

Dossier : 24-175-B1

MONTPELLIER (34)
Rue de la Cardonnille
Bâtiment CBS
Extension et surélévation

Etude géotechnique de conception
Phase Projet
Mission G2-PRO (NF P94-500)

Client :
INSERM Occitanie

21 mars 2025

Rédigé par :
Nicolas RAYNEAU



Contrôlé par :
Grégory SOUEDE

Tableau de suivi			
Indice	Date	Modifications apportées à l'indice précédent	
		Texte	Annexes
1	21/03/25	Première diffusion	

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS : CONSISTANCE DE LA MISSION ET DOCUMENTS TRANSMIS	3
I – DESCRIPTION DU SITE (ENQUETE DOCUMENTAIRE)	4
I.1. SITUATION, TOPOGRAPHIE ET ETAT ACTUEL	4
I.2. GEOLOGIE ET PRINCIPAUX RISQUES NATURELS	5
<i>I.2.1 Géologie</i>	5
<i>I.2.2 Principaux risques naturels</i>	5
II – INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES	6
II.1. DESCRIPTION	6
II.2. RESULTATS	7
<i>II.2.1 Caractérisation lithologique et géomécanique des terrains</i>	7
<i>II.2.2 Configuration des fondations existantes</i>	8
<i>II.2.3 Analyses en laboratoire</i>	8
<i>II.2.4 Contexte hydrogéologique</i>	9
<i>II.2.5 Sismicité</i>	10
III – ETUDE GEOTECHNIQUE DE PROJET (MISSION G2-PRO)	11
III.1. DESCRIPTION DU PROJET	11
III.2. DEFINITION DE LA ZONE D'INFLUENCE GEOTECHNIQUE (ZIG)	12
III.3. FONDATIONS	12
<i>III.3.1 Définition de leur nature</i>	12
<i>III.3.2 Dimensionnement des micropieux</i>	12
<i>III.3.3 Sujétions d'exécution liées aux micropieux</i>	15
III.4. SUJETIONS D'EXECUTION	15
<i>III.4.1 Terrassements généraux</i>	15
<i>III.4.2 Gestion des eaux, niveaux bas et autres recommandations</i>	16
ANNEXES	18

AVANT-PROPOS : CONSISTANCE DE LA MISSION ET DOCUMENTS TRANSMIS

Le présent rapport concerne la prestation d'ingénierie géotechnique que nous avons réalisée dans le cadre du projet d'extension et de surélévation du bâtiment CBS le long de la rue de la Cardonille à MONTPELLIER (34).

Il s'agit d'une mission de type **G2-PRO** (étude géotechnique de conception – phase n°2 relative au Projet) au sens de la norme NF P94-500 de novembre 2013 (cf. extrait joint en annexe) excluant l'approche des « quantités/coûts/délais » tout comme le dimensionnement volumique des éventuels bassins de rétention.

Elle fait suite au rapport d'étude géotechnique d'avant-projet et de diagnostic géotechnique (mission G2-AVP+G5) qui a fait l'objet du rapport réf. 24-175-A1 du 24/06/24.

L'étude a été exécutée à la demande et pour le compte de **INSERM Occitanie Méditerranée – 60, rue de Navacelles – CS 34493 – 34394 MONTPELLIER Cedex 5.**

En complément des éléments transmis pour la production du rapport G2-AVP+G5, le BET CALDER nous a transmis le plan « Structure Projet – DDC sur fondations » à l'indice A produit le 17/03/2025 (au stade PRO).

Figure 2 : Vue aérienne, bâtiment en rouge et surélévation de 2005 en bleu (source = site internet Géoportail)
[Sans échelle]

I.2. GEOLOGIE ET PRINCIPAUX RISQUES NATURELS

I.2.1 Géologie

D'après la carte géologique de la France au 1/50000 (feuille de MONTPELLIER), le substratum est constitué par des marnes (et calcaire lacustres) du Miocène. Il est recouvert par des alluvions récentes du Quaternaire.

Compte tenu de l'aménagement actuel du site, des remblais et/ou des terrains plus ou moins remaniés sont également à attendre en recouvrement.



Figure 3 : Extrait de la carte géologique (source = site internet Infoterre) [Sans échelle]

I.2.2 Principaux risques naturels

Le tableau suivant récapitule les principaux risques recensés sur la commune (sources principales : sites internet Infoterre et Géorisques) :

Nature du risque	Aléa / Sensibilité
Retrait-gonflement	Le terrain étudié est situé en zone d'exposition « moyenne » vis-à-vis du retrait-gonflement des argiles (risque de niveau 2 sur une échelle en comportant 3).
Mouvements de terrain	Aucun à moins de 100 m du projet.
Cavités souterraines naturelles	Aucune à moins de 100 m du projet.
Inondation	D'après le PPRI de la commune, le terrain se situe en zones bleue et rouge (partie Est).
Sismicité	La commune se situe en zone de sismicité « 2 » dite « faible ». Le risque sismique est abordé plus en détail dans le paragraphe II.2.5.
Radon	Le potentiel radon de la commune est « faible » (risque de niveau 1 sur une échelle en comportant 3).

Ce descriptif est fourni à titre informatif et il ne constitue pas un état des risques conforme aux articles L125-5 et R125-26 du code de l'Environnement. Dans tous les cas, les concepteurs du projet devront respecter les règles et recommandations relatives aux risques naturels en vigueur sur la commune.

II – INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES

II.1. DESCRIPTION

Compte tenu de la nature du projet, du contexte géotechnique local prévisible et des conditions d'intervention rencontrées, nous avons réalisé les investigations suivantes au stade de la mission G2-AVP+G5 :

- ➔ **2 sondages pressiométriques**, notés **Sp1** et **Sp2**, de 12.0 et 8.0 m de profondeur respective. La foration a été conduite à la tarière Ø 63 mm (et poursuivi au tricône Ø 64 mm pour Sp1), avec enregistrement numérique des principales diagraphies instantanées (VA : Vitesse d'Avancement ; PO : Pression de Poussée ; CR : Couple de Rotation). Au sein de ces sondages, il a été réalisé des essais pressiométriques tous les 1.5 m environ (12 unités au total) pour définir les caractéristiques géomécaniques des terrains traversés (capacité portante et déformabilité). Le sondage Sp1 a été équipé d'un tube piézométrique sur toute sa hauteur (le suivi piézométrique est toutefois exclu de notre mission).
- ➔ **2 essais de pénétration dynamique**, notés **Pd1** et **Pd2**, afin de déterminer, à partir de la mesure en continu de la résistance dynamique apparente q_d , la géométrie et la portance des différents horizons traversés. Ils ont été exécutés au moyen d'un pénétromètre lourd normalisé de type B de marque GEOTOOL GTR 790. Ils ont été poussés au refus d'avancement de la pointe ($q_d > 50$ MPa) obtenu à 3.4 et 3.2 m de profondeur respective.
- ➔ **1 fouille de découverte de fondation** exécutée à la mini-pelle, notée **F1**, afin de tenter de déterminer ponctuellement la géométrie des fondations du bâtiment existant. Elle a été réalisée à l'extérieur du bâtiment Est. Un relevé de fondation a également été effectué depuis le vide sanitaire.
- ➔ **L'analyse en laboratoire d'un échantillon de sol prélevé en Sp1** afin de compléter son identification visuelle par une **classification GTR** (teneur en eau naturelle, analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage, détermination de la valeur au bleu).

Les altitudes des têtes des sondages et essais ont été déduites (par simple extrapolation) du plan topographique en notre possession qui est rattaché au NGF ; elles sont donc approchées (précision estimée à +/- 0.3 m).

Les résultats des sondages et essais sont fournis en annexe ; les profondeurs sont données en NGF et en mètre par rapport au niveau du terrain actuel (m/TA) aux dates de nos interventions (15, 16 et 25/04/2024).

Nous n'avons pas réalisé d'investigations complémentaires au stade de la mission G2-PRO.

II.2. RESULTATS

II.2.1 Caractérisation lithologique et géomécanique des terrains

II.2.1.1 Remblais

Sous une couche d'enrobé de 10 cm d'épaisseur, un remblai sablo-limoneux a été mis en évidence jusqu'à -0.7 m/TA en Sp2. En F1, des remblais limono-sableux à graves et débris (briques et blocs) ont été observés jusqu'à sa profondeur d'arrêt, soit -1.25 m/TA.

Au droit des essais de pénétration, l'épaisseur de remblais devrait être de l'ordre de 0.4 m (ce type d'essai est dit « aveugle » car il ne permet pas de visualiser les matériaux recoupés). Il n'est toutefois pas exclu que les matériaux très meubles recoupés en Pd1 jusqu'à -3.0 m/TA correspondent en réalité à des remblais.

Ces remblais présentent des valeurs de résistance dynamique de pointe q_d hétérogènes, faibles à très élevées ($q_d = 6 \text{ à } 19.7 \text{ MPa}$).

Les investigations étant purement ponctuelles, il n'est pas exclu de trouver localement des surépaisseurs de ces terrains, notamment à proximité du bâtiment existant et des ouvrages extérieurs.

II.2.1.2 Alluvions

Sous les remblais de recouvrement, les sondages Sp1 et Sp2 ont recoupé des alluvions de nature limoneuse à sableuse renfermant quelques graves, jusqu'à une profondeur respective de -4.1 m/TA et -2.7 m/TA. Pour Pd1 et Pd2, la base des alluvions est estimée à -3.2 m/TA et -2.2 m/TA. Les valeurs géomécaniques mesurées en leur sein sont globalement faibles.

Les valeurs de résistance dynamique apparente q_d sont particulièrement faibles en Pd1 (il peut s'agir de remblais).

On retiendra les caractéristiques géomécaniques suivantes au sein des alluvions (3 essais pressiométriques) :

- Module pressiométrique $E_M = 8.8 \text{ à } 12.8 \text{ MPa}$
- Pression limite nette $p_l^* = 0.71 \text{ à } 1.02 \text{ MPa}$
- Résistance dynamique apparente
 - $q_d = 0.8 \text{ à } 3.6 \text{ MPa}$ au sein des matériaux fins (remblais ?) en Pd1
 - $q_d = 3.4 \text{ à } 8.8 \text{ MPa}$ au sein des matériaux plus graveleux en Pd2

II.2.1.3 Soubassement marneux

Sous les alluvions, le substratum marneux a été recoupé jusqu'à la profondeur d'arrêt des sondages pressiométriques (-12.0 m/TA au plus profond).

La compacité de ce soubassement plus ou moins altéré est généralement élevée, engendrant le refus de la pointe en Pd1 et Pd2 en son sein (à -3.4 et 3.2 m/TA).

Les caractéristiques géomécaniques mesurées au sein des marnes plus ou moins altérées mais compactes sont les suivantes (9 essais pressiométriques) :

- Module pressiométrique $E_M = 105.2 \text{ à } 186.7 \text{ MPa}$
- Pression limite $p_l^* > 6.0 \text{ MPa}$
- Résistance dynamique apparente $q_d = 13.6 \text{ à plus de } 50 \text{ MPa}$ (refus)

Le tableau suivant synthétise la stratigraphie déduite des investigations (en l'absence d'identification visuelle, la limite entre les différentes couches est interprétative et donc hypothétique au droit des essais de pénétration) :

		Sp1	Sp2	Pd1	Pd2	F1
Altitude du terrain	NGF	49.4	49.3	49.2	49.1	48.8
Base des remblais / Toit des alluvions	m/TA	-	-0.7	-0.4	-0.4	< 1.25
	NGF	-	48.6	48.8	48.7	< 47.55
Base des alluvions / Toit des marnes	m/TA	-4.1	-2.7	-3.2	-2.2	-
	NGF	45.3	46.6	46.0	46.9	-
Profondeur d'arrêt des sondages et de refus de la pointe ($q_d > 50$ MPa)	m/TA	-12.0	-8.0	-3.4	-3.2	-1.25
	NGF	37.4	41.3	45.8	45.9	47.55

II.2.2 Configuration des fondations existantes

Une vue en plan et des coupes schématisent le relevé que nous avons réalisé sur place. Des photographies sont également fournies.

La fouille F1 a été réalisée depuis l'extérieur à l'aide d'une mini-pelle contre la façade Est du bâtiment existant (sur VS). Nous avons également effectué des observations depuis l'intérieur du vide sanitaire (VS) pour compléter les données (cf. coupes AA et BB).

Il a été mis en évidence la présence d'un plot isolé (1.0 x 0.95 m) présentant une arase supérieure à -0.50 m/TA, avec un débord supérieur de 25 cm côté extérieur et 42 cm côté intérieur (VS). Ce plot présente une épaisseur de 70 cm, et est donc assis à -1.2 m/TA, soit 47.6 NGF. On notera que l'encastrement par rapport au fond du vide sanitaire semble être de 20 cm uniquement (par déduction car la fouille n'a pas été entreprise depuis le VS). Le plot semble assis au sein de remblais, qui ont été mis en évidence jusqu'à la profondeur d'arrêt de la fouille (-1.25 m/TA).

A noter qu'une canalisation PVC Ø200 mm a été observée en fond de fouille à proximité de l'assise de la fondation.

La longrine reliant les plots présente une épaisseur de 70 cm, et est encastree de 50 cm par rapport au sol fini extérieur (elle repose sur des remblais).

II.2.3 Analyses en laboratoire

Des analyses en laboratoire ont été effectuées sur un échantillon de sol remanié prélevé dans la fouille Sp1 entre -0.5 et -1.5 m/TA, au sein des alluvions.

Les essais suivants ont été réalisés sur les échantillons précités :

- Mesure de la teneur en eau naturelle,
- Analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage,
- Détermination de la valeur au bleu de méthylène.

Les résultats complets relatifs à ces analyses sont présentés en annexe au présent rapport.

Les principaux résultats obtenus sont récapitulés ci-dessous :

		Sp1
Profondeur de prélèvement (m/TA)		-0.5 à -1.5
Teneur en eau naturelle (%)	w_{nat}	13.8
Passant à 80 μm (teneur en fine en %)	P_{80}	70.0
Valeur au bleu sur le sol	VBS	2.47
Classification GTR		A ₁

D'après la nomenclature du Guide du Terrassement Routier (GTR), l'échantillon de sol prélevé se classe **A₁** : il s'agit d'un matériau peu plastique, qui peut toutefois changer radicalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau (sa portance chute conséquemment lorsqu'il est imbibé).

Compte tenu de la valeur au bleu mesurée, l'échantillon prélevé ne présente pas de sensibilité significative aux phénomènes de retrait-gonflement par variations de teneur en eau.

II.2.4 Contexte hydrogéologique

Le terrain (entouré en vert) se situe dans une zone bleue BU à rouge RU selon le PPRI de Montpellier, avec une cote de référence fixée à 49.71 NGF (liée au ruisseau partiellement canalisé du Fond d'Aurèle).

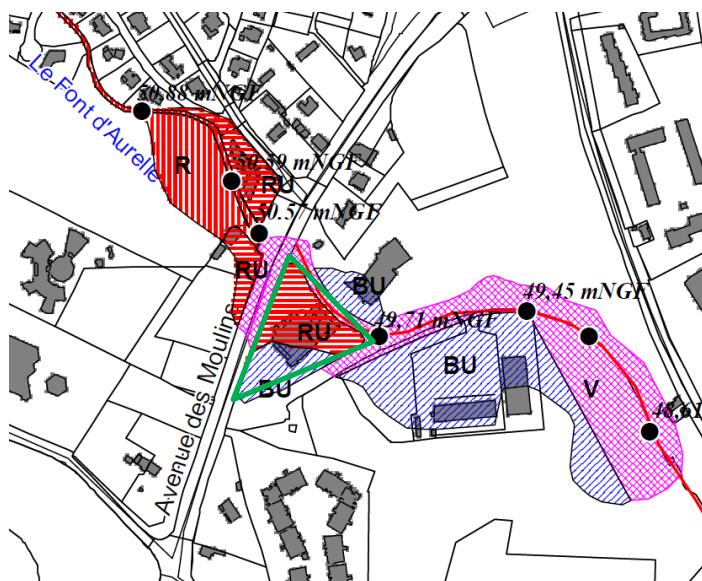


Figure 4 : Extrait du PPRI de Montpellier approuvé en 2004.

Le niveau d'eau mesuré en Sp1 en fin de foration à -1.3 m/TA n'est pas représentatif dans la mesure où la foration a été réalisée sous injection d'eau.

Le sondage Sp2 est quant à lui resté sec, ce qui tend à indiquer l'absence de nappe à faible profondeur. Le sondage Sp1 a été converti en piézomètre, ce qui permettrait de pouvoir effectuer un suivi piézométrique (ainsi qu'un prélèvement d'eau) si nécessaire.

Des circulations d'eau moins profondes peuvent s'établir au sein des terrains de recouvrement (remblais et alluvions), notamment en période d'intempéries. La fraction fine peu perméable de ces formations peut pour sa part faire l'objet de rétentions.

II.2.5 Sismicité

Selon le décret n° 2010-1255 du 22/10/2010, applicable depuis le 01/05/2011, **MONTPELLIER** se situe en zone de sismicité « 2 » dite « faible ».

D'après la classification de l'Eurocode 8, le sous-sol peut être considéré de classe « A » (soubassement compact à moins de 5 m de profondeur).

Compte tenu de la catégorie d'importance des futurs ouvrages (II, tel qu'indiqué par ELEV Architecture dans son courriel du 17/03/25), il n'est pas nécessaire de dimensionner les fondations sous sollicitations sismiques.

III – ETUDE GEOTECHNIQUE DE PROJET (MISSION G2-PRO)

III.1. DESCRIPTION DU PROJET

Le projet prévoit l'extension du bâtiment existant en partie Sud-Est, ainsi que la surélévation du bâtiment existant en partie Est (surélévation débordante de la structure existante).

Le niveau RdC de l'extension Sud-Est est calé à 50.92 NGF, c'est à dire au-dessus du niveau du terrain actuel vers 49.2 NGF, sauf pour la partie Est qui présentera un niveau fini RdC à 48.27 NGF, c'est à dire légèrement en dessous du terrain actuel (vers 49.2 NGF) et au niveau du fond du VS du bâtiment voisin qui sera surélevé.

Le bâtiment qui sera surélevé présente un niveau RdC à 49.5 NGF et le fond de son vide sanitaire à 47.8 NGF.

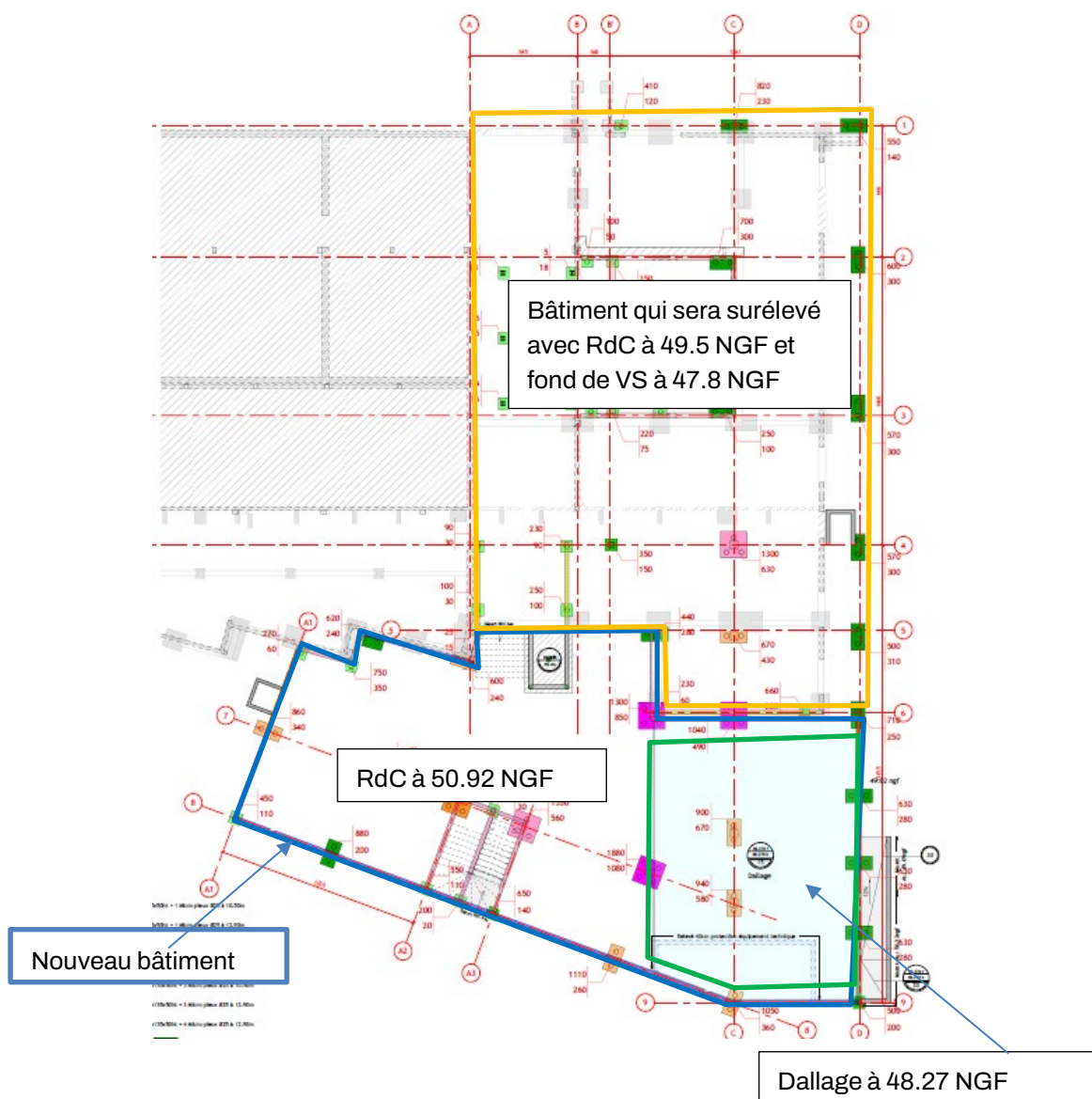


Figure 5 : Extrait du plan de fondation CALDER, annoté par nos soins

III.2. DEFINITION DE LA ZONE D'INFLUENCE GEOTECHNIQUE (ZIG)

La Zone d'Influence Géotechnique (ZIG) représente le volume de terrain au sein duquel il y a interaction entre l'ouvrage ou l'aménagement du terrain (du fait de sa réalisation et de son exploitation) et l'environnement (sols et ouvrages environnants).

En première approche, la ZIG pourra être définie comme étant une bande horizontale de 3 m de largeur en périphérie de la construction existante.

III.3. FONDATIONS

III.3.1 Définition de leur nature

Pour la surélévation, les nouvelles charges seront reprises par l'intermédiaire de **micropieux** ancrés au sein des marnes, conformément aux préconisations formulées en G2-AVP.

D'après les éléments transmis par le BET CALDER, l'extension Sud-Est sera également fondée par l'intermédiaire de **micropieux** ancrés au sein des marnes. Il s'agit d'un mode de fondation alternatif à la solution de plots préconisée en G2-AVP, mais qui est parfaitement adapté au contexte d'autant plus que le matériel sera présent sur site (cette solution présente par ailleurs de nombreux avantages).

III.3.2 Dimensionnement des micropieux

III.3.2.1 Vérification de la capacité portante

○ Principe de calcul

La longueur des micropieux a été déterminée à l'aide du module FONDPROF du logiciel FOXTA exploitant la norme d'application nationale de l'EUROCODE 7 (NF P94-262).

La capacité portante d'un micropieu isolé en compression (R_c) est égale à la résistance de frottement axial (R_s).

D'après l'**annexe F** de la norme NF P94-262 « *Portance limite et résistance limite de traction à partir de la méthode pressiométrique* », le terme de frottement latéral est calculé de la manière suivante :

➤ Résistance de frottement axial (R_s)

$$R_s = p_s \times \sum q_s(z) \cdot dz$$

Avec :

p_s : périmètre du micropieu

q_s : frottement axial unitaire défini par la formule ci-dessous

$$q_s(z) = \alpha_{\text{pieu-sol}} \times f_{\text{sol}} [p_i^*(z)]$$

Avec :

$\alpha_{\text{pieu-sol}}$: paramètre adimensionnel défini dans le **tableau F.5.2.1** de la norme.

f_{sol} : valeur dépendant du type de sol et des valeurs de p_i enregistrées (**figure F.5.2.1** de la norme).

La capacité portante des micropieux a ensuite été calculée à l'aide des coefficients de sécurité suivants, extraits de la norme NF P94-262 :

	Micropieux en compression
$\gamma_{R;d1}$	2.00
$\gamma_{R;d2}$	1.10
γ_R (ELS caractéristique)	$\gamma_{cr} = 0.9$
γ_R (ELS quasi-permanent)	$\gamma_{cr} = 1.1$

○ Synthèse géomécanique

Le tableau ci-dessous fournit la synthèse géomécanique qui doit être prise en compte dans le dimensionnement des micropieux de type III (classe 8, catégorie 19) de diamètre 250 mm:

	Toit (NGF)	Base (NGF)	q_s (kPa)	p_{le}^* (MPa)	E_m (MPa)
Sol 1 : Mort terrain - Remblais	PFT (variable)	48.2 ou 46.8	<i>Couche neutralisée</i>	0.12	5
Sol 2 : Alluvions	48.2 ou 46.8	45.5	85	0.5 ⁽¹⁾	5 ⁽¹⁾
Sol 3 : Marnes	<45.5	-	278	4.5	150

(1) valeurs volontairement limitées compte tenu des résultats de Pd1.

Pour le nouveau bâtiment, nous avons considéré 2 niveaux de plateforme de terrassement (PFT) : celui à 49.2 NGF dans la zone où le RdC est situé au-dessus du terrain actuel (à 49.2 NGF), et 47.8 NGF, c'est-à-dire environ 50 cm sous le niveau du dallage à 48.27 NGF.

Pour le bâtiment qui sera surélevé, nous avons également considéré 2 niveaux de plateforme (PFT) : au niveau du terrain actuel vers 49.2 NGF pour les micropieux périphériques de la future partie débordante du bâtiment existant, et 47.8 NGF, ce qui correspond au niveau du fond du VS (les micropieux seront toutefois réalisés depuis l'intérieur du bâtiment existant au niveau RdC à 49.5 NGF).

Nous avons considéré les efforts ELS Caractéristiques G+Q mentionnés sur le document « Plan Structure DDC sur fondations » au stade PRO à l'indice A du 17/03/25 produit par le BE CALDER.

Nous avons nommé les micropieux 1 à 57 (certains sont parfois doublés, triplés voire quadruplés), tel qu'indiqué sur le plan annexé, annoté par nos soins.

Remarques :

- 1) Lorsque la charge totale dépasse 800 kN à l'ELS Caractéristiques, il a été opté pour la réalisation de 2 à 4 micropieux selon les cas. Cela est généralement le cas sauf pour les micropieux 4 et 14 pour lesquels 1 seul micropieu est dessiné : nous en avons considéré 2 (cf. tableau de synthèse).
- 2) Il est parfois dessiné 2 micropieux, même lorsque la charge totale ne dépasse pas 800 kN à l'ELS Caractéristique : nous avons conservé la disposition dessinée.
- 3) La charge à transmettre sur le micropieu 43 n'est pas indiquée : nous avons considéré arbitrairement une charge de 295 kN à l'ELS (comme les micropieux voisins), ce qui sera à préciser en EXE.

III.3.2.2 Vérification des armatures

Selon la norme NF EN 1993-1-1, les micropieux ont été vérifiés en compression simple par application de la formule suivante :

$$\frac{N_{ELU}}{S_a} \leq \frac{\sigma_e}{\gamma_{M0}}$$

Avec : N_{ELU} = effort de compression à l'ELU

S_a = section d'acier corrodée

σ_e = limite élastique de l'acier

γ_{M0} = coefficient de sécurité partiel = 1.0

L'enrobage des armatures sera supérieur à 5 cm, à condition d'utiliser des centreurs (prévoir des centreurs tous les 3 ml environ). Il n'est donc pas nécessaire de prendre en compte d'épaisseur sacrifiée à la corrosion.

Les calculs montrent qu'une armature N 80 88.9 épaisseur 7.5 mm peut accepter un effort vertical centré maximal N_{ELU} de 1050 kN, soit 750 kN à l'ELS, ce qui est inférieur à l'effort maximal transmis. D'autres types d'armatures pourront être proposés en EXE (qui devront être justifiés).

Les armatures des micropieux seront constituées de tubes neufs en acier N80.

III.3.2.3 Vérification du flambement

Le flambement des tubes a été vérifié selon la méthode de Mandel dans le cas suivant :

- Hauteur de flambement : 4.0 m
- Module pressiométrique retenu : 5.0 MPa
- Coefficient rhéologique du sol : 2/3

La hauteur de flambement prise en compte dans les calculs correspond à l'épaisseur totale des remblais + alluvions.

III.3.2.4 Résultats

Les calculs des longueurs des micropieux ont été menés à l'aide du logiciel FOXTA V4 (module Fondprof). Les tableaux fournis en annexe donnent la capacité portante de pieux en fonction de leur profondeur pour chaque combinaison d'action.

Le dimensionnement réalisé permet de retenir le quantitatif total présenté dans le tableau suivant pour des **micropieux de diamètre 250 mm** :

Diamètre [mm]	Nombre total	Longueur totale [m]	Armature [mm]
250	97	811	88.9 x 7.5

Les feuilles de calcul Excel et les sorties Foxta sont annexés.

Aucun frottement négatif n'a été pris en compte dans les calculs de dimensionnement, ce qui impose que le chargement induit par les éventuels remblais soit faible (inférieur à 10 kPa).

Pour négliger l'effet de groupe comme nous l'avons fait, il faut que deux micropieux voisins soient au moins espacés de 0.5 m + 1 diamètre.

III.3.3 Sujétions d'exécution liées aux micropieux

Le matériel utilisé devra être **suffisamment puissant** pour traverser les éventuels vestiges enterrés puis assurer l'encastrement au sein des marnes compactes. Des variations altimétriques du toit de cette formation pouvant être observées, il est primordial d'adapter la longueur des micropieux aux conditions rencontrées d'où la nécessité d'enregistrer et analyser en continu des principaux paramètres de forage.

La réalisation d'essais de traction menés jusqu'à la rupture selon la norme NF P94-150-2 devra également être prévue avant le démarrage du chantier.

Nous signalons que la bonne exécution des micropieux (notamment le choix de la technique et du matériel) relève de la seule responsabilité de l'Entreprise exécutante.

Les armatures seront scellées dans les trous de forage au coulis de ciment adapté à l'agressivité de l'environnement (**à préciser par des analyses en laboratoire spécifiques dans un complément de mission G2-PRO ou dans le cadre de la mission G3 à la charge de l'Entreprise**).

Le dimensionnement EXE sera réalisé dans le cadre de la mission G3 à la charge de l'entreprise exécutante à partir des différentes combinaisons de charges. Les différents niveaux de PFT ici considérés seront à actualiser en fonction de la configuration réellement offerte après les terrassements (notamment pour les micropieux qui sont implantés à la jonction de l'existant et du nouveau bâtiment).

Certains micropieux seront réalisés depuis le RdC du bâtiment existant, avec une foration réelle des sols en place à partir du fond du VS : l'entreprise devra tenir compte de cette spécificité.

Les massifs de liaison seront dimensionnés par le BET Structure.

Le contrôle ponctuel de l'exécution des fondations prévu par la supervision géotechnique d'exécution (mission G4 selon la norme NF P94-500) permettra de vérifier le respect de ces préconisations.

III.4. SUJETIONS D'EXECUTION

III.4.1 Terrassements généraux

Au droit de l'extension, les terrassements généraux consisteront à mettre à niveau la PFT. Ils nécessiteront l'emploi d'engins de puissance adaptée aux objectifs de production (tractopelle ou pelle mécanique de 150 CV par exemple) équipés d'un godet.

Les travaux seront réalisés préférentiellement en période climatique favorable afin d'éviter l'imbibition des matériaux constituant la PFT, nuisible à la traficabilité du site. En cas de saturation des matériaux, il sera nécessaire de mettre en œuvre un clouage de la PFT (couche de ballast par exemple) pour assurer la traficabilité des engins.

III.4.2 Gestion des eaux, niveaux bas et autres recommandations

Il est primordial de collecter les ruissellements superficiels et eaux d'intempéries provenant des surfaces imperméabilisées (toitures étanches, terrasses, voiries) pour les rediriger vers un réseau EP ou un exutoire sécurisé situé hors de la zone d'influence des fondations et des vides sanitaires.

Dans cette même optique, les abords des constructions seront idéalement aménagés et protégés (terrasse ou trottoir béton) avec une contre-pente orientée vers l'extérieur pour éviter tout ruissellement et stagnation d'eau d'intempérie contre les murs périphériques.

L'excavation des éventuels niveaux enterrés (niveau du dallage à 48.27 NGF) constituera une cuvette de rétention des eaux d'intempéries. Il conviendra donc d'avoir recours à un dispositif de drainage afin d'éviter de devoir prendre en compte une poussée hydrostatique sur les voiles enterrés et protéger un tant soit peu l'infrastructure contre les infiltrations.

Pour ce faire, un drain périphérique sera mis en place à la base des murs enterrés avec remblai drainant type 10/40 enveloppé dans un géotextile anticontaminant reposant sur une cunette bétonnée (une variante avec bandes drainantes verticales et barbacanes de pied connectées à un collecteur placé côté fouille pourra également être envisagée, notamment sur les linéaires exécutés par passes alternées et/ou successives). Le dispositif drainant devra être mis en œuvre jusqu'à -1.0 m/niveau extérieur fini après aménagement.

Malgré ce dispositif de drainage et en l'absence de traitement d'étanchéité, des traces d'humidité et des suintements doivent être tolérés sur les voiles contre terre.

Une cunette périphérique intérieure pourra être envisagée pour récupérer ces suintements.

Un traitement d'étanchéité spécifique devra être réalisé à l'arrière des murs enterrés des locaux « nobles ».

Si un dallage est envisagé en guise de niveau bas pour la partie à 48.27 NGF, le matelas granulaire sous dallage pourra être mis en œuvre en respectant le mode opératoire suivant :

- Purge des remblais des éventuels terrains remaniés et de tous matériaux imbibés ou d'origine douteuse recoupés en fond de fouille
- Compactage en statique lourd du fond de forme hors intempéries et réception au moyen d'essais de chargement à la plaque pour lesquels il sera exigé $E_{v2} \geq 30$ MPa et $k \leq 2.2$ (si cet objectif n'est pas atteint, une couche de renforcement dite de clouage doit être envisagée)
- Rattrapage altimétrique éventuel à l'aide d'une GNT 0/80 ou 0/50 mm compactée par couches successives de 30 cm d'épaisseur maximale
- Pose d'un géotextile anticontaminant de fort grammage (200 g/m² par exemple)
- Fermeture en GNT 0/31⁵ ou 0/20 mm dument compactée (de classe D₂ ou B₃₁ d'après la nomenclature du GTR) sur une épaisseur minimale de 30 cm

Les caractéristiques à obtenir par les essais à la plaque sur les plateformes finies sont les suivantes (pour des charges d'exploitation avec des charges réparties ≤ 20 kPa, des charges concentrées fixes ≤ 20 kN ou des charges concentrées mobiles ≤ 20 kN/roue) :

$$\begin{aligned} E_{v2} &\geq 50 \text{ MPa} \\ k &\leq 2.2 \\ (\text{et/ou } k_w &\geq 40 \text{ MPa/m}) \end{aligned}$$

Pour la justification BA des dallages éventuels, il peut être retenu les modules de déformation du sol E_s suivants :

Nature du sol	Module de déformation E_s
Couche de forme compactée et contrôlée	45 MPa (estimé à $0.9 E_{v2}$ en première approche)
Alluvions	7 MPa
Substratum +/- altéré	40 MPa



Nous restons à la disposition du Maître d'Ouvrage pour réaliser la phase et « DCE/ACT » de la mission G2, ainsi que la mission G4 (supervision géotechnique d'exécution) afin de respecter l'enchaînement décrit par la norme NF P94-500. La mission G3 (étude et suivi géotechniques d'exécution) est classiquement à la charge des Entreprises de travaux.

ANNEXES

Annexe 1 : Résultats des investigations géotechniques	19
Plan d'implantation des investigations	20
Sondages pressiométriques	Sp1 et Sp2 21 - 22
Essais de pénétration dynamique	Pd1 et Pd2 23 - 24
Fouille de découverte de fondations	F1 25
Analyses en laboratoire	26 – 27
 Annexe 2 : Dimensionnement des micropieux	 28
Modélisations FOXTA (Micropieux Ø250 mm à PFT 49.2 et 47.8 NGF)	29 - 34
Plan de numérotation des micropieux	35
Tableaux de synthèse	36 - 37
Vérification armature 88.9 x7.5 mm en compression simple	38
Vérification au flambement	39
 Annexe 3 : Extrait de la norme NF P94-500 de nov. 2013 (<i>classification des missions géotechniques</i>)	 40 - 43

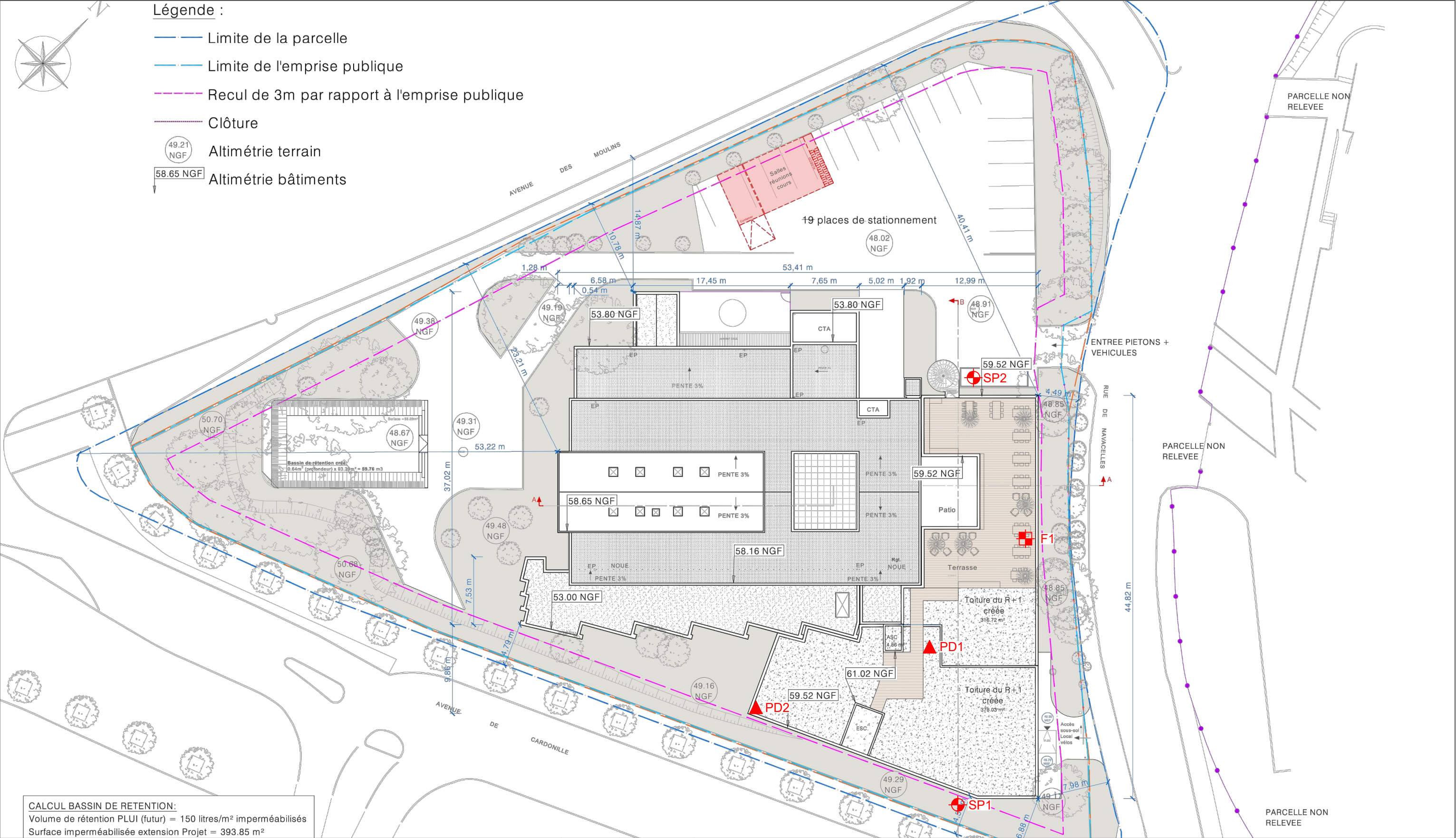
ANNEXE 1
Résultats des investigations
géotechniques



PLAN D'IMPLANTATION DES INVESTIGATIONS

Légende :

- Limite de la parcelle
- Limite de l'emprise publique
- - - Recul de 3m par rapport à l'emprise publique
- Clôture
- 49.21 NGF Altimétrie terrain
- 58.65 NGF Altimétrie bâtiments



CALCUL BASSIN DE RETENTION:
Volume de rétention PLUI (futur) = 150 litres/m² imperméabilisés
Surface imperméabilisée extension Projet = 393.85 m²

LÉGENDE

- SP SONDAGE PRESSIOMÉTRIQUE
- F SONDAGE DE RECONNAISSANCE DE FONDATION
- PD ESSAI DE PÉNÉTRATION DYNAMIQUE

INDICE	DATE	MODIFICATION
01	03/06/24	Première diffusion
Fond du plan : G229-ELV-APD-PLN Masse-20240318		



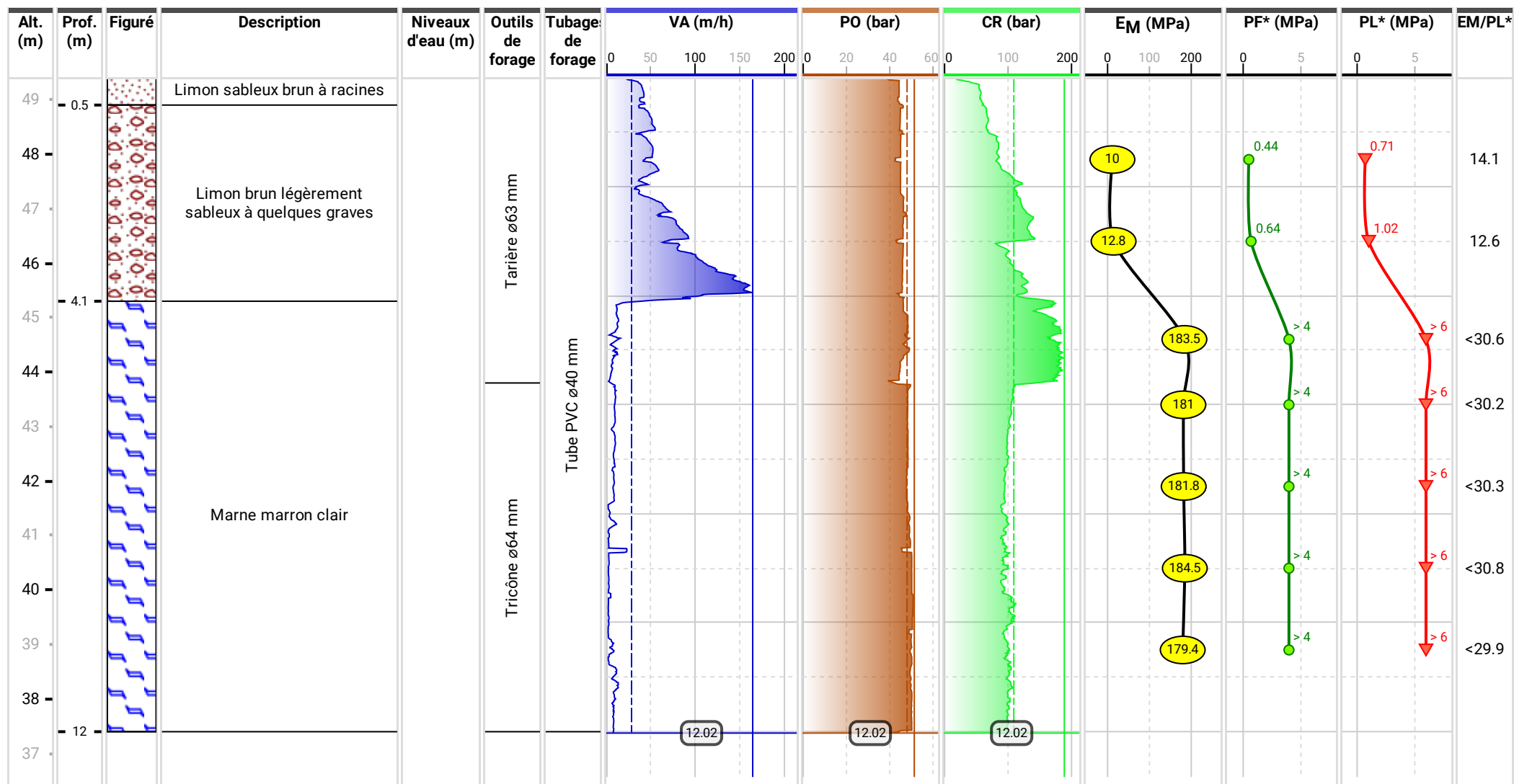
Echelle : 1/400
Format : A3

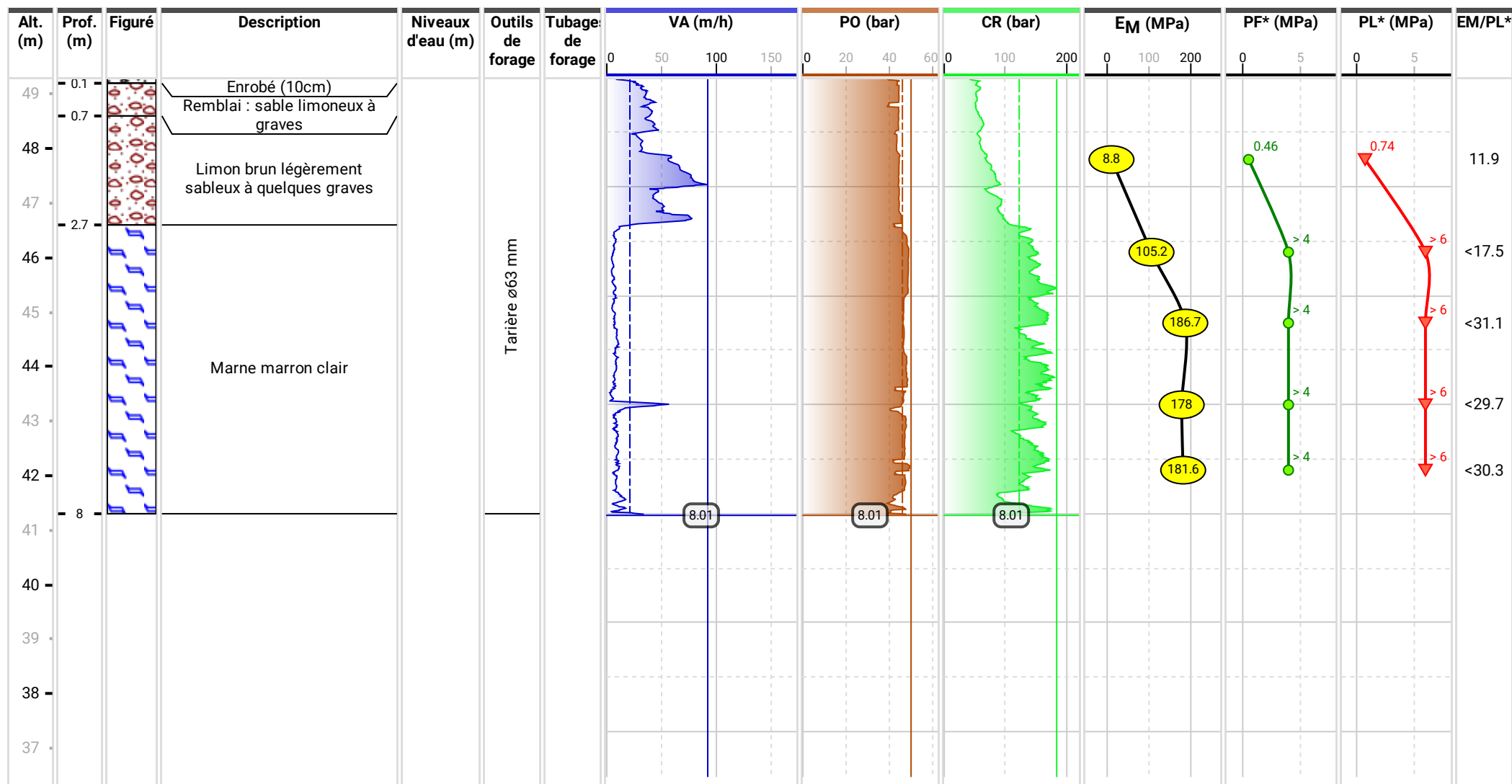
24-175
MONTPELLIER
Rue de la Cardonille
Bâtiment CBS - Extension et surélévation

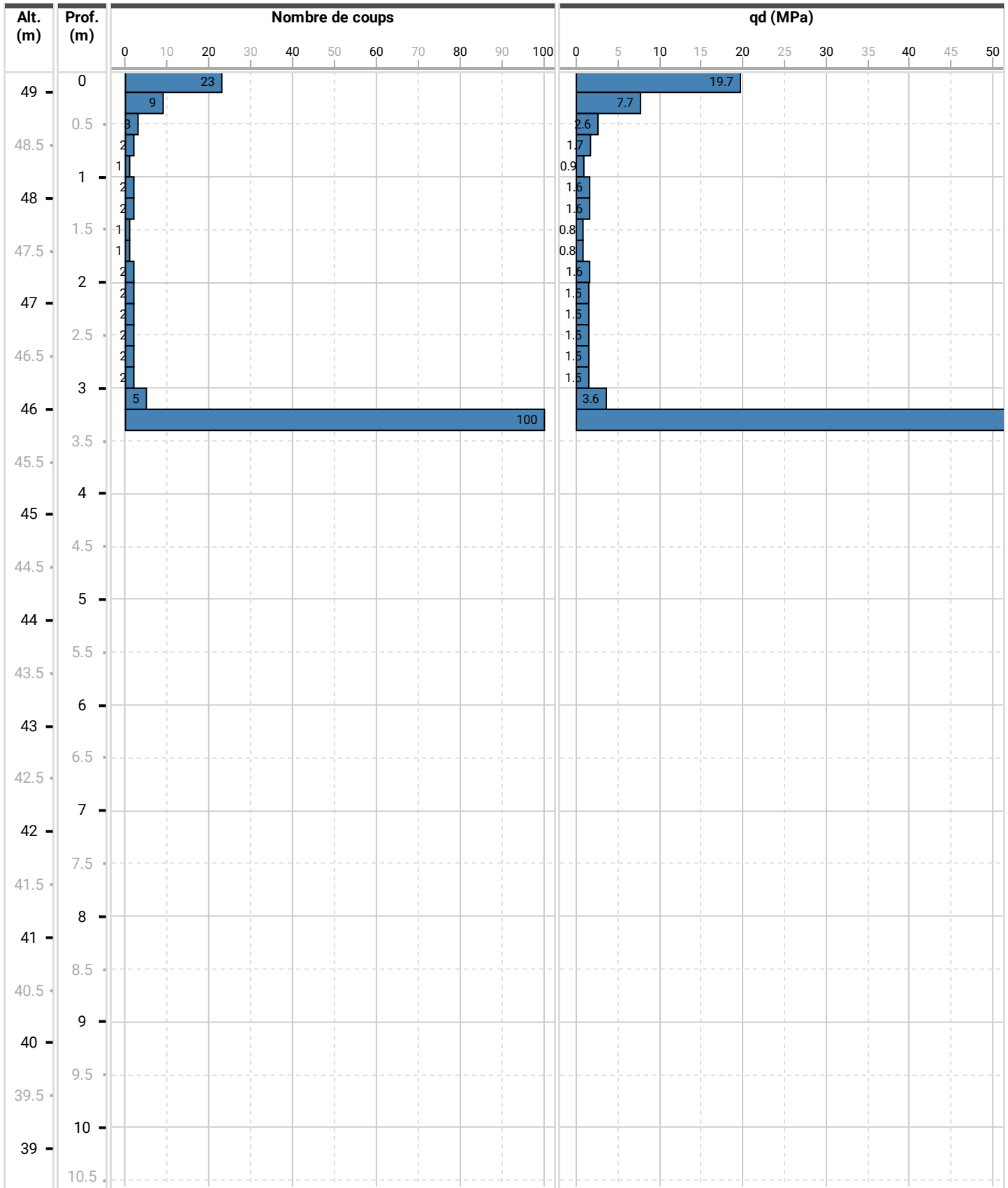
Client : INSERM
Fait par : Valentin MÉRARD
Visé par : Nicolas RAYNEAU

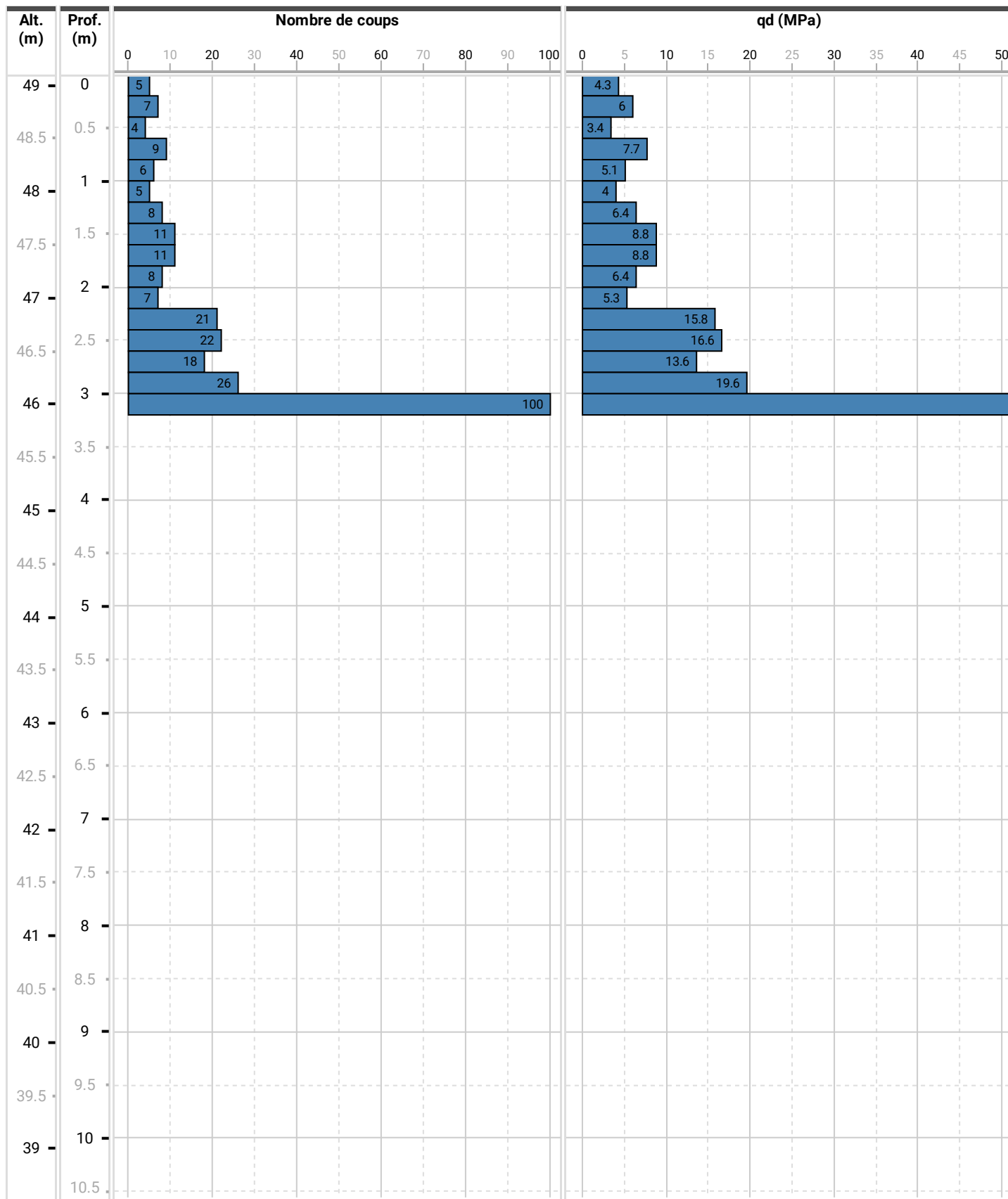
EGSA
géotechnique

EGSA btp
Parc d'activités Clément Ader
19 rue Louis Breguet
34830 JACOU
Tel : 04 67 13 86 80



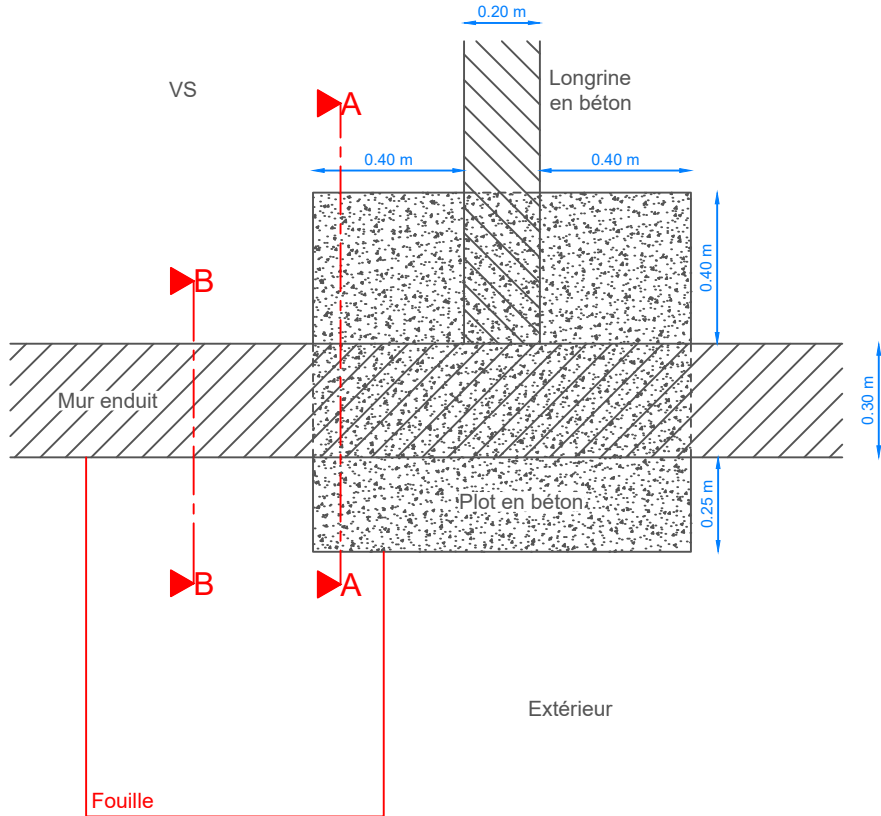




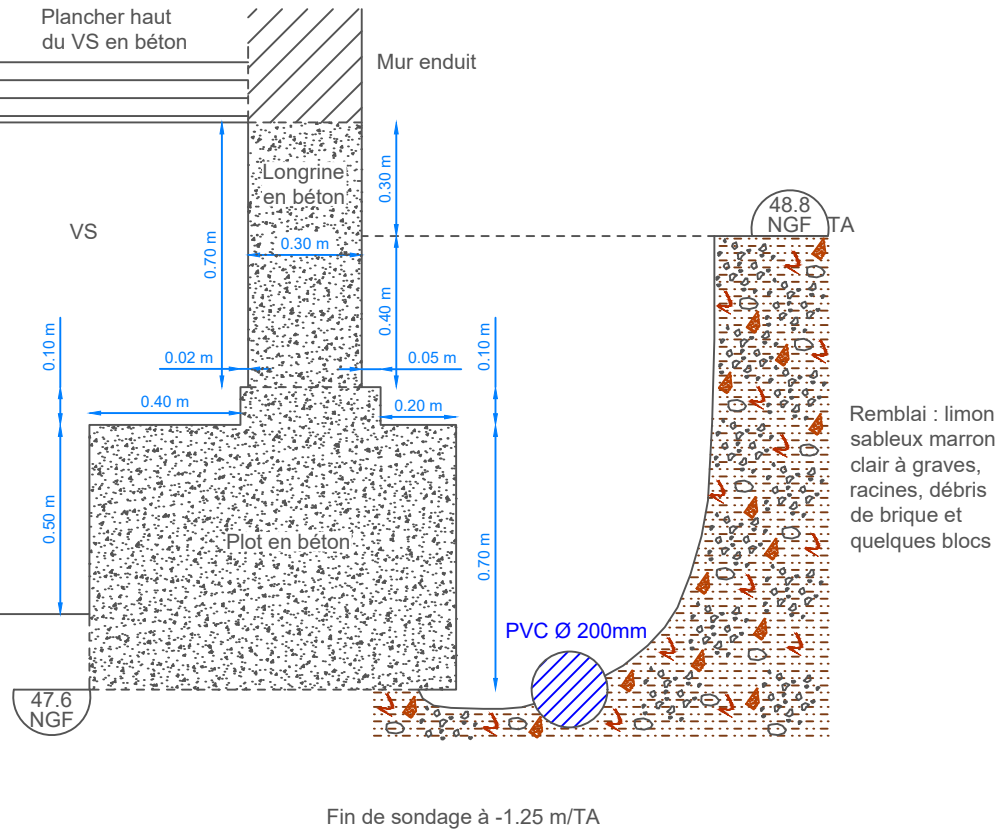


SONDAGE DE RECONNAISSANCE DE FONDATION F1

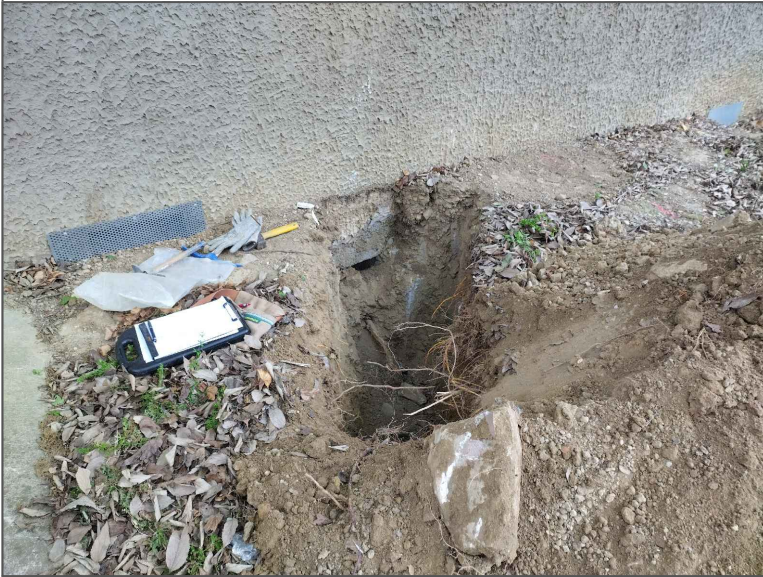
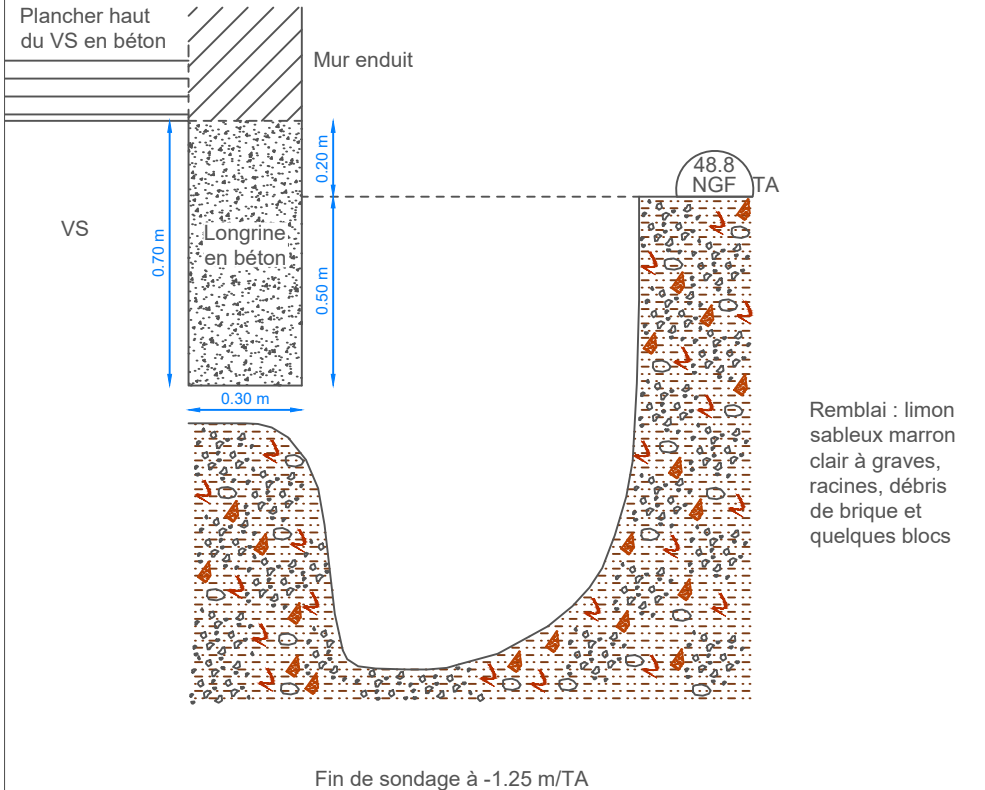
VUE EN PLAN



COUPE A-A



COUPE B-E



INDICE	DATE	MODIFICATION
01	03/06/24	Première diffusion

Sondage réalisé le : 25/04/24	Echelle : 1/20
Fait par : Valentin MÉRARD	Visé par : Nicolas RAYNEAU

24-175
MONTPELLIER
Bâtiment CBS - Extension et surélévation

DOSSIER :	24-175
COMMUNE :	MONTPELLIER
CHANTIER :	Bâtiment CBS
DATE :	avr.-24

Echantillon		
Point de prélèvement		SP1
Profondeur	en mètres	0,5-1,5
Description		
Limon brun légèrement sableux, quelques graves		
Teneur en eau	w _{nat.} en %	13,8
Essai au bleu de méthylène		
Fraction de sol choisie		0/5mm
Passant de fraction choisie sur fraction 0/50mm	en %	92,8
Valeur de bleu sur fraction de sol choisie	Vb	2,67
Valeur de bleu sur le sol	VBS	2,47
Granulométrie		
Pourcentage sur sol sec de passant à	20mm	100,0
	2mm	88,8
	0,4mm	82,6
	0,08mm	70,0
Classe GTR		A₁

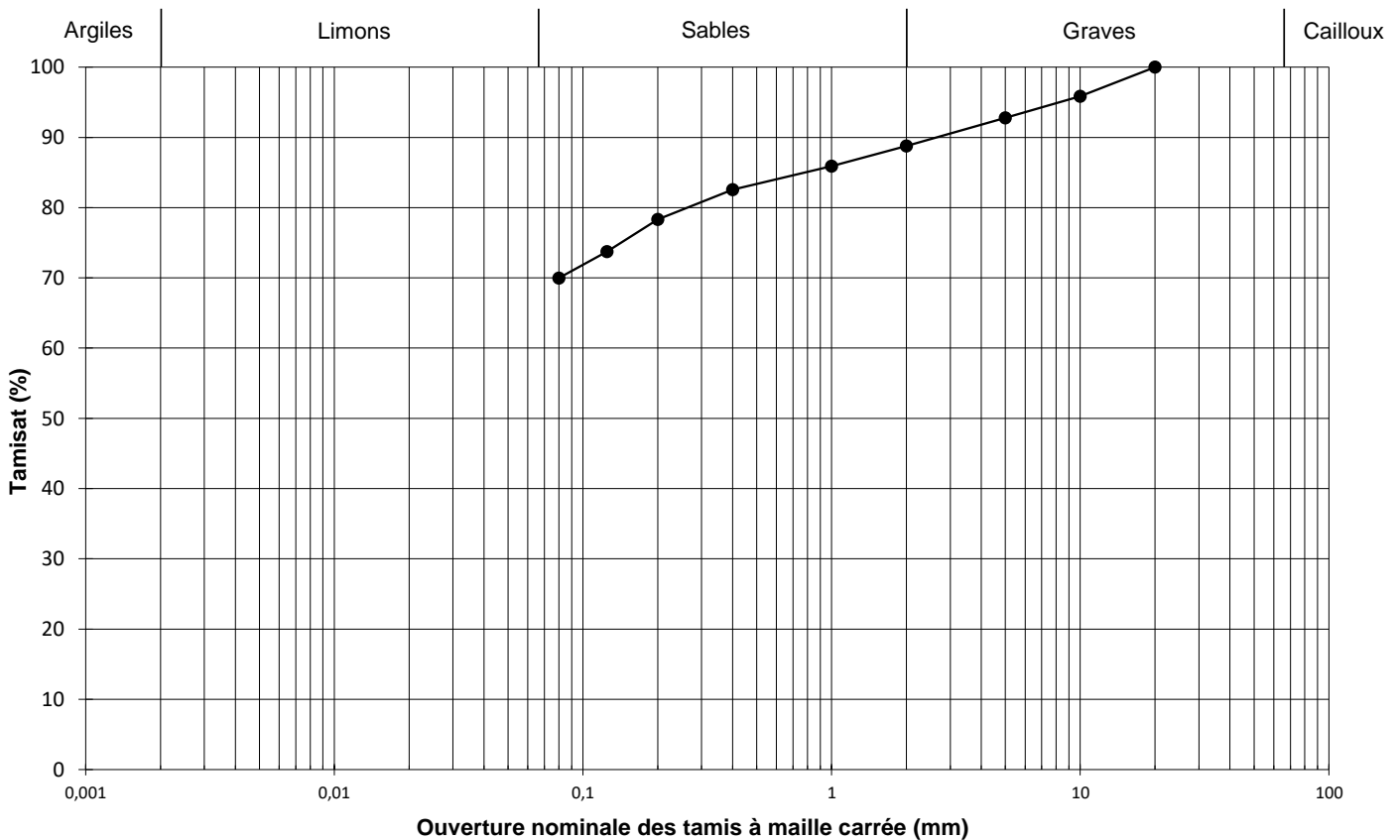
ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Méthode par tamisage à sec après lavage

Norme NF P 94-056

DOSSIER :	24-175	Critères d'identification	
COMMUNE :	MONTPELLIER	$w_{nat} = 13,8\%$	$D_{max} = 20mm$
CHANTIER :	Bâtiment CBS	VBS= 2,47	$E_s = /$
Sondage :	SP1	Sans quartage	$I_p = /$ $I_c = /$
Profondeur :	0,5-1,5 m/TA	Profondeur d'essai : /	IPI= / wOPN= /
Date d'essai :	avr.-24	Température de séchage : 105°	Classification NFP 11-300 : A₁

COURBE GRANULOMETRIQUE



VALEURS GRANULOMETRIQUES $D_{max} > 50mm$

Tamis d (mm)	1000	400	200	100	80	63
Passant (%)	/	/	/	/	/	/

VALEURS GRANULOMETRIQUES

Tamis d (mm)	50	31,5	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,125	0,08
Passant (%)	/	/	100,0	95,8	92,8	88,8	85,9	82,6	78,3	73,8	70,0

VALEURS SEDIMENTOMETRIQUES

Tamis d (µm)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Passant (%)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

PARAMETRES GRANULOMETRIQUES :

$D_{60} = /$ $D_{50} = /$
 $D_{10} = /$ $D_{30} = /$
Facteur de courbure $C_c = /$ Facteur d'uniformité $C_u = /$

DENOMINATION :

Limon légèrement sableux

ANNEXE 2
Dimensionnement des micropieux



Données

Titre du projet : Batiment CBS

Numéro d'affaire : 24-175

Commentaires : G2-PRO Dimensionnement des micropieux

Titre du calcul : MP250 (pieu n°1)

Cadre réglementaire : EC 7 - Norme NF P94-262/A1 (juillet 2018)

Méthode de dimensionnement : A partir des résultats pressiométriques

Traitement des données : Traitement par couches

Pas du calcul (m) : 0,50

Section de calcul : Section de calcul circulaire

Diamètre de calcul (m) : 0,25

Classe du pieu : 8 - Pieu/micropieu injecté

Catégorie du pieu : 19 [PIGU, MIGU] - Pieu ou micropieu injecté mode IGU (type III)

Mode de chargement : Travail en compression

Combinaisons

	ELS-QP	ELS-CARAC	ELU-FOND	ELU-ACC
Pondérations combinées sur Qs,k	0,636	0,778	0,909	1,000
Pondérations combinées sur Qp,k	0,000	0,000	0,000	0,000

Cote de référence (m) : 49,20

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Classe de sol	Zbase	pl*	qsl	kpmax	γR,d1×γR,d2
1	Terrain eutralisé		Argile, limons	48,20	120,00	37,37	1,15	2,200
2	Alluvions		Sols intermédiaires, tendance sableuse	45,50	500,00	85,05	1,10	1,540
3	Marnes		Marne et calcaire marneux	20,00	4500,00	278,40	1,45	2,200

Critère de calcul : Charge imposée en tête

Charge en tête (kN)

Critère appliqué à la combinaison ELS-QP : 0,00

Critère appliqué à la combinaison ELS-CARAC : 800,00

Critère appliqué à la combinaison ELU-FOND : 0,00

Critère appliqué à la combinaison ELU-ACC : 0,00

Appliquer un facteur réducteur d'effet de groupe : Non

Contrôle de la résistance structurale de la section : Non



FoXta v4
v4.1.13

Imprimé le : 20/03/2025 - 11:10:10
Calcul réalisé par : EGSA BTP

Projet : MP
Module : Fondprof (Pieu 1/1)
Titre du calcul : MP250

File : C:\Users\Nicolas\AppData\Local\Temp\Terrasol\FoXta v4\15428\FP.0.resu

Calcul réalisé le : 20/03/2025 à 11h09
par : EGSA BTP

Options du calcul :

- calcul basé sur des paramètres issus du pressiomètre de Ménard
- calcul selon les règles de la norme NF P 94 262
- profil de pression limite pl* défini par couche
- pour pieu de catégorie : 19
- pour pieu travaillant en compression

Combinaisons	ELS-QP	ELS-CARA	ELU-FOND	ELU-ACC
Frottement	0.636	0.778	0.909	1.000
Pointe	0.000	0.000	0.000	0.000

Cote de référence : 49.200

Section du pieu : 0.049
Périmètre : 0.785

Caractéristiques des couches (données utilisateur)

couche	base	pl*	qsl	kpmin	kpmax	gamrd
01	48.20	120.0	37.37	1.00	1.15	2.20
02	45.50	500.0	85.05	1.00	1.10	1.54
03	20.00	4500.0	278.40	1.00	1.45	2.20

Pas du calcul : 0.50

SOLUTION

Calcul à charge imposée : Q = 800.0 combinaison dimensionnante : ELS-CARA

couche	cote	qsl	ple	kp	Qs	Qp	ELS-QP	ELS-CARA	ELU-FOND	ELU-ACC
01	49.20	37.37	246.7	1.000	0.0	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0
01	48.70	37.37	310.0	1.023	14.7	15.6	4.2	5.2	6.1	6.7
01	48.20	37.37	405.0	1.036	29.4	20.6	8.5	10.4	12.1	13.3
01	48.20	37.37	405.0	1.036	29.4	20.6	8.5	10.4	12.1	13.3
02	48.20	85.05	500.0	1.019	29.4	25.0	8.5	10.4	12.1	13.3
02	47.70	85.05	500.0	1.059	62.7	26.0	22.3	27.3	31.8	35.0
02	47.20	85.05	500.0	1.099	96.1	27.0	36.1	44.1	51.6	56.7
02	46.70	85.05	1100.0	1.063	129.5	57.4	49.9	61.0	71.3	78.4
02	46.20	85.05	2100.0	1.040	162.9	107.2	63.7	77.9	91.0	100.1
02	45.70	85.05	3100.0	1.032	196.3	157.1	77.5	94.7	110.7	121.8
02	45.50	85.05	3500.0	1.029	209.7	176.7	83.0	101.5	118.6	130.5
03	45.50	278.40	4500.0	1.100	209.7	243.0	83.0	101.5	118.6	130.5
03	45.00	278.40	4500.0	1.260	319.0	278.3	114.6	140.2	163.8	180.1
03	44.50	278.40	4500.0	1.420	428.4	313.7	146.2	178.8	208.9	229.8
03	44.00	278.40	4500.0	1.450	537.7	320.3	177.8	217.5	254.1	279.5
03	43.50	278.40	4500.0	1.450	647.0	320.3	209.4	256.1	299.3	329.2
03	43.00	278.40	4500.0	1.450	756.3	320.3	241.0	294.8	344.4	378.9
03	42.50	278.40	4500.0	1.450	865.7	320.3	272.6	333.5	389.6	428.6
03	42.00	278.40	4500.0	1.450	975.0	320.3	304.2	372.1	434.8	478.3
03	41.50	278.40	4500.0	1.450	1084.3	320.3	335.8	410.8	480.0	528.0
03	41.00	278.40	4500.0	1.450	1193.7	320.3	367.4	449.5	525.1	577.7
03	40.50	278.40	4500.0	1.450	1303.0	320.3	399.0	488.1	570.3	627.4

03	40.00	278.40	4500.0	1.450	1412.3	320.3	430.6	526.8	615.5	677.1
03	39.50	278.40	4500.0	1.450	1521.6	320.3	462.2	565.4	660.6	726.8
03	39.00	278.40	4500.0	1.450	1631.0	320.3	493.8	604.1	705.8	776.5
03	38.50	278.40	4500.0	1.450	1740.3	320.3	525.4	642.8	751.0	826.2
03	38.00	278.40	4500.0	1.450	1849.6	320.3	557.1	681.4	796.2	875.9
03	37.50	278.40	4500.0	1.450	1958.9	320.3	588.7	720.1	841.3	925.6
03	37.00	278.40	4500.0	1.450	2068.3	320.3	620.3	758.8	886.5	975.3
03	36.50	278.40	4500.0	1.450	2177.6	320.3	651.9	797.4	931.7	1025.0
03	36.47	278.40	4500.0	1.450	2184.9	320.3	654.0	800.0	934.7	1028.3

Données

Titre du projet : Batiment CBS

Numéro d'affaire : 24-175

Commentaires : G2-PRO Dimensionnement des micropieux

Titre du calcul : MP250 (pieu n°1)

Cadre réglementaire : EC 7 - Norme NF P94-262/A1 (juillet 2018)

Méthode de dimensionnement : A partir des résultats pressiométriques

Traitement des données : Traitement par couches

Pas du calcul (m) : 0,50

Section de calcul : Section de calcul circulaire

Diamètre de calcul (m) : 0,25

Classe du pieu : 8 - Pieu/micropieu injecté

Catégorie du pieu : 19 [PIGU, MIGU] - Pieu ou micropieu injecté mode IGU (type III)

Mode de chargement : Travail en compression

Combinaisons

	ELS-QP	ELS-CARAC	ELU-FOND	ELU-ACC
Pondérations combinées sur Qs,k	0,636	0,778	0,909	1,000
Pondérations combinées sur Qp,k	0,000	0,000	0,000	0,000

Cote de référence (m) : 47,80

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Classe de sol	Zbase	pl*	qsl	kpmax	γR,d1×γR,d2
1	Terrain eutralisé		Argile, limons	46,80	120,00	37,37	1,15	2,200
2	Alluvions		Sols intermédiaires, tendance sableuse	45,50	500,00	85,05	1,10	1,540
3	Marnes		Marne et calcaire marneux	20,00	4500,00	278,40	1,45	2,200

Critère de calcul : Charge imposée en tête

Charge en tête (kN)

Critère appliqué à la combinaison ELS-QP : 0,00

Critère appliqué à la combinaison ELS-CARAC : 800,00

Critère appliqué à la combinaison ELU-FOND : 0,00

Critère appliqué à la combinaison ELU-ACC : 0,00

Appliquer un facteur réducteur d'effet de groupe : Non

Contrôle de la résistance structurale de la section : Non



FoXta v4
v4.1.13

Imprimé le : 20/03/2025 - 11:22:25
Calcul réalisé par : EGSA BTP

Projet : MP
Module : Fondprof (Pieu 1/1)
Titre du calcul : MP250

File : C:\Users\Nicolas\AppData\Local\Temp\Terrasol\FoXta v4\15428\FP.0.resu

Calcul réalisé le : 20/03/2025 à 11h22
par : EGSA BTP

Options du calcul :

- calcul basé sur des paramètres issus du pressiomètre de Ménard
- calcul selon les règles de la norme NF P 94 262
- profil de pression limite pl* défini par couche
- pour pieu de catégorie : 19
- pour pieu travaillant en compression

Combinaisons	ELS-QP	ELS-CARA	ELU-FOND	ELU-ACC
Frottement	0.636	0.778	0.909	1.000
Pointe	0.000	0.000	0.000	0.000

Cote de référence : 47.800

Section du pieu : 0.049
Périmètre : 0.785

Caractéristiques des couches (données utilisateur)

couche	base	pl*	qsl	kpmin	kpmax	gamrd
01	46.80	120.0	37.37	1.00	1.15	2.20
02	45.50	500.0	85.05	1.00	1.10	1.54
03	20.00	4500.0	278.40	1.00	1.45	2.20

Pas du calcul : 0.50

SOLUTION

Calcul à charge imposée : Q = 800.0 combinaison dimensionnante : ELS-CARA

couche	cote	qsl	ple	kp	Qs	Qp	ELS-QP	ELS-CARA	ELU-FOND	ELU-ACC
01	47.80	37.37	246.7	1.000	0.0	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0
01	47.30	37.37	310.0	1.023	14.7	15.6	4.2	5.2	6.1	6.7
01	46.80	37.37	805.0	1.018	29.4	40.2	8.5	10.4	12.1	13.3
01	46.80	37.37	805.0	1.018	29.4	40.2	8.5	10.4	12.1	13.3
02	46.80	85.05	1033.3	1.009	29.4	51.2	8.5	10.4	12.1	13.3
02	46.30	85.05	1900.0	1.016	62.7	94.7	22.3	27.3	31.8	35.0
02	45.80	85.05	2900.0	1.017	96.1	144.8	36.1	44.1	51.6	56.7
02	45.50	85.05	3500.0	1.018	116.2	174.8	44.3	54.2	63.4	69.7
03	45.50	278.40	4500.0	1.062	116.2	234.5	44.3	54.2	63.4	69.7
03	45.00	278.40	4500.0	1.239	225.5	273.6	76.0	92.9	108.6	119.4
03	44.50	278.40	4500.0	1.414	334.8	312.3	107.6	131.6	153.7	169.1
03	44.00	278.40	4500.0	1.450	444.2	320.3	139.2	170.2	198.9	218.8
03	43.50	278.40	4500.0	1.450	553.5	320.3	170.8	208.9	244.1	268.5
03	43.00	278.40	4500.0	1.450	662.8	320.3	202.4	247.6	289.2	318.2
03	42.50	278.40	4500.0	1.450	772.2	320.3	234.0	286.2	334.4	367.9
03	42.00	278.40	4500.0	1.450	881.5	320.3	265.6	324.9	379.6	417.6
03	41.50	278.40	4500.0	1.450	990.8	320.3	297.2	363.5	424.8	467.3
03	41.00	278.40	4500.0	1.450	1100.1	320.3	328.8	402.2	469.9	517.0
03	40.50	278.40	4500.0	1.450	1209.5	320.3	360.4	440.9	515.1	566.7
03	40.00	278.40	4500.0	1.450	1318.8	320.3	392.0	479.5	560.3	616.4
03	39.50	278.40	4500.0	1.450	1428.1	320.3	423.6	518.2	605.4	666.1
03	39.00	278.40	4500.0	1.450	1537.4	320.3	455.2	556.9	650.6	715.8

03	38.50	278.40	4500.0	1.450	1646.8	320.3	486.8	595.5	695.8	765.4
03	38.00	278.40	4500.0	1.450	1756.1	320.3	518.4	634.2	741.0	815.1
03	37.50	278.40	4500.0	1.450	1865.4	320.3	550.0	672.8	786.1	864.8
03	37.00	278.40	4500.0	1.450	1974.8	320.3	581.6	711.5	831.3	914.5
03	36.50	278.40	4500.0	1.450	2084.1	320.3	613.2	750.2	876.5	964.2
03	36.00	278.40	4500.0	1.450	2193.4	320.3	644.9	788.8	921.7	1013.9
03	35.86	278.40	4500.0	1.450	2225.0	320.3	654.0	800.0	934.7	1028.3



24-175-B1
Batiment CBS
ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (Mission G2-PRO)
DIMENSIONNEMENT DES MICROPIEUX DE FONDATION

Numéro Pieux	Charge ELS caractéristique (N = G + Q)	Diamètre	Cote PFT	Toit de la couche d'ancrage (marnes)	Base micropieu	Longueur totale du pieu (depuis la PFT)	Longueur d'ancrage dans la couche d'ancrage
	[kN]	[mm]	[NGF]	[NGF]	[NGF]	[m]	[m]
1	560	250	49,20	45,5	39,5	9,7	6,0
2a	600	250	49,20	45,5	39,0	10,2	6,5
2b	600	250	49,20	45,5	39,0	10,2	6,5
3	330	250	49,20	45,5	42,5	6,7	3,0
4a	550	250	49,20	45,5	39,5	9,7	6,0
4b	550	250	49,20	45,5	39,5	9,7	6,0
5a	430	250	49,20	45,5	41,0	8,2	4,5
5b	430	250	49,20	45,5	41,0	8,2	4,5
6a	540	250	49,20	45,5	39,5	9,7	6,0
6b	540	250	49,20	45,5	39,5	9,7	6,0
7a	602	250	49,20	45,5	39,0	10,2	6,5
7b	602	250	49,20	45,5	39,0	10,2	6,5
7c	602	250	49,20	45,5	39,0	10,2	6,5
8	660	250	49,20	45,5	38,0	11,2	7,5
9a	500	250	49,20	45,5	40,0	9,2	5,5
9b	500	250	49,20	45,5	40,0	9,2	5,5
9c	500	250	49,20	45,5	40,0	9,2	5,5
10	220	250	49,20	45,5	42,5	6,7	3,0
11	690	250	49,20	45,5	37,5	11,7	8,0
12a	637	250	49,20	45,5	38,5	10,7	7,0
12b	637	250	49,20	45,5	38,5	10,7	7,0
12c	637	250	49,20	45,5	38,5	10,7	7,0
13	180	250	49,20	45,5	42,5	6,7	3,0
14a	420	250	49,20	45,5	41,0	8,2	4,5
14b	420	250	49,20	45,5	41,0	8,2	4,5
15	40	250	49,20	45,5	42,5	6,7	3,0
16a	680	250	49,20	45,5	38,0	11,2	7,5
16b	680	250	49,20	45,5	38,0	11,2	7,5
17a	740	250	49,20	45,5	37,0	12,2	8,5
17b	740	250	49,20	45,5	37,0	12,2	8,5
17c	740	250	49,20	45,5	37,0	12,2	8,5
17d	740	250	49,20	45,5	37,0	12,2	8,5
18a	540	250	49,20	45,5	39,5	9,7	6,0
18b	540	250	49,20	45,5	39,5	9,7	6,0
18c	540	250	49,20	45,5	39,5	9,7	6,0
18d	540	250	49,20	45,5	39,5	9,7	6,0
19a	360	250	49,20	45,5	42,0	7,2	3,5
19b	360	250	49,20	45,5	42,0	7,2	3,5
20a	705	250	47,80	45,5	37,0	10,8	8,5
20b	705	250	47,80	45,5	37,0	10,8	8,5
21a	760	250	47,80	45,5	36,0	11,8	9,5
21b	760	250	47,80	45,5	36,0	11,8	9,5
22a	785	250	47,80	45,5	36,0	11,8	9,5
22b	785	250	47,80	45,5	36,0	11,8	9,5
23	700	250	47,80	45,5	37,0	10,8	8,5
24a	455	250	47,80	45,5	40,0	7,8	5,5
24b	455	250	47,80	45,5	40,0	7,8	5,5
25a	455	250	47,80	45,5	40,0	7,8	5,5
25b	455	250	47,80	45,5	40,0	7,8	5,5
26a	455	250	47,80	45,5	40,0	7,8	5,5
26b	455	250	47,80	45,5	40,0	7,8	5,5

Tableau

Nombre de micropieux

52
492,5

unités
ml total

24-175-B1
Batiment CBS
ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (Mission G2-PRO)
DIMENSIONNEMENT DES MICROPIEUX DE FONDATION

Numéro Pieux	Charge ELS caractéristique (N = G + Q)	Diamètre	Cote PFT	Toit de la couche d'ancrage (marnes)	Base micropieu	Longueur totale du pieu (depuis la PFT)	Longueur d'ancrage dans la couche d'ancrage
	[kN]	[mm]	[NGF]	[NGF]	[NGF]	[m]	[m]
27a	480	420	49,00	45,5	40,5	8,5	5,0
27b	480	420	49,00	45,5	40,5	8,5	5,0
28a	405	420	49,00	45,5	41,5	7,5	4,0
28b	405	420	49,00	45,5	41,5	7,5	4,0
29a	435	420	49,00	45,5	41,0	8,0	4,5
29b	435	420	49,00	45,5	41,0	8,0	4,5
30a	435	420	49,00	45,5	41,0	8,0	4,5
30b	435	420	49,00	45,5	41,0	8,0	4,5
31a	450	420	49,00	45,5	40,5	8,5	5,0
31b	450	420	49,00	45,5	40,5	8,5	5,0
32a	345	420	49,00	45,5	42,0	7,0	3,5
32b	345	420	49,00	45,5	42,0	7,0	3,5
33a	525	420	47,80	45,5	39,0	8,8	6,5
33b	525	420	47,80	45,5	39,0	8,8	6,5
34a	500	420	47,80	45,5	39,5	8,3	6,0
34b	500	420	47,80	45,5	39,5	8,3	6,0
35	250	420	47,80	45,5	42,5	5,3	3,0
36a	175	420	47,80	45,5	42,5	5,3	3,0
36b	175	420	47,80	45,5	42,5	5,3	3,0
37a	645	420	47,80	45,5	37,5	10,3	8,0
37b	645	420	47,80	45,5	37,5	10,3	8,0
37c	645	420	47,80	45,5	37,5	10,3	8,0
38a	440	420	47,80	45,5	40,5	7,3	5,0
38b	440	420	47,80	45,5	40,5	7,3	5,0
40a	385	420	47,80	45,5	41,0	6,8	4,5
40b	385	420	47,80	45,5	41,0	6,8	4,5
40c	385	420	47,80	45,5	41,0	6,8	4,5
40d	385	420	47,80	45,5	41,0	6,8	4,5
41	500	420	47,80	45,5	39,5	8,3	6,0
42	295	420	47,80	45,5	42,0	5,8	3,5
43*	295	420	47,80	45,5	42,0	5,8	3,5
44	330	420	47,80	45,5	41,5	6,3	4,0
45	530	420	47,80	45,5	39,0	8,8	6,5
46	150	420	47,80	45,5	42,5	5,3	3,0
47	150	420	47,80	45,5	42,5	5,3	3,0
48	23	420	47,80	45,5	42,5	5,3	3,0
49	21	420	47,80	45,5	42,5	5,3	3,0
50	20	420	47,80	45,5	42,5	5,3	3,0
51	20	420	47,80	45,5	42,5	5,3	3,0
52	21	420	47,80	45,5	42,5	5,3	3,0
53	23	420	47,80	45,5	42,5	5,3	3,0
54	320	420	47,80	45,5	42,0	5,8	3,5
55	350	420	47,80	45,5	41,5	6,3	4,0
56	120	420	47,80	45,5	42,5	5,3	3,0
57	130	420	47,80	45,5	42,5	5,3	3,0

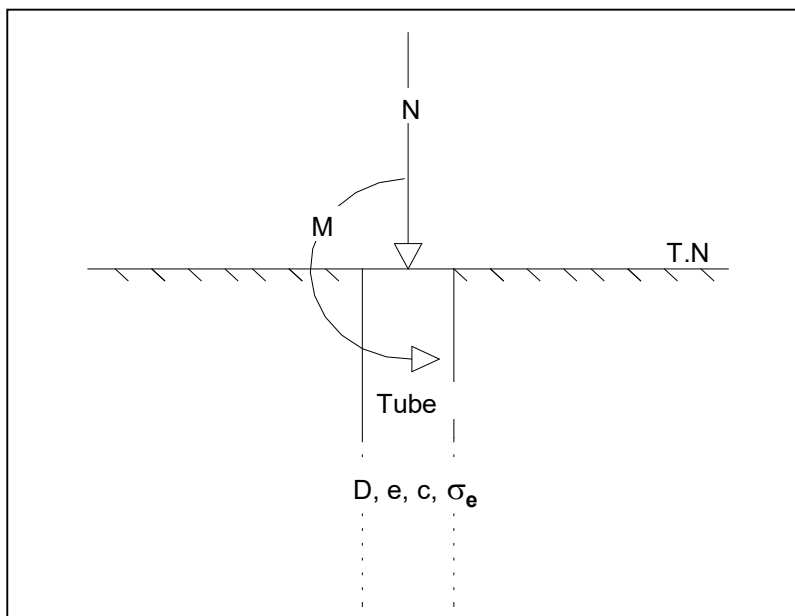
Tableau

Nombre de micropieux

45
317,9

unités
ml total

24-175-B MONTPELLIER (34)
Batiment CBS- Extension et surélévation
Etude géotechnique de projet (Mission G2-PRO)
JUSTIFICATION DES PROFILES EN COMPRESSION SIMPLE



Données

Type de profilé	Tube N80 88,9 x 7,5 mm	
Diamètre du tube (mm)	D	88,9
Epaisseur du tube (mm)	e	7,50
Corrosion (mm)	c	0,0
Limite élastique du tube (MPa)	σ_e	560 Acier N80
Effort normal ELU (kN)	N	1050 $N_{ELS} \times 1,4$
Moment fléchissant (kN.m)	M	
% de σ _e en compression		100 EN 1993-5
% de σ _e en flexion composée		100

Calculs intermédiaires

Diamètre extérieur (cm)	D_{ext}	8,89
Diamètre intérieur (cm)	D_{int}	7,39
Section (cm ²)	S	19,18
Moment d'inertie (cm ⁴)	I	160,20
Module d'inertie (cm ³)	I/v	36,04

Résultats

Contrainte de compression (MPa)	σ_n	547	
Contrainte de flexion composée (MPa)	σ_f	547	
% de σ _e en compression		98	<u>OK</u>
% de σ _e en flexion composée		98	<u>OK</u>

MICROPIEUX N80 88,9 mm ep 7,5 mm

VERIFICATION DES MICRO-PIEUX AU FLAMBEMENT

Application de la méthode de Mandel (flambement au sein d'un milieu élastique)

Charge admissible de flambement à l'ELS:
(coefficient de sécurité de 2.5)

$$N_f = \frac{N_c}{3} = \frac{\varphi}{3} \sqrt{EI K_h \phi}$$

Nc : Charge critique

φ : Force réduite

EI : Raideur réduite de l'armature (coulis négligé)

Kh : Module de réaction surfacique

φ : Diamètre de forage

Kf court terme (pour φ < 600 mm) :

$$Kf = \frac{12 Em}{\frac{4}{3} 2.65^\alpha + \alpha}$$

Kf long terme = Kf courte durée / 2

Kf = Kh φ

φ est donnée par des abaques en fonction du type de déplacement

du micropieux en dehors de la zone molle et de la demie longueur réduite λ :

$$\lambda = \frac{D}{2} \sqrt[4]{\frac{K_h B}{EI}} = \frac{D}{2} \sqrt[4]{\frac{K_f}{EI}}$$

Conditions d'encastrement

Cas 1 : aucun déplacement transversal des deux extrémités

Cas 2 : encastrement aux deux extrémités

Cas 3 : libre aux deux extrémités

Cas 4 : 1 extrémité libre, 1 extrémité encastree

DONNÉES

Module de l'armature (kPa)	E	210000000
Inertie de l'armature (cm ⁴)	I	160.2
Section de l'armature (cm ²)	S	19.2
Corrosion prise en compte? (Oui=1, Non=2)		1
Limite élastique de l'armature (MPa)	σ _e	560
Diamètre de forage (mm)	B	250
Longueur de flambement (m)	D	4.0
Module pressiométrique (MPa)	Em	5.0
Coefficient réologique	α	0.66
Conditions aux limites (1,2,3 ou 4)		1

VALEURS CALCULÉES

Module de réaction long terme (kN/m ³)	Kh	37613
Demi-longueurs réduites (m)	λ	4.60
Forces réduites		
Cas 1	φ ₁	2.00
Cas 2	φ ₂	2.43
Cas 3	φ ₃	0.87
Cas 4	φ ₄	1.00
Charges critiques (kN)		
	Nc ₁	3557
	Nc ₂	4331
	Nc ₃	1542
	Nc ₄	1779

RÉSULTATS

Charge critique retenue (kN)	Nc	3557	
Charge admissible ELS de flambement (kN)	Nadm	1423	> Nmax _{ELS} = 800 kN

ANNEXE 3

Extrait de la norme NF P94-500



Tableau 1 — Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement 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
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		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
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude 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,	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet	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)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude 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	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	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
À 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

Tableau 2 – Classification des missions d'ingénierie géotechnique

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.

ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases :

Phase Étude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.

- 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.

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

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.

- 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).

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE 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 :

Phase Avant-projet (AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- 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 géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

Phase Projet (PRO)

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.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, 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.

Phase DCE / ACT

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.

- Établir 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.

ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES 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 Étude

— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.

— Étudier 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 complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).

— Élaborer 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 des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.

— 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).

— Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques 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 d'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 la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (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.

— Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (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).