

Rapport d'étude

TEA210431_P002_VA

SORBONNE UNIVERSITE
Direction Patrimoine et Logistique
1, rue Victor Cousin
75230 PARIS CEDEX 5

Installation d'un microscope électronique

Mission G2-PRO

Campus Pierre et Marie Curie
4, place Jussieu
75005 PARIS

VOTRE INTERLOCUTEUR

Romain CUMONT
06 12 99 22 29
r.cumont@technosol-gengis.fr

SIÈGE SOCIAL
13, route de la Grange aux
Cercles
91160 Ballainvilliers
01 69 09 14 51
contact@technosol-gengis.fr
technosol-gengis.fr



RÉFÉRENCES

| | | | |
|------------------|---------------|---------|------|
| N° Affaire : | TEA210431 | Pièce : | P002 |
| Réf. du client : | BC 4500204689 | | |

CLIENT

| | |
|-------------------------------|--|
| Nom et adresse | SORBONNE UNIVERSITE Direction Patrimoine et Logistique 1, rue Victor Cousin 75230 PARIS CEDEX 5 |
| Nom du contact et coordonnées | Mélanie MALAURENT-HEDIDAR 06 22 70 31 70 melanie.malaurent-hedidar@sorbonne-universite.fr |

INTERVENANTS TECHNOSOL

| | |
|--------------|-----------------------|
| Rédacteur | Romain CUMONT |
| Vérificateur | Mélissa DA SILVA MELO |
| Superviseur | Hervé WRIGHT |

STATUT DU RAPPORT

| Version | Date | Détails |
|---------|------------|--------------------|
| A | 09/01/2023 | Version définitive |
| B | | |
| C | | |
| D | | |
| E | | |

MOD_IET_TEC_052

QUALIFICATIONS





| | |
|--|-----------|
| 1. PRESENTATION GENERALE – DEFINITION DE LA MISSION | 5 |
| 2. CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE..... | 6 |
| 3. DOCUMENTS DE REFERENCE | 7 |
| 4. LE SITE | 8 |
| 5. LE PROJET..... | 9 |
| 6. CONTEXTE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE, RISQUES NATURELS ET ANTHROPIQUES | 10 |
| 6.1. Contexte géologique | 10 |
| 6.2. Données hydrogéologiques | 11 |
| 6.3. Risque de retrait-gonflement des sols argileux..... | 11 |
| 6.4. Risque d'inondation..... | 11 |
| 6.5. Risque mouvement de terrain – Carrières d'exploitation..... | 12 |
| 6.6. Risque sismique..... | 12 |
| 7. RESULTATS OBTENUS | 13 |
| 7.1. Nature des sols..... | 13 |
| 7.2. Hydrogéologie..... | 13 |
| 7.3. Caractéristiques pressiométriques..... | 14 |
| 7.4. Essais de laboratoire | 16 |
| 7.4.1. Essais d'agressivité du sol vis-à-vis du béton | 16 |
| 7.4.2. Essais d'agressivité de l'eau vis-à-vis du béton..... | 16 |
| 8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS..... | 17 |
| 8.1. Synthèse géotechnique et hydrogéologique | 17 |
| 8.2. Fondations..... | 18 |
| 8.2.1. Principe de fondation | 18 |
| 8.2.2. Capacité portante des micropieux | 18 |
| 8.2.3. Estimation des tassements des micropieux..... | 22 |
| 8.2.4. Vérification des armatures des micropieux..... | 23 |
| 8.2.5. Vérification au flambement des micropieux | 24 |
| 8.2.6. Sujétions d'exécution des micropieux..... | 25 |
| 8.3. Protections vis-à-vis des eaux superficielles et souterraines | 26 |
| 8.4. Niveau bas | 26 |
| 8.5. Mitoyenneté | 27 |



ANNEXES

- | | |
|---|---|
| 1 | Enchaînement et classification des missions d'ingénierie géotechnique selon la norme NF P 94-500 de novembre 2013 |
| 2 | Plan de situation |
| 3 | Plan d'implantation |
| 4 | Coupes des sondages réalisés in situ |
| 5 | Procès-verbaux des essais de laboratoire |
| 6 | Descentes de charges et plans de fondations du BET BEMING |



1. PRESENTATION GENERALE – DEFINITION DE LA MISSION

A la demande et pour le compte de SORBONNE UNIVERSITE, nous avons poursuivi notre étude géotechnique de conception débutée au stade Avant-Projet (Mission G2-AVP) par une étude au stade Projet (G2-PRO) au sein du campus Pierre et Marie Curie à Paris, 4 place Jussieu, dans le 5^{ème} arrondissement (75), dans le cadre du projet d'installation d'un microscope électronique type NION HERMES 200 MC.

Le présent rapport rappelle les résultats obtenus dans le cadre de l'exécution d'une campagne d'investigations géotechniques sur site (sondages pressiométriques, équipement pour le relevé du niveau d'eau) qui se sont déroulées du 15 au 26 novembre 2021.

Notre mission est conforme au devis référencé TED210850-000 du 01/09/2021 et validé par le bon de commande n° 4500204689 du 06/10/2021.

La présente étude vise à :

- Etablir la synthèse géotechnique au droit du site ;
- Confirmer le type de fondations du projet à mettre en œuvre ;
- Dimensionner les fondations à partir des descentes de charges fournies par le BET BEMING ;
- Déterminer les tassements absolus et différentiels et évaluer leur impact sur le projet en fonction des documents projets reçus ;
- Donner les préconisations à mettre en œuvre vis-à-vis des eaux superficielles et souterraines ;
- Rappeler les sujétions de réalisation des différents ouvrages géotechniques (fondations, ancrages...).

Nous rappelons que cette étude ne comprend pas l'étude hydrogéologique de type NPHE (Niveaux des Plus Hautes Eaux), ni l'étude de pollution/diagnostic environnemental.



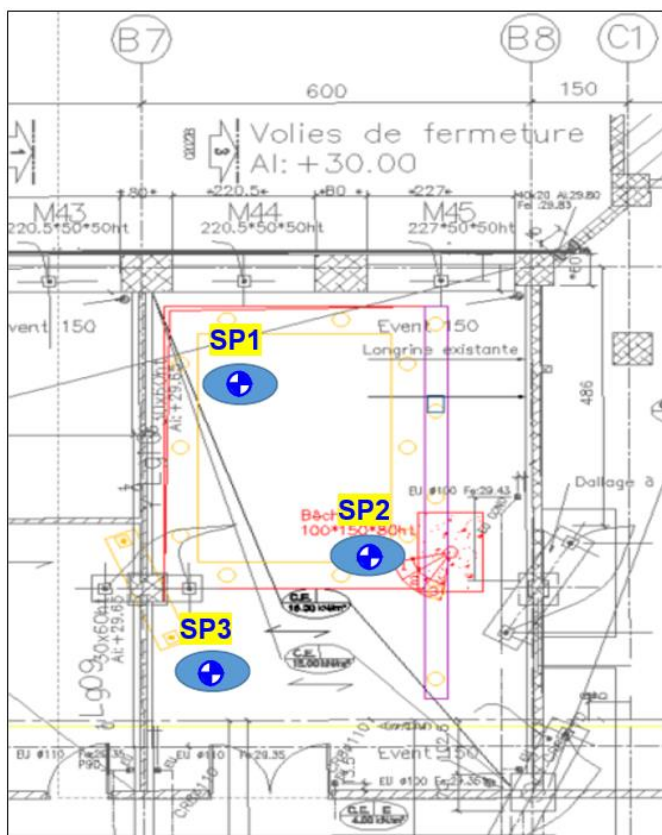
2. RAPPEL CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE

Nous rappelons que pour répondre aux objectifs précédemment cités, nous avons réalisé, du 15 au 26 novembre 2021, les sondages et essais suivants :

- 3 sondages pressiométriques, notés SP1 à SP3, descendus respectivement à 10, 15 et 10 m de profondeur, avec la réalisation de 32 (14+11+7) essais pressiométriques, et enregistrement en continu des paramètres de forage ;
- Le sondage **SP1** est équipé d'un tube crépiné en PVC 36/40 mm entre 1 et 10 m, avec chaussette et bouche à clé ;
- **Laboratoire** :
 - 1 analyse d'agressivité des sols vis-à-vis du béton,
 - 1 analyse d'agressivité des eaux vis-à-vis du béton.

Les sondages ont été implantés, nivelés par un technicien spécialisé selon le référentiel NGF (IGN 69).

Les coupes des sondages et les résultats des essais in situ et en laboratoire réalisés lors de cette mission sont joints en annexes du présent rapport.



| Nivellement Paris 05 | Z (m NGF) | Z (m NVP) |
|----------------------|-----------|-----------|
| SP1 | 30,00 | 29,67 |
| SP2 | 30,04 | 29,71 |
| SP3 | 30,10 | 29,77 |



3. DOCUMENTS DE REFERENCE

Les éléments suivants ont été transmis à TECHNOSOL pour réaliser sa nouvelle mission :

- Plan de principe des fondations daté du 29/04/2022 – indice B ;
- Plan de principe et descentes de charges datés du 29/04/2022 – Indice B.

Nous avons en outre utilisé, dans le cadre de la présente étude, les documents bibliographiques suivants :

1. Cartes

Carte géologique à l'échelle 1/5 000^e du 5^{ème} arrondissement de Paris.

2. Banques de données

Banque de données du sous-sol (BSS) issue du site BRGM Infoterre.fr,

Cartographie de retrait-gonflement des argiles superficielles issue du site « Infoterre » du BRGM.

3. Divers

Géoportail – www.geoportail.fr,

Google Maps – www.google.fr/maps,

Eurocode 7 et ses normes d'application en France :

- NF P 94-262 pour les fondations profondes + amendement 1 de juillet 2018.



4. RAPPEL DU SITE

Le terrain concerné se situe au n°4 de la place Jussieu dans le 5^{ème} arrondissement de Paris (75), au sein du campus Pierre et Marie Curie.

Il est actuellement occupé par divers bâtiments, de la voirie et des espaces verts.

Le terrain semble plutôt plat et subhorizontal et se situerait à une cote comprise entre 33 et 34 m NGF.

D'après le CCTP, le niveau brut du sous-sol existant se situerait vers 29.92 m NVP (30.25 m NGF) et celui du RDC vers 33.22 m NVP (33.55 m NGF).

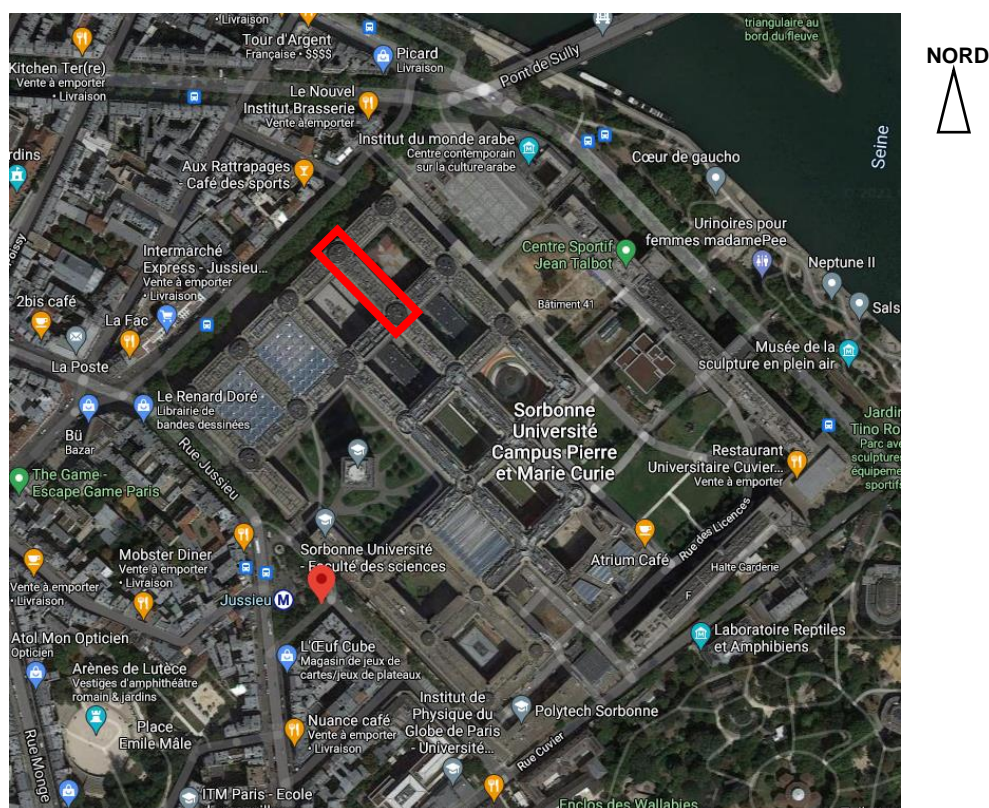


Figure 1 : Vue aérienne du site



5. RAPPEL DU PROJET

Le projet consiste à la restructuration des locaux 1323SS29 et 1323RC15, respectivement au sous-sol et au RdC ainsi que les locaux adjacents-Barre 13-23.

Dans le cadre de la réhabilitation des locaux de la faculté de Jussieu aux niveaux RdC et sous-sol, le projet prévoit la mise en place d'un microscope électronique dans le sous-sol du bâtiment n°23.

Les fondations de l'ouvrage seront totalement indépendantes du bâtiment existant, l'objectif étant de limiter au maximum les tassements absolus et différentiels.



6. CONTEXTE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE, RISQUES NATURELS ET ANTHROPIQUES

6.1. Contexte géologique

D'après les renseignements en notre possession (carte géologique au 1/5000^{ème} du 5^{ème} arrondissement de Paris du BRGM, études réalisées par TECHNOSOL dans le secteur), la succession géologique présumée à cet emplacement devrait être la suivante, sous une couverture de remblais d'aménagement éventuels :

- Alluvions Modernes de la Seine,
- Alluvions Anciennes de la Seine,
- Calcaire Grossier,
- Formation du Sparnacien.

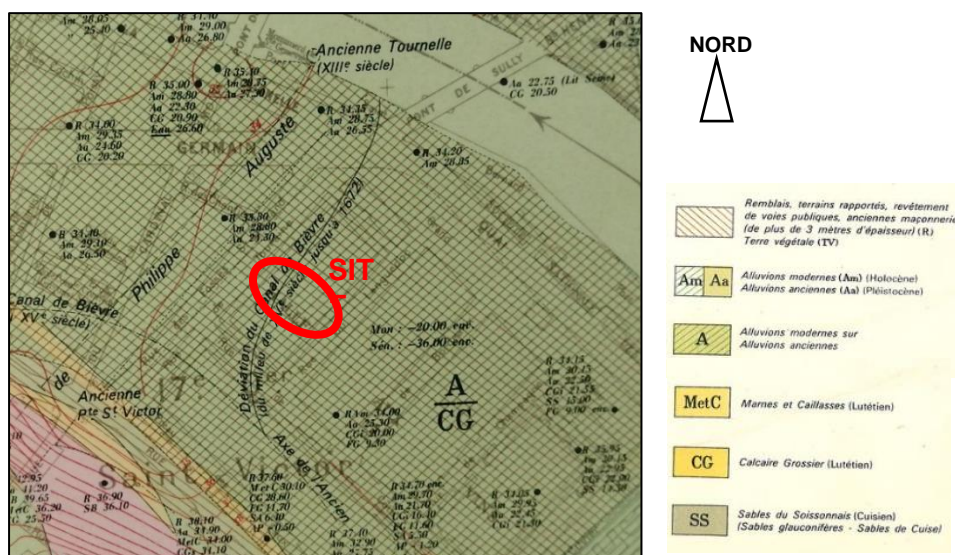


Figure 2 : Extrait de la carte géologique au 1/5000^{ème} du 5^{ème} arrondissement de Paris



6.2. Données hydrogéologiques

La nappe alluviale en relation avec la Seine est présente au droit du site. D'après la notice géotechnique du 01/06/2021 transmise, celle-ci se situerait en période courante vers 26.39 m NVP (26.72 m NGF), soit à environ 3.5 m de profondeur sous le sous-sol existant.

Toujours selon la notice technique, nous aurions en outre les niveaux des plus hautes eaux suivants :

| | NGF | NVP |
|---------------------------|-------|-------|
| Crue décennale | 32.05 | 31.72 |
| Crue cinquantennale | 33.02 | 32.69 |
| Crue centennale | 34.60 | 34.27 |
| Retenue normale | 26.72 | 26.39 |
| Plus Hautes Eaux Normales | 30.20 | 29.87 |

Tableau 1 : Niveau des plus hautes eaux extrait de la notice géotechnique du 01/06/2021

Des circulations d'eau superficielles et anarchiques dans les terrains superficiels sont en outre possibles notamment en cas de périodes pluvieuses prolongées.

6.3. Risque de retrait-gonflement des sols argileux

Compte tenu des sols présents en surface au droit du site (alluvions de la Seine), le terrain se situe en dehors des zones d'exposition vis-à-vis de ce phénomène.

6.4. Risque d'inondation

D'après le PPRI de la ville de Paris, le terrain se situe en zone bleu clair, avec une cote PHEC à 34.60 m NGF, soit 33.27 m NVP.



Figure 3 : Extrait du PPRI de la ville de Paris



6.5. Risque mouvement de terrain – Carrières d'exploitation

D'après l'atlas des carrières de l'IGC et la carte des carrières feuille 28-47, le terrain se situe en dehors des anciennes exploitations du Calcaire Grossier répertoriées en souterrain et des exploitations de matériaux alluvionnaires à ciel ouvert.

6.6. Risque sismique

Le zonage sismique français en vigueur depuis le 1er mai 2011 est défini dans les décrets n°2010-1254 et

2010-1255 du 2 octobre 2010, codifiés dans les articles R.563-1 à 8 et D.563-8-1 du Code de l'Environnement. Ce zonage, reposant sur une analyse probabiliste de l'aléa, divise la France en 5 zones de sismicité, de 1 (sismicité très faible) à 5 (sismicité forte).

La région Ile de France et le site étudié se trouvent en zone de sismicité 1 (très faible), ne nécessitant aucune adaptation spécifique du projet vis-à-vis du risque sismique.

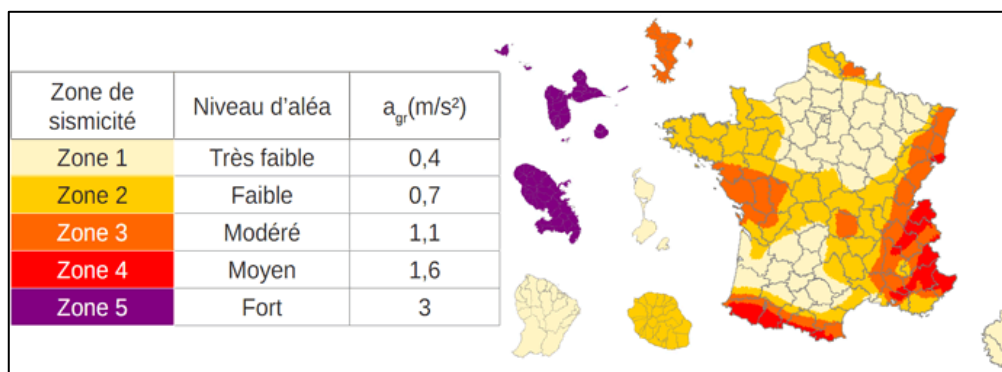


Figure 4 : Carte de zonage d'aléas sismiques en France



7. RAPPEL DES RESULTATS OBTENUS

7.1. Nature des sols

Les sondages destructifs et pressiométriques avaient été réalisés au tricône de diamètre 64 mm sous injection d'eau claire et/ou GSP jusqu'à 10 à 15 m de profondeur (arrêts volontaires). Cette technique ne permet pas de visualiser les sols dans leur état naturel ou peu remanié.

Les coupes lithologiques sont donc approximatives et définies à partir des cuttings de forages remaniés et déstructurés, remontés en surface sous forme de boue ou prélevés sur la tarière hélicoïdale, et de l'analyse des enregistrements des paramètres des forages (vitesse d'avancement, couple de rotation, pression sur l'outil et pression d'injection).

Seul un sondage carotté nous permettrait de visualiser la nature intacte des terrains du site et l'interface des différentes formations en continu de manière précise par des prélèvements d'échantillons non déstructurés.

L'examen des matériaux extraits au droit des sondages a permis d'établir comme suit la succession des sols reconnus.

Couche 1 – Argile marneuse à sableuse marron

Au droit des sondages, on rencontre des argiles marneuses à sableuses marron jusqu'à 4.3 à 5.5 m de profondeur (cotes 25.8 à 24.5 m NGF). Il pourrait s'agir des Alluvions Modernes de la Seine.

Couche 2 – Sable argileux à graveleux beige

On rencontre ensuite du sable argileux à graveleux beige jusqu'à 8.5 m à 9.0 m de profondeur (cotes 21.6 à 21.0 m NGF). Il pourrait s'agir des Alluvions Anciennes de la Seine.

Couche 3 – Marne et calcaire beiges

Des marnes et calcaires beiges ont finalement été recoupées jusqu'à la fin des sondages arrêtés au plus bas vers 15 m de profondeur (cote 14.9 m NGF). Il pourrait s'agir des Calcaires Grossiers du Lutétien.

7.2. Hydrogéologie

Un niveau d'eau a été mesuré à 3.2 m de profondeur (cote 26.8 m NGF) le 10/12/2021 dans le sondage SP1 équipé d'un tube crépiné. Il s'agit de la nappe alluviale en relation avec la Seine.

Des circulations d'eau superficielles et anarchiques alimentées par l'impluvium et favorisées par la pente du site sont possibles dans les terrains de recouvrement notamment en cas de périodes pluvieuses prolongées.



7.3. Caractéristiques pressiométriques

Les valeurs des caractéristiques pressiométriques (E_M : module pressiométrique, PI^* : pression limite nette) ont été déterminées par des essais effectués au droit des sondages pressiométriques.

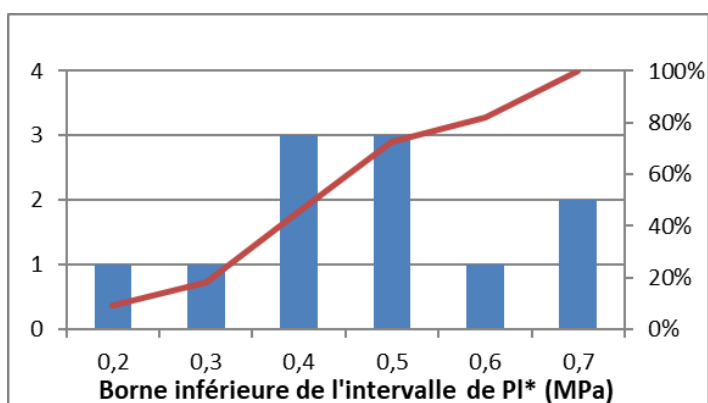
L'analyse des valeurs obtenues par formation et en fonction de la zone d'étude est présentée ci-après.

Couche 1 – Argile marneuse à sableuse marron

[11 couples de valeurs considérés]

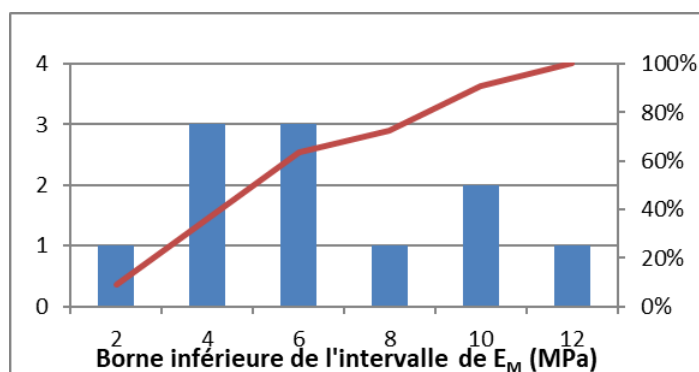
PRESSIION LIMITE PI^* (en MPa)

| PI^* min | PI^* max | Moyenne arithmétique | Ecart-type | Dispersion | Moyenne géométrique |
|------------|------------|----------------------|------------|------------|---------------------|
| 0,15 | 0,78 | 0,52 | 0,17 | 34 | 0,48 |



MODULE PRESSIOMETRIQUE E_M (en MPa)

| E_M min | E_M max | Moyenne arithmétique | Ecart-type | Dispersion | Moyenne harmonique |
|-----------|-----------|----------------------|------------|------------|--------------------|
| 2,80 | 12,20 | 7,4 | 2,8 | 38 | 6,2 |



Les valeurs pressiométriques caractérisent des argiles très molles à fermes.



Couche 2 – Sable argileux à graveleux beige

[5 couples de valeurs considérés]

PRESSIION LIMITE PI^* (en MPa)

| pl^* min | pl^* max | Moyenne arithmétique | Ecart-type | Dispersion | Moyenne géométrique |
|------------|------------|----------------------|------------|------------|---------------------|
| 0,82 | 4,69 | 1,92 | 1,43 | 74 | 1,55 |

MODULE PRESSIOMETRIQUE E_M (en MPa)

| E_M min | E_M max | Moyenne arithmétique | Ecart-type | Dispersion | Moyenne harmonique |
|-----------|-----------|----------------------|------------|------------|--------------------|
| 5,80 | 33,40 | 14,0 | 10,0 | 71 | 9,9 |

Les valeurs pressiométriques caractérisent des sables moyennement denses à très denses.

Couche 3 – Marne et calcaire beiges

[5 couples de valeurs considérés]

PRESSIION LIMITE PI^* (en MPa)

| pl^* min | pl^* max | Moyenne arithmétique | Ecart-type | Dispersion | Moyenne géométrique |
|------------|------------|----------------------|------------|------------|---------------------|
| 4,26 | 5,00 | 4,54 | 0,32 | 7 | 4,53 |

MODULE PRESSIOMETRIQUE E_M (en MPa)

| E_M min | E_M max | Moyenne arithmétique | Ecart-type | Dispersion | Moyenne harmonique |
|-----------|-----------|----------------------|------------|------------|--------------------|
| 40,90 | 500,00 | 142,5 | 178,9 | 126 | 62,8 |

Les valeurs pressiométriques caractérisent des marnes et calcaires très raides.



7.4. Essais de laboratoire

Les résultats des essais menés en laboratoire sur les échantillons remaniés prélevés dans les sondages sont présentés en annexe. Ils peuvent être commentés comme suit.

7.4.1. Essais d'agressivité du sol vis-à-vis du béton

Un essai d'agressivité du sol vis-à-vis du béton a été réalisé sur un échantillon de sol prélevé dans les sondages SP2 et SP3 entre 0 et 5 m de profondeur par rapport au terrain actuel.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-après :

| Sondage | Prof. de prélèvement (m) | Faciès | Formation | Matière sèche (%mass MB) | Degré d'acidité (ml/kg MS-A) | Sulfates (SO ₄) (mg/kg MS-A) | Exposition |
|---------|--------------------------|-----------------------------------|-----------|--------------------------|------------------------------|--|------------|
| SP2+SP3 | 0.0 – 5.0 | Argile marneuse à sableuse marron | Couche 1 | 71.0 | 7 | 28000 | > XA3 |

Tableau 2 : Agressivité du sol vis-à-vis du béton

L'analyse d'agressivité chimique des sols vis-à-vis du béton donne une classe d'exposition très élevée vis-à-vis des sulfates de niveau supérieur à XA3 pour les argiles marneuses à sableuses marron (couche 1) avec un dosage en sulfates supérieur à 24000 mg/kg MS-A.

7.4.2. Essais d'agressivité de l'eau vis-à-vis du béton

Un essai d'agressivité de l'eau vis-à-vis du béton a été réalisé sur un échantillon d'eau prélevé dans le sondage SP1.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-après :

| Sondage | pH (à 20.1° C) | CO ₂ agressif (mg/l) | Sulfates (SO ₄ ⁻) (mg/l) | Ammonium (NH ₄ ⁺) (mg/l) | Magnésium (Mg ⁺⁺) (mg/l) |
|---------|----------------|---------------------------------|---|---|--------------------------------------|
| SP1 | 7.3 | 5.2 | 440 | 0.4 | 13 |

Tableau 3 : Agressivité de l'eau vis-à-vis du béton

L'analyse d'agressivité chimique des eaux sur le béton donne une classe d'exposition faible de niveau XA1 vis-à-vis des sulfates.



8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

8.1. Synthèse géotechnique et hydrogéologique

Les résultats des sondages géotechniques réalisés sur site en novembre 2021 ont permis d'établir un modèle géotechnique, récapitulé dans le tableau suivant :

| Couche (Formation présumée) | Description du faciès | Cote base couche (m NGF) | Profondeur de la base (m/TA) | Données pressio. moyennes | Commentaires |
|---|--|--------------------------------|------------------------------------|---|---|
| Couche 1 (Alluvions Modernes de la Seine) | Argile marneuse à sableuse marron | 25.8 à 24.5 | 4.3/5.5 | $PI^* = 0.5 \text{ MPa}$ $PI^* - \sigma/2 = 0.4 \text{ MPa}$ $E_M = 6.2 \text{ MPa}$ $\alpha = 2/3$ | <ul style="list-style-type: none">• Argiles très molles à fermes• Sols classés comme très fortement agressifs vis-à-vis des bétons (>XA3) |
| Couche 2 (Alluvions Anciennes de la Seine) | Sable argileux à graveleux beige | 21.6 à 21.0 | 8.5/9.0 | $PI^* = 1.5 \text{ MPa}$ $PI^* - \sigma/2 = 1.2 \text{ MPa}$ $E_M = 9.9 \text{ MPa}$ $\alpha = 1/2$ | <ul style="list-style-type: none">• Sables moyennement denses à très denses |
| Couche 3 (Calcaire Grossier) | Marne et calcaire beiges | < 14.9 | > 15.0 | $PI^* = 4.5 \text{ MPa}$ $PI^* - \sigma/2 = 4.4 \text{ MPa}$ $E_M = 62.8 \text{ MPa}$ $\alpha = 1/2$ | <ul style="list-style-type: none">• Marnes et calcaires très raides |

Tableau 4 : Synthèse géotechnique

Un niveau d'eau a été mesuré à 3.2 m de profondeur (cote 26.8 m NGF) le 10/12/2021 dans le sondage SP1 équipé d'un tube crépiné. Il s'agit de la nappe alluviale en relation avec la Seine.

Des circulations d'eau superficielles et anarchiques alimentées par l'impluvium et favorisées par la pente du site sont possibles dans les terrains de recouvrement notamment en cas de périodes pluvieuses prolongées.

Rappelons que les eaux de la nappe testées dans le cadre de notre étude ont permis de mettre en évidence des eaux faiblement agressives vis-à-vis des bétons (XA1).



8.2. Fondations

8.2.1. Principe de fondation

Compte tenu du projet (installation d'un microscope électronique très sensible aux tassements absolus et différentiels), de la présence d'argiles marneuses à sableuses marron (couche 1) très molles à fermes jusqu'à 4.3 à 5.5 m de profondeur (cote 25.8 à 24.5 m NGF) et de la configuration exigües des lieux pour la réalisation des fondations, il conviendra de s'orienter sur une solution de fondations profondes de type micropieux descendues dans les marnes et calcaires beiges (couche 3) très compacts, avec un minimum de 1 m d'ancrage dans cet horizon porteur.

Les nouvelles fondations devront être totalement indépendantes et désolidarisées des existants.

8.2.2. Dimensionnement des micropieux

D'après les éléments fournis par le BET BEMING, le plan de fondations et els descentes de charges du projet seront les suivants :

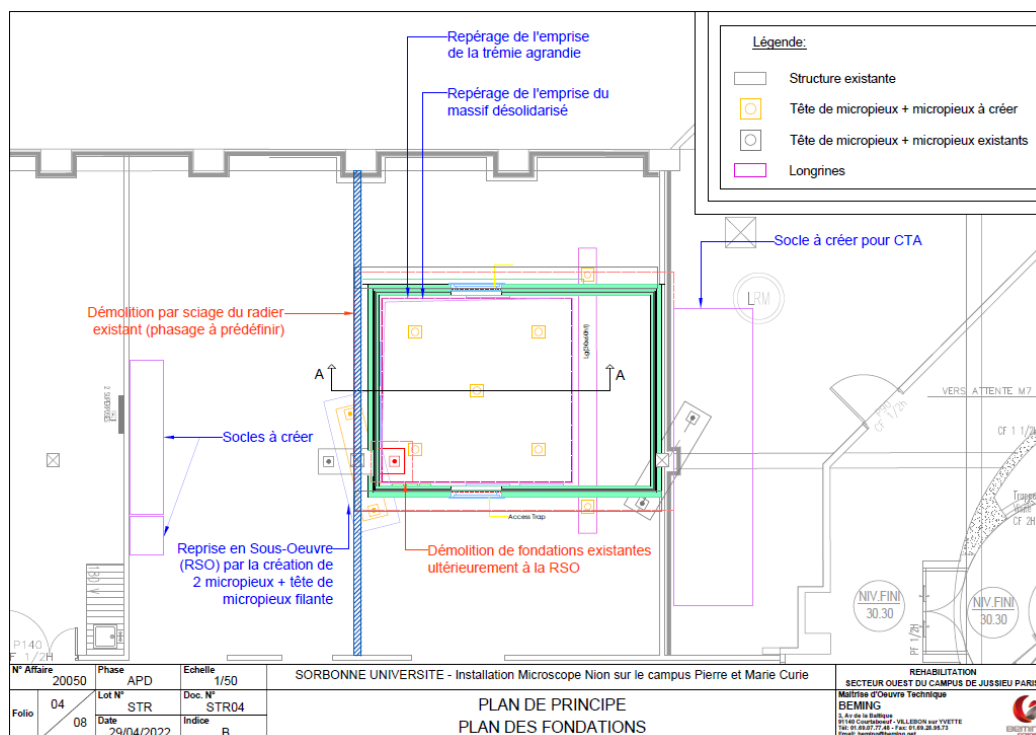


Figure 5: Plan de fondations du projet



| DDC SUR MICROPIEUX (PHASE DE CONSTRUCTION) EN ELS | | | |
|---|------------|-----------------|---------------|
| N° micropieux | Rv+ (kN) | Rv- (kN) | |
| 1 | 84,822 | -34,149 | |
| 2 | 84,824 | -34,16 | |
| 3 | 84,822 | -34,149 | |
| 4 | 84,824 | -34,16 | |
| 5 | 84,864 | -34,391 | |
| DDC SUR MICROPIEUX (PHASE D'EXPLOITATION) | | | |
| N° micropieux | RvELU (kN) | RvELS_Cara (kN) | RvELS_qp (kN) |
| 1 | 224,09 | 158,09 | -- |
| 2 | 224,10 | 158,09 | -- |
| 3 | 224,09 | 158,09 | -- |
| 4 | 224,10 | 158,09 | -- |
| 5 | 223,62 | 157,78 | -- |
| 11 | 350 | 250 | 224 |
| 12 | 350 | 250 | 224 |
| 13 | 500 | 360 | 322,6 |
| 14 | 500 | 360 | 322,6 |

Figure 6: Descentes de charges du projet

La capacité portante à l'ELS $R_{c;cr;d}$ d'un micropieu en compression, mis en œuvre sans refoulement du sol, est déterminée selon la norme NF P94-262 et son additif A1 à partir des expressions successives suivantes :

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

$$R_{c;cr;k} = 0.7 \times R_{s;k} \text{ (charge de fluage)}$$

$$R_{s;k} = \pi \times B \times \sum (q_{s,i} \times h_i) / (\gamma_{R,d1} \times \gamma_{R,d2}) \text{ (frottement latéral ; } q_{s,i} = \alpha_i \times f_{sol,i})$$

Cette capacité portante doit être comparée à la charge de compression sur la fondation profonde par micropieu F_{cd} tel que :

$$R_{v,d} \geq F_{cd}$$

D'autre part la charge de compression sur le micropieu à l'ELU est limitée par la limite d'élasticité de l'acier f_y tel que : $1.35 \times F_d \leq 0.75 \times A \times f_y / \gamma_{M0} \gamma_{rd}$



Les différents paramètres utilisés dans les formules précédentes sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

| Param. | Signification | Valeur particulière |
|-----------------|---|--|
| γ_{cr} | Facteur partiel | = 1.1 pour un micropieu en compression à l'ELS quasi-permanent = 0.9 pour un micropieu en compression à l'ELS caractéristique |
| γ_t | Facteur partiel | = 1.1 pour un micropieu en compression à l'ELU fondamental |
| B | Diamètre de forage du micropieu | ≤ 300 mm |
| A | Section d'acier du micropieu | - |
| p_{le}^* | Pression limite nette équivalente | - |
| $\gamma_{R;d1}$ | Coefficient de modèle | = 2.0 pour un micropieu selon la méthode pressiométrique |
| $\gamma_{R;d2}$ | Coefficient de modèle | = 1.1 pour un calcul selon la méthode pressiométrique |
| $q_{s,i}$ | Frottement latéral | \leq Valeur maximale du tableau G.5.2.3 de la norme |
| α_i | Paramètre adimensionnel | dépend du type de sol et du type de micropieu |
| $f_{sol,i}$ | Fonction de frottement | dépend du type de sol et de p_{le}^* |
| f_y | Limite d'élasticité de l'acier | - |
| γ_{M0} | Coefficient partiel pour la résistance de l'acier | = 1.0 |

Tableau 5 : Paramètres géotechniques pour le dimensionnement des micropieux

Nous considérerons ici, des micropieux injectés de type III (classe 8 catégorie 19 – mode IGU).



Dans le cadre du dimensionnement des micropieux et conformément à notre précédente étude, nous retiendrons le modèle géotechnique suivant :

| Couche | Profondeur de la base couche / niveau fini du sous-sol à 30 m NGF (m) | Ple* (kPa) | $\alpha_{\text{pieu/sol}}$ | f _{sol} (kPa) | Frottement latéral unitaire limite q _{si} (kPa) |
|---------------------------------------|---|---------------------|----------------------------|------------------------|--|
| Couche 1 (Alluvions Modernes) | 5.5 m (cote 24.5 m NGF) | 400 ^(a) | - | - | Neutralisé |
| Couche 2 (Alluvions Anciennes) | 9 m (cote 21 m NGF) | 1200 ^(a) | 2.9 | 55 | 159 |
| Couche 3 (Calcaire Grossier) | 15 m (cote 15 m NGF) | 4400 ^(a) | 2.4 | 115 | 276 |

Tableau 6 : Modèle géotechnique pour le prédimensionnement des micropieux injectés type III (classe 8 – catégorie 19)

(a) Nous avons pris en compte les valeurs de Ple* (moyenne arithmétique) - $\sigma/2$ (σ étant l'écart type).

Les descentes de charges fournies aux différentes combinaisons permettent donc de définir le dimensionnement des micropieux suivant :

| Numéro du micropieu | Longueur L/niveau fini du sous-sol à 30 m NGF (m) | Cote assise m NGF (ancrage dans la couche 3) | Capacité portante à l'ELS QP (kN) | Capacité portante à l'ELS CAR (kN) | Capacité portante à l'ELU FOND (kN) | Caractère dimensionnant |
|---------------------|---|--|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 1 | 10.0 | 20.0 (1.0) | 226 | 277 | 324 | Ancrage min. |
| 2 | 10.0 | | 226 | 277 | 324 | Ancrage min. |
| 3 | 10.0 | | 226 | 277 | 324 | Ancrage min. |
| 4 | 10.0 | | 226 | 277 | 324 | Ancrage min. |
| 5 | 10.0 | | 226 | 277 | 324 | Ancrage min. |
| 11 | 10.5 | 19.5 (1.5) | 264 | 323 | 378 | ELU Fond. |
| 12 | 10.5 | | 264 | 323 | 378 | ELU Fond. |
| 13 | 11.7 | 18.3 (2.7) | 354 | 434 | 507 | ELU Fond. |
| 14 | 11.7 | | 354 | 434 | 507 | ELU Fond. |

Tableau 7 : Exemple d'ébauche dimensionnelle des micropieux type III

Les efforts horizontaux fournis dans les descentes de charges ont bien été pris en compte dans le dimensionnement des micropieux 1 à 5, comme indiqué dans le document de BET BEMING.



Il convient de préciser que ces efforts horizontaux entraînent des déplacements inférieurs au demi-centimètre en tête des micropieux.

Dans tous les cas, il conviendra d'encastrer les micropieux en tête, et ce afin de limiter au maximum les déplacements qui pourraient se produire.

8.2.3. Tassements des micropieux

Nous avons ensuite estimé le tassement des micropieux selon le modèle géotechnique suivant :

| Couche | Profondeur de la base de la couche (en m/ à la cote 30 m NGF) | Module pressiométrique E_M (kPa) | $q_{s,i}$ micropieux de type III (kPa) |
|-----------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| Couche 1 (Alluvions Modernes) | 5.5 | 6200 | Neutralisé |
| Couche 2 (Alluvions Anciennes) | 9 | 9900 | 159 |
| Couche 3 (Calcaire Grossier) | 15 | 62800 | 276 |

Tableau 8 : Modèle géotechnique pour l'estimation des tassements des micropieux

Nous avons considéré des micropieux dont la tête définitive serait située au plus haut vers 30 m NGF (niveau bas sous-sol) avec une armature par tube pétrolier adapté aux charges afin de limiter les tassements théoriques absolus. Les calculs de tassements ont été menés avec le module TASPIE+ du logiciel FOXTA v3.2.9.



Les tassements, obtenus en appliquant une loi de mobilisation du frottement latéral du sol et de l'effort de pointe à partir des valeurs pressiométriques et selon la théorie de Franck et Zhao et à partir des charges à l'ELS QP (pour les micropieux 11 à 15) et à l'ELS Caractéristique (cas défavorable pour les micropieux 1 à 5), seront les suivants :

| Diamètre B (mm) | Profondeur en m/cote 30 m NGF | Cote de la base du micropieu (m NGF) | Armature micropieux (mm) | Chargement F_d (kN) | Tassement absolu estimé (mm) |
|-----------------|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 300 | 10.0 | 20 | Φ ext. 127 Φ in. 109 | 158 | 1 |
| 300 | 10.5 | 19.5 | | 224 | 2 |
| 300 | 11.7 | 18.3 | | 323 | 2 |

Tableau 9 : Estimation des tassements des micropieux type III

Les tassements absolus théoriques pour l'amplitude des charges communiquées varient entre 1 et 2 mm pour le type d'armature pris ci-avant. Nous rappelons que le choix définitif des diamètres de micropieux et des armatures sera par le BET spécialisé dans le cadre de la G3 de l'entreprise.

Dans ces conditions, les tassements différentiels seront de quelques millimètres.

Il n'y aura pas besoin de prendre de corrosion puisque l'enrobage autour de l'armature est supérieur à 5 cm pour les tubes des micropieux pris en compte.

8.2.4. Vérification des armatures des micropieux

Il faut également vérifier que la contrainte maximale appliquée aux ELU dans l'acier des micropieux reste inférieure à la contrainte admissible de l'acier avec : $\sigma \leq (\sigma_e/\gamma_M)$ (section brute de classe 1 selon l'Eurocode 3 ou $\gamma_M = 1.0$). La contrainte dans l'acier est déterminée par la formule :

$$\sigma = \frac{V}{S} + \frac{M \times v}{I}$$

Avec :

V = Effort vertical aux ELU (kN) ;

S = Section de l'acier (m²) ;

M = Moment fléchissant dans l'acier aux ELU (kN.m) ;

I = Moment d'inertie (m⁴) ;

v = rayon équivalent de l'acier (m).



Soit avec des aciers 109/127 mm :

- $V = 224$ à 500 kN en fonction des micropieux ;
- $S = 0.0034$ m² ;
- $M = 29.2$ kN ;
- $I = 5.84 \times 10^{-6}$ m⁴
- $I/V = 92$ cm³

| Diamètre micropieu (mm) | Armature de micropieu (mm) | Effort de compression maximal à l'ELU Fond. (kN) | Contrainte maximale |
|-------------------------|----------------------------|--|---------------------------------|
| 300 | Φ ext. 127 Φ in. 109 | 224 | 65 MPa < 530 MPa (Vérifiée) |
| 300 | | 350 | 102 MPa < 530 MPa (Vérifiée) |
| 300 | | 500 | 147 MPa < 530 MPa (Vérifiée) |

Tableau 10 : Vérification des armatures des micropieux

Les tubes d'armature considérés ci-dessus peuvent donc reprendre une charge limite en compression N_{max} supérieures à la descente de charge maximum à l'ELU des fondations du projet.

Les barres d'armatures seront placées sur toute la hauteur des micropieux.

8.2.5. Vérification au flambement des micropieux

Le calcul du flambement a été réalisé à l'aide du module Piecoef du logiciel FOXTA v3.2.9.

Ce module utilise une méthode numérique pour l'analyse du flambement d'un pieu souple ancré dans un sol multicouche. Nous avons fait la vérification selon le modèle géotechnique suivant :

| Couche | Profondeur de la base de la couche (en m/ à la cote 30 m NGF) | Module pressiométrique E_M (kPa) | Coefficient rhéologique α |
|--------------------------------|---|------------------------------------|----------------------------------|
| Couche 1 (Alluvions Modernes) | 5.5 | 6200 | 0.67 |
| Couche 2 (Alluvions Anciennes) | 9 | 9900 | 0.5 |
| Couche 3 (Calcaire Grossier) | 15 | 62800 | 0.5 |

Tableau 11 : Modèle géotechnique pour la vérification du flambement des micropieux



La charge axiale critique est estimée selon la méthode de Coin et Albigès (Résistance des matériaux appliquée, M. Albigès A. Coin, 1978, Collection U.T.I. – I.T.B.T.P.) qui consiste à considérer la force critique de flambement F_c comme étant la force pour laquelle l'énergie emmagasinée par la poutre lors de sa déformation est égale au travail nécessaire pour qu'elle retrouve sa position d'équilibre initiale.

Nous considérons des micropieux encastrés en tête (déplacement par translation et rotation empêchés).

Nous avons considéré des micropieux dont la tête définitive serait située au plus haut vers 30 m NGF.

La force critique de flambement F_c est la suivante :

| Diamètre B (mm) | Profondeur du micropieu en m/cote 30 m NGF | Cote de la base du micropieu (m NGF) | Armature de micropieu (mm) | Chargement F_d à l'ELU Fondamental (kN) | Force critique de flambement F_c (kN) |
|-----------------|--|--------------------------------------|-----------------------------------|---|---|
| 300 | 10.0 | 20.0 | Φ ext. 127 Φ in. 109 | 224 | 8584 |
| 300 | 10.5 | 19.5 | | 350 | |
| 300 | 11.7 | 18.3 | | 500 | |

Tableau 12 : vérification du flambement des micropieux

La force critique de flambement F_c est supérieure à la descente de charge maximale F_d à l'ELU sur les micropieux. Les micropieux sont donc vérifiés vis-à-vis du flambement.

8.2.6. Sujétions d'exécution des micropieux

Les micropieux seront réalisés selon les règles de l'art par une entreprise spécialisée en fondations profondes. Leur exécution devra être conforme aux normes NF P94-262 et NF EN 14199.

Une machine de forage de bonne puissance pour la mise en œuvre des micropieux sera à prévoir pour passer les niveaux indurés à traverser (éventuels blocs calcaires dans la couche 3).

L'entreprise mettra en œuvre un matériel adapté lui permettant d'atteindre les profondeurs minimales requises.

Des surconsommations de coulis sont à attendre dans les terrains en tête parfois décomprimés.

L'emploi d'un dispositif de tubage peut être prévu pour limiter les pertes.

Des essais préalables et des essais de contrôle des micropieux par chargement sont conseillés pour valider les hypothèses géotechniques et la bonne exécution des micropieux, conformément à la norme NF P 94-150-2 de décembre 1999.



L'utilisation d'armatures tubulaires avec centreurs est recommandée pour garantir le bon scellement et le bon enrobage de l'armature et vis-à-vis de la résistance au flambement.

On retiendra une classe d'exposition XA3 pour la conception des bétons de fondations et d'infrastructure au contact de ces sols.

Le type d'ouvrage réalisé impose que les tubes retenus soit l'équipement des micropieux soient de premier choix et d'épaisseur de l'ordre de 10 millimètres. Quelle que soit la solution définitive retenue lors de l'exécution, les tubes de second choix d'épaisseur inférieure à 8 mm sont interdits.

8.3. Protections vis-à-vis des eaux superficielles et souterraines

D'après les informations transmises par le Maître d'Ouvrage, nous aurions les niveaux des plus hautes eaux suivants :

| | NGF | NVP |
|---------------------------|-------|-------|
| Crue décennale | 32.05 | 31.72 |
| Crue cinquantennale | 33.02 | 32.69 |
| Crue centennale | 34.60 | 34.27 |
| Retenue normale | 26.72 | 26.39 |
| Plus Hautes Eaux Normales | 30.20 | 29.87 |

Or, d'après le CCTP, le niveau brut du sous-sol existant se situerait vers 30.25 m NGF et celui du RDC vers 33.55 m NGF.

Ainsi, en cas de création d'une boîte indépendante dans le sous-sol existant pour la mise en place du microscope, il sera donc nécessaire de cuveler cette boîte jusqu'au niveau fini du RDC pour la rendre totalement étanche en cas de crues de la Seine. Elle devra par ailleurs être totalement désolidarisée des structures existantes.

8.4. Niveau bas

Compte tenu de la présence des alluvions modernes à tendance argileuse en fond de fouille et de la nécessité de limiter au maximum les tassements de l'ouvrage, le niveau bas devra être traité en dalle portée par les micropieux via des longrines. Celle-ci devra pouvoir être résistante aux éventuelles poussées hydrostatiques lors des remontées de nappe en période de crue.



8.5. Mitoyenneté

Compte tenu de la présence du bâtiment existant dont le mode de fondation actuel n'est pas connu, et d'une manière générale, il conviendra de :

- Veiller à dimensionner les fondations (ferraillage ...) selon les éventuels reports de charges des avoisinants ;
- Evaluer et considérer tout éventuel impact du projet, notamment lié au terrassement de pleine masse, sur les ouvrages voisins (domaine public, réseaux enterrés...) en phase provisoire comme en phase définitive.

En tout état de cause, il est exclu de réaliser des terrassements ou des fondations sans assurer la stabilité des ouvrages voisins par un dispositif adapté pour interdire tout mouvement, en phase provisoire comme en phase définitive.

TECHNOSOL reste à la disposition du Maître de l'Ouvrage et de son équipe de conception et de réalisation pour leur fournir tout renseignement complémentaire qu'ils pourraient juger utile concernant nos résultats de sondages et nos conclusions.

La description des missions normées et obligatoires ainsi que leur enchaînement sont présentés en annexe de ce rapport.



EXPLOITATION DU RAPPORT D'ETUDES

I - Le présent rapport d'étude a été établi à partir de la connaissance d'un projet au moment de cette étude. Il constitue un document indissociable dans lequel figurent les conclusions propres à ce projet. Toute exploitation partielle du rapport peut conduire à des erreurs d'interprétation et ne pourrait engager notre responsabilité.

II - En cas d'évolution de projet (par exemple changement d'implantation, changement de nature de construction, etc.), il importe de consulter le bureau d'étude géotechnique pour vérifier la bonne adaptation du projet en fonction du sol reconnu. Cette étape peut conduire à la réalisation d'une étude complémentaire si les informations du rapport d'étude s'avèrent insuffisantes.

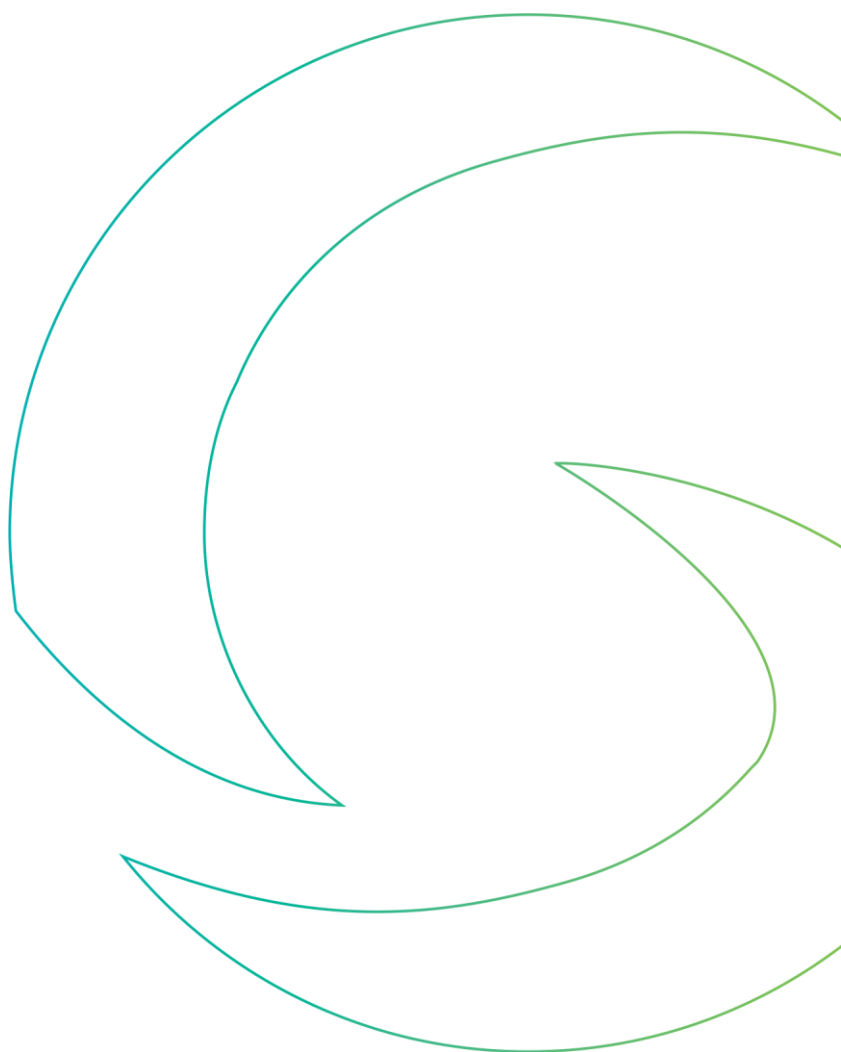
III - L'étude géotechnique est basée sur la réalisation d'un nombre réduit de sondages donnant des informations ponctuelles. Les variations de caractéristiques géologiques et géotechniques peuvent intervenir entre les sondages (anomalies naturelles ou anthropiques). Ces variations ne peuvent être imputables au bureau d'étude géotechnique mais devront être signalées de manière systématique au bureau d'étude géotechnique afin de vérifier la bonne adaptation des fondations au contexte nouveau.

IV - Les profondeurs des différentes couches de sols rencontrés sont données par rapport à une référence qui peut être locale ou rattachée à une référence officielle (NGF, IGN, CM). Dans tous les cas, il appartient au Maître d'Ouvrage de faire relier notre référence de nivellement à celle qui constituera la base du futur projet.

V - Notre société ne pourra être responsable de toute adaptation de fondations qui aura été apportée sur le chantier sans qu'elle ne lui ait été soumise.



Enchaînement et classification des missions d'ingénierie géotechnique selon la norme NF P94-500 de novembre 2013



NF P94-500 – Novembre 2013

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, 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 | Étude 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 | Étude 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 | | |
| Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4) | | <u>À la charge de l'entreprise</u> | <u>À la charge du maître d'ouvrage</u> | | | |
| | 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

| |
|---|
| <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>ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)</p> <p>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 :</p> <p>Phase Étude de Site (ES)</p> <p>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>Phase Principes Généraux de Construction (PGC)</p> <p>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>ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)</p> <p>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 :</p> <p>Phase Avant-projet (AVP)</p> <p>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 géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques. <p>Phase Projet (PRO)</p> <p>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 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. <p>Phase DCE IACT</p> <p>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"> 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. |

NF P94-500 – Novembre 2013

Tableau 2 - Classification des missions d'ingénierie géotechnique (suite)

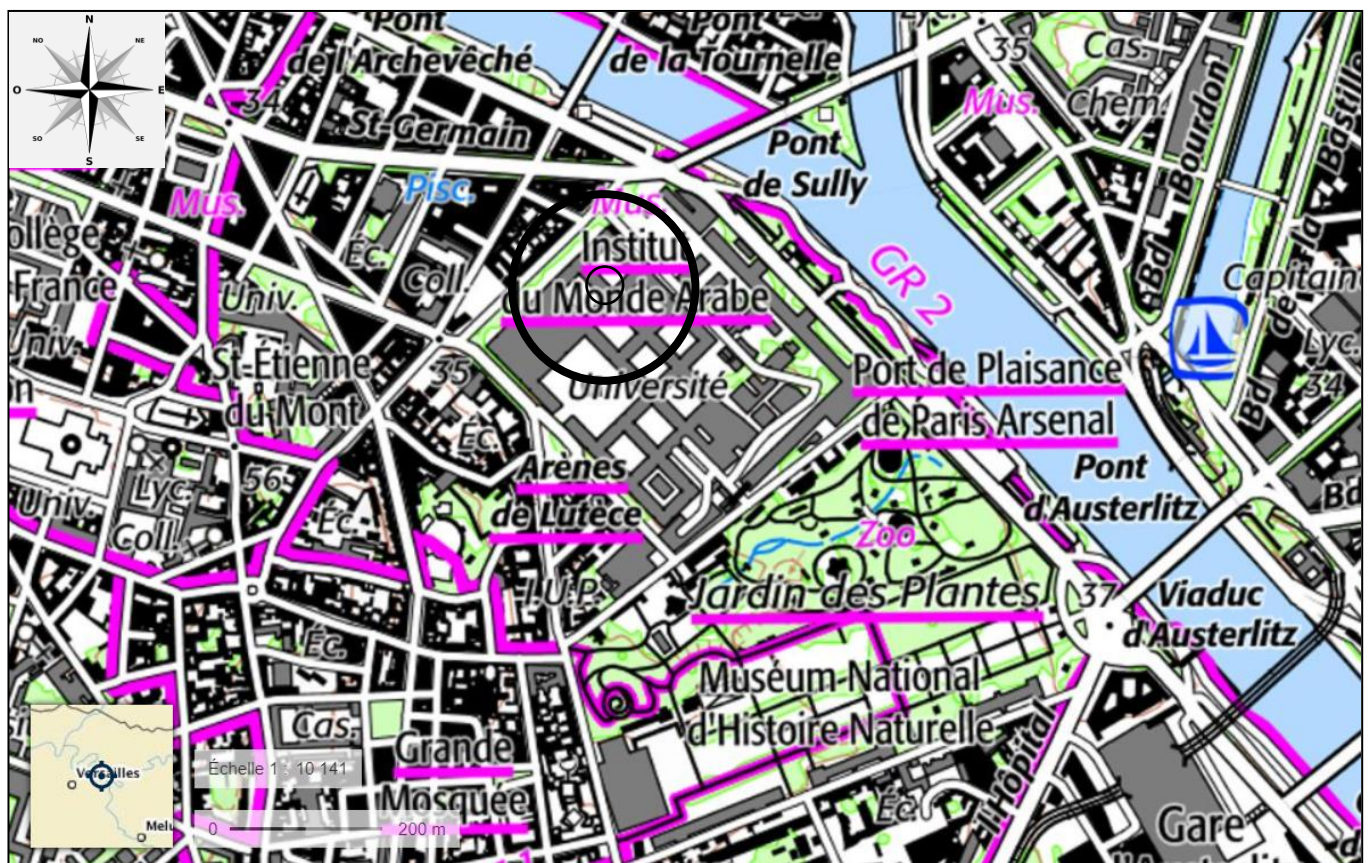
| |
|--|
| ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées) |
| ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3) <p>Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :</p> <p>Phase Étude</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. • 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. <p>Phase Suivi</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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) <p>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 :</p> <p>Phase Supervision de l'étude d'exécution</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. <p>Phase Supervision du suivi d'exécution</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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). • donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO. |
| DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5) <p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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). |



Plan de situation



PLAN DE SITUATION



| Indice | Libellé | Date | Dessin | Chargé d'affaire | Approuvé |
|--------------------------|-------------------|--------------------------|--------|------------------|----------|
| | | | | | |
| A | PLAN DE SITUATION | 10/12/2021 | VCO | MBO | CPE |
| N° d'affaire : TEA210431 | | Format du fichier : word | | | |

Chantier : 75 – PARIS 5ème

Adresse : Campus Pierre et Marie Curie – 4, place Jussieu

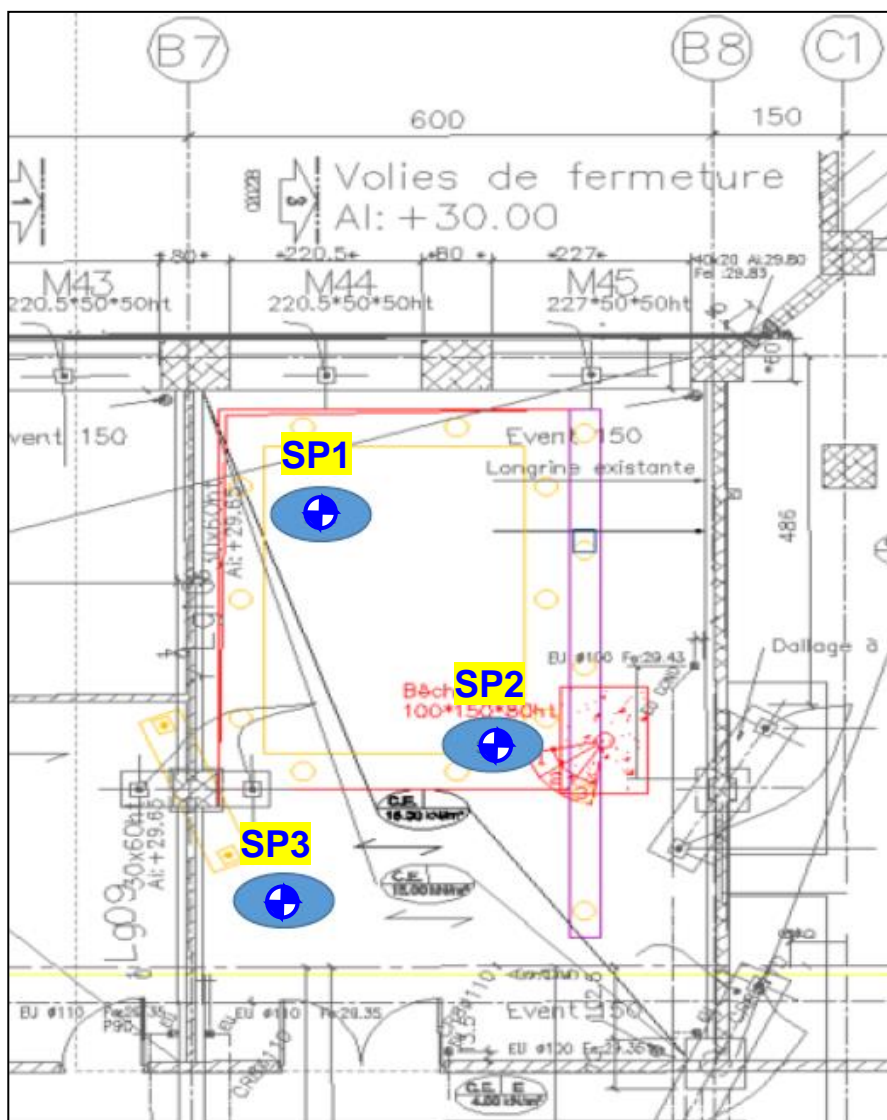
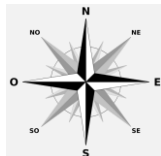




Plan d'implantation



PLAN D'IMPLANTATION



LEGENDE :



SONDAGE PRESSIOMETRIQUE

| Indice | Libellé | Date | Dessin | Chargé d'affaire | Approuvé |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------|------------------|----------------|
| | | | | | |
| A | PLAN D'IMPLANTATION | 10/12/2021 | VCO | MBO | CPE |
| N° d'affaire : TEA210431 | | Format du fichier : word | | | Echelle : sans |

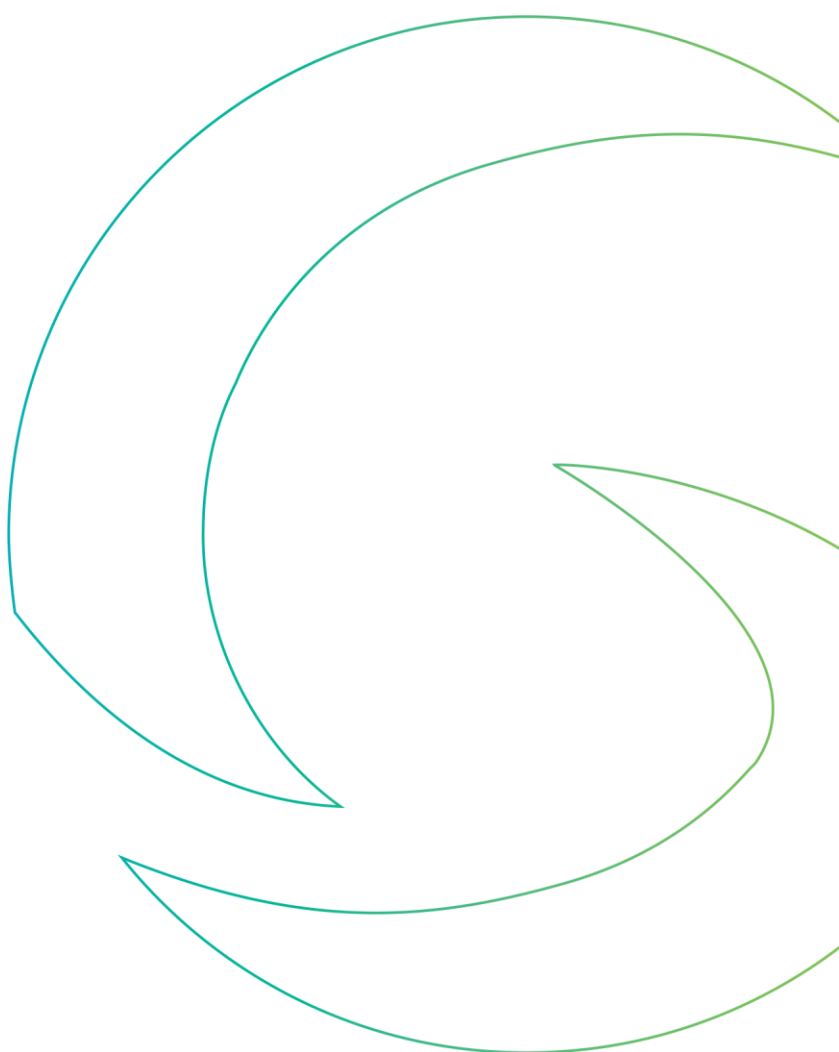
Chantier : 75 – PARIS 5ème

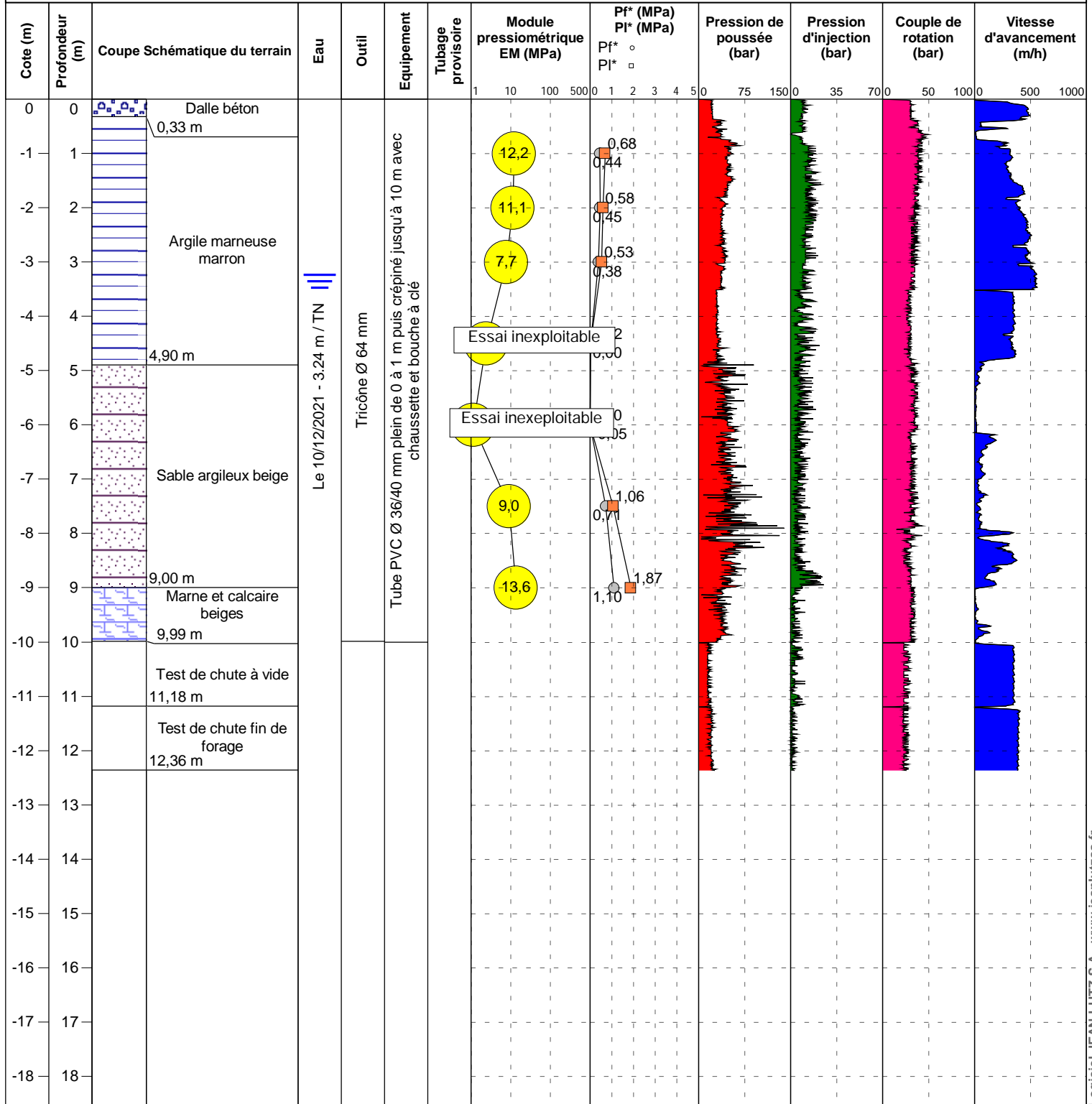
Adresse : Campus Pierre et Marie Curie – 4, place Jussieu





Coupe des sondages réalisés in situ





NOTA :

MODELE PRESENTATION : T PRESSIO

EXGTE 3.22/LB2EPF584FR



TECHNOSOL
GROUPE GENGIS

Site : **75 - PARIS 5ème**
Campus Pierre et Marie Curie

Forage : **SP2**

Type : **SONDAGE PRESSIOMETRIQUE**

Dossier : **TEA210431**

Client : **SORBONNE UNIVERSITE**

Echelle : **1/100**

Date début de forage : **17/11/2021**

Etude : **Mission G2 AVP**

X :

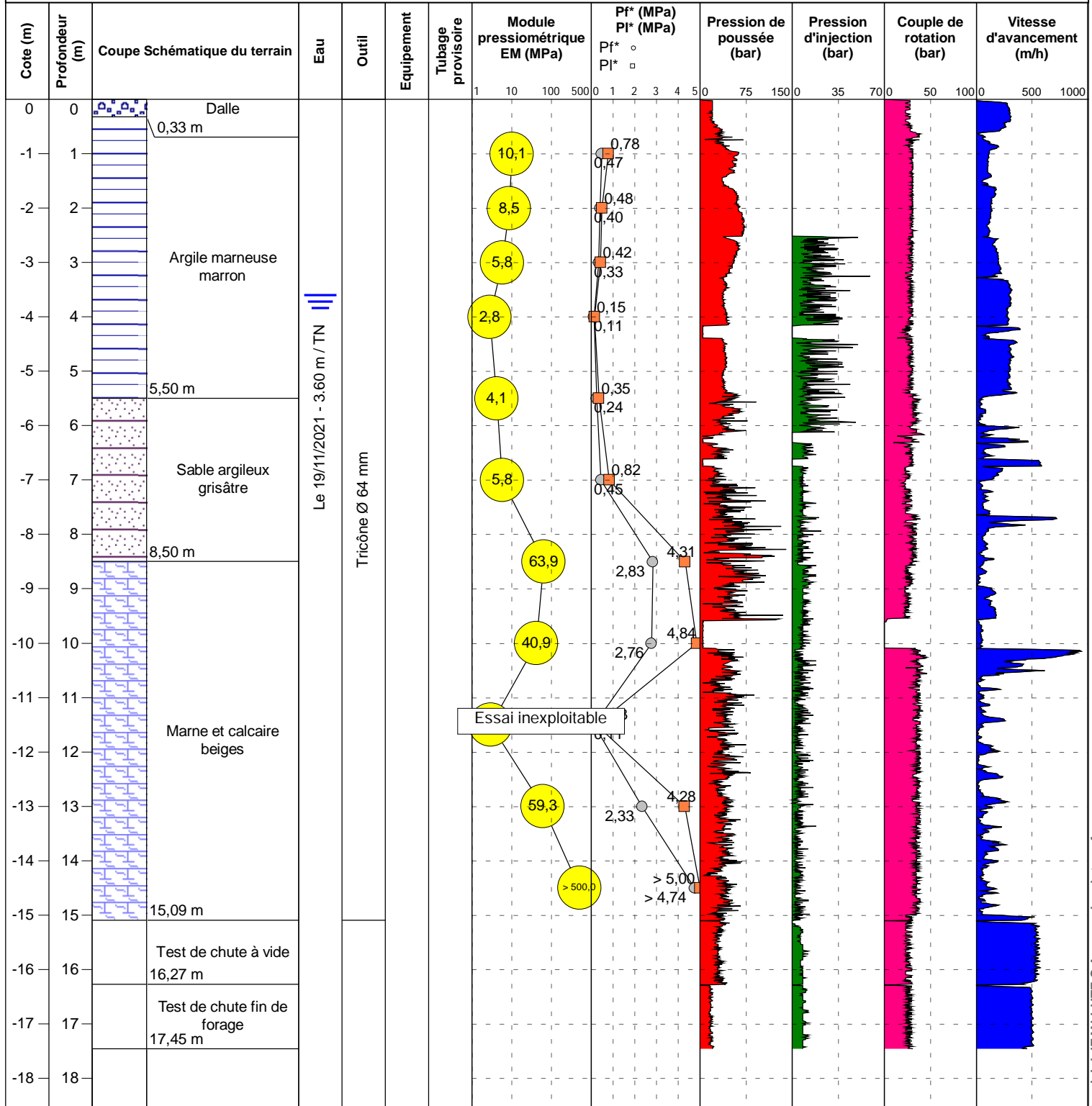
Date fin de forage : **19/11/2021**

Y :

Machine : **ABYSS 50**

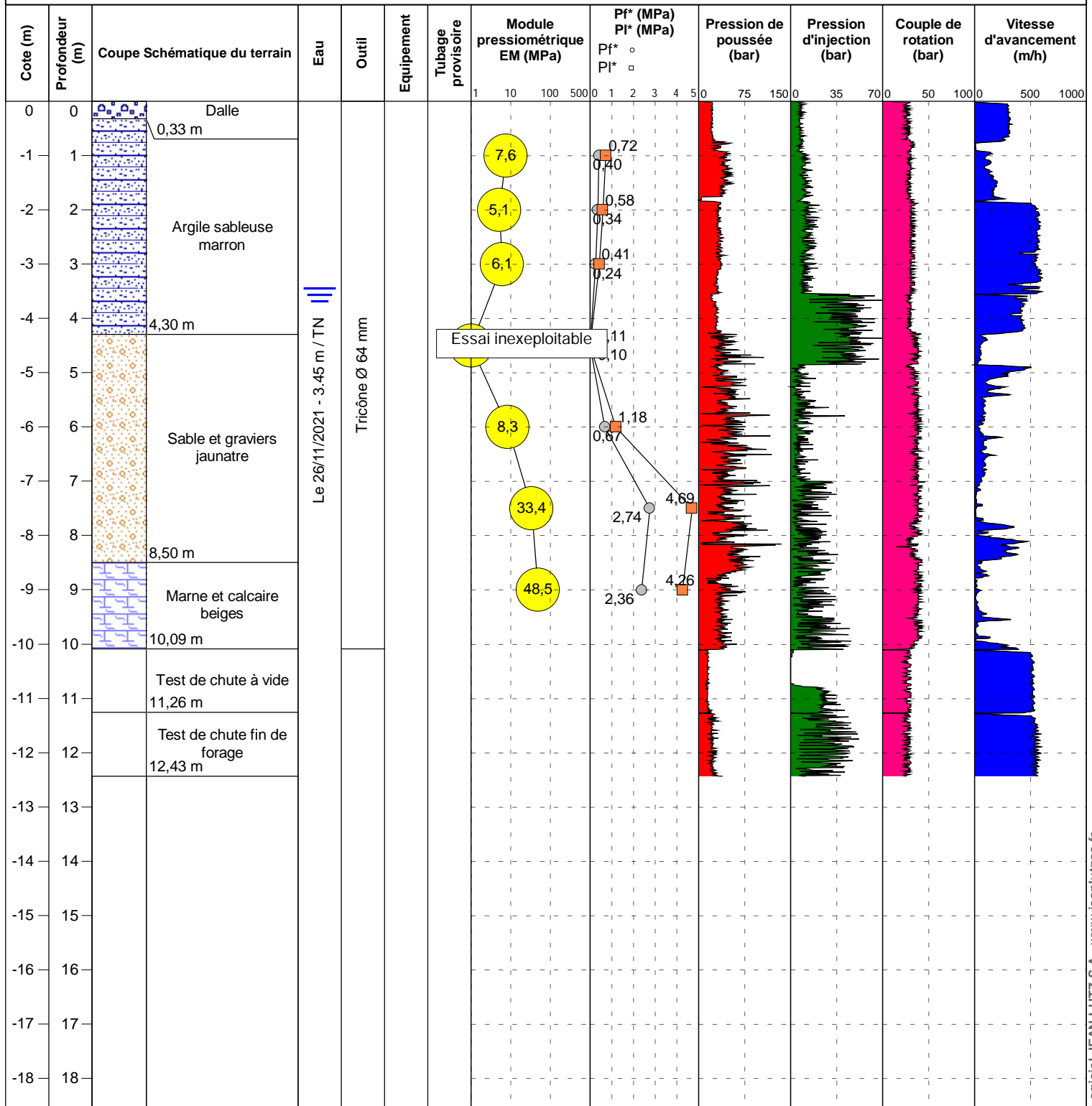
Z :

Longueur : **17,45m**



NOTA :

MODELE PRESENTATION : T PRESSIO



NOTA :

MODELE PRESENTATION : T PRESSIO

EXGTE 3.22/LB2EPF584FR



Résultats des essais en laboratoire



WESSLING France S.A.R.L., 40 rue du Ruisseau, 38070 Saint-Quentin-Fallavier Cedex

TECHNOSOL
Jean-Louis TACITA
Chez Groupe GENGIS
7 rue Salvador Allende
91120 PALAISEAU

| | |
|-------------------------|--|
| N° rapport d'essai | ULY21-030314-1 |
| N° commande | ULY-28216-21 |
| Interlocuteur (interne) | M. Pinto |
| Téléphone | +33 474 999 621 |
| Courrier électronique | Magali.Pinto@wessling.fr |
| Date | 22.12.2021 |

Rapport d'essai

TEA210431_PARIS 5 eau



Les résultats ne se rapportent qu'aux échantillons soumis à l'essai et tels qu'ils ont été reçus.

Les résultats des paramètres couverts par l'accréditation EN ISO/CEI 17025 sont marqués d'un (A).

La portée d'accréditation COFRAC n°1-1364 essais du laboratoire WESSLING de Lyon (St Quentin Fallavier) est disponible sur le site www.cofrac.fr pour les résultats accrédités par ce laboratoire.

La portée d'accréditation DAKKS n° D-PL-14162-01-00 des laboratoires WESSLING Allemands est disponible sur le site www.dakks.de pour les résultats accrédités par ces laboratoires.

Le COFRAC/DAKKS sont signataires des accords de reconnaissance mutuels de l'ILAC et de l'EA pour les activités d'essai.

Les organismes d'accréditation signataires de ces accords pour les activités d'essai reconnaissent comme dignes de confiance les rapports couverts par l'accréditation des autres organismes d'accréditation signataires des accords des activités d'essai.

Ce rapport d'essai ne peut être reproduit que sous son intégralité et avec l'autorisation des laboratoires WESSLING.

Les laboratoires WESSLING autorisent leurs clients à extraire tout ou partie des résultats d'essai envoyés à titre indicatif sous format excel uniquement à des fins de retraitement, de suivi et d'interprétation de données sans faire allusion à l'accréditation des résultats d'essai.

Les données fournies par le client sont sous sa responsabilité et identifiées en italique.



Le 22.12.2021

N° d'échantillon

21-214517-01

Désignation d'échantillon

Unité

SP1

Analyse physique

pH - NF EN ISO 10523 - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

| | | | | | |
|-----------------------------|--------|---------|--|--|--|
| pH | E/L | 7,3 (#) | | | |
| Température de mesure du pH | °C E/L | 18,5 | | | |

Cations, anions et éléments non métalliques

Dioxyde de carbone agressif sur eau / lixiviat - DIN 38404-10-M4 (1995-04) - Réalisé par WESSLING Altenberge (Allemagne)

| | | | | | |
|-----------------------------|----------|---------|--|--|--|
| Dioxyde de carbone agressif | mg/l E/L | 5,2 (A) | | | |
|-----------------------------|----------|---------|--|--|--|

Anions dissous (filtration à 0,2 µm) - Méthode interne : ANIONS - IC - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

| | | | | | |
|----------------|----------|---------|--|--|--|
| Sulfates (SO4) | mg/l E/L | 440 (A) | | | |
|----------------|----------|---------|--|--|--|

Ammonium (NH4) - NF EN ISO 11732 - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

| | | | | | |
|--------------------------|----------|---------|--|--|--|
| Ammonium (NH4) | mg/l E/L | 0,4 (A) | | | |
| Azote ammoniacal (NH4-N) | mg/l E/L | 0,31 | | | |

Divers

Capacité acide/base sur eau/lixiviat - DIN 38409 H7 (2005-12) - Réalisé par WESSLING Altenberge (Allemagne)

| | | | | | |
|-------------------|------------|---------|--|--|--|
| Alcalinité pH 4,3 | mmol/l E/L | 4,8 (A) | | | |
|-------------------|------------|---------|--|--|--|

Éléments

Métaux dissous sur eaux / lixiviat (ICP-MS) - NF EN ISO 17294-2 - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

| | | | | | |
|----------------|----------|----|--|--|--|
| Magnésium (Mg) | mg/l E/L | 13 | | | |
|----------------|----------|----|--|--|--|

E/L : Eau/lixiviat

Informations sur les échantillons

| | | | | |
|--------------------------------|---|--|--|--|
| Date de réception : | 14.12.2021 | | | |
| Type d'échantillon : | Eau résiduaire | | | |
| Date de prélèvement : | 10.12.2021 | | | |
| Récipient : | 3*250ml Verre WES020+2*60ml PE WES101+60ml PE/H2SO4 WES111 | | | |
| Température à réception (C°) : | 4 | | | |
| Début des analyses : | 15.12.2021 | | | |
| Fin des analyses : | 22.12.2021 | | | |
| Préleveur : | MSI | | | |



Le 22.12.2021

Commentaires retirant l'accréditation de vos résultats d'analyses :

: L'absence d'accréditation provient du délai de mise en analyse par rapport au prélèvement supérieur aux exigences normatives, ce qui augmente l'incertitude et émet une réserve sur le résultat.

Informations sur vos résultats d'analyses :

Pour parfaire la lecture de vos résultats, les seuils sont susceptibles d'être augmentés en fonction de la nature chimique de la matrice. Les métaux réalisés après minéralisation sont les éléments totaux. Sans minéralisation, il s'agit des éléments dissous.

La filtration n'a pas été réalisée sur site au moment du prélèvement :

-Métaux dissous sur eaux / lixiviat (ICP-MS), Magnésium (Mg)

Signataire approbateur :

Alexandra GUTTIN

Responsable Qualité et Sécurité

WESSLING France S.A.R.L., 40 rue du Ruisseau, 38070 Saint-Quentin-Fallavier Cedex

TECHNOSOL
Jean-Louis TACITA
Chez Groupe GENGIS
7 rue Salvador Allende
91120 PALAISEAU

| | |
|-------------------------|--|
| N° rapport d'essai | ULY21-030067-1 |
| N° commande | ULY-28063-21 |
| Interlocuteur (interne) | M. Pinto |
| Téléphone | +33 474 999 621 |
| Courrier électronique | Magali.Pinto@wessling.fr |
| Date | 20.12.2021 |

Rapport d'essai

TEA210431_PARIS 5



Les résultats ne se rapportent qu'aux échantillons soumis à l'essai et tels qu'ils ont été reçus.

Les résultats des paramètres couverts par l'accréditation EN ISO/CEI 17025 sont marqués d'un (A).

La portée d'accréditation COFRAC n°1-1364 essais du laboratoire WESSLING de Lyon (St Quentin Fallavier) est disponible sur le site www.cofrac.fr pour les résultats accrédités par ce laboratoire.

Le COFRAC est signataire des accords de reconnaissance mutuels de l'ILAC et de l'EA pour les activités d'essai.

Les organismes d'accréditation signataires de ces accords pour les activités d'essai reconnaissent comme dignes de confiance les rapports couverts par l'accréditation des autres organismes d'accréditation signataires des accords des activités d'essai.

Ce rapport d'essai ne peut être reproduit que sous son intégralité et avec l'autorisation des laboratoires WESSLING.

Les laboratoires WESSLING autorisent leurs clients à extraire tout ou partie des résultats d'essai envoyés à titre indicatif sous format excel uniquement à des fins de retraitement, de suivi et d'interprétation de données sans faire allusion à l'accréditation des résultats d'essai.

Les données fournies par le client sont sous sa responsabilité et identifiées en italique.



Le 20.12.2021

N° d'échantillon 21-213159-01
Désignation d'échantillon Unité SP2+SP3_0.00-5.00

Analyse physique

Matières sèches - NF ISO 11465 - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

| | | | | | |
|---------------|-----------|----------|--|--|--|
| Matière sèche | % mass MB | 71,0 (A) | | | |
|---------------|-----------|----------|--|--|--|

Paramètres globaux / Indices

Degré d'acidité Baumann-Gully - NF EN 16502 - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

| | | | | | |
|-----------------|----------|---|--|--|--|
| Degré d'acidité | ml/kg MS | 7 | | | |
|-----------------|----------|---|--|--|--|

Cations, anions et éléments non métalliques

Sulfates (SO4) - DIN 4030-2 (2008-06) - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

| | | | | | |
|----------------|----------|-------|--|--|--|
| Sulfates (SO4) | mg/kg MS | 28000 | | | |
|----------------|----------|-------|--|--|--|

Préparation d'échantillon

Extraction à l'acide chlorhydrique (agressivité vis-à-vis des bétons) - DIN 4030-2 - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

| | | | | | |
|---------------------------------|----|------------|--|--|--|
| Extrait à l'acide chlorhydrique | MS | 14/12/2021 | | | |
|---------------------------------|----|------------|--|--|--|

MS : Matières sèches

MB : Matières brutes

Informations sur les échantillons

| | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|--|--|--|
| Date de réception : | 13.12.2021 | | | |
| Type d'échantillon : | Sol / remblais | | | |
| Date de prélèvement : | 10.12.2021 | | | |
| Récepteur : | 2*250ml VBrum WES002 | | | |
| Température à réception (C°) : | 4 | | | |
| Début des analyses : | 13.12.2021 | | | |
| Fin des analyses : | 20.12.2021 | | | |
| Préleveur : | ROU | | | |



Le 20.12.2021

Informations sur vos résultats d'analyses :

Les seuils de quantification fournis n'ont pas été recalculés d'après la matière sèche de l'échantillon.
Les seuils sont susceptibles d'être augmentés en fonction de la nature chimique de la matrice.

Signataire approbateur :

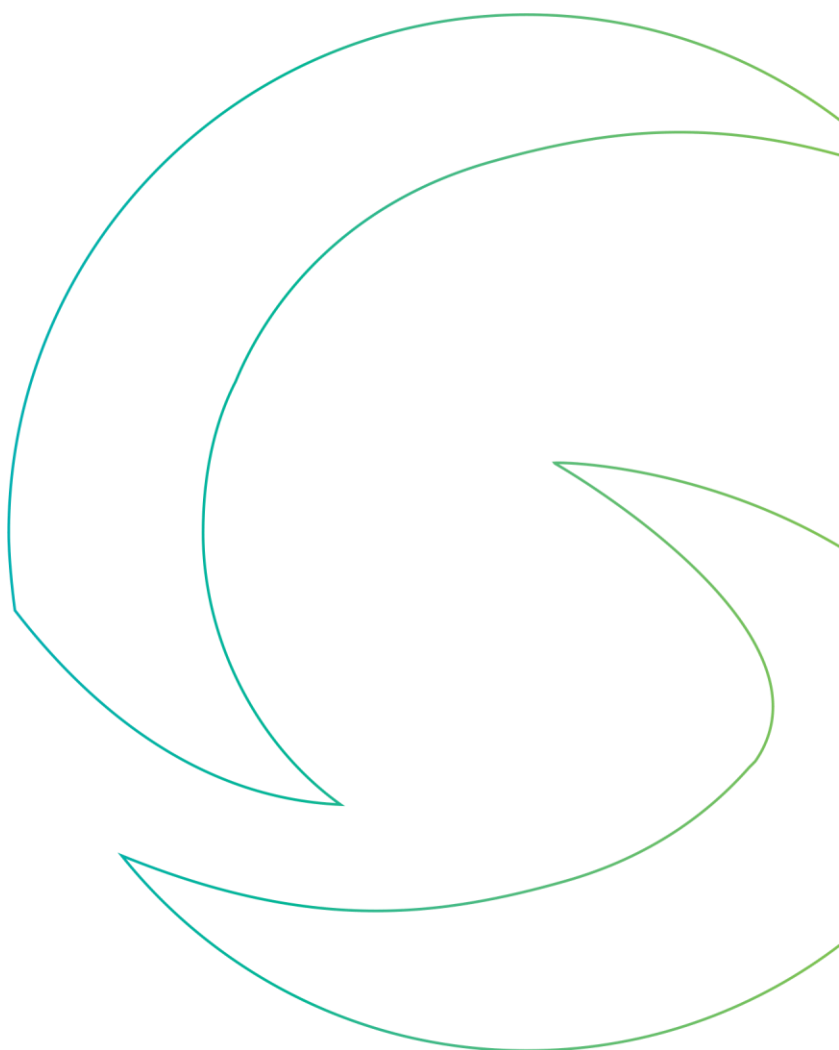
Audrey GOUTAGNIEUX

Directrice



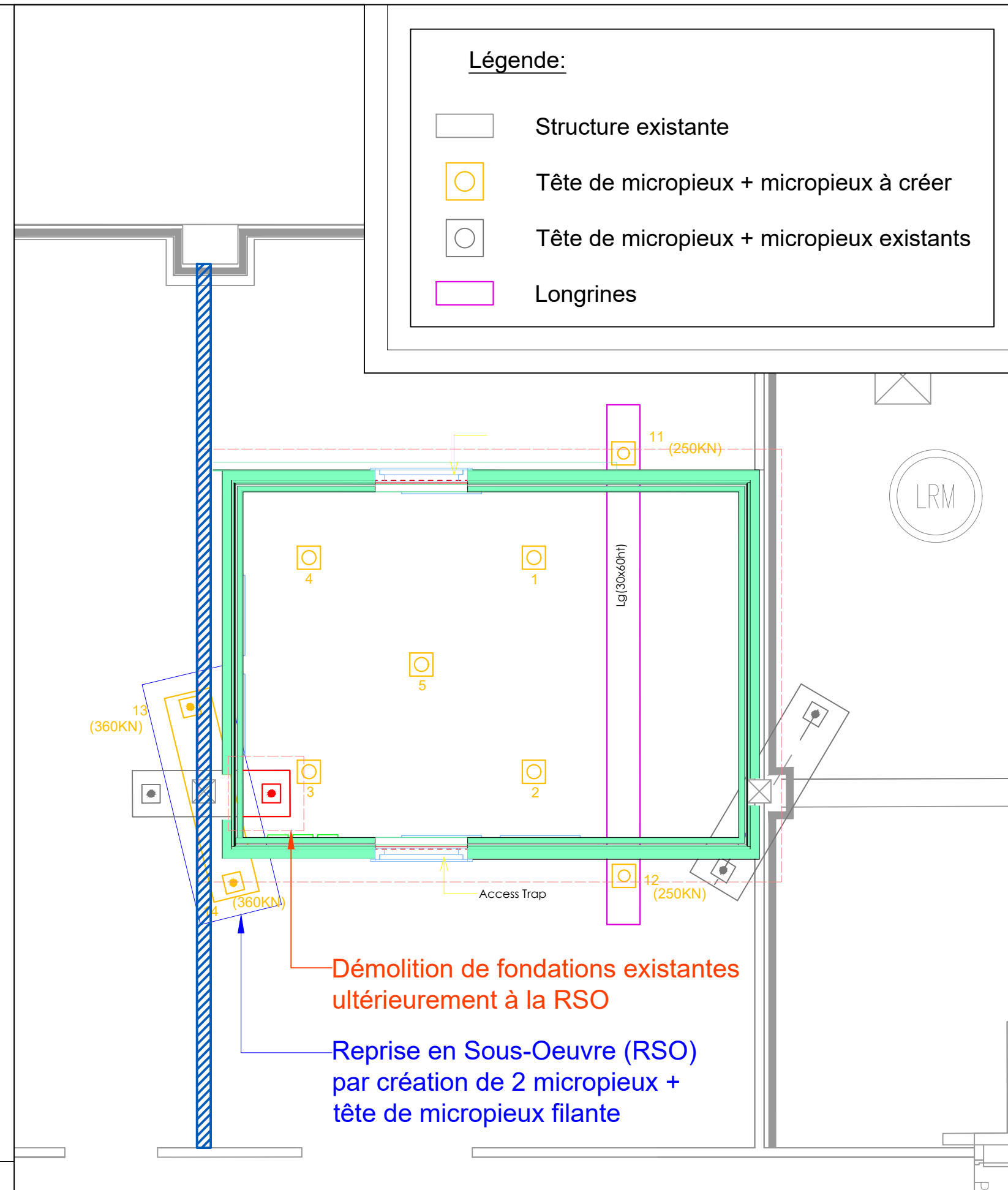



Descentes de charges et plans de fondations du BET BEMING



| DDC SUR MICROPIEUX (PHASE DE CONSTRUCTION) EN ELS | | |
|---|--------------|--------------|
| N°micropieux | R_v^+ (KN) | R_v^- (KN) |
| 1 | 84,822 | -34,149 |
| 2 | 84,824 | -34,16 |
| 3 | 84,822 | -34,149 |
| 4 | 84,824 | -34,16 |
| 5 | 84,864 | -34,391 |

| DDC SUR MICROPIEUX (PHASE D'EXPLOITATION) | | |
|---|-----------------|-----------------|
| N°micropieux | R_{VELU} (KN) | R_{VELS} (KN) |
| 1 | 224,09 | 158,091 |
| 2 | 224,095 | 158,094 |
| 3 | 224,09 | 158,091 |
| 4 | 224,095 | 158,094 |
| 5 | 223,623 | 157,784 |



| | | | | | | | |
|---------------------|----------|--------------------|------------------|--|--|--|--|
| N° Affaire 20050 | | Phase APD | Echelle 1/50 | SORBONNE UNIVERSITE - Installation Microscope Nion sur le campus Pierre et Marie Curie | | REHABILITATION SECTEUR OUEST DU CAMPUS DE JUSSIEU PARIS | |
| Folio | 03 08 | Lot N° STR | Doc. N° STR03 | <div>PLAN DE PRINCIPE</div> <div>DESCENTE DE CHARGES</div> | | Maitrise d'Oeuvre Technique BEMING 3, Av. de la Baltique 91140 Courtabœuf - FRANCE Tél: 01.69.07.77.48 - Fax: 01.69.28.95.73 Email: beming@beming.net | |
| | | Date 29/04/2022 | Indice B | | | <div> <div>Rapport TECHNOSOL n°TECHNOSOL-PR012-V01-01 du 09 janvier 2023- Page 49 sur 54</div> <div>  </div> </div> | |



Synergie
d'expertises

SIÈGE SOCIAL - 01 69 09 14 51 - contact@technosol-gengis.fr
13, route de la Grange aux Cercles - 91160 Ballainvilliers

technosol-gengis.fr

SAS au capital de 120 000 € - APE : 7112B
Siret : 972 200 661 00015 - TVA : FR78 972 200 661

**AGENCE
ÎLE-DE-FRANCE**

13, route de la Grange aux Cercles
91160 Ballainvilliers
01 69 09 14 51
paris@technosol-gengis.fr

**AGENCE
BASSE-NORMANDIE**

1, rue Ampère
14120 Mondeville
02 31 73 63 30
caen@technosol-gengis.fr

**AGENCE
HAUTE-NORMANDIE**

10, rue des Jardiniers
76000 Rouen
02 35 66 22 30
rouen@technosol-gengis.fr

**AGENCE
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES**

5, rue des Essarts
69500 Bron
04 87 91 55 28
lyon@technosol-gengis.fr

**AGENCE NOUVELLE
AQUITAINE**

Europarc, 27 av. Léonard de Vinci
33600 PESSAC
01 69
bordeaux@technosol-gengis.fr