

SIEGE SOCIAL DMTR BOURGOGNE 26 Av. de la Concorde 21 000 DIJON	ETUDE GEOTECHNIQUE	
	Projet : Réhabilitation des ��timents 16,17 et 18	Mission : Mission d'études géotechniques Correspondant à la mission G2 AVP suivant la norme NF P 94-500 (cf. extrait en annexe)
	Maître d'Ouvrage : Etablissement du service d'infrastructure de la défense de METZ	

Rapport Ind 01	Rédacteur :	Contrôle interne :	Reference dossier :
Date : 07/08/2024	Hicham KHEDIM	Pierre VERNY	FC24-GEO-77
	Chargé d'affaires	Directeur	



TABLE DES MATIERES

Liste des figures	3
I. Présentation :	4
I.1 Cadre de l'étude :	4
I.2 Localisation et description du site :	4
I.3 Description du projet :	4
I.4 Contexte géologique :	5
I.5 Risques naturels :	6
I.5.1 Aléa retrait-gonflement des argiles :	6
I.5.2 Aléa remontées inondations :	6
I.5.3 Aléa sismique :	7
II. MISSION ET PROGRAMME DE RECONNAISSANCE :	7
II.1 Mission :	7
II.2 Consistance des investigations :	7
III. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS :	8
III.1 Implantation :	8
III.2 Géologie :	8
III.3 Géomécanique :	9
III.4 Hydrogéologie :	9
III.5 Reconnaissance des fondations :	10
III.6 Résultats des analyses en laboratoire :	11
IV. SISMICITE ET LIQUEFACTION DES SOLS :	12
IV.1 Catégories de bâtiments :	12
IV.2 Coefficient d'importance :	12
IV.3 Exigence sur le bâti neuf :	13
IV.4 Classe de sols selon l'Eurocode 8 :	13
IV.5 Liquéfaction des sols :	15
V. PROJET DE REHABILITATION DES BATIMENTS EXISTANTS :	16
V.1 Rappel :	16
V.2 Critère de forme :	16
V.3 Capacité portante de l'existant :	16
V.4 Création de nouvelles fondations :	17
V.4.1 Principe de fondations :	17
V.4.2 Profondeur d'ancrage :	17
V.4.3 Contraintes de calculs :	18
V.4.4 Evaluation des tassements :	18
V.4.5 Dispositions constructives :	18

V.4.6	Dispositions constructives complémentaires (sols sensibles au phénomène de retrait-gonflement) :	19
V.4.7	Suggestions d'exécutions :	20
V.5	Dallage :	20
V.6	Principe de fondations :	21
V.7	Méthode de calculs selon l'Eurocode 7 et sa norme d'application NF P 94-262 :	22
V.8	Modèle géotechnique :	25
V.9	Prédimensionnement :	26
V.10	Précautions particulières :	26
V.11	Suggestions d'exécutions :	26
V.12	Tassements :	26
V.13	Remarques importantes :	27
V.14	Dallage	27
VI.	EAU ET DRAINAGE :	27
VI.1	Phase provisoire :	27
VI.2	Phase définitive :	28
VII.	Annexe :	29
VII.1	Classification et enchainement des missions d'ingénierie géotechnique :	29
VII.2	Tableau : Classification des missions types d'ingénierie géotechnique :	30
VII.3	Conditions générales des missions géotechniques :	32

Liste des figures

Figure 1	: Plans de situation – Extrait du site www.geoportail.fr	4
Figure 2	: Plan transmis pour l'étude	5
Figure 3	: Contexte géologique – Extrait du site www.geoportail.gouv.fr	5
Figure 4	: Carte d'aléa retrait-gonflement des argiles – Extrait du site www.georisques.fr	6
Figure 5	: Carte d'aléa inondation de nappe – Extrait du site www.georisques.fr	6
Figure 6	: Carte du zonage sismique et tableau des accélérations correspondantes	7

Liste des tableaux

Tableau 1	: Coordonnées des points de sondage	8
Tableau 2	: Géologie au droit des sondages	9
Tableau 3	: Caractéristique mécanique des faciès	9
Tableau 4	: Profondeur du niveau d'eau au droit des sondages	10
Tableau 5	: Reconnaissance des fondations	10
Tableau 6	: Résultats des analyses en laboratoire	11
Tableau 7	: Tableau des catégories d'importance des bâtiments – Extrait du site developpement-durable.gouv.fr	12
Tableau 8	: Exigences sur le bâti neuf – Extrait du site developpement-durable.gouv.fr	13
Tableau 9	: Classes et catégories de pieux/micropieux	22

I. Présentation :

I.1 Cadre de l'étude :

Cette étude a été réalisée par DMTR Expertise & Ingénierie – 26 Avenue de la Concorde, 2100 Dijon, pour le compte de **l'établissement du service d'infrastructure de la défense de METZ**.

I.2 Localisation et description du site :

Le projet se situe 511e Régiment du train, la commune de Auxonne (21).

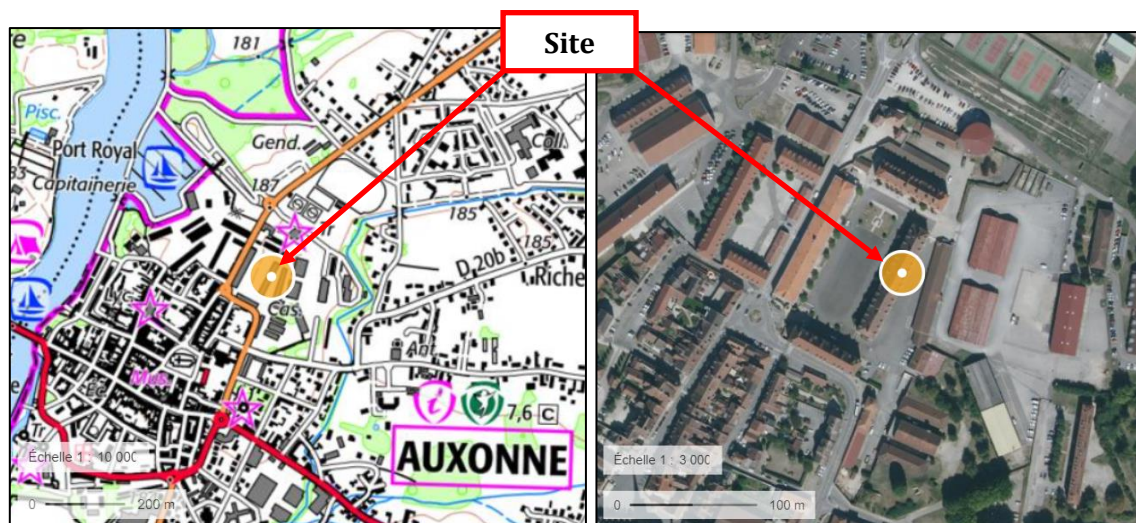


Figure 1 : Plans de situation – Extrait du site www.geoportail.fr

I.3 Description du projet :

D'après les éléments communiqués, le projet prévoit la réhabilitation des bâtiments 16, 17 et 18 du quartier BONAPARTE situé dans la ville d'AUXONNE (21) (cf. plan en page suivante).

A detailed topographic map of the Auxonne region. The map shows the town of Auxonne at the center, with the Saône river flowing through it. To the west is Villers-les-Pots, and to the east is la Courbe. The map includes various geographical features like forests (Bois), fields, and roads. A red circle with a white dot in the center marks the 'Site', with a red arrow pointing to it from a red box labeled 'Site'. The map also shows the D 20 road and the D 2015 road. The scale is 1:50,000, and a scale bar indicates 0 to 1000 meters.

5

I.5 Risques naturels :

I.5.1 Aléa retrait-gonflement des argiles :

D'après la carte des risques établie par le BRGM, le secteur étudié est situé en limite d'une zone d'aléa moyenne concernant le retrait-gonflement des argiles (cf. carte ci-dessous).

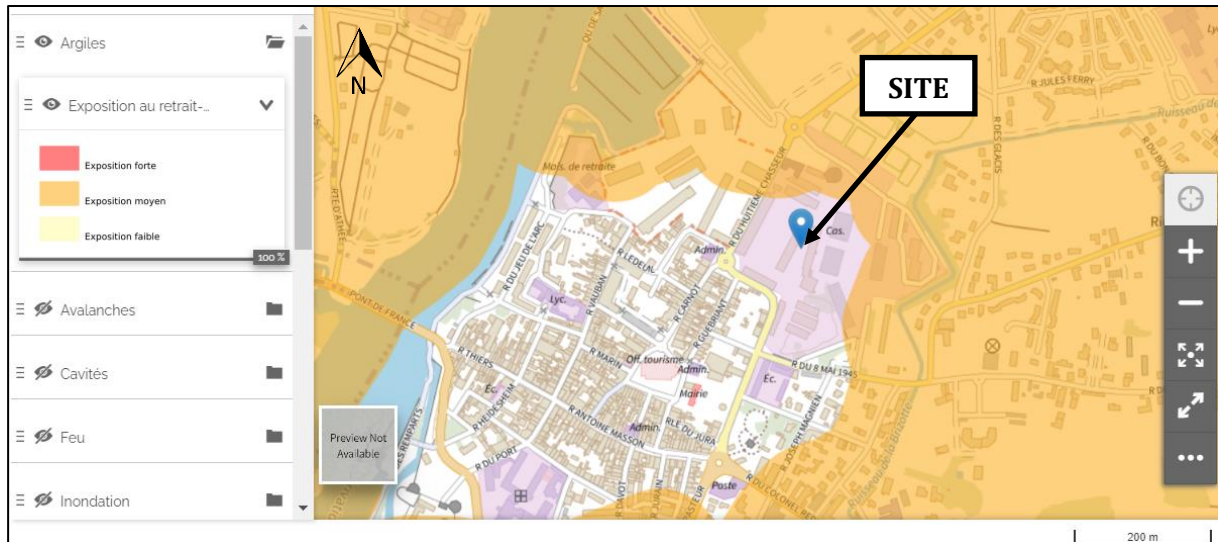


Figure 4 : Carte d'aléa retrait-gonflement des argiles – Extrait du site www.georisques.fr

I.5.2 Aléa remontées inondations :

L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors de l'eau. Elle peut être liée à un phénomène de débordement de cours d'eau, de ruissellement, de remontées de nappes d'eau ou de submersion marine.

D'après la carte du risque de remontée de nappe (cf. extrait de carte ci-dessous), le secteur étudié se trouve dans une zone sujette aux débordements de nappes et inondations de cave.

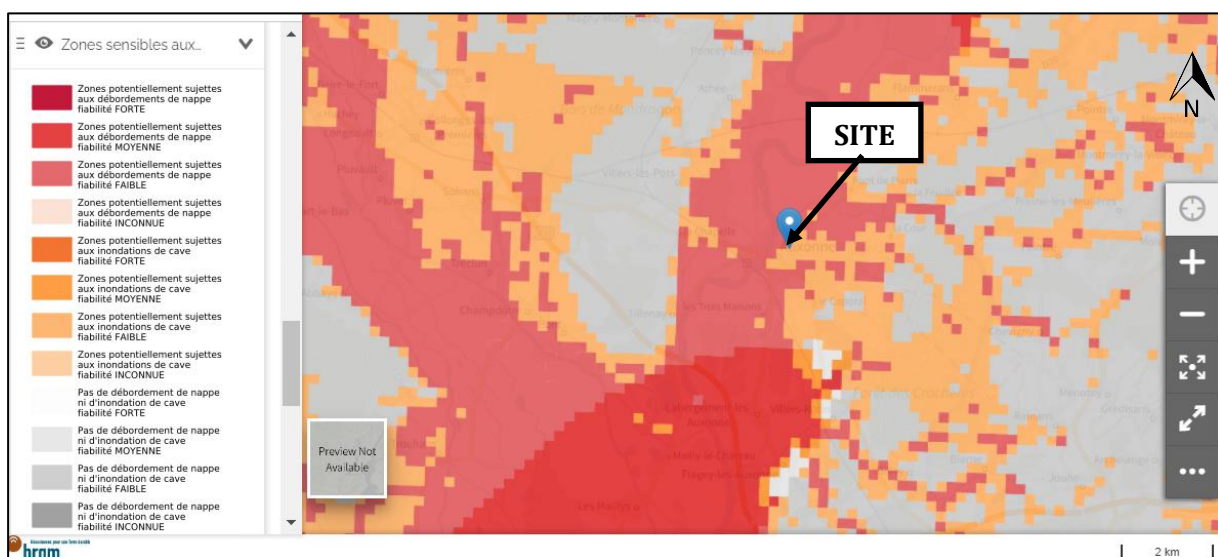


Figure 5 : Carte d'aléa inondation de nappe – Extrait du site www.georisques.fr

I.5.3 Aléa sismique :

Le zonage sismique de la France (datant d'octobre 2010 et, entré en vigueur le 01/05/2011) classe la commune de Auxonne (21) en zone d'aléa sismique 2 (aléa faible – accélération $a_{gr} = 0.7 \text{ m/s}^2$).

La carte et le tableau ci-dessous résument ces éléments :

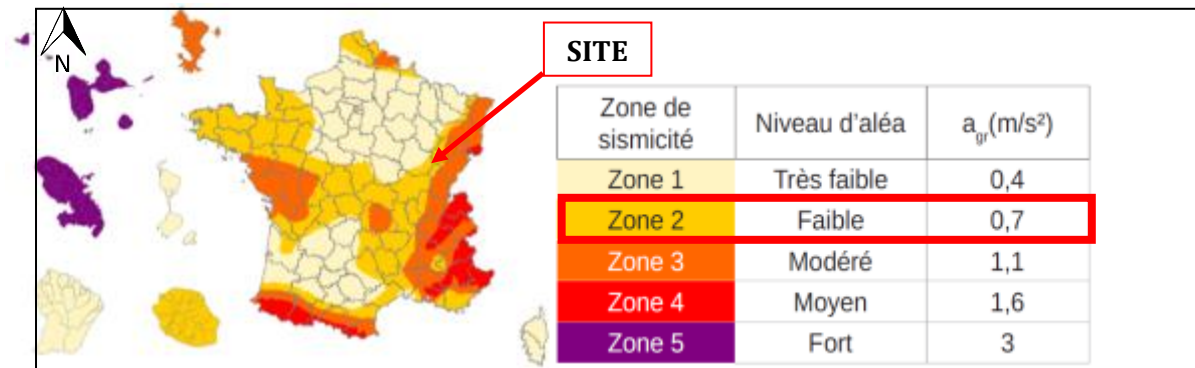


Figure 6 : Carte du zonage sismique et tableau des accélérations correspondantes

II. MISSION ET PROGRAMME DE RECONNAISSANCE :

II.1 Mission :

Cette étude a pour but de reconnaître les fondations et dallage de l'existant et de définir les caractéristiques des fondations et dallage pour le projet de réhabilitation, en fonction de la nature, de l'épaisseur et de la compacité des différents terrains rencontrés.

Il s'agit d'une mission de type G2 AVP, suivant la Définition et la Normalisation des Missions du Géotechnicien établies en novembre 2013 (Norme NF P 94-500 présentée en annexe 1).

Elle fait suite aux missions G1 et G5.

II.2 Consistance des investigations :

Pour répondre aux objectifs présentés ci-avant, nous avons réalisé les investigations suivantes durant les missions G1 (ES+PGC) et G5 :

In situ :

- **6 sondages de reconnaissance géologique (nommés SP1 à SP6 et T3)** réalisé en diamètre $\varnothing 66$ mm et descendus entre 10.00 m et 15.00 m de profondeur/TA. Ils ont permis de déterminer les limites et la nature des couches géologiques, d'observer les éventuelles venues d'eau et de prélever des échantillons.
- **5 profils pressiométriques (réalisé dans les sondages SP)**, à raison de 9 à 13 essais par sondage (norme NF P 94-110). La réalisation de ces essais a permis de déterminer les caractéristiques mécaniques des sols rencontrés (pressions de fluage, modules pressiométriques et pressions limites).

- 3 fouilles de reconnaissance de fondation (nommée RF1, RF2 et RF3), réalisée à la pelle mécanique et permettant de relever la géométrie des fondations existantes, de déterminer la profondeur et la nature des sols d'assise et de prélever des échantillons.

En laboratoire :

- 5 identifications GTR, comprenant 3 analyses granulométrique, 3 mesures de la teneur en eau et 3 déterminations de la valeur au bleu.

Les documents suivants sont présentés en annexes :

- extrait de la norme NF P 94-500,
- implantation des sondages,
- résultats des investigations in situ.

III. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS :

III.1 Implantation :

La position des sondages figure sur le plan d'implantation en annexe.

L'implantation a été réalisée au mieux des conditions d'accès, de la présence de réseaux et de la précision des plans remis pour la campagne de reconnaissance.

Les cotes altimétriques locales du Terrain Actuel (TA) au droit des sondages sont présentés dans le tableau en page suivante :

Tableau 1 : Coordonnées des points de sondage

Sondage	X	Y	Z
RF1	1881116.707	6224485.672	187.77
RF2	1881176.473	6224549.247	188.85
RF3	1881183.941	6224458.328	188.91
SP1	1881114.568	6224486.572	187.87
SP2	1881158.086	6224498.169	188.79
T3	1881188.766	6224454.472	189.02
SP4	1881197.627	6224554.783	187.57
SP5	1881137.883	6224558.248	187.75
SP6	1881164.994	6224568.822	187.80

III.2 Géologie :

Les coupes de sondages sont jointes en annexe. Les profondeurs citées dans le présent rapport ont été mesurées par rapport au Terrain Actuel (TA) tel qu'il était lors de notre intervention (juillet 2024).

Les sondages de reconnaissance ont permis de mettre en évidence les faciès suivants de haut en bas :

Tableau 2 : Géologie au droit des sondages

Sondage	RF1 (en m/TA)	RF2 (en m/TA)	RF3 (en m/TA)
Remblais Sablo-graveleux +/- limoneux	0.00 à 2.60	0.00 à 0.50	0.00 à 1.50
Gros blocs	-	0.50 à 0.70	-
Limon sableux (marron)	2.60 à 4.80*	-	-

*Profondeur maximale investiguée - Non concerné

Remarque : ces profondeurs n'impliquent en rien qu'il ne puisse exister d'anomalie de la stratigraphie entre sondages.

III.3 Géomécanique :

Les essais pressiométriques réalisés ont permis de mettre en évidence des caractéristiques mécaniques :

- faibles à sur-consolidées dans les **remblais Sablo-graveleux +/- limoneux**,
- médiocres à faibles dans les **limons sableux**,
- faibles à moyennes dans les **sables limoneux**,
- faibles à élevées dans les **sables graveleux**,
- moyennes à élevées dans les **marnes altérée**.

Le tableau suivant présente les caractéristiques mécaniques des faciès rencontrés :

Tableau 3 : Caractéristique mécanique des faciès

Formation	Nombre d'essais pressiométriques	Pressions Limites (Mpa)			Modules pressiométriques (Mpa)		
		Min	Max	Moyenne géométrique	Min	Max	Moyenne harmonique
Remblais Sablo-graveleux +/- limoneux	10	0.12	0.58	0.25	0.9	11.1	1.8
Limon sableux	6	0.02	0.32	0.13	0.7	3.1	1.65
Sable limoneux	19	0.10	1.85	0.57	0.8	14.7	4.2
Sable graveleux	20	0.08	3.35	0.43	0.5	52.7	2.2
Marne altérée	2	1.20	2.30	1.66	12.9	18.6	15.2

III.4 Hydrogéologie :

Lors de notre intervention (juillet 2024), des niveaux d'eau en fin de chantier ont été observés aux profondeurs et aux cotes altimétriques suivantes :

Tableau 4 : Profondeur du niveau d'eau au droit des sondages

Sondages	SP1 (en m/TA)	SP2 (en m/TA)	T3 (en m/TA)	SP4 (en m/TA)	SP5 (en m/TA)	SP5 (en m/TA)
Profondeur du niveau d'eau en fin de chantier (m/TA)	5.45	5.65	/	5.65	5.25	5.35
Cote altimétrique du niveau d'eau en fin de chantier (m NGF)	182.46	183.14	/	181.92	182.50	182.45

III.5 Reconnaissance des fondations :

Les fouilles de reconnaissance de fondations RF1 à RF3 ont été réalisées depuis l'extérieur du bâtiment 16, 17 et 18. Elles ont permis de mettre en évidence les éléments suivants (cf. fouilles de reconnaissance de fondation RF1 à RF3 en annexe 3) :

Tableau 5 : Reconnaissance des fondations

Sondage	RF1	RF2	RF3
Hauteur du soubassement	-	-	0.98 m
Type de fondation	Continuité du mur en pierres maçonnées	Semelle filante en béton	Semelle filante en béton
Débord de la semelle par rapport au nu intérieur du mur	0.16 m	0.30 m	0.25 m
Profondeur d'encastrement	4.65 m de profondeur/TA	0.50 m de profondeur/TA	1.43 m de profondeur/TA
Cote altimétrique d'encastrement	183.12 m NGF	188.35 m NGF	187.48 m NGF
Terrain d'assise	Limon sableux (marron)	Remblais Sablo-graveleux +/- limoneux	Remblais Sablo-graveleux +/- limoneux
Observations	Réseaux Elec	Gros blocs sous fondations	Réseaux EP

Remarque : la nature du sol d'assise, la géométrie et la profondeur d'ancrage de la fondation sont données au droit de la fouille. Ailleurs, les fondations peuvent être différentes et ancrées à des niveaux différents.

III.6 Résultats des analyses en laboratoire :

Des essais d'identification GTR ont été réalisés sur des échantillons prélevés au droit de nos sondages, les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Résultats des analyses en laboratoire

Sondage	Profondeur en (m)	Lithologie	Classification GTR	VBS	IP	IPI	Taux d'humidité en %
SP1	0.00 - 2.60	Sable Limon marron humide	B6	6	17	5	12.4
	2.60 - 6.00	Sable Limon marron humide	B6	7.5	19	6	17.2
	6.00 - 15.00	Sable Limon marron humide	B6	8.5	22	4	19.6
SP5	0.00 - 2.50	Limon sableux foncé	B6	3.2	18	6	11.0
	2.50 - 4.20	Limon sableux	B6	8.2	17	4	11.2
	4.20 - 5.80	Limon sableux humide	B6	8.5	22	4	12.4
	5.80 - 9.20	Limon marron très humide	B6	7.8	17.2	4	12.8
	9.20 - 13.60	Limon marron très humide	B6	7.8	18.8	4.2	50
	13.60 - 17.50	Marne grise sec	B6	8.5	22.3	4.5	22.8
RF1	4.60 - 4.80	Limon sableux	B6	10	22	4	13.3
RF2	0.40 – 0.70	Remblais Sablo-graveleux +/- limoneux	B6	8.8	18	4	13.3
RF3	1.40 - 1.50	Remblais Sablo-graveleux +/- limoneux	B6	8.9	24	4	13.3

Au vu des résultats, les matériaux identifiés au droit des sondages sont de classe GTR B6. Il s'agit de sols fins sablo-graveleux +/- argileux, sensibles aux variations hydriques.

IV. SISMICITE ET LIQUEFACTION DES SOLS :

IV.1 Catégories de bâtiments :

Les bâtiments à risque normal sont classés en 4 catégories d'importance croissante, de la catégorie I à faible enjeu, à la catégorie IV qui regroupe les structures stratégiques et indispensables à la gestion de crise. Le tableau suivant définit les catégories d'importance des bâtiments :

Tableau 7 : Tableau des catégories d'importance des bâtiments – Extrait du site developpement-durable.gouv.fr

Catégorie d'importance	Description
I	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Bâtiments dans lesquels il n'y a aucune activité humaine nécessitant un séjour de longue durée.
II	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Habitations individuelles. ■ Établissements recevant du public (ERP) de catégories 4 et 5. ■ Habitations collectives de hauteur inférieure à 28 m. ■ Bureaux ou établissements commerciaux non ERP, h ≤ 28 m, max. 300 pers. ■ Bâtiments industriels pouvant accueillir au plus 300 personnes. ■ Parcs de stationnement ouverts au public.
III	 <ul style="list-style-type: none"> ■ ERP de catégories 1, 2 et 3. ■ Habitations collectives et bureaux, h > 28 m. ■ Bâtiments pouvant accueillir plus de 300 personnes. ■ Établissements sanitaires et sociaux. ■ Centres de production collective d'énergie. ■ Établissements scolaires.
IV	 <ul style="list-style-type: none"> ■ Bâtiments indispensables à la sécurité civile, la défense nationale et le maintien de l'ordre public. ■ Bâtiments assurant le maintien des communications, la production et le stockage d'eau potable, la distribution publique de l'énergie. ■ Bâtiments assurant le contrôle de la sécurité aérienne. ■ Établissements de santé nécessaires à la gestion de crise. ■ Centres météorologiques.

D'après les éléments communiqués lors de l'étude, l'ouvrage concerné par la présente étude sera classé dans la catégorie IV (à confirmer par le Maître d'Ouvrage / Maître d'Œuvre).

IV.2 Coefficient d'importance :

A chaque catégorie d'importance est associé un coefficient d'importance γ_i , qui vient moduler l'action sismique de référence conformément à l'Eurocode 8. Le tableau suivant définit le coefficient d'importance γ_i selon la catégorie d'importance des bâtiments :

Catégorie d'importance	Coefficient d'importance γ_i
I	0,8
II	1
III	1,2
IV	1,4





Tableau des coefficients d'importance – Extrait du site developpement-durable.gouv.fr

Concernant l'ouvrage classé dans la catégorie IV, le coefficient d'importance γ_i est de 1.4.

IV.3 Exigence sur le bâti neuf :

Les exigences sur le bâti neuf dépendent de la catégorie d'importance du bâtiment et de la zone de sismicité. Le tableau en page suivante récapitule les exigences à prendre en compte en fonction de la catégorie des bâtiments :

Tableau 8 : Exigences sur le bâti neuf – Extrait du site developpement-durable.gouv.fr

	I	II	III	IV
				
Zone 1	aucune exigence			
Zone 2				
Zone 3		PS-MI ¹	Eurocode 8 ³ $a_g=1,1 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 ³ $a_g=1,1 \text{ m/s}^2$
Zone 4		PS-MI ¹	Eurocode 8 ³ $a_g=1,6 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 ³ $a_g=1,6 \text{ m/s}^2$
Zone 5		CP-MI ²	Eurocode 8 ³ $a_g=3 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 ³ $a_g=3 \text{ m/s}^2$

¹ Application possible (en dispense de l'Eurocode 8) des PS-MI sous réserve du respect des conditions de la norme PS-MI

² Application possible du guide CP-MI sous réserve du respect des conditions du guide

³ Application obligatoire des règles Eurocode 8

Concernant la présente étude (ouvrage de catégorie IV situé en zone d'aléa sismique 2), l'application des prescriptions parasismiques particulières de l'Eurocode 8 est donc obligatoire.

IV.4 Classe de sols selon l'Eurocode 8 :

La nature locale du sol influence fortement la sollicitation ressentie au niveau des bâtiments. L'Eurocode 8 distingue 7 catégories principales de sols (de la classe A à la classe S2) pour lesquelles est défini un coefficient de sol S . Le paramètre S permet de traduire l'amplification de la sollicitation sismique exercée par certains sols.

Le tableau présenté en page suivante récapitule les différentes classes de sol en fonction du profil stratigraphique.

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres						
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (coups/30 cm)	c_u (kPa)	Type de sol	Pressiomètre		CPT
						p_l (MPa)	E_M (MPa)	q_c (Mpa)
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant.	>800				> 5	> 100	
B	Dépôts raides de sables, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des caractéristiques mécaniques avec la profondeur	360-800	>50	>250	sols granulaires	> 2	> 20	> 15
					sols cohérents	> 2	> 25	> 3,5
C	Dépôts profonds de sables de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines de mètres à plusieurs centaines de mètres.	180-360	15-50	70-250	sols granulaires	> 1	> 8	> 5
					sols cohérents	> 0,5	> 5	> 1,5
D	Dépôts de sols sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant en majorité des sols cohérents mous à fermes.	< 180	< 15	<70	sols granulaires	< 1	< 8 MPa	< 5
					sols cohérents	< 0,5	< 5 Mpa	< 1,5
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de v_s de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m, reposant sur un matériau plus raide avec $v_s > 800$ m/s.							
S_1	Dépôts composés, ou contenant, une couche d'au moins 10 m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé ($IP > 40$) et une teneur en eau importante.	< 100						
S_2	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes 1 à E ou S_1 .							

Classes de sol – Extrait de l'Eurocode 8

Suivant la nature du sol, les paramètres S (coefficient de sol), TB (limite inférieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectre constante), TC (limite supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectre constante) et TD (valeur définissant le début de la branche à déplacement spectral constant) à prendre en compte sont données dans le tableau suivant :

Classe de sol	S	TB (s)	TC (s)	TD (s)
A	1.0	0.03	0.20	2.5
B	1.35	0.05	0.25	2.5
C	1.5	0.06	0.40	2.0
D	1.6	0.10	0.60	1.5
E	1.8	0.05	0.45	1.25

Spectre de réponse élastique de type 2 (zones 1 à 4)

Concernant la présente étude, les sols rencontrés appartiennent à la classe C. Les paramètres à considérer pour le projet sont les suivants : $S = 1.5$, $TB = 0.06$ s, $TC = 0.40$ s, $TD = 2.0$ s.

IV.5 Liquéfaction des sols :

On appelle liquéfaction d'un sol un processus conduisant à la perte totale de résistance au cisaillement du sol par augmentation de la pression interstitielle. Elle est accompagnée de déformations dont l'amplitude peut être limitée ou quasi illimitée.

D'après l'Eurocode 8, un sol n'est pas considéré comme liquéfiable si :

$$\frac{\gamma_i \cdot a_{gr} \cdot s}{g} < 0,15$$

Avec :

- γ_i : coefficient dépendant de la catégorie d'importance de l'ouvrage ; ici $\gamma_i = 1.4$ pour une catégorie d'importance IV à confirmer par le Maître d'Ouvrage/Maître d'Œuvre.
- a_{gr} : accélération maximale de référence dépendant de la zone de sismicité (zone de sismicité 3 – aléa modéré) ; ici $a_{gr} = 0.70 \text{ m/s}^2$.
- S : paramètre de sol dépendant de la classe de sol (classe C) ; ici $S = 1.5$.
- g : constante de gravité terrestre ; $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

$$\text{Dans le cas présent, } \frac{\gamma_i \cdot a_{gr} \cdot s}{g} = 0.149$$

Compte tenu du résultat ci-avant, nous pouvons considérer que les terrains rencontrés au droit du site ne sont pas sensibles au risque de liquéfaction.

V. PROJET DE REHABILITATION DES BATIMENTS EXISTANTS :

V.1 Rappel :

Aucune information n'a été donnée en ce qui concerne les charges qui seront apportées au droit de l'ouvrage.

A l'intérieur, aucune reconnaissance de la dalle en béton n'a été réalisée.

V.2 Critère de forme :

Bâtiment 16 :

Remarque préalable : la reconnaissance de fondation effectuée en RF1 nous révèle que la fondation est ancrée dans les limons sableux à 4.65m de profondeur/TN.

Par ailleurs, les essais pressiométriques nous révèlent des caractéristiques mécaniques faibles au sein de ces limons sableux.

La cote hors gel est respectée (0.70 m par rapport à la plus proche surface exposée aux intempéries).

Bâtiment 17 :

Remarque préalable : la reconnaissance de fondation effectuée en RF2 nous révèle que la fondation est ancrée dans les remblais Sablo-graveleux +/- limoneux à 0.50 m de profondeur/TN.

Par ailleurs, les essais pressiométriques nous révèlent des caractéristiques mécaniques faibles au sein de ces remblais.

La cote hors gel n'est donc pas respectée (0.70 m par rapport à la plus proche surface exposée aux intempéries).

Bâtiment 18 :

Remarque préalable : la reconnaissance de fondation effectuée en RF3 nous révèle que la fondation est ancrée dans les remblais Sablo-graveleux +/- limoneux à 1.43 m de profondeur/TN.

Par ailleurs, les essais pressiométriques nous révèlent des caractéristiques mécaniques faibles au sein de ces remblais.

La cote hors gel est respectée (0.70 m par rapport à la plus proche surface exposée aux intempéries).

V.3 Capacité portante de l'existant :

Dans ce cas, la contrainte maximale applicable pour les justifications vis-à-vis des Etats Limites Ultimes (q'_{ELU}) et de Services (q'_{ELS}) seront limitées, conformément à l'Eurocode 7 et sa norme d'application NF P 94-261, à :

Bâtiment 16, 17 et 18 :

q'_{ELS} quasi-permanent et caractéristique ≤ 0.10 MPa
 q'_{ELU} fondamental et sismique ≤ 0.26 MPa
 q'_{ELU} accidentel ≤ 0.30 MPa

Remarque : les descentes de charges devront être estimées par un bureau d'étude structure.

V.4 Création de nouvelles fondations :

➤ **Bâtiment 17 et 18 :**

✓ **Solution 1 :**

V.4.1 Principe de fondations :

Le mode de fondations du projet devra faire état de l'importance et de la géométrie des charges apportées ainsi que de la nécessité de mobiliser un horizon portant, homogène et de bonne qualité.

Compte-tenu des terrains rencontrés et en fonction du niveau fini, il est proposé une solution de fondations superficielles (semelles filantes et/ou isolées, massifs) à semi-profondes (puits) ancrées de 0.30 m minimum dans les Sable limoneux de bonne compacité, satisfaisante pour le projet.

V.4.2 Profondeur d'ancrage :

L'assise minimale définie au droit des sondages se situera aux profondeurs et cotes altimétriques suivantes :

Sondage	SP2	SP4
Profondeur minimum d'encastrement (m/TA)	≥ 2.70	≥ 3.70
Cote minimum d'encastrement (m NGF)	≤ 186.09	≤ 183.87

Dans tous les cas et dans les zones les plus exposées, cet encastrement devra assurer les conditions de mise hors-gel et hors dessiccation des fondations, soit une profondeur d'encastrement minimum de 0.80 m par rapport à la plus proche surface exposée aux intempéries (cf. schéma ci-après).

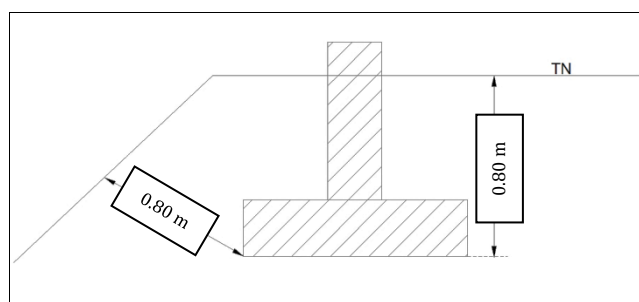


Schéma de mise hors gel

Les profondeurs d'encastresments devront être ajustées à l'ouverture des fouilles.

Celles-ci sont données au droit des sondages réalisés. Des sur-profondeurs de l'horizon d'ancrage ne sont pas exclues, ce qui pourra nécessiter des approfondissements locaux de l'assise des fondations.

V.4.3 Contraintes de calculs :

Conformément à l'Eurocode 7 et sa norme d'application NF P 94-261, sous réserve du respect du principe de fondation précitée, les contraintes centrées de calculs à prendre en compte pour les justifications vis-à-vis des Etats Limites Ultimes (q'_{ELU}) et de Services (q'_{ELS}) seront limitées à :

$$\begin{aligned} q'_{ELU} \text{ fondamental et sismique} &\leq 0.41 \text{ MPa} \\ q'_{ELU} \text{ accidentel} &\leq 0.48 \text{ MPa} \\ q'_{ELS} \text{ quasi-permanent et caractéristique} &\leq 0.25 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Nota : l'attention est attirée sur le fait que ces calculs n'ont de validité qu'au droit des sondages. Ailleurs des hétérogénéités naturelles de stratigraphie et de caractéristiques mécaniques des sols peuvent induire des contraintes de calculs supérieures ou inférieures à celles ici estimées.

V.4.4 Evaluation des tassements :

Conformément à l'Eurocode 7, dans le cas du respect des préconisations décrites ci-avant et la réalisation de l'ouvrage dans les règles de l'art, pour la valeur de contrainte de service donnée ci-dessus, les tassements théoriques absolus et différentiels prévisibles au droit de nos sondages seront **inférieurs au centimètre**.

Ces tassements sont donnés pour des géométries de fondations de type :

- semelles isolées/massifs/plots de 0.60 m x 0.60 m,
- semelles filantes de 0.50 m de largeur.
- puits de diamètre minimal de 0.60 m.

Les tassements théoriques calculés s'entendent pour une mise en œuvre des fondations selon les règles de l'art en accord avec les prescriptions de l'Eurocode 7 et de sa norme d'application NF P 94-261.

Les valeurs définitives de tassements seront à vérifier dès que les descentes de charges réelles du projet seront connues (mission G2-PRO).

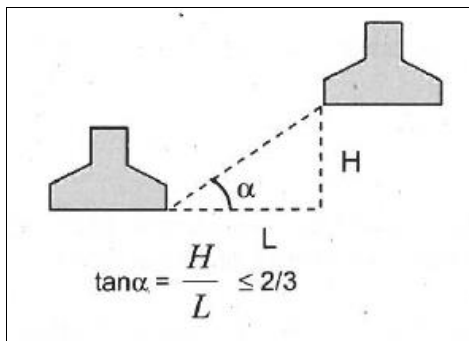
Nota : l'attention est attirée sur le fait que ces calculs n'ont de validité qu'au droit des sondages. Ailleurs des hétérogénéités naturelles de stratigraphie et de caractéristiques mécaniques des sols peuvent induire des tassements absolus et différentiels supérieurs ou inférieurs à ceux ici estimés.

V.4.5 Dispositions constructives :

Les dispositions constructives suivantes devront être respectées :

- largeur minimale des fondations de 0.50 m pour les semelles filantes et de 0.60 m pour les semelles isolées/massifs, afin d'assurer un bon contact sol/fondation ;
- assise des fondations horizontale ;
- sol d'assise des fondations homogène ;

- mise en place d'un béton de propreté immédiatement après l'ouverture des fouilles de fondation sur une épaisseur minimum de 5 cm ;
- prévoir des joints de construction entre les parties différemment chargées du bâtiment ;
- respect des règles de l'Eurocode 7 et de sa norme d'application NF P 94-261 concernant les fondations à niveaux d'assise décalés (cf. schéma ci-après).



Remarques :

Le plan de fondation sera conçu de manière à éviter les affouillements sous les existants et les tassements par influence.

Le plan de fondation et le mode d'exécution des terrassements seront adaptés en conséquence (semelles isolées déportées, recentrage des charges par longrines de redressement et semelles filantes perpendiculaires, blindage, reprise en sous-œuvre...).

V.4.6 Dispositions constructives complémentaires (sols sensibles au phénomène de retrait-gonflement) :

Afin de limiter les effets des variations volumétriques des sols lors des déséquilibres hydriques (les faciès sont potentiellement gonflantes et le site se place en zone d'aléa moyen vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement des argiles – chapitre 1.5.1), il convient de prévoir les dispositions constructives complémentaires suivantes :

- raidissement suffisant de la structure des bâtiments (*chaînages verticaux et horizontaux...*) de façon à obtenir un ensemble monolithique ;
- réalisation des fondations en mobilisant le plus possible la totalité de la contrainte admissible aux ELS ;
- rigidification des fondations au moyen de semelles filantes entrecroisées, de manière à reprendre la pression de gonflement des argiles et à limiter les tassements différentiels ;
- prévoir toute plantation d'arbre à une distance supérieure à la hauteur adulte H dudit arbre s'il s'agit d'un arbre isolé, ou 1.5 H s'il s'agit d'une haie (sauf si un écran anti-racine est mis en œuvre sur une profondeur minimale de 2.00 m) afin d'éviter la dessiccation des argiles liée à la succion du système racinaire ;
- dispositif anti-racine en cas de présence d'arbres à proximité du bâtiment ;
- réseaux d'eau (*AEP, EP, EU*) totalement désolidarisés de la structure et proscrits sous le bâtiment, sauf s'ils sont parfaitement étanches, avec exutoire éloigné de la construction ; les autres réseaux sensibles seront équipés de raccords souples ;

- récupérer les eaux de toiture au moyen de gouttières et les diriger vers un réseau d'eau pluviale étanche (une infiltration des eaux de toiture au niveau des fondations entraînerait une hydratation des argiles et un gonflement de celles-ci) ;
- s'assurer de l'étanchéité des canalisations d'évacuation et mettre en œuvre des joints souples aux raccordements afin d'éviter les fuites d'eau et donc le gonflement des argiles ;
- prévoir le captage des écoulements superficiels (mise en œuvre de drains conformément au DTU 20.1) avec une distance minimum de 2.00 m à respecter entre la construction et le drain (surtout ne pas mettre de drain agricole ; il faut prévoir un drain crépiné uniquement sur son demi-périmètre supérieur avec une forme étanche sur son demi-périmètre inférieur).

V.4.7 Suggestions d'exécutions :

Les fonds de fouille seront finis manuellement ou au godet de curage.

Le béton de propreté ou le gros béton devra être coulé aussitôt après les terrassements afin d'éviter toute altération et décompression du sol d'assise. Le béton des fondations sera ensuite coulé pleine fouille sur toute la hauteur.

Lors de la mise en œuvre du fond de fouille, toutes poches ou lentilles plus compressibles que le terrain environnant, ainsi que tous points durs pouvant provoquer des désordres sur les fondations devront être purgés et remplacés par un gros béton coulé pleine fouille, afin d'obtenir un sol d'assise de compacité et d'homogénéité satisfaisante.

Dans le cas de sols impropres, remaniés ou déconsolidés, rencontrés lors de l'ouverture des fouilles, leur purge devra être impérativement assurée avant coulage du béton de propreté.

Il est impératif de vérifier soigneusement les matériaux extraits des fouilles pour s'assurer du bon ancrage dans les sables limoneux de compacité satisfaisante pour le projet.

Les fouilles de fondations devront être maintenues parfaitement stables pendant leur exécution. Un blindage s'avérera nécessaire. Ce matériel devra être présent sur site en phase travaux.

Pour la réalisation des puits, en cas de présence d'eau dans le sol, le bétonnage se fera au tube plongeur selon la technique pieux.

Tous les travaux devront être réalisés selon les règles de l'art.

V.5 Dallage :

Compte tenu des caractéristiques mécaniques très faibles à faibles des remblais graveleux tendres sur le premier mètre, on s'orientera vers une solution de plancher bas porté par les fondations.

✓ **Solution 2 :**

D'autres solutions de confortement des fondations pourront être envisageables :

- Une solution avec injection solide par colonne de mortier sous fondation jusqu'à atteindre le substratum rocheux, donc des injections jusqu'à une profondeur de 8,00 m par rapport au niveau du sol.

- Une solution avec injection en jet de coulis de ciment (Jet Grouting) sous fondation (cette solution sera soumise à l'avis des entreprises compétentes) jusqu'à atteindre le substratum rocheux, donc des injections jusqu'à une profondeur de 8,00 m par rapport au niveau du sol.

Ces solutions devront être calculées et dimensionnées par des entreprises de fondations spéciales.

- **Bâtiment 16 :**

V.6 Principe de fondations :

Etant donnée la nature et la faible compacité des terrains sur des épaisseurs importantes, une solution de fondation superficielle est proscrite.

Préalablement à tous travaux de reprise, une étude structure devra être réalisée par un BET spécialisé pour étudier la structure de l'ouvrage et estimer les descentes de charges.

Toute infiltration d'eau au niveau des fondations est à proscrire. Les eaux de ruissellement et de toiture seront collectées (gouttières, contre-pente, avaloires) et évacuées vers un exutoire suffisamment dimensionné et implanté de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants.

Plusieurs solutions de confortement sont envisageables :

- Une solution avec **injection solide par colonne de mortier sous fondation** jusqu'à atteindre le substratum rocheux, donc des injections jusqu'à une profondeur de 13.00 m à 15,00 m par rapport au niveau du sol.
- Une solution avec **injection en jet de coulis de ciment (Jet Grouting) sous fondation** (cette solution sera soumise à l'avis des entreprises compétentes) jusqu'à atteindre le substratum rocheux, donc des injections jusqu'à une profondeur de 13.00 m à 15.00 m par rapport au niveau du sol.
- Si ces solutions sont trop contraignantes, on pourra s'orienter vers une solution de reprise en sous-œuvre de l'ensemble des fondations par micropieux. La mise en œuvre de longrines sera nécessaire pour reprendre les efforts de flexion entre deux micropieux.

Le principe de fondation consistera à reporter les charges de la structure projetée par l'intermédiaire de **micropieux** descendus dans les marnes altérés.

Les micropieux pourront être mis en œuvre selon la technique injecté mode IGU (type III) « MIGU » (cf. tableau en page suivante, extrait de la norme d'application NF P 94-262).

Tableau 9 : Classes et catégories de pieux/micropieux

Classe	Catégorie	Technique de mise en œuvre	Abréviation	Norme de référence
1	1	Foré simple (pieux et barrettes)	FS	NF EN 1536
	2	Foré boue (pieux et barrettes)	FB	
	3	Foré tubé (virole perdue)	FTP	
	4	Foré tubé (virole récupérée)	FTR	
	5	Foré simple ou boue avec rainurage ou puits	FSR, FBR, PU	
2	6	Foré tarière creuse simple rotation, ou double rotation	FTC, FTCD	NF EN 1536
3	7	Vissé moulé	VM	NF EN 12699
	8	Vissé tubé	VT	
4	9	Battu béton préfabriqué ou précontraint	BPF, BPR	NF EN 12699
	10	Battu enrobé (béton – mortier – coulis)	BE	
	11	Battu moulé	BM	
	12	Battu acier fermé	BAF	
5	13	Battu acier ouvert	BAO	NF EN 12699
6	14	Profilé H battu	HB	NF EN 12699
	15	Profilé H battu injecté	HBi	
7	16	Palplanches battues	PP	NF EN 12699
1 bis	17	Micropieu type I	M1	NF EN 1536/14199/12699
	18	Micropieu type II	M2	
8	19	Pieu ou micropieu injecté mode IGU (type III)	PIGU, MIGU	
	20	Pieu ou micropieu injecté mode IRS (type IV)	PIRS, MIRS	

V.7 Méthode de calculs selon l'Eurocode 7 et sa norme d'application NF P 94-262 :

➤ Principe :

La norme propose 4 modèles de calculs. Nous utiliserons ici l'approche « modèle de terrain » en considérant une condition de site simple.

La stabilité d'un pieu fait intervenir 3 termes :

- terme de pointe (R_b) – négligé pour les micropieux,
- terme de frottement axial (R_s),
- terme de frottement négatif (G_{sn}) – négligé dans le cas du prédimensionnement.

➤ **Définition des termes de pointe (R_b) – frottement axial (R_s) – frottement négatif (G_{sn}) :**

Terme de frottement axial (R_s) :

La résistance à la rupture au frottement axial (R_s) est obtenue par la relation suivante :

$$R_s = \sum_i (P_{si} \times q_{si} \times h_i)$$

Dans laquelle :

- P_s = périmètre du micropieu,
- h_i = hauteur de pieu sur laquelle s'exerce le frottement dans la couche i ,
- q_s = frottement axial unitaire limite de chaque couche = $q_s(z) = \alpha_{\text{pieu-sol}} f_{\text{sol}}[Pl^*z]$

Où :

- $pl^*(z)$: pression limite à la profondeur z ;
- $\alpha_{\text{pieux-sol}}$: paramètre adimensionnel qui dépend à la fois du type de micropieu et du type de sol ;
- f_{sol} : fonction qui ne dépend que du type de sol et des valeurs de pl^* .

Terme de frottement négatif (G_{sn}) :

Les frottements négatifs se produisent généralement lors de la mise en œuvre d'un remblai sur sol compressible ou au sein d'argiles gonflantes, à proximité d'un pieu. Si une couche molle est surchargée par un remblai, elle va tasser sous le poids de la surcharge. Le sol s'enfonce par rapport au pieu. S'il y a déplacement, il y a frottement au contact sol/micropieu. Il se développe un frottement latéral dirigé vers le bas qui provoque un effort de compression dans le micropieu.

Le terme de frottement négatif (G_{sn}), lié au tassement des couches de sol le long du micropieu, est considéré comme une charge. Il doit donc être ajouté aux descentes de charges ou déduit de la capacité portante nette des pieux.

Le terme de frottement négatif est obtenu par la relation suivante :

$$G_{sn} = P \int_{h_{j-1}}^{h_j} K(z) \tan \delta(z) \sigma'_v(z) dz$$

Avec :

- P : périmètre du micropieu ;
- $\sigma'_v(z)$: contrainte verticale effective à long terme à la profondeur z , au contact de l'élément de fondation, tenant compte de la perturbation engendrée par l'accrochage du sol autour de celui-ci ;
- $K(z)$: rapport entre la contrainte horizontale effective et $\sigma'_v(z)$;
- h : hauteur totale du micropieu ;
- $\tan \delta$ est un coefficient de frottement dont la valeur dépend de la nature du contact sol-paroi.

Dans le cas présent, le frottement négatif sera négligé en l'absence de remblaiement.

➤ **Calcul de la capacité portante – Résistance caractéristique ($R_{c,k}$) :**

D'après l'EC7 et sa norme d'application, nous obtenons (ici, en négligeant le terme de frottement négatif) :

$$R_c = R_b + R_s$$

Pour définir les valeurs de portances limites de modèles, on applique les coefficients partiels de modèles suivants, adaptées au type de pieux (ici, MIGU) et au modèle de terrain :

	$\gamma_{R;d1}$		$\gamma_{R;d2}$
	Compression	Traction	
Micropieux « MIGU »	1.40	1.70	1.10

On obtient alors :

$$R_{b;k} = \frac{R_b}{\gamma_{R;d1} \gamma_{R;d2}} \quad R_{s;k} = \frac{R_s}{\gamma_{R;d1} \gamma_{R;d2}}$$

En compression : $R_{c;k} = R_{b;k} + R_{s;k}$

En traction : $R_{t;k} = R_{s;k}$

➤ **Calcul de la capacité portante – Résistance de calcul ($R_{c,d}$) – ELU et ELUA :**

Pour obtenir les capacités portantes de calculs nécessaires à la justification des ouvrages aux combinaisons ELU durable/transitoire (fondamental) et ELU Accidentel (sismique), on applique, à la capacité portante caractéristique ($R_{c,k}$) un coefficient partiel de résistance, fonction du type de pieux et de la situation examinée. Dans notre cas, on considèrera :

Aux ELU durables et transitoires :

	Symbole	Micropieu « MIGU »
Résistance en pointe	γ_b	1,1
Frottement en compression	γ_s	1,1
Frottement en traction	$\gamma_{s;t}$	1,15

Aux ELU accidentels :

	Symbole	Micropieu « MIGU »
Résistance en pointe	γ_b	1,0
Frottement en compression	γ_s	1,0
Frottement en traction	$\gamma_{s;t}$	1,05

On obtient alors :

En compression : $R_{c,d} = R_{b;k} / \gamma_b + R_{s;k} / \gamma_s$

En traction : $R_{t,d} = R_{s;k} / \gamma_{s;t}$

➤ **Calcul de la capacité portante – Résistance au fluage ($R_{c;cr;d}$) – ELS :**

Afin de vérifier les ouvrages aux combinaisons ELS, on définit la résistance de fluage par la formule suivante (pour un pieu sans refoulement) :

$$R_{c;cr;k} = 0.5R_{b;k} + 0.7R_{s;k}$$

$$R_{c;cr;d} = \frac{R_{c;cr;k}}{\gamma_{cr}}$$

Et :

$$R_{t;cr;k} = 0.7R_{s;k}$$

$$R_{t;cr;d} = R_{t;cr;k} / \gamma_{s;cr}$$

Avec :

- $R_{c;cr;k}$: valeur caractéristique de la charge de fluage à la compression.
- $R_{c;cr;d}$: valeur de calcul de la charge de fluage de compression.
- $R_{t;cr;d}$: valeur de calcul de la charge de fluage de traction.
- $R_{t;cr;k}$: valeur caractéristique de la charge de fluage de traction.
- γ_{cr} : facteur partiel sur la charge de fluage de compression.
- $\gamma_{s;r}$: facteur partiel sur la charge de fluage de traction.

Dans notre cas, on détermine les coefficients partiels comme suit :

	Symbole	Micropieux « MIGU »	
		Combinaisons caractéristiques	Combinaisons quasi-permanentes
Compression	γ_{cr}	0,9	1,1
Traction	$\gamma_{s;cr}$	1,1	1,5

V.8 Modèle géotechnique :

En considérant des estimations prudentes des paramètres géotechniques à prendre en compte dans la définition des différents critères, nous proposons pour le dimensionnement des fondations profondes le modèle géotechnique moyen suivant basé sur le sondage SP3 :

Formation	Base couche (m/TN)	Epaisseur (m)	Courbe f_{sol}	PI* (Mpa)	f_{sol} (kPa)	$\alpha_{pieu-sol}$	q_s (kPa)	$q_{s;k}$ (kPa) comp.	$q_{s;k}$ (kPa) trac.
Mort terrain	6,00	6,00	Q1 - argile, limon, CaCO ₃ <30%	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0
Sable limoneux	13,00	7,00	Q2 - sable, grave	0,6	31,6	2,9	91,8	292,0	292,0
Marne altérée	18,00	5,00	Q4 - marne et calcaire marneux	1,6	92,0	2,4	220,9	301,2	301,2

V.9 Prédimensionnement :

Pour les calculs de prédimensionnement des pieux, nous avons considéré les hypothèses suivantes :

- sondage SP1,
- type de fondation : micropieux de classe 8, catégorie 19,
- diamètres : 200 mm à 350 mm,
- ancrage de 3.00 m dans les marnes altérées pour les micropieux Ø200 et Ø300 (soit 16.00 m/TA).

Micropieux (mm)		Ø200	Ø250	Ø300	Ø350
E.L.S. quasi-permanents	$R_{c;cr;d}$ (kN)	237,2	296,5	355,8	461,2
	$R_{t;cr;d}$ (kN)	173,9	217,4	260,9	304,4
E.L.S. caractéristiques	$R_{c;cr;d}$ (kN)	289,9	362,4	434,9	563,7
	$R_{t;cr;d}$ (kN)	237,2	296,5	355,8	415,1
E.L.U fondamentales et sismiques	$R_{c;d}$ (kN)	338,8	423,6	508,3	685,2
	$R_{t;d}$ (kN)	324,1	405,1	486,2	567,2
E.L.U accidentels	$R_{c;d}$ (kN)	372,7	465,9	559,1	753,7
	$R_{t;d}$ (kN)	355,0	443,7	532,5	621,2

V.10 Précautions particulières :

La réalisation des micropieux devra tenir compte des dispositions constructives suivantes :

- la contrainte dans le béton sera limitée conformément aux Eurocodes ;
- dans la conception de la structure, la liaison structure/micropieux sera étudiée avec précision ;
- le type de béton et l'épaisseur de métal retenus devront tenir compte de l'agressivité du milieu (eau et terrains) vis-à-vis des fondations ;
- Les réseaux enterrés devront être conçus de manière à pouvoir s'adapter aux tassements différentiels qui se produisent entre les ouvrages fondés sur micropieux et leurs abords. Les réseaux sensibles seront donc équipés de raccords souples.

V.11 Suggestions d'exécutions :

Les fondations profondes seront réalisées selon les Règles de l'Art par une entreprise spécialisée et qualifiée en fondations profondes et conformément à l'Eurocode 7.

Pour traverser les terrains de forte consistance (marnes compactes) et atteindre l'ancrage nécessaire, l'entreprise devra mettre en œuvre le matériel adapté. **Ces moyens seront tels qu'ils ne provoquent pas de désordres aux avoisinants (attention aux vibrations).**

V.12 Tassements :

Sous réserve d'une exécution soignée des micropieux et du respect des hypothèses précitées, les tassements théoriques absolus seront faibles.

Dans le cas de groupes de micropieux, les paramètres précités seront adaptés en conséquence et les tassements calculés.

V.13 Remarques importantes :

Il est rappelé que les résultats fournis précédemment ne sont donnés qu'à titre indicatif et qu'une note de calcul détaillée devra être établie au stade du projet en fonction de ce dernier et des caractéristiques réelles des micropieux retenus.

La réalisation de micropieux nécessitera de forer au sein des couches de remblais, de limons sableux, de sables limoneux et de marnes altérées à compactes.

Pour optimiser le dimensionnement des fondations profondes et dans le cas de charges importantes, nous recommandons de prévoir un forage profond.

Il reviendra à l'entreprise de choisir la méthode de mise en œuvre de fondation profonde la plus appropriée afin d'atteindre les ancrages nécessaires et de ne pas déstabiliser les structures avoisinantes.

Si un ancrage suffisant s'avère impossible pour reprendre des charges importantes (refus de la machine), il sera alors possible de réaliser des doublets ou triplets de micropieux afin d'augmenter la charge admissible. L'ancrage devra respecter en tout état de cause une hauteur minimale de 3 diamètres. Ce choix devra respecter les préconisations d'exécution (distance entre micropieux, délai d'exécution entre chaque micropieu, ...).

Dans tous les cas, la méthodologie mise en œuvre devra tenir compte des mitoyens/avoisinants au projet (attention aux vibrations et affouillements sous les existants).

V.14 Dallage

La solution retenue pour le niveau bas est de type plancher porté par les fondations.

VI. EAU ET DRAINAGE :

VI.1 Phase provisoire :

En fonction de la date de réalisation des travaux et des conditions météorologiques lors des terrassements (ruissellement, infiltration des eaux pluviales, remontée de nappe...), un pompage provisoire pourra s'avérer nécessaire afin d'épuiser les venues d'eau et d'assécher les fouilles des terrassements généraux.

On privilégiera la réalisation des travaux de terrassement en déblais en période sèche/de basses eaux.

En phase chantier, il conviendra :

- de récupérer le ruissellement et les eaux infiltrées sur des formes terrassées en forme de pente,
- de mettre en œuvre des drains au droit des fils d'eau,
- de prévoir la décantation éventuelle des eaux récupérées, avant envoi dans un exutoire existant ou à créer (dimensionné de manière suffisante et implanté de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants),

- de pomper les venues d'eau éventuelles en fonds de fouilles et d'assurer leur évacuation (après décantation éventuelle) dans un exutoire existant ou à créer et implanté de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants.

On envisagera de modeler les fonds de fouilles des terrassements généraux en toit avec une pente d'au moins 2 % pour permettre l'évacuation des eaux de surface vers des fossés périphériques et le rejet des eaux vers un exutoire gravitaire ou par pompage.

Remarque : dans tous les cas, l'incidence hydraulique du projet devra être prise en compte vis-à-vis des avoisinants (attention aux départs de fines, affouillements et tassements hydrauliques sous les existants).

VI.2 Phase définitive :

Toute infiltration d'eau au niveau des fondations est à proscrire. Les eaux de ruissellement et de toiture seront collectées (gouttières, contre-pente, avaloires) et évacuées vers un exutoire suffisamment dimensionné et implanté de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants.

*

* *

La mise en œuvre de l'ensemble des missions géotechniques (G2 PRO, G3 et G4) devra suivre la présente étude (mission G2 AVP). Le schéma d'enchaînement et la classification des missions types d'ingénierie géotechnique, extraits de la norme NF P 94-500, figurent en annexe 1 du présent rapport. Nous restons à l'entière disposition des Responsables du Projet pour tout renseignement, ainsi que pour toutes missions complémentaires nécessaires.

Les conclusions de ce présent rapport sont données sous réserve des conditions particulières jointes.

VII. Annexe :

VII.1 Classification et enchainement des missions d'ingénierie géotechnique :

Tout ouvrage est en interaction avec son environnement géotechnique. C'est pourquoi, au même titre que les autres ingénieries, l'ingénierie géotechnique est une composante de la maîtrise d'œuvre indispensable à l'étude puis à la réalisation de tout projet.

Le modèle géologique et le contexte géotechnique général d'un site, définis lors d'une mission géotechnique préliminaire, ne peuvent servir qu'à identifier des risques potentiels liés aux aléas géologiques du site. L'étude de leurs conséquences et de leur réduction éventuelle ne peut être faite que lors d'une mission géotechnique au stade de la mise au point du projet : en effet, les contraintes géotechniques de site sont conditionnées par la nature de l'ouvrage et variables dans le temps, puisque les formations géologiques se comportent différemment en fonction des sollicitations auxquelles elles sont soumises (géométrie de l'ouvrage, intensité et durée des efforts, cycles climatiques, procédés de construction, phasage des travaux notamment).

L'ingénierie géotechnique doit donc être associée aux autres ingénieries, à toutes les étapes successives d'étude et de réalisation d'un projet, et ainsi contribuer à une gestion efficace des risques géologiques afin de fiabiliser le délai d'exécution, le coût réel et la qualité des ouvrages géotechniques que comporte le projet.

L'enchainement et la définition synthétique des missions types d'ingénierie géotechnique sont donnés dans les tableaux 1 & 2.

Les éléments de chaque mission sont spécifiés dans les chapitres 7 à 9. Les exigences qui y sont présentées sont, à respecter pour chacune des missions, en plus des exigences générales décrites au chapitre 5 de la présente norme.

L'objectif de chaque mission, ainsi que ses limites, sont rappelés en tête de chaque chapitre.

Tableau 1 – Schéma d'enchainement des missions types d'ingénierie géotechnique

Enchainement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Etape 1 : Etude géotechnique préalable (G1)		Etude géotechnique préalable (G1) Phase Etude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Etude préliminaire, esquisse, APS	Etude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Etape 2 : Etude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Etude géotechnique de conception (G2) Phase Avant – projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Etude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Etude géotechnique de conception (G2) Phase DCE/ACT		Consultation sur le projet de base/ Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Etape 3 : Etudes géotechniques de réalisation (G3/G4)		A la charge de l'entreprise		A la charge du maître d'ouvrage		
	EXE/MISA	Etude et suivi géotechnique d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Etude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Etude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Etude et suivi géotechnique d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Etude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
A toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

VII.2 Tableau : Classification des missions types d'ingénierie géotechnique :

<p>L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.</p>
<p>ETAPE 1 : ETUDE GEOTECHNIQUE PREALABLES (G1) Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre d'une mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases : <u>Phase Etude de Site (ES)</u> Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours. - Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. - Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs. <p><u>Phase Principes Généraux de Construction (PGC)</u> Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. - Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).
<p>ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2) Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases : <u>Phase Avant-projet (AVP)</u> Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. - Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechniques et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques. <p><u>Phase Projet (PRO)</u> Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifiques, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. - Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités. <p><u>Phase DCE/ACT</u> Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etablir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel). - Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

ETAPE 3 : ETUDES GEOTECHNIQUES DE REALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées) ETUDE ET SUIVI

GEOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Etude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Etudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Elaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire les dispositions constructives prédéfinies en phase Etude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Etablir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents si nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

SUPERVISION GEOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechnique d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Supervision de l'étude exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur le contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), le comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou l'optimisation de l'ouvrage géotechniques proposée par l'entrepreneur (G3).
- Donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Etudier un ou plusieurs éléments géotechniques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

VII.3 Conditions générales des missions géotechniques :

1. Cadre de la mission

Par référence à la norme NF P 94-500 sur les missions d'ingénierie géotechnique (en particulier extrait de 2 pages du chapitre 4 joint à toute offre et à tout rapport), il appartient au maître d'ouvrage et à son maître d'œuvre de veiller à ce que toutes les missions d'ingénierie géotechnique nécessaires à la conception puis à l'exécution de l'ouvrage soient engagées avec les moyens opportuns et confiées à des hommes de l'Art. L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique suit la succession des phases d'élaboration du projet, chacune de ces missions ne couvrant qu'un domaine spécifique de la conception ou de l'exécution. En particulier :

- Les missions d'étude géotechnique préliminaire de site (G11), d'étude géotechnique d'avant-projet (G12), d'étude géotechnique de projet (G2), d'étude et suivi géotechniques d'exécution (G3), de supervision géotechnique d'exécution (G4) sont réalisées dans l'ordre successif ;
- Exceptionnellement, une mission confiée à notre société peut ne contenir qu'une partie des prestations décrites dans la mission type correspondante après accord explicite, le client confiant obligatoirement le complément de la mission à un autre prestataire spécialisé en ingénierie géotechnique ;
- L'exécution d'investigations géotechniques engage notre société uniquement sur la conformité des travaux exécutés à ceux contractuellement commandés et sur l'exactitude des résultats qu'elle fournit ;
- Toute mission d'ingénierie géotechnique n'engage notre société sur son devoir de conseil que dans le cadre strict, d'une part, des objectifs explicitement définis dans notre proposition technique sur la base de laquelle la commande et ses avenants éventuels ont été établis, d'autre part, du projet du client décrit par les documents graphiques ou plans cités dans le rapport ;
- Toute mission d'étude géotechnique préliminaire de site, d'étude géotechnique d'avant-projet ou de diagnostic géotechnique exclut tout engagement de notre société sur les quantités, coûts et délais d'exécution des futurs ouvrages géotechniques. De convention expresse, la responsabilité de notre société ne peut être engagée que dans l'hypothèse où la mission suivante d'étude géotechnique de projet lui est confiée
- Une mission d'étude géotechnique de projet G2 engage notre société en tant qu'assistant technique à la maîtrise d'œuvre dans les limites du contrat fixant l'étendue de la mission et la (ou les) partie(s) d'ouvrage(s) concerné(s).

La responsabilité de notre société ne saurait être engagée en dehors du cadre de la mission d'ingénierie géotechnique objet du rapport. En particulier, toute modification apportée au projet ou à son environnement nécessite la réactualisation du rapport géotechnique dans le cadre d'une nouvelle mission.

2. Recommandations

Il est précisé que l'étude géotechnique repose sur une investigation du sol dont la maille ne permet pas de lever la totalité des aléas toujours possible en milieu naturel. En effet, des hétérogénéités, naturelles ou du fait de l'homme, des discontinuités et des aléas d'exécution peuvent apparaître compte tenu de rapport entre le volume échantillonné ou testé et le volume sollicité par l'ouvrage, et ce d'autant plus que ces singularités éventuelles peuvent être limitées en extension. Les éléments géotechniques nouveaux mis en évidence lors de l'exécution, pouvant avoir une influence sur les conclusions du rapport, doivent immédiatement être signalés à l'ingénierie géotechnique chargée de l'étude et suivi géotechniques d'exécution (mission G3) afin qu'elle en analyse les conséquences sur les conditions d'exécution voire la conception de l'ouvrage géotechnique. Si un caractère évolutif particulier été mis en lumière (notamment glissement, érosion, dissolution, remblais évolutifs, tourbe), l'application des recommandations du rapport nécessite une validation à chaque étape suivante de la conception ou de l'exécution. En effet, un tel caractère évolutif peut remettre en cause ces recommandations notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant leur mise en œuvre.

3. Rapport de la mission

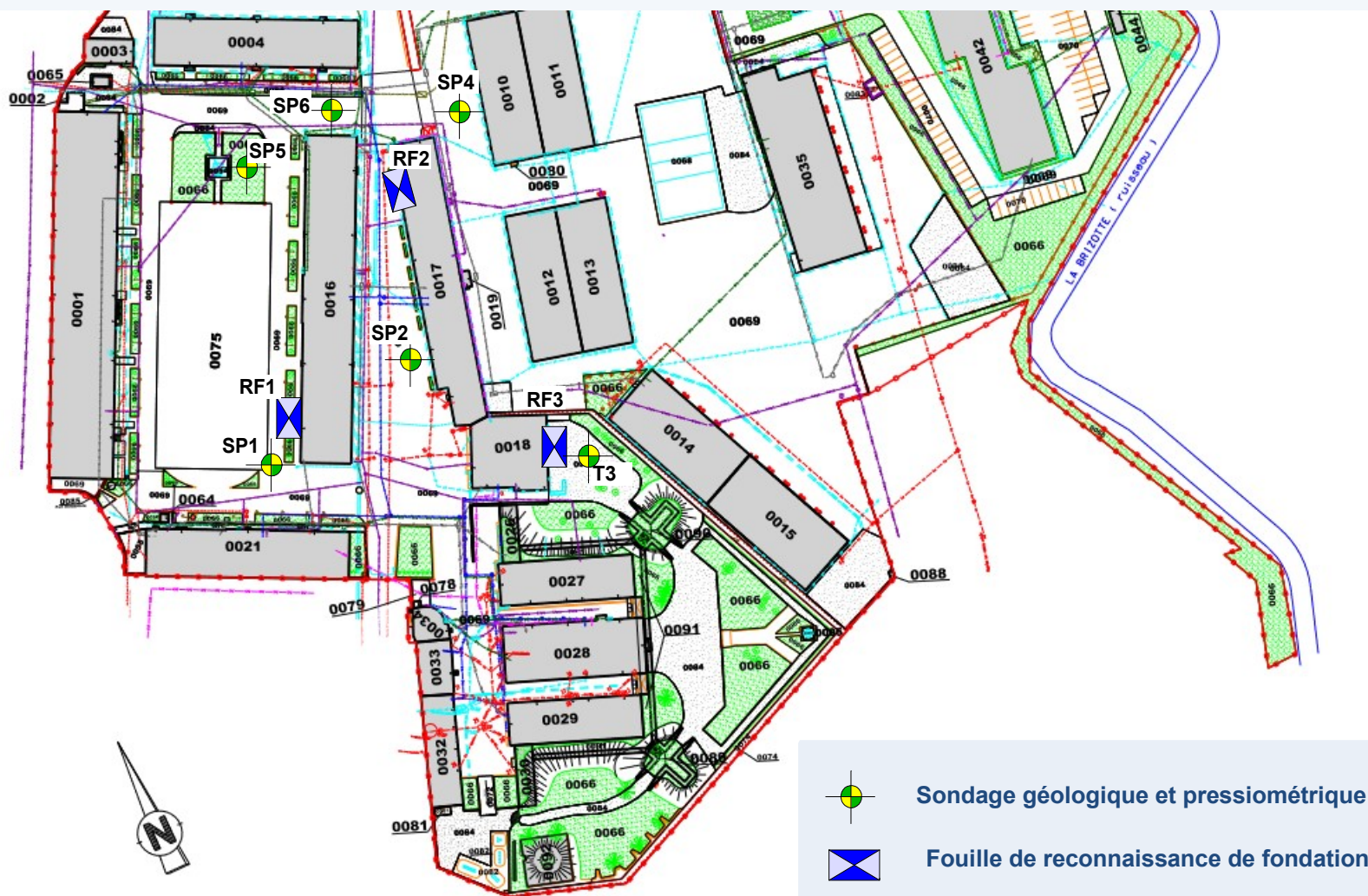
Le rapport géotechnique constitue le compte-rendu de la mission d'ingénierie géotechnique définie par la commande au titre de laquelle il a été établi et dont les références sont rappelées en tête. A défaut de clauses spécifiques contractuelles, la remise du rapport géotechnique fixe la fin de la mission. Un rapport géotechnique et toutes ses annexes identifiées constituent un ensemble indissociable. Les deux exemplaires de référence en sont les deux originaux conservés : un par le client et le second par notre société. Dans ce cadre, toute autre interprétation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle ne saurait engager la responsabilité de notre société. En particulier l'utilisation même partielle de ces résultats et conclusions par un autre maître d'ouvrage ou par un autre constructeur ou pour un autre ouvrage que celui objet de la mission confiée ne pourra en aucun cas engager la responsabilité de notre société et pourra entraîner des poursuites judiciaires.

Implantation des sondages

Client : **ESID de Metz**

Lieu : **AUXONNE (21)**

Etude : **QUARTIER BONAPARTE – 511 RT – Réhabilitation des bâtiments 16,17 et 18**



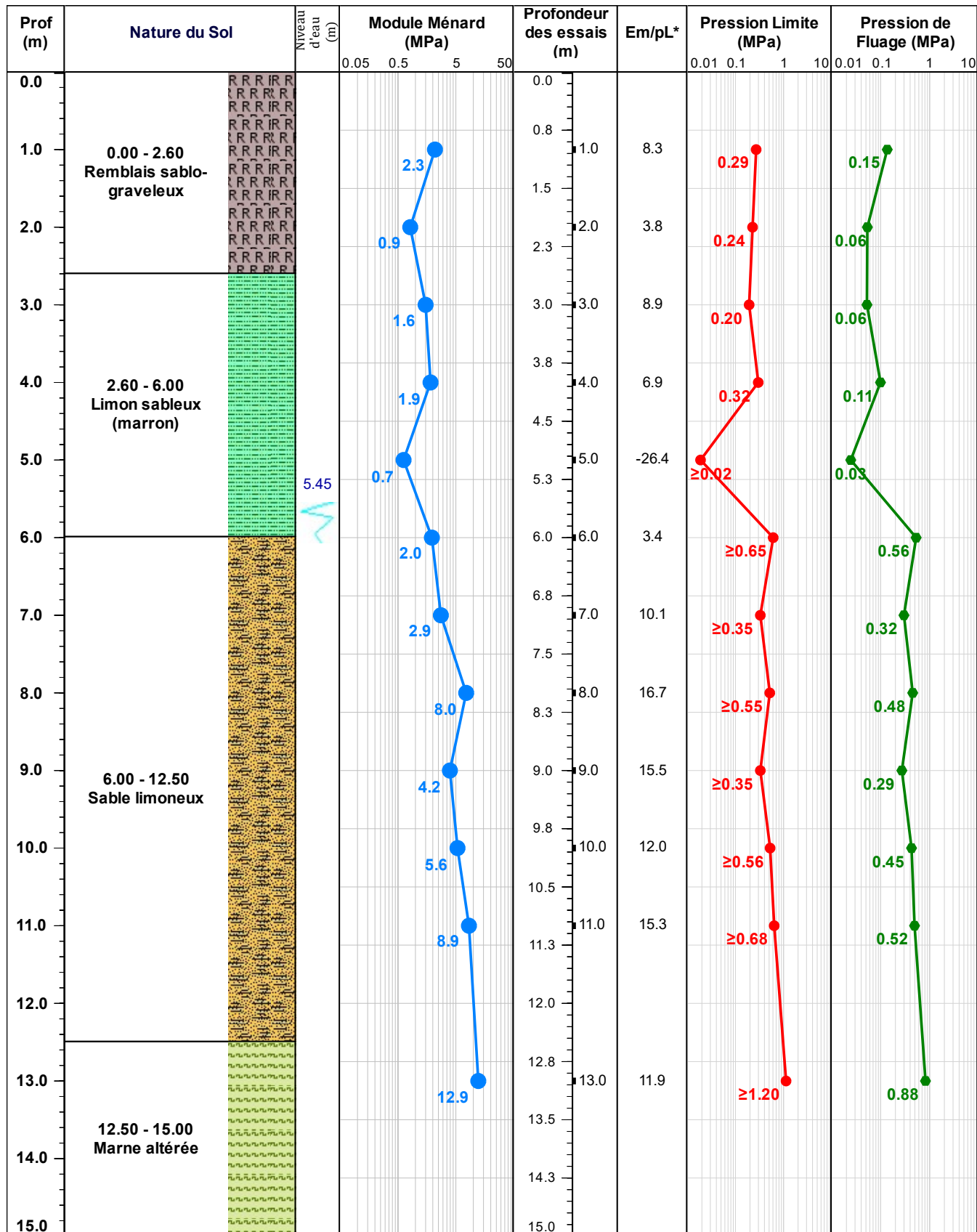
Auxonne (21)

FORAGE PRESSIOMETRIQUE

SP1

Date : 17/07/2024

Client : Etablissement du service d'infrastructure de la défense



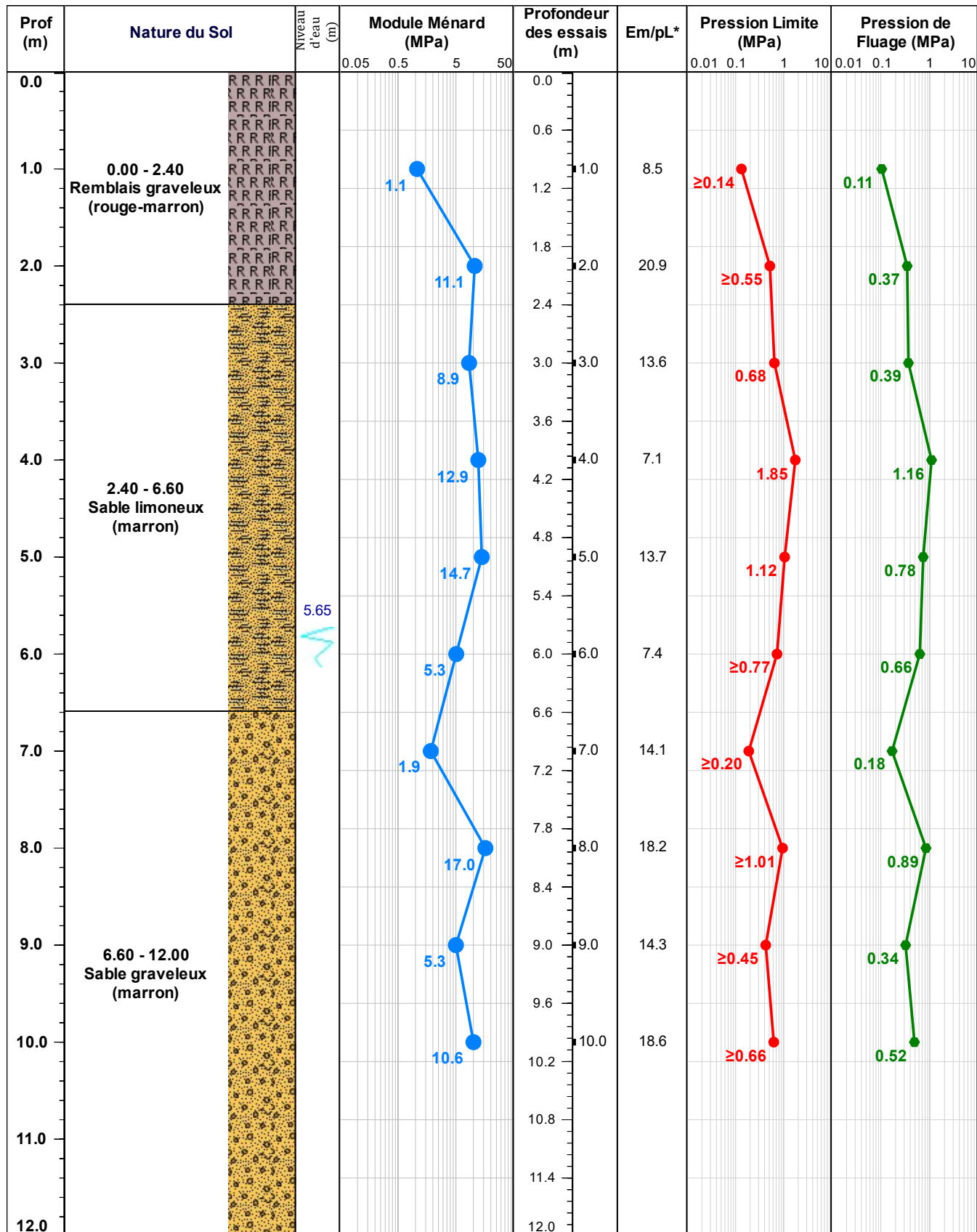
Auxonne (21)

FORAGE PRESSIOMETRIQUE

SP2

Date : 25/07/2024

Client : Etablissement du service d'infrastructure de la défense



Sondage T3

Chantier : Etablissement du service d'infrastructure de la défense

Profondeur (m)	Niveau d'eau (m)	Nature du sol
0.0		<div style="text-align: center;"> <p>0.00 - 2.40</p> <p>Remblais Sablo-graveleux +/- limoneux</p> </div>
1.0		
2.0		
3.0		<div style="text-align: center;"> <p>2.40 - 4.10</p> <p>Sable graveleux</p> </div>
4.0		
5.0		

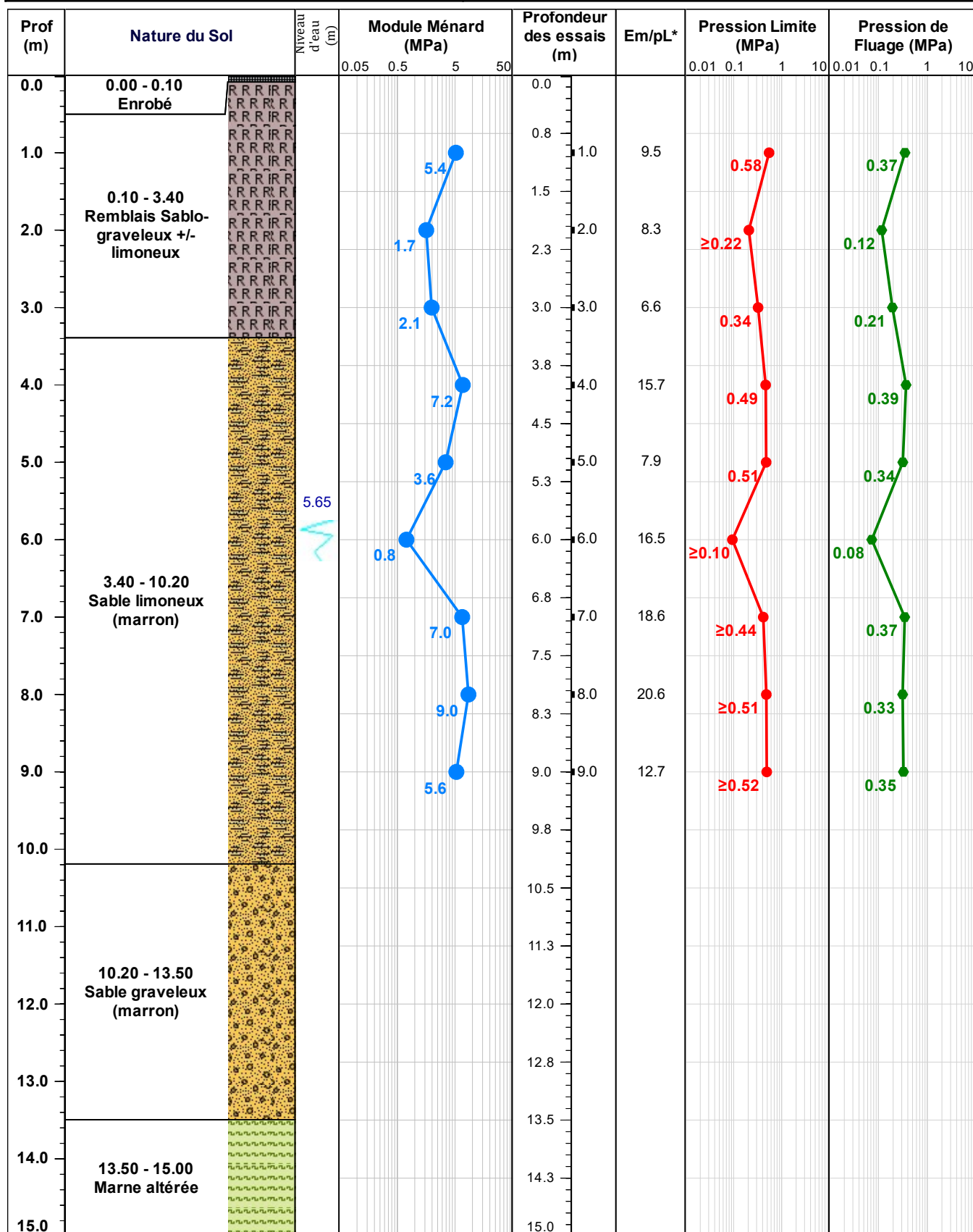
Auxonne (21)

FORAGE PRESSIOMETRIQUE

SP4

Date : 24/07/2024

Client : Etablissement du service d'infrastructure de la défense



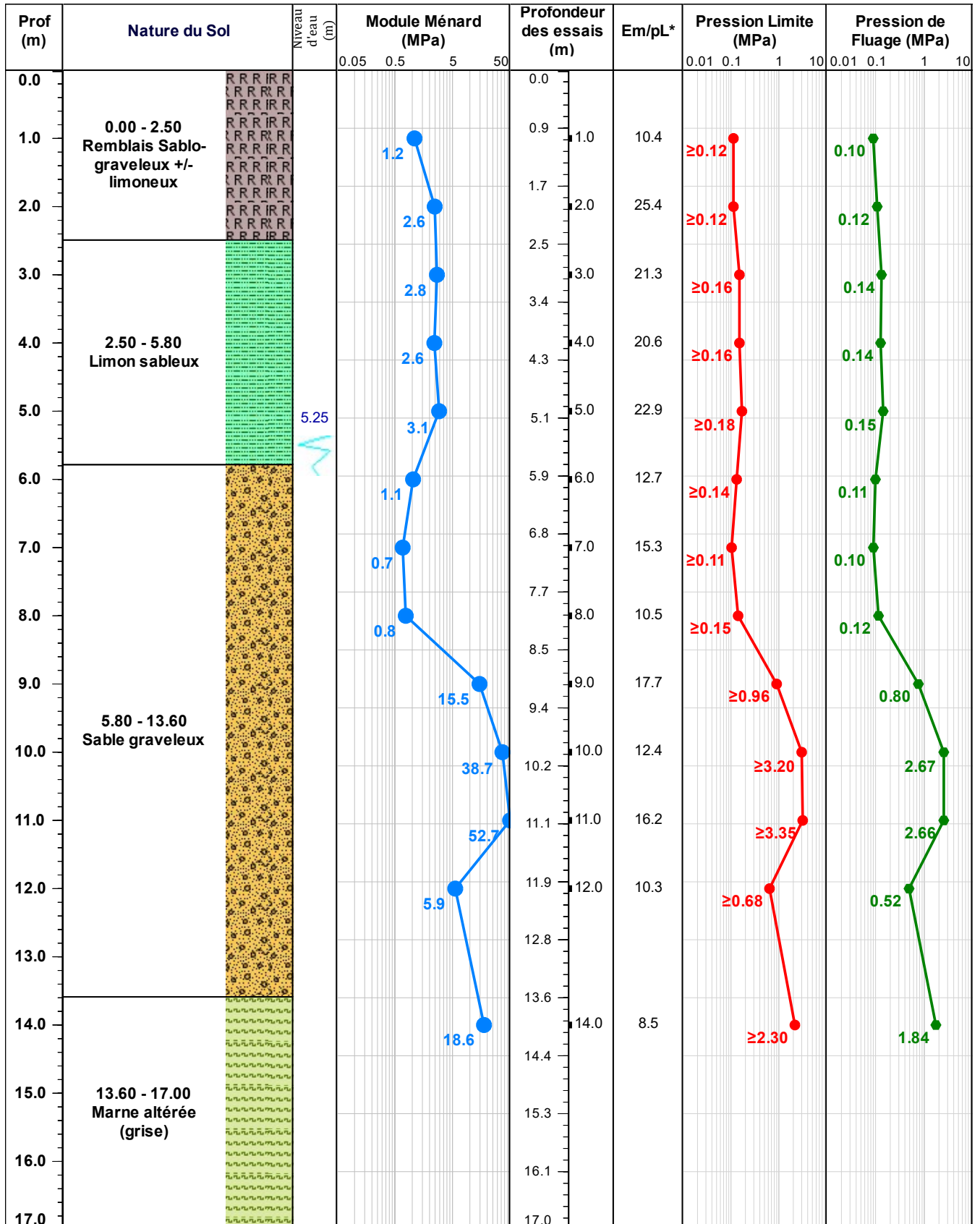
Auxonne (21)

FORAGE PRESSIOMETRIQUE

SP5

Date : 18/07/2024

Client : Etablissement du service d'infrastructure de la défense



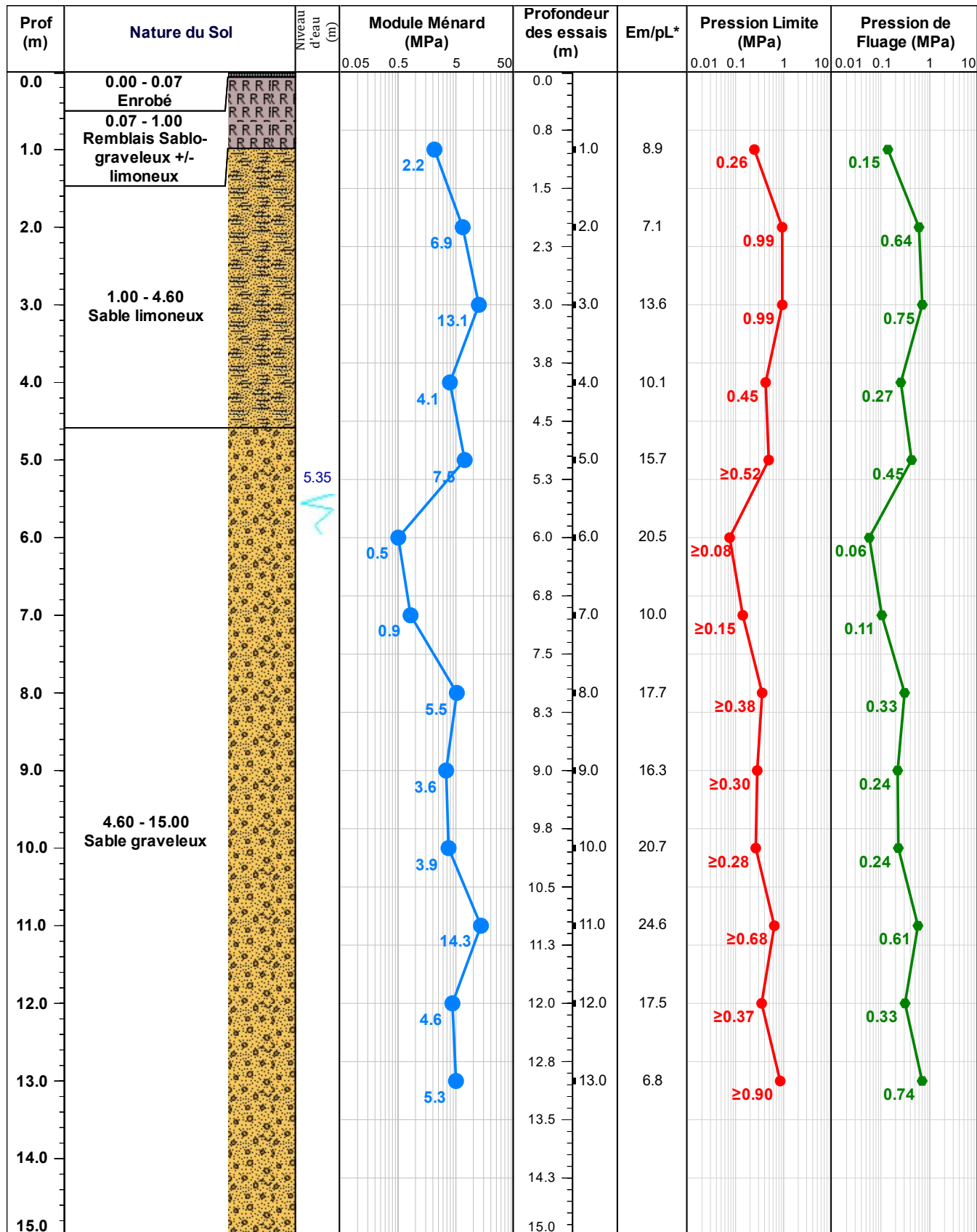
Auxonne (21)

FORAGE PRESSIOMETRIQUE

SP6

Date : 22/07/2024

Client : Etablissement du service d'infrastructure de la défense



Fouille de reconnaissance de fondations

Etude : G5 - Réhabilitation des bâtiments 16,17 et 18

Commune : AUXONNE (21)

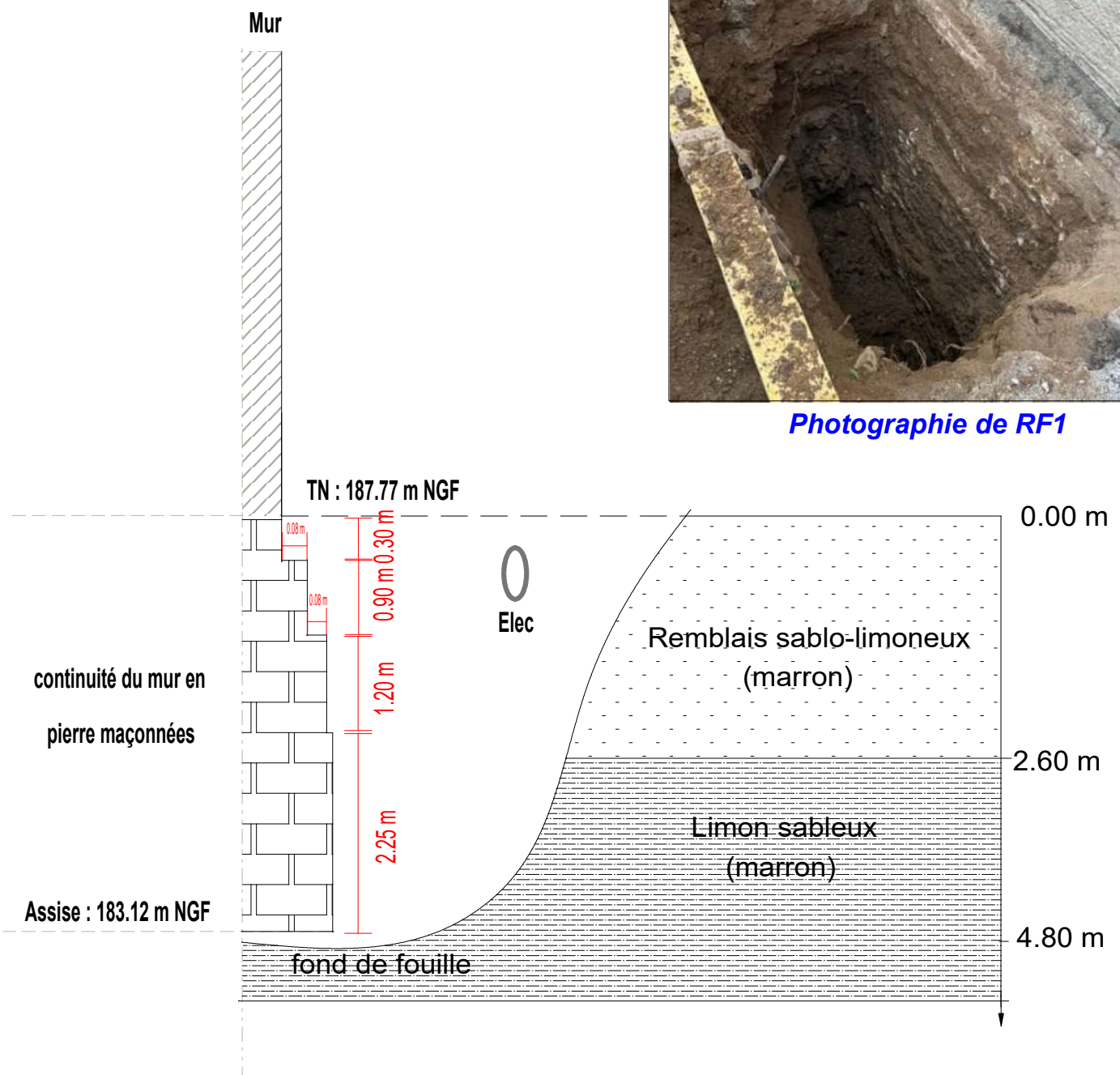
Client : Etablissement du service d'infrastructure de la défense de METZ

RF1

- Coupe transversale -



Photographie de RF1



Fouille de reconnaissance de fondations

Etude : G5 - Réhabilitation des bâtiments 16,17 et 18

Commune : AUXONNE (21)

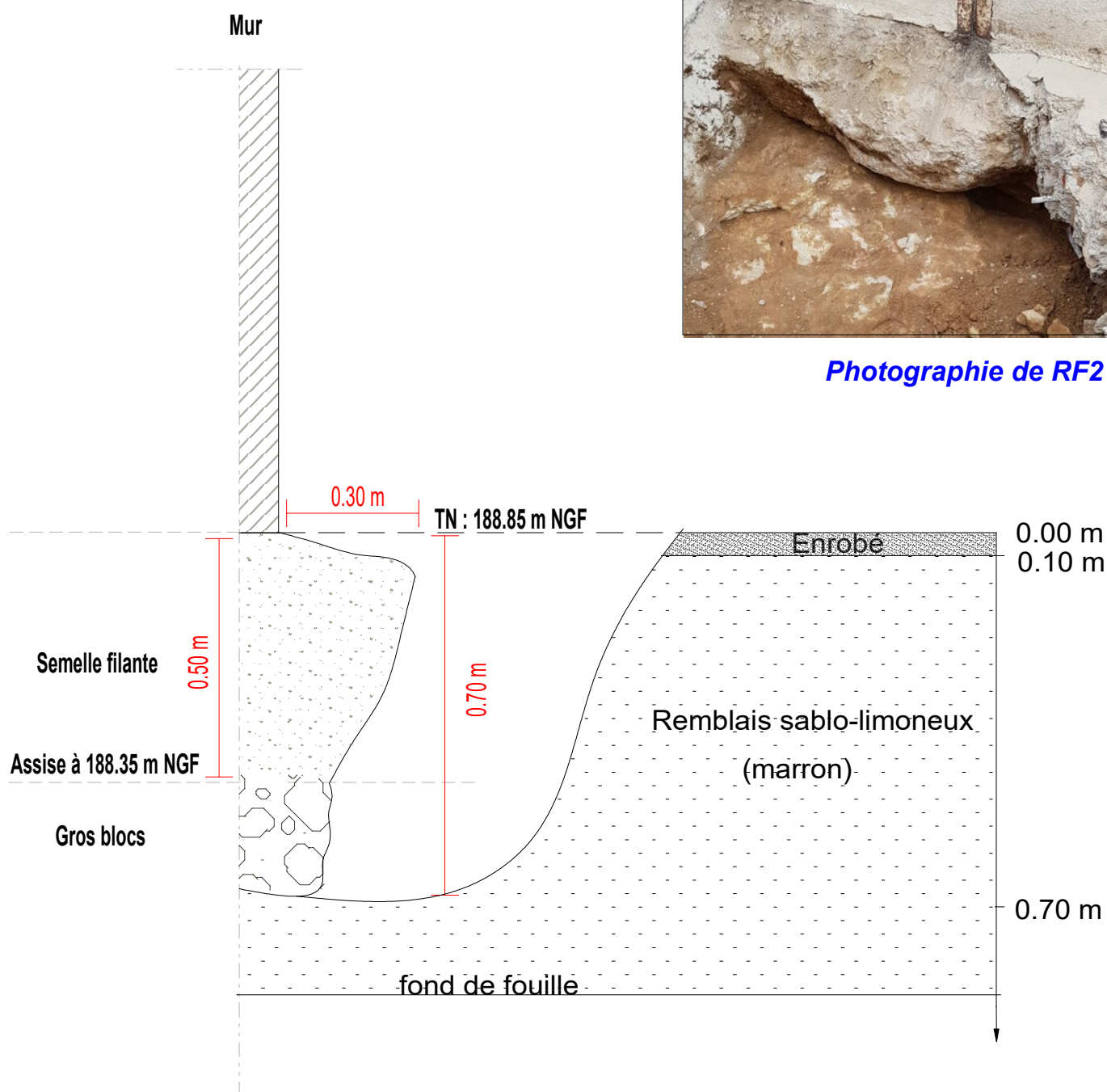
Client : Etablissement du service d'infrastructure de la défense de METZ

RF2

- Coupe transversale -



Photographie de RF2



sans échelle

Fouille de reconnaissance de fondations

Etude : G5 - Réhabilitation des bâtiments 16,17 et 18

Commune : AUXONNE (21)

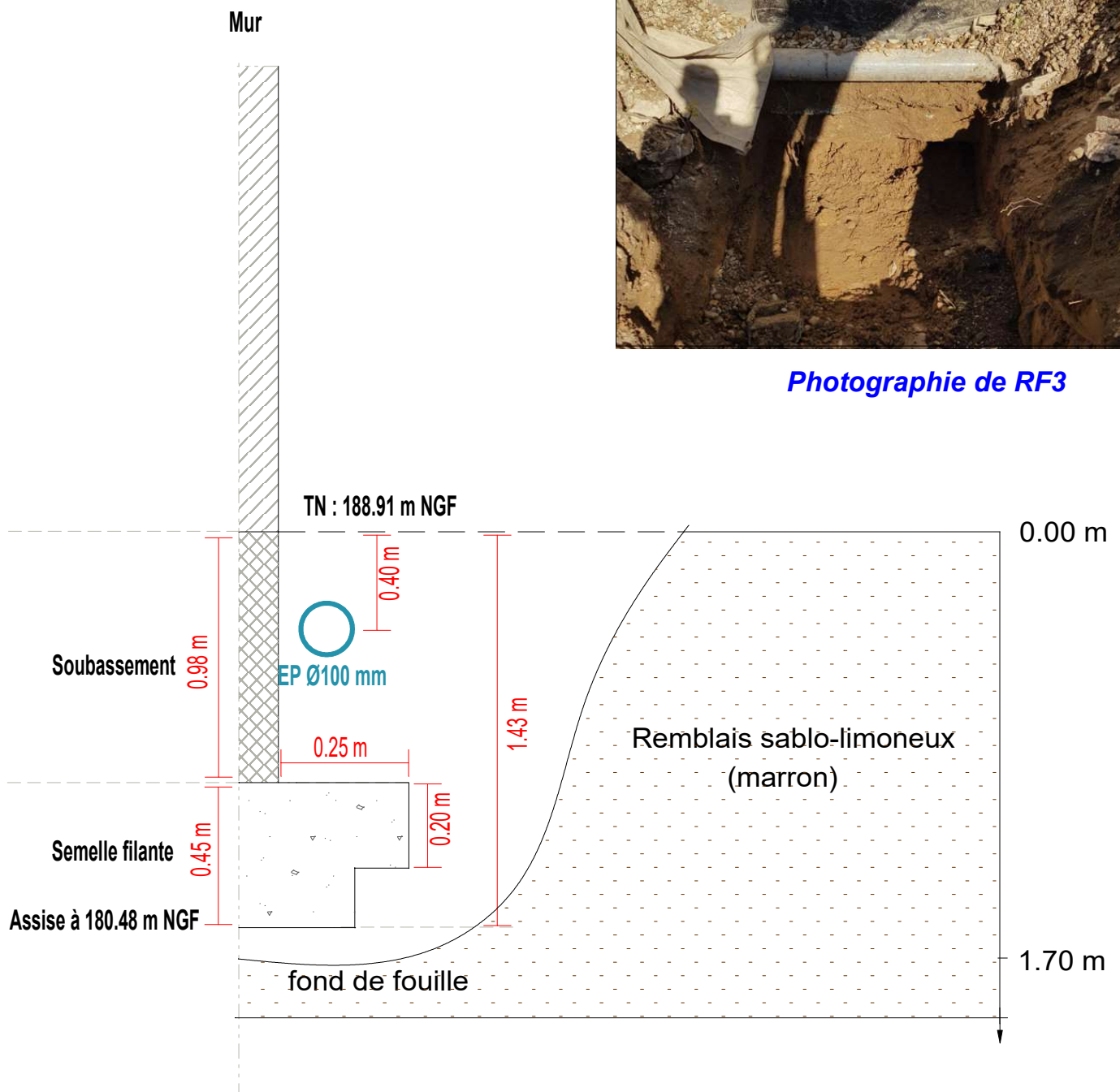
Client : Etablissement du service d'infrastructure de la défense de METZ

RF3

- Coupe transversale -



Photographie de RF3



sans échelle