
ANNEXE 4

Rapport de caractérisation des sols en œuvre

BPE – 30/05/2022



(87) – ORADOIR-SUR-GLANE

VILLAGE MARTYR

Caractérisation des sols en œuvre

Assistance scientifique de laboratoire

Laboratoires BPE

5, rue de Hengwiller – 67440 Dimbsthal
Tél : 03 88 91 13 96 - @ : bpe@bpe-ing.com
SARL au capital de 150 000€ - SIRET 517 597 092 00025 – APE 7112B

Page intentionnellement blanche

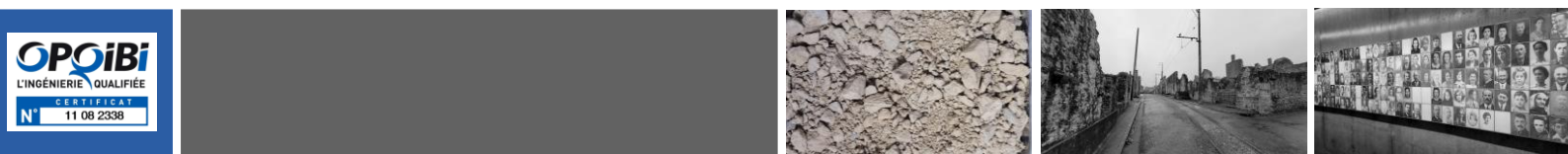
(87) – ORADOUR-SUR-GLANE

VILLAGE MARTYR

Caractérisation des sols en œuvre

Maitrise d'ouvrage : **DIRECTION REGIONALE DES AFFAIRES CULTURELLES** – 6, rue
Haute-Comédie 87036 LIMOGES

Maitrise d'œuvre : **Monsieur PASCAL PRUNET – Architecte en Chef des Monuments
Historiques** – 66, rue des Binelles 92310 SEVRES



Page intentionnellement blanche

SOMMAIRE

<u>INTRODUCTION.....</u>	<u>6</u>
<u>REFERENCEMENT DES PRELEVEMENTS</u>	<u>6</u>
REFERENCEMENT DES ECHANTILLONS.....	6
PROGRAMME ANALYTIQUE	6
DESCRIPTION ET LOCALISATION DES PRELEVEMENTS	7
<u>CARACTERISATION DES SOLS.....</u>	<u>12</u>
DETERMINATION DES PARAMETRES PHYSIQUES	12
DETERMINATION DES PARAMETRES CHIMIQUES	13
<u>SYNTHESE ET DISCUSSION</u>	<u>14</u>

INTRODUCTION

La mission confiée par la Direction Régionale des Affaires Culturelles, sous la maîtrise d'œuvre de Monsieur Pascal PRUNET, Architecte en Chef des Monuments Historiques au laboratoire BPE, a comme objet d'accompagner la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre dans la caractérisation des propriétés mécaniques des sols en œuvre, soumis à une circulation piétonne, sur le site du Village martyr d'Oradour-sur-Glane, afin de pouvoir proposer des solutions de stabilisation si nécessaire.

Cette étude fait suite au programme analytique préétabli portant la référence CLPMH1910399V1 et aux prélèvements in-situ, réalisés par les soins du laboratoire, le 18 février 2022.

Note sur la présentation du rapport : Ce rapport est optimisé pour une impression recto-verso.

REFERENCEMENT DES PRELEVEMENTS

Référencement des échantillons

Les prélèvements réalisés par les soins du Laboratoire sur des profondeurs inférieures à 1 m, ont été réceptionnés et référencés tels que présentés dans le tableau ci-dessous :

REFERENCE DES ECHANTILLONS	DESIGNATION
PMH221061-1 Z1	Zone humide avec texture argileuse – accès Sud du Mémorial
PMH221061-2 Z2	Zone de déplacement des sables de surface et de cailloux apparents – allée latérale Est
PMH221061-3 Z3	Zone de déplacement des sables de surface et de cailloux apparents – allée latérale Ouest
PMH221061-4 Z4	Zone de dégradation et de creusement des sols – Pied d'embranchement Sud du Mémorial

Tableau 1 : référencement des échantillons pour analyses en laboratoire

Programme analytique

Dans le cadre de la mission confiée au laboratoire BPE, les analyses et essais réalisés pour la caractérisation des propriétés chimiques et mécaniques des sols en œuvre sont les suivants :

- Analyse granulométrique par tamisage à sec selon les recommandations de la norme NF EN 94-056,
- Détermination de la teneur en eau pondérale selon les recommandations de la norme NF P-94-050,
- Détermination de la masse volumique apparente et de la porosité du sol,
- Evaluation de la fraction argileuse selon les recommandations de la norme NF P 94-068 par détermination de la valeur VBS,
- Qualification de la fraction solubles par dosages des ions en chromatographie ionique et par ICP-MP,
- Classification GTR selon la norme NF P 11300,

Description et localisation des prélèvements



Figure 1 : Localisation des zones de prélèvements des sols – Source Geoportail – Prise de vue datée du 15/05/2020

Lors des opérations de prélèvement, prévues, initialement à l'aide d'une tarière, a été constaté la présence sur les quatre zones de prélèvement de sols composés d'environ 14 à 17 cm de terre meuble et d'une couche de forme constituée majoritairement d'un broyat de roches métamorphiques, dont les diamètres moyens sont compris entre 2 et 3 cm et de fragments décimétriques de roches de nature variée.



Figure 2 : Illustration des horizons composants les sols en œuvre



Figure 3 : Illustration des échantillons de sol en œuvre prélevés sur les différentes zones après étuvage

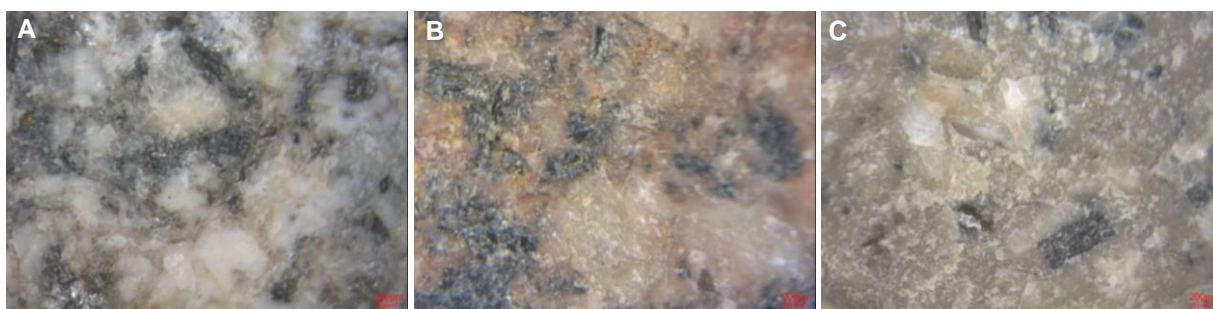


Figure 4 : Clichés en microscopie optique sur fragment brut Gr x20 – illustration des faciès lithologiques formant la fraction grossière

Les observations en microscopie de la fraction grossière composant les échantillons prélevés, mettent en évidence deux natures de roches : l'une grisâtre voir brunâtre de texture grenue [Clichés A et B] et la seconde de texture microlitique [Cliché C]. D'après les descriptions des formations géologiques de la feuille d'Oradour-sur-Glane, ces éléments semblent correspondre à :

- Des gneiss plagioclasiques grisâtres à brunâtres, composés de macro-minéraux de quartz, de plagioclase, de biotite et d'hydroxydes de fer abondants, souvent observés en remplissage des microfissures,
- Des granodiorites, principalement composées de quartz et feldspath et en moindre densité de pyroxène et amphibole.

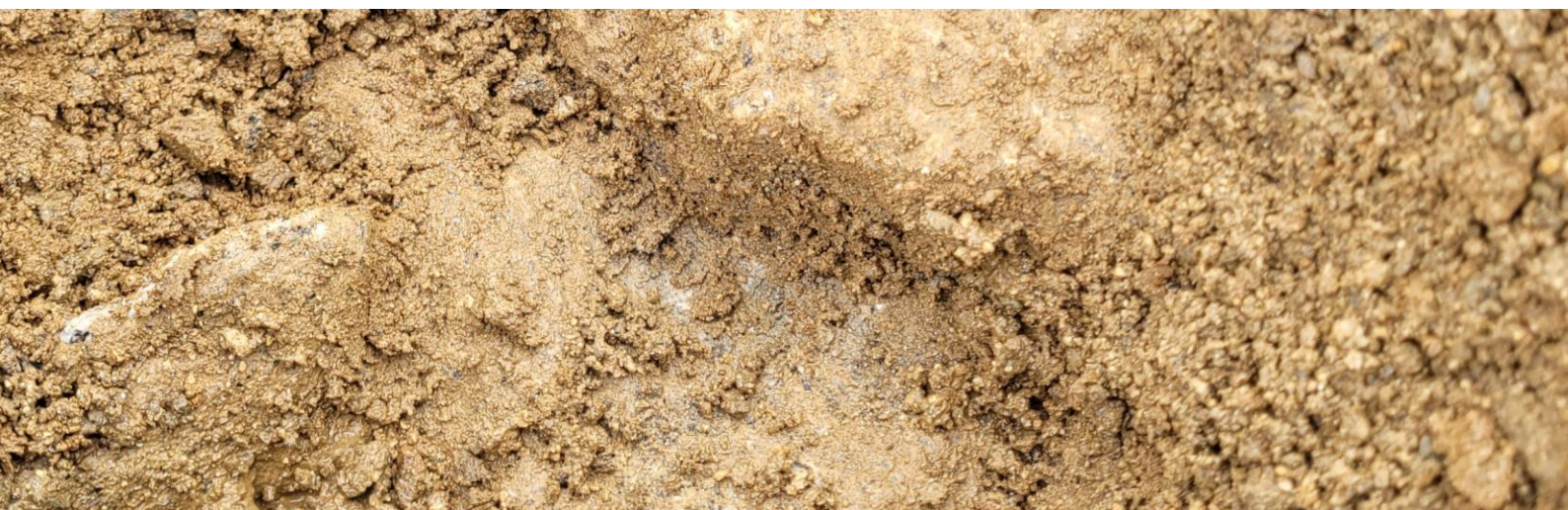


La fraction fine de ces sols [Cliché D] semble correspondre à des altérites, dont la composition minéralogique observable en microscopie optique apparaît quasi-similaire à celles des fragments de roche de taille centimétrique.

Page intentionnellement blanche



RESULTATS DES ESSAIS



CARACTERISATION DES SOLS

Détermination des paramètres physiques

	Z1 [PMH221061-1]	Z2 [PMH221061-1]	Z3 [PMH221061-1]	Z4 [PMH221061-1]
Analyse granulométrique par tamisage à sec				
Passant à 125 mm [%]	100	100	100	100
Passant à 100 mm [%]	100	100	100	100
Passant à 80 mm [%]	100	100	100	100
Passant à 63 mm [%]	100	100	100	100
Passant à 50 mm [%]	100	100	100	100
Passant à 40 mm [%]	100	100	100	100
Passant à 31,5 mm [%]	100	100	100	100
Passant à 25 mm [%]	94	92	96	100
Passant à 20 mm [%]	84	81	88	97
Passant à 14 mm [%]	77	76	74	94
Passant à 10 mm [%]	71	74	70	90
Passant à 5 mm [%]	59	63	60	86
Passant à 2 mm [%]	43	46	48	72
Passant à 1 mm [%]	33	38	35	58
Passant à 400 µm [%]	24	22	27	42
Passant à 80 µm [%]	12	11	11	21
Densité apparente [Kg/m³]	1822	1824	1810	1950

Tableau 2 : Détermination des paramètres physiques – granulométrie et densité

Commentaires : L'analyse granulométrique, après destruction des agrégats, met en évidence la présence de sols dits « graveleux » [granulométrie < 50 mm] dont la proportion de fines est variable en fonction des zones de prélèvement. La classification GTR indique un seuil conventionnel de 35 % de tamisat à 80 µm, au-delà duquel les sols présentent un comportement assimilable à celui de leur fraction fine. Or dans le cas présent, les valeurs de tamisat à 80 µm sont inférieures à ce seuil et apparaissent comprises entre 11 et 12 % concernant les sols prélevés au niveau des zones Z1, Z2 et Z3 pour une valeur plus élevée, de l'ordre de 21 % concernant la zone Z4. A noter qu'au-delà de 12 %, un sol est considéré comme riche en fines. Les valeurs distinctes de tamisat à 2mm, indiquent un sol à tendance sableuse pour la zone Z4 et à tendance graveleuse concernant les sols en œuvre au niveau des zones Z1, Z2 et Z3.

Détermination des paramètres chimiques

	Z1 [PMH221061-1]	Z2 [PMH221061-1]	Z3 [PMH221061-1]	Z4 [PMH221061-1]
Valeur au Bleu de méthylène [Fraction 0/2 mm]				
Proportion de 0/2 mm dans la fraction 0/50 mm [%]	43	46	48	72
Valeur au bleu VBS [g/100g]	0,11	0,14	0,13	0,24
Fraction soluble [Fraction 0/2 mm]				
Chlorures [mg/l]	0,636	0,541	0,756	0,836
Sulfates [mg/l]	4,518	4,645	4,512	10,04
Nitrates [mg/l]	0,261	0,316	0,277	1,375
Calcium [mg/l]	3,740	4,212	3,890	12,29
Magnésium [mg/l]	1,150	1,110	1,051	1,380
Sodium [mg/l]	2,770	2,354	2,462	1,850
Potassium [mg/l]	2,530	2,672	0,558	1,630

Tableau 3 : Détermination des paramètres chimiques – fraction argileuse et soluble

Rappel des seuils valeur VBS :

- 0,1** : Seuil en-dessous duquel le sol est insensible à l'eau [Critère à compléter avec valeur du tamisat à 80 µm qui doit être inférieure à 12 %]
- 0,2** : Seuil à partir duquel apparait la sensibilité à l'eau
- 1,5** : Seuil distinguant les sols sablo-limoneux des sols sablo-argileux
- 2,5** : Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne
- 6** : Seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux
- 8** : Seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux

Commentaires : La détermination de la valeur au Bleu de méthylène met en évidence des sols considérés comme insensibles à l'eau concernant les zones Z1, Z2 et Z3 [Tamisat à 80 µm < 12 %] et présentant une certaine sensibilité concernant la zone Z4. Les analyses relatives aux fractions solubles des sols en œuvre indiquent des valeurs relativement faibles, si ce n'est de légères surconcentrations en sulfates et calcium au sein du prélèvement Z4.

SYNTHESE ET DISCUSSION

En considérant les résultats des essais et se référant aux tableaux ci-après, extraits de la norme NF P 11-300, définissant la classification des sols, les prélèvements **Z1, Z2 et Z3** peuvent être classifiés en **B3** et le prélèvement **Z4** en **B5** ; La classe A correspondante aux sols fins et la classe C aux sols comportant des fines et des gros éléments.

(*) Paramètres dont le choix est à privilégier

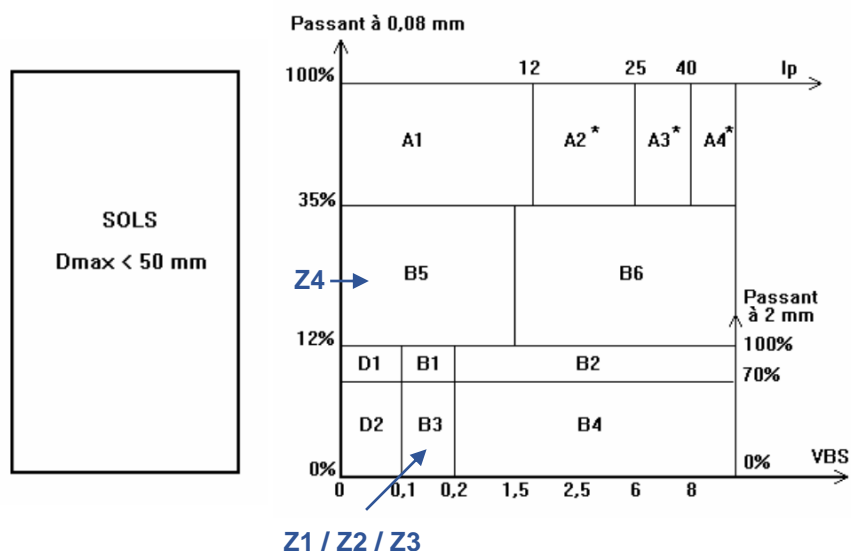
Classe B		Tableau 2 - Classification des sols sableux ou graveleux, avec fines						
CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES REMBLAIS								
CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME								
Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement		
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état	Paramètres de comportement	sous classe fonction du comportement	
D _{max} ≤ 50 mm et Tamisat à 80 μm ≤ 35%	B Sols sableux et graveleux avec fines	tamisat à 80 μm ≤ 12% tamisat à 2 mm > 70% 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2	B₁ Sables silteux...	Matériaux généralement insensibles à l'eau		FS ≤ 60	B ₁₁	
					FS > 60	B ₁₂		
		tamisat à 80 μm ≤ 12% tamisat à 2 mm > 70% VBS > 0,2	B₂ Sables argileux (peu argileux)...	IPI ^(*) ≤ 4 ou w _n ≥ 1,25 w _{OPN}		B ₂ th	FS ≤ 60	B ₂₁ th
						FS > 60	B ₂₂ th	
				4 < IPI ^(*) ≤ 8 ou 1,10 w _{OPN} ≤ w _n < 1,25 w _{OPN}		B ₂ h	FS ≤ 60	B ₂₁ h
						FS > 60	B ₂₂ h	
				0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,10 w _{OPN}		B ₂ m	FS ≤ 60	B ₂₁ m
						FS > 60	B ₂₂ m	
				0,5 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN}		B ₂ s	FS ≤ 60	B ₂₁ s
						FS > 60	B ₂₂ s	
				w _n < 0,5 w _{OPN}		B ₂ ts	FS ≤ 60	B ₂₁ ts
						FS > 60	B ₂₂ ts	
		tamisat à 80 μm ≤ 12% tamisat à 2 mm > 70% 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2	B₃ Graves silteuses...	Matériaux généralement insensibles à l'eau		LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₃₁	
						LA > 45 et MDE > 45	B ₃₂	

(*) Paramètres dont le choix est à privilégier

Classe B (suite)		Tableau 2 - Classification des sols sableux ou graveleux, avec fines							
CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES REMBLAIS									
CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME									
Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement			
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état	Paramètres de comportement	sous classe fonction du comportement		
Dmax ≤ 50 mm et Tamisat à 80 µm ≤ 35%	B Sols sableux et graveleux avec fines	tamisat à 80 µm ≤ 12% tamisat à 2 mm ≤ 70% VBS > 0,2	B₄ Graves argileuses (peu argileuses)...	IPI ⁽¹⁾ ≤ 7 ou w _n ≥ 1,25 w _{OPN}	B ₄ th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 et MDE > 45	B ₄₁ th B ₄₂ th		
				7 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 15 ou 1,10 w _{OPN} ≤ w _n < 1,25 w _{OPN}	B ₄ h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 et MDE > 45	B ₄₁ h B ₄₂ h		
				0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,10 w _{OPN}	B ₄ m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 et MDE > 45	B ₄₁ m B ₄₂ m		
				0,6 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN}	B ₄ s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 et MDE > 45	B ₄₁ s B ₄₂ s		
				w _n < 0,6 w _{OPN}	B ₄ ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 et MDE > 45	B ₄₁ ts B ₄₂ ts		
				tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% VBS < 1,5 ^(*) ou I _p ≤ 12	B₅ Sables et graves très silteux...	IPI ⁽¹⁾ ≤ 5 ou w _n ≥ 1,25 w _{OPN}	B ₅ th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 et MDE > 45	B ₅₁ th B ₅₂ th
						5 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 12 ou 1,1 w _{OPN} ≤ w _n < 1,25 w _{OPN}	B ₅ h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 et MDE > 45	B ₅₁ h B ₅₂ h
						12 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 30 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,10 w _{OPN}	B ₅ m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 et MDE > 45	B ₅₁ m B ₅₂ m
						0,6 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN}	B ₅ s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 et MDE > 45	B ₅₁ s B ₅₂ s
						w _n < 0,6 w _{OPN}	B ₅ ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 et MDE > 45	B ₅₁ ts B ₅₂ ts
		tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% VBS > 1,5 ^(*) ou I _p > 12	B₆ Sables et graves argileux à très argileux			IPI ⁽¹⁾ ≤ 4 ou w _n ≥ 1,3 w _{OPN} ou I _c ≤ 0,8	B ₆ th		
						4 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 10 ou 0,8 < I _c ≤ 1 ou 1,1 w _{OPN} ≤ w _n < 1,3 w _{OPN}	B ₆ h		
						10 < IPI ≤ 25 ou 1 < I _c ≤ 1,2 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,1 w _{OPN}	B ₆ m		
						0,7 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN} ou 1,2 < I _c ≤ 1,3	B ₆ s		
						w _n < 0,7 w _{OPN} ou I _c > 1,3	B ₆ ts		

(*) Paramètres dont le choix est à privilégier

Tableau synoptique de classification des matériaux selon leur nature



Dans le cadre d'une éventuelle opération de stabilisation des sols en œuvre peuvent être proposées les traitements de sols en place par adjonction de liant de type chaux « vive », bien qu'au regard des classifications obtenues, seul le sol de la zone Z4 pourrait y avoir recours.

En effet, ce traitement permettra un assèchement et un compactage durable sur le long terme, mais nécessitera probablement un concassage préalable, puis un malaxage après épandage et enfin un compactage. Ses paramètres, dont le dosage en liant, seront à déterminer selon les performances à obtenir sur les zones considérées.

Soulignons également que le traitement des sols en place permet le recyclage des matériaux existants ainsi que la conservation de la perméabilité de la couche traitée tout en augmentant sa portance.



Laboratoires

Pour le laboratoire BPE :

Dimbsthal, le 30 mai 2022

Stéphane LOGEL
Responsable Technique

Laboratoires BPE
5, rue de Hengwiller – 67440 Dimbsthal
Tél : 03 88 91 13 96 - @ : bpe@bpe-ing.com
SARL au capital de 150 000€ - SIRET 517 597 092 00025 – APE 7112B

