organique
Recyclage dans le BTP	Pas de données	-
Recyclage en technique routière	Entre 5 et 25	Journée nationale des sédiments, 2011
Envoi en cimenterie	Entre 50 et 100	Etat de l'art de la valorisation énergétique des déchets non dangereux en cimenteries, ADEME, 2009
Remblaiement	Pas de données	-
Mise en décharge pour déchets inertes	Entre 2 et 10	Direction des routes, les déchets et la route, mars 2003, SINOE, ministère de l'écologie
Mise en décharge pour déchets non dangereux	Entre 70 et 150	SINOE, ministère de l'écologie
Mise en décharge pour déchets dangereux	Entre 150 et 1000	Direction des routes, les déchets et la route, mars 2003, SINOE, ministère de l'écologie

A partir de ce tableau il est possible de constater que les prix de traitement des sous-produits sont très variables d'une filière à l'autre.

## V. DISCUSSION GENERALE

Le recensement des sites dégradés Lorrains a permis de mettre en évidence la présence de nombreux sites délaissés. Les informations fournies par l'EPFL permettent d'avoir une idée de la situation des sites gérés par cet organisme notamment sur leur état de pollution, leurs contraintes techniques et leur topographie. L'utilisation de la base de données BASIAS permet de connaître la présence de friches délaissées mais les informations sont beaucoup moins complètes et précises que celles transmises par EPFL. Actuellement les informations recueillies ne permettent pas de décider d'implanter la filière LORVER sur tel ou tel site, il est nécessaire d'avoir plus d'informations sur les sites recensés, notamment ceux proposés par EPFL. Des visites de ces sites sont aussi à prévoir afin de se rendre compte de la possibilité d'installer une filière de production de biomasse végétale.

Concernant les sous-produits délaissés, l'étude complète de toutes les propriétés a permis de déterminer les avantages et les inconvénients pour leurs utilisations dans la filière LORVER.

- D'après les caractérisations des sous-produits papetiers, la perméabilité à l'eau est un paramètre remarquable. Cette semi-perméabilité est un atout car ainsi les sous-produits papetiers ont la capacité de restituer l'eau dans les profils de sol construit. Ainsi cela constitue une réserve en eau pour le couvert végétal. Les sous-produits papetiers sont globalement un sous-produit intéressant pour le projet.
- La texture liquide des boues d'industries agroalimentaires fait qu'elles ne peuvent pas être utilisées dans le procédé de construction de sol car leur portance est nulle. En revanche, elles présentent une valeur fertilisante significative (teneur en N, P, pH et MO). L'épandage de ces boues en surface pour l'entretien du sol pourrait s'avérer pertinent en lieu et place de fertilisants de synthèse.
- Comme pour les boues d'industries agro-alimentaires, les kieselguhrs ont une siccité trop faible (environ 25%). Ainsi ces matériaux ne sont pas éligibles pour la construction de sol. De plus le pH est légèrement acide (pH = 5), ce qui n'est pas très favorable pour la croissance végétale.
- Certaines cendres volantes peuvent dépasser le seuil de l'arrêté déchets inertes (arrêté du 28/10/2010) notamment les cendres silico-calciques et les cendres silico-alumineuses. Le pH des cendres volantes est très basique (pH = 12). Cela est plutôt défavorable pour le développement végétal puisque le pH doit être compris entre 6 et 8. Ces matériaux sont aussi relativement pauvres en éléments fertilisants (P). Au vu de ces caractéristiques, les cendres volantes ne peuvent pas être utilisées dans les horizons de surfaces. Cependant ces sous-produits étant stabilisant et présentant une capacité de rétention en eau, ils pourraient être utilisés dans l'horizon le plus profond. Situé dans l'horizon de profondeur de sol construit, les cendres volantes ne seront pas soumises à l'acidification par les racines et donc le risque de relargage des métaux sera très limité. Les cendres volantes de papeterie sont intéressantes pour la construction de sol.
- En ce qui concerne le gisement des sables de fonderie, leur utilisation pour le projet semble compromise. En effet, le projet étant Lorrain, la localisation de ces matériaux en Haute-Marne ne rend pas leur utilisation favorable.
- Les gravats/déchets du BTP sont des déchets de démolition, leur taille n'est donc pas homogène. Ainsi il est possible de retrouver des blocs pluri-centimétriques. Ces sous-produits permettent d'apporter de la porosité et de la structure aux sols construits. Ces matériaux ont aussi un pH très variable en fonction de leur composition et de leur provenance.

- Les sédiments de dragage, d'un point de vue physique et chimique peuvent sans problème intégrer le projet.
- Les déchets verts seraient utilisés comme un amendement de surface dans les sols construits. L'aspect positif est que les broyats de déchets verts disposés à la surface du sol constituent un bon apport en matière organique pour les végétaux.

## VI. CONCLUSION

Les travaux réalisés au cours de ces six mois de stage dans le cadre du projet LORVER avaient deux orientations distinctes.

Le premier objectif étant de faire le recensement des sites dégradés en Lorraine pouvant accueillir la filière LORVER. Lors de cette tâche il a été possible de dénombrer un nombre très important de sites délaissés nécessitant une valorisation. Les informations transmises par EPFL permettent d'avoir une liste plus restreinte des sites potentiels, ainsi qu'une description technique sur l'état du site plus détaillée.

Le second volet du travail réalisé concerne le recensement de matériaux délaissés pouvant intégrer LORVER. Ce recensement a permis de mettre en évidence huit types de sous-produits différents. Il a été possible de recenser des boues industrielles (sous-produits papetiers, boues des industries agroalimentaires, boues industrielles autres) et des matériaux autres que des boues (cendres volantes, sable de fonderie, les gravats et déchets du BTP, les sédiments de dragage fluviaux et les déchets verts). Les caractéristiques de l'ensemble de ces matériaux ont été étudiées afin de conclure si leur utilisation dans le projet est possible ou pas.

Ces matériaux seront utilisés dans le procédé de construction de sol, ils doivent donc être compatibles avec ce procédé (siccité suffisante, taux de MO, pH,...). De plus ces matériaux délaissés seront le support de la végétation, ils doivent donc avoir des caractéristiques agronomiques favorables à l'implantation d'une filière de production de biomasse végétale.

Le projet LORVER se positionne comme une voie de réhabilitation innovante des sites délaissés, mais aussi comme une nouvelle filière de valorisation de certains sous-produits industriels.

*Je tiens à faire remarquer l'enrichissement, tant au niveau professionnel que personnel, que m'a apporté ce stage. Il m'a permis de découvrir le fonctionnement d'un bureau d'étude et d'enrichir mes connaissances dans le domaine de la réhabilitation de site. Ce stage m'a aussi permis de rencontrer les différents acteurs du projet LORVER que ce soient les scientifiques et les industriels et de comprendre leur implication au sein du projet. Les réunions auxquelles j'ai pu assister au cours de mon stage m'ont aussi permis de me rendre compte des nombreuses formalités administratives nécessaires à un tel projet.*

*Ce stage à Valterra m'a permis d'améliorer mon sens du contact auprès des professionnels, notamment lors du recensement des industriels de la région.*

## VII. BIBLIOGRAPHIE

Abdelghafour.M et Méhu.J (2001) : Evaluation du comportement environnemental de déchets de démolition, rapport final, INSAVALOR division POLDEN, février 2001.

ADEME (Décembre 2009) : Etat de l'art de la valorisation énergétique des déchets non dangereux en cimenteries, situation actuelle, enjeux et perspectives.

ADEME (Novembre 2011) : Enquête sur les prix de l'incinération des déchets municipaux.

ADEME (Décembre 2012) : L'incinération des déchets municipaux et assimilés.

Afechkar. M et Nahhass.M : Valorisation des cendres volantes dans le domaine routier.

ADEME et ministère du développement durable : pollution des sols et aménagement urbain : anticiper, s'adapter, réaliser, pérenniser, le projet Rescue, exemples de bonnes pratiques.

Agreste Primeur (juillet 2010) : Déchets des industries agroalimentaires, une bonne gestion des déchets organiques, numéro 245.

Ayrinhac Fabien (juin 2005) : Thèse : Valorisation des cendres volantes de chaudière à lit fluidisé circulant dans la filière du génie civil, laboratoire matériaux et durabilité des constructions, Toulouse.

Baumgartl. Th (1998) : Physical soil properties in specific fields of application especially in anthropogenic soils, Soil and Tillage Research, Volume 47, Issues 1-2, pages 51-59.

Bentarzi.Y and al : Déchets inertes du BTP : vers un nouveau matériau anti-ruissèlement et dépolluant, Laboratoire de Génie de la Conception (LGeCo) et INSA Strasbourg.

Bone. J, Head. M, Barraclough. D, Archer. M, Scheib. C, Flight. D, Voulvoulis. N (2010): Soil quality assessment under emerging regulatory requirements, Environment International, Volume 36, Issue 6, Pages 609 – 622.

Bourabah Maghnia Asmahane and al (2009) : Comportement physique et mécanique des sédiments de dragage pour leur valorisation dans le domaine routier, application au barrage de Cheurfas (Algérie), Laboratoire Eau et ouvrages dans leur environnement, Université A. Belkaid, Laboratoire ondes et milieux complexes, Université du Havre ; Colloque international sols non saturés et environnement, 27-28 octobre 2009.

Bradshaw. A.D (1983) : The reconstruction of ecosystems, Journal of applied Ecology, 20, pages 1-17.

Castillo de Campins Soraya (2005) : Etude d'un procédé compact de traitement biologique aérobie d'effluent laitiers, thèse présenté à l'institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.

Centre des technologies Agronomiques (2006) : mise en œuvre de la technique du BRF en agriculture wallonne.

Chambre Agriculture des Alpes de Haute Provence (2011-2012) : Caractérisation de l'effet à court terme du BRF sur le sol, conservation de l'eau et productivité, résultat issu de prélèvement sur BRF de platane.

Chambre Agriculture de Languedoc-Roussillon (2011) : fiche n°14 du guide des produits organiques en Languedoc-Roussillon, résultat issu de prélèvement sur BRF de platane.

Circulaire du 8 février 2007 relative à la prévention de la pollution des sols – Gestion des sols pollués, non publié au JO.

Congrès européen eco-technologie pour le futur (juin 2011) : journée nationale des sédiments.



Costes. J.M, Druelle. V (juillet – août 1997) : Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'environnement : la réhabilitation des anciens sites industriels, Revue de l'Institut français du pétrole, volume 52, n°4, pages 425 – 440.

Démarche Prédix, Guides techniques régionaux relatifs à la valorisation des déchets et co-produits industriels, Ecole des mines de Douai, CETE Nord Picardie, date indéterminée.

Direction des routes (mars 2003) : Les déchets et la route.

Domas.J (2003) : Caractérisation de 3 déchets minéraux à l'aide de l'essai de percolation pr EN 14 405, rapport final INERIS, financé par l'ADEME, mars 2003.

DREAL Nord pas de Calais : Sédiments, trois modes de gestion, mode d'emploi.

Duquet. B (2007) : Dossier techniques de l'ingénieur : les déchets de fonderie – Stockage.

Foucher Jérôme (2005) : Valorisation des déblais sableux de dragage portuaire en France métropolitaine, centre d'études techniques maritimes et fluviales, ENTPE, Ifremer.

GERES (juin 2007) : Le marché des composts en Provence-Alpes Côte d'Azur, bilan des installations de compostage et étude du marché des matières organiques.

Guides d'utilisation des matériaux lorrains en technique routière, Guide cendres, les travaux publics, UNICEM, CETE de l'est, ctr et UNPG.

Hamdani. A, Chennaoui. M, Assobhei. O, Mountadar. M (2004) : Caractérisation et traitement par coagulation/décantation d'un effluent de laiterie, EDP Sciences, Pages 317 – 328.

Hiller. Dieter A (janvier 2000) : Properties of Urbic Anthrosols from an abandoned shunting yard in the Ruhr, Germany, CATENA, Volume 39, Issue 4, Pages 245 – 266.

Keller G.H (1982) : Organic matter and the geotechnical properties of submarine sediments, Geomarine letters, Vol 2 : pp 191 – 198.

Lefort. C, Schwartz. C, Florentin. L, Gury. M, Morel. J.L (2006): Determination of model substrates for the study of the pedogenesis of technosol, workshop on modelling of pedogenesis, pages 75 – 76.

Les fiches développement durable de l'APVF (mai 2010) : Rehabiler une friche urbaine polluée n°4.

Lorenz. K, Kandeler. E (2005) : Biochemical characterization of urban soil profiles from Stuttgart, Germany, Soil Biology and Biochemistry, Volume 37, Issue 7, Pages 1373 – 1385.

Martin Emilie (2007) : Valorisation du broyat de déchets verts de la communauté d'agglomération de Montpellier.

Méhu.J et al (2000) : Etude du comportement de déchets dans différents scénarios de classe III, INSAVALOR division POLDEN.

Morel. J.L, Schwartz. C, Florentin. L (2005): Urban Soils, Encyclopedia of soils in the environment, Elsevier, Oxford, pages 202-208.

Page. G.W, Berger. R.S (2006): Characteristics and land use of contaminated brownfield properties in voluntary cleanup agreement programs, land Use Policy, Volume 23, Issue 4, Pages 551-559.

Pépin.G (2001) : Caractérisation de 4 déchets minéraux à l'aide d'essais ANC, FMM, Percolation et lixiviation, rapport final INERIS à la demande de l'ADEME, octobre 2001.



Revue Travaux n°831 (juin 2006) : Réhabilitation du site minier : une combinaison du confinement et de la phytostabilisation des sols, pages 56 – 66.

Rey. F, Breton. V, Meistermann. S, Cemagref Grenoble, Crosaz. Y : bureau d'étude Géophyte (décembre 2009) : Le bois raméal fragmenté (BRF) en végétalisation pour la lutte contre l'érosion de surface, programme de recherche financé par le conseil général de l'Isère.

Schleuß.U, Wu.Q, Blume.H-P (Novembre 1998): Variability of soils in urban and periurban areas in Northern Germany, CATENA, Volume 33, Issues 3-4, pages 255-270.

Schwartz. C, Florentin. L, Charpentier. D, Muzika. S, Morel. J.L (2001) : Le pédologue en milieux industriels et urbains, sols d'une friche industrielle, Etude et gestion des sols, Volume 8, Issue 2, pages 135-148.

Segui Pauline (10/06/2011) : Thèse : Elaboration de liants hydrauliques routiers à base de pouzzolane naturelle de cendre volante de papeterie, laboratoire matériaux et durabilité des constructions, Toulouse.

Séré. G (Octobre 2007) : Thèse : Fonctionnement et évolution pédogénétique de Technosols issus d'un procédé de construction de sol.

Séré. G : Caractérisation de boues de papeteries (primaires + biologiques).

Shanker. Arun K, Cervantes. C, Loza-Tavera. H, Avudainayagam. S (mars 2005): Chromium toxicity in plants, Environment International, Volume 31, Issue 5, Pages 739 – 753.

Vetterlein. D, Hüttl. R.F (1999): Can applied organic matter fulfil similar functions as soil organic matter? Risk-benefit analysis for organic matter application as a potential strategy for rehabilitation of disturbed ecosystems, Plant and Soil, 213, pages 1-10

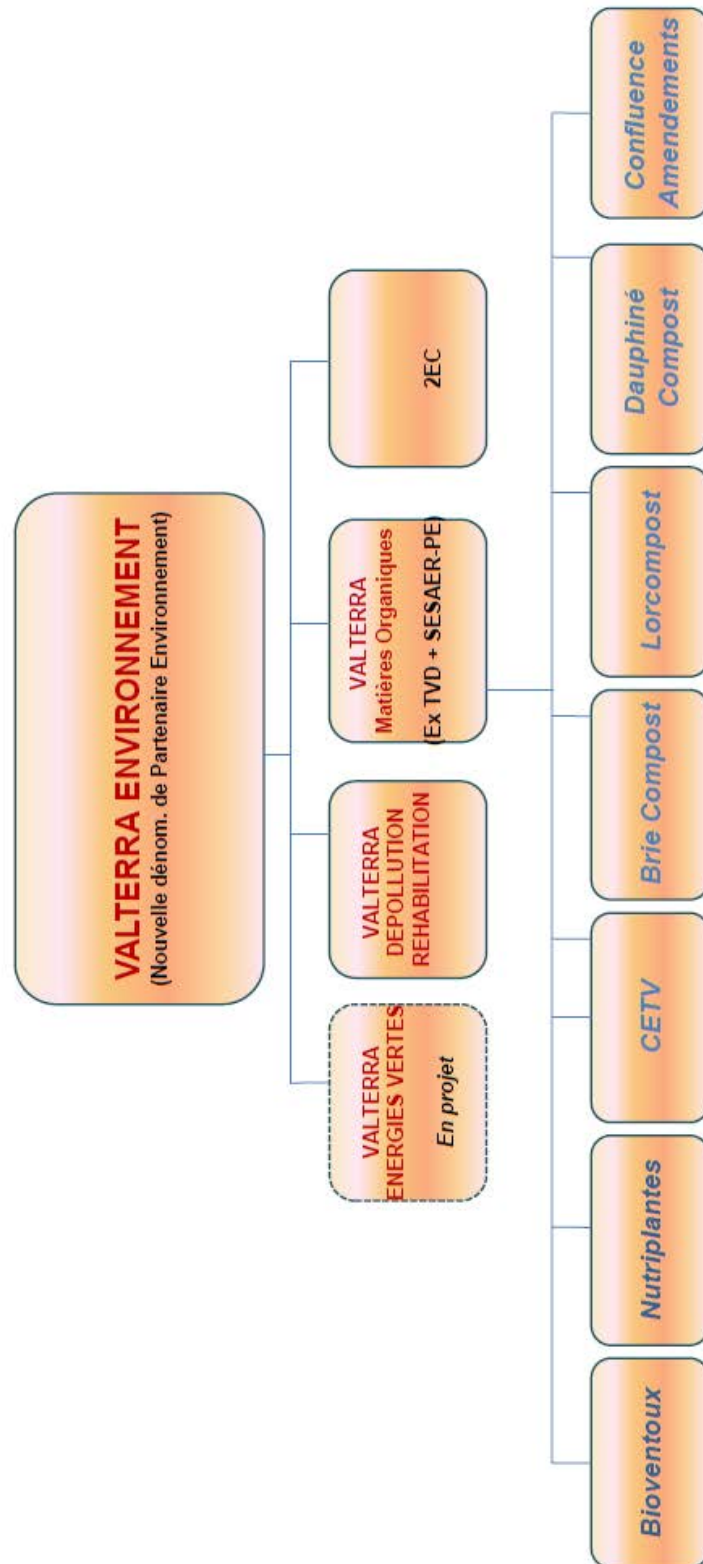
#### Sites internet :

- ADEME
- Dictionnaire Environnement
- Wikipédia

## ANNEXES

Annexe 1 : Organigramme de Valterra Environnement

Organigramme fonctionnel du groupe  
Valterra



## Annexe 2 : Définitions des voies de gestion des matériaux délaissés

**Envoi en briqueterie** : Les matériaux délaissés comme les sous-produits papetiers sont envoyés dans des usines de fabrication de briques.

**Compostage** : Le compostage est un procédé biologique qui permet, sous l'action de bactéries aérobies, la dégradation accélérée de déchets organique pour produire du compost. Les réactions de compostage dégagent de la chaleur qui élimine les agents pathogènes contenus dans les déchets entrants (Dictionnaire environnement).

**Epannage** : L'épandage est une pratique agricole qui consiste à répandre sur un champ, de façon homogène, des amendements (notamment des boues industrielles, de station d'épuration). Des contraintes réglementaires encadrent cette pratique (magazine futura-sciences).

**Incinération** : C'est une méthode de traitement thermique des matériaux délaissés qui consiste en une combustion et un traitement des fumées. De cette technique résulte trois types de résidus : mâchefers, cendres et résidus d'épuration des fumées. La chaleur générée par l'incinération peut faire l'objet d'une valorisation (Dictionnaire environnement).

**Méthanisation** : C'est un traitement naturel des déchets organiques qui conduit à une production combinée de gaz convertible en énergie (biogaz), provenant de la décomposition biologique des matières organiques dans un milieu anaérobie, et d'un digestat, utilisable brut ou après traitement comme compost (Dictionnaire environnement).

**Recyclage dans le BTP** : Certains matériaux peuvent être revalorisés dans le BTP. Ils sont broyés et réutilisés en granulats ou en enrobé.

**Recyclage en technique routière** : Cette technique consiste à mélanger des matériaux délaissés avec des matériaux qui constituent les sous-couches routières (sables par exemple). Le mélange peut être utilisé en sous couche de chaussés ou d'accotement.

**Envoi en cimenterie** : Certains matériaux peuvent être réutilisés comme composant des ciments. Dans ce cas ils sont « récupérés » par des cimenteries qui procèdent à l'élaboration de ces ciments.

**Remblaiement** : Cette filière de gestion consiste tout simplement à combler des carrières, des mines par les matériaux délaissés. Ces matériaux ne doivent pas être pollués pour être utilisés en remblaiement.

## Résumé

La région Lorraine est connue pour ses activités minières et industrielles. Mais depuis la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle différentes révolutions industrielles provoquent l'arrêt des activités de la région. Les cessations d'activités engendrent ainsi l'abandon de sites industriels. Ces sites laissés à l'abandon sont couramment appelés friches industrielles.

Pour des raisons économiques, ces sites dégradés font l'objet de projets de réhabilitation, le plus souvent à des fins immobilières. Lorsque ces sites ne peuvent pas faire l'objet d'une réhabilitation immobilière, il est nécessaire de trouver de nouvelles solutions pour donner une seconde vie à ces sites délaissés.

C'est dans cette optique que se place le projet LORVER. Ce projet est un programme de recherche qui vise à produire une filière de production de biomasse végétale à partir de matériaux délaissés sur des sites dégradés. Ce projet a deux principaux objectifs qui sont la valorisation de déchets industriels (= matériaux délaissés), et la valorisation des sites dégradés. Les matériaux délaissés vont servir à reconstruire des sols sur les sites dégradés (qui ont perdu leur fertilité) afin de pouvoir être le support d'une végétation qui sera valorisée en fibres et en énergie.

Ce rapport présente le recensement des sites dégradés en Lorraine, ainsi que le recensement des matériaux délaissés produits par les industries de la région. Les caractéristiques de ces matériaux sont aussi étudiées afin de connaître leur éventuelle utilisation dans le projet.

**Mots Clés** : Sites dégradés, matériaux délaissés, recensement, réhabilitation, valorisation.

## Abstract

The Lorraine region is known for its mining and industrial activities. But since the second half of the twentieth century various industrial revolutions caused the cessation of the region. Out of business and generate abandoned industrial sites. These sites abandoned are commonly called brownfields. For economic reasons, these degraded sites are rehabilitation projects, most often for real estate. When these sites can not be a real estate rehabilitation, it is necessary to find new solutions to give a second life to these abandoned sites. It is in this light that the site LORVER project. This project is a research program that aims to produce a production of plant biomass from abandoned sites and degraded materials. This project has two main objectives are the promotion of industrial waste (= abandoned materials), and recovery of degraded sites. The materials will be used to rebuild neglected soil on degraded sites (which have lost their fertility) to be the support of vegetation which will be recovered fiber and energy. This report describes the identification of degraded Lorraine sites and the identification of abandoned materials produced by the industries in the region. The characteristics of these materials are also studied in order to know their potential use in the project.

**Keywords** : Degraded sites, abandoned materials, census, rehabilitation, valorization.