

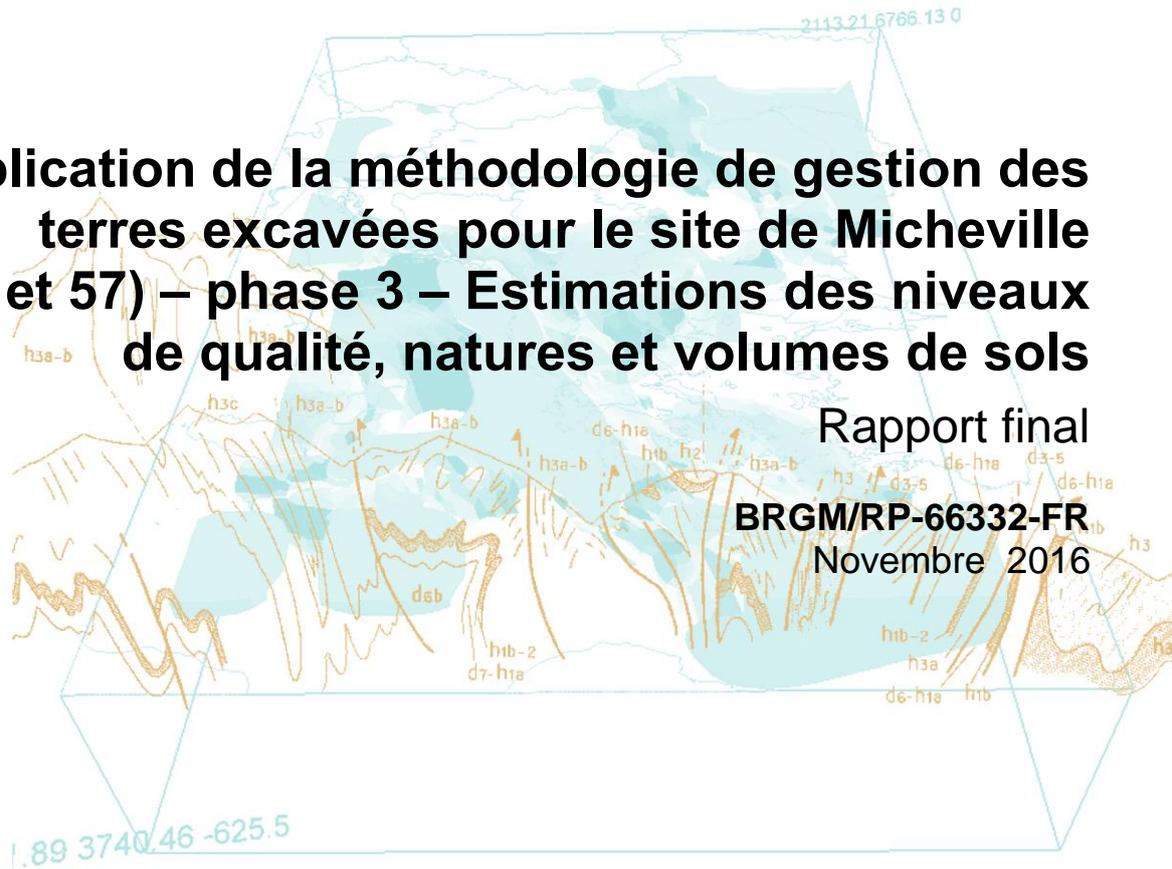


Application de la méthodologie de gestion des terres excavées pour le site de Micheville (54 et 57) – phase 3 – Estimations des niveaux de qualité, natures et volumes de sols

Rapport final

BRGM/RP-66332-FR

Novembre 2016



Application de la méthodologie de gestion des terres excavées pour le site de Micheville (54 et 57) – phase 3 – Estimations des niveaux de qualité, natures et volumes de sols

Rapport final

BRGM/RP-66332-FR
Novembre 2016

N. Aubert

Vérificateur :

Nom : P. Bataillard

Fonction : Responsable Scientifique
de Programme

Date : 07/11/2016

Signature :

Approbateur :

Nom : D. Midot

Fonction : Directeur Territorial

Date : 15/11/2016

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) – phase 3 – Estimations des niveaux de qualité, natures et volumes de sols. Rapport final. BRGM/RP- 66332-FR, 22 p., 6 fig., 4 tabl., 3 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 en 2015 et 2016 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 de trois phases d'études.

Une première phase de cet appui a consisté à la compilation, la bancarisation et la réalisation d'une analyse critique des données disponibles (tables Excel, rapports PDF...). Cette analyse critique des données a notamment permis d'établir que les données disponibles n'étaient pas suffisantes pour caractériser finement les matériaux susceptibles d'être excavés. Le BRGM a recommandé de regrouper par catégories de qualités supposées similaires les terres qui seront excavées et de les caractériser plus finement (physiquement et chimiquement) après excavation, afin d'optimiser leur réutilisation sur site sur des zones de sols en place de qualité équivalente.

Une seconde phase de cet appui a consisté à lier les données géologiques et environnementales bancarisées dans ACCESS à l'outil de modélisation GDM. Des interpolations ont ensuite été réalisées dans GDM pour des mailles de 5x5 m, et pour 19 sections de 1 m d'épaisseur allant de 314 m NGF à 333 m NGF, afin d'estimer pour chaque maille, les différents types de matériaux et leurs catégories de qualité.

Dans un rapport de juillet 2016 (BRGM/RP-65824), le BRGM a présenté ses conclusions concernant ces deux premières phases de l'appui technique et scientifique sur le site de Micheville.

Les travaux réalisés pour cette 3^{ème} phase du projet avaient comme objectif d'assister à l'évaluation du gisement des terres potentiellement réutilisables. Le BRGM a actualisé le modèle géologique ainsi que les interpolations réalisées par le logiciel GDM en intégrant les dernières campagnes d'investigation réalisées au 1^{er} semestre 2016. Sur cette base, un tableau de synthèse permettant de visualiser pour chaque parcelle et pour chaque couche d'1 m NGF les volumes de sols en place pour les différents niveaux de qualité selon les critères des composés inorganiques, organiques ou tous critères confondus a été fourni à l'EPFL. La visualisation du détail de ces volumes a également été présentée en fonction des 4 grandes familles de matériaux identifiées au droit du site.

En complément, le BRGM a proposé à l'EPFL des recommandations méthodologiques pour l'organisation sur site des terres et matériaux excavés en fonction de leur type et de leur niveau de qualité estimé.

L'ensemble de ces éléments permettra à l'EPFL de comparer les différents scénarios d'aménagement envisageables en fonction de leur impact sur les volumes, la nature, la qualité et la potentielle réutilisation sur site des matériaux excavés associés.

Sommaire

1. Contexte	7
2. Rappel des conclusions des phases 1 et 2	8
3. Mise à jour de la base de données et du modèle GDM	9
4. Estimation des volumes, de la qualité et de la nature des sols	11
5. Appui à la gestion des matériaux excavés	13
5.1. METHODOLOGIE.....	13
5.2. REMBLAIS ANTHROPIQUES (RA)	14
5.2.1. Identification des mailles sur site.....	14
5.2.2. Mesures <i>in situ</i>	14
5.2.3. Regroupement des matériaux après excavation par niveaux de qualité.....	14
5.2.4. Criblage / concassage	14
5.2.5. Analyse et caractérisation finale des matériaux	15
5.2.6. Gestion finale des matériaux.....	15
5.2.7. Synthèse de la méthodologie de gestion des remblais anthropiques	15
5.3. HORIZON NATUREL (HN) OU REMBLAIS D'ORIGINE NATURELLE (RN).....	16
5.3.1. Identification des mailles sur site.....	16
5.3.2. Identification <i>in situ</i>	16
5.3.3. Regroupement des matériaux après excavation par niveaux de qualité.....	16
5.3.4. Analyse et caractérisation finale des matériaux	16
5.3.5. Gestion finale des matériaux.....	16
5.3.6. Synthèse de la méthodologie de gestion des matériaux issus d'horizons naturels ou de remblais d'origine naturelle	17
5.4. BETONS (DAL).....	18
5.4.1. Identification des mailles sur site.....	18
5.4.2. Identification visuelle et regroupement des bétons.....	18
5.4.3. Criblage / concassage	18
5.4.4. Analyse et caractérisation finale des matériaux	18
5.4.5. Gestion finale des matériaux.....	18
5.4.6. Synthèse de la méthodologie de gestion des bétons	18
6. Conclusion	21

Liste des figures

Figure 1 – Illustration de la visualisation des calculs de volumes de sols en fonction des critères de qualité, (sans niveau de détail des types de matériaux)	11
Figure 2 – Illustration de la visualisation des calculs de volumes de sols en fonction des critères de qualité, (avec niveau de détail des types de matériaux)	12
Figure 3 – Nombre d'échantillons à prélever en fonction du volume des lots de terres pour des lots de qualité similaire (BRGM/RP-62856-FR)	13
Figure 4 – Proposition de méthodologie de gestion des remblais anthropiques(RA)	15
Figure 5 – Proposition de méthodologie de gestion des matériaux issus d'horizon naturel (HN) ou de remblais d'origine naturelle (RN).....	17
Figure 6 – Proposition de méthodologie de gestion des remblais	19

Liste des tableaux

Tableau 1 – Synthèse des données des investigations du 1er semestre 2016 bancarisées	9
Tableau 2 – Interprétation des teneurs mesurées en fonction des différents seuils.....	10
Tableau 3 – Lexique des catégories et sous-catégories de sols retenues pour la description géologique des sols	25
Tableau 4 – Liste des composés et groupes retenus dans la détermination des critères de qualité chimique des sols du site de Micheville	29

Liste des annexes

Annexe 1 : Lexique des catégories et sous-catégories de sols retenues pour la description géologique des sols	23
Annexe 2 : Liste des composés et groupes retenus dans la détermination des critères de qualité chimique des sols du site de Micheville	27
Annexe 3 : Rappel des méthodes d'interpolations réalisées dans GDM	31

1. Contexte

Dans le cadre de l'Opération d'Intérêt National (OIN) ALZETTE-BELVAL, l'Établissement Public Foncier de Lorraine (EPFL - établissement public en charge du pré-aménagement du site de Micheville) 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 de cette friche de plus de 400 ha (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.

Dans un rapport de juillet 2016 (BRGM/RP-65824), le BRGM a présenté ses conclusions concernant les deux premières phases de l'appui technique et scientifique sur le site de Micheville à savoir :

- phase 1 : Analyse critique et bancarisation des données disponibles ;
- phase 2 : Expertise scientifique, portant notamment sur la définition d'une méthodologie de prélèvement et d'investigation nécessaire au déploiement de la démarche de gestion des terres excavées.

Dans le cadre de ces premières phases, le logiciel GDM a été utilisé pour réaliser une modélisation géologique du site ainsi qu'une interpolation de critères de qualité chimique des sols.

Le présent rapport présente les travaux réalisés dans le cadre de la 3^{ème} et dernière phase portant sur une assistance scientifique dans la réflexion de l'EPFL dans le cadre de la gestion et la valorisation des terres et matériaux à excaver.

Les objectifs de cette 3^{ème} phase sont d'apporter une assistance scientifique et technique sur l'évaluation du gisement des terres potentiellement réutilisables par le biais des actions suivantes :

- mettre à disposition de l'EPFL un modèle géologique à jour et finalisé, réalisée avec l'outil GDM ;
- mettre à disposition de l'EPFL des estimations des volumes des différents types de matériaux présents dans les sols, ainsi que leurs niveaux de qualité en fonction de la profondeur et des différentes parcelles du projet d'aménagement ;
- proposer à l'EPFL une méthodologie pour l'organisation sur site des mouvements de terres et autres matériaux excavés.

2. Rappel des conclusions des phases 1 et 2

Dans un rapport de juillet 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 - BRGM/RP-65824), le BRGM a présenté les résultats des opérations réalisées au cours des deux premières phases de l'appui technique et scientifique sur le site de Micheville

Dans la 1^{ère} 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.

Dans la 2^{nde} 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 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. De cette manière, des catégories de terres ont été définies sur la base de l'interprétation de ces niveaux de concentrations.

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 et PCB).

Des interpolations ont été réalisées dans GDM pour des mailles de 5x5 m, et pour 19 sections de 1 m d'épaisseur allant de 314 m NGF à 333 m NGF, 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.

3. Mise à jour de la base de données et du modèle GDM

De nombreuses et nouvelles investigations environnementales ayant été réalisées par le bureau d'étude ERG Environnement au 1^{er} semestre 2016, une 3^{ème} phase a été entreprise afin d'intégrer ces données complémentaires relatives aux sondages, prélèvements d'eau, de gaz du sol et de sols dans la base de données ACCESS.

Le Tableau 1 présente la synthèse des données qui ont été intégrées afin de mettre à jour la base de données.

Sondages	Nombre de sondages	176
	Profondeur médiane des sondages	2,3 m
	Profondeur maximale des sondages	25,43 m
Niveaux géologiques	Nombre de niveaux géologiques décrits	461
Prélèvements de gaz du sol	Nombre d'échantillons prélevés	25
	Nombre de paramètres recherchés	55
	Nombre d'analyses réalisées	1 644
Prélèvements de sols	Nombre total d'échantillons de sols prélevés	213
	Nombre d'échantillons de sols de surface (< 1 m de profondeur)	83
	Nombre d'échantillons de sols profonds (>1 m de profondeur)	130
	Épaisseur médiane des échantillons de sols	1 m
	Épaisseur maximale des échantillons de sols	3 m
	Profondeur maximale des échantillons de sols	3 m
	matière sèche : nombre de paramètres recherchés	58
	matière sèche : nombre d'analyses réalisées	7 896
	lixiviats : nombre de paramètres recherchés	17
	lixiviats : nombre d'analyses réalisées	782

Tableau 1 – Synthèse des données des investigations du 1^{er} semestre 2016 bancairisées

Ces investigations ont permis l'acquisition d'un nombre important de nouvelles données, notamment dans les zones peu investiguées ayant été identifiées dans le rapport BRGM/RP-65824-FR, et ont donc fortement contribué à améliorer la connaissance des milieux.

Après intégration de ces sondages, niveaux, échantillons et analyses dans la base de données, la modélisation des formations géologiques et de la qualité des sols a été réalisée sur le même principe que celui décrit dans le rapport BRGM/RP-65824-FR.

Les types de sols ont 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 : massifs, dallages et infrastructures en béton.

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 dans le rapport BRGM/RP-65824-FR. Un critère de qualité de 1 à 4 a alors été calculé pour chaque échantillon et pour chaque paramètre en fonction de sa teneur comparée aux seuils définis (Tableau 2).

Niveau de la teneur mesurée	Catégorie de qualité attribuée
Teneur \leq seuil 1	1
seuil 1 < Teneur \leq seuil 2	2
seuil 2 < Teneur \leq seuil 3	3
seuil 3 < Teneur	4

Tableau 2 – 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 l'échantillon est classé en catégorie 4 pour le sous-groupe « métaux et métalloïdes », mais également pour le critère général « Inorganiques ». La liste des composés retenus pour le calcul des critères, ainsi que les sous-groupes et critères généraux de qualité associés, sont présentés en annexe 2. Les seuils appliqués, ainsi que le nombre d'analyses par composé, sont également rappelés dans cette annexe. Le détail du calcul de ces seuils est présenté dans le rapport BRGM/RP-65824-FR.

L'annexe 3 présente une synthèse des méthodes d'interpolations réalisées dans GDM. Le détail des calculs est présenté dans le rapport BRGM/RP-65824-FR.

1			Volumes de sols pour les critères des composé <i>inorganiques</i>																			
2	A	B	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
1																						
2			cat 1	cat 1	cat 1	cat 1	cat 1	cat 2	cat 3													
3			TOT	RA	RN	HN	DAL	TOT	RA	RN	HN	DAL	TOT	RA	RN	HN	DAL	TOT	RA	RN	HN	DAL
5	NOM	Layer	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET	S_MET
6	BASSIN-CD54		755	287	46	422	0	35414	24610	2272	8503	29	26438	14925	2752	8761	0	0	0	0	0	0
7	BASSIN-CD54	333-332	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	BASSIN-CD54	332-331	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	BASSIN-CD54	331-330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	BASSIN-CD54	330-329	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	BASSIN-CD54	329-328	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	BASSIN-CD54	328-327	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	BASSIN-CD54	327-326	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	BASSIN-CD54	326-325	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	BASSIN-CD54	325-324	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	271	100	171	0	0	0	0	0	0	0
16	BASSIN-CD54	324-323	0	0	0	0	0	813	351	136	326	2	1108	443	432	233	0	0	0	0	0	0
17	BASSIN-CD54	323-322	0	0	0	0	0	3006	2868	136	2	2272	1984	288	0	0	0	0	0	0	0	0
18	BASSIN-CD54	322-321	229	180	19	30	0	4282	3973	96	185	29	2381	2352	14	15	0	0	0	0	0	0
19	BASSIN-CD54	321-320	0	0	0	0	0	2918	2499	87	332	0	3974	3822	62	90	0	0	0	0	0	0
20	BASSIN-CD54	320-319	0	0	0	0	0	6892	6468	39	385	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	BASSIN-CD54	319-318	0	0	0	0	0	6892	4630	100	2162	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	BASSIN-CD54	318-317	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6892	3290	478	3124	0	0	0	0	0	0
23	BASSIN-CD54	317-316	0	0	0	0	0	4245	2021	504	1720	0	2647	1028	84	1536	0	0	0	0	0	0
24	BASSIN-CD54	316-315	526	107	27	392	0	6366	1800	1174	3392	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	BASSIN-CD54	315-314	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6892	1906	1223	3763	0	0	0	0	0	0

Figure 2 – Exemple de résultats des calculs de volumes de sols en fonction des critères de qualité (avec niveau de détail des types de matériaux)

Cet outil permet ainsi, pour chaque entité du plan guide, de déterminer les volumes de sols avec le détail des différents types de matériaux et leur niveau de qualité chimique estimé par le modèle GDM.

Ces résultats permettent de comparer l'impact de différents scénarios d'aménagement sur le type et la qualité de matériaux qui seront à excaver et à gérer afin de trouver les scénarios de gestion optimum de déblais / remblais et limiter le volume de matériaux excavés à traiter ou à évacuer.

5. Appui à la gestion des matériaux excavés

5.1. METHODOLOGIE

Dans le cadre des travaux réalisés en phases 1 et 2 du projet, le BRGM a recommandé de regrouper par catégories de qualités supposées similaires les terres qui seront excavées et de les caractériser plus finement (physiquement et chimiquement) après excavation, afin d'optimiser leur réutilisation sur site, sur des zones de sols en place de qualité équivalente.

Sur la base du « Guide de caractérisation des terres excavées dans le cadre de leur réutilisation hors site en technique routière et dans des projets d'aménagement - BRGM/RP-62856-FR » de Décembre 2013, le BRGM a proposé un protocole de caractérisation et d'orientation des matériaux excavés.

La Figure 3 rappelle le nombre d'échantillons à prélever pour des lots de terres de qualité similaire (Figure issue du guide de caractérisation des terres excavées dans le cadre de leur réutilisation hors site en technique routière et dans des projets d'aménagement)

Volume de terres par lot de même origine et même qualité	Nombre d'échantillons composites		Nombre d'échantillons unitaires
< 250 m ³	1	et	1
250 - 2 000 m ³	2	et	2
2 000 - 4 000 m ³	4	et	4
4 000 - 7 000 m ³	6	et	6
7 000 - 10 000 m ³	8	et	8
> 10 000 m ³	8 + 2 échantillons de plus par tranche de 5 000 m ³ supplémentaire	et	8 + 2 échantillons de plus par tranche de 5 000 m ³ supplémentaire



Lorsque l'historique est insuffisant (caractérisation antérieure insuffisante pour orienter un tri des terres complet) ou que les lots de terres sont hétérogènes, le tableau 2 ne peut pas s'appliquer et il faut prélever systématiquement un échantillon composite (qui correspond à 10 prélèvements élémentaires) et un échantillon unitaire par lot de 250 m³.

Figure 3 – Nombre d'échantillons à prélever en fonction du volume des lots de terres de qualité similaire (BRGM/RP-62856-FR)

Le protocole proposé par le BRGM a été décomposé en fonction de la nature des matériaux excavés :

- remblais anthropiques (RA) : ces matériaux sont principalement constitués de remblais sidérurgiques contenant des proportions variables de laitiers sidérurgiques ;
- horizon naturel (HN) ou remblais d'origine naturelle (RN) : ces matériaux sont constitués du sol naturel en place ou de matériaux identifiés comme des remblais composés uniquement de terre d'origine naturelle (absence de déchets ou de matériaux anthropiques) ;
- bétons (DAL) : ces matériaux sont principalement constitués des massifs, dallages et infrastructures en béton situés au droit des anciennes installations et bâtiments.

5.2. REMBLAIS ANTHROPIQUES (RA)

5.2.1. Identification des mailles sur site

Le BRGM recommande d'identifier sur site le maillage de 5x5 m utilisé dans GDM pour les interpolations des niveaux de qualité des sols. Ce maillage associé à l'altitude d'excavation permettra de repérer les niveaux de qualité ainsi que les types de matériaux attendus.

5.2.2. Mesures *in situ*

Lors des travaux d'excavation, le BRGM recommande de réaliser des mesures régulières et en temps réel des sols avec un analyseur de métaux portable (fluorimètre de type NITON®) afin de confirmer les niveaux de concentrations attendus pour les métaux sur la base des résultats des modélisations.

Le BRGM recommande également des mesures à l'aide d'un PID (Photoionisation Detector) afin d'évaluer les niveaux de composés organiques volatils dans les matériaux, notamment dans les zones classées en catégories 3 et 4 pour les composés organiques.

5.2.3. Regroupement des matériaux après excavation par niveaux de qualité

Sur la base des identifications issues des modélisations GDM, ainsi que des mesures *in situ*, le BRGM recommande de regrouper les matériaux par niveaux de qualité estimés.

Du fait de la forte hétérogénéité des remblais sidérurgiques (classés RA dans la base de données et dans la modélisation GDM), ainsi que de leurs particularités physico-chimiques (présence de laitiers, concentrations parfois élevées en métaux, ...), les niveaux de qualité 1 et 2 sont estimés comme suspects et il est conseillé de les regrouper avant les opérations de criblage / concassage et de caractérisation finale.

5.2.4. Criblage / concassage

Suite à ces regroupements, le BRGM recommande de réaliser des opérations de criblage (voire de concassage pour les matériaux les plus compacts) afin de séparer les différentes fractions obtenues.

5.2.5. Analyse et caractérisation finale des matériaux

Après criblage, le BRGM recommande une mise en forme des matériaux permettant un échantillonnage par lots de 250 m³ et pour chaque lot une analyse d'un échantillon composite et d'un échantillon ponctuel. Le résultat le plus majorant (entre l'analyse de l'échantillon composite et du ponctuel) pour chaque composé sera retenu, et chaque lot de 250 m³ sera classé en catégorie 1 à 4 en fonction des critères de qualité développés dans le cadre de ce projet.

5.2.6. Gestion finale des matériaux

En fonction des résultats d'analyses, et du classement des lots en fonction de leurs niveaux de qualité, le devenir des terres pourra être le suivant :

- une réutilisation des matériaux de catégorie 1 est envisageable sur l'ensemble du site ;
- une réutilisation des matériaux de catégories 2 et 3 est envisageable sur zones de qualité similaire ;
- une réutilisation sur site des matériaux de catégorie 4 est déconseillée.

5.2.7. Synthèse de la méthodologie de gestion des remblais anthropiques

La figure 4 présente cette méthodologie de gestion des remblais anthropiques sous la forme d'un arbre de décision.

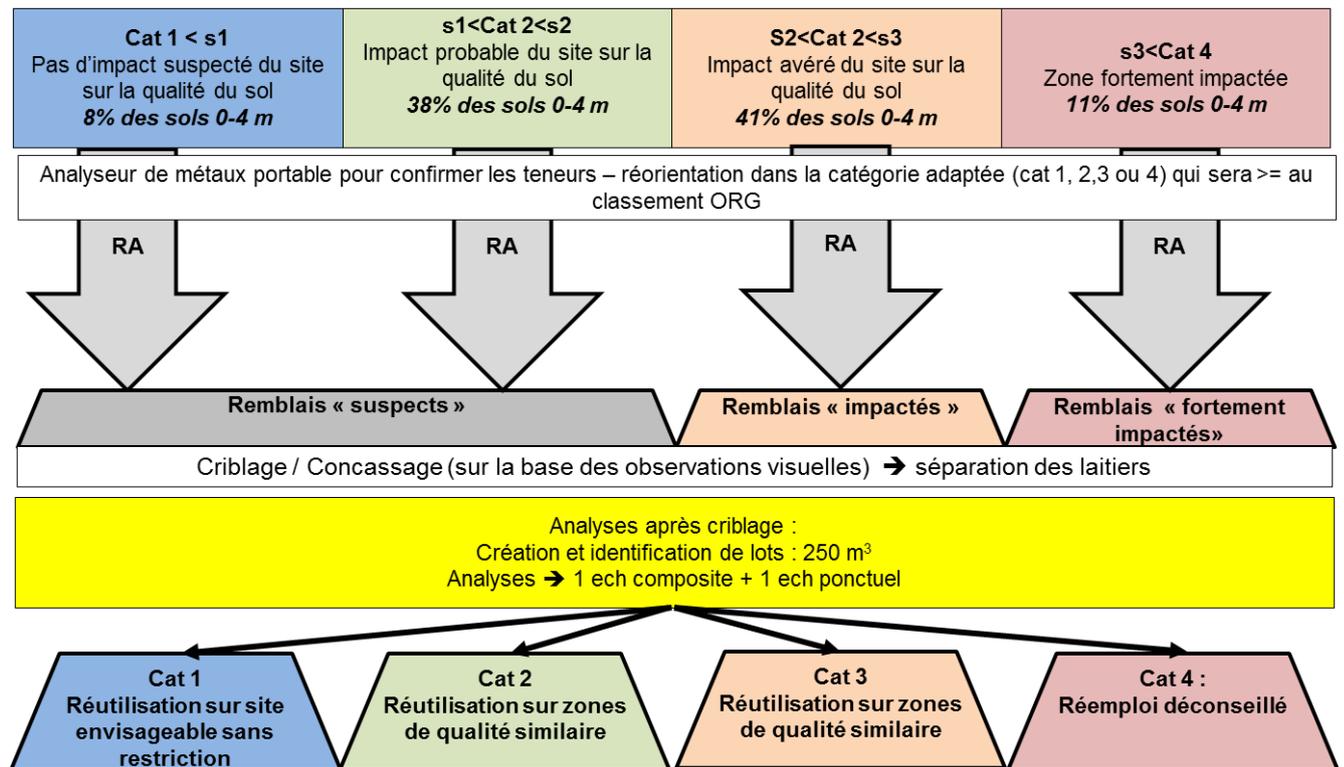


Figure 4 – Proposition de méthodologie de gestion des remblais anthropiques(RA)

5.3. HORIZON NATUREL (HN) OU REMBLAIS D'ORIGINE NATURELLE (RN)

5.3.1. Identification des mailles sur site

Le BRGM recommande d'identifier sur site le maillage de 5x5 m utilisé dans GDM pour les interpolations des niveaux de qualité des sols. Ce maillage associé à l'altitude d'excavation permettra de repérer les niveaux de qualité ainsi que les types de matériaux attendus.

5.3.2. Identification *in situ*

Lors des travaux d'excavation, le BRGM recommande de réaliser des mesures régulières des sols avec un analyseur de métaux portable afin de confirmer les niveaux de concentrations attendus sur la base des résultats des modélisations.

Le BRGM recommande également des mesures à l'aide d'un PID (Photoionisation Detector) afin d'évaluer les niveaux de composés organiques volatils dans les matériaux, notamment dans les zones classées en catégories 3 et 4 pour les composés organiques.

5.3.3. Regroupement des matériaux après excavation par niveaux de qualité

Sur la base des identifications issues des modélisations GDM, ainsi que des mesures *in situ*, le BRGM recommande de regrouper les matériaux par niveaux de qualité estimés.

5.3.4. Analyse et caractérisation finale des matériaux

Le BRGM recommande une mise en forme des matériaux meubles permettant un échantillonnage :

- par lots de 1000 m³ pour les matériaux de catégorie 1 estimés par le modèle, et confortés par les mesures *in situ* ;
- par lots de 250 m³ pour les matériaux de catégorie 2 à 4 estimés par le modèle, et confortés par les mesures *in situ*.

Chaque lot fera l'objet d'une analyse d'un échantillon composite et d'un échantillon ponctuel. Le résultat le plus majorant (entre l'analyse de l'échantillon composite et du ponctuel) pour chaque composé sera retenu, et chaque lot sera classé en catégorie 1 à 4 en fonction des critères de qualité développés dans le cadre de ce projet.

5.3.5. Gestion finale des matériaux

En fonction des résultats d'analyses, et du classement des lots en fonction de leurs niveaux de qualité, le devenir des terres pourra être le suivant :

- une réutilisation des matériaux de catégorie 1 est envisageable sur l'ensemble du site ;
- une réutilisation des matériaux de catégories 2 et 3 est envisageable sur zones de qualité similaire ;
- une réutilisation sur site des matériaux de catégorie 4 est déconseillée.

5.3.6. Synthèse de la méthodologie de gestion des matériaux issus d'horizons naturels ou de remblais d'origine naturelle

La figure 5 présente cette méthodologie de gestion des matériaux issus d'horizons naturels ou de remblais d'origine naturelle sous la forme d'un arbre de décision.

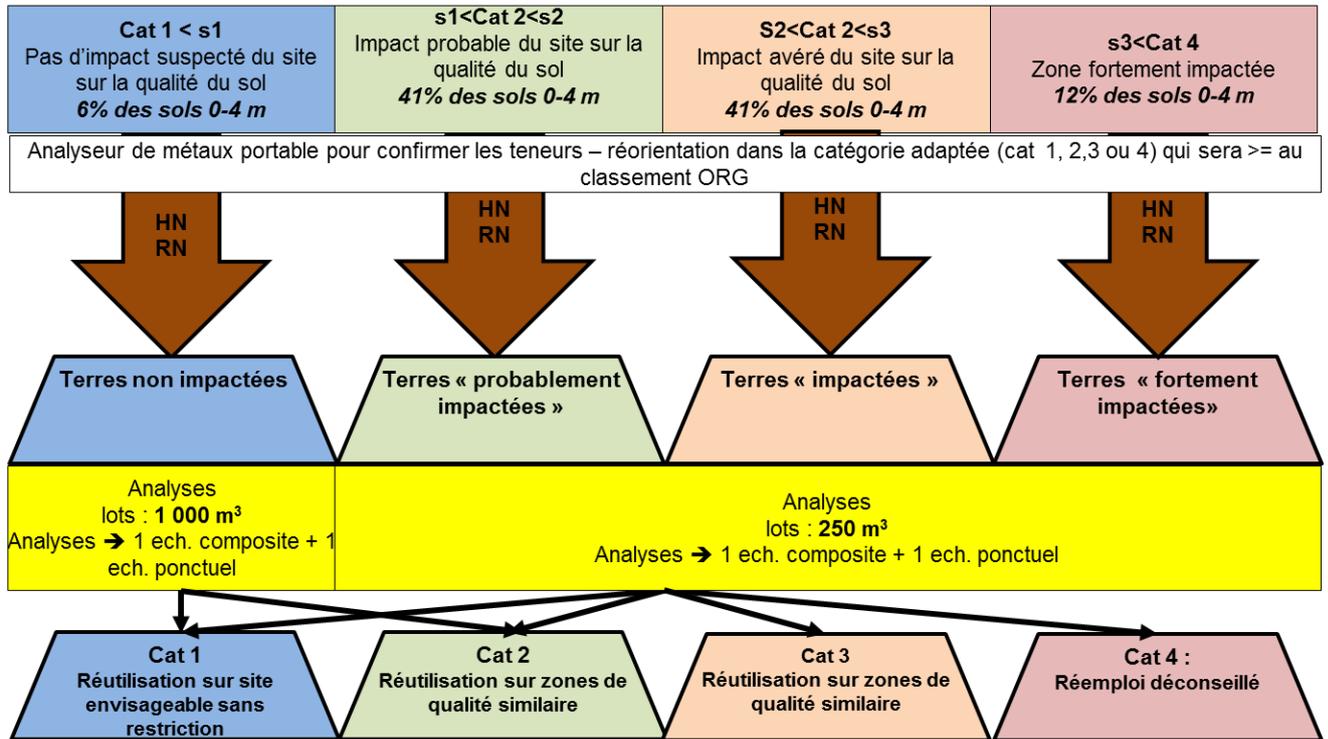


Figure 5 – Proposition de méthodologie de gestion des matériaux issus d'horizon naturel (HN) ou de remblais d'origine naturelle (RN)

5.4. BETONS (DAL)

5.4.1. Identification des mailles sur site

Le BRGM recommande d'identifier sur site le maillage de 5x5 m utilisé dans GDM pour les interpolations des niveaux de qualité des sols. Ce maillage associé à l'altitude d'excavation permettra de repérer les quantités de béton attendues.

5.4.2. Identification visuelle et regroupement des bétons

Lors des travaux d'excavation, l'identification des massifs bétons sera réalisée à l'avancement sur la base de contrôles visuels. Le niveau de qualité des bétons sera estimé visuellement, les bétons d'apparence impactée (présence de taches d'hydrocarbures,...) seront séparés des bétons d'apparence plus saines, afin de créer des lots de :

- bétons non impactés ;
- bétons avec indices de contamination.

5.4.3. Criblage / concassage

Suite à ces regroupements, des opérations de concassage pourront être envisagées sur site, ou hors site en fonction des volumes générés. Le recyclage sur le site pour des applications géotechniques (sous-couche routière notamment) des matériaux grossiers concassés, pourra également être envisagé dans le cadre des scénarios de gestion des matériaux.

5.4.4. Analyse et caractérisation finale des matériaux

Après concassage et criblage, le BRGM recommande une mise en forme des matériaux permettant un échantillonnage par lots de 250 m³ et pour chaque lot une analyse d'un échantillon composite et d'un échantillon ponctuel. Le résultat le plus majorant (entre l'analyse de l'échantillon composite et du ponctuel) pour chaque composé sera retenu, et chaque lot de 250 m³ sera classé en catégorie 1 à 4 en fonction des critères de qualité développés dans le cadre de ce projet.

5.4.5. Gestion finale des matériaux

La gestion de ces matériaux sera appréciée en fonction des résultats d'analyses et de leurs caractéristiques géotechnique

5.4.6. Synthèse de la méthodologie de gestion des bétons

La figure 6 présente cette méthodologie de gestion des bétons sous la forme d'un arbre de décision.

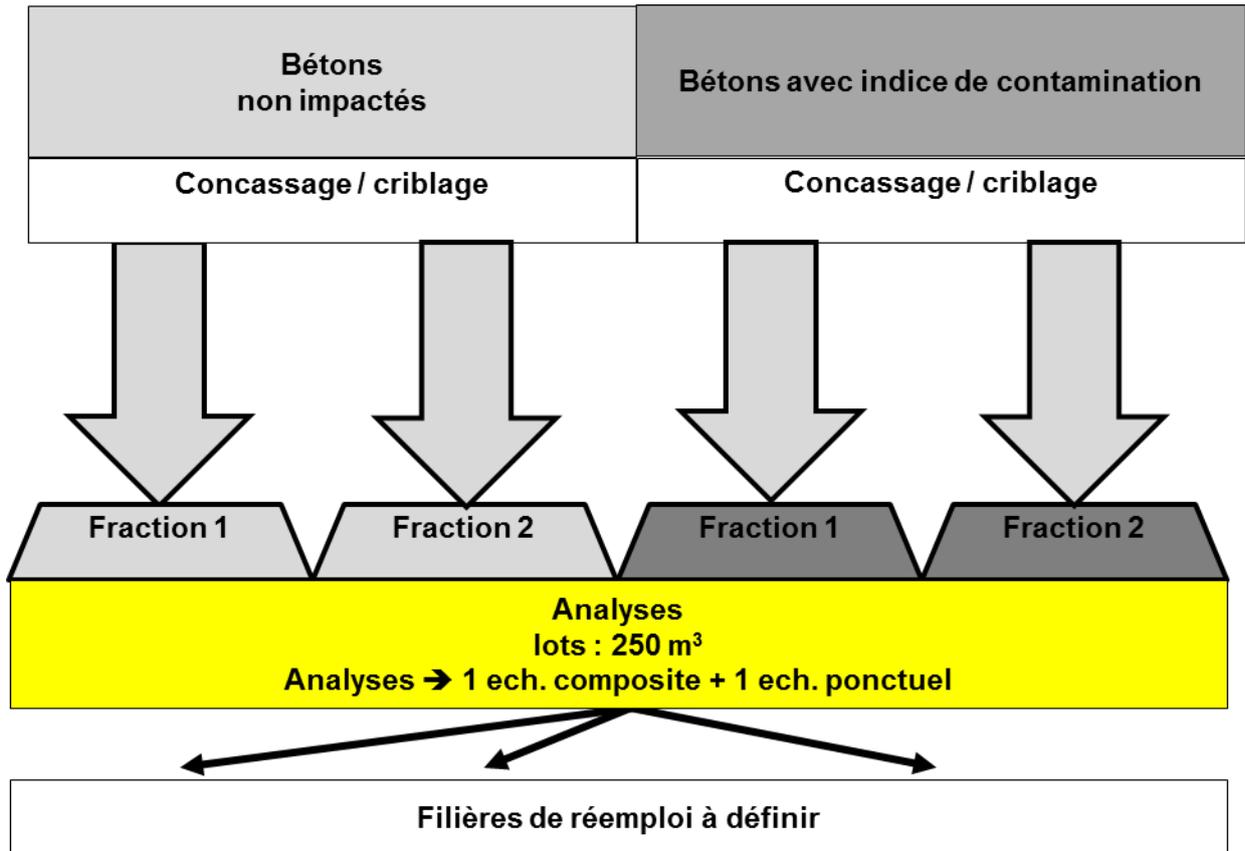


Figure 6 – Proposition de méthodologie de gestion des remblais type « béton »

6. 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.

Dans la 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 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. Ces seuils ont été utilisés pour définir des catégories de terres en fonction de leur qualité physico-chimique. Des interpolations ont été réalisées dans GDM pour des mailles de 5x5 m, et pour 19 sections de 1 m d'épaisseur allant de 314 m NGF à 333 m NGF, afin d'estimer pour chaque maille les différents types de matériaux et leurs catégories de qualité.

Au cours de ce travail (3^{ème} phase du projet), le BRGM a intégré les résultats des investigations réalisées au 1^{er} semestre 2016 et a actualisé la modélisation de la géologie du site ainsi que de la qualité estimée des sols.

Sur cette base, le BRGM a fourni à l'EPFL un tableau de synthèse permettant de visualiser pour chaque parcelle et pour chaque couche d'1 m NGF :

- les volumes de sols en place pour les différents niveaux de qualité selon les critères des composés inorganiques ;
- les volumes de sols en place pour les différents niveaux de qualité selon les critères des composés organiques ;
- les volumes de sols en place pour les différents niveaux de qualité tous critères confondus ;
- le détail des types de matériaux attendus (remblais, terrain naturel...) associés à ces volumes.

En complément, le BRGM a proposé à l'EPFL des recommandations méthodologiques ainsi que des arbres de décision permettant une gestion sur site des terres et matériaux excavées en fonction de leur type et de leur niveau de qualité estimé.

Ces résultats permettront à l'EPFL d'estimer les volumes, la qualité chimique et la nature des sols au droit des différentes parcelles du site de Micheville, et permettront d'orienter l'EPA dans son choix d'un scénario d'aménagement parmi ceux proposés grâce à la prise en compte de la gestion des terres excavées et des déchets de déconstruction, incluant leur réutilisation potentielle sur site.

Annexe 1 :

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

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

Annexe 2 :

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

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

Annexe 3 :

Rappel des méthodes d'interpolations réalisées dans GDM

- **Interpolations réalisées 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.

- **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 m NGF ;
- 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.

- **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.

- **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 ».



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