



Application de la méthodologie de gestion des terres excavées pour le site de Micheville (54 et 57) - Bancarisation et modélisation des données géologiques et environnementales

Rapport final

BRGM/RP-65824-FR

Mars 2016

Application de la méthodologie de gestion des terres excavées pour le site de Micheville (54 et 57) - Bancarisation et modélisation des données géologiques et environnementales

Rapport final

BRGM/RP-65824-FR
Juillet 2016

N. Aubert

Vérificateur :

Nom : P. Bataillard

Fonction : Responsable Scientifique de Programme

Date : 23/03/2016

Signature :



Approbateur :

Nom : D. Midot

Fonction : Directeur Territorial

Date : 03/05/2016

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Mots-clés : Terres excavées – sites et sols pollués - Micheville – Moselle – GDM – Base de données

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Aubert N. (2016) – Application de la méthodologie de gestion des terres excavées pour le site de Micheville (54 et 57) - Bancarisation et modélisation des données géologiques et environnementales. Rapport final. BRGM/RP-65824-FR, 51 p., 15 fig., 14 tabl., 1 ann.

Synthèse

Dans le cadre de l'Opération d'Intérêt National (OIN) ALZETTE-BELVAL, l'Etablissement Public Foncier de Lorraine (EPFL) a demandé au BRGM de l'assister sur les plans techniques et scientifiques dans l'application de la méthodologie nationale de gestion des terres excavées au projet d'aménagement du site de Micheville, friche sidérurgique de 400 ha (Lorraine).

Le BRGM a accompagné l'EPFL dans le cadre de ses réflexions et travaux concernant le pré-aménagement du site de Micheville, avant sa cession à l'EPA (Etablissement Public d'Aménagement), notamment au travers des étapes suivantes :

- bancarisation et analyse critique des données disponibles ;
- modélisation et cartographie, réalisée avec l'outil GDM, de la géologie et de la qualité chimique des sols ;
- estimation des volumes avec le détail des caractéristiques géologiques et environnementales des terres susceptibles d'être excavées en fonction de scénarios d'aménagements proposés par l'EPA ;
- expertise scientifique, portant notamment sur les méthodologies de prélèvement et d'investigation nécessaires au déploiement de la démarche de gestion des terres excavées.

Dans la première phase, le BRGM a procédé à une compilation et bancarisation des données disponibles (tables Excel, rapports PDF...), afin d'en extraire toutes les informations concernant la géologie et la qualité physico-chimique des sols. Les données capitalisées ont ensuite été codées dans un format et selon des lexiques compatibles avec une base de données ACCESS qui a été adaptée spécifiquement au projet.

Le BRGM a ensuite procédé à une analyse critique des données bancarisées. Cette étude a permis de déterminer que les sondages et analyses déjà réalisées étaient globalement suffisants pour permettre :

- d'identifier des gradients d'impact des sols au droit du site de Micheville ;
- de localiser des zones de catégories de sols de qualité supposée similaire.

Les incertitudes sont les plus importantes dans les secteurs avec les plus faibles densités de sondages et d'analyses et notamment les parcelles du plan guide E3, P9, P10, P3, P3-bis, P5, D1, D2, D3, D4, P1, P12, BASSIN-CD54, TRAME4, TRAME5, D0, P6, TRAME1, P2-bis, V2, TRAME6, ESPLANADE et PARC1 présentant les plus faibles densités d'échantillons (inférieures à 0,5 / 400m²) ainsi que les parcelles P11, TRAME3, BRAGONI, TRAME8, V1 et V3 pour lesquelles aucun échantillon n'a été prélevé .

Cependant, les données disponibles ne sont pas suffisantes pour caractériser finement les matériaux qui seront excavés. Le BRGM ne propose pas d'investigations complémentaires mais recommande :

- de regrouper par catégories de qualités supposées similaires les sols qui seront excavés ;
- de caractériser plus finement (physiquement et chimiquement) et *a posteriori*, les terres excavées et regroupées par catégories de qualités supposées similaires, afin d'orienter leur possibilité de réutilisation sur site, sur des zones de sols en place de qualité équivalente.

Ce principe permettrait de limiter le nombre d'investigations complémentaires en optimisant les moyens sur la caractérisation des matériaux qui seront effectivement extraits.

Concernant les données géotechniques, les études réalisées renseignent sur les caractéristiques mécaniques des sols en cas d'implantation de bâtiment, mais ne caractérisent pas le comportement des terres après excavation. Le BRGM recommande de réaliser l'analyse des paramètres géotechniques des terres excavées en suivant le Guide des Terrassements Routiers¹ sur les terres *a posteriori*, c'est-à-dire après excavation et rassemblement des terres de caractéristiques mécaniques supposées identique.

Dans une seconde phase, les données géologiques et environnementales bancarisées dans ACCESS ont été liées à l'outil de modélisation GDM. Trois niveaux de concentrations pour chaque paramètre analysé ont été définis comme seuils, en se basant principalement sur le bruit de fond géochimique et l'identification de gammes de concentrations anormales via l'interprétation statistique des résultats obtenus. En vue de définir les catégories, un critère de qualité compris entre 1 et 4 a été appliqué à l'ensemble des échantillons pour chaque paramètre, et pour deux indicateurs :

- les composés inorganiques (comprenant les métaux, les métalloïdes et les cyanures) ;
- les composés organiques (comprenant HCT, HAP, BTEX, COHV, PCB).

Le critère le plus contraignant obtenu pour les sous catégories (composés organiques et inorganiques) a été retenu. Ces critères ont été appliqués aux échantillons et intégrés dans GDM. Le site a ensuite fait l'objet du traitement suivant dans GDM :

- application à l'ensemble du site d'un maillage de 5x5 m et création de 19 sections de 1 m d'épaisseur de 314 mNGF à 333 mNGF. Les calculs et interpolations seront réalisés pour chaque section de 1 m (ex : entre 321 et 322 mNGF) et pour chaque maille ;
- pour chaque maille (5x5m sur 1 m d'épaisseur), calcul du pourcentage des principales catégories de matériaux (HN : horizon naturel en place, RN : remblais composés de matériaux à dominance naturelle, RA : remblais composés de matériaux à dominance anthropique, DAL : bétons massifs enterrés) ;
- pour chaque maille (5x5m sur 1 m d'épaisseur), calcul des critères de qualité (1 à 4) pour les composés organiques et inorganiques.

¹ Outil méthodologique utilisé dans les projets de terrassements qui présente les règles de l'art pour la réalisation de remblaiement et l'élaboration de couches de forme

Le croisement des interpolations réalisées pour les différents types de matériaux et pour les catégories de qualité de sols en place permet :

- la visualisation cartographique 2D et 3D des types de matériaux constitutifs des sols et leur catégorie de qualité supposée ;
- le calcul des volumes de sols par catégorie de qualité, par parcelle, et par couche d'1 m NGF.

Dans une étape à venir, le BRGM proposera une méthodologie de prélèvement et d'investigation pour le déploiement de la démarche de gestion des terres excavées sur le site de Micheville.

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| 1. Contexte | 11 |
| 2. Bancarisation et analyse des données disponibles | 13 |
| 2.1. DONNEES CONSULTEES | 13 |
| 2.2. REPARTITION SPATIALE DES SONDAGES..... | 14 |
| 2.2.1. Répartition verticale des sondages | 14 |
| 2.2.2. Répartition horizontale des sondages | 15 |
| 2.2.3. Synthèse de la répartition spatiale des sondages | 18 |
| 2.3. REPARTITION SPATIALE DES ECHANTILLONS..... | 20 |
| 2.3.1. Répartition verticale des échantillons de sols..... | 20 |
| 2.3.2. Répartition horizontale des échantillons de sols..... | 21 |
| 2.3.3. Synthèse de la répartition spatiale des échantillons de sols..... | 23 |
| 2.4. DONNEES GEOTECHNIQUES | 25 |
| 2.5. REPARTITION DES ANALYSES REALISEES SUR LES ECHANTILLONS DE SOLS . | 26 |
| 2.5.1. Répartition spatiale des analyses..... | 26 |
| 2.5.2. Synthèse concernant les analyses chimiques de sols..... | 32 |
| 3. Définition du bruit de fond géochimique et des critères de qualité chimique des sols 33 | |
| 3.1. METHODOLOGIE..... | 33 |
| 3.2. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES | 35 |
| 3.3. COMPARAISON DES SEUILS RETENUS POUR LES METAUX PAR RAPPORT AUX BASES DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES | 36 |
| 3.4. SYNTHESE DES SEUILS ET BRUITS DE FOND | 37 |
| 4. Exploitation des résultats dans GDM | 39 |
| 4.1. PRESENTATION DU LOGICIEL GDM | 39 |
| 4.2. MISE AU FORMAT DES DONNEES | 39 |
| 4.3. GEOLOGIE | 40 |
| 4.4. QUALITE CHIMIQUE DES SOLS | 42 |
| 4.5. INTERPOLATIONS REALISEES DANS GDM | 44 |
| 4.5.1. Topographie et volumes de sols | 44 |
| 4.5.2. Géologie | 44 |
| 4.5.3. Qualité chimique des sols | 45 |

| | |
|--|-----------|
| 4.6. RENDU CARTOGRAPHIQUE EN 2D DES RESULTATS..... | 45 |
| 4.6.1. Nature des sols | 46 |
| 4.6.2. Qualité chimique des sols..... | 47 |
| 4.6.3. Autres éléments | 48 |
| 4.7. RENDU CARTOGRAPHIQUE EN 3D DES RESULTATS..... | 49 |
| 4.8. CALCULS DES VOLUMES DE SOLS | 50 |
| 5. Conclusion | 51 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 – Localisation des sondages par rapport au plan guide (version provisoire de décembre 2015) et à la carte IGN 1/25 000..... | 15 |
| Figure 2 – Localisation et profondeur des sondages par rapport au plan guide (version provisoire de 10 septembre 2015) | 16 |
| Figure 3 – Densité des sondages par rapport au plan guide (version provisoire de 10 septembre 2015) | 19 |
| Figure 4 – Localisation des échantillons de sols par rapport au plan guide (version provisoire de 10 septembre 2015) | 21 |
| Figure 5 – Densité des échantillons de sols par rapport au plan guide (version provisoire de 10 septembre 2015) | 24 |
| Figure 6 – Localisation des échantillons analysés pour les hydrocarbures (HCT), les HAP, les métaux et les cyanures | 29 |
| Figure 7 – Localisation des échantillons analysés pour les phénols, les COHV, les PCB et les BTEX . | 30 |
| Figure 8 – Analyse des teneurs en Arsenic et en Chrome par rapport à la population des échantillons | 33 |
| Figure 9 – Tables et relations de la base de données ACCESS adaptée pour le site de Micheville | 40 |
| Figure 10 – Illustration du rendu cartographique dans GDM : critères « composés inorganiques » entre 318 et 317 mNGF | 46 |
| Figure 11 – Epaisseurs remblais anthropiques et de l'horizon naturel entre 317 et 316 mNGF | 47 |
| Figure 12 – Catégories de qualité des sols pour les composés inorganiques et organiques entre 323 et 322 mNGF..... | 47 |
| Figure 13 - Catégories de qualité des sols pour les composés organiques et composés présent à des niveaux supérieurs au seuil 3 entre 320 et 319 mNGF | 48 |
| Figure 14 – Illustration du rendu cartographique 3D dans GDM : critères « composés inorganiques » .. | 49 |
| Figure 15 – résultats obtenus pour le calcul des volumes de sols par parcelle, tranche de 1 m et catégorie de qualité | 50 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 - Synthèse du nombre de sondages réalisés entre 1999 et 2015 pour le site de Micheville | 13 |
| Tableau 2 - Nombres d'échantillons bancarisés (classés par intervenant et par milieu prélevé) pour le site de Micheville | 13 |
| Tableau 3 – Analyse des profondeurs des sondages par type de sols rencontré en fin de forage | 14 |
| Tableau 4 – Analyse du nombre de sondage par parcelle du plan guide (version du 10/09/2015) | 18 |
| Tableau 5 – Analyse des profondeurs de fin d'échantillons de sols | 20 |
| Tableau 6 – Analyse du nombre d'échantillons de sols par parcelle du plan guide (version du 10/09/2015) | 22 |
| Tableau 7 – Nombre d'analyses chimiques des sols (par paramètre) bancarisés pour le site de Micheville | 27 |
| Tableau 8 – Interprétation des teneurs mesurées en fonction des différents seuils | 34 |
| Tableau 9 – Sources bibliographiques utilisée pour la détermination du bruit de fond chimique au niveau du site de Micheville | 35 |
| Tableau 10 – Synthèse des seuils retenus pour les métaux par rapport données bibliographiques sur les bruits de fonds géochimiques | 36 |
| Tableau 11 – Synthèse des seuils et bruits de fonds mis en parallèle des mesures réalisées dans les sols au droit du site de Micheville | 37 |
| Tableau 12 – Lexique des catégories et sous-catégories de sols retenues pour la description géologique des sols | 41 |
| Tableau 13 – Interprétation des teneurs mesurées en fonction des différents seuils | 42 |
| Tableau 14 – Liste des composés et groupes retenus dans la détermination des critères de qualité chimiques des sols du site de Micheville | 43 |

Liste des annexes

| | |
|---|----|
| Annexe 1 : Etude des populations d'échantillons analysés et détails des seuils de qualité définis | 53 |
|---|----|

1. Contexte

Dans le cadre de l'Opération d'Intérêt National (OIN) ALZETTE-BELVAL, l'Etablissement Public Foncier de Lorraine (EPFL) établissement public en charge du pré-aménagement du site de Micheville, friche sidérurgique de 400 ha, a demandé au BRGM de l'assister sur les plans technique et scientifique dans l'application de la méthodologie nationale de gestion des terres excavées au projet d'aménagement du territoire de l'Opération d'Intérêt National (OIN) d'Alzette-Belval (Lorraine).

Le BRGM accompagne l'EPFL dans le cadre de ses réflexions et travaux concernant le projet ALZETTE-BELVAL et notamment concernant le pré-aménagement du site de Micheville, avant sa cession à l'EPA (Etablissement Public d'Aménagement), afin de valoriser l'ensemble des données disponibles.

Les objectifs sont de :

- bancaiser et réaliser une analyse critique des données disponibles ;
- modéliser, avec l'outil GDM, la géologie et la qualité chimique des sols ;
- estimer les caractéristiques géologiques et chimiques des volumes de terres susceptibles d'être excavées en fonction de scénarios d'aménagements proposés par l'EPA. Ces estimations permettront d'orienter l'EPA entre les scénarios d'aménagements proposés en prenant en compte la gestion des terres excavées et leur réutilisation potentielle sur site ;
- apporter une expertise scientifique, portant notamment sur les méthodologies de prélèvement et d'investigation nécessaires au déploiement de la démarche de gestion des terres excavées.

2. Bancairisation et analyse des données disponibles

2.1. DONNEES CONSULTEES

L'ensemble des données disponibles ont été consultées et mises en forme afin de constituer la base de données relative à la caractérisation géologique et chimique des sols du site de Micheville.

Les données relatives à la géologie et à la qualité chimique des sols ont été récupérées soit à partir de fichiers Excel, soit à partir de fichiers PDF fournis par l'EPFL.

Un traitement des données a été réalisé afin de gérer les problématiques de doublons engendrés par le croisement des multiples sources d'information qui se recoupaient parfois totalement ou partiellement.

Le Tableau 1 et le Tableau 2 présentent le nombre de sondages et d'échantillons qui ont été bancairisés.

| intervenant | période | nombre de sondages |
|--------------------------|------------------|--------------------|
| ABROTEC | 2009 | 368 |
| ARCADIS | 2005 | 6 |
| CSD Azur | 2005, 2006, 2011 | 91 |
| ENECO | 2013-2015 | 267 |
| ICF Environnement | 2005, 2011 | 12 |
| LECES | 1999, 2005, 2011 | 26 |
| Total | | 770 |

Tableau 1 - Synthèse du nombre de sondages réalisés entre 1999 et 2015 pour le site de Micheville

| intervenant | Milieu prélevé | | | | Total |
|--------------------------|----------------|------------|-------------------|------------|------------|
| | Dalles béton | Sols | eaux souterraines | gaz du sol | |
| ABROTEC | - | 55 | - | - | 55 |
| ARCADIS | - | 10 | - | - | 10 |
| CSD Azur | 1 | 175 | - | - | 176 |
| ENECO | - | 431 | 33 | 9 | 473 |
| ICF Environnement | - | 17 | - | - | 17 |
| LECES | - | 45 | - | - | 45 |
| Total | 1 | 733 | 33 | 9 | 776 |

Tableau 2 - Nombres d'échantillons bancairisés (classés par intervenant et par milieu prélevé) pour le site de Micheville

2.2. REMARQUE GENERALE CONCERNANT L'ANALYSE DES DENSITES DE SONDAGES, ECHANTILLONS ET ANALYSES REALISEES

Les différences de densités de sondages, d'échantillons et d'analyses sont fortement liées aux études historiques et documentaires qui ont permis de cibler la localisation des sondages et échantillons, ainsi que les composés analysés dans les sols en fonction des anciennes activités réalisées. Le maillage appliqué lors des investigations a ainsi été conçu sur la base des informations disponibles afin de caractériser les impacts de façon ciblées. L'analyse présentée dans les parties suivantes ne remet pas en cause cette approche mais propose une vision statistique de la répartition des sondages, échantillons et analyses réalisées.

2.3. REPARTITION SPATIALE DES SONDAGES

2.3.1. Répartition verticale des sondages

Le Tableau 3 présente l'analyse des données « profondeurs » explorées des sondages ainsi que les grands types de sols rencontrés en fin de forage.

| Type de sols en fin de sondage | Code | Nb forage | % du nb total de forages | Centiles des profondeurs des fins de sondages | | | |
|--------------------------------|------|-----------|--------------------------|---|------|------|------|
| | | | | p50 | p75 | p90 | max |
| Tous forages | | 770 | 100 % | 2,5 | 3,8 | 4,0 | 25,0 |
| Dalles béton | DAL | 42 | 5 % | 0,6 | 1,4 | 2,3 | 4,4 |
| Remblais anthropiques | RA | 413 | 54 % | 2,4 | 3,5 | 6,1 | 21,0 |
| Remblais naturels | RN | 15 | 2 % | 3,7 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| Terrain naturel | HN | 125 | 16 % | 4,2 | 15,0 | 21,8 | 25,0 |
| non déterminé | ND | 175 | 23 % | 1,0 | 3,0 | 3,6 | 4,9 |

Tableau 3 – Analyse des profondeurs des sondages par type de sols rencontré en fin de forage

L'analyse des données « profondeurs des sondages » et des derniers terrains rencontrés permettent de déterminer les points suivants :

- la profondeur médiane (p50) des sondages est de 2,5 m : 50 % des sondages réalisés sur le site de Micheville ont donc des profondeurs inférieures à 2,5 m ;
- 90 % des 770 sondages réalisés ont des profondeurs inférieures à 4 m ;
- les sondages les plus profonds ont atteint 25 m de profondeurs ;
- 125 des 770 sondages réalisés (16 % du total des sondages) se sont terminés dans le terrain naturel. 50 % de ces 125 sondages avaient une profondeur supérieure à 4,2 m et 25 % une profondeur supérieure à 15 m.

413 des 770 sondages réalisés (54 % du total des sondages) se sont terminés dans les remblais anthropiques. 90 % de ces 413 sondages avaient une profondeur inférieure à 6,1 m. Peu d'informations seront donc disponibles sur la nature du sous-sol au-delà de 4 m de profondeur.

2.3.2. Répartition horizontale des sondages

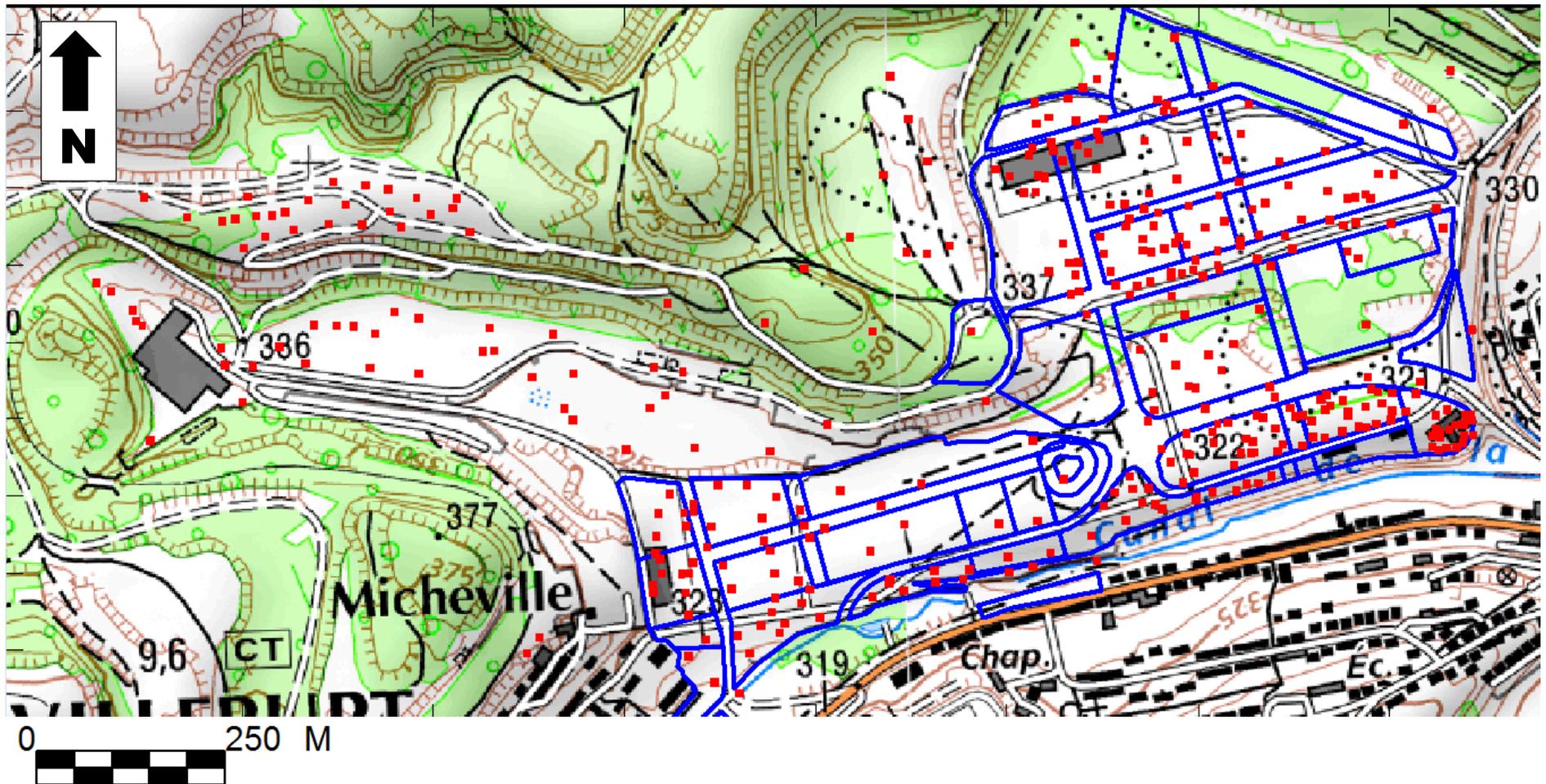


Figure 1 – Localisation des sondages par rapport au plan guide (version provisoire de décembre 2015) et à la carte IGN 1/25 000



Figure 2 – Localisation et profondeur des sondages par rapport au plan guide (version provisoire de 10 septembre 2015)

L'examen de la répartition spatiale des forages (

Figure 1 et Figure 2) permet de constater une hétérogénéité de la densité des ouvrages en fonction des zones, et notamment en fonction des parcelles telles qu'identifiées dans le plan guide (version provisoire du 10/09/2015).

Le guide de caractérisation des terres excavées recommande, pour la caractérisation des sols en place, de réaliser *a minima* 1 sondage par maille de 20x20 m (pour les remblais anthropiques) soit 1 sondage pour 400 m².

Le nombre de sondage par parcelle ainsi que leur équivalent pour une surface de 400 m² ont été calculés et reportés dans le Tableau 4.

Ce dernier présente pour chaque parcelle :

- les surfaces (en m²) ;
- le nombre de sondages présents dans chaque parcelle ;
- le calcul du nombre de sondage / 400m².

| Parcelle | surface (m ²) | nb sondages / parcelle | nb sondages / 400 m ² | Parcelle | surface (m ²) | nb sondages / parcelle | nb sondages / 400 m ² |
|---|---------------------------|---|----------------------------------|---|---------------------------|------------------------|----------------------------------|
| EPA | 5887,6 | 31 | 2,11 | D0 | 7363,2 | 7 | 0,38 |
| P13 | 2605,2 | 12 | 1,84 | ESPLANADE | 4419,5 | 4 | 0,36 |
| D6 | 7400,2 | 32 | 1,73 | BASSIN-CD54 | 6839,2 | 6 | 0,35 |
| TRAME7 | 1595,3 | 5 | 1,25 | D4 | 15971,3 | 13 | 0,33 |
| D5 | 10895,1 | 30 | 1,10 | D3 | 3948,2 | 3 | 0,30 |
| E2 | 7307,4 | 18 | 0,99 | P11 | 5292,1 | 4 | 0,30 |
| D8 | 5176,8 | 11 | 0,85 | TRAME6 | 3995,9 | 3 | 0,30 |
| SG | 8442,5 | 15 | 0,71 | TRAME2 | 1365,5 | 1 | 0,29 |
| D7 | 16379,4 | 29 | 0,71 | P10 | 13683,7 | 10 | 0,29 |
| TRAME1 | 1203,6 | 2 | 0,66 | P9 | 9757,8 | 7 | 0,29 |
| PARC2 | 10320,1 | 17 | 0,66 | PARC1 | 2951,4 | 2 | 0,27 |
| E1 | 7895 | 13 | 0,66 | P5 | 5983 | 4 | 0,27 |
| P1 | 8852,6 | 13 | 0,59 | P2-bis | 9037,6 | 6 | 0,27 |
| PARC3 | 5284,1 | 7 | 0,53 | E3 | 24099,5 | 13 | 0,22 |
| D1 | 7739,5 | 10 | 0,52 | D2 | 13114,6 | 7 | 0,21 |
| P12 | 3316,9 | 4 | 0,48 | BASSIN-CD54 | 3994,8 | 2 | 0,20 |
| P6 | 10164,4 | 12 | 0,47 | TRAME3 | 2197 | 1 | 0,18 |
| BASSIN-CD54 | 847,6 | 1 | 0,47 | P3 | 16317,1 | 7 | 0,17 |
| D9 | 18715,7 | 22 | 0,47 | P3-bis | 7541,5 | 3 | 0,16 |
| P4 | 22394 | 26 | 0,46 | V2 | 5204,6 | 2 | 0,15 |
| TRAME4 | 2625,6 | 3 | 0,46 | BRAGONI | 5006,8 | 0 | 0,00 |
| TRAME5 | 1750,6 | 2 | 0,46 | TRAME8 | 607,8 | 0 | 0,00 |
| P2 | 21333 | 23 | 0,43 | V1 | 4424,3 | 0 | 0,00 |
| P8 | 7161,9 | 7 | 0,39 | V3 | 3096,7 | 0 | 0,00 |
| <i>nb sondage /400m² >= 1</i> | | <i>1> nb sondage /400m² >= 0,5</i> | | <i>0,5> nb sondage /400m²</i> | | <i>Aucun sondage</i> | |

Tableau 4 – Analyse du nombre de sondage par parcelle du plan guide (version du 10/09/2015)

Cette analyse montre que :

- 5 des 48 parcelles ont un ratio de sondage /400 m² supérieur à 1 ;
- 10 des 48 parcelles ont un ratio de sondage /400 m² compris entre 0,5 et 1 ;
- 29 des 48 parcelles ont un ratio de sondage /400 m² compris inférieur à 0,5 ;
- 4 des 48 parcelles ne présentent aucun sondage.

2.3.3. Synthèse de la répartition spatiale des sondages

L'ensemble du site de Micheville a été investigué par le biais de sondages, cependant il peut être constaté une hétérogénéité de la densité des sondages réalisés ainsi que des profondeurs investiguées.

Compte tenu du caractère fortement anthropisé de la zone d'étude, l'impact de ce défaut d'information sur certaines parcelles de la zone d'étude dépendra des scénarios d'aménagement retenus dans le plan guide. Si les aménagements prévus impliquent des excavations de sols dans des zones à faible densité de sondages, il y aura de plus grandes incertitudes sur le type de matériaux présents dans les sols, et la gestion des matériaux excavés devra être suivie plus précisément dans ces zones.

Les parcelles concernées sont principalement **BRAGONI, TRAME8, V1 et V3** car aucun sondage n'a été réalisé.

Les parcelles pour lesquelles les incertitudes seront les plus grandes (densité de sondage inférieure à 0,5 / 400 m²) sont : P12, P6, BASSIN-CD54, D9, P4, TRAME4, TRAME5, P2, P8D0, ESPLANADE, D4, D3, P11, TRAME6, TRAME2, P10, P9, PARC1, P5, P2-bis, E3, D2, TRAME3, P3, P3-bis et V2.

La figure 3 représente cette différence de densité de sondages en fonction des parcelles.

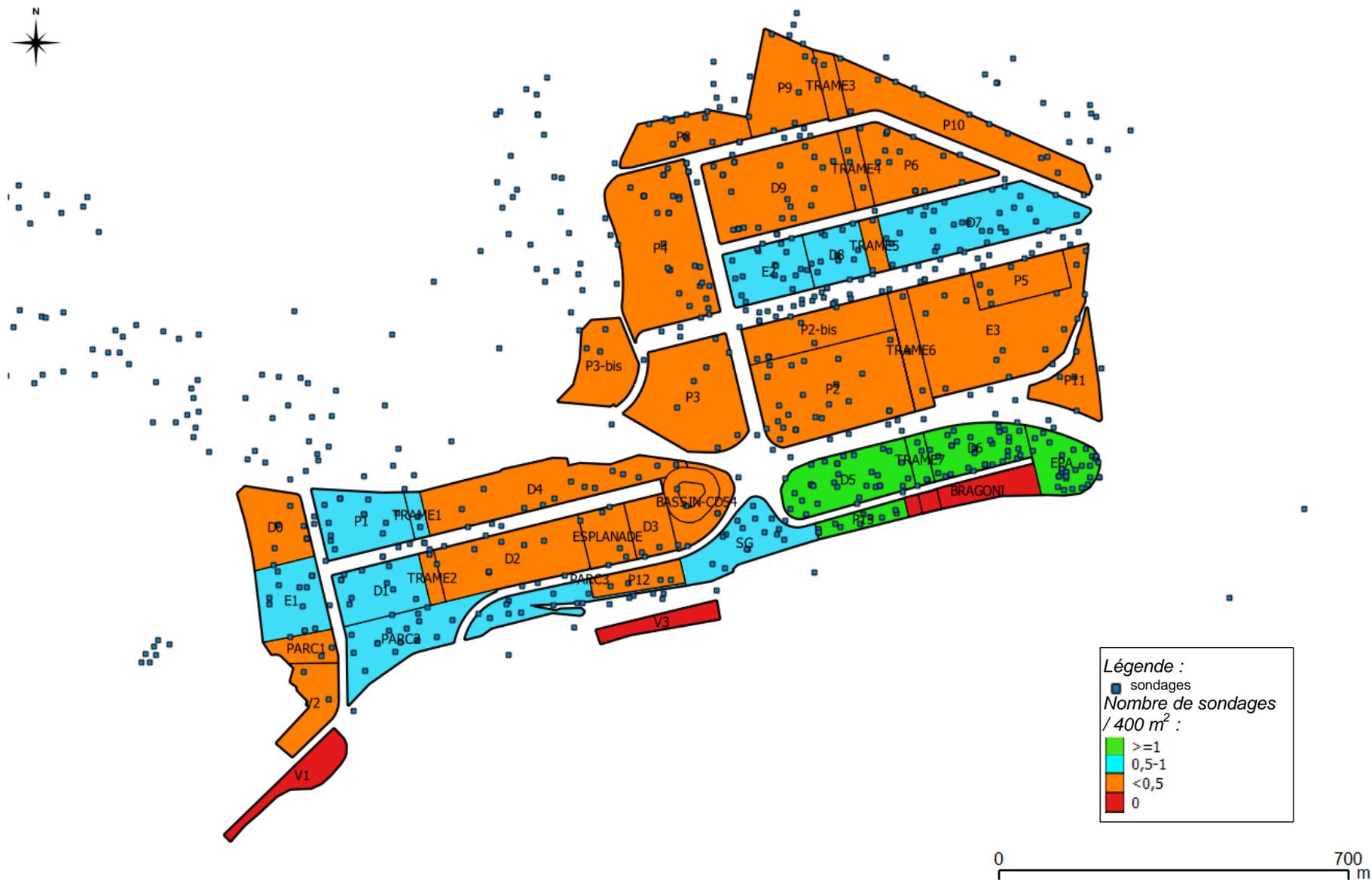


Figure 3 – Densité des sondages par rapport au plan guide (version provisoire de 10 septembre 2015)

2.4. REPARTITION SPATIALE DES ECHANTILLONS

2.4.1. Répartition verticale des échantillons de sols

| Nb échantillons de sols | Centiles des profondeurs des fins d'échantillon | | | |
|-------------------------|---|-----|-----|-----|
| | p50 | p75 | p90 | max |
| 733 | 1,0 | 2,1 | 3,0 | 7,0 |
| Nb échantillons de sols | Centiles des épaisseurs des fins d'échantillon | | | |
| | p50 | p75 | p90 | max |
| 733 | 0,4 | 1,0 | 2,0 | 4,8 |

Tableau 5 – Analyse des profondeurs de fin d'échantillons de sols

L'analyse des profondeurs de fin des échantillons de sols réalisés (cf. Tableau 5) permet de déterminer les points suivants :

- La profondeur médiane (p50) à laquelle ont été prélevés les échantillons est de 1 m : 50 % des échantillons de sols prélevés sur le site de Micheville ont donc été prélevés à moins de 1 m de profondeur ;
- La profondeur maximale à laquelle ont été prélevés les échantillons est de 7 m. Aucune caractérisation chimique des sols ne sera donc disponible au-delà de cette profondeur.

L'analyse des épaisseurs d'échantillons (cf. Tableau 5) permet notamment de déterminer que l'épaisseur médiane (p50) des échantillons est de 0,4 m : 50 % des échantillons de sols prélevés sur le site de Micheville ont donc été sur 0,4 m d'épaisseur ou moins.

Remarque concernant les échantillons : Les échantillons bancarisés sont principalement des échantillons unitaires prélevés *via* différents types de sondages (pelle mécanique, carottier, tarière,...). Cependant, il ne peut être exclu la présence ponctuelle d'échantillons composites sur des épaisseurs de sols plus importantes (l'épaisseur maximum d'un échantillon étant de 4,8 m). Cette information n'était pas disponible dans les rapports et données consultées.

2.4.2. Répartition horizontale des échantillons de sols

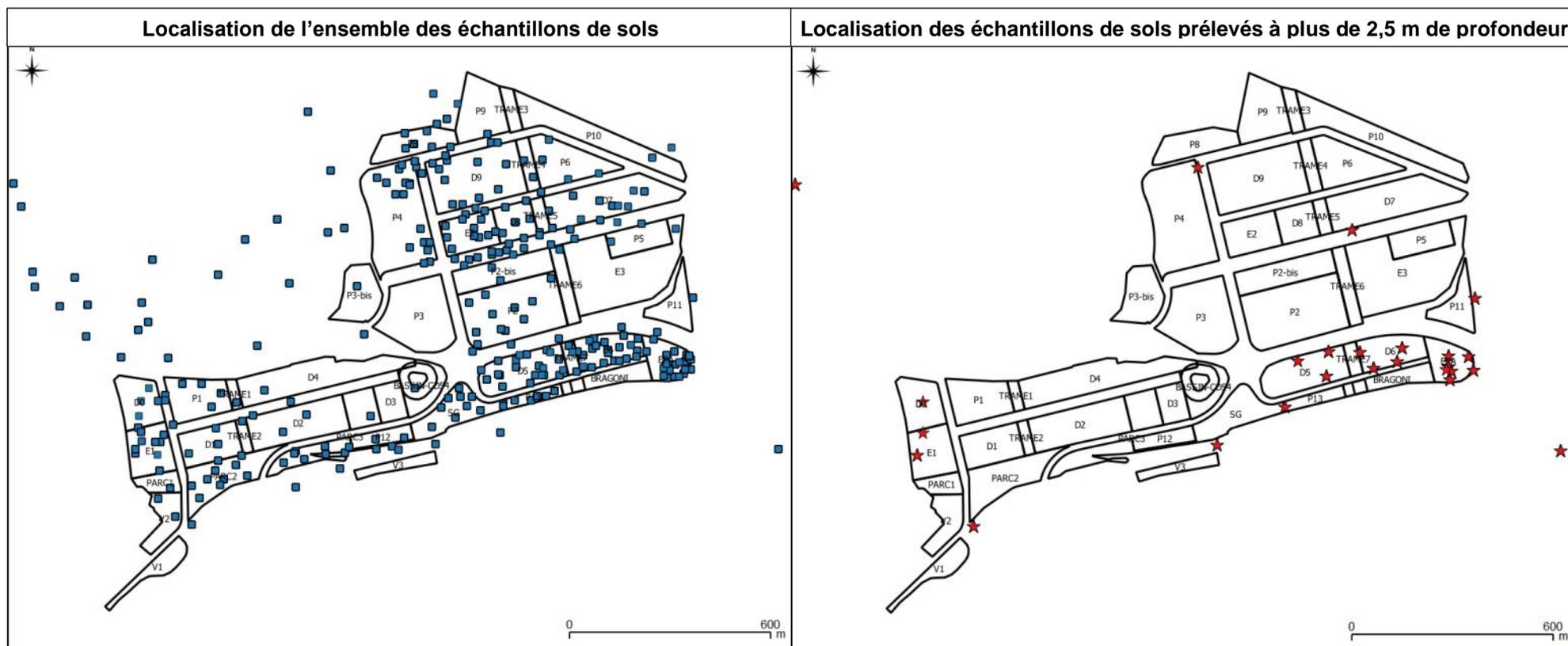


Figure 4 – Localisation des échantillons de sols par rapport au plan guide (version provisoire de 10 septembre 2015)

L'examen de la répartition spatiale des échantillons de sols (Figure 4) permet de constater une hétérogénéité des densités de points en fonction des zones, et notamment en fonction des parcelles telles qu'identifiées dans le plan guide (version provisoire du 10/09/2015).

Le guide de caractérisation des terres excavées recommande pour la caractérisation des sols en place de réaliser *a minima* 1 sondage par maille de 20x20 m (pour les remblais anthropiques) soit 1 sondage pour 400 m² et un échantillon unitaire par horizon pédologique ou par couche de lithologie similaire de 3 m au maximum. La lithologie du site de Micheville étant généralement uniquement composé des remblais anthropiques, et les sondages étant principalement à faible profondeur (cf. partie 2.3.1 et 2.3.2), le nombre de d'échantillon par parcelle a été calculé, ainsi que l'équivalent du nombre d'échantillon pour une surface de 400 m² en considérant les besoins comme 1 échantillon par sondage

Le Tableau 6 présente pour chaque parcelle :

- les surfaces (en m²) ;
- le nombre d'échantillons de sol prélevé dans chaque parcelle ;
- le calcul du nombre d'échantillons / 400 m².

| Parcelle | surface (m ²) | nb échantillons / parcelle | nb échantillons / 400 m ² | Parcelle | surface (m ²) | nb échantillons / parcelle | nb échantillons / 400 m ² |
|--------------------------------------|---------------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| P13 | 2605,2 | 23 | 3,53 | TRAME1 | 1203,6 | 1 | 0,33 |
| EPA | 5887,6 | 51 | 3,46 | D1 | 7739,5 | 6 | 0,31 |
| D6 | 7400,2 | 48 | 2,59 | P2-bis | 9037,6 | 7 | 0,31 |
| D5 | 10895,1 | 40 | 1,47 | V2 | 5204,6 | 4 | 0,31 |
| E2 | 7307,4 | 21 | 1,15 | TRAME6 | 3995,9 | 3 | 0,30 |
| SG | 8442,5 | 24 | 1,14 | ESPLANADE | 4419,5 | 3 | 0,27 |
| D8 | 5176,8 | 13 | 1,00 | P5 | 5983 | 4 | 0,27 |
| TRAME7 | 1595,3 | 4 | 1,00 | PARC1 | 2951,4 | 1 | 0,14 |
| PARC2 | 10320,1 | 25 | 0,97 | P9 | 9757,8 | 3 | 0,12 |
| E1 | 7895 | 18 | 0,91 | D2 | 13114,6 | 4 | 0,12 |
| TRAME2 | 1365,5 | 3 | 0,88 | P10 | 13683,7 | 4 | 0,12 |
| PARC3 | 5284,1 | 11 | 0,83 | P3-bis | 7541,5 | 2 | 0,11 |
| P8 | 7161,9 | 13 | 0,73 | D3 | 3948,2 | 1 | 0,10 |
| P4 | 22394 | 37 | 0,66 | D4 | 15971,3 | 4 | 0,10 |
| D9 | 18715,7 | 30 | 0,64 | BASSIN-CD54 | 3994,8 | 1 | 0,10 |
| P2 | 21333 | 33 | 0,62 | BASSIN-CD54 | 6839,2 | 1 | 0,06 |
| D7 | 16379,4 | 24 | 0,59 | E3 | 24099,5 | 3 | 0,05 |
| P1 | 8852,6 | 11 | 0,50 | P3 | 16317,1 | 1 | 0,02 |
| P12 | 3316,9 | 4 | 0,48 | P11 | 5292,1 | 0 | 0,00 |
| BASSIN-CD54 | 847,6 | 1 | 0,47 | TRAME3 | 2197 | 0 | 0,00 |
| TRAME4 | 2625,6 | 3 | 0,46 | BRAGONI | 5006,8 | 0 | 0,00 |
| TRAME5 | 1750,6 | 2 | 0,46 | TRAME8 | 607,8 | 0 | 0,00 |
| D0 | 7363,2 | 7 | 0,38 | V1 | 4424,3 | 0 | 0,00 |
| P6 | 10164,4 | 9 | 0,35 | V3 | 3096,7 | 0 | 0,00 |
| <i>nb échantillon /400m2 >= 1</i> | | <i>1 > nb échantillon /400m2 >= 0,5</i> | | <i>0,5 > nb échantillon /400m2</i> | | <i>Aucun échantillon</i> | |

Tableau 6 – Analyse du nombre d'échantillons de sols par parcelle du plan guide (version du 10/09/2015)

En se basant sur le Tableau 6, il apparaît que:

- 8 des 48 parcelles ont un ratio d'échantillon /400 m² supérieur à 1 ;
- 9 des 48 parcelles ont un ratio d'échantillon /400 m² compris entre 0,5 et 1 ;
- 25 des 48 parcelles ont un ratio de d'échantillon /400 m² inférieur à 0,5 ;
- 6 des 48 parcelles n'ont pas l'objet de prélèvement analysé.

2.4.3. Synthèse de la répartition spatiale des échantillons de sols

La qualité chimique des sols du site de Micheville a été investiguée par le biais de sondages et de prélèvement d'échantillons de sol. Cependant il peut être constaté une hétérogénéité de la densité des échantillons réalisés ainsi que des profondeurs investiguées.

Compte tenu du caractère fortement anthropisé de la zone d'étude et du défaut d'information sur certaines parcelles de la zone d'étude, l'impact de ces hétérogénéités dépendra des scénarios d'aménagement retenus dans le plan guide. Si les aménagements prévus impliquent des excavations de sols dans des zones à faible densité d'échantillon, il y aura de plus grandes incertitudes sur la qualité chimique des sols, et la gestion des matériaux excavés devra être suivie plus précisément dans ces zones.

Les parcelles concernées sont principalement **P11, TRAME3, BRAGONI, TRAME8, V1 et V3** car aucune donnée sur la qualité du sol n'est disponible au droit de ces parcelles.

Les parcelles pour lesquelles les incertitudes sur la qualité chimique des sols seront les plus importantes (densité d'échantillon inférieure à 0,5 / 400m²) sont : E3, P9, P10, P3, P3-bis, P5, D1, D2, D3, D4, P1, P12, BASSIN-CD54, TRAME4, TRAME5, D0, P6, TRAME1, P2-bis, V2, TRAME6, ESPLANADE et PARC1.

La Figure 5 représente cette différence de densité d'échantillons de sol en fonction des parcelles.

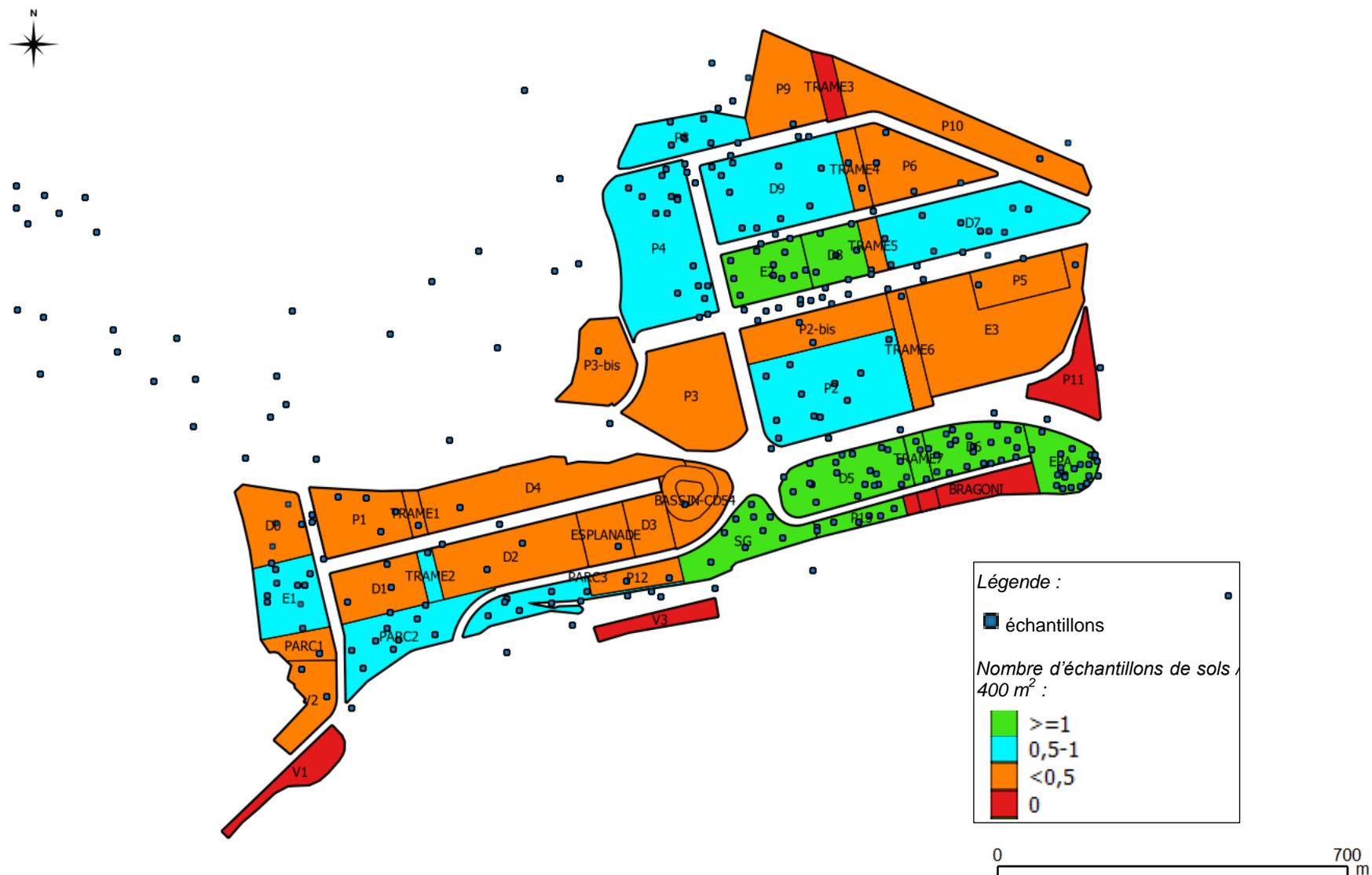


Figure 5 – Densité des échantillons de sols par rapport au plan guide (version provisoire de 10 septembre 2015)

2.5. DONNEES GEOTECHNIQUES

Dans les données transmises par l'EPFL les informations disponibles concernent :

- des sondages géotechniques de reconnaissance ;
- des essais au pressiomètre (norme NF P 94-110).

Ces études renseignent sur les caractéristiques mécaniques des sols en cas d'implantation de bâtiment, mais ne caractérisent pas le comportement des terres après excavation.

Le BRGM recommande l'utilisation du GTR (Guide des Terrassements Routiers) qui est un outil méthodologique utilisé dans les projets de terrassements dont le but est la mise en place de remblais et de couches de forme. La classification GTR permet de rassembler des terres présentant un comportement suffisamment similaire pour que l'on puisse leur appliquer les mêmes modalités de mise en œuvre en remblai ou en couche de forme.

Une terre est donc classée selon sa granulométrie, son argilosité, son comportement mécanique sous une contrainte donnée et son état hydrique. Les principaux essais sont :

- teneur en eau : permet de connaître la proportion d'eau présente dans l'échantillon ;
- valeur au bleu de méthylène (VBS) : permet de quantifier l'argilosité de l'échantillon ;
- limites d'Atterberg : consiste à déterminer les caractéristiques de plasticité et liquidité de l'échantillon ;
- granulométrie : essai d'identification permettant de déterminer la répartition des grains en fonction de leurs dimensions.

Le BRGM recommande de :

- valider conjointement (BRGM, EPFL, EPA, bureaux d'études) les données géotechniques qui seront nécessaires pour la réutilisation des terres excavées au droit du site compte tenu de l'usage futur envisagé (Teneur en eau, Valeur au bleu de méthylène du sol, limites d'Atterberg, Granulométrie) ;
- de réaliser l'analyse de ces paramètres (classification GTR) *a posteriori* après excavation et rassemblement des terres par qualité supposée identique, sur les grandes familles qui auront été identifiées.

2.6. REPARTITION DES ANALYSES REALISEES SUR LES ECHANTILLONS DE SOLS

2.6.1. Répartition spatiale des analyses

Le Tableau 7 présente le nombre d'analyses réalisées dans les sols pour chaque paramètre, rapporté au nombre de sondages réalisés.

| Groupe de composés * | Sous-groupe de composés * | Composé | Code sandre | nb total analyses sols | nb analyses / sondage |
|---------------------------|---------------------------|--|-------------|------------------------|-----------------------|
| éléments minéraux | Composés cyanurés | Cyanures totaux | 1390 | 117 | 0,15 |
| Métaux et métalloïdes | Arsenic et ses dérivés | Arsenic | 1369 | 469 | 0,61 |
| | Cadmium et ses dérivés | Cadmium | 1388 | 449 | 0,58 |
| | Chrome et ses dérivés | Chrome | 1389 | 509 | 0,66 |
| | Cuivre et ses dérivés | Cuivre | 1392 | 468 | 0,61 |
| | Mercure et ses dérivés | Mercure | 1387 | 344 | 0,45 |
| | Nickel et ses dérivés | Nickel | 1386 | 452 | 0,59 |
| | Plomb et ses dérivés | Plomb | 1382 | 545 | 0,71 |
| Micropolluants organiques | BTEX | Benzène | 1114 | 20 | 0,03 |
| | | Toluène | 1278 | 20 | 0,03 |
| | | Xylène-ortho | 1292 | 20 | 0,03 |
| | | Ethylbenzène | 1497 | 20 | 0,03 |
| | | Xylène méta + para | 2925 | 20 | 0,03 |
| | | Somme de benzène, toluène, ethylbenzene, xylènes (BTEX) | 5918 | 59 | 0,08 |
| Micropolluants organiques | Dérivés du Benzène | Code gelé en 1998 (Cumène) | 1477 | 20 | 0,03 |
| | | Mésitylène | 1509 | 20 | 0,03 |
| | | Triméthylbenzène-1,2,4 | 1609 | 20 | 0,03 |
| | | 4-Ethyltoluene | 3305 | 20 | 0,03 |
| | | 3-Ethyltoluene | 3350 | 20 | 0,03 |
| | | Somme de Benzène, Toluène, Ethylbenzene, Cumene, Xylène, Mesitylene, Ethyltoluene et pseudocumene (8 BTEX) | 6543 | 20 | 0,03 |
| Micropolluants organiques | HAP | Benzo(a)anthracène | 1082 | 23 | 0,03 |
| | | Benzo(a)pyrène | 1115 | 149 | 0,19 |
| | | Benzo(b) fluoranthène | 1116 | 146 | 0,19 |
| | | Benzo(k) fluoranthène | 1117 | 149 | 0,19 |
| | | Benzo(g,h,i)pérylène | 1118 | 146 | 0,19 |
| | | Fluoranthène | 1191 | 149 | 0,19 |
| | | Indéno (1,2,3-cd) pyrène | 1204 | 149 | 0,19 |
| | | Acénaphthène | 1453 | 20 | 0,03 |

| Groupe de composés * | Sous-groupe de composés * | Composé | Code sandre | nb total analyses sols | nb analyses / sondage |
|---|-------------------------------|------------------------------|-------------|------------------------|-----------------------|
| | | Anthracène | 1458 | 20 | 0,03 |
| | | Chrysène | 1476 | 23 | 0,03 |
| | | Naphtalène | 1517 | 23 | 0,03 |
| | | Phénanthrène | 1524 | 20 | 0,03 |
| | | Pyrène | 1537 | 20 | 0,03 |
| | | Dibenzo (a, h) anthracène | 1621 | 20 | 0,03 |
| | | Acénaphthylène | 1622 | 20 | 0,03 |
| | | Fluorène | 1623 | 20 | 0,03 |
| | | Somme HAP (10) - VROM | 6135 | 3 | 0,00 |
| | | Somme HAP (16) - EPA | 6136 | 375 | 0,49 |
| Micropolluants organiques | Hydrocarbures et indices liés | C10-C12-Coupes hydrocarbures | 3317 | 20 | 0,03 |
| | | C10-C40-Coupes hydrocarbures | 3319 | 356 | 0,46 |
| | | C12-C16-Coupes hydrocarbures | 3320 | 20 | 0,03 |
| | | C5-C10-Coupes hydrocarbures | 3332 | 8 | 0,01 |
| | | Coupes hydrocarbures C16-C21 | 5333 | 20 | 0,03 |
| | | Coupes hydrocarbures C21-C35 | 5334 | 20 | 0,03 |
| | | Coupes hydrocarbures C35-C40 | 5872 | 20 | 0,03 |
| Micropolluants organiques | PCB | PCB 28 | 1239 | 20 | 0,03 |
| | | PCB 52 | 1241 | 20 | 0,03 |
| | | PCB 101 | 1242 | 20 | 0,03 |
| | | PCB 118 | 1243 | 20 | 0,03 |
| | | PCB 138 | 1244 | 20 | 0,03 |
| | | PCB 153 | 1245 | 20 | 0,03 |
| | | PCB 180 | 1246 | 20 | 0,03 |
| | | Somme des 7 PCB _i | 7431 | 50 | 0,06 |
| Micropolluants organiques | phénol, crésol et dérivés | Indice Phénol | 1440 | 96 | 0,12 |
| Micropolluants organiques | COHV | Dichlorométhane | 1168 | 4 | 0,01 |
| | | Somme de COHV | 7485 | 13 | 0,02 |
| Total | | | | 6343 | |
| * : classification proposée différente de celle fournie par le SANDRE | | | | | |

Tableau 7 – Nombre d'analyses chimiques des sols (par paramètre) bancarisées pour le site de Micheville

Les figures 6 et 7 présentent la localisation des différents échantillons analyse par analyse réalisées par rapport au plan guide (version provisoire de 10 septembre 2015).

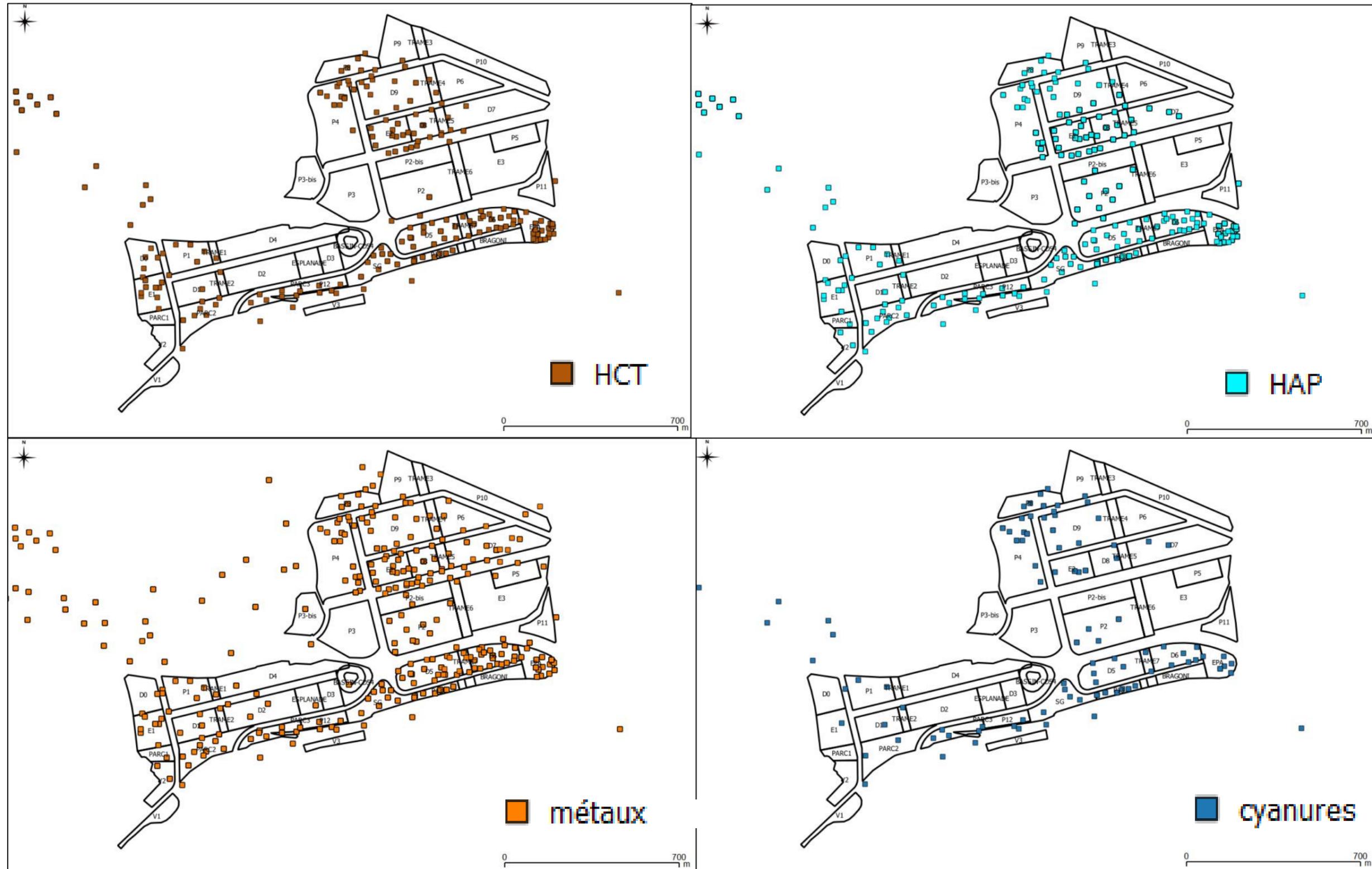


Figure 6 – Localisation des échantillons analysés pour les hydrocarbures (HCT), les HAP, les métaux et les cyanures

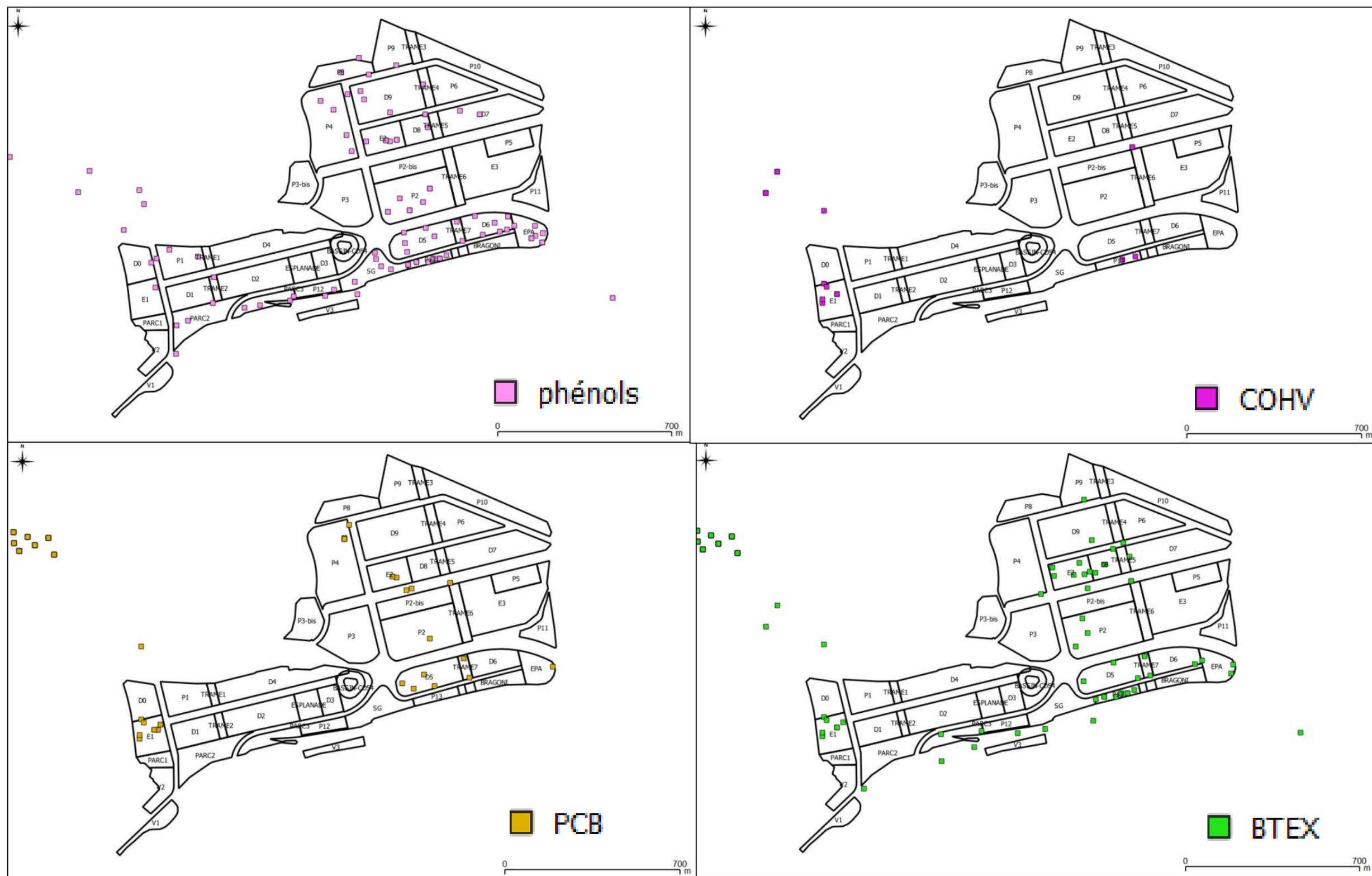


Figure 7 – Localisation des échantillons analysés pour les phénols, les COHV, les PCB et les BTEX

L'analyse des données relatives à la qualité chimique des échantillons permet de conclure que :

Cyanures : 117 déterminations de ce paramètre ont été effectuées dans les échantillons de sols, dans les zones présentant les plus fortes densités de prélèvements. Les zones à plus faibles densité d'échantillons (cf. partie 2.4.3) n'ont pas ou peu été investiguées pour ce paramètre.

Métaux et métalloïdes (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb) : entre 334 (pour le mercure) et 545 (pour le plomb) déterminations ont été réalisées dans les échantillons de sols. Ce sont les paramètres les plus analysés sur le site de Micheville, et les échantillons analysés ont été prélevés sur l'ensemble du site. Seules les zones à plus faibles densité d'échantillons (cf. partie 1.3.3) n'ont pas ou peu été investiguées pour ces paramètres.

BTEX et dérivés du benzène: entre 20 et 59 analyses de sols réalisées. Le paramètre le plus recherché est la somme des 4 BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes). Ces paramètres ont été recherchés principalement au droit des parcelles E1, P13, P2, E2, D5 et D8. Pour les autres parcelles, ces paramètres n'ont pas ou peu été recherchés.

HAP (Hydrocarbures aromatiques polycycliques, pyrolytique) : entre 20 et 149 analyses de sols ont été réalisées pour des HAP individuellement. Ces paramètres font partie des plus recherchés sur le site de Micheville, et les échantillons analysés ont été prélevés sur l'ensemble du site. Seules les zones à plus faibles densités d'échantillons (cf. partie 1.3.3) n'ont pas ou peu été investiguées pour ces paramètres.

Le paramètre le plus recherché est la somme des 16 HAP (375 analyses). Ce paramètre est un indicateur de la présence ou non de HAP et permet d'évaluer qualitativement l'ordre de grandeur des impacts pour ces composés. Cette analyse ne permet cependant pas une interprétation quantitative des risques sanitaires (l'analyse individuelle des 16 HAP est à utiliser dans cet objectif).

Hydrocarbures : 8 analyses ont été réalisées pour fractions les plus légères (C5-C10), et 20 analyses ont été réalisées pour d'autres coupes (C10-C12, C12-C16, C16-C21, C21-C35, C35-C40). Le paramètre le plus recherché est l'indice hydrocarbures C10-C40 (356 analyses). Les échantillons ayant fait l'objet de cette détermination ont été prélevés sur l'ensemble du site. Seules les parcelles P2, D7 ainsi que les zones à plus faibles densités d'échantillons (cf. partie 1.3.3) n'ont pas ou peu été investiguées pour ces paramètres. Ce paramètre est un indicateur de la présence ou non d'hydrocarbures pétroliers et permet donc d'évaluer qualitativement l'ordre de grandeur des impacts pour ces composés. Comme dans le cas des 16 HAP, cette analyse ne permet cependant pas une quantification des risques sanitaires (la méthode d'analyse TPH-WG qui différencie les coupes aliphatiques et aromatiques est à utiliser dans cet objectif).

PCB: 20 analyses de sols ont été réalisées pour l'analyse individuelle de 7 congénères des PCB (PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180). Cinquante analyses de sols ont été réalisées uniquement pour l'analyse de la somme des 7 congénères. Ces paramètres ont été recherchés principalement au droit des parcelles E1, D5, TRAME7 et E2. Pour les autres parcelles, ces paramètres n'ont pas ou peu été recherchés.

Phénols : le seul paramètre analysé pour cette famille de composés est l'indice phénol (96 analyses). Ce paramètre a été recherché régulièrement sur le site de Micheville, et les échantillons ont été prélevés sur l'ensemble du site. Seules les parcelles D1, D2, P5, et P6 ainsi que les zones à plus faibles densités d'échantillons (cf. partie 1.3.3) n'ont pas ou peu été investiguées pour ce paramètre.

Ce paramètre est un indicateur de la présence ou non de composés phénoliques et permet donc d'évaluer qualitativement l'ordre de grandeur des impacts pour ces composés. Cette analyse ne permet cependant pas une interprétation quantitative des risques sanitaires.

COHV : le dichlorométhane a été recherché 4 fois dans les sols. Concernant les COHV, c'est le paramètre « somme des COHV » qui a été le plus recherché avec 13 analyses de sols. Ces paramètres ont été recherchés principalement au droit des parcelles E1 et P13. Pour les autres zones, ces paramètres n'ont pas été recherchés.

2.6.2. Synthèse concernant les analyses chimiques de sols

- Les analyses réalisées en plus grand nombre concernent :
 - Les métaux (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb) ;
 - Les HAP (somme des 16) ;
 - Les hydrocarbures (indice C10-C40).

Ces paramètres ont été recherchés dans plus de 300 échantillons prélevés sur le site de Micheville, et cela représente au minimum environ 1 analyse pour 2 sondages. Ces analyses ont été réalisées sur l'ensemble du site et seules les zones à plus faibles densités d'échantillons (cf. partie 1.3.3) n'ont pas ou peu été investiguées pour ces paramètres.

- Les autres paramètres analysés (BTEX et dérivés du benzène, COHV, Cyanure, Phénols et PCB) ont été recherchés moins fréquemment, et dans des zones plus ciblées du site de Micheville ;
- Les données bancarisées concernent des analyses de sols bruts et il n'y a pas eu de donnée collectée sur des analyses de lixiviats ;
- Aucune donnée concernant les paramètres suivants n'a été retrouvée :
 - Dioxines et furanes
 - Produits phytosanitaires (voies de chemin de fers...)

Les sondages et analyses réalisés sont cependant suffisants pour :

- identifier des gradients d'impact des sols au droit du site de Micheville ;
- de localiser des zones de catégories de sols de qualité supposée similaire.

Les incertitudes seront les plus importantes dans les secteurs avec les plus faibles densités de sondages et d'analyses et notamment les parcelles E3, P9, P10, P3, P3-bis, P5, D1, D2, D3, D4, P1, P12, BASSIN-CD54, TRAME4, TRAME5, D0, P6, TRAME1, P2-bis, V2, TRAME6, ESPLANADE et PARC1 présentant les plus faibles densités d'échantillons (inférieures à 0,5 / 400m²) et les parcelles P11, TRAME3, BRAGONI, TRAME8, V1 et V3 pour lesquelles aucun échantillon n'a été réalisé .

Les données disponibles ne sont cependant pas suffisantes pour caractériser finement les matériaux qui seront excavés. Le BRGM ne propose pas d'investigations complémentaires mais recommande :

- de regrouper par catégories de qualité supposée similaire les sols qui seront excavés ;
- de caractériser plus finement (physiquement et chimiquement) et *a posteriori* les terres excavées, issues de sols regroupés par catégories de qualité supposée similaire, afin d'orienter leur possibilité de réutilisation sur site, sur des zones de sols en place de qualité équivalente.

Ce principe permettrait de limiter le nombre d'investigations complémentaires en optimisant les moyens sur la caractérisation des matériaux qui seront effectivement extraits.

3. Définition du bruit de fond géochimique et des critères de qualité chimique des sols

3.1. METHODOLOGIE

Cette partie du travail présente de façon synthétique les éléments ayant servi à déterminer le bruit de fond géochimique au droit du site de Micheville ainsi que les différents critères de qualité chimique des sols. Le détail substance par substance est présenté en annexe 1.

Le bruit de fond géochimique a été déterminé en se basant :

- Sur l'étude des populations d'échantillons analysés. Pour chaque paramètre, une figure a été réalisée avec :
 - en abscisses : les teneurs ;
 - en ordonnées : le pourcentage de la population des échantillons atteignant ces teneurs.

Cette représentation permet de déterminer la répartition de la population des échantillons par rapport aux teneurs. Ces figures ont été réalisées en prenant en compte toutes les analyses réalisées.

La Figure 8 présente des exemples de graphes pour l'arsenic et le chrome.

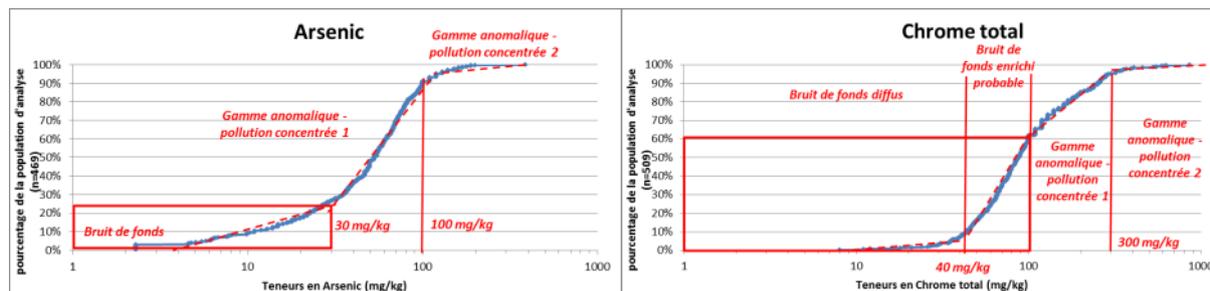


Figure 8 – Analyse des teneurs en Arsenic et en Chrome par rapport à la population des échantillons

La répartition des teneurs se présente généralement sous la forme d'une courbe avec une pente faible, suivie d'une première rupture de pente.

Cette première rupture de pente est liée à un changement du type de matériaux, ici passage de remblais naturels à des remblais anthropiques. Ainsi, les teneurs inférieures à la valeur correspondante à cette rupture de pente (également appelée seuil de coupure) sont assimilables au bruit de fond naturel local.

La courbe connaît ensuite d'autres ruptures de pente qui peuvent être liées :

- soit à un bruit de fond enrichi probable (lié à la pollution diffuse urbaine et industrielle du secteur) comme c'est le cas pour le chrome pour la Figure 8 ;
- soit à des matériaux avec différents niveaux de pollution (identifiés comme gammes anormales 1 ou 2 dans les graphiques).

Les valeurs des différents paramètres correspondant aux ruptures de pentes sont déterminées et comparées aux données bibliographiques existantes afin de déterminer une valeur de bruit de fond propre à la zone d'étude.

Cette valeur de bruit de fond servira de base à la détermination des critères de qualité vis-à-vis de chaque composé et pour chaque échantillon prélevé et analysé.

Trois niveaux de critères (ou seuil) de qualité ont été définis et identifiés, composé par composé, dans la suite du travail. Ils sont basés sur :

- le bruit de fond déterminé à partir des échantillons issus du site de Micheville ;
- les autres seuils de coupure déterminés à partir des échantillons issus du site de Micheville ;
- les données bibliographiques sur le bruit de fond géochimique à l'échelle nationale ;
- des valeurs de gestions ou d'alerte (avis du HCSP de juin 2014 pour le plomb, seuil VS1 de la gestion des terres excavées pour les BTEX et le naphthalène) ;

Les seuils fixés permettront après mesure des teneurs dans les sols, d'estimer le niveau général de leur qualité chimique dans le contexte du site de Micheville.

Le Tableau 8 présente l'interprétation des teneurs en fonction des différents seuils (ici 3 valeurs seuil sont retenues).

| Catégorie de qualité | Niveau de la teneur mesurée | Interprétation |
|----------------------|-----------------------------|---|
| Catégorie 1 | Teneur ≤ seuil 1 | Pas d'impact suspecté du site sur la qualité du sol |
| Catégorie 2 | seuil 1 < Teneur ≤ seuil 2 | Impact probable du site sur la qualité du sol |
| Catégorie 3 | seuil 2 < Teneur ≤ seuil 3 | Impact avéré du site sur la qualité du sol |
| Catégorie 4 | seuil 3 < Teneur | Zone fortement impactée |

Tableau 8 – Interprétation des teneurs mesurées en fonction des différents seuils.

Point d'attention : Ces seuils ne constituent pas des seuils de gestion ou des seuils de risque sanitaire mais sont destinés à aider à regrouper les matériaux par niveau de qualité identique. Des analyses complémentaires seront alors nécessaires en fonction des types de matériaux, et de la nature de leur utilisation finale.

Le détail de l'étude des populations d'échantillons analysés et les critères de définition des seuils sont fournis en Annexe 1 pour chaque composé retenu.

3.2. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

Le tableau 9 présente les référentiels bibliographiques consultés pour participer à la détermination du bruit de fond chimique au niveau du site de Micheville.

| Noms de la base | Détail des données disponibles | Lien vers les données |
|--|--|---|
| BDETM-1998 | Concentrations en métaux et métalloïdes dans les sols agricoles français – analyse d’horizons de surface de sols agricoles susceptibles de recevoir des épandages de boues d’épuration urbaines – campagne interprétée de 1998 | http://www7.inra.fr/dpenv/baizec39.htm |
| BDETM-2009 | Concentrations en métaux et métalloïdes dans les sols agricoles français – analyse d’horizons de surface de sols agricoles susceptibles de recevoir des épandages de boues d’épuration urbaines – campagne de 2009 - résultats bruts | https://www.gissol.fr/donnees/donnees-de-la-bdetm-2873 |
| RMQS (réseau de mesure de la qualité des sols) | Bilan sur l’état des sols français – 1700 sites – 2 profondeurs d’échantillonnage (0-30 et 30-50 cm) – maillage du territoire français avec une grille de 16 x 16 km | http://acklins.orleans.inra.fr/geoindiquasol/index.php |
| ASPITET | Apports d’une Stratification Pédologique pour l’Interprétation des Teneurs en Eléments Trace – horizons de surface et profonds – 1200 sites pour 1900 horizons analysés | http://www7.inra.fr/dpenv/baizec39.htm |
| BRGM-1995 | Référentiel géochimique des sols autour des friches industrielles de lorraine – acquisition de références géochimiques dans le cadre de requalification des friches industrielles de Lorraine. | http://infoterre.brgm.fr/rapports/RR-35007-FR.pdf |

Tableau 9 – Sources bibliographiques utilisée pour la détermination du bruit de fond chimique au niveau du site de Micheville

Les données statistiques issues de ces bases de données peuvent être les suivantes :

- Moyenne : moyenne des teneurs mesurées sur l’ensemble des données ;
- Maximum : teneur maximum mesurée sur l’ensemble des données ;
- Médiane ou Percentile 50 (P50) : 50 % de teneurs mesurées sur l’ensemble des données sont inférieures à cette valeur ;
- Percentile 90 (P90) : 90 % de teneurs mesurées sur l’ensemble des données sont inférieures à cette valeur ;
- Percentile 95 (P95) : 95 % de teneurs mesurées sur l’ensemble des données sont inférieures à cette valeur ;
- Vibrisse supérieure (VS) : $VS = P75 + [1,5 \times (P75 - P25)]$. Toutes les valeurs supérieures à la vibrisse supérieure sont définies comme outliers supérieurs. Un outlier est une valeur définie statistiquement comme "anomalique" par rapport à une certaine population et uniquement par rapport à la structure de cette population.

3.3. COMPARAISON DES SEUILS RETENUS POUR LES METAUX PAR RAPPORT AUX BASES DE DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

Le détail de l'étude des populations d'échantillons analysés et les critères de définition des seuils sont fournis en Annexe 1 pour chaque composé retenu. Le Tableau 10 récapitule les teneurs de définition des seuils et de bruit de fonds établis au cours de ce travail. Elles sont mises en parallèle avec les bases de données bibliographiques.

Les cases colorées en bleu issues des bases de données bibliographiques présentent des valeurs proches ou équivalentes à celles choisies pour le seuil 1.

| | SANDRE | nb analyses | max | Seuils (mg/kg) | | | | ASPITET | | | BDETM – 1998 | | BDETM - 2009 | | RMQS | BRGM 1995 | |
|----|--------|-------------|-------|-----------------------------------|---------|---------|---------|-----------------|--------------------|------------------|--------------|-----|--------------|-----|------------------|-----------|------|
| | | | | Bruit de fonds local ² | Seuil 1 | Seuil 2 | Seuil 3 | Sols ordinaires | anomalies modérées | anomalies fortes | P90 | VS | P90 | VS | VS (176) 0-30 cm | moy | max |
| As | 1369 | 469 | 390 | 30 | 30 | 100 | 200 | 25 | 60 | 284 | - | - | - | - | - | 53 | 133 |
| Cd | 1388 | 449 | 12 | 0,15 | 0,45 | 1 | 10 | 0,45 | 2 | 46,3 | 0,47 | 0,5 | 0,44 | 0,6 | 0,98 | 2 | 3 |
| Cr | 1389 | 509 | 860 | 100 | 100 | 300 | 600 | 90 | 150 | 3180 | 80,1 | 99 | 93,1 | 120 | 243,75 | 102 | 508 |
| Cu | 1392 | 468 | 11390 | 30 | 30 | 100 | 1000 | 20 | 62 | 160 | 33,6 | 45 | 18 | 23 | 40,05 | 15 | 82 |
| Hg | 1387 | 344 | 17 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 5 | 0,1 | 2,3 | - | 0,15 | 0,1 | 0,06 | 0,1 | - | 0,5 | 1,4 |
| Ni | 1386 | 452 | 490 | 20 | 60 | 100 | 1000 | 60 | 130 | 2076 | 56,8 | 79 | 39,9 | 52 | 66,9 | 36 | 84 |
| Pb | 1382 | 545 | 9500 | 35 | 35 | 100 | 300 | 50 | 90 | 10180 | 40,3 | 53 | 42,1 | 54 | 67,15 | 32 | 249 |
| Zn | 1383 | 469 | 7100 | 120 | 120 | 1000 | 10000 | 100 | 250 | 11426 | 118 | 153 | 123 | 152 | 262,7 | 157 | 1110 |

Tableau 10 – Synthèse des seuils retenus pour les métaux par rapport données bibliographiques sur les bruits de fonds géochimiques

Les valeurs du seuil 1 retenues sont équivalentes aux teneurs retenues par l'INRA pour les sols ordinaires (ASPITET) pour les 8 composés retenus à l'exception du plomb et du cuivre. Pour le cadmium, le chrome, le mercure, le nickel et le zinc, le seuil 1 est également équivalent à au moins un autre référentiel (BDETM et/ou RMQS et/ou BRGM-1995)

Pour le cuivre, le seuil 1 est équivalent au percentile 90 de la BDETM-1998.

Pour le plomb, le seuil 1 est équivalent au percentile 90 de la BDETM-1998 et de la BDETM 2009.

² Cf. Annexe 1

3.4. SYNTHÈSE DES SEUILS ET BRUITS DE FOND

Le Tableau 11 récapitule les valeurs seuils et de bruits de fond établis au cours de ce travail (cf. Annexe 1 pour le détail par composé) et leur mise en parallèle avec les mesures réalisées dans les sols au droit du site de Micheville.

| | Code SANDRE | Seuils (mg/kg) | | | | Concentrations dans l'horizon naturel (mg/kg) | | | | | | Concentrations pour tous les échantillons (mg/kg) | | | | | | |
|-----------------------|--------------------------------|----------------------|---------|---------|---------|---|-----|-------|-------|-------|-------|---|-----|-------|-------|------|-------|-------|
| | | Bruit de fonds local | Seuil 1 | Seuil 2 | Seuil 3 | nb | p25 | p50 | p75 | p90 | VS | nb | p25 | p50 | p75 | p90 | VS | |
| Métaux et métalloïdes | As | 1369 | 30 | 30 | 100 | 200 | 10 | nd | 55,5 | 87 | 98,6 | 192,4 | 469 | 28 | 53 | 77 | 100 | 150,5 |
| | Cd | 1388 | 0,15 | 0,45 | 1 | 10 | 10 | nd | 0,1 | 0,138 | 0,155 | 0,194 | 449 | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 1 | 1,35 |
| | Cr | 1389 | 100 | 100 | 300 | 600 | 11 | nd | 46 | 73 | 80 | 129,3 | 509 | 61 | 88 | 140 | 250 | 258,5 |
| | Cu | 1392 | 30 | 30 | 100 | 1000 | 10 | nd | 8 | 9,425 | 11,1 | 16,48 | 468 | 12 | 33 | 61 | 130 | 134,5 |
| | Hg | 1387 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 5 | 9 | nd | 0,025 | 0,05 | 0,05 | 0,088 | 344 | 0,025 | 0,06 | 0,12 | 0,22 | 0,263 |
| | Ni | 1386 | 20 | 60 | 100 | 1000 | 10 | nd | 34,5 | 51,5 | 58,9 | 96,13 | 452 | 19,75 | 39 | 55 | 65,96 | 107,9 |
| | Pb | 1382 | 35 | 35 | 100 | 300 | 11 | nd | 19 | 37 | 39 | 73,75 | 545 | 44 | 110 | 240 | 390 | 534 |
| | Zn | 1383 | 120 | 120 | 1000 | 10000 | 10 | nd | 120 | 162,5 | 171 | 308,4 | 469 | 160 | 340 | 680 | 1100 | 1460 |
| HCT | C10-C40-Coupes hydrocarbures | 3319 | 50 | 50 | 500 | 5000 | 16 | 25 | 25 | 25 | 71,5 | 25 | 356 | 52 | 140 | 280 | 555 | 622 |
| BTEX | Somme des 4 BTEX | 5918 | 0,15 | 0,5 | 5 | 50 | 3 | 0,05 | 0,05 | 0,62 | 0,962 | 1,475 | 59 | 0,075 | 0,25 | 2,45 | 22,02 | 6,013 |
| | Somme des 8 BTEX | 6543 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Composés pris individuellement | - | nd | 0,005 | 0,05 | 0,5 | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| HAP | Somme HAP (16) - EPA | 6136 | 2 | 2 | 50 | 200 | 10 | 0,6 | 0,905 | 6,245 | 11,45 | 14,71 | 375 | 2,92 | 10,05 | 25,1 | 45,82 | 58,37 |
| | naphtalène | 1517 | nd | 0,05 | 0,5 | 5 | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| | Composés pris individuellement | - | nd | 0,2 | 5 | 20 | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| Autres composés | Cyanures totaux | 1390 | 0,5 | 0,5 | 5 | 50 | 5 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 117 | 0,15 | 0,15 | 0,48 | 1,1 | 0,975 |
| | Indice Phénol | 1440 | 0,1 | 0,1 | 1 | 10 | 3 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 96 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,175 | 0,05 |
| | Somme de COHV | 7485 | nd | 0,05 | 0,5 | 5 | 2 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 13 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| | Somme des 7 PCBi | 7431 | 0,005 | 0,005 | 0,2 | 2 | 4 | 0,005 | 0,005 | 0,006 | 0,009 | 0,008 | 50 | 0,005 | 0,03 | 0,14 | 0,583 | 0,343 |

Tableau 11 – Synthèse des seuils et bruits de fond mis en parallèle des mesures réalisées dans les sols au droit du site de Micheville.

4. Exploitation des résultats dans GDM

4.1. PRESENTATION DU LOGICIEL GDM

Développée par le BRGM, la suite GDM 2014 permet la gestion, la représentation et la modélisation des données de géologie. GDM 2014 produit des vues 3D, des coupes, des cartes et des logs de sondages et permet en outre une valorisation poussée des données à travers la construction de modèles géologiques, l'interpolation de paramètres variés (teneurs, cote piézométrique, paramètre géotechnique,...), la quantification de volumes de sols...

Dans le cadre de cette étude, GDM a été utilisé pour réaliser une modélisation géologique du site, une interpolation de critères de qualité chimique des sols, le calcul de volumes de terres excavées ainsi que leurs caractéristiques chimiques.

Les données et résultats de GDM ont été fournis à l'EPFL qui peut les consulter avec le logiciel GDM Viewer.

GDM Viewer 2014 est un outil gratuit qui permet de visualiser et de consulter les données, modèles et documents graphiques stockés dans un "projet GDM". Toutes les fonctions d'interrogation et de consultation des graphiques 1D, 2D et 3D de GDM Standard Edition sont disponibles dans ce viewer et il est possible d'imprimer les graphiques ou les exporter sous forme de fichiers (WMF, JPEG...).

4.2. MISE AU FORMAT DES DONNEES

Les données concernant la géologie et la qualité chimique des sols, issues des différentes sources (documents Excel ou PDF) ont été rassemblées et homogénéisées en vue de leur exploitation par des outils informatiques.

Ces données codées selon les mêmes référentiels ont été intégrées dans une base ACCESS constituée d'une structure développée pour le projet FGU (fonds géochimique urbain)³ et modifiée spécifiquement pour le site de Micheville.

La Figure 9 présente les relations entre les différentes tables renseignées dans la base de données adaptée pour Micheville.

³ Le projet FGU, réalisé dans le cadre d'une convention ADEME-BRGM a pour objectif de construire et alimenter une base de données d'analyses de sols urbains sur l'ensemble des grandes agglomérations françaises.

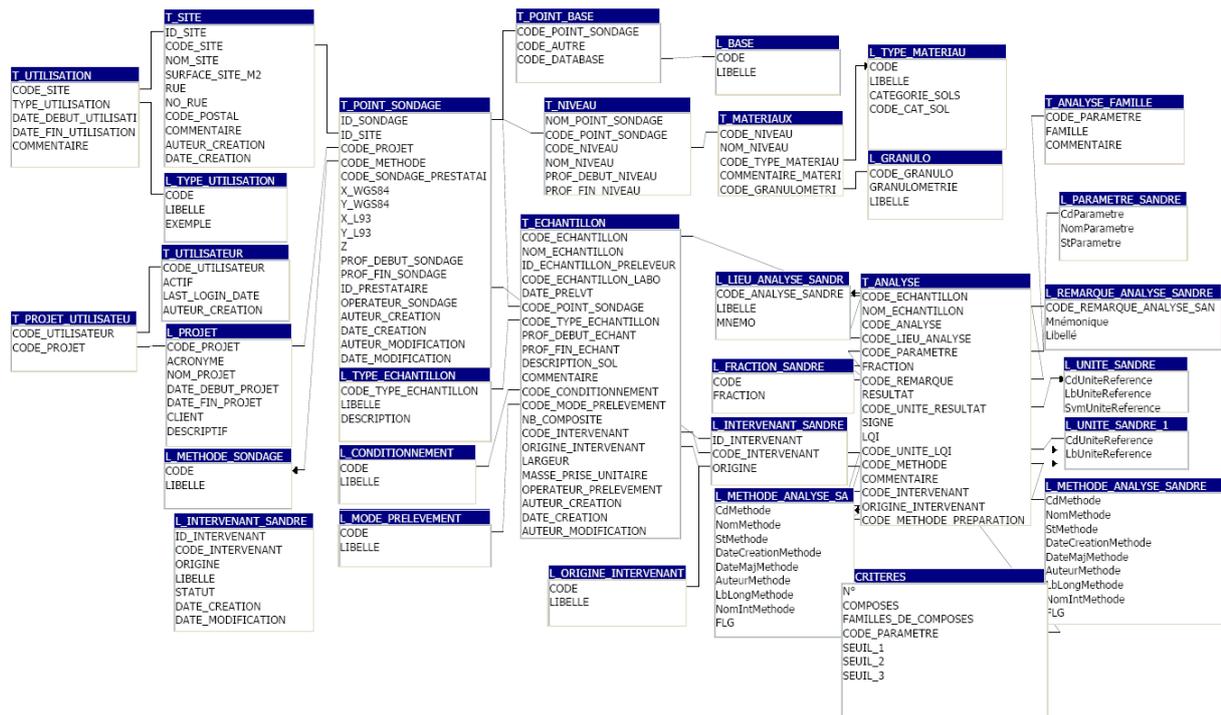


Figure 9 – Tables et relations de la base de données ACCESS adaptée pour le site de Micheville

A partir de cette base, des requêtes, des exports et des liens avec la base GDM ont été réalisés en vue de réaliser la modélisation géologique du site ainsi que les interpolations sur la qualité chimique des sols.

4.3. GEOLOGIE

Les types de sols observés lors des différentes campagnes de sondage, tels que décrits dans les différents rapports, ont été transposés dans une des 27 sous-catégories listées dans le Tableau 12 (lexique de typologies de sols utilisé, issu du projet FGU).

Les types de sols ont également été transposés dans une des 4 catégories principales suivantes :

- HN : horizon naturel en place ;
- RN : remblais composés de matériaux à dominance naturelle ;
- RA : remblais composés de matériaux à dominance anthropique ;
- DAL : bétons massifs.

Ces catégories de sols ont été attribuées aux différents horizons (avec profondeur de début et de fin de niveau) rencontrés dans les sondages réalisés sur le site de Micheville. Chaque sondage étant géoréférencé (en X, Y et Z), les profondeurs des différents niveaux ont été utilisées pour l'interpolation de la nature des sols au droit du site de Micheville.

| Catégories de sols | sous-catégorie |
|------------------------------------|--|
| HN - Horizon naturel | Horizon naturel - Texture équilibrée (mélange équilibré de cailloux, sable et argile) |
| HN - Horizon naturel | Horizon naturel - Texture grossière à très grossière (cailloux) |
| HN - Horizon naturel | Horizon naturel - Texture sableuse (sable) |
| HN - Horizon naturel | Horizon naturel - Texture type limono-argileuse (très fin et plutôt compact une fois sec) |
| HN - Horizon naturel | Horizon naturel - Roche mère |
| RN - Remblai d'origine naturelle | Remblai d'origine naturelle - Terre végétale |
| RN - Remblai d'origine naturelle | Remblai d'origine naturelle - Argiles |
| RN - Remblai d'origine naturelle | Remblai d'origine naturelle - Limons |
| RN - Remblai d'origine naturelle | Remblai d'origine naturelle - Sables |
| RN - Remblai d'origine naturelle | Remblai d'origine naturelle - Gravier |
| RN - Remblai d'origine naturelle | Remblai d'origine naturelle - Galets |
| RN - Remblai d'origine naturelle | Remblai d'origine naturelle - Roches (granite, calcaire, schiste, pouzzolane, rhyolite, grès,...) |
| RA - Remblai d'origine anthropique | Remblai d'origine anthropique - Déchets du bâtiment (ardoise, béton, fer à béton, brique, carrelage, ciment, plâtre, canalisation, tôle ondulée, laine de roche/verre, mousse expansée, fibro-ciment, tuile, flocages, gravats...) |
| RA - Remblai d'origine anthropique | Remblai d'origine anthropique - Déchets industriels (calamine, métal ferreux et non ferreux, cendre, chaux, coke, débris caoutchouteux, charbon, laitier, mâchefer, phosphogypse, résidus de fonderie, scories, suies, soufre...) |
| RA - Remblai d'origine anthropique | Remblai d'origine anthropique - Déchets verts (tontes de gazon, branchages, feuilles, déchets de taille de végétaux, mousses végétales...) |
| RA - Remblai d'origine anthropique | Remblai d'origine anthropique - Déchets STEP (boues de station d'épuration) |
| RA - Remblai d'origine anthropique | Remblai d'origine anthropique - Déchets ménagers (céramique, papier, carton, plastique, verre, tissus, ...) |
| RA - Remblai d'origine anthropique | Remblai d'origine anthropique - Déchets routiers et transports (goudrons, bitumes, pavé, rail, ballast, ...) |
| DAL - Revêtement | Revêtement - Dalle béton |
| DAL - Revêtement | Revêtement - Couche de surface (partie de la chaussée située en surface, partie qui recouvre trottoirs, courts de tennis, etc. : bitume, enrobé, asphalte, etc.) |
| DAL - Revêtement | Revêtement - Couche de liaison (couche facultative située sous la couche de surface) |
| DAL - Revêtement | Revêtement - Couche de base (partie située sous la couche de surface) |
| DAL - Revêtement | Revêtement - Couche de fondation (couche située au-dessus de la couche d'assise et servant de fondation) |
| DAL - Revêtement | Revêtement - Couche de forme (couche de la chaussée située au-dessus de la couche d'assise destinée à l'obtention d'une surface plane) |
| DAL - Revêtement | Revêtement - Couche d'assise (partie du sol en place tassée et éventuellement traitée par des liants hydrauliques) |
| 0 | inconnu |

Tableau 12 – Lexique des catégories et sous-catégories de sols retenues pour la description géologique des sols

4.4. QUALITE CHIMIQUE DES SOLS

Les concentrations en divers contaminants mesurées dans les échantillons de sols ont été intégrées dans la base de données, avec l'information de la profondeur de début et la profondeur de fin de chaque échantillon. Chaque sondage étant géoréférencé (en X, Y et Z), les profondeurs des différents échantillons ont été utilisées pour l'interpolation de la qualité des sols au droit du site de Micheville.

Une requête a été réalisée dans la base de données afin de comparer pour chacun des paramètres analysés la concentration obtenue avec les seuils définis en partie 1. Un critère de qualité de 1 à 4 est alors calculé pour chaque échantillon et pour chaque paramètre en fonction de sa teneur comparée aux seuils (Tableau 13).

| Niveau de la teneur mesurée | Catégorie de qualité attribuée |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Teneur ≤ seuil 1 | 1 |
| seuil 1 < Teneur ≤ seuil 2 | 2 |
| seuil 2 < Teneur ≤ seuil 3 | 3 |
| seuil 3 < Teneur | 4 |

Tableau 13 – Interprétation des teneurs mesurées en fonction des différents seuils.

Les critères de chaque composé analysé ont été rassemblés par sous-groupes de composés, puis deux critères généraux de qualité ont été créés :

- critère « Inorganiques » ;
- critère « Organiques ».

Pour chaque échantillon, le critère obtenu pour un sous-groupe de composés correspond au critère le plus élevé obtenu parmi les composés analysés de ce sous-groupe. De la même façon, les critères globaux correspondent au critère le plus élevé obtenu parmi les sous-groupes associés.

Ainsi, si sur tous les métaux analysés, 1 seul composé présente une teneur supérieure au seuil 3, tout seuil 3, tout l'échantillon est classé en catégorie 4 pour le sous-groupe « métaux et métalloïdes », mais métalloïdes », mais également pour le critère général « Inorganiques ». Le

Tableau 14 présente la liste des composés retenus pour le calcul des critères, ainsi que les sous-groupes et critères généraux de qualité associés. Ce tableau rappelle également les seuils appliqués, ainsi que le nombre d'analyse par composé.

| Critère général de qualité | Sous-groupe de composés | Composés | Code sandre | nb analyses | SEUIL_1 | SEUIL_2 | SEUIL_3 | |
|----------------------------|-------------------------------|--|------------------------------|-------------|---------|---------|---------|------|
| Inorganiques | métaux et métalloïdes | Arsenic | 1369 | 469 | 30 | 100 | 200 | |
| | | Cadmium | 1388 | 449 | 0,45 | 1 | 10 | |
| | | Chrome | 1389 | 509 | 100 | 300 | 600 | |
| | | Cuivre | 1392 | 468 | 30 | 100 | 1000 | |
| | | Mercure | 1387 | 344 | 0,1 | 0,3 | 5 | |
| | | Nickel | 1386 | 452 | 60 | 100 | 1000 | |
| | | Plomb | 1382 | 545 | 35 | 100 | 300 | |
| | | Zinc | 1383 | 469 | 120 | 1000 | 10000 | |
| | Composés cyanurés | Cyanures totaux | 1390 | 117 | 0,5 | 5 | 50 | |
| Organiques | BTEX | Benzène | 1114 | 20 | 0,05 | 0,5 | 5 | |
| | | Toluène | 1278 | 20 | 0,05 | 0,5 | 5 | |
| | | Ethylbenzène | 1497 | 20 | 0,05 | 0,5 | 5 | |
| | | Xylène-ortho | 1292 | 20 | 0,05 | 0,5 | 5 | |
| | | Xylène méta + para | 2925 | 20 | 0,05 | 0,5 | 5 | |
| | | Somme de benzène, toluène, ethylbenzene, xylènes (BTEX) | 5918 | 59 | 0,5 | 5 | 50 | |
| | | Somme de Benzène, Toluène, Ethylbenzene, Cumene, Xylène, Mesitylene, Ethyltoluene et pseudocumene (8 BTEX) | 6543 | 20 | 0,5 | 5 | 50 | |
| | | HAP (Hydrocarbures, aromatiques, polycyclique, pyrolytique et dérivés) | Benzo(a)anthracène | 1082 | 23 | 0,2 | 5 | 20 |
| | Benzo (a) pyrène | | 1115 | 149 | 0,2 | 5 | 20 | |
| | Benzo (b) fluoranthène | | 1116 | 146 | 0,2 | 5 | 20 | |
| | Benzo (k) fluoranthène | | 1117 | 149 | 0,2 | 5 | 20 | |
| | Benzo (g,h,i) pérylène | | 1118 | 146 | 0,2 | 5 | 20 | |
| | Fluoranthène | | 1191 | 149 | 0,2 | 5 | 20 | |
| | Indéno (1,2,3-cd) pyrène | | 1204 | 149 | 0,2 | 5 | 20 | |
| | Naphtalène | | 1517 | 23 | 0,05 | 0,5 | 5 | |
| | Somme HAP (16) - EPA | | 6136 | 375 | 2 | 50 | 200 | |
| | Hydrocarbures et indices liés | | C10-C40-Coupes hydrocarbures | 3319 | 356 | 50 | 500 | 5000 |
| | PCB | | Somme des 7 PCBi | 7431 | 50 | 0,005 | 0,2 | 2 |
| | phénol, crésol et dérivés | | Indice Phénol | 1440 | 96 | 0,1 | 1 | 10 |
| | Solvants chlorés | Somme de COHV | 7485 | 13 | 0,05 | 0,5 | 5 | |

Tableau 14 – Liste des composés et groupes retenus dans la détermination des critères de qualité chimique des sols du site de Micheville

4.5. INTERPOLATIONS REALISEES DANS GDM

Des requêtes spécifiques à la géologie et à la qualité des sols ont été créées dans ACCESS afin de faciliter la liaison des informations avec GDM. Les données ainsi importées dans GDM ont pu être utilisées pour les interpolations suivantes.

4.5.1. Topographie et volumes de sols

La création d'un maillage, le découpage du site en tranches de 1 m de hauteur et l'interpolation de la topographie ont été réalisés selon les principes suivants :

- création d'un maillage de 5x5 m recouvrant l'ensemble du site de Micheville ;
- topographie : interpolation par moyenne mobile de l'altitude moyenne du terrain, dans chaque maille de 5x5 m, sur la base du relevé LIDAR fourni par l'EPA ;
- rattachement de chaque maille à un numéro de parcelle du plan guide (fourni par l'EPA) lorsqu'une partie de la maille recoupe une parcelle (il est précisé qu'à ce stade de l'étude les voiries projetées du Plan Guide n'ont pas pu être prises en compte dans le découpage du site car elles n'étaient pas délimitées sous formes de polygones);
- calcul de la surface de chaque maille présente dans une des parcelles du plan guide. La surface de chaque maille est égale à 25 m² sauf pour les mailles situées en périphérie des parcelles et pour lesquelles la surface est inférieure à 25 m² ;
- réalisation de 19 tranches d'1m de hauteur entre 314 et 333 mNGF ;
- calcul pour chaque maille et pour chaque tranche de 1 m du volume de sol en place présent dans une des parcelles du plan guide. Le volume de sols dans chaque maille est égal à 25 m³ sauf pour les mailles situées (totalement ou partiellement) au-dessus de la surface du sol et/ou les mailles situées en périphérie des parcelles pour lesquelles le volume est inférieur à 25 m³.

4.5.2. Géologie

Au vu de l'hétérogénéité du site, et afin de simplifier le modèle, seules les catégories de sols (Remblais Anthropiques, Remblais Naturels, Horizon Naturel, Dalles béton et autres infrastructures / revêtements) ont été retenues pour l'interpolation de la géologie au niveau du site de Micheville. L'information sur la sous-catégorie reste cependant consultable pour chaque sondage.

Chaque niveau (avec la nature de sols, la profondeur du début et la profondeur de fin) a été géoréférencé dans la base ACCESS. L'interpolation de la nature des sols au droit du site de Micheville a été réalisée selon les principes suivants :

Pour les remblais naturels, les remblais anthropiques et les horizons naturels : interpolation des types de sols par Krigeage simple avec un variogramme d'une portée de 50 m et un voisinage carré de côté à 300 m. Cette méthode force l'épaisseur interpolée à être nulle si aucune donnée n'est présente dans un rayon inférieur à 50 m. L'interpolation est limitée par grille indicatrice (variable NUMP). Le Krigeage est réalisé par blocs de 5x5x1 m, basés sur le maillage établi et les tranches de 1 m définies, et permet de calculer le pourcentage de chaque type de matériau présent au droit de chaque maille et par extension au droit de chaque parcelle.

Pour les dalles béton et autres infrastructures / revêtements : interpolation des volumes par Krigeage simple avec un voisinage carré de côté de 5,1 m (les dalles et infrastructures ont des extensions plus limitées que les autres horizons retenus, l'extension de l'interpolation est donc plus limitée spatialement). L'interpolation est limitée par grille. Le Krigeage est réalisé par blocs de 5x5x1 m, basés sur le maillage établi et les tranches de 1 m définies, et permet de calculer le pourcentage de dalles béton / infrastructures / revêtements présent au droit de chaque maille et par extension au droit de chaque parcelle.

4.5.3. Qualité chimique des sols

Au vu de l'hétérogénéité du site, et afin de simplifier le modèle, seuls les critères généraux de qualité (« composés inorganiques » et « composés organiques ») ont été retenus pour l'interpolation de la qualité chimique des sols au niveau du site de Micheville. L'information sur la qualité par composé reste cependant consultable pour chaque sondage.

Chaque échantillon (avec la concentration par composé, la profondeur du début et la profondeur de fin) a été géoréférencé dans la base ACCESS. Le calcul de la qualité des sols en fonction des seuils établis a été réalisé via une requête dans ACCESS et se traduit par une note pour chacun des deux critères généraux.

L'interpolation de la nature des sols au droit du site de Micheville a été réalisée pour chacun des deux critères généraux par Krigeage linéaire avec un voisinage carré de côté de 300 m. L'interpolation est limitée par grille indicatrice (variable NUMP). L'interpolation est limitée par grille et le Krigeage est réalisé par blocs de 5x5x1 m, basés sur le maillage établi et les tranches de 1 m définies, et permet de calculer et d'attribuer dans chaque maille contenant des sols le critère de qualité extrapolé pour les « composés inorganiques » et celui pour les « composés organiques ».

4.6. RENDU CARTOGRAPHIQUE EN 2D DES RESULTATS

Les résultats de l'interpolation sont disponibles via GDM et permettent une consultation cartographique en 2D via le dossier « Documents graphiques » de GDM qui contient les cartographies réalisées pour la géologie et les critères de qualité des sols pour les 19 sections allant de 314 à 33 mNGF.

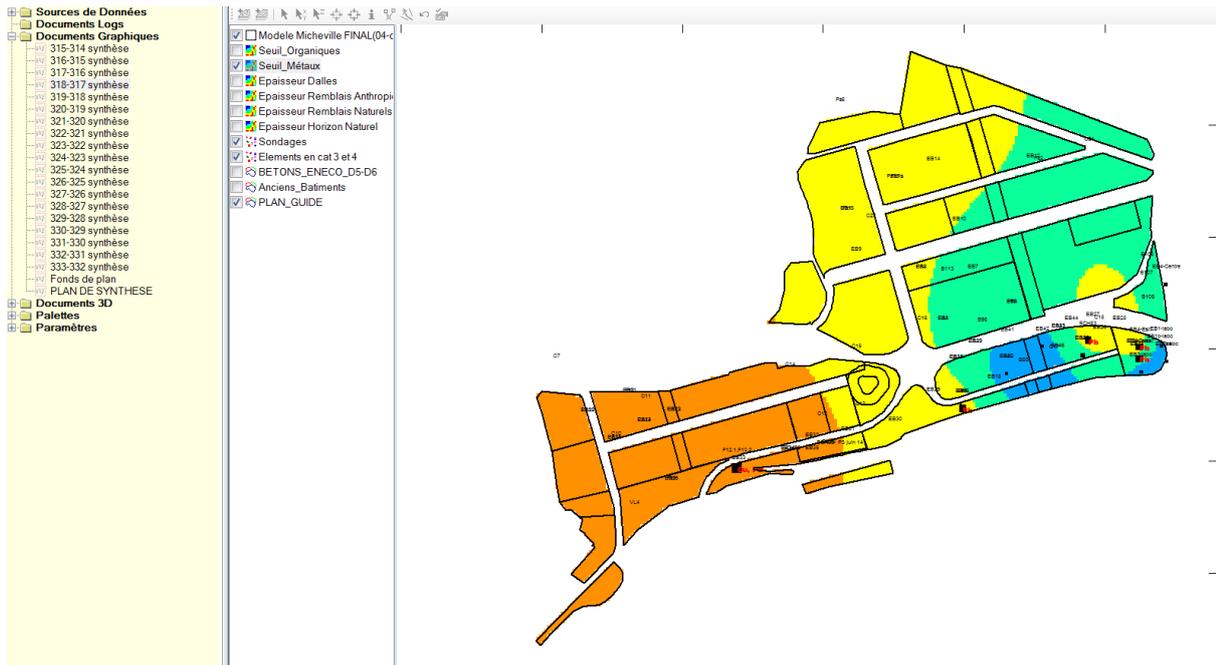


Figure 10 – Illustration du rendu cartographique dans GDM : critères « composés inorganiques » entre 318 et 317 mNGF

4.6.1. Nature des sols

L'interface de la carte permet la visualisation des différentes couches interpolées :

- épaisseur des dalles bétons / infrastructures / revêtements ;
- épaisseur des remblais anthropiques ;
- épaisseur des remblais naturels ;
- épaisseur de l'horizon naturel.

La Figure 11 présente le résultat de ces interpolations pour les remblais anthropiques et l'horizon naturel entre 317 et 316 mNGF.

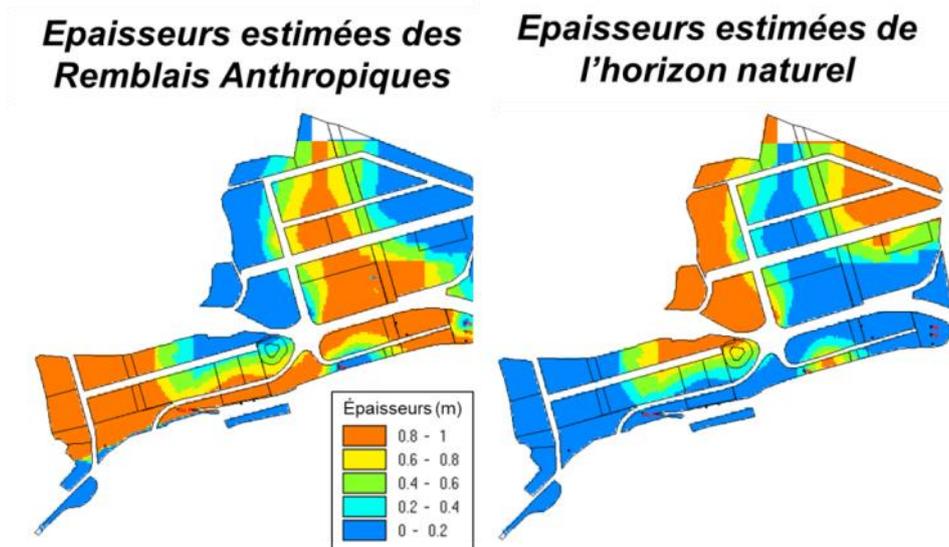


Figure 11 – Épaisseurs des remblais anthropiques et de l'horizon naturel entre 317 et 316 mNGF

4.6.2. Qualité chimique des sols

L'interface de la carte permet la visualisation des différentes couches interpolées :

- seuils métaux ;
- seuils organiques.

La Figure 12 présente les résultats de ces interpolations entre 323 et 322 mNGF.

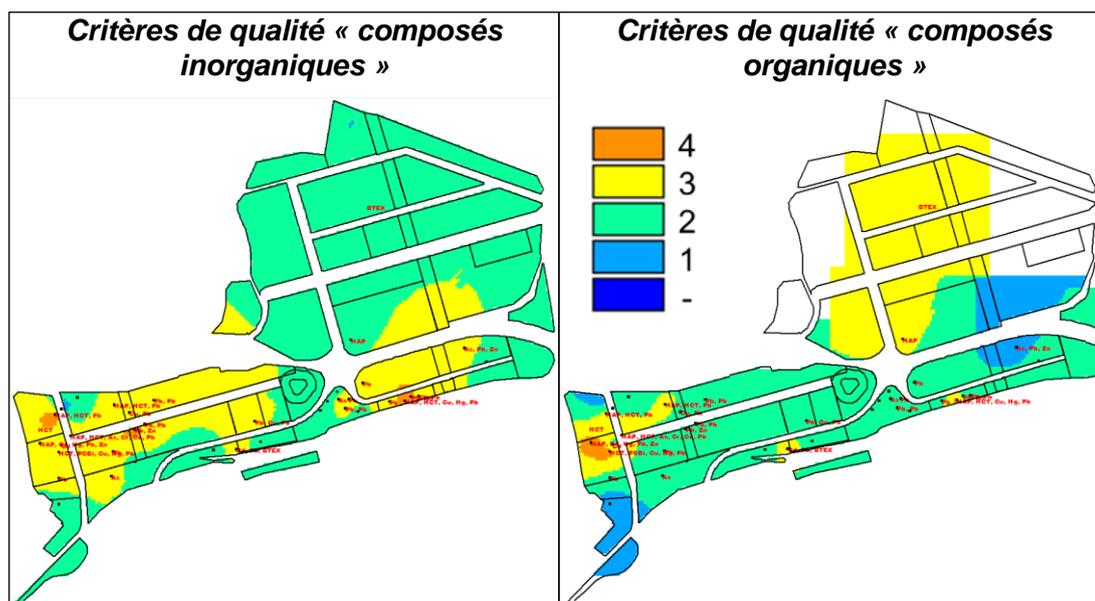


Figure 12 – Catégories de qualité des sols pour les composés inorganiques et organiques entre 323 et 322 mNGF

Les fonctions programmées permettent la visualisation des paramètres présentant des critères de qualité de 3 ou supérieure (cf. Figure 12 et Figure 13).

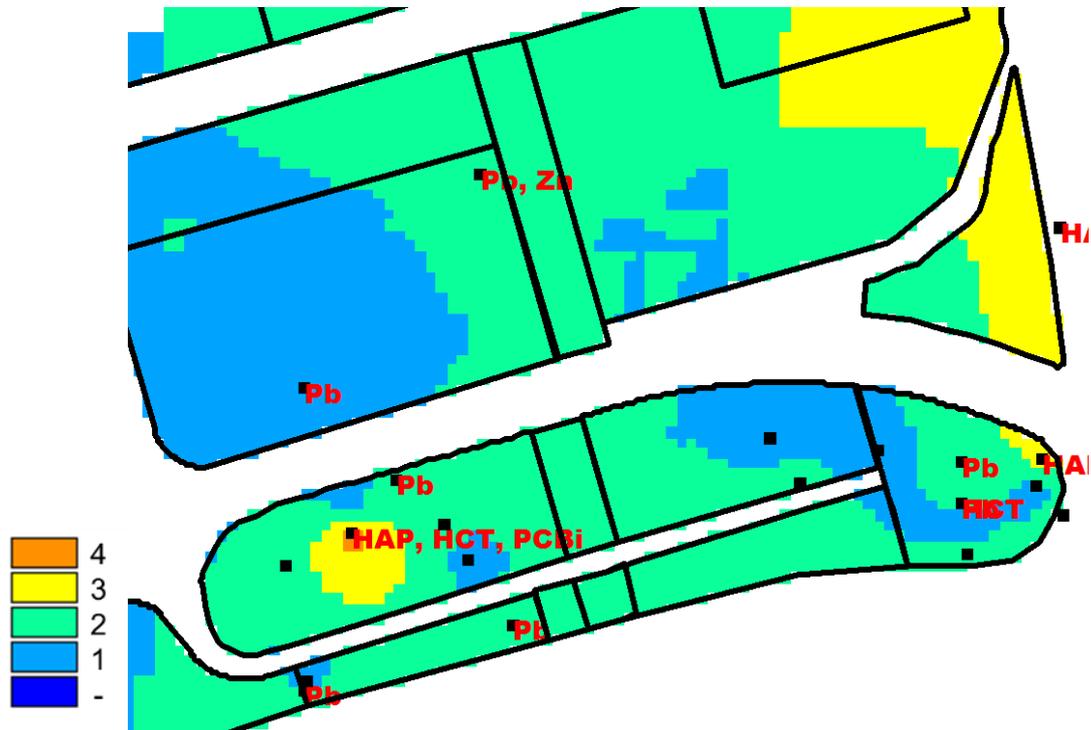


Figure 13 - Catégories de qualité des sols pour les composés organiques et composés présents à des niveaux supérieurs au seuil 3 entre 320 et 319 mNGF

4.6.3. Autres éléments

Le menu de sélection du projet GDM permet également d'afficher :

- les parcelles du plan guide ;
- la localisation des sondages ;
- la localisation des sondages dépassant le seuil de qualité 3 (catégories 3 et 4), avec affichage des composés concernés ;
- la localisation fine des massifs bétons délimitée par ENECO sur les parcelles D5 et D6 ;
- la localisation des anciens bâtiments (d'après les photos aériennes).

Des cartes disponibles dans « Plans de synthèse » (disponible dans les documents graphiques de GDM) donnent également accès à différentes sources de données (photographies aériennes, fonds de plans issus de cartes ENECO ou du plan guide provisoire...).

4.7. RENDU CARTOGRAPHIQUE EN 3D DES RESULTATS

Les résultats de l'interpolation sont disponibles via GDM et permettent une consultation cartographique en 3D via le dossier « Documents 3D » du logiciel qui contient les cartographies réalisées des critères de qualité des sols pour les 19 sections allant de 314 à 333 mNGF.

Les documents fournis sont les suivants :

- MNT : le modèle numérique de terrain. Il contient la topographie ainsi que divers emprises (parcelles, anciens bâtiments, toit et mur des remblais...) ;
- Seuils_Composés_Inorganiques : contient les 19 sections allant de 314 à 333 mNGF avec les critères de qualité pour les métaux, métalloïdes et cyanures ;
- Seuils_Composés_Organiques: contient les 19 sections allant de 314 à 333 mNGF avec les critères de qualité pour les composés organiques.

Comme pour les documents graphiques, la sélection des couches à afficher se fait en cochant / décochant les cases associées.

La Figure 14 illustre la visualisation 3D des différentes sections calculées pour le critère « composés inorganiques » incluses dans le modèle numérique de terrain issu du relevé LIDAR.

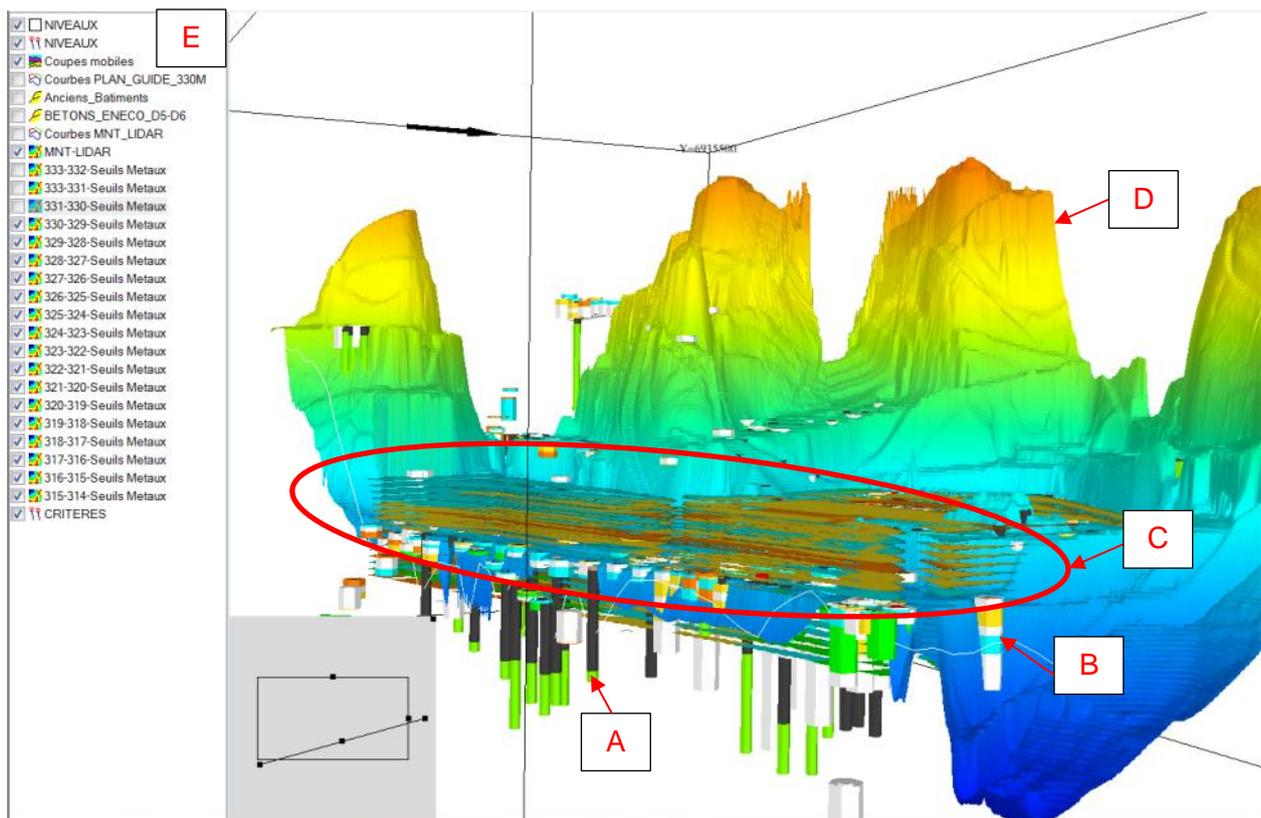


Figure 14 – Illustration du rendu cartographique 3D dans GDM : critères « composés inorganiques »

Dans les documents 3D, il est possible de visualiser à partir de la fenêtre d’affichage (repère E):

- les sondages réalisés, avec la nature des sols associés (repère A). Il est possible à partir de ce document 3D de sélectionner un sondage et d’accéder directement aux tables de données associées pour la description de la nature des sols ;
- les échantillons réalisés, avec les critères de qualité des sols associés (repère B). Il est possible à partir de ce document 3D de sélectionner un sondage et d’accéder directement aux tables de données associées pour la qualité chimique des sols ;
- les 19 cartes de qualité chimique des sols pour les composés inorganiques réalisées pour chaque section de 1 m entre 314 et 333 m NGF. Cette visualisation 3D des cartes de qualité permet d’évaluer les variations de la qualité chimique estimée des sols en fonction de la profondeur ;
- la topographie (repère D).

4.8. CALCUL DES VOLUMES DE SOLS

Le croisement des interpolations réalisées pour les types de matériaux et pour les catégories de qualité de sols permet le calcul des volumes de sols :

- par catégorie de qualité ;
- par parcelle ;
- par couche d’1 m NGF.

La Figure 15 illustre le type de résultat obtenu.

Par exemple, pour la parcelle D2 il y a 5 282 m3 de sols estimés comme étant en catégorie 3 pour les métaux entre 323 et 324 mNGF.

| Étiquettes de lignes | critères - métaux | | | | critères - organiques | | | | critères - total | | | |
|----------------------|-------------------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| | MET_1 | MET_2 | MET_3 | MET_4 | ORG_1 | ORG_2 | ORG_3 | ORG_4 | TOT_1 | TOT_2 | TOT_3 | TOT_4 |
| ⊕ BASSIN-CD54 | 22927 | 13363 | 16809 | 0 | 15348 | 19538 | 0 | 0 | 24054 | 17619 | 16809 | 0 |
| ⊕ BRAGONI | 19150 | 11758 | 1620 | 0 | 14925 | 19679 | 0 | 0 | 11669 | 21315 | 1620 | 0 |
| ⊕ D0 | 18779 | 5284 | 6581 | 14580 | 17646 | 10177 | 3011 | 7310 | 23164 | 12087 | 8597 | 21890 |
| ⊕ D1 | 16857 | 22239 | 19044 | 15595 | 20518 | 26921 | 6481 | 37 | 15670 | 20837 | 21872 | 15632 |
| ⊖ D2 | | | | | | | | | | | | |
| 333-332 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 332-331 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 331-330 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 330-329 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 329-328 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 328-327 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 327-326 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 326-325 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 325-324 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 324-323 | 0 | 14 | 5282 | 934 | 1546 | 206 | 0 | 0 | 0 | 14 | 5282 | 934 |
| 323-322 | 2165 | 8289 | 2222 | 49 | 8784 | 471 | 0 | 0 | 2165 | 8289 | 2222 | 49 |
| 322-321 | 2879 | 9688 | 274 | 0 | 6120 | 2921 | 0 | 0 | 1769 | 10910 | 274 | 0 |
| 321-320 | 6653 | 5671 | 550 | 0 | 7826 | 0 | 0 | 0 | 6653 | 5671 | 550 | 0 |

Figure 15 – résultats obtenus pour le calcul des volumes de sols par parcelle, tranche de 1 m et catégorie de qualité

5. Conclusion

Dans le cadre de l'Opération d'Intérêt National (OIN) ALZETTE-BELVAL, l'Etablissement Public Foncier de Lorraine (EPFL) a demandé au BRGM de l'assister sur les plans techniques et scientifiques dans l'application de la méthodologie nationale de gestion des terres excavées au projet d'aménagement du site de Micheville, friche sidérurgique de 400 ha (Lorraine).

Dans la première phase, le BRGM a procédé à une compilation et bancarisation des données disponibles (tables Excel, rapports PDF...), afin d'en extraire toutes les informations concernant la géologie et la qualité physico-chimique des sols. Les données capitalisées ont ensuite été codées dans un format et selon des lexiques compatibles avec une base de données ACCESS qui a été adaptée spécifiquement au projet.

Une analyse critique des données disponibles a notamment permis d'identifier les parcelles au droit desquelles les densités de sondages et d'échantillons étaient les plus faibles. Ces parcelles peuvent être considérées comme étant celles nécessitant des investigations complémentaires pour améliorer les résultats de la modélisation du site et/ou celles présentant les incertitudes les plus importantes dans les résultats de la modélisation du site.

Dans une seconde phase, les données géologiques et environnementales bancarisées dans ACCESS ont été liées à l'outil de modélisation GDM. Différents niveaux de concentrations pour chaque paramètre analysés ont été définis comme seuils, en se basant principalement sur le bruit de fond géochimique et l'identification de gammes de concentrations anormales via l'interprétation statistique des résultats obtenus, en vue de définir les catégories.

Un critère de qualité compris entre 1 et 4, basé notamment sur le bruit de fond géochimique et l'identification de gammes de concentrations anormales, a été appliqué à l'ensemble des échantillons pour chaque paramètre, et pour deux indicateurs :

- les composés inorganiques (comprenant les métaux, les métalloïdes et les cyanures) ;
- les composés organiques (comprenant HCT, HAP, BTEX, COHV, PCB).

Des interpolations ont été réalisées dans GDM pour des mailles de 5x5m, et pour 19 sections de 1 m d'épaisseur allant de 314 mNGF à 333 mNGF, afin d'estimer pour chaque maille les différents types de matériaux et leurs catégories de qualité. L'exploitation de ces interpolations par GDM permet :

- la visualisation cartographique 2D et 3D des types de matériaux constitutifs des sols et leur catégorie de qualité supposée ;
- le calcul des volumes de sols par catégorie de qualité, par parcelle, et par couche d'1 m NGF.

Ces résultats permettront à l'EPFL de connaître la qualité estimée des sols au droit du site de Micheville, et permettront d'orienter l'EPA entre les scénarios d'aménagements proposés en prenant en compte la gestion des terres excavées et leur réutilisation potentielle sur site.

Dans une étape à venir, le BRGM proposera une méthodologie de prélèvement et d'investigation pour le déploiement de la démarche de gestion des terres excavées sur le site de Micheville.

Annexe 1 :

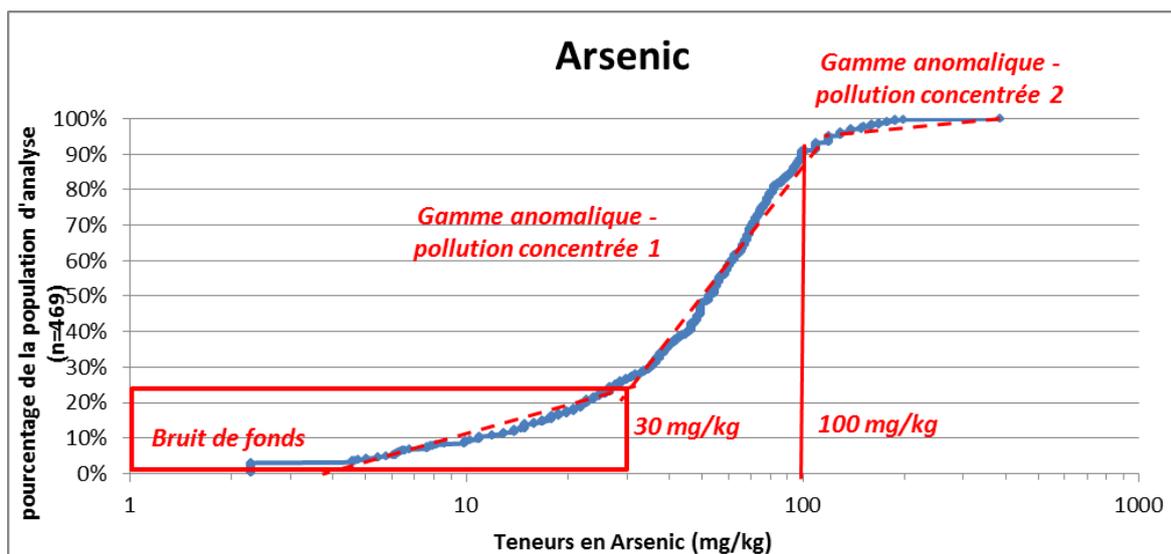
Etude des populations d'échantillons analysés et détails des seuils de qualité définis

1. Métaux et métalloïdes

1.1. ARSENIC

La figure suivante présente la répartition des teneurs mesurée par rapport au pourcentage de la population d'échantillons analysés (analyse réalisée sur la totalité des échantillons sans dissociation des typologies de sols).

Deux seuils de coupure sont identifiés sur la population d'échantillons analysés.



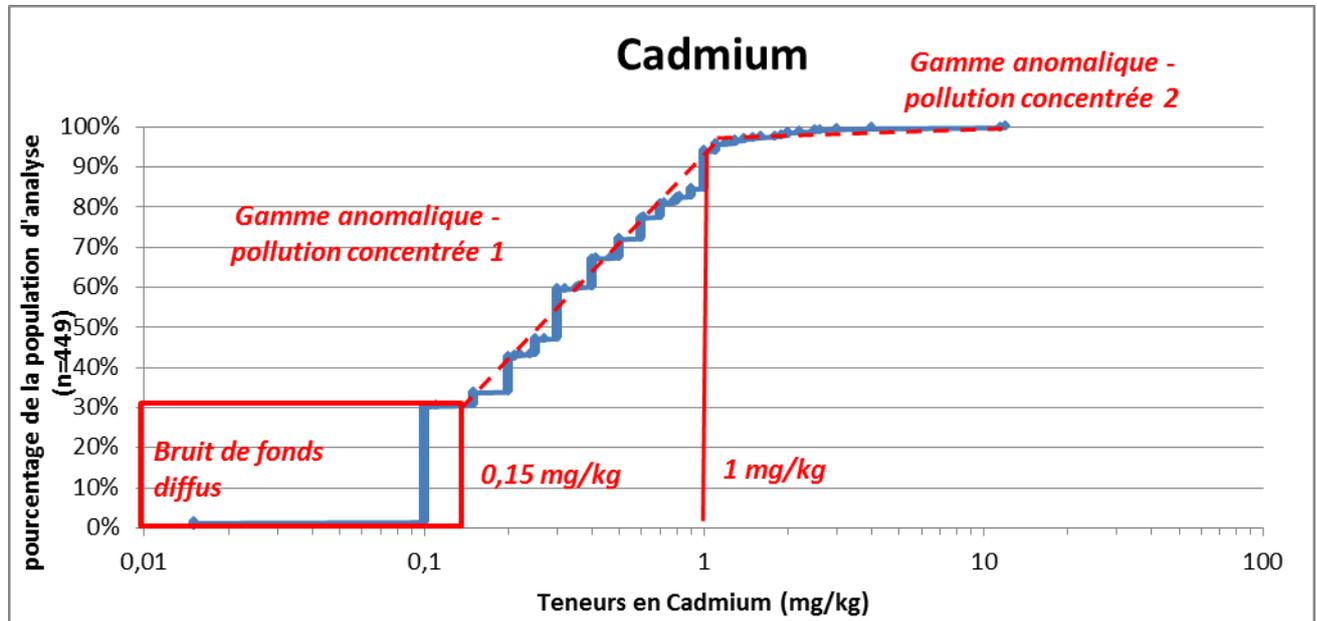
Analyse des teneurs en Arsenic par rapport à la population des échantillons

| | N° SANDRE | nb analyses | Seuils | Concentration (mg/kg) | Explication du seuil retenu |
|----|-----------|-------------|-----------------------|-----------------------|---|
| As | 1369 | 469 | Bruit de fonds | 30 | Seuil de coupure 1 |
| | | | Seuil 1 | 30 | Equivalent au bdf + proche de la valeur de l'ASPITET pour les sols ordinaires |
| | | | Seuil 2 | 100 | Seuil de coupure 2 (équivalent au p90) |
| | | | Seuil 3 | 200 | Seuil 2 x 2 |

1.2. CADMIUM

La figure suivante présente la répartition des teneurs mesurées par rapport au pourcentage de la population d'échantillons analysés (analyse réalisée sur la totalité des échantillons sans dissociation des typologies de sols).

Deux seuils de coupure sont identifiés sur la population d'échantillons analysés.

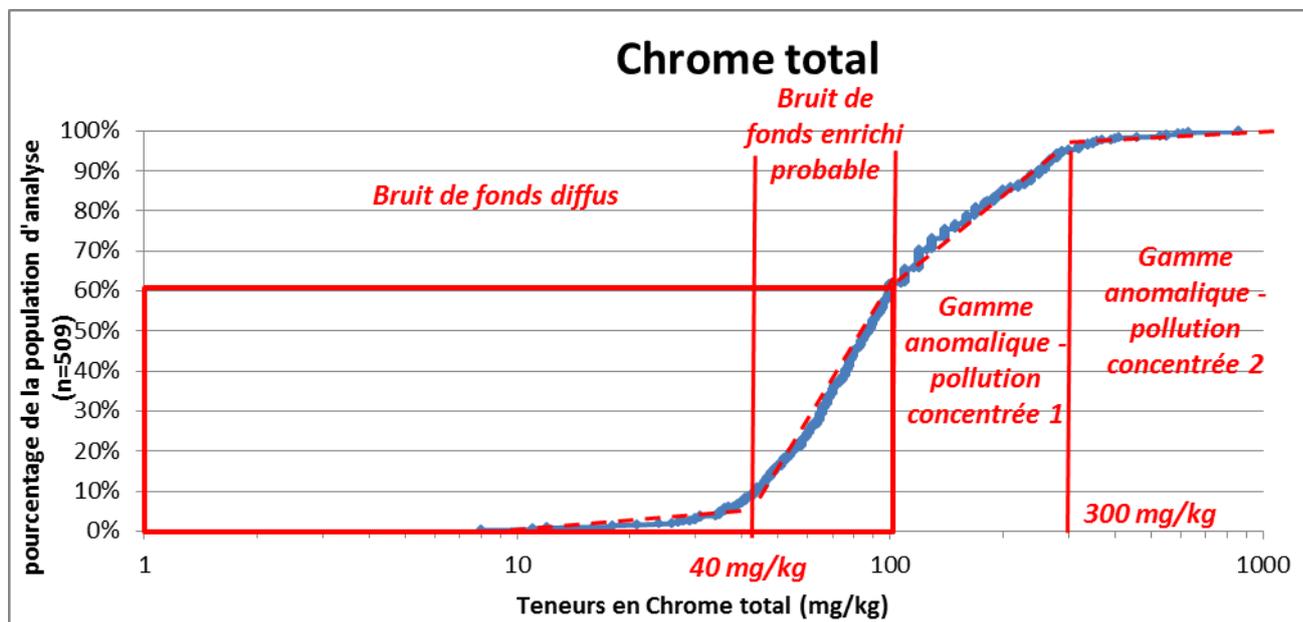


Analyse des teneurs en Cadmium par rapport à la population des échantillons

| | N° SANDRE | nb analyses | Seuils | Concentration (mg/kg) | Explication du seuil retenu |
|----|-----------|-------------|----------------|-----------------------|---|
| Cd | 1388 | 449 | Bruit de fonds | 0,15 | Seuil de coupure 1 |
| | | | Seuil 1 | 0,45 | Valeurs de l'ASPITET pour les sols ordinaires et P90 de la BDETM 1998 et de la BDETM 2009 |
| | | | Seuil 2 | 1 | Seuil de coupure 2 (équivalent au p95 des échantillons) |
| | | | Seuil 3 | 10 | Seuil 2 x 10 |

1.3. CHROME

La figure suivante présente la répartition des teneurs mesurées par rapport au pourcentage de la population d'échantillons analysés (analyse réalisée sur la totalité des échantillons sans dissociation des typologies de sols).



Analyse des teneurs en Chrome par rapport à la population des échantillons

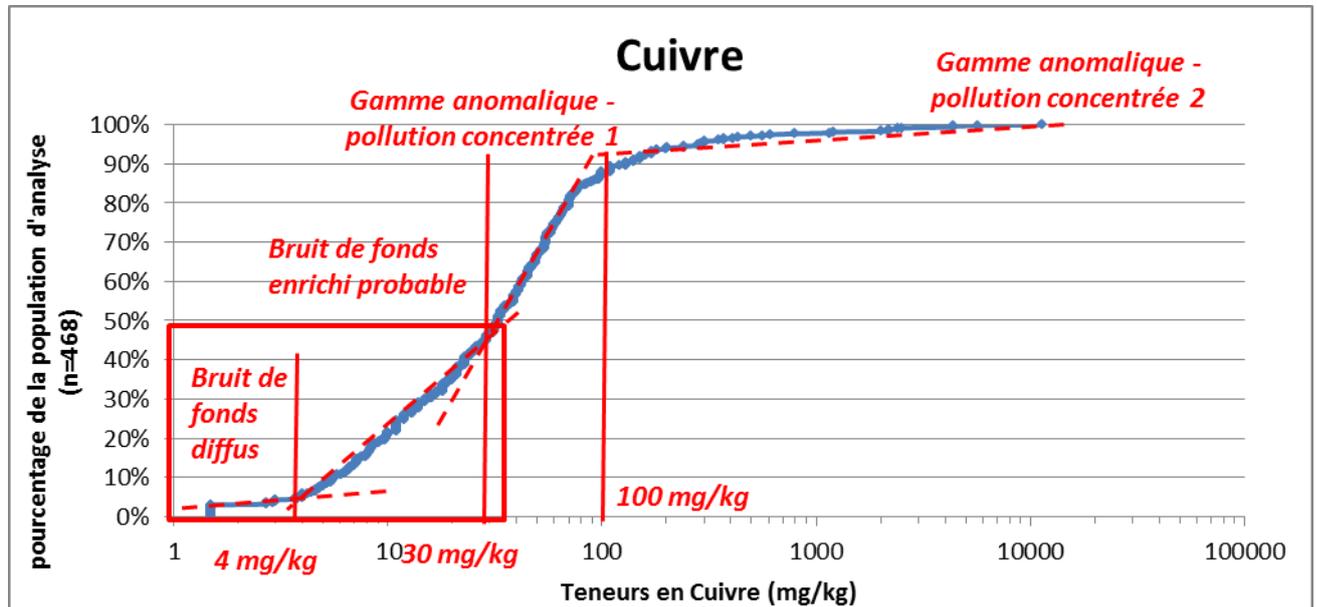
Trois seuils de coupure sont identifiés sur la population d'échantillons analysés.

Les deux premiers seuils semblent correspondre au bruit de fond naturel dissociés en bruit de fonds naturel et bruit de fonds anthropique.

| | N° SANDRE | nb analyses | Seuils | Concentration (mg/kg) | Explication du seuil retenu |
|----|-----------|-------------|----------------|-----------------------|--|
| Cr | 1389 | 509 | Bruit de fonds | 100 | Seuil de coupure 2 |
| | | | Seuil 1 | 100 | équivalent à la VS de la BDETM 1998, du p90 de la BDETM 2009, de la valeur de l'ASPITET pour les sols ordinaires et de la moyenne de l'étude BRGM 1995 |
| | | | Seuil 2 | 300 | Seuil de coupure 3 (équivalent au p95) |
| | | | Seuil 3 | 600 | Seuil 2 x 2 |

1.4. CUIVRE

La figure suivante présente la répartition des teneurs mesurées par rapport au pourcentage de la population d'échantillons analysés (analyse réalisée sur la totalité des échantillons sans dissociation des typologies de sols).



Analyse des teneurs en Cuivre par rapport à la population des échantillons

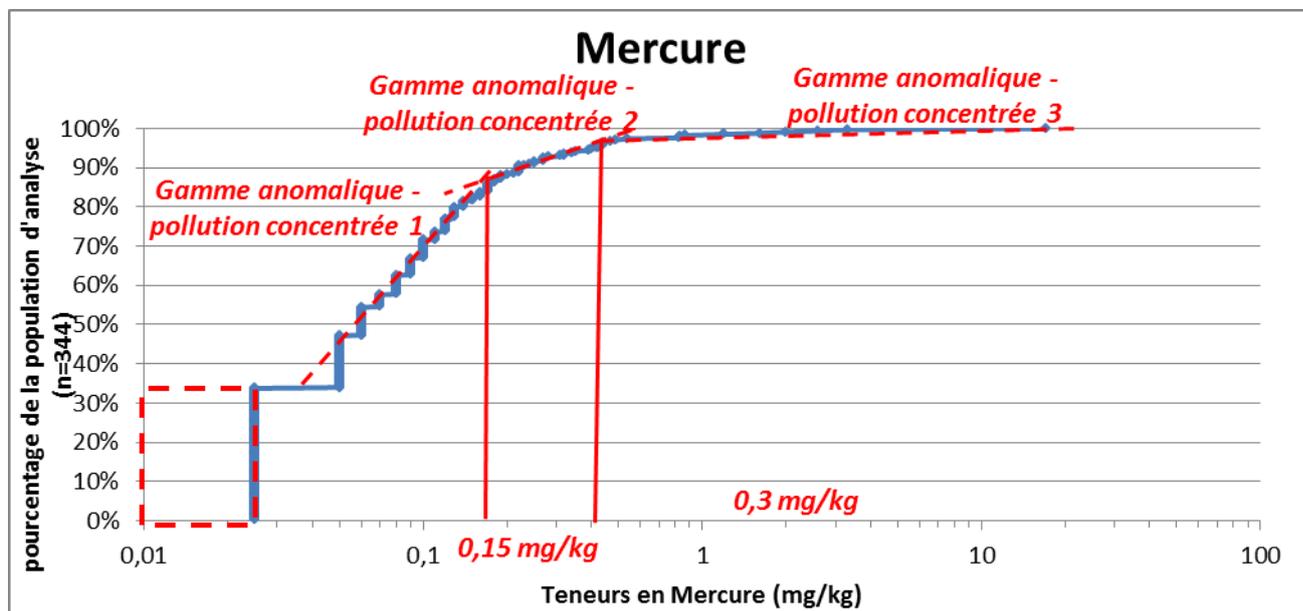
Trois seuils de coupure sont identifiés sur la population d'échantillons analysés.

Les deux premiers seuils semblent correspondre au bruit de fond naturel dissociés en bruit de fond diffus et bruit de fond anthropique.

| | N° SANDRE | nb analyses | Seuils | Concentration (mg/kg) | Explication du seuil retenu |
|----|-----------|-------------|-----------------------|-----------------------|--|
| Cu | 1392 | 468 | Bruit de fonds | 30 | Seuil de coupure 2 |
| | | | Seuil 1 | 30 | Equivalent au bdf + équivalent au P90 de la BDETM 1998 |
| | | | Seuil 2 | 100 | Seuil de coupure 2 (équivalent au p90) |
| | | | Seuil 3 | 1 000 | Seuil 2 x 10 |

1.5. MERCURE

La figure suivante présente la répartition des teneurs mesurées par rapport au pourcentage de la population d'échantillons analysés (analyse réalisée sur la totalité des échantillons sans dissociation des typologies de sols).



Analyse des teneurs en Mercure par rapport à la population des échantillons

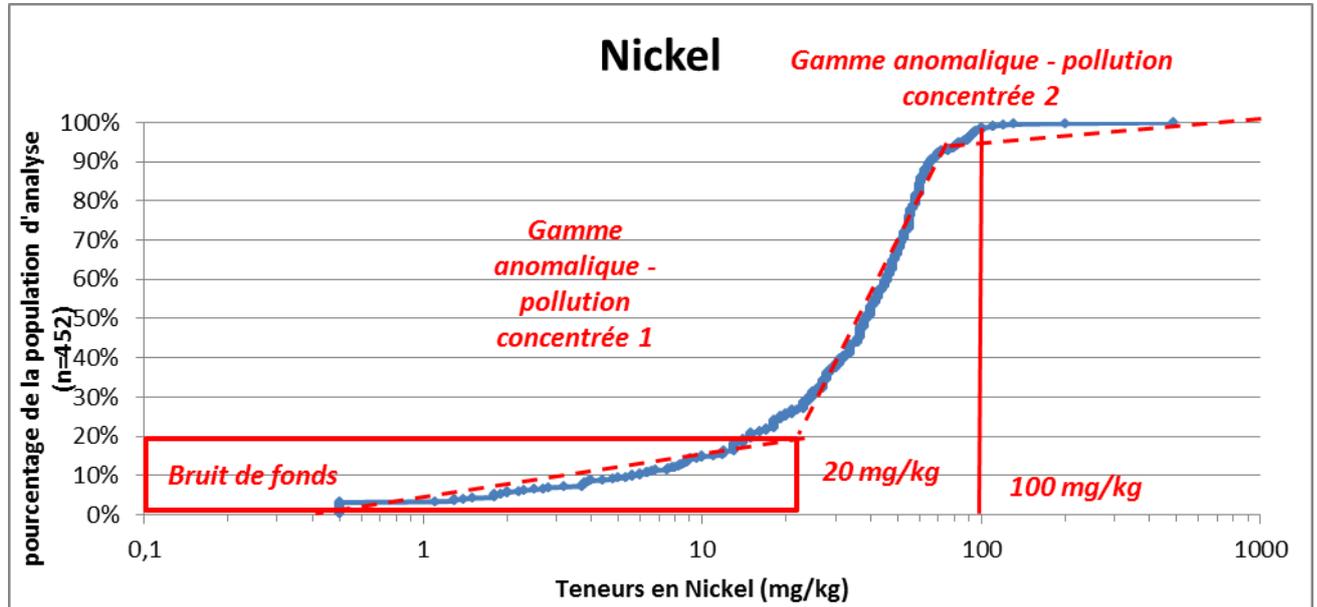
Deux seuils de coupure sont identifiés sur la population d'échantillons analysés.

Un premier seuil est masqué par les effets liés aux limites de quantification.

| | N° SANDRE | nb analyses | Seuils | Concentration (mg/kg) | Explication du seuil retenu |
|----|-----------|-------------|-----------------------|-----------------------|---|
| Hg | 1387 | 344 | Bruit de fonds | - | Non déterminé |
| | | | Seuil 1 | 0,1 | Equivalent à la valeur de l'ASPITET pour les sols ordinaires et à la VS de la BTEM 1998 |
| | | | Seuil 2 | 100 | Seuil de coupure 2 (équivalent au p90) |
| | | | Seuil 3 | 200 | Seuil 2 x 2 |

1.6. NICKEL

La figure suivante présente la répartition des teneurs mesurées par rapport au pourcentage de la population d'échantillons analysés (analyse réalisée sur la totalité des échantillons sans dissociation des typologies de sols).



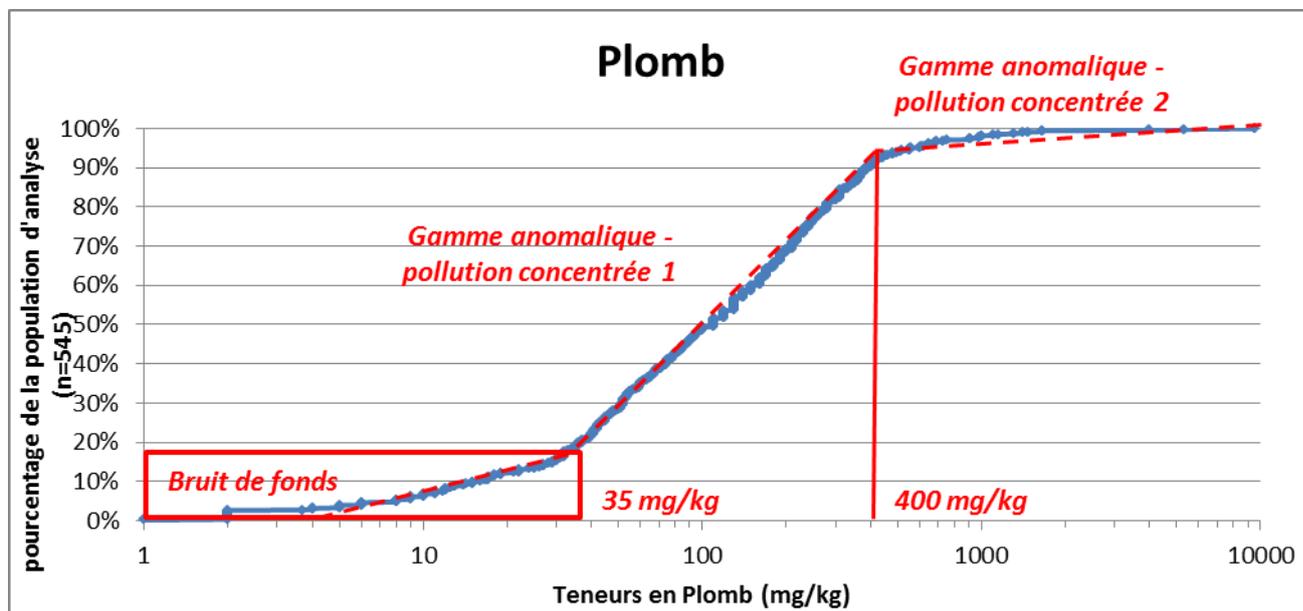
Analyse des teneurs en Nickel par rapport à la population des échantillons

Deux seuils de coupure sont identifiés sur la population d'échantillons analysés.

| | N° SANDRE | nb analyses | Seuils | Concentration (mg/kg) | Explication du seuil retenu |
|----|-----------|-------------|----------------|-----------------------|---|
| Ni | 1386 | 452 | Bruit de fonds | 20 | Seuil de coupure 1 |
| | | | Seuil 1 | 60 | Valeurs de l'ASPITET pour les sols ordinaires et proches de la P90 de la BDETM 1998 et de la VS du RMQS |
| | | | Seuil 2 | 100 | Seuil de coupure 2 (équivalent au p95) |
| | | | Seuil 3 | 1 000 | Seuil 2 x 10 |

1.7. PLOMB

La figure suivante présente la répartition des teneurs mesurées par rapport au pourcentage de la population d'échantillons analysés (analyse réalisée sur la totalité des échantillons sans dissociation des typologies de sols).



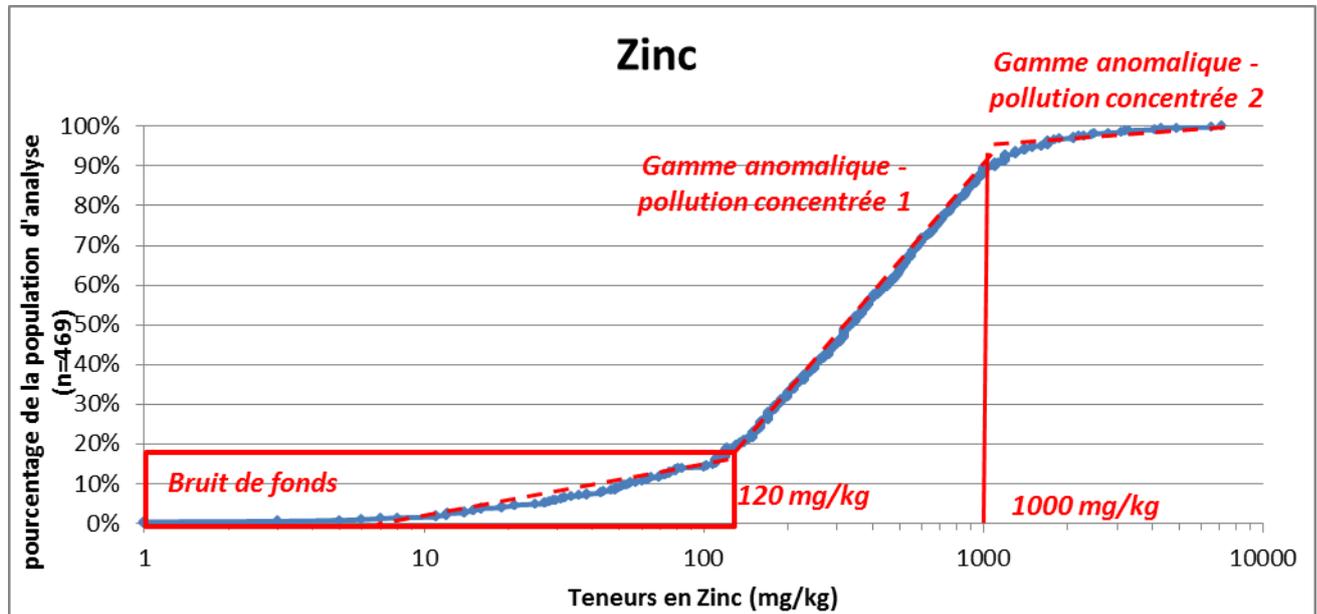
Analyse des teneurs en Plomb par rapport à la population des échantillons

Deux seuils de coupure sont identifiés sur la population d'échantillons analysés.

| | N° SANDRE | nb analyses | Seuils | Concentration (mg/kg) | Explication du seuil retenu |
|----|-----------|-------------|----------------|-----------------------|--|
| Pb | 1382 | 545 | Bruit de fonds | 35 | Seuil de coupure 1 |
| | | | Seuil 1 | 35 | Equivalent au bdf + proche du P90 de la BDETM 1998 et de la BDETM 2009 et de la moyenne de BRGM 1995 |
| | | | Seuil 2 | 100 | Seuil d'évaluation des risques selon HCSP juin 2014 |
| | | | Seuil 3 | 300 | Seuil de dépistage du saturnisme (HCSP juin 2014) |

1.8. ZINC

La figure suivante présente la répartition des teneurs mesurées par rapport au pourcentage de la population d'échantillons analysés (analyse réalisée sur la totalité des échantillons sans dissociation des typologies de sols).



Analyse des teneurs en Zinc par rapport à la population des échantillons

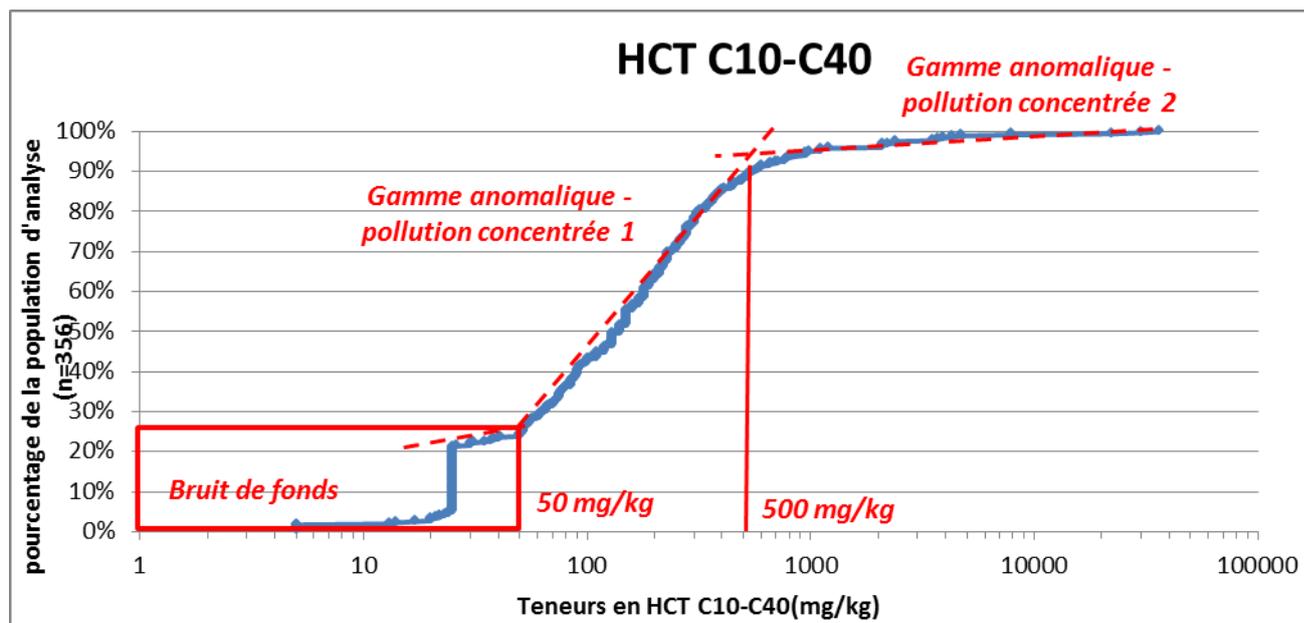
Deux seuils de coupure sont identifiés sur la population d'échantillons analysés.

| | N° SANDRE | nb analyses | Seuils | Concentration (mg/kg) | Explication du seuil retenu |
|----|-----------|-------------|----------------|-----------------------|---|
| Zn | 1383 | 469 | Bruit de fonds | 120 | Seuil de coupure 1 |
| | | | Seuil 1 | 120 | Equivalent au bdf + équivalent à la valeur de l'ASPITET pour les sols ordinaires + proche du P90 de la BDETM 1998 et de la BDETM 2009 |
| | | | Seuil 2 | 1 000 | Seuil de coupure 2 (équivalent au p90) |
| | | | Seuil 3 | 10 000 | Seuil 2 x 10 |

2. Composés organiques

2.1. HYDROCARBURES C10-C40

La figure suivante présente la répartition des teneurs mesurées par rapport au pourcentage de la population d'échantillons analysés (analyse réalisée sur la totalité des échantillons sans dissociation des typologies de sols).



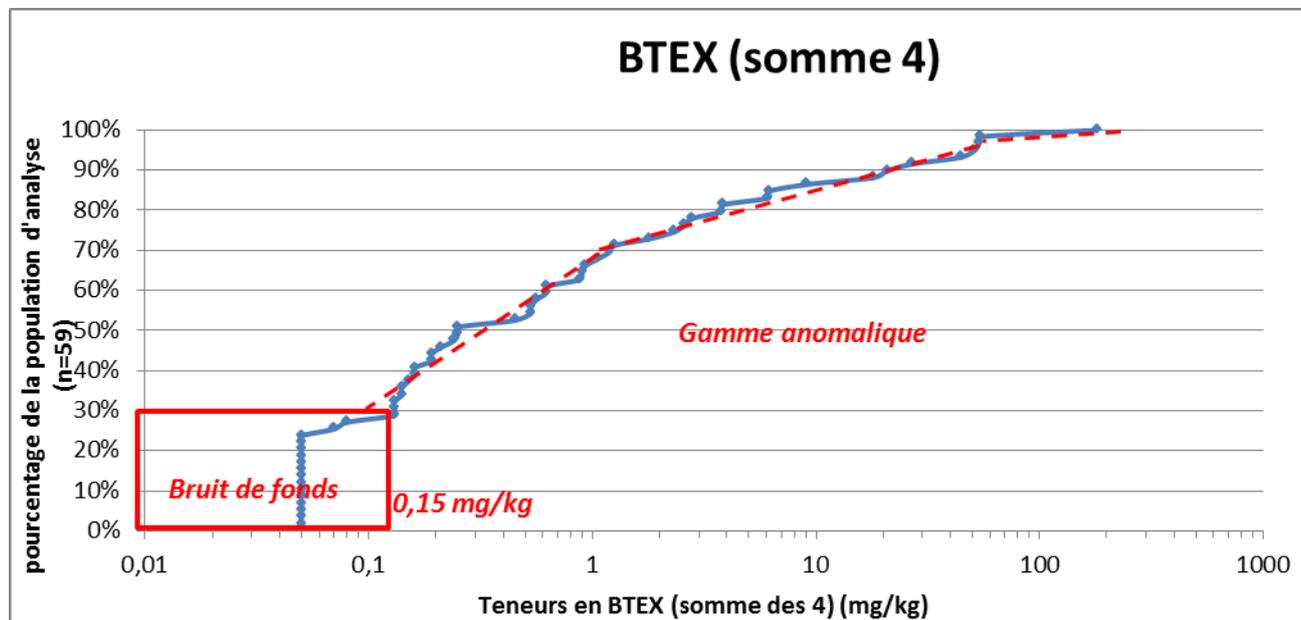
Analyse des teneurs en HCT C10-C40 par rapport à la population des échantillons

Deux seuils de coupure sont identifiés sur la population d'échantillons analysés.

| | N° SANDRE | nb analyses | Seuils | Concentration (mg/kg) | Explication du seuil retenu |
|-------------------------------------|-----------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| C10-C40- Coupes hydrocarbures | 3319 | 356 | Bruit de fonds | 50 | Seuil de coupure 1 |
| | | | Seuil 1 | 50 | Seuil de coupure 1 |
| | | | Seuil 2 | 500 | Seuil de coupure 2 |
| | | | Seuil 3 | 200 | Seuil 2 x 10 |

2.2. BTEX (SOMME DES 4)

La figure suivante présente la répartition des teneurs mesurée par rapport au pourcentage de la population d'échantillon analysée (analyse réalisée sur la totalité des échantillons sans dissociation des typologies de sols).



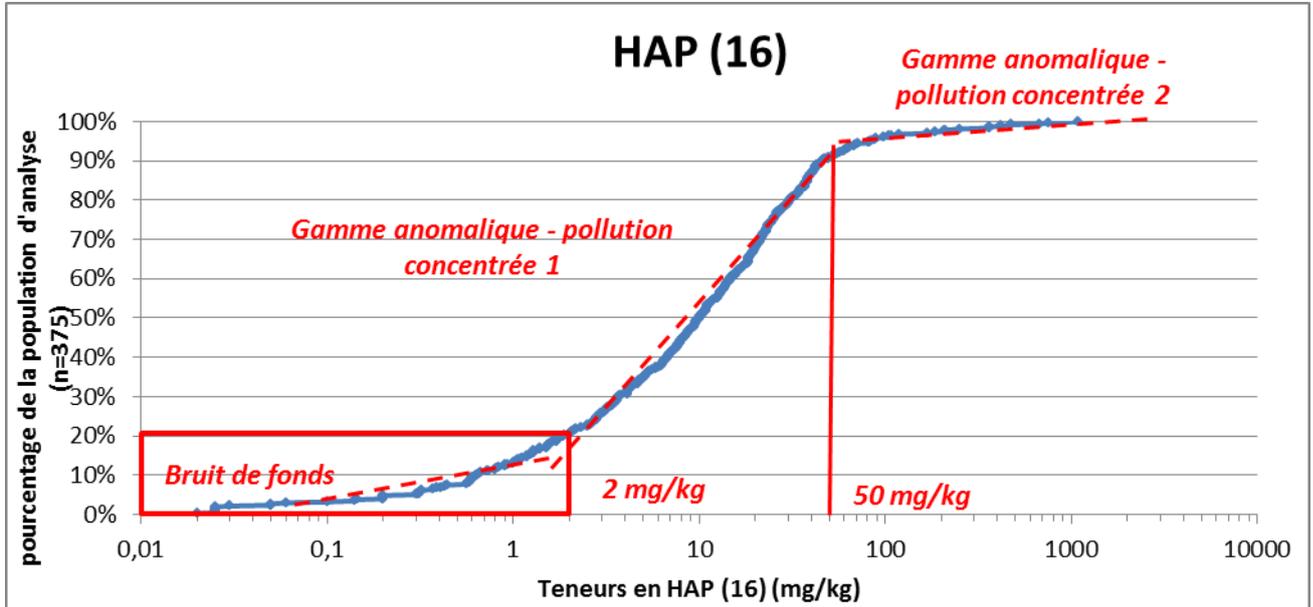
Analyse des teneurs en BTEX (somme des 4) par rapport à la population des échantillons

Un seuil de coupure a été identifié sur la population d'échantillons analysés

| | N° SANDRE | nb analyses | Seuils | Concentration (mg/kg) | Explication du seuil retenu |
|--|-----------|-------------|-----------------------|---|--|
| Somme de benzène, toluène, ethylbenzene, xylènes (4 BTEX) | 5918 | 59 | Bruit de fonds | 0,15 | Seuil de coupure 1 |
| | | | Seuil 1 | 0,5 | Proche du P75 de l'horizon naturel |
| | 6453 | 20 | Seuil 2 | 5 | Seuil 1 x 10 |
| | | | Seuil 3 | 50 | Seuil 2 x 10 |
| Somme de Benzène, Toluène, Ethylbenzene, Cumène, Xylène, Mesitylene, Ethyltoluene et pseudocumene (8 BTEX) | 6543 | 20 | Seuils | Seuils identiques à ceux définis pour la somme des 4 BTEX | |
| BTEX par substances individuellement | - | - | Seuil 1 | 0,05 | Valeur S1 pour le benzène dans le Guide de gestion des terres excavées |
| | | | Seuil 2 | 0,5 | Seuil 1 x 10 |
| | | | Seuil 3 | 5 | Seuil 2 x 10 |

2.3. HAP (SOMME DES 16)

La figure suivante présente la répartition des teneurs mesurées par rapport au pourcentage de la population d'échantillons analysés (analyse réalisée sur la totalité des échantillons sans dissociation des typologies de sols).



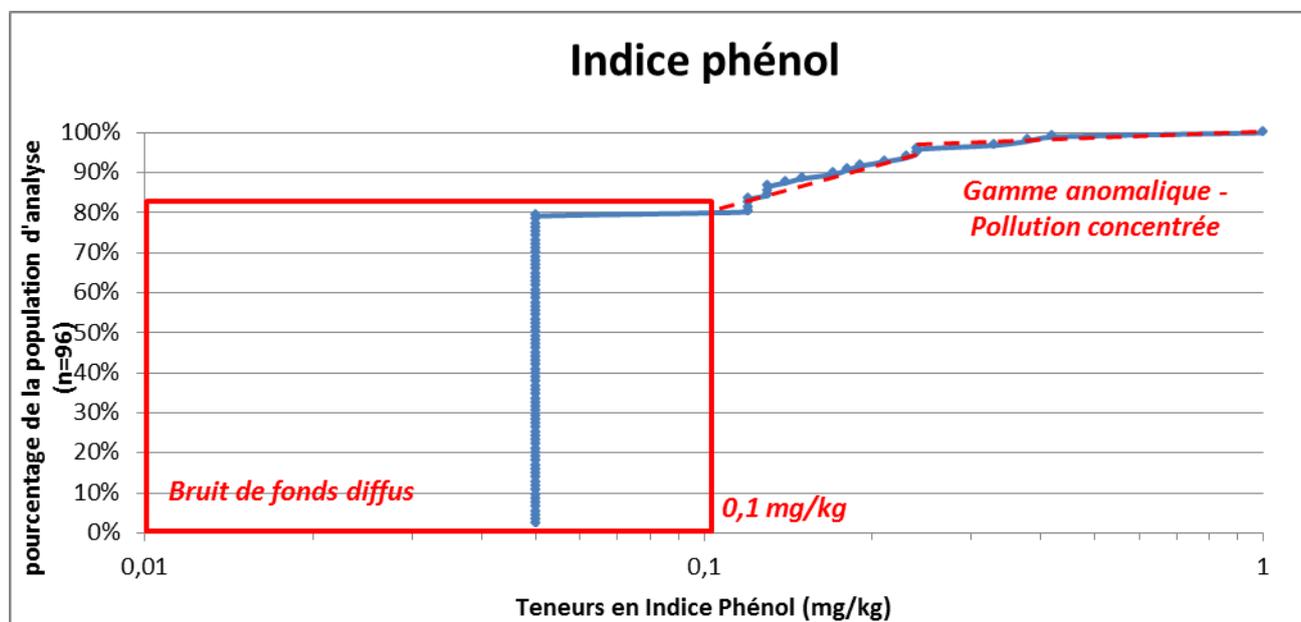
Analyse des teneurs en HAP (somme des 16) par rapport à la population des échantillons

Deux seuils de coupure sont identifiés sur la population d'échantillons analysés.

| | N° SANDRE | nb analyses | Seuils | Concentration (mg/kg) | Explication du seuil retenu |
|--|-----------|-------------|-----------------------|-----------------------|---|
| Somme HAP (16) - EPA | 6136 | 375 | Bruit de fonds | 2 | Seuil de coupure 1 |
| | | | Seuil 1 | 2 | Equivalent au bdf |
| | | | Seuil 2 | 50 | Seuil de coupure 2 (équivalent au p90) |
| | | | Seuil 3 | 200 | Seuil 2 x 4 |
| Naphtalène | 1517 | - | Seuil 1 | 0,05 | Valeur S1 pour le naphtalène dans le Guide de gestion des terres excavées |
| | | | Seuil 2 | 0,5 | Seuil 1 x 10 |
| | | | Seuil 3 | 5 | Seuil 2 x 10 |
| Autres HAP par substances individuellement | 1517 | - | Seuil 1 | 0,2 | 1/10 ^{ème} de la valeur retenue pour la somme des 16 HAP |
| | | | Seuil 2 | 5 | 1/10 ^{ème} de la valeur retenue pour la somme des 16 HAP |
| | | | Seuil 3 | 20 | 1/10 ^{ème} de la valeur retenue pour la somme des 16 HAP |

2.4. INDICE PHENOL

La figure suivante présente la répartition des teneurs mesurées par rapport au pourcentage de la population d'échantillons analysés (analyse réalisée sur la totalité des échantillons sans dissociation des typologies de sols).



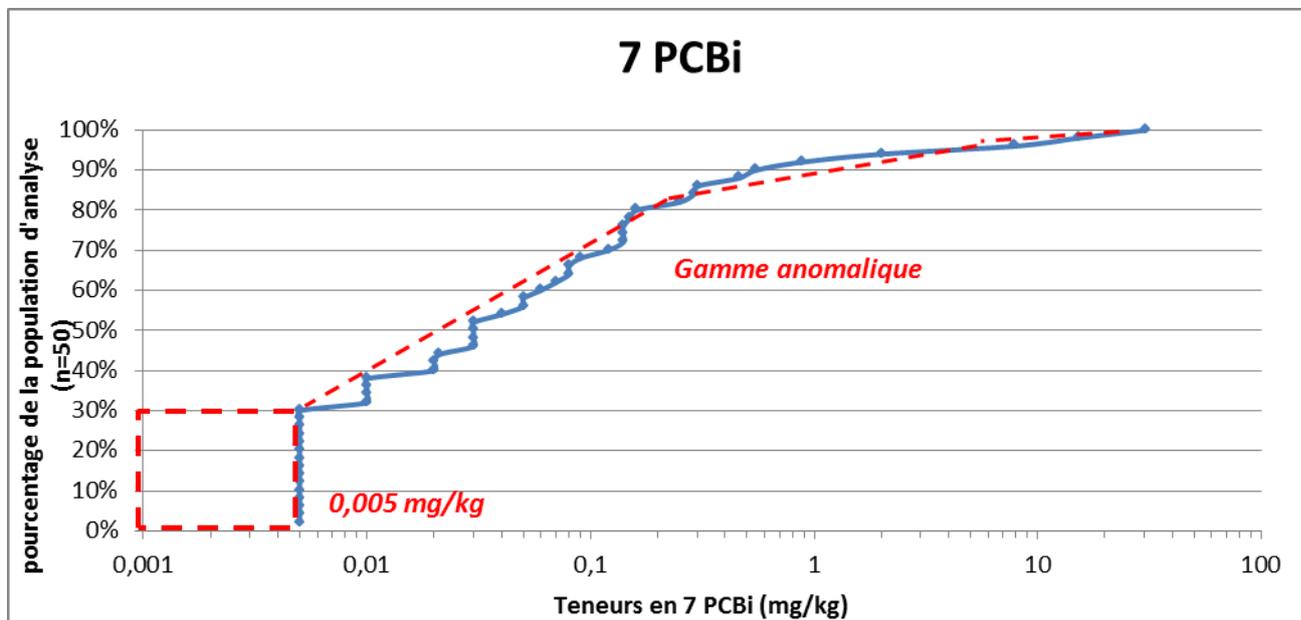
Analyse des teneurs en indice phénol par rapport à la population des échantillons

1 seuil de coupure a été identifié sur la population d'échantillons analysés.

| | N° SANDRE | nb analyses | Seuils | Concentration (mg/kg) | Explication du seuil retenu |
|---------------|-----------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Indice Phénol | 1440 | 96 | Bruit de fonds | 0,1 | Seuil de coupure 1 |
| | | | Seuil 1 | 0,1 | Equivalent au bdf |
| | | | Seuil 2 | 1 | Seuil 1 x 10 |
| | | | Seuil 3 | 10 | Seuil 2 x 10 |

2.5. PCB

La figure suivante présente la répartition des teneurs mesurées par rapport au pourcentage de la population d'échantillons analysés (analyse réalisée sur la totalité des échantillons sans dissociation des typologies de sols).



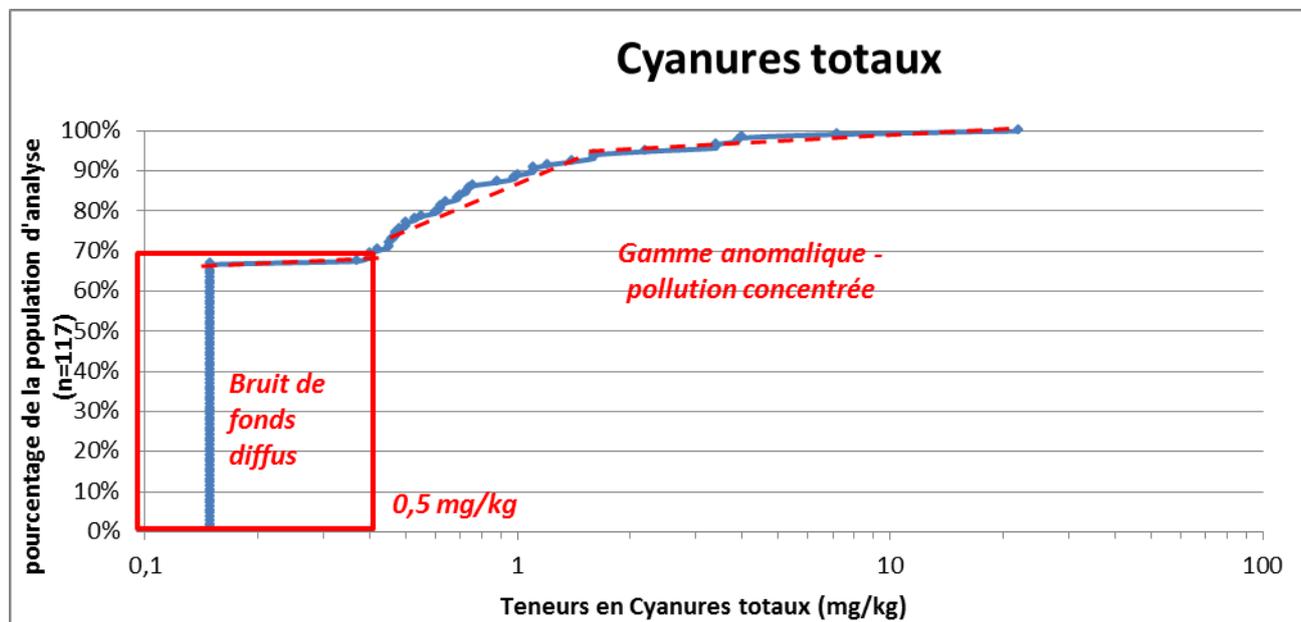
Analyse des teneurs en PCB (somme des 7 PCBi) par rapport à la population des échantillons

Absence de seuil de coupure en raison des LQ trop élevées.

| | N° SANDRE | nb analyses | Seuils | Concentration (mg/kg) | Explication du seuil retenu |
|------------------|-----------|-------------|----------------|-----------------------|---|
| Somme des 7 PCBi | 7431 | 50 | Bruit de fonds | 0,005 | LQ |
| | | | Seuil 1 | 0,05 | Equivalent à LQ x 10 |
| | | | Seuil 2 | 0,2 | Concentration susceptible de poser problème d'un point de vue sanitaire |
| | | | Seuil 3 | 2 | Seuil 2 x 10 |

2.6. CYANURES

La figure suivante présente la répartition des teneurs mesurées par rapport au pourcentage de la population d'échantillons analysés (analyse réalisée sur la totalité des échantillons sans dissociation des typologies de sols).



Analyse des teneurs en cyanures totaux par rapport à la population des échantillons

1 seuil de coupure identifié pour la population d'échantillons analysés.

| | N° SANDRE | nb analyses | Seuils | Concentration (mg/kg) | Explication du seuil retenu |
|-----------------|-----------|-------------|----------------|-----------------------|-----------------------------|
| Cyanures totaux | 1390 | 117 | Bruit de fonds | 0,5 | Seuil de coupure 1 |
| | | | Seuil 1 | 0,5 | Equivalent au bdf |
| | | | Seuil 2 | 5 | Seuil 1 x 10 |
| | | | Seuil 3 | 50 | Seuil 2 x 10 |



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin - BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction Territoriale Lorraine
1, avenue du Parc de Brabois
54500 – Vandoeuvre-lès-Nancy – France
Tél. : 03 83 44 81 49