



## 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>

**2015-2016**

**Master FAGE  
Biologie et Écologie pour la Forêt,  
l'Agronomie et l'Environnement**

**Spécialité  
Fonctionnement et Gestion des Écosystèmes**



**REVEGETALISATION D'UNE FRICHE INDUSTRIELLE**

**JIMMY ONISZKIEWIEZ**

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 07/09/2016

Tuteur de stage : Jechoux Cendrine (fonction)

Enseignant référent : Blaudez Damien, Maître de conférence du Laboratoire interdisciplinaires des Environnements Continentaux (LIEC)

Structure d'accueil : Communauté d'agglomération du val de Fensch,  
Parc du haut fourneau

## Remerciements

Je tiens par le biais de ce rapport de stage remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail

A toute l'équipe du parc du haut-fourneau d'Uckange, pour leur accueil chaleureux, leur bonne humeur pendant ce stage. Plus particulièrement Madame Jechoux Cendrine, qui m'a fait confiance (ainsi qu'au deuxième stagiaire du projet), tout au long de ce stage.

Je tiens aussi à remercier Madame Henry Sonia, pour son aide et ses conseils lors de toutes les phases de ce stage, mais aussi pour son investissement, sa disponibilité et sa réactivité, qui nous ont permis de progresser et de résoudre beaucoup des problèmes rencontrés.

Monsieur Morlot Dominique, qui a fourni une aide primordiale lors de l'inventaire floristique, notamment lors de l'identification de plantes, des phases de terrain et d'analyse des résultats.

Mamadou Dialo, stagiaire au même titre que moi lors de ce stage, qui a tout fait pour que le stage se passe dans les meilleures conditions possible.

L'ENSG, plus particulièrement Monsieur Cupillard Paul et Madame Fabre Cécile, pour nous avoir prêté le géoradar ainsi que leurs aides lors de l'analyse des données.

A STEVAL, qui nous ont mis à disposition le niton, pour faire des analyses sur le terrain.

Monsieur Vauchelet Philippe, pour m'avoir permis d'emprunter ses flores personnelles sur une très longue durée.

# Sommaire

## I- État de l'art :

a- Historique.....	4
b- Surfaces polluées.....	4
c- L'origine des pollutions et les polluants.....	5
d- Au niveau régional.....	6
e- Présentation du site U4 d'Uckange.....	6
f- Bilan des études réalisées sur le site.....	7

## II- Matériels et Méthodes :

a- Inventaire floristique :	
Présentation.....	9
Protocole.....	10
b- Géoradar	
Présentation.....	12
Protocole.....	13
c- Niton	
Présentation.....	15
Protocole.....	15

## III- Résultats et Analyses :

a) Inventaire floristique.....	16
b) Géoradar.....	19
c) Niton.....	21

## IV- Discussion :.....

23

## V- Perspectives : .....

27

## Bibliographie :.....

28

## Annexes :.....

30

## Résumé :.....

40

# I- État de l'art

## a- Historique :

La première révolution industrielle a permis l'utilisation de machines actionnées par la vapeur puis par l'électricité, ainsi que le développement d'énergies fossiles. Ces machines ont très vite été utilisées à grande échelle notamment pour la fabrication de textile et dans l'industrie ferroviaire. Les besoins en acier ont fortement augmentés, de là découle une très forte mécanisation de l'extraction de minerais et de leurs transformations, afin d'augmenter les quantités produites pour répondre aux demandes.

Les régions possédant du minerais riche en fer et en charbon ont subi un fort développement industriel. C'est le cas du Luxembourg, de l'Allemagne, du Royaume-Uni, de la Suède ; du nord de la France ainsi que de le nord-est de la Lorraine.

Durant les années 1870 la sidérurgie européenne connaît ses heures de gloire : une demande très forte et une concurrence très faible.

Dans les années 1970-1980 une forte crise industrielle a touché une partie de l'Europe. Un minerais moins concentré en métaux, une rentabilité moins élevée ainsi qu'une main d'œuvre plus onéreuse ont provoqué la fermeture de nombreux sites industriels, notamment dans le domaine minier et sidérurgique. Les pays qui possédaient une industrie développée, tels que l'Allemagne, l'Angleterre, le Luxembourg ou encore la France, ont été durement touchés par cette crise, provoquant une forte hausse du chômage dans ces régions. Pour palier cela, un changement de régime économique a été nécessaire : passant d'un régime exclusivement industriel avec de nombreuses activités liées à l'industrie vers un régime plutôt tertiaire, basé sur des activités de service. Ce changement s'est réalisé avec plus ou moins de succès selon les projets et les localisations.

## b- Surfaces polluées :

En terme de surface, en Europe, environ 3 millions de sites ont des sols contaminés ou potentiellement contaminés par des polluants résultant de plus de deux siècles d'industrialisation intensive, dont approximativement 250 000 nécessitent une remédiation urgente.

En France, on estime qu'entre 200 000 et 300 000 sites méritent l'étiquette de « friche industrielle », étant des sites ayant fait l'objet d'une activité industrielle qui présentent une contamination plus ou moins élevée (ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie). En Suisse, une friche doit faire au minimum un hectare, ce qui permet de dénombrer 308 friches industrielles (Office fédéral de l'aménagement du territoire). L'état du Luxembourg recense, quant à lui, 600 hectares de terrains qu'il qualifie de « friches industrielles ». [1]

En France, selon les bases de données du BRGM (Bureau de recherche géologiques et minières), 300 000 à 400 000 sont potentiellement pollués par l'industrie ou des activités de service, pour une superficie d'environ 100 000 hectares. (En 2007, les Pays-Bas dénombraient 700 000 sites potentiellement pollués, pour un pays bien plus petit). En 2015, 5 991 sites français sont recensés comme étant des sites et sols pollués (SSP). [2]

La répartition géographique des sites et sols pollués, en France, montre de fortes différences au niveau régional. Compte-tenu de l'implantation historique des activités industrielles, extractives ou commerciales, les sites et sols pollués sont logiquement concentrés dans certaines régions

(Alsace, Île-de-France, Lorraine, Nord-Pas-de-Calais, Rhône-Alpes), mais aussi le long des axes de transports fluviaux (Rhin, Rhône, Seine) : Rhône-Alpes (16,8 %), Nord-Pas-de-Calais (11,1 %), Île-de-France (8,6 %). L'Alsace et la Lorraine comptabilisent un bon nombre de sites et sol pollués, environ 13% . [3]

### **c- L'origine des pollutions et les polluants**

En s'intéressant aux activités à l'origine des pollutions, 3.2% des sites et sols pollués ont pour origine une activité d'extraction de minerais, 18% des sites pollués ont pour origine une activité de sidérurgie, de métallurgie ou de cokéfaction. Ces activités représentent donc plus d'un quart des sites et sols pollués, soit plus de 1 000 sites. [3] Les activités d'extraction ou de transformation de minerais sont souvent l'origine de pollutions.

Sur un même site, les pollutions sont souvent multiples. Sur les 5 991 SSP répertoriés en 2015, les hydrocarbures sont la cause dans presque deux tiers des cas et les métaux et métalloïdes dans au moins un quart. Ce qui fait que ces deux familles sont les plus fréquemment retrouvées dans les sites et sols pollués. [3]

Les pollutions est souvent issues des mêmes familles de polluants, mais cela n'empêche en rien de trouver une grande diversité des pollutions. D'une part par les concentration, ou les teneurs retrouvées sur le site ; d'autre part par la nature même des polluants, la famille des éléments métalliques, comme celle des hydrocarbures, possèdent une grande diversité dans les molécules qui les composent. Par conséquent, deux sites ne sont jamais pollués de manière identique même si les activités passées l'étaient.

Toutefois, il est intéressant de regarder les régions dans lesquelles on retrouve les teneurs les plus élevées en métaux et en hydrocarbures en France. Cela s'explique par leur histoire et leur géologie.

En terme de valeurs, en métropole, les teneurs totales en zinc des sols s'étendent entre 5 et 1 230 mg/kg en surface. Les teneurs naturelles des sols en zinc se révèlent faibles, hormis dans les sols du Massif central, Jura. Quant aux fortes teneurs en Bretagne, Lorraine et Nord-Pas-de-Calais résultent d'activités humaines (mines, industrie, épandages agricoles, trafic routier, toitures, etc.). [3]

En métropole, les teneurs totales en plomb dans les 30 premiers centimètres du sol s'étendent localement entre 3 et 624 mg/kg. 55 % d'entre elles sont inférieures à 30 mg/kg et 43,5 % comprises entre 30 et 100 mg/kg. En revanche, les teneurs supérieures à 100 mg/kg représentent seulement 1,5 % des mesures. Parmi elles, un tiers ont été mesurées à moins de 30 km d'une grande agglomération. [4]

Les teneurs totales en cuivre mesurées dans la partie superficielle des sols s'étendent localement de 1 à 508 mg/kg en métropole. 53 % des fortes teneurs en cuivre (plus de 100 mg/kg) se trouvent dans des zones occupées à plus de 20 % par des vignes et des vergers. Ces fortes teneurs résultent des traitements fongicides récurrents, à base de sulfates de cuivre (« bouillie bordelaise »). [3]

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des polluants organiques persistants, produit principalement par combustion des matières organiques (feux de forêt, combustion d'énergies fossiles).

Par exemple les teneurs en fluoranthène s'étendent localement entre 0 et 1,17 mg/kg de terre fine. Le fluoranthène est fortement concentré dans le Nord et l'Est, sûrement en raison des activités passées de ces régions (mines, industries). Des contaminations probablement d'origine minière, pétrolière ou industrielle apparaissent également en région parisienne, en aval de la vallée de la Seine, sur le littoral méditerranéen, et dans le Massif central. [3]

Globalement, les valeurs les plus élevées en métaux (zinc et plomb), et en HAP, sont en lien direct avec des activités humaines notamment les grands espaces industriels (sauf pour le cuivre), plus précisément les anciens, qui accueillait des activités d'extractions et de transformations de minerais.

A noter qu'en France il n'a y pas, dans la législation, de limite à rester. En effet seul des mesures de remises en état du sol après arrêt de l'activité exercée par une installation classée au titre du code de l'environnement, selon la loi du 30 juillet 2003 et l'article 34-1 du décret 77-1133.

#### **d- Au niveau régional**

A un niveau plus régional, la Lorraine fait partie des quatre régions françaises les plus concernées par la gestion, le traitement et la requalification de friches industrielles ou de sols pollués, notamment à cause de son lourd passé industriel et suite à la crise du textile et du minerais de fer dans les années 1960. 360 sites pollués ou potentiellement pollués appelant à une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif sont localisés en Lorraine (environ 6 000 ha), soit 8% de l'effectif national. [5]

En effet, en Lorraine, 17 649 sites (5 431 pour la Moselle, 2 717 en Meuse, 5 431 en Meurthe et Moselle et 4 070 dans les Vosges) sont répertoriés comme étant des sites industriels et des activités de service, abandonnés ou non, et qui sont susceptibles d'engendrer une pollution de l'environnement (Base de données :Basias).

Cependant, tous les sites ayant accueillis des activités industrielles liées à l'extraction ou la transformation de minerais n'ont pas un sol pollué.

Compte-tenu du nombre de sites et sols pollués et la volonté d'utiliser de nouveau ces espaces, la problématique de réhabilitation et de reconversion de ces zones est importantes. En quoi peuvent-elles reconverties et comment y parvenir ?

#### **e- Présentation du site U4 d'Uckange :**

Le terme U4 désigne le haut-fourneau numéro 4 de l'usine localisée à Uckange, d'où le U et le 4, le seul qui est encore présent sur le site.

Le parc de haut-fourneau se situe sur l'ancienne fonderie de la ville d'Uckange. En chauffant de la coke et du minerais de fer, les ouvriers produisait du laitier (le déchet lié à la production de la fonte) et de la fonte (le produit commercialisé). Cette production engendrait également des gaz, qui servaient à alimenter les fours ou qui étaient envoyés vers une autre usine. Afin d'alimenter les hauts-fourneaux en continue, des stocks de matières premières étaient nécessaires.

A son apogée, l'usine possédaient six hauts-fourneaux. Lors de l'arrêt de l'activité industrielle en 1991, cinq furent détruits et un seul à réussi à être sauvegardé notamment grâce à une mobilisation local. En 2001 le haut fourneau rescapé, fut classé monument historique. Et en 2007 le site a été ouvert au public, qui accès à un musée et peut faire le tour du haut fourneau par le biais d'une œuvre artistique de Claude Leveque, qui crée un mise à distance du public par rapport au haut fourneau.

Une partie de l'ancienne usine fut transformée et valorisée en jardin, le jardin des traces. Ils est composé de différentes parties, qui mettent en avant les éléments fondamentaux à la production

de fonte, un hommage aux hommes venus travailler dans l'usine et la production d'énergie verte.

La seconde partie, est appelée parc du haut fourneau. Depuis la démolition d'une grande partie de l'usine, très peu de modification ont été réalisées dans cette partie. Actuellement seul une faible part du site est ouvert au public. En effet des visites guidées sont réalisées par des anciens ouvriers de l'usine, qui partagent leurs connaissances et leurs expériences de l'activité de la fonderie avec le public.

La seconde partie de l'ancienne usine fait l'objet d'un projet ambitieux, le projet U4 (Annexe 1 : Figure projet U4) qui a pour objectif de relier l'ancienne usine au centre ville d'Uckange en rendant le parc du haut fourneau encore plus attractif en essayant de développer plusieurs activités économiques et sociales culturelles (les arts du cirque et la rue, des habitations, ainsi qu'attirer de nouvelles entreprises). Le site serait alors entièrement accessible au public. Ce projet est divisé en deux parties, l'une utilisant les anciens bâtiments pour les transformer en nouveaux locaux pour des entreprises ou pour accueillir des spectacles. L'autre, le jardin de transformation, est plus dédié à montrer au public que les anciens sites industriels qui sont souvent laissés à l'abandon et se transformer en friche, peuvent être valorisés et avoir un intérêt, notamment économique, tout en améliorant la qualité du sol sans avoir à apporter ou enlever de la terre sur le site. Cela est possible en choisissant des plantes qui peuvent se développer dans les conditions présentes, et qui stockent ou éliminent les éléments qui nuisent au bon fonctionnement du sol et améliorent sa qualité. Par la suite ses plantes devront également être valorisées afin qu'il y ait une retombée économique. C'est notre zone d'études (Annexe 1 : Figure projet U4 à l'intérieur des lignes bleues). Pour mieux se repérer, nous divisons notre zone d'étude en trois zones, A, B et C (Annexe 2 : Figure Délimitation Zone A, B et C) La zone d'étude et localisée à tel endroit.

La surface dédiée au jardin des transformations est organisée selon une unité de base, des parcelles de 7mètres par 35mètres.

Certaines parcelles (en jaune pâle) serviront à accueillir des modalités. Une modalité est un sujet, un objectif, elles sont toutes en liens avec la production de biomasse et la mise en valeur du site ainsi que la remédiation du sol. Les modalités différentes :

- Diagnostic, dépollution et restauration des fonctions du sol sur zone, avec des plantes bio indicatrices, phytostabilisantes
- Écosystème spontané, recolonisation naturelle depuis 1991, qui mettra en avant que des plantes peuvent naturellement se développer sur un ancien site industriel et une recolonisation naturelle depuis le début de la réalisation du jardin.
- Production de biomasse non alimentaire, avec la production de bois, et de fibres avec des végétaux comme le peuplier, le chanvre miscanthus et l'ortie.
- Production de biomasse alimentaire, de légumes comestibles, grâce à des plantes n'accumulant pas les polluants (métaux), en cultivant des plantes présentes dans des potagers, des plantes fourragères, mellifères et de grandes cultures.
- Gestion de biomasse, avec la création de lombricompost et de compost
- La bioaccumulation, avec des plantes hyper-accumulatrices, ou ayant des propriétés de phytoremédiation, notamment avec l'agromoine du nickel.

En tout cinq modalités principales, qui compte quinze de projets.

Pour qu'il puisse y avoir un suivi scientifique, ou pour qu'elles servent de sujets d'études, un même projet devra être présent en trois exemplaires et si possible sur des parcelles qui ont des conditions similaires. Cependant, rien n'est mis en place sur le site.

#### **f- Bilan des études réalisées sur le site :**

Plusieurs études environnementales ont déjà été réalisées sur le site du parc du haut-



fourneau entre 1994 et 2011 afin d'identifier s'il existait des pollutions et d'en déduire les mesures à prendre. Elles ont été menées par plusieurs bureaux d'études, tels que LECES ou ANTEA, regroupant des sondages du sol (plus d'une centaine) et des analyses des eaux souterraines. Les sondages ont été réalisés sur la partie du Jardin des Traces mais également sur celle du parc de haut-fourneau.

En résumant toutes ces études, au niveau du sol, une pollution en hydrocarbures et HAP a été détectée au niveau d'anciens réservoirs de fuel. En 2002, une excavation de 48 tonnes fut conseillée et réalisée, les terres excavées ont ensuite été transférées dans une structure adaptée à leur traitement (partie qui se situe en dehors de la zone d'étude). Une autre excavation de 180 tonnes de terre a été réalisée, en raison d'une pollution en PCB en 2007, positionnée dans la zone d'étude, au nord ouest du haut fourneau. Au total, 228 tonnes de terres ont été excavées.

En fonction de la localisation des sondages ainsi que de la profondeur, les teneurs en éléments traces métalliques (MET), ou HAP, varient beaucoup. Ces valeurs sont comparées au bruit de fond géochimique de la plaine de la Moselle (teneurs en éléments traces métalliques dans le sol, à l'état naturel) (tableau 1). Les éléments contaminants forment une mosaïque en trois dimensions dans le sol du site. Cela peut être expliqué par le fait que l'usine avait une localisation de ses différentes activités, mais aussi par le fait qu'après le démantèlement d'une partie des structures, des matériaux disponible sur place (comme le laitiers (issue des hauts-fourneaux), de l'aggloméré ou autres) furent utilisés comme remblais. En fonction des coulées, le laitiers peut être plus ou moins chargé en certains métaux, et donc créer des contaminations localisées et très ponctuelles.

Concernant les eaux souterraines, une étude de 2015 démontre des taux anormalement élevés en métaux lourds au niveau de plusieurs piézomètres.

Sur le Parc du haut-fourneau d'Uckange, plusieurs métaux sont retrouvés fréquemment avec une valeur supérieure au bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle : l'Arsenic (maximum à 306 mg/kg de matière sèche (MS)), le Cadmium (maximum à 10 mg/kg de MS), le Cuivre (maximum à 1 300 mg/kg de MS), le Plomb (maximum à 1 450 mg/kg de matière sèche), le Zinc (maximum à 4 980 mg/kg de matière sèche), le Chrome (maximum à 205 mg/kg de matière sèche), Cobalt (maximum à 35 mg/kg de matière sèche), le Nickel (maximum à 122 mg/kg de matière sèche) et le Vanadium (maximum à 515 mg/kg de matière sèche). (Annexe 3 : Figure Bilan pollutions). La carte bilan localise les zones impactées par de la pollution métallique et organique, d'après les sondages réalisés de 1994-2005 et de 2011.

En comparant ces valeurs maximales trouvées sur le site aux valeurs maximales du bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle, nous parvenons à ces résultats :

Pour le cobalt, la valeur maximale trouvée sur le site est au dessus de la moyenne mais en dessous du maximum du bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle (Annexe 4 : Tableau bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle).

Pour les autres ETM (Cuivre, chrome, cadmium, plomb, nickel, zinc, arsenic et le vanadium), leur maximales trouvées sur le site sont supérieures aux valeurs maximales du bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle.

Par conséquent, il semble bien qu'il y a eu contamination du sol par des ETM.

Des Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), sont retrouvés à certain emplacements sur le site, avec des valeurs dépassant les 600 mg/kg de matière sèche. Ces valeurs sont retrouvées après l'excavation d'une partie du sol de la zone d'étude.

Selon les emplacements dans le site, des remblais, d'une épaisseur de quelques centimètres à 3 mètres, recouvrent le terrain naturel (alluvions de la Moselle). Différent types de remblais ont été utilisés, du laitiers, de la fine noire (poussière), de l'aggloméré et d'autres genre.

Concernant la possibilité de présence de bloc en profondeur sur le site, elle est présente, étant donnée qu'une grande partie des bâtiments ont été détruits mais que leurs fondations sont

encore présentes sur le site.

A partir des données recueillies et en vu du projet, l'objectif de ce stage est donc de recueillir les informations nécessaires pour trouver le meilleur compromis à l'emplacement des modalités dans les parcelles. Pour se faire, nous avons réalisé un inventaire floristique pour faire un état des lieux de la végétation présente, utilisé un géoradar, ce qui permet de repérer la présence d'éventuelle dalle ou bloc en profondeur. Et enfin utilisé un niton, qui donne la composition en éléments métalliques à la surface du sol. Les informations issues de ces trois travaux permettront de placer au mieux les modalités, pour qu'elles se développent et qu'elles aient une action bénéfique sur l'état du sol. Par conséquent, l'inventaire floristique, le géoradar, et le niton, serait traités parallèlement, pour que les résultats puissent être croisés.

## II- Matériel et Méthode

### a- Inventaire floristique

#### Présentation:

Un inventaire floristique effectué sur les méthodes de la phytoécologie permet de faire un état des lieux de la végétation présente sur un site. Cette méthode est basée sur la notion que la végétation reflète les conditions du milieu, chaque espèce présente trouvant localement les conditions favorables à son développement. Selon J.C. Rameau 1988, les espèces présentes ensemble n'ont pas forcément les mêmes besoins, mais ont une histoire communes liées à leur migration depuis les milieux plus ou moins lointains au moment des différentes phases d'abandon de l'activité industrielle. La présence d'espèces présentes ensemble sur une station est le résultat a) de la migration des espèces via les diaspores (graines, fruits,...) en provenance des milieux environnants, certaines espèces migrant rapidement (espèces anémochores, type pissenlit), d'autres migrant plus lentement (espèces barochores, type chêne). b) des conditions d'accueil localement qui favorisent leur besoin (lumière, eau, nutriments,...). Ainsi les espèces présentes ensemble sur un même milieu reflètent ces conditions, à la fois de dynamique de la végétation (hasard de la dispersion des semences et de la vitesse de colonisation) et de la nécessité de satisfaire les besoins propres à chaque espèce. Ainsi, une pelouse ouverte portera des espèces à dispersion rapide (anémochores), exigeantes en lumière (héliophiles), supportant un dessèchement de la partie superficielle du sol (xérophiles), etc... Au contraire, un milieu boisé portera des espèces à migration plus lente (barochores ou zoochores), ayant un besoin en lumière moindre (espèces sciaphiles) et nécessitant une présence d'humidité dans le sol plus constante que pour les espèces des milieux ouverts (caractère mésophile).

En fait, ce ne sont pas les espèces prises individuellement qui renseignent sur les caractères du milieu, mais les groupes d'espèces, « groupes écologiques », définis comme des groupes d'espèces à « affinités écologiques », « l'affinité écologique résume toutes les tendances écologiques, géographiques ou autres qu'ont certaines plantes à se grouper » (P. Duvigneaud cité par M. Guinochet 1973). Ces groupes d'espèces à valeur écologique sont définis dans un certain territoire par une analyse statistique (Gounot 1969).

La méthode d'inventaire de la végétation par relevés floristiques comprend deux phases (M. Guinochet 1973, J.C. Rameau 1988, R. Meddour 2011) : une phase d'analyse comprenant l'étude sur le terrain avec une phase de synthèse correspondant à l'analyse et le classement des relevés et des espèces.

La phase d'analyse comprend la mise en place d'un plan d'échantillonnage afin de tenir compte de l'ensemble des facteurs écologiques du milieu étudié. La définition des strates écologiques du milieu à inventorier et le nombre de relevés à effectuer dans chaque strate, selon la surface occupée par celles-ci, les relevés de la végétation dans chaque strate écologique en

inventoriant toutes les espèces présentes et en quantifiant l'abondance dominance et la sociabilité des espèces

L'hypothèse selon laquelle les unités végétales présentes sur le site, sont caractérisées par un type de végétation qui est représentatif du sol sur lequel elles se développent ou alors c'est la dynamique de végétation qui influence principalement les espèces des unités paysagères.

Pour définir la méthodologie, il faut prendre en compte plusieurs paramètres, le temps alloué à cette activité, les objectifs, la surface du site, les types de végétation.

#### Protocole :

Dans le but de couvrir la plus grande diversité de végétaux présents sur le site, deux sessions d'inventaires seront réalisées, l'une en avril pour avoir le cortège végétal précoce et l'autre fin juin, début juillet pour relever le cortège végétal tardif. Les deux sessions seront regroupées dans un seul et même inventaire.

Le site est majoritairement recouvert par une végétation de type herbacée, mais d'autres types de végétation sont également présents. Toujours dans l'optique de relever le plus d'espèces différentes, une cartographie des différentes strates écologiques présentes dans la zone d'étude a été faite afin de pouvoir réaliser des inventaires dans chaque unité paysagère et d'avoir une meilleure vision de la diversité totale. Les unités paysagères sont définies à partir de la structure de la végétation dominante :

- Végétation à strate cryptogamique dominante (A) : de 0 à 5 cm de hauteur
- Végétation à strate herbacée, pelouse ouverte (B) ou fermée (C). La strate herbacée peut comprendre des espèces ligneuses à des stades de développement précoces.
- La strate arbustive dominante (D) : de 1 à 7 mètres, composé d'arbustes ou de buissons, ne dépassant pas 2 mètres pour la strate arbustive basse et 7 mètres pour la strate arbustive haute.
- La strate arborescente dominante (E) : à partir de 8 mètres. Elle comporte uniquement des arbres.

Cette carte permet de rendre compte des proportions de chaque strate et ainsi de choisir un nombre d'inventaires à effectuer par strate. Arbitrairement, le nombre de deux parcelles a été choisi pour être inventoriées dans la strate muscinale, six dans la strate herbacée basse, sept dans la strate herbacée haute, cinq dans la strate arbustive et trois dans la strate arborée.

Le nombre de parcelle étant défini, il faut maintenant choisir leurs emplacements. Pour cela la même carte a été superposée avec un quadrillage représentant des mailles de 10 mètres de côté sur le terrain. Chaque case du quadrillage est référencée par code avec une lettre et un chiffre (A1, A2, etc), ce qui permet de d'identifier la position de chaque case sur la carte. Les cases sont réparties en fonction de la strate à laquelle elles appartiennent et un tirage au hasard est réalisé pour chaque strate. Ainsi l'emplacement des zones à inventorier est définies au hasard et une carte avec les emplacements des parcelles des créée (Figure 1: Emplacement des différentes parcelles inventoriées en fonction des unités paysagères). Chaque emplacement est nommé avec une lettre qui désigne la strate (A pour la strate muscinale, B pour celle herbacée basse, C pour la végétation de type herbacée haute, D pour pour celle arbustive et enfin E pour le type arboré). Puisqu'il y a plusieurs parcelle strate, ce code à une lettre est enrichi par un chiffre afin d'individualiser chaque emplacement. Au final les zones à inventorier sont identifiées de la manière suivante : A1 désignant la première parcelle de la strate muscinale et A2 la deuxième, et ainsi de suite.

Carte des différentes strates de végétation présentes sur le site :

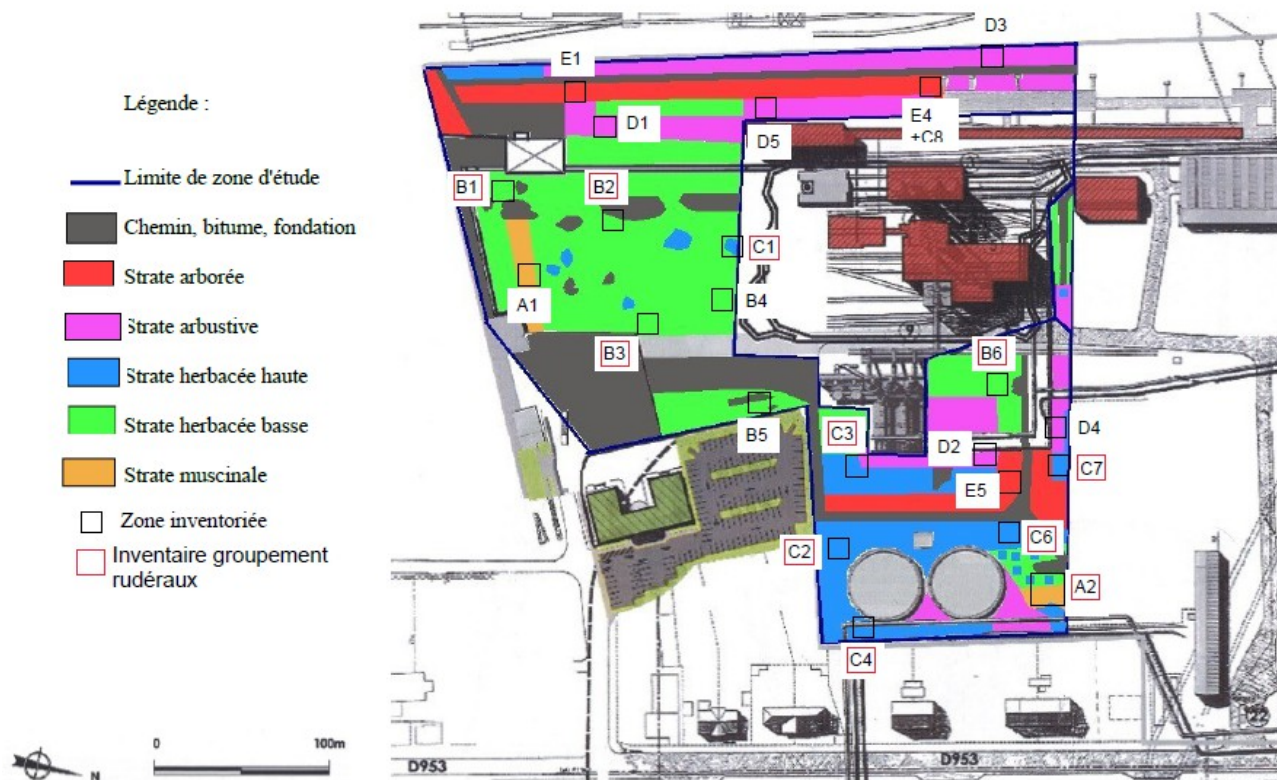


Figure 1: Emplacement des différents emplacements inventoriés en fonction des unités paysagères

Par la suite, à l'aide de la carte :1, les surfaces tirées au hasard sont placées sur le terrain et sont délimitées, afin de pouvoir les retrouver facilement et de réaliser les deux sessions d'inventaires sur les mêmes surfaces.

En résumé, le choix du nombre de parcelle qui subiront un inventaire se fait en fonction de la proportion de chaque strate dans la zone et leur emplacement est défini au hasard. Chaque emplacement est identifié par un code qui lui est propre et sont matérialisés sur le terrain.

Le quadrillage correspondant à des mailles de 10 mètres de côté, n'est pas choisi au hasard, en effet, 100 mètres carré correspond à l'aire minimale d'une zone boisée. Par conséquent dans la strate arborée, les cases sélectionnées sont égales à la surface à inventorier. Pour les autres strates, qui ont des aires minimales plus faibles, le choix de l'emplacement de la surface à inventorier dans la case se fait en fonction de l'homogénéité de la végétation présente. En favorisant des surfaces où la végétation est la plus homogène afin d'inventorier un seul groupement végétal.

Si plusieurs strates, ou plusieurs groupements végétaux, sont présents dans la même emplacement et qu'ils paraissent homogènes, un inventaire est réalisé par strate ou par groupement végétal, comme c'est le cas pour la parcelle C1. Cette case est recouvert par une strate pionnière, une strate herbacée basse et une herbacée haute, par conséquent, trois inventaires ont été réalisés sur cet emplacement. C'est également le cas pour la case A2, où été présent trois strates différentes et la case E4 ou deux types de végétations cohabitant sur la surface d'inventaire.

Une fois la surface définie, l'inventaire commencer, il se fait à l'aide d'une fiche de terrain, qui reprend l'ensemble des espèces présentes issues d'un inventaire réalisé en mai 2012 par HL Architectes urbanistes. En plus des espèces déjà trouvées sur le site, cette fiche de terrain comprend la date du premier inventaire, des informations sur le taux de recouvrement de la végétation, et la

nature du sol, qui aideront lors de l'organisation des inventaires.

Une espèce présente dans une surface à inventorier est représentée sur la fiche terrain par un coefficient d'abondance-dominance et coefficient de sociabilité. Le coefficient d'abondance-dominance est une échelle allant de + à 5 et qui donne une information sur le taux de recouvrement de l'espèce en question par rapport à la surface d'inventoriée. Le + qui équivaut à un seul individu ou un faible nombre avec un recouvrement négligeable, le 1 lui représente un recouvrement inférieure au vingtième de la surface, jusqu'au 5 qui est attribué lorsque que le recouvrement d'une espèces est supérieur au  $\frac{3}{4}$  de la surface. [7], Guinochet, M. (1973)

Le coefficient de sociabilité, est aussi une échelle allant de 1 à 5 mais donnant une information sur la tendance à se regrouper ou non, des individus d'une même espèce. Le chiffre 1 désigne des individus isolées, le 2 des individus en groupes restreints, jusqu'à 5 qui désigne des individus qui forment un peuplement continu, étendu et dense [7], Guinochet, M. (1973).

Sur les relevés, certaines espèces ne sont représentées que par un seul chiffre. Celui-ci correspond uniquement au coefficient d'abondance-dominance, et sous entend que le coefficient de sociabilité est égale à 1.

Pour compléter les inventaires et dans le but de voir si les proportions de matières fine et grossière influencent la répartition des végétaux, des strates et des différents groupements, une études granulométrique est faite dans chaque emplacement inventoriée. En fait, puisque la proportion de matière fine peut influencer la capacité du sol à retenir l'eau, ce qui joue sur la réserve en eau du sol mais aussi sur la réserve en eau utile pour les plantes, elle pourrait influencer la répartition des végétaux.

Pour étudier la granulométrie, la végétation de surface est enlevée puis le sol est récolté dans un récipient afin de garder au mieux les proportions de matière fine et grossière présentes dans le sol. Seul les premiers centimètres de sol sont récoltés, ceux où se trouvent les racines de la végétation. L'échantillon est ensuite passé au travers d'un tamis de 2mm (limite en matière fine et matière grossière). La matière grossière reste dans la partie supérieure du tamis et la fine passe dans la partie inférieure. En fonction de la teneur en humidité du sol récolté, un phase de séchage préalable peut être nécessaire, afin facilité le passage de la matière fine au travers du tamis. Chaque partie est pesée grâce à une balance de précision et les valeurs sont ramenées en pourcentages par rapport à la masse total de sol prélevé.

## **b- Géoradar**

### Présentation :

Le géoradar ou radar à pénétration de sol (ground-probing radar ou ground penetrating radar), est un instrument qui permet de connaître la structure de la couche supérieure du sol. Il permet de détecter et de localiser des cibles métalliques et non métalliques. Cet instrument est utilisé en archéologie, en études environnementales, lors de recherches de canalisations, et pour détecter de cibles enfouies dans le sol.



Photo 1 : Géoradar

Pour ce faire une antenne émet dans le sol des ondes électromagnétiques, le plus souvent comprises entre 100 MHz et 3 000 MHz. Les ondes sont partiellement réfléchies par tout changement de propriétés électriques dans la structure du sol (constantes diélectriques différentes). Par conséquent au niveau de la limite entre deux matériaux différents (qui ont des constantes diélectrique différentes) ou entre un matériau et le vide, une partie des ondes électromagnétiques est réfléchiée et est détectée par une antenne réceptrice. Ces ondes réfléchies sont matérialisées, sur un écran par différents formes (hyperboles, lignes, absence de signal...) en fonction de la nature, la forme de l'objet qui renvoie les ondes . Le déplacement du géo-radar sur le sol, permet de donner une succession de coupes verticales du sol.

#### Protocole :

La profondeur de pénétration des ondes dans le sol varie beaucoup en fonction de la nature de ce dernier et de sa résistivité (capacité à s'opposer à la circulation du courant électrique). Sur des terrains peu résistifs, comme les roches compactes, non argileuses et non fracturées, la profondeur peut atteindre des dizaines de mètres. À l'opposé, dans sur des terrains très résistifs, la profondeur est réduite.

La conductivité de la roche influe aussi sur la profondeur de pénétration des ondes. Sur des terrains conducteurs les ondes atteignent une profondeur inférieure au mètre.

La fréquence des ondes émises influe à la fois sur la profondeur et la résolution. Les basses fréquences pénètrent plus en profondeur mais ont une résolution faible. Il s'agit de trouver le bon compromis entre profondeur et résolution. Dans notre cas, l'antenne de 500 Hz a été choisie, car elles pénètrent entre deux et quatre mètres de profondeur dans le sol sur notre site. Il nous faut des informations sur une profondeur de deux mètres au maximum pour pouvoir placer au mieux les modalités (des consignes sur les profondeurs de sol souhaitées étant disponibles dans des fiches descriptives de chaque modalité).

Les résultats sont présentés sous la forme de graphiques avec la distance parcourue par le géo-radar en abscisse et la profondeur en ordonné. La profondeur dépend du temps d'aller-retour des ondes électromagnétiques donc de leurs vitesses de propagations, qui dépendent elle même du type de sol. Il faut donc avoir une idée de la composition du sol avant de faire les mesures afin de pouvoir déterminer la profondeur.

L'appareil est passé tout les deux mètres, en lignes droites et parallèlement aux délimitations



des parcelles. Chaque passage est numéroté en fonction de la direction dans laquelle il est effectué (les chiffres paires pour les allers et les chiffres impaires pour les retours), de la parcelle dans laquelle il se situe et dans la zone où se trouve la parcelle. Ce qui permet de retrouver, d'orienter et de pouvoir placer chaque profil obtenu sur une carte. La distance de deux mètres n'a pas pu être respectée sur tout le site, en effet, la densité ou le type de végétation ainsi que la présence de gravats par endroits, empêchèrent la progression de l'appareil. Dans ces cas, les distances parcourues et les espacements entre des passages successifs sont beaucoup plus hétérogènes. (Figure 2 : Emplacement des passages du géoradar sur le site U4)

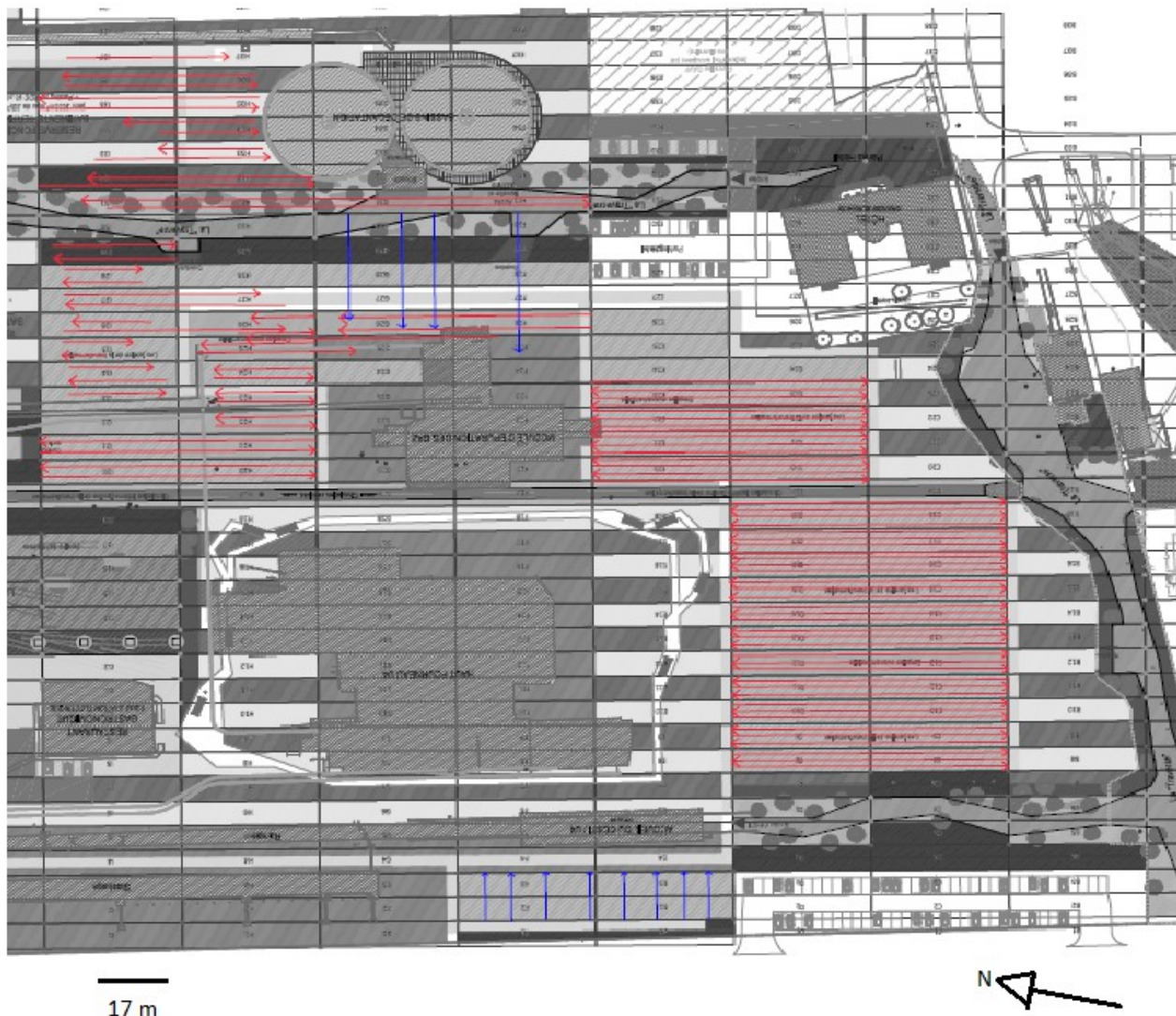


Figure 2 : Emplacement des passages du géoradar sur le site U4

Dans la zone A (Annexe 2), la végétation est de type herbacée et n'empêche pas la progression de l'appareil. Une cinquantaine de profils sont obtenus, avec chacun une longueur de 70 mètres (la longueur de deux parcelles : 35 mètres + 35 mètres), ce qui correspond aux parcelles qui accueilleront le jardin des transformations.

C'est au niveau des zones B et C que la végétation et les gravats ont rendu plus difficile le passage du géoradar. Les profils obtenus sont donc de longueurs variables.

Profitant de l'opportunité d'avoir un géoradar sur le site, des passages ont été effectués sur d'autres parcelles que celles du projet : jardin des transformations (Annexe 1) parcelles en vert

foncé et vert clair. En effet, il se peut que ces parcelles accueillent un jour un projet qui aurait besoin d'informations sur la structure du sol et la présence d'éventuelles dalles. Informations qui seront, alors, déjà disponibles.

Au final plus de 110 passages, qui ont été traités via le logiciel REFLEX W, qui a permis de rendre plus visibles certains figurés et aussi de placée une échelle de profondeur en ordonné.

### c- Niton

#### Présentation :

Le niton est spectromètre de fluorescence X portable, permettant de faire des analyses rapides, précises de métaux directement sur le terrain. Le principe est assez simple, une émission de rayons X excite les éléments atomiques, qui renvoient des photons X secondaires caractéristiques des éléments atomiques. Le spectre des rayonnements secondaires et son intensité donne la composition en éléments présents ainsi que leurs quantités.



Image 1 : Représentation du Niton

L'appareil est donc composé de trois parties, une source d'excitation (émission de rayons X), un détecteur qui capte les spectres de rayonnements secondaires et un système de traitement qui rend visible les informations captées par le détecteur.

Le niton permet d'analyser uniquement la matière présente au niveau d'une petite lentille, qui correspond aux points d'émission et de réception des ondes. Par conséquent l'analyse se fait sur une surface et une quantité de matière faibles.

#### Protocole :

Toute les parcelles du jardin des transformations doivent être analysées afin de pouvoir placer au mieux les différentes espèces végétales en fonction de leurs besoins mais aussi des attentes de leurs actions sur le sites.

La précision de l'appareil est fonction du temps de l'analyse, plus la prise dure longtemps, plus le résultat sera précis. En vue du temps de mise à disposition de l'appareil (2 jours), du nombre de parcelle à traiter (plus de 50) et de la surface analysée à chaque prise de l'appareil, nous avons



choisi de prendre un temps d'analyse de 30 secondes (sur 1,5 minutes au maximum) et d'effectuer 10 analyses par parcelle. Ce qui permet d'avoir une bonne précision tout en pouvant effectuer un grand nombre de mesures. Pour chaque parcelle, les 10 analyses sont placées aléatoirement tout en parcourant la totalité de la parcelle, ce qui donne un échantillonnage composite et une idée global de la teneur en éléments métallique. Le placement aléatoirement des zones analysées permet aussi de gagner du temps sur le terrain et de s'adapter aux de terrain (végétation trop dense pour progresser, dalles de surface, présence de troncs d'arbres, ...) qui limite parfois les possibilités d'emplacement.

Sur le terrain, à l'aide d'une binette, la végétation en surface a été enlevée et le sol légèrement remué afin de trouver de la matière fine. C'est sur cette dernière que s'effectue les mesures.. Lorsque des dalles étaient présentes en surface, ces zones ont été évitées dans la prise de mesures.

Au total plus de 540 mesures ont été réalisées, donc 54 parcelles ont été traitées. Certaines sont actuellement transformer en parking (E24, E25, E26 et D24) (cf figure 2) par conséquent, les mesures n'ont pas été réalisées. La parcelle D21 est entièrement recouverte par une dalle, la H23 est colonisée par un rosier très dense, donc les mesures n'ont pas pu être réalisées dans ces deux parcelles.

Les résultats donnent les teneurs en ppm pour les éléments suivant, molybdène (Mo), zirconium (Zr), strontium (Sr), uranium (U), rubidium (Rb), Thorium (Th), plomb (Pb), L'or (Au), sélénium (Se), arsenic (As), mercure (Hg), zinc (Zn), tungstène (W), cuivre (Cu), nickel (Ni), cobalt (Co), fer (Fe), manganèse (Mn), antimoine (Sb), étain (Sn), cadmium (Cd), palladium (Pd), argent (Ag), niobium (Nb), bismuth (Bi), rhénium (Re), tantale (Ta), hafnium (Hf), chrome (Cr), vanadium (V) et thallium (Ti).

Pour chaque élément et pour chaque parcelle (10 valeurs), une moyenne est faite et le maximum est identifier, et l'écart-type calculé, afin d'avoir des données globales sur les parcelles mais aussi la valeur maximale. Ces valeurs sont comparées au bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle.

### III- Résultats et Analyses

#### a- Inventaire floristique :

Au final, 27 inventaires ont été réalisés, et plus de 170 espèces différentes répertoriées.

Afin de classer les inventaires et pouvoir tirer des informations sur les sols, toutes les espèces ont été organisées en fonction de leur appartenance aux classes psychosociologiques. Pour ce faire, toute les informations des différent inventaires sont repris dans tableau (Figure 3: Représentation réduite du tableau ordonné). En premier lieu toutes les espèces sont classées en fonction de leur appartenance aux groupements phytosociologies de Juve (Tableaux phtytosociologiques de Juve). Grâce à une clé de détermination, on trouve le groupement phytosociologique du milieu et celui-ci nous donne les espèces qui y associées. Guinochet, M., Vilmorin, R. (1973)

Une fois les espèces classées en fonction de leur appartenance aux groupements définis, ce sont les inventaires qui doivent être ordonnés par rapport aux espèces qu'ils répertorient donc par conséquent par rapport aux groupements phytosociologiques. La notion de présence/absence des espèces a une importance pour ordonner les inventaires tout comme les coefficients d'abondance-

dominance et de sociabilité. Il faut aussi tenir compte du taux de recouvrement. Le but est d'essayer de rassembler les inventaires qui ont les mêmes caractéristiques, ce qui veut dire, avoir un certain nombre d'espèces qui ce sont vu attribuer des coefficients d'abondance-dominance et de sociabilité (si possible) élevés dans le même groupement phytosociologique.

Le tableau ordonné des inventaires comprend cinq classes phytosociologies, sedo-scleranthetea, festuco brometea, arrhenatheretea, onopordetea et quercu-fagetea.

% matière fine	40	56	26	14	30	14	33	42	35	25	29	27	52	19	21	40	36	18	46	31	95	8	48	5	31	66	53			
% matière grossière	60	44	74	86	71	86	67	58	65	75	71	72	48	81	79	60	64	82	55	64	5	82	52	95	69	34	47			
% recouvrement h	20	10	75	95	80	100	80	80	100	100	100	100	100	100	100	90	100	90	85	100			30	50	20					
% recouvrement Aa					60		30											10					100	90	100					
% recouvrement total	20	10	75	95	90	100	90	80	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100	85	100			100	100	100					
Reliés																														
Espèces	A1	A2	Mesoh	herf	D1	B4	B3	B5	B4	B1	B2	B3	B4	B5	B3	B4	B5	B3	B4	B5	D1	D3	D4	D5	E1	E4	E5	Total		
<b>Espèces pionnières des groupements hélio-xérophiles, pauvres en espèces, sur substrats filtrants = SEDO-SCLERANTHETEA</b>																														
La Sabline à feuilles de serpolet ( <i>Arenaria serpyllifolia</i> )	1	1																										2		
<i>Saxifraga tripartita</i>	1	1																										2		
<i>Erodium cicutarium</i>	1																											1		
Orpin âcre ( <i>Sedum acre</i> )	1	1	+		1		+		1	+																		7		
<b>Espèces des pelouses et prairies</b>																														
<b>Espèces des pelouses xéro à mésophiles = FESTUCO BROMETEAE, Brometalia erecti, Mesobromium</b>																														
L'Éillet prolifère ( <i>Petrorhagia prolifera</i> )	1	1	1	1	1	2	1	+	2	1	1	1	+	1	1													19		
Fausse piloselle ( <i>Pilosella piloselloides</i> var)	1	1	2	2	2					1	1	2	2	1	1	1												1	18	
Nicotiane commune ( <i>Echium vulgare</i> )	1	1	2	1						3	2	3	2	2	1	2	3											1	16	
Luzerne naine ( <i>Medicago minima</i> )	1	1	2	4	4	2	3	3	4	4	4	2																2	15	
Plantain lancéolé ( <i>Plantago lanceolata</i> )						1	2			1	1				1	2	1	2										1	14	
Vulvie ciliée ( <i>Vulpia ciliata</i> )	1	1	1	3	3					2	2	3	2	+														12		
Pâturin comprimé ( <i>Poa compressa</i> )			1	1	+					1		1	1															+	11	
Brome des toits ( <i>Bromus tectorum</i> )	1					5	5			1	+	2			3	3	+											+	10	
Campanule à feuilles de pêcher ( <i>Campanula persicifolia</i> )					1	2				1																		1	7	
<b>Espèces des prairies fauchées mésophiles = ARRHENATHERETEA, Arrhenatheralia elatioris</b>																														
Carotte sauvage ( <i>Daucus carota</i> )			+	1	1	2				+	1	1	1	1	+	1	1	1	+	1	1							+	20	
Petit Trèfle jaune ( <i>Trifolium dubium</i> )			+	2	3		2	3		+	2	2	3		1	1	2	2										+	17	
Pissenlit sp ( <i>Taraxacum</i> sp)										+	1				+	2	3	+										1	15	
Avoine élevée ( <i>arrhenatherum elatius</i> )										2		1	1	2	2	2	1	3	1	2								+	11	
Oseille ( <i>Rumex acetosa</i> )															+	1												+	12	
Pâturin des prés ( <i>Poa pratensis</i> )						1	1								+	1												+	11	
<b>groupements rudéraux = ONOPORDETEA, Artemisietea vulgaris, Tanacetum vulgare</b>																														
Millepertuis commun ( <i>Hypericum perforatum</i> )																													+	22
Linnaire commune ( <i>Linaria vulgaris</i> )																													+	12
L'Épervière des murs ( <i>Hieracium murorum</i> )																													+	9
Vergerette annuel ( <i>Erigeron annuus</i> )																													+	16
Molène noire ( <i>Verbascum nigrum</i> )																													+	13
Vesce hirsute ( <i>Vicia hirsuta</i> )																													+	8
Vesce des haies ( <i>Vicia sativa</i> )																													+	8
Chiendent officinal ( <i>Agropyron repens</i> )																													1	6
Brome mou ( <i>Bromus hordeaceus</i> )																													+	6
Aster à feuilles lancéolées ( <i>Symphotrichum lanceolatum</i> )																													+	6
Folle avoine ( <i>Avena fatua</i> )																													+	3
<b>Espèces des bois, taillis et broussailles méditerranéennes = QUERCO-FAGETEA</b>																														
<b>herbacées</b>																														
Chêne sp ( <i>Quercus</i> h)																													+	6
Ronce sp ( <i>Rubus</i> sp) h																													+	3
Bouleau verruqueux ( <i>Betula pendula</i> ) a																													+	9
Tremble ( <i>Populus tremula</i> ) a																													+	6
Peuplier d'Italie ( <i>Populus italica</i> ) a																													+	4
Saule marsault ( <i>Salix caprea</i> ) a																													+	3
Saule blanc ( <i>Salix alba</i> ) A																													+	4
Bouleau verruqueux ( <i>Betula pendula</i> ) A																													+	4
Peuplier baumier ( <i>Populus balsamifera</i> )																													+	3
Tremble ( <i>Populus tremula</i> ) A																													+	3
Saule marsault ( <i>Salix caprea</i> ) A																													+	2
<b>Somme</b>	9	10	10	12	11	10	17	15	19	15	17	15	20	18	10	18	15	18	15	3	20	14	12	11	13	13	16	41		

Figure 3 : Représentation réduite du tableau ordonné

Cette image à pour but de donner une idée de l'enchaînement des différentes classes phytosociologiques, par conséquent, qu'une petite partie des espèces est présente.

Comme dit précédemment, il faut classer les inventaires en fonction de l'importance des coefficients pour des espèces appartenant aux mêmes classes phytosociologiques. Au niveau des deux premiers relevés (A1 et A2), on remarque qu'elles ont une part assez importante de leurs espèces qui appartiennent à la classe des SEDO-SCLERANTHETEA, contrairement à tout les autres relevés qui n'ont qu'une faible partie de leurs espèces dans cette classe. De plus les deux premiers relevés sont faiblement représentés dans les autres classes. Le sedo-scleranthetea se développent

souvent sur des sols pierreux, composés de débris de roches. Ce type de milieu possède de faibles réserves en eau mais un bon éclaircissement, ce sont donc des espèces xérophiles et héliophiles qui s'y développent (*Saxifraga tridactyle*, *Arenaria serpyllifolia*).

Au niveau des quatre inventaires suivant (B4, C1 pionner, C1herbacé et D1 ), la majorité de leurs coefficients élevés dans la classe des FESTUCO BROMETEA (pelouse qui commence à se fermer), et très peu dans les autres. La classe des Festuco Brometea représente un pelouse meso-xérophile (milieu assez sec), se développant sur un sol peu épais. Des espèces comme Luzerne naine (*Medicago minima*), Brome des toits (*Bromus tectorum*), représentent bien ce groupe.

Les relevés C8, B5 et A2 herbacée haute, ont quant à eux, en plus des espèces de la classe des FESTUCO BROMETEA, certaines de la classe des ARRHENATHERETEA, avec des coefficients importants sont présents. Cela montre une dynamique de transition entre les des classes, avec la présence de chiffres forts dans les FESTUCO BROMETEA et les ARRHENATHERETEA.

Pour les relevés floristiques B1, B2, B3, B6, C1 herbacée haute, C2, C3, C6, A2 herbacée haute, C7 et C4, une partie des valeurs d'intérêts se retrouvent dans la classe des ARRHENATHERETEA mais aussi dans la classe des ONOPORDETEA, ce qui permet de les différencier du regroupement précédent (même si la limite entre ces deux groupes est assez subtile). Les espèces qui sont présentes dans cette classe sont héliophiles qui ont besoin de plus d'eau de les festuca brometea pour se développer, notamment le Dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata*). Les espèces appartenant au dernier groupement cité sont dites rudérales, donc se développent sur des milieux modifiés (souvent pas l'Homme). De nombreuses espèces rudérales sont nitrophiles, et ont besoin d'un sol riche en azote pour se développer (Ortie dioïque (*Urtica dioica*), Géranium herbe à robert (*Geranium robertianum*), Vergerette annuel (*Erigeron annuus*), Melilot blanc (*Melilotus albus*), Armoise commune (*Artemisia vulgaris*)... ). Ce qui n'est pas forcément le cas des espèces appartenant aux classes précédentes.

Dans certains inventaires classés dans les Onopordetea, des espèces comme le rosier (*rosa canina*), Ronce sp (*Rubus* sp), montrent un boisement du milieu. Ici aussi il y a une dynamique d'évolution est en place, poussant les milieux à évoluer vers un milieu plus boiser.

Et enfin les derniers relevés (D2, D3, D4, D5, E1, E4 et E5) ont eux de coefficients importants notamment pour la classe QUERCO-FAGETEA. Cette classe est de type forestière. Des espèces comme Chêne sp (*Quercus*), Merisier (*Prunus avium*), Lierre (*hedera helix*), sont présentes. Dans l'inventaire E5, un If commun (*Taxus baccata*) est présent. C'est une espèces forestière sciaphile, par conséquent, montre aussi une dynamique au sein de ce milieu, avec le développant d'espèces arborées de type sciaphile qui peuvent se développer uniquement en présence sous des arbres de grandes tailles.

Concernant les taux de matière fine, il ne semble pas y avoir de relation entre ce taux et la type ou la classe de végétation présent sur le sol.

Onze inventaires sont classé dans la classe des espèces rudérales, montrant une richesse en azote d'une grande partie du site (carré rouge sur la carte). (Figure 1: Emplacement des différentes parcelles inventoriées en fonction des strates de végétation)

Une dynamique d'évolution de la végétation est visible, avec la présence de différente strates mais aussi avec relevés comprenant des espèces présents dans plusieurs classes. Cette dynamique est fonction du temps, des réserves en eau, qui jouent un rôle important dans la différenciation des deux premières classes, mais aussi des activités humaines. Certaines zones sont tondues régulièrement, par conséquent la dynamique d'évolution est bloquée par cette action, empêchant

des espèces arborées de s'y implanter. Par conséquent le temps, notamment la durée pendant laquelle l'homme n'intervient pas sur la végétation semble être l'un des facteurs principaux influençant la présence des strates et des espèces végétales. Plus cette durée est longue, plus la présence d'espèces arborées et nitrophiles est fréquente.

### b- Géoradar :

Chaque profil traité informatiquement doit être analysé. La figure 4 Représente un profil après traitement du profil brut.

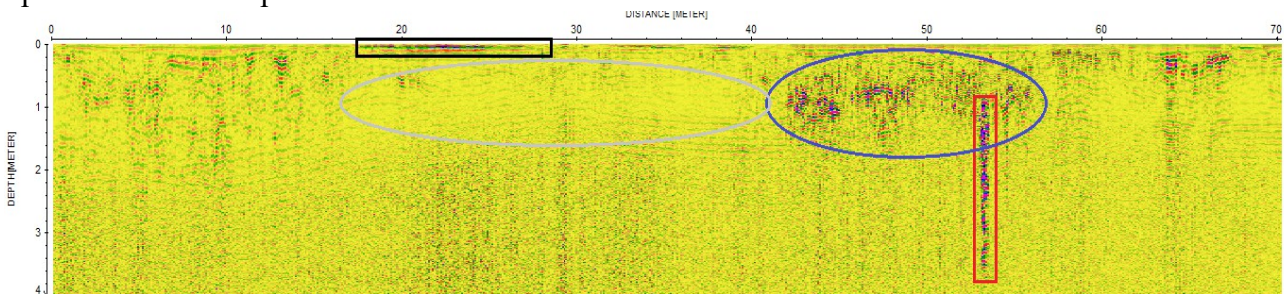


Figure 4 : Profil N° A32, parcelle 17, zone A

La distance parcourue est en abscisse et la profondeur en ordonnée. Les changements de constantes diélectriques sont marquées par les variations de couleur (le jaune étant le fond et permet de mieux visualiser les variations).

Sur ce profil, il est possible de distinguer la présence d'une dalle en surface entre 18 et 25 mètres (rectangle noir). Entre 42 et 55 mètres, un nuage de petits points montre également un changement de constantes diélectriques entre cette partie et l'encaissant (cercle bleu). Puisque la matérialisation est sous forme de petits points et non de lignes continues, il semble que la cause de ce changement ne soit également pas continue. A 53 mètres et à environ 80 centimètres de profondeur, un signal strié s'étale vers le bas (rectangle rouge). Ce type de signal est caractéristique des objets métalliques. Par conséquent, un objet métallique se trouve à 53 mètres et est enfoui à 80 centimètres de profondeur. Entre 17 et 40 mètres en abscisse et 0,4 et 1,2 mètre de profondeur, une perte de signal est visible (cercle bleu clair), indique une présence en métaux supérieures. Cependant, les éléments concernés et leurs teneurs ne sont pas déterminés.

Cette démarche a été réalisée pour chaque profil, répertoriant dans un tableau tout les éléments présents, dalle, remblais, etc. En bleu, sont représentés les éléments situés en surface, c'est à dire dans les premiers centimètres de sol. En orange, les éléments situés en profondeur.

	N° Parcelles	Profils	Début (m)	Fin (m)	Interprétations
Zone A	17	A30	0	13	Remblais : gravats + particules de sol
			13	20	Dalle béton en surface
			45	66	Dalle béton en surface
		A31	45	52	Divers : localisé à environ 0,2m de profondeur
			62	66	Divers : vide probable sous la dalle ou décollement de la dalle à 0,2m de profondeur
			0	70	Remblais : gravats + particules de sol
	A32	20	24	Divers : localisé à environ 0,4m de profondeur	
		25	29	Divers : localisé à environ 0,4m de profondeur	
		0	9	Remblais : gravats + particules de sol	
		9	15	Dalle béton en surface	
		56	64	Dalle béton en surface	
		40	52	Divers : localisé à environ 0,5m de profondeur	
			52	54	Echo d'objet métallique localisé à environs 0,7m de profondeur
			62	66	Divers : vide probable sous la dalle ou décollement de la dalle à 0,2m de profondeur



Tableau 1 : Extrait du tableau récapitulatif : Profils de la parcelle 17, zone A

Pour une meilleure visualisation de la succession des profils et de la continuité des variations des ondes entre des profils successifs, ces derniers ont été placés selon la même orientation et positionnés de les uns derrière des autres de façon à obtenir une vision 3D (sans oublier qu'il y a un décalage de deux mètres entre deux profils successifs). (Annexe 6 : 2-3 profils successifs)

En plus de l'analyse des profils, une prospection des premiers centimètres de sol sur le terrain, à l'aide du binette, du tableau récapitulatif, et d'une carte, a permis de vérifier si les les interprétations de surface n'étaient pas erronées. Suite à cela, une compilation de tout les résultats a permis de faire une carte représentant les différents éléments de surface.

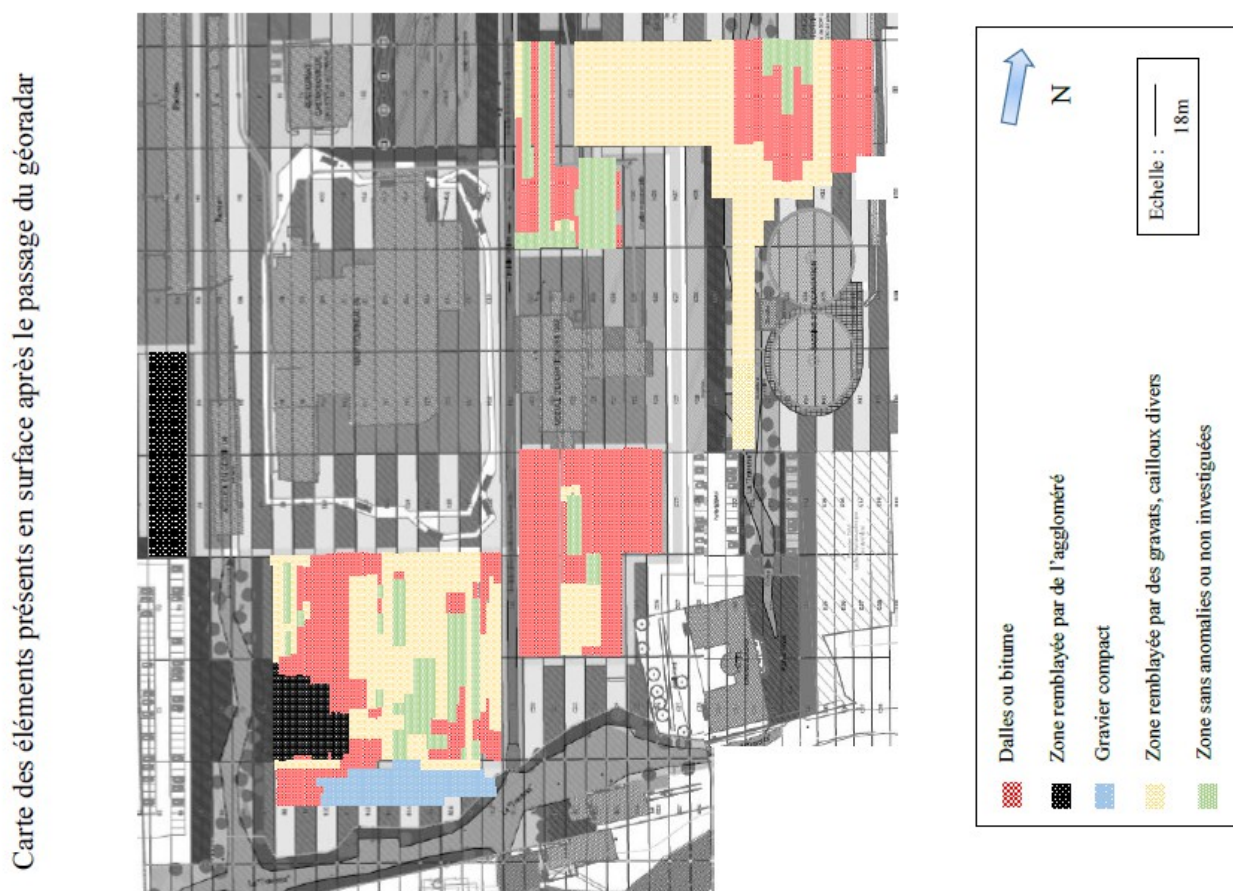


Figure 4 : Éléments présents en surface après le passage du géoradar.

Les espaces de couleur noire représentent les zones remblayées par de l'aggloméré (minerais riches en fer qui ont été utilisés dans l'industrie de fonderie). Ce matériau est surtout présent dans la zone C et un peu dans la A. Les remblais composés de gravats (gros blocs de roche, fragments d'anciennes dalles..), en jaune, sont présents dans une grande partie de la zone A et dans la zone B. Ils sont également présents près des bassins de décantations (zones qui ne font, actuellement, pas partie du jardin des transformations). Le figuré de couleur bleue, représente du gravier compacté qui constitue en ensemble solide mais facilement friable de 2 à 3 centimètres d'épaisseur. La couleur rouge, correspond à l'emplacement de blocs solides (dalles, fonctions, bitume..). Et enfin les parties vertes, représentent les espaces au niveau desquels aucune anomalie en surface n'est visible.

Une très forte majorité des dalles de surface retrouvées grâce au géoradar, présentent une

forte corrélation avec l'emplacement d'anciens bâtiments de l'usine qui ont été détruits après sa fermeture.

La profondeur de sol et donc la présence de dalle ou d'objets en profondeur sont des facteurs déterminants dans le choix des parcelles, car en fonction de l'espèce choisie, une certaine profondeur de sol est nécessaire pour permettre le bon développement des racines et donc de la plante. Si les plantes n'arrivent pas à ce développer car il n'y a pas assez de sol, elles ne pourront pas jouer leurs rôles bénéfiques sur celui-ci.

Ici, la grande majorité des dalles se situent en surface, et les objets qui sont en profondeur, ont une taille bien inférieure à la surface d'une parcelle. Donc les objets situés en profondeur ne devraient pas empêcher la pénétration des racines dans le sol. Pour cette partie, le facteur influençant principalement le placement des modalités (donc des différentes espèces végétales), est la présence de dalles de surface.

### **c- Niton :**

Les éléments Or, Sélénium, Antimoine, Cadmium, Palladium, Argent, Rhénium, Tantale, Hafnium, Étain et Tungstène, sont sous la limite de détection pour les mesures effectuées, par conséquent, il n'y a pas de pollution en ces éléments sur tout les points de sondages réalisés.

Le molybdène, zirconium, strontium, uranium, rubidium, thorium, manganèse, niobium, bismuth, mercure vanadium et le thallium, sont présents souvent en dessous de la limite de détection. Lorsqu'ils sont détectés c'est sur 1 à 3 échantillons sur 10.

Le mercure, le cobalt, le chrome et le vanadium sont présents uniquement dans quelque échantillons. Dans la plus part des parcelles, ils sont en dessous des seuils des détections et lorsqu'ils présents, c'est sur 3 échantillons sur 10 au maximum. Ces éléments sont présent de manière très ponctuelles sur le site.

Le plomb, l'arsenic, le zinc, le cuivre et le nickel, ont des valeurs exploitables, car ils sont présents dans une majorité des parcelles, avec un nombre de valeurs par parcelle souvent égale à 10 (le maximum).

Le plomb, l'arsenic, le mercure, le zinc, le cuivre, le nickel, le cobalt, le chrome et le vanadium, ont des valeurs de comparaisons disponibles par le biais du bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle (BFGPM) (Annexe 4 : Bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle) Pour les autres, il est très difficile d'en trouver.

Par conséquent, le plomb, l'arsenic, le zinc, le cuivre et le nickel, vont composés l'ensemble de notre étude en ETM, car ce sont les seuls qui ont les conditions requises pour être analysés (valeurs supérieures aux seuils de détection, plus de 6 valeurs par parcelle et valeurs comparatives disponibles).

Concernant le nickel, il est présent sur un grand nombre de parcelles, mais en faible quantité en terme de nombre d'analyse, avec une moitié des moyennes est issue de 1 à 4 échantillons sur 10. Par conséquent, seront traités uniquement les moyennes qui sont issues de plus de 6 échantillons sur 10, afin de ne pas extrapoler une pollution ponctuelle (en un point donné) à l'ensemble d'une parcelle.

Les éléments sont donc comparés au bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle avec un code couleur. Bleu, les moyennes qui sont en dessous de la valeur moyenne du BFGPM, en jaune les moyennes entre la moyenne et le maximum du BFGPM et en rouge les moyennes qui sont supérieures au BFGPM.

Les moyennes retrouvées pour le zinc et le plomb, sont en très grande majorité au dessus du maximum du BFGPM, pour l'ensemble du site.

Pour l'arsenic et le cuivre, la moitié des moyennes sont au dessus du maximum du BFGPM et l'autre moitié se situe entre le maximum et la moyenne du BFGPM.

Concernant le nickel, les moyennes traitées (issues de plus de 5 valeurs) sont entre le maximum et la moyenne du BFGPM.

Des cartes représentant la comparaison des moyennes observées sur le site par rapport au BDFGPM sont créées pour les éléments présents sur la majorité des parcelles (plomb, arsenic : annexe 7, zinc : annexe 8, cuivre: annexe 9 et nickel : annexe 10). Le même code couleur qu'expliqué précédemment est utilisé pour ces cartes.

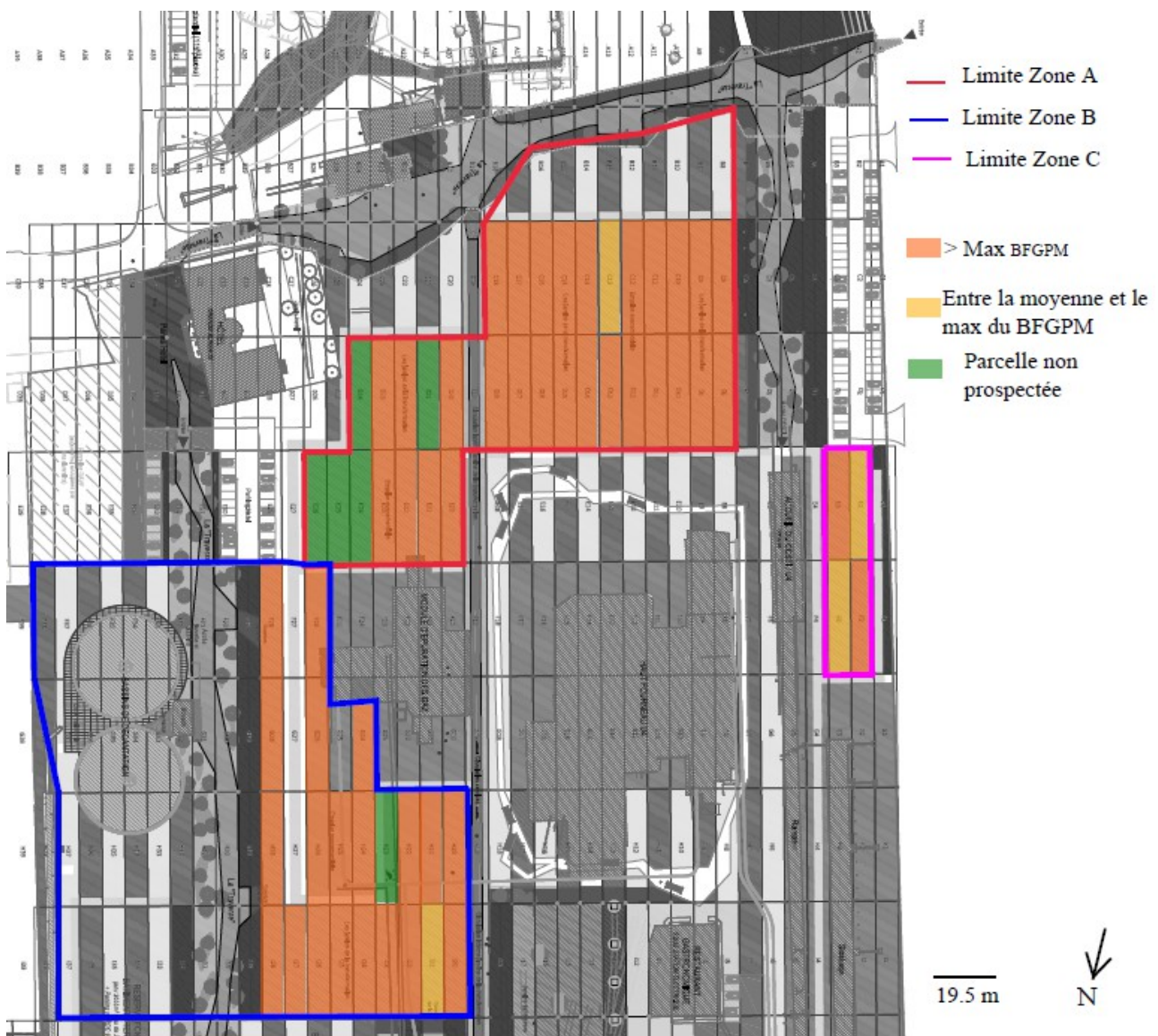


Figure 5 : Comparaison des teneurs moyennes en plomb retrouvées sur le site par rapport au bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle

Des tests ont aussi été fait sur des blocs d'aggloméré et de laitier, afin de connaître leurs teneurs en métaux. Pour ces même éléments, le laitier à des teneurs moyennes en nickel et en cuivre qui sont comprises entre la moyenne et le maximum du BFGPM et les autres éléments sont en

dessous de la moyenne du BFGPM. Pour l'aggloméré, le zinc est en teneur intermédiaire entre la moyenne et le maximum et le cobalt, lui est supérieur au maximum.

Ces deux roches n'expliquent pas à elles seules les pollutions présentes. L'origine de ces anomalies est liée à l'historique du site, notamment aux activités industrielles qui se étaient présentes sur le site.

## IV- Discussion

Le but des travaux présentés précédemment est de placer, au mieux, les différentes modalités végétales dans des parcelles qui formeront le jardins des transformations.

Les parcelles situées au nord est de la zone A, sont actuellement recouvertes principalement par du bitume, seront exploitables. En effet sous peu, des forages dans ces dalles seront réalisés afin de déterminer leurs épaisseurs et de voir si elles peuvent être fractionnées ou détruites. En prenant en compte que cette zone est recouverte par du bitume (emplacement d'un parking sur une partie, revêtement bitume sur autre), l'épaisseur devrait permettre leurs destruction.

En ce qui concerne les fondations dans la partie ouest de la zone A, elles soutenaient des hauts fourneaux, par conséquent leurs épaisseurs doivent être beaucoup plus importantes et leurs destruction paraient compromises.

Les modalités qui vont être placées sur le site sont les suivantes :

- Les modalités comprennent une partie écosystèmes spontanés, avec une modalité recolonisation naturelle de la végétation depuis la fermeture de l'usine et une autre avec une recolonisation naturelle depuis la fin des travaux du jardin des transformations.

- La partie diagnostic, dépollution et restauration du fonction du sol, comprend des modalités mettant en évidence des plantes bio-indicatrices de pollutions, la phytostabilisation du sol, en utilisant des micro-organismes favorisant la croissance des plantes en milieu défavorable qui limiteront à leur tour la mobilité et la diffusion des polluants dans le sol. La dernière modalité de cette partie concerne la construction de sol. Le but est de montrer comment des sous produits (boue de STEP, déchets verts, composts) peuvent rendre de nouveau fonctionnel un sol dégradé.

Une autre partie concerne la production de biomasse non alimentaire (peuplier, miscanthus, ortie et chanvre). Le but est de montrer qu'un sol de fiche peut produire de la biomasse (bois de chauffage et fibre) mais aussi de regarder si c'est espèces arrivent à extraire ou stabiliser les polluants présents dans le sol.

- La production de biomasse alimentaire, a pour objectif de mettre en évidence la capacité du milieu à produire de la biomasse à usage alimentaire et aussi vérifier si la production est contaminée ou non. La production de biomasse alimentaire comprend, la culture fourragère, un agrosystème « grande culture », la production potagère et la mise en place de plantes mellifères pour produire du miel. Il est évident que la biomasse sera analysée pour savoir si elle est compatible avec la législation.

- Une autre partie est allouée à la gestion de biomasse avec la mise en place de composts, qui accueilleront différents types de matière organique. Et montreront notamment la valorisation de ce qui est considéré comme des « mauvaises herbes » ou des déchets organiques, pour fertiliser d'autres parcelles.

- La dernière partie concerne la récupération de métaux, en utilisant des plantes hyperaccumulatrices pour extraire et valoriser les métaux présents dans le sol, notamment le nickel avec l'agromine du nickel (*Alyssum murale*).



Le placement des modalités sur les parcelles se fait en fonction des caractéristiques du site (présence de dalles ou de fondations, de pollutions et de la richesse du sol) mais dépendent aussi des caractéristiques des espèces végétales qui vont être mis en place. Le choix des espèces et du type de valorisation qu'elles peuvent apporter, a été déterminés avant le début de ce stage, par des chercheurs de l'université de Lorraine et du GISFI.

Mise en œuvre des modalités de parcelles de démonstration							
Index	modalités	parcelles			localisation		sol
		nb	forme	Surface /parcelle mini/maxi	exposition	polluant	profondeur cm
<b>A Écosystème spontané</b>							
A1	observation du retour à l'état végétalisé d'un sol	6	=	200/400	Éviter ombre	3 répliquas/type sol	
A2	Observation recolonisation existante	3	=	200/400	indifférent	Sols différents (1 parcelle polluée)	non limitée
<b>B Diagnostic, dépollution et restauration des fonctions du sol sur zone</b>							
B1	plantes indicatrices	2	non	400/800	Micro-conditions locales à prévoir pour certaines plantes	non	50/100 bien drainé
B3	Phytostabilisation	6	=	200/400	Éviter ombre	métaux ou organiques	50 non fertilisé
B5	Construction de sols	3	=	200/400	indifférent	contamination résiduelle propriétés physico-chimiques défavorables	100
<b>C Production de biomasse : Non alimentaire</b>							
Non alimentaire							
C1	peuplier	3	=	200/400	plein soleil		100 bien drainé/humide
C2	miscanthus	3	=	200/400	sensible au vent	HAP, métaux	100/200
C3	ortie	3	=	200/400	plein soleil		50 Humide, Riche en azote. Sol non tassé
C4	chanvre	3	=	200/400	plein soleil		50 bien drainé/pH 6/8
<b>C Production de biomasse : Alimentaire</b>							
C5	potager	2	=	400/600	enseillé à mi-ombre	Sols différents	
C6	production grandes cultures	3	=	200/400	enseillé en continu	non	40
C7	production fourragère	3	=	200/400			
C8	plantes mellifères	3	=	200/400	plein soleil	HAP, métaux	
<b>Gestion de la biomasse</b>							
C10	compost	1					
<b>D Récupération de métaux</b>							
D1	nickel (agromine)	3	=	200/400	enseillé	nickel	50

Tableau 2 : Extrait du tableau résumé des recommandations des modalités

Les espèces végétales, appartenant aux différentes modalités, doivent être placées en fonction des recommandations des chercheurs (profondeur de sol souhaité, type d'exposition au soleil, présence ou absence de polluant, etc) et des résultats de l'inventaire floristique, du géoradar et du niton, qui donnent les caractéristiques du site. Il faut trouver le meilleur compromis entre les conditions présentes sur le site et les exigences réclamées par chaque modalités. De plus, c'est un jardin, par conséquent, il sera visité. De ce fait, un aspect esthétique est à prendre en compte, et sera intégré dans le projet par le biais d'un paysagiste.

Les modalités potager (C5) et construction de sol (B5), peuvent être placées en premiers, car pour il leur faut des sols avec des concentrations relativement faibles en polluants. Afin de les placer, les parcelles avec les plus faibles concentrations ont été attribuées à ces deux modalités.

Le géoradar a permis de mettre en évidence la présence de nombreuses fondations dans les parcelles est de la zone A, ce qui limiterait fortement l'implantation des végétaux. Par conséquent

cette zone est prioritaire pour les modalités qui sont hors sol, comme les composts (modalité numéro C10), qui ne nécessite pas de sol pour être mis en place.

La zone C quant à elle, est composée uniquement de quatre parcelles et a un sol constitué essentiellement de remblais d'aggloméré. Cette zone semble propice à l'installation de la modalité peuplier (référéncée C1), ces parcelles sont à l'écart de autres parcelles, par conséquent, l'ombre provoquée par la taille des arbres ne généra pas les autres modalités. De plus le sol étant composé d'aggloméré, il sera bien drainant, comme réclaté dans les recommandations.

Deux autres modalités peuvent être placées rapidement car elles apportent des contraintes d'ombrage, le miscanthus (C2) et le chanvre (C4). Dans le but qu'elles ne provoquent pas trop d'ombre sur les autres modalités, elles sont placées dans des parcelles qui en côtoient le moins, c'est à dire en périphérie du jardin de transformation. Lorsque l'une de ces deux modalités est en périphérie de zone, il faut faire attention à ce que la modalité qui ce situe juste côté n'est pas une trop forte exigence au niveau de l'éclairément.

Les modalités concernant la recolonisation spontané (A1 et A2), sont peu exigeantes en terme d'éclairément, c'est pourquoi il est possible de placer à côté des précédentes. De plus, elles ont un but principal d'observer le processus de recolonisation des sols de friches, c'est pourquoi la présence de dalles, ou de remblais composé de gros blocs ne doit pas être un inconvénient à ces modalités. Car dans une friche, il y a souvent des traces d'activités humaines qui peuvent être présents souvent la forme de dalles ou de remblais grossier. Les modalités A1 et A2, sont placées sur des parcelles accueillant des dalles. De plus cela laisse un plus grand choix de parcelle pour les autres modalités, qui ne peuvent se développer sur les parcelles avec des dalles.

La phytostabilisation (B3), à besoin de bonnes conditions d'éclairément mais aussi pollutions, par conséquent elle est a été placée dans les parcelles ou les polluants étaient le plus nombres au dessus du maximum du BFGPM et avec les teneurs les plus élevées tout en accord avec les parcelles placées précédemment.

Les modalités grande culture (C6), production de fourragère (C7) et plantes mellifères (C8), n'ont que très peu d'exigences, c'est la raison pour laquelle elles sont placées en derniers. En effet, elles ne nécessitent aucune condition de particulière au niveau du sol, car le but est d'observer le comportement des plantes vis à vis de la variabilité du terrain. Toute fois en évitant les zones d'ombres pour permettre leur développement.

La modalité B1, plantes indicatrices, n'est pas besoin de parcelles avec une taille fixe, car son but est essentiellement éducatif. Et en vue des teneurs en ETM retrouvées sur le site, elle peut placée presque par tout, même sur la surface qui m'appartient pas au jardin des transformations au niveau de la zone A.

La Figure 5 : Placement des modalités dans les parcelles, présente ci-dessous, représente le placement des parcelles. Les modalités sont identifiées par leur code (A1,A2,C1, etc). Les couleurs correspondent aux modalités qui peuvent être inter-changées, car elles ont presque les mêmes caractéristiques et le sol est relativement identique dans les deux cas. En effet pour un aspect plus esthétique, certaines modalités peuvent échanger leurs positions (celle qui ont les mêmes couleurs), notamment la modalité potager (C5) avec celle reconstitution de sol (B5), qui ont toutes deux besoins de faibles concentrations en polluants. C'est aussi le cas entre miscanthus (C4) et chanvre (C2) qui imposent les mêmes contraintes.

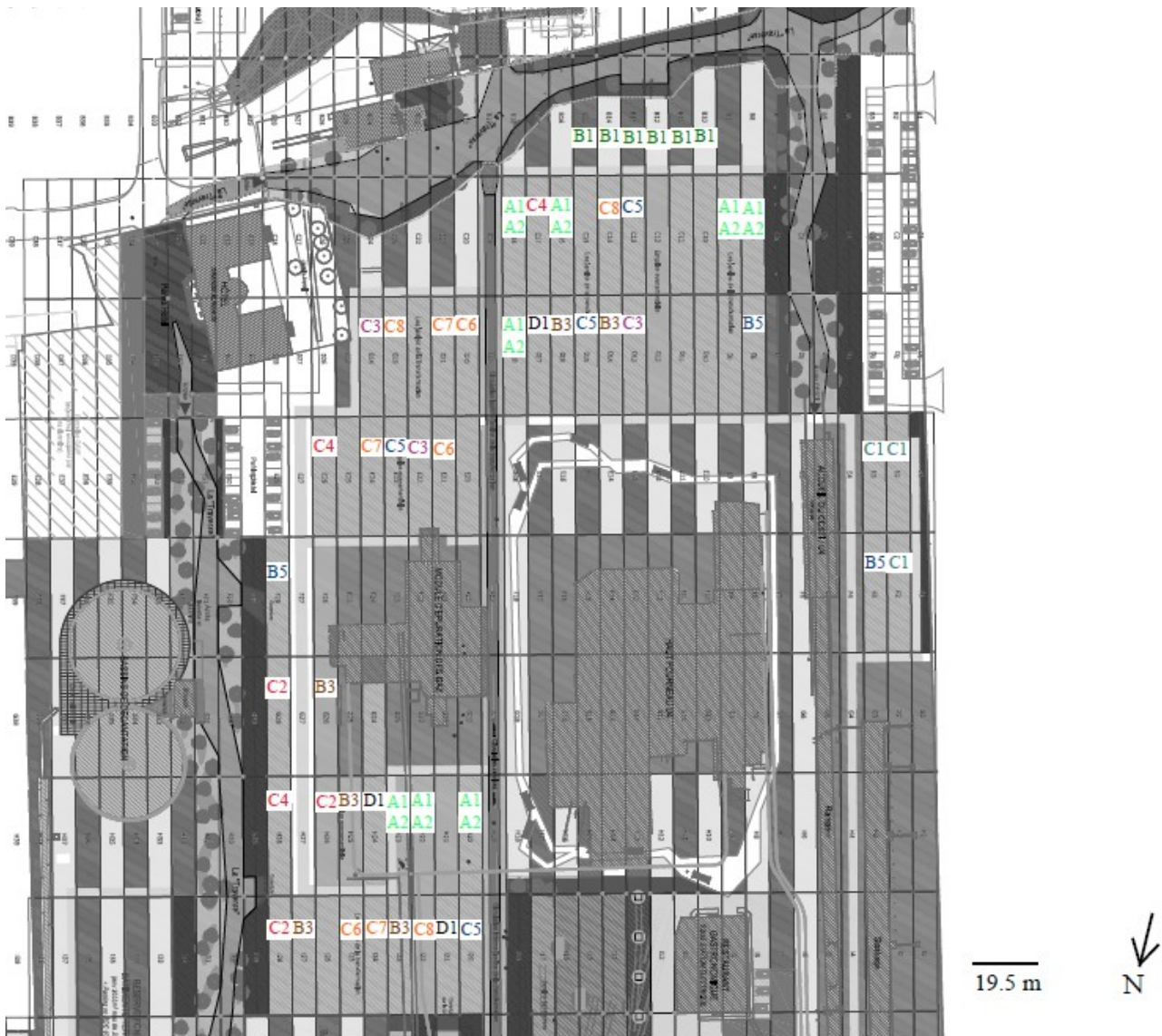


Figure 5 : Placement des modalités dans les parcelles

Concernant la préparation du terrain, il sera nécessaire de concasser le remblais constitué d'aggloméré dans la zone C, afin que les racines puissent pénétrer plus profondément dans le sol et assurant une plus grande stabilité aux arbres. Au niveau des modalités miscanthus, phytostabilisation, potager, nécessitent un sol avec peu de cailloux. Étant donné que le remblais est largement dominant sur le site, une préparation du terrain sera nécessaire afin d'enlever ou de diminuer la charge en cailloux de grandes tailles pour ces parcelles.

Des amendements seront nécessaires pour une grande partie des parcelles. Pour savoir quels éléments apporter et en quelles quantités, des analyses agronomiques (teneurs en phosphore, disponible, azote total, potassium, calcium, magnésium, composé organiques totaux, le pH et la capacité d'échange cationique) du sol seront nécessaires. Cela permettra de voir si certains paramètres devront être changés pour permettre le bon développement des modalités.

Ce projet permet de faire prendre conscience au grand public qu'une friche industrielle peut avoir de la valeur et accueillir des activités qui peuvent lui donner une seconde vie tout en aidant le sol à se reconstituer et à retrouver un état sain. De plus, ici, un suivi scientifique est mis en place et permettra de développer les connaissances sur les différentes modalités installées sur des friches.

## V- Perspectives

Bien entendu il faudra attendre la mise en place du projet ainsi que les premiers résultats des analyses des différentes modalités pour vérifier la réussite du placement des modalités. Afin de les placer au mieux, d'autres analyses sont prévues :

- Des forages vont être réalisés sur les dalles pour savoir si leur épaisseur est supérieure à 20 cm. Si c'est le cas, elles ne pourront pas être fragmentées, mais si leurs épaisseurs est inférieures, elles seront fragmentées, ce qui permettra d'augmenter les possibilités de placement des modalités.

- De plus, des analyses physico-chimique et agronomique, à partir d'échantillons composites de chaque parcelle devraient être réalisés, ce qui apporterait plus d'information, et permettrait de mieux placer les modalités, mais aussi d'être plus précis dans les amendements à apporter à chaque parcelle en fonction des espèces et des modalités qu'elles accueillent.

Et bien entendu un suivi de toutes les modalités est prévu sur envisagé sur plusieurs années, avec différentes analyses en fonction de leurs buts et des objectifs poursuivis. D'autres projets en lien avec le jardin de transformation pourront s'intégrer et trouver une place sur le site U4.

Des analyses complémentaires sont en projet :

Des analyses en ETM sur les plumes d'un couple de faucon, ainsi que dans des excréments de lapins, présents sur le site est prévu. Cela permettrait de voir le transfert des ETM dans la chaîne alimentaire et de voir si ils ont un impact sur celle-ci.

Des analyses en ETM sur les végétaux les plus présents sur le site sont en cours. Pour déterminer si il y a accumulation des polluants dans ces végétaux et si elle se produit aux niveaux des racines ou au niveau des parties aériennes.

Critique du géoradar, la détermination des dalles et des fondations, n'est peut être pas assez précise. En effet le géoradar a été passé que tout les deux mètres dans le meilleur des cas donc il est possible d'avoir évité des fondations qui été situées entre les passages, par conséquent ne sont pas visible sur la carte. Et pas pris en compte pour le placement des modalités. Tout en tenant compte que s'est des faibles surfaces, c'est vraiment une contrainte forte pour le placement des modalités ?

Concernant le niton, le nombre de échantillonnage par parcelle est de dix, ce nombre paraît assez faible pour faire une moyenne sur une surface de 7x35 mètres. De plus les pollutions en ETM ne sont pas constant sur la surface d'une parcelle. Il vaudrait peut être mieux réaliser une cartographie de la teneurs en ETM en adaptant les modalités en fonction de ces cartes. De plus des analyses complémentaires devront être faites, en vu de la précision relative de l'appareil par rapport au temps de chaque mesure.

Puisque que les derniers résultats ont été obtenus en tout fin stage, une analyse statistique de ces derniers devra être effectués.

## Bibliographie - Sitographie

Issler, E., Loyson, E., Walter, E. (1982). *Flore d'Alsace*. Société d'étude de la flore d'Alsace, 1-619p.

Lauber, K., Wagner, G. (2007). *Flora Helvetica*. : Belin, 1-1631p.

Lauber, K., Wagner, G. (2007). *Clé de détermination de la Flora Helvetica*. : Belin, 1-276p.

Fitter, R., Fitter, A., Farrer, A. (1991). *Guide des graminées, carex, joncs, fougère*, Delachaux et Niestlé, 1-256p.

Bonnier, G. (2011). *Les noms de fleurs*, Belin, 1-336p.

Rameau, JC., Mansion, D., Dumé, G. (1989). *Flore forestière française : 1 plaines et collines*, Institut du développement forestier, 1-1785p.

De Lanche, JE., Delvosalle, L., Duvigneaud, J., Lambinon, J., Vanden Bergen, C. (1978). *Nouvelle flore de la Belgique, du Grand-Duché de Luxembourg, du Nord de la France et des Régions voisines*, Patrimoine du jardin botanique national de Belgique, 1-899p.

Guinochet, M., Vilmorin, R. (1973). *Flore de France*, Centre national de la recherche scientifique, 1-75p.

Guinochet, M. (1973). *Phytosociologie*, Masson, 1-24p.

[1] France, Dusmesnil, Claudie, Ouellet. (2002). La réhabilitation des friches industrielles: un pas vers la ville viable? [En Ligne]. Vertigo. Disponible sur : <<https://vertigo.revues.org/3812>> (consulté le ??/03/16)

[2] (2012). Observation et statistiques [En Ligne]. Ministère de l'environnement, du développement durable et de l'énergie: commissariat général du développement durable. Disponible sur : <<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/272/1122/sites-sols-pollues.html>> (consulté le ??/04/16)

[3] Véronique, Antoni. (2015). Repères, sols et environnement chiffres clés [En Ligne]. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. Disponible sur : <[http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rep\\_-\\_Sols\\_et\\_environnement.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rep_-_Sols_et_environnement.pdf)> (consulté le ??/04/16)

[4] (2012). Contamination des sols par les métaux et métalloïdes [En Ligne]. Ministère de l'écologie, de l'environnement et de l'énergie : commissariat général du développement durable. Disponible sur : <<http://www.statistiques.developpementdurable.gouv.fr/lessentiel/ar/272/1122/contamination-sols-elements-traces.html>> (consulté le ??/04/16)

[5] Sites et sols pollués [En Ligne]. DREAL Alsace-Champagne-Ardenne-Lorraine. Disponible sur : <<http://www.alsace-champagne-ardenne-lorraine.developpement-durable.gouv.fr/sites-et-sols-pollues-a12469.html>> (consulté le ??/04/16)

[6] Baize, D. (1997). Teneurs totales en métaux lourds dans les sols français[En Ligne]. INRA : unité science du sol. Disponible sur : <<http://www7.inra.fr/lecourrier/assets/C22Baize.pdf>> (consulté le ??/04/16)

[7] [En Ligne]. Association Tela botanica. <<http://www.tela-botanica.org>> (consulté le ??/04/16)



# Annexes

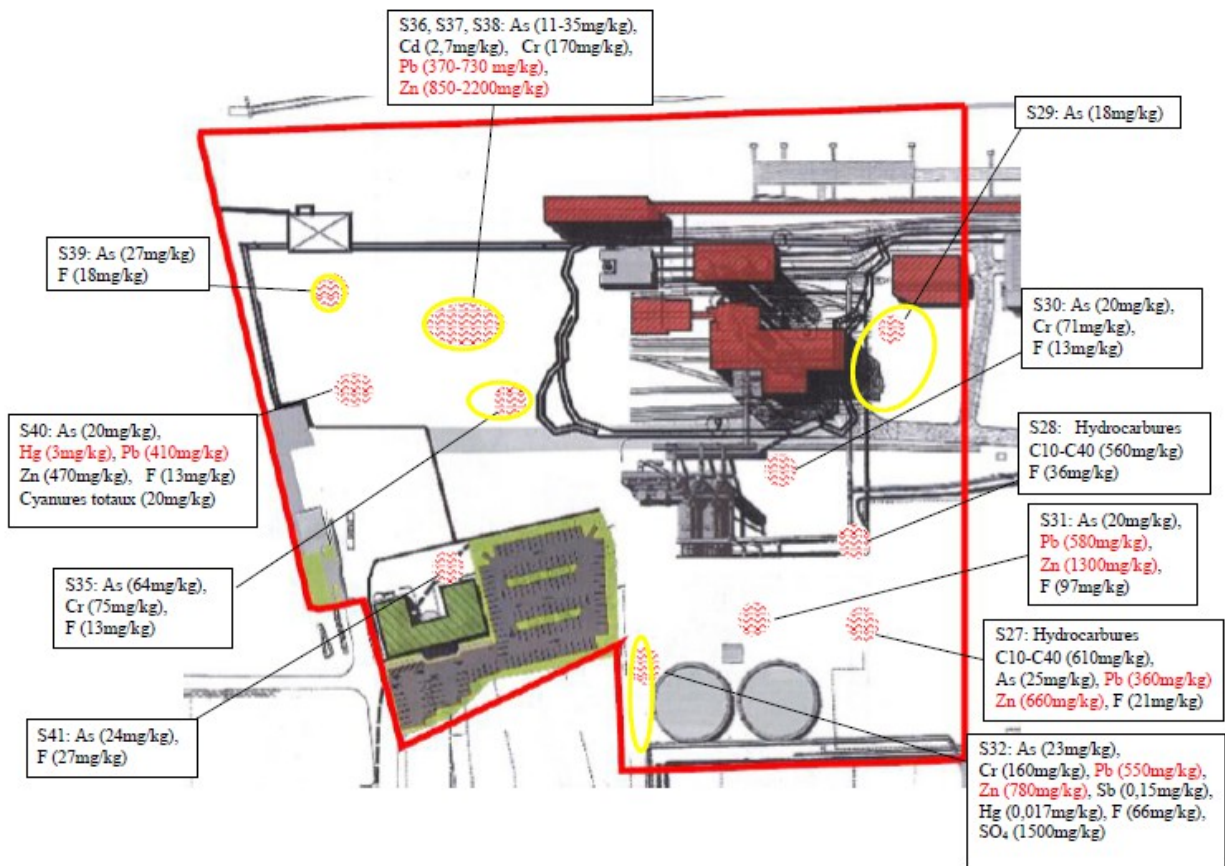
Annexe 1 : Figure Projet U4, délimitation du jardin des transformations :







Annexe 3 : Figure bilan pollutions :



**Valeurs en rouges > Teneurs max BFG plaine de Moselle**  
**Teneurs max BFG plaine de Moselle > Valeurs en noires > Teneurs moy BFG plaine de Moselle**

Zones répertoriées comme impactées en ETM (synthèse des études 1994-2005)

Zones anormales en hydrocarbure et en ETM (sondages Egis 2011)

(Le valeur chiffrées sont celles de 2011, car les zones de prélèvements en 1994-2005 et 2011 se recouvrent et que celles de 2011 sont plus récentes)

Annexe 4 : Tableau Bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle : [6]

Élément	Plaine alluviale de la Moselle		
	Moyenne	Maximum	
<b>Arsenic (As)</b>	20	50	En mg/kg
<b>Cadmium (Cd)</b>	2	5	
<b>Chrome total (Cr)</b>	75	200	
<b>Cobalt (Co)</b>	15	50	
<b>Cuivre (Cu)</b>	30	100	
<b>Mercure (Hg)</b>	1	2	
<b>Nickel (Ni)</b>	40	100	
<b>Plomb (Pb)</b>	30	100	
<b>Vanadium (V)</b>	100	500	
<b>Zinc (Zn)</b>	120	500	

Annexe 5 : Extrait d'une fiche inventaire :

Numéro de parcelle ou coordonnées : C1 haute

Date : 16/06/16

Taux de recouvrement : 100%

% Matière fine : 19

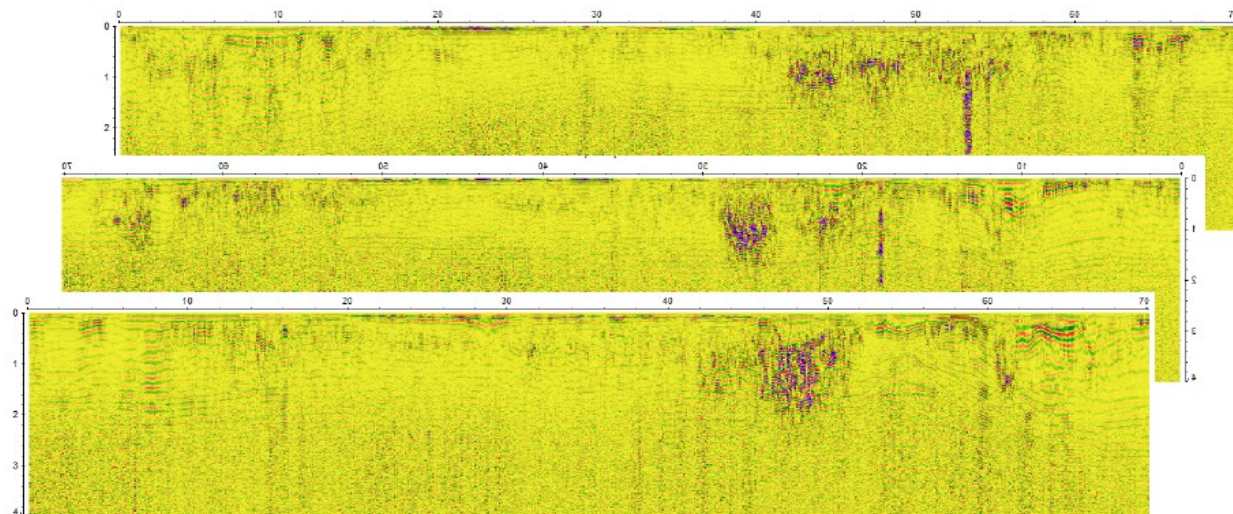
% Matière grossière : 81

Observation :

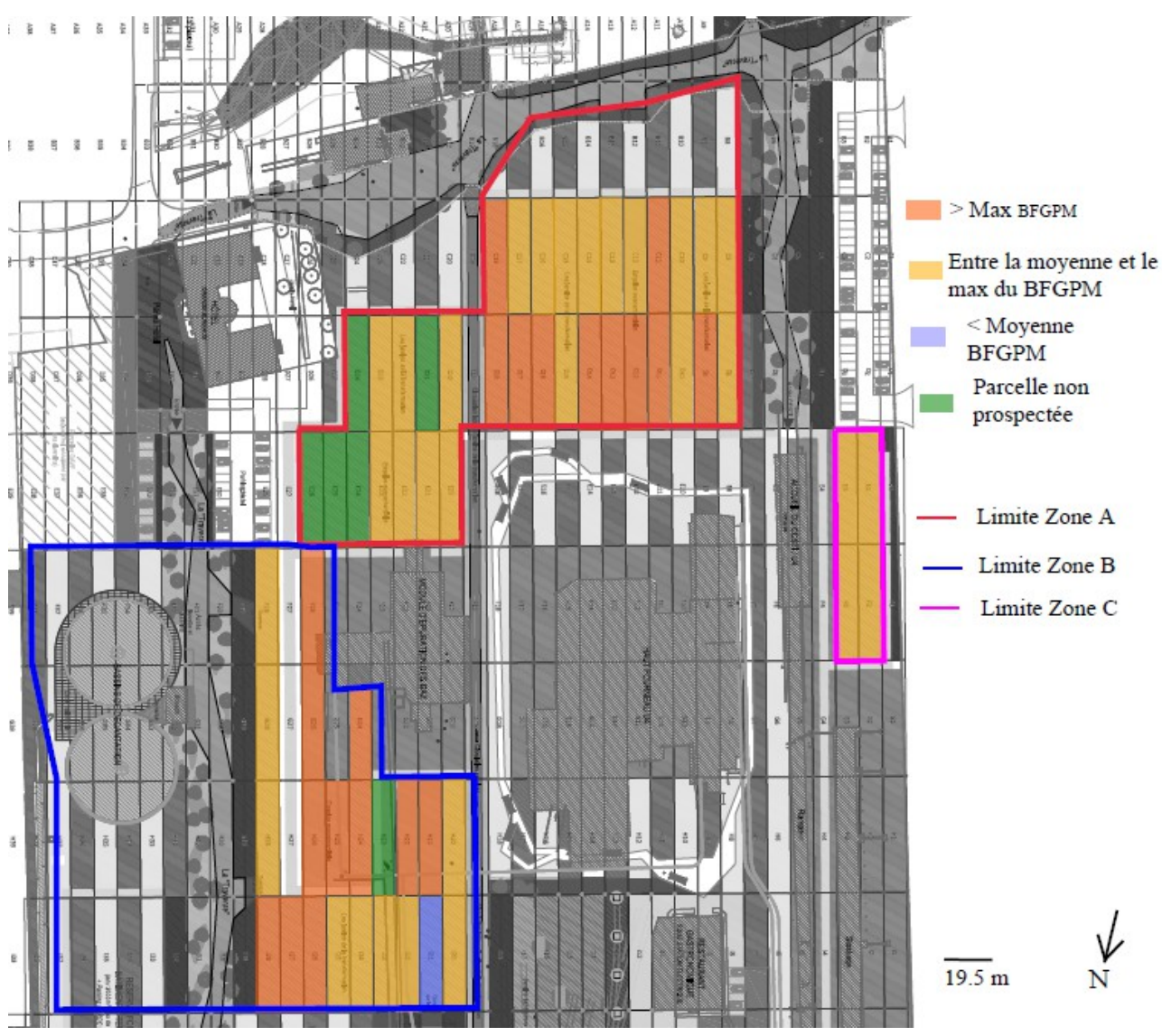
<b>Strate Arbustive</b>	
Arbre à papillons ( <i>Buddleja davidii</i> )	2
<b>Strate Herbacée</b>	
Avoine éleécée ( <i>Arrhenatherum elatius</i> )	1_2
Brome des toits ( <i>Bromus tectorum</i> )	1
Chardon sp ( <i>eryngium</i> )	+
Erigeron annuel ( <i>Erigeron annuus</i> )	2_3
Folle avoine ( <i>Avena fatua</i> )	1
Le Calament ( <i>Calamintha officinalis</i> )	1_3
Linaire commune ( <i>Linaria vulagrasi</i> )	2
Luzerne naine ( <i>Medicago minima</i> )	2
Millepertuis officinal ( <i>Hypericum perforatum</i> )	2_3
Molène noire ( <i>Verbascum nigrum</i> )	1_2
Œillet prolifère ( <i>Petrorhagia prolifera</i> )	1
Pâturin des prés ( <i>Poa pratensis</i> )	1
Petit Trèfle jaune ( <i>Trifolium dubium</i> )	2
Ronce commune ( <i>Rubus fruticosus</i> )	+
Solidage du Canada ( <i>Solidago canadensis</i> )	1
Trèfle blanc ( <i>Trifolium repens</i> )	4_4
Trèfle couché ( <i>Trifolium campestrei</i> )	2
Vesce des haies ( <i>Vicia sepium</i> )	2_3
Vipérine commune ( <i>Echium vulgare</i> )	3

Annexe 6 : Succession de 3 profils, parcelle n°17 :

Parcelle 17

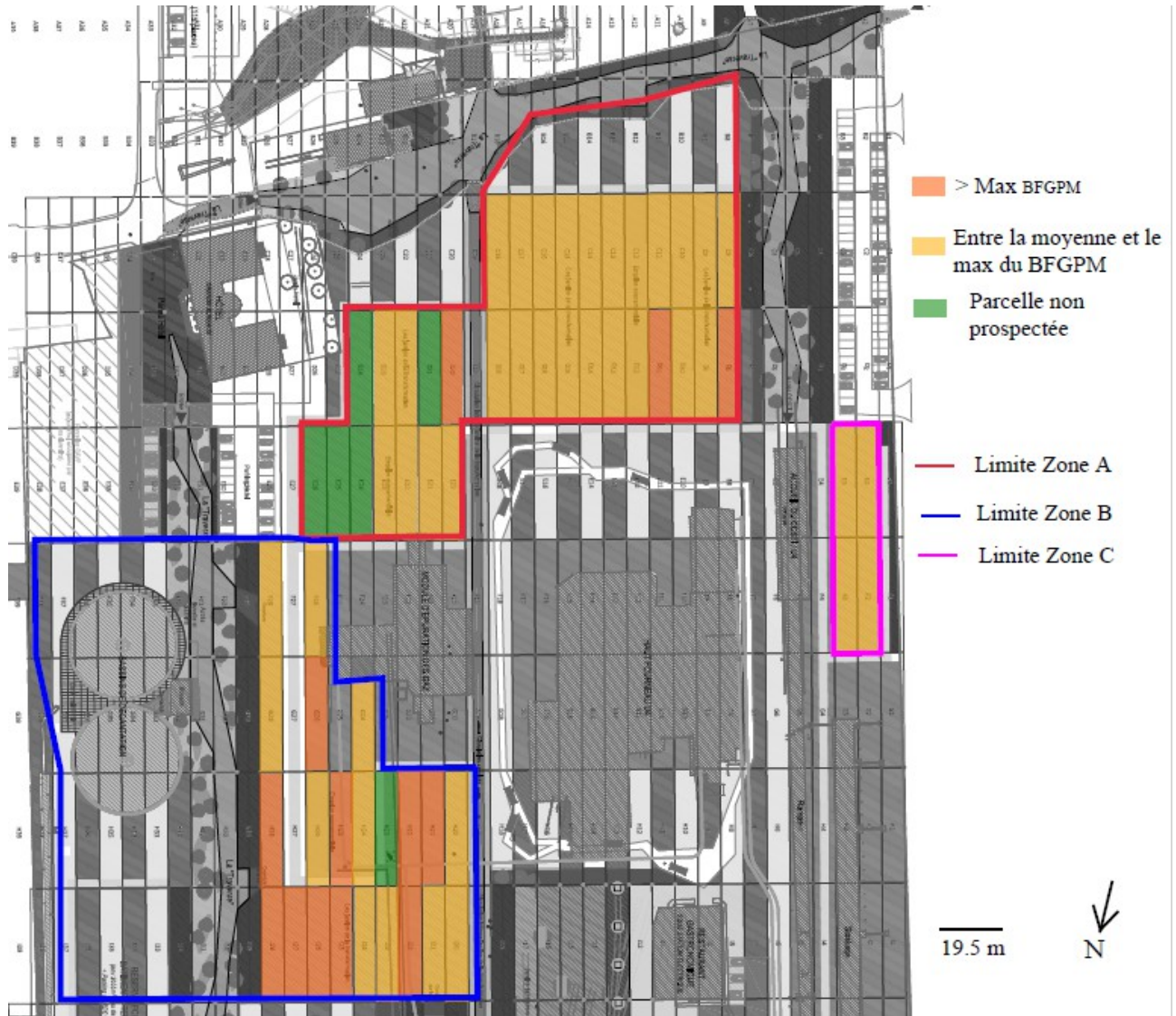


Annexe 7 : Figure de la comparaison des teneurs moyennes en Arsenic retrouvées sur le site par rapport au bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle :

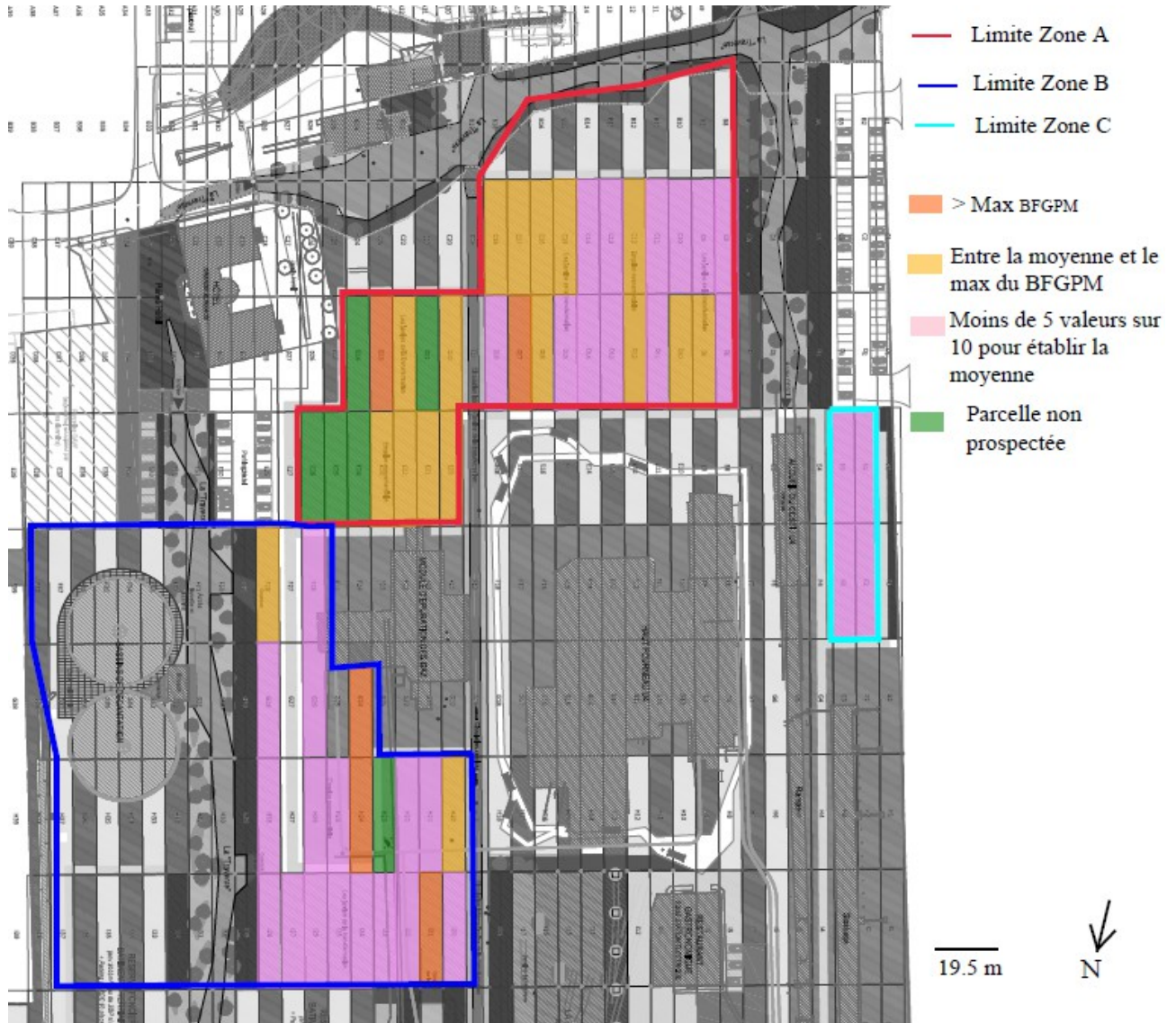




Annexe 8 : Figure de la comparaison des teneurs moyennes en Cuivre retrouvées sur le site par rapport au bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle :

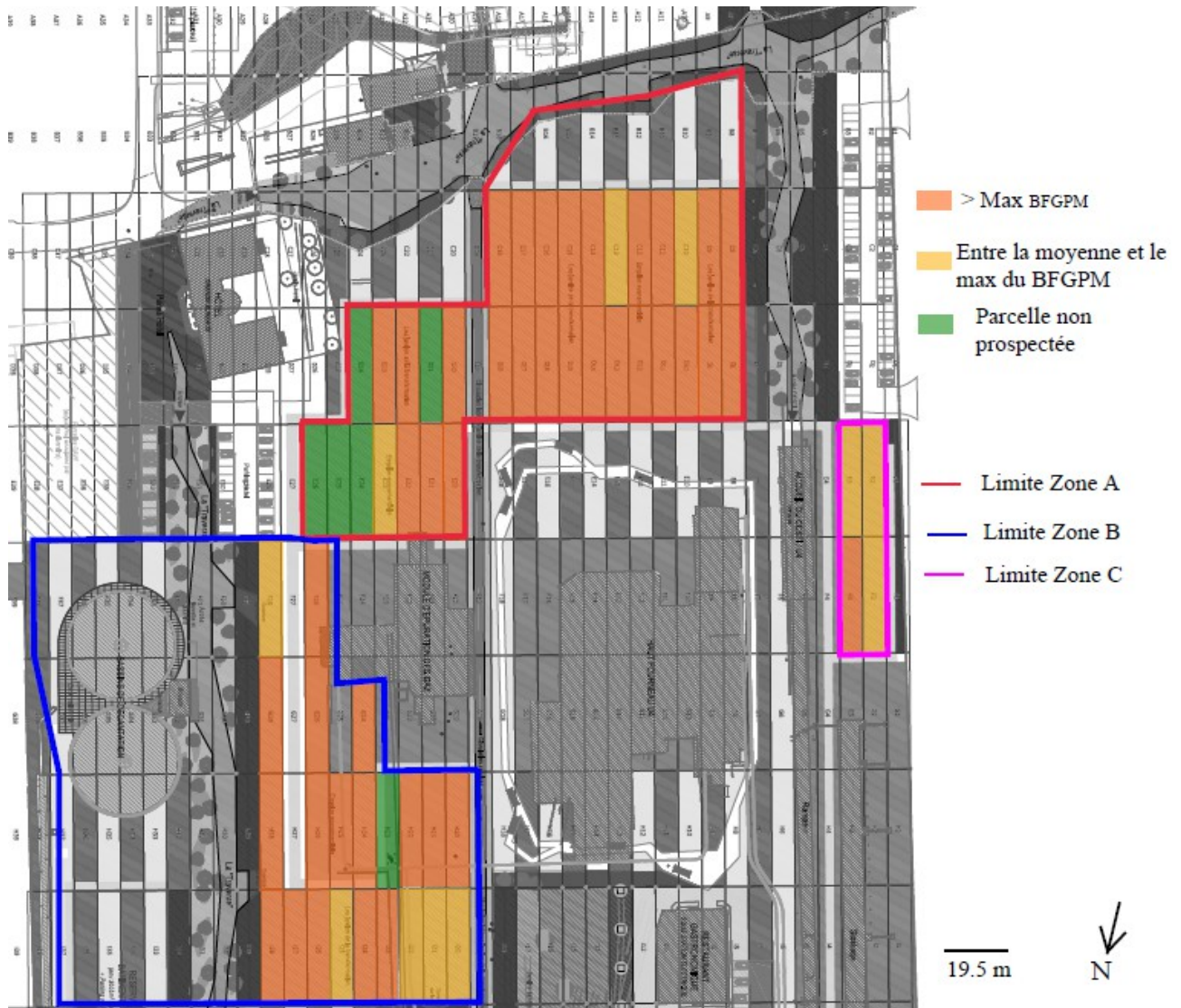


Annexe 9 : Figure de la comparaison des teneurs moyennes en Nickel retrouvées sur le site par rapport au bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle :





Annexe 10 : Figure de la comparaison des teneurs moyennes en Zinc retrouvées sur le site par rapport au bruit de fond géochimique de la plaine de Moselle :





## **Résumé**

Actuellement, naît un fort intérêt pour les sites industriels abandonnés, notamment grâce à leurs grandes superficies et leurs proximités avec de grandes zones urbaines.

Le projet U4 a pour objectif de montrer que les sites industriels laissés à l'abandon ont une valeur et peuvent être reconvertis. Pour se faire plusieurs modalités à buts de productions de biomasse végétale, d'amélioration et de réhabilitation la qualité du sol seront mis en place.

Pour permettre le bon placement des modalités sur la zone d'étude, il est nécessaire de connaître les caractéristiques du sol. Pour se faire des inventaires floristiques sont réalisés, permettant de faire un état des lieux de la végétation mais aussi de localiser des zones plus riches en nutriments. Une localisation de possible dalles se trouvant sous la surface du sol est réalisée grâce à un géoradar et enfin une détermination des teneurs en polluants métalliques par le biais d'un niton.

En combinant les résultats issus de ces trois travaux avec les conditions de développement des différents végétaux présents dans les modalités, le meilleur compromis de placement est trouvé.

## **Abstract**

Nowadays, a strong interest is rising for deserted industrials, especially because of their big areas and their proximity to large urban areas.

The U4 project aims to show that abandoned industrials have value and can be converted. In order to achieve this, several means such as plant biomass production, improvement and restoration of ground quality will be implemented.

To allow the right position of these modalities on the study area, it's necessary to know the ground features. Thus, flora inventories are carried out in order to know better the vegetation but also to locate nutrient-rich areas. A localisation of potential slabs below the surface of the ground is carried out thanks to a ground-probing radar and finally, an establishing of polluting metal content is made with a niton.

By combining the results from these three works with the development conditions of the different vegetables in the modalities, the best place compromise can be found.