# SOGEPROM PROJECTIM

## BONDUES (59)
## AVENUE DU GENERAL DE GAULLE

## CONSTRUCTION DE LOGEMENTS COLLECTIFS

## ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION – PHASE « AVANT-PROJET »
## (MISSION G2 – AVP)

APOGEO
Environnement & Géotechnique

# RAPPORT

**RFE2025.0247.G2AVP.V03**

**Septembre 2025**

| Entités concernées | |
|---|---|
| X | APOGEO Agence Nord : PA le bois de la Motte – 62 440 HARNES<br>SIRET 313 197 030 00049 – APE 7112B - Tél. : 03 21 79 71 00 |
| | Entreprise MEURISSE : PA le bois de la Motte – 62 440 HARNES<br>SIRET 333 557 643 00033 – APE 4313Z - Tél. : 03 21 79 71 00 |
| | Siège social : 740 rue du bac - 59 193 Erquinghem-Lys<br>SIRET APOGEO 313 197 030 00031 SIRET MEURISSE 333 557 643 00033 |

# SOGEPROM PROJECTIM

## BONDUES (59)
## AVENUE DU GENERAL DE GAULLE

## CONSTRUCTION DE LOGEMENTS COLLECTIFS

## ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION – PHASE « AVANT-PROJET »
## (MISSION G2 – AVP)

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Nature document** | RAPPORT | | |
| **Référence document** | RFE2025.0247.G2AVP.V03 | **Date** | 11/09/2025 |
| **Version** | V03 | **Modifications** | Nouvelle mise à jour du plan masse |
| **Etude géotechnique** | | | |
| **Rédacteur** | Yann GRIOCHE | **Fonction** | Responsable d'activité Géotechnique |
| **Relecteur** | Erdogan ILHAN | **Fonction** | Responsable d'activité Investigations |
| **Codification selon la norme NF P 94 500** | G2 AVP | | |
| **Destinataire** | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Société** | SOGEPROM PROJECTIM | **Interlocuteur** | M. Nicolas BUSIN |
| | | **@** | Nicolas.BUSIN@sogeprom.com |
| **Référence qualité** | | | |
| **Modèle document** | | RFE2018.000.V00-201806 | |

# SOMMAIRE


1. MISSION ET PROJET ..... 7
1.1. Type de mission ..... 7
1.2. Intervenants ..... 7
1.3. Documents de travail ..... 7
1.4. Données du projet ..... 7
1.5. Description du site ..... 10
2. ENQUETE DOCUMENTAIRE ..... 10
2.1. Consultation des photographies aériennes ..... 10
2.2. Contexte géologique ..... 12
2.3. Aléas (site www.georisques.gouv.fr) ..... 13
2.4. Etudes d'archives ..... 16
3. INVESTIGATIONS ..... 17
3.1. Reconnaissance sur le site ..... 17
3.2. Essais en laboratoire ..... 19
4. ANALYSE DES RESULTATS ..... 21
4.1. Géologie et géotechnique ..... 21
4.2. Données hydrogéologiques ..... 23
4.3. Etude de traitement des sols ..... 24
4.4. Contexte sismique ..... 25
4.5. Résultats des mesures physico-chimiques ..... 25
5. CONCLUSIONS – Etude géotechnique G2 AVP ..... 26
5.1. Préconisations générales préalables ..... 26
5.2. Aléa vis-à-vis du retrait-gonflement des argiles ..... 27
5.3. Terrassement relatif au sous-sol commun ..... 28
5.3.1. Données générales ..... 28
5.3.2. Gestion de l'eau ..... 28
5.3.3. Incidence du rabattement de nappe sur les avoisinants ..... 29
5.3.4. Travaux de terrassement du sous-sol (à l'abri d'un rabattement de nappe) ..... 29

**5.4. Fondations superficielles associées à un renforcement de sol – Plot A ..... 30**
5.4.1. Préconisations générales .....30
5.4.2. Modèle terrain .....31
5.4.3. Portance des inclusions .....31
5.4.4. Conditions d'exécution du renforcement .....33
5.4.5. Contrôles .....33
5.4.6. Dimensionnement des massifs isolés/semelles filantes .....33
5.4.7. Conditions d'exécution des massifs isolés .....34

**5.5. Prédimensionnement des pieux forés tarière creuse (FTC) – Plots B et C ..... 34**
5.5.1. Préconisations générales .....34
5.5.2. Paramètre de portance (Procédure du « modèle de terrain ») .....34
5.5.3. Coefficients de modèle .....35
5.5.4. Prédimensionnement des pieux FTC .....36
5.5.5. Sujétions d'exécution .....37

**5.6. Fondations profondes par pieux vissés moulés (VM) – Plots B et C ..... 38**
5.6.1. Préconisations générales .....38
5.6.2. Paramètres de portance (Procédure du « modèle de terrain ») .....38
5.6.3. Coefficients de modèle .....39
5.6.4. Prédimensionnement des pieux VM .....40
5.6.5. Sujétions d'exécution .....41
5.6.6. Contrôles .....42

**5.7. Fondations superficielles par radier – Locaux vélos ..... 42**

**5.8. Conception des niveaux bas ..... 45**

**5.9. Conception de la voirie et des parkings ..... 45**
5.9.1. Partie Supérieure des Terrassements (P.S.T.) .....45
5.9.2. Prédimensionnement de la couche de forme .....46

**6. REMARQUES GENERALES .....48**

## FIGURES

Figure 1 : Plan de situation ..... 8
Figure 2 : Plan de masse du projet ..... 9
Figure 3 : Plan du niveau sous-sol des plots B et C projetés ..... 9
Figure 4 : Extrait de la carte géologique de LILLE au 1/50 000 ..... 13
Figure 5 : Extrait de la carte de la carte des tranchées de la Première Guerre mondiale (1918) ..... 14
Figure 6 : Extrait de la carte de l'aléa remontée de nappe ..... 15
Figure 7 : Extrait de la carte de l'aléa retrait-gonflement des argiles ..... 15
Figure 8 : Plan de localisation des études géotechniques et des données de la BSS ..... 16

## TABLEAUX

Tableau 1 : Eléments transmis ..... 7
Tableau 2 : Caractéristiques du site d'étude ..... 10
Tableau 3 : Synthèse des photographies historiques ..... 12
Tableau 4 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2024.0565 ..... 16
Tableau 5 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2022.0532 ..... 17
Tableau 6 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2017.0235 ..... 17
Tableau 7 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2013.0118 ..... 17
Tableaux 8a et 8b : Profondeurs atteintes (en m) des essais pénétrométriques ..... 18
Tableaux 9a à 9d : Altimétrie des points d'investigation ..... 19
Tableaux 10a à 10d : Profondeurs et cotes des principales interfaces ..... 22
Tableaux 11a et 11b : Perméabilité des sols superficiels ..... 24
Tableau 12 : Traitement à la chaux ..... 24
Tableau 13 : Traitement à la chaux + liant hydraulique ..... 25
Tableau 14 : Résultats des analyses physico-chimiques ..... 26
Tableau 15 : Paramètres pour le calcul de soutènement ..... 30
Tableau 16 : Modèle de terrain – Plot A ..... 31
Tableau 17 : Prédimensionnement des inclusions de diamètre 25 cm ..... 32

Tableau 18 : Prédimensionnement des inclusions de diamètre 30 cm ..... 32
Tableau 19 : Modèle pour l'évaluation de l'effort limite par frottement axial ($R_S$) – Pieu FTC ..... 34
Tableau 20 : Paramètres de portance en pointe des pieux FTC ($R_b$) ..... 35
Tableau 21 : Capacité portante des pieux FTC de diamètre 62 cm ..... 36
Tableau 22 : Capacité portante des pieux FTC de diamètre 72 cm ..... 36
Tableau 23 : Modèle pour l'évaluation de l'effort limite par frottement axial ($R_S$) – Pieu VM ..... 38
Tableau 24 : Paramètres de portance en pointe ($R_b$) – Pieux VM ..... 39
Tableau 25 : Capacité portante des pieux VM de diamètre 55 cm ..... 40
Tableau 26 : Capacité portante des pieux VM de diamètre 65 cm ..... 40
Tableau 27 : Paramètre de portance des sols - Radier ..... 43
Tableau 28 : Maquette géotechnique - Radier ..... 44
Tableau 29 : Evaluation des tassements - Radier ..... 44

## ANNEXES

**ANNEXE n°1 : Missions d'ingénierie géotechnique normalisées**

**ANNEXE n°2 : Diagrammes des essais au pénétromètre statique**

**ANNEXE n°3 : Coupes des sondages lithologiques et des piézomètres**

**ANNEXE n°4 : Coupes des fouilles à la pelle et des essais d'infiltration à la fosse**

**ANNEXE n°5 : Feuilles d'identification géotechnique des sols**

**ANNEXE n°6 : Résultats des essais IPI et de traitement des sols à la chaux (PV RAMERY TP)**

**ANNEXE n°7 : Résultats des essais de traitement à la chaux et au liant hydraulique (PV AGGERIS)**

**ANNEXE n°8 : Résultats des essais d'agressivité vis-à-vis des bétons (PV EUROFINS)**

**ANNEXE n°9 : Plans d'implantation des reconnaissances**

# 1. MISSION ET PROJET

## 1.1. Type de mission

La mission qui nous a été confiée est une étude géotechnique de conception – phase « Avant-Projet » selon la nomenclature des missions d'ingénierie géotechnique de la norme NF P 94-500 révisée en novembre 2013 (mission G2-AVP) - Voir annexe 1.

De plus, une étude de pollution (Levée de doute) est en cours par notre service Sites et Sols Pollués.

Un suivi piézométrique de 1 an est également en cours et donnera lieu à un rapport final de synthèse, ainsi qu'un rapport d'étude des niveaux caractéristiques de la nappe par notre service Hydrogéologie.

Cette étude devra être complétée ultérieurement par une étude géotechnique de conception – Phase « Projet » (mission G2 PRO), une fois les caractéristiques du projet fixées au stade projet (descentes de charges définitives, calage définitif en cote NGF).

## 1.2. Intervenants

Maître d'ouvrage : SOGEPROM PROJECTIM

Commande : SOGEPROM PROJECTIM, du 24/04/2025

Proposition : APOGEO/MEURISSE du 16/04/2025 (référencée « ODS2025.0247.V02 »)

## 1.3. Documents de travail

Dans le cadre de cette étude, les éléments suivants nous ont été transmis :

| Document | Date | Expéditeur |
|---|---|---|
| Plan topographique | 03/04/2025 | SOGEPROM PROJECTIM |
| Plan d'implantation des essais d'infiltration | 16/04/2025 | " |
| Plan des niveaux RdC et sous-sol du projet | 15/05/2025 | " |
| Plan de masse | 05/06/2025 | " |
| Plan de masse mis à jour | 28/07/2025 | " |
| Plan de masse mis à jour | 11/09/2025 | " |

**Tableau 1 : Eléments transmis**

## 1.4. Données du projet

Le projet prévoit la construction de trois bâtiments (Plots A à C) de 117 logements collectifs au total de type R+1 à R+2. Les Plots B et C ont un niveau de sous-sol en commun à usage de parking pour véhicules légers. Cependant, le Plot A est prévu sans niveau de sous-sol.

Le projet prévoit également la construction de deux locaux vélos, la création de voiries et des places de stationnement pour véhicules légers, des espaces verts et des bassins paysagers.

**NB :** L'aménagement de 9 lots libres et la construction d'un quatrième bâtiment (Plot D) sont également prévus (hors mission à ce stade ici).

Le site est localisé avenue du Général de Gaulle à BONDUES (59).

D'après le relevé altimétrique des investigations réalisées sur site, le niveau du terrain actuel au droit du site étudié varie entre les cotes +32,23 et +36,33 m NGF.

Plus précisément, le niveau du terrain actuel varie entre les cotes :

- +35,11 et +36,33 m NGF au droit du Plot A ;
- +32,98 et +35,43 m NGF au droit des Plots B et C ;
- +34,19 et +34,29 m NGF au droit des locaux vélos.

**A ce stade, les descentes de charge sur fondations et les cotes basses du projet ne nous ont pas été communiquées.**

**Nous prendrons comme hypothèse que le projet sera à la même cote que le terrain actuel (aucun déblai/remblai notable).**

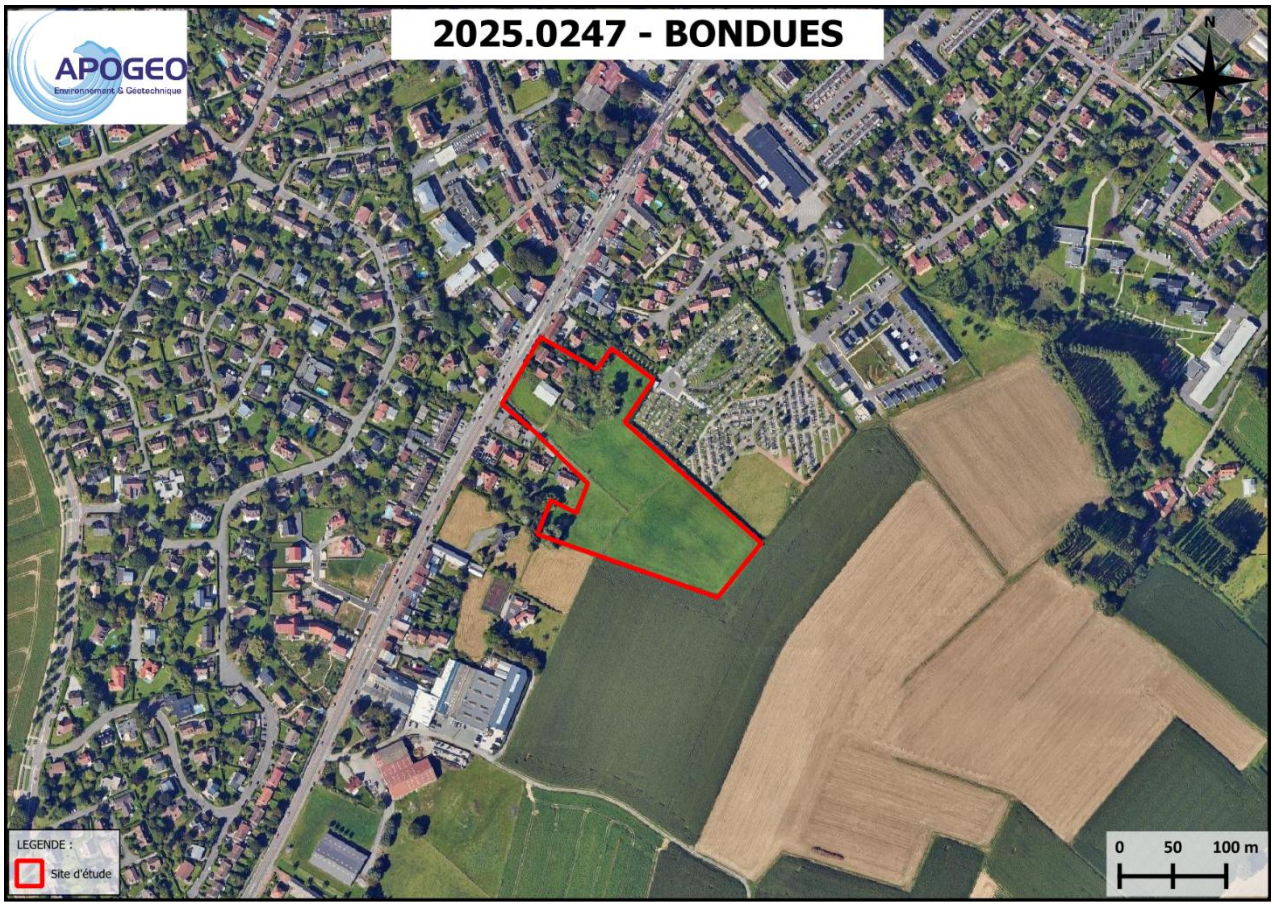



**Figure 1 : Plan de situation**




**Figure 2 : Plan de masse du projet (PC du 11/09/2025)**

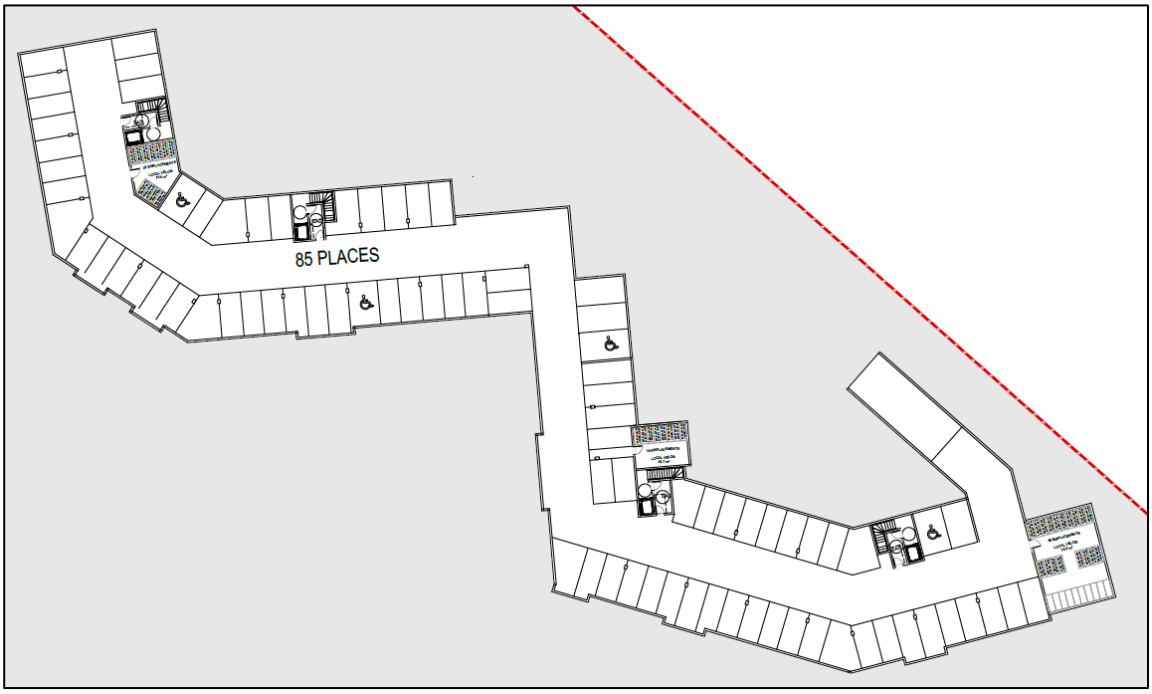



**Figure 3 : Plan du niveau sous-sol des plots B et C projetés**

### 1.5. Description du site

Une visite de site a été réalisé par nos soins le 24 avril 2025.

Lors de cette visite, il a été constaté que le site correspond à un corps de ferme abandonné et ses pâtures.

Les caractéristiques du site sont précisées dans le tableau ci-dessous :

| Altitude IGN (m NGF) | Superficie ($m^2$) | Environnement |
|---|---|---|
| +32,23 et +36,33 | ≈ 26 700 | Zone résidentielle |

**Tableau 2 : Caractéristiques du site d'étude**

Notre intervention a nécessité la rédaction de DICT préalablement à notre intervention afin de récolter les plans des réseaux enterrés.

Le point d'investigation P1 a été déplacé du fait de la non-accessibilité du point initial par la machine.

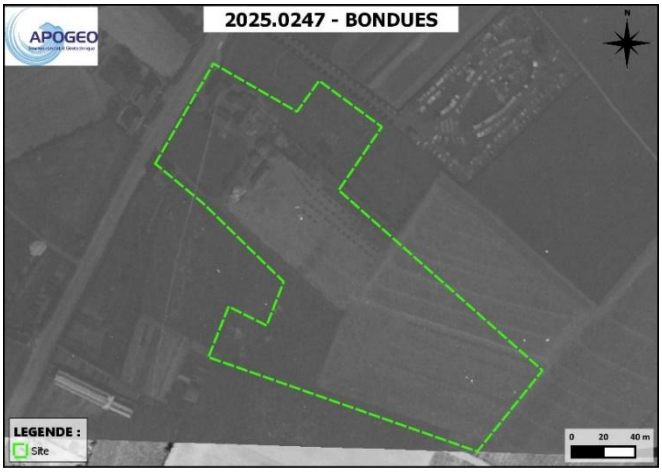
Les points d'investigations ont été implantés tels que précisés sur les plans joints en annexe 9.

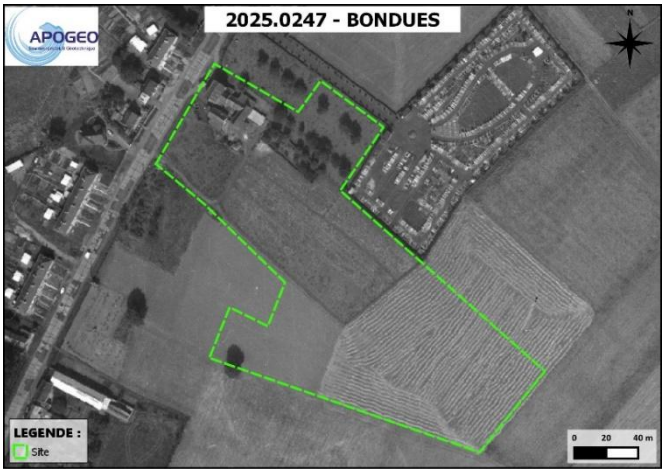
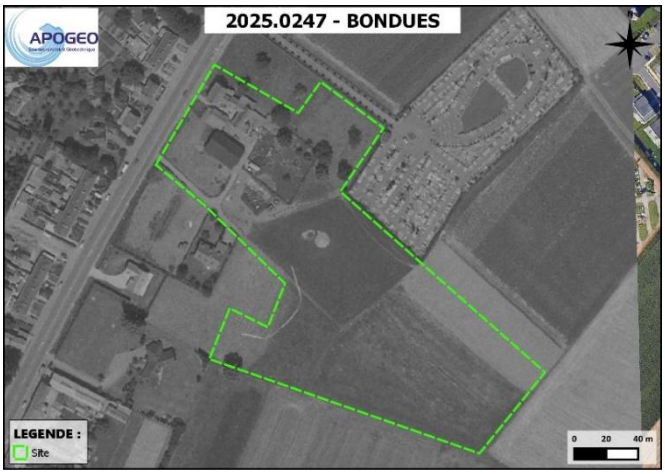
## 2. ENQUETE DOCUMENTAIRE

### 2.1. Consultation des photographies aériennes

Les photographies aériennes sont mises à disposition sur le site internet « remonter le temps » de l'Institut Géographique National (IGN). Les clichés ont été consultés afin de rendre compte de l'historique d'occupation du site.

Le tableau suivant synthétise les principales observations issues des prises de vues aériennes exploitées.

| *Date* | *Faits marquants* | |
|---|---|---|
| | *Description* | *Photographie* |
| 1932 | Le site correspond à une ferme et ses pâtures. |  |

| | | |
|---|---|---|
| 1962 | Il n'y a pas de modification notable. |  |
| 1973 | Une partie du site semble avoir été remblayée (partie claire). |  |
| 1983 | Au sud du site d'étude, une grange a été construite.<br>De plus, une petite mare semble être présente au droit d'une pâture. |  |

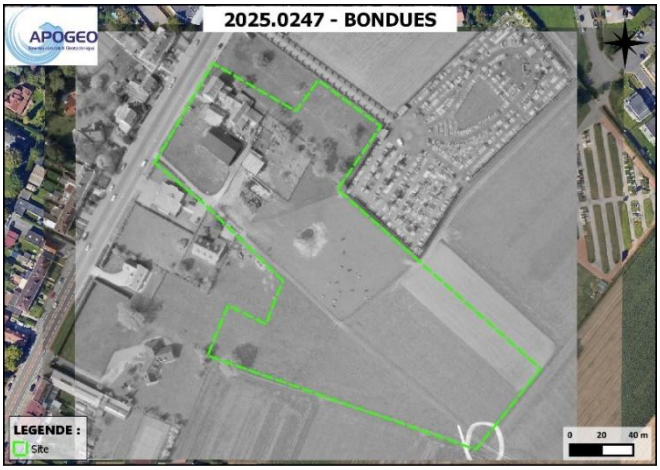
| | | |
|---|---|---|
| 1987 | A l'est de la grange, un petit bâtiment a été construit. |  |
| 2009 | La mare n'est pas visible.<br>Le site est dans sa configuration actuelle. |  |

**Tableau 3 : Synthèse des photographies historiques**

## 2.2. Contexte géologique

Le territoire de la zone d'étude est couvert par la carte géologique n°14 de LILLE au 1/50 000, dont un extrait est présenté sur la figure suivante.

D'après celle-ci, les terrains sont constitués par :

- Les limons de plateaux (Quaternaire) ;
- Les argiles de l'Yprésien (Tertiaire).

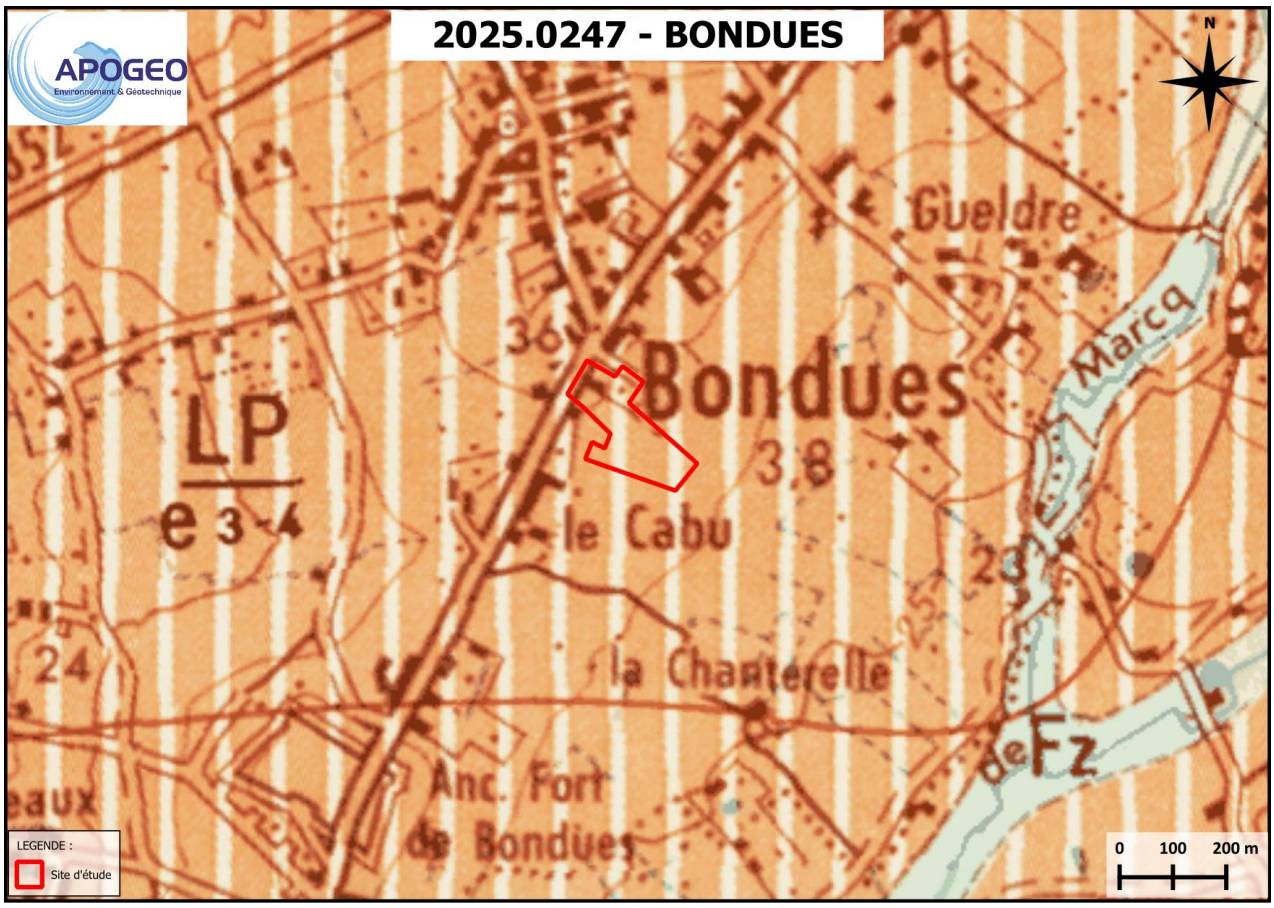



**Figure 4 : Extrait de la carte géologique de LILLE au 1/50 000**

### 2.3. Aléas (site www.georisques.gouv.fr)

- **Aléa « cavités souterraines »**

D'après les bases de données du site Géorisques, aucune cavité souterraine n'a été recensée dans la commune de BONDUES.

Cependant, la commune présente d'anciennes tranchées de la première guerre mondiale.

D'après la carte des tranchées de 1918 (cf. figure ci-après), le projet est entouré de clôture, de fossé ou de haie.

De plus, il est retrouvé à l'ouest du site (environ 500 m) un enchevêtrement de fils.

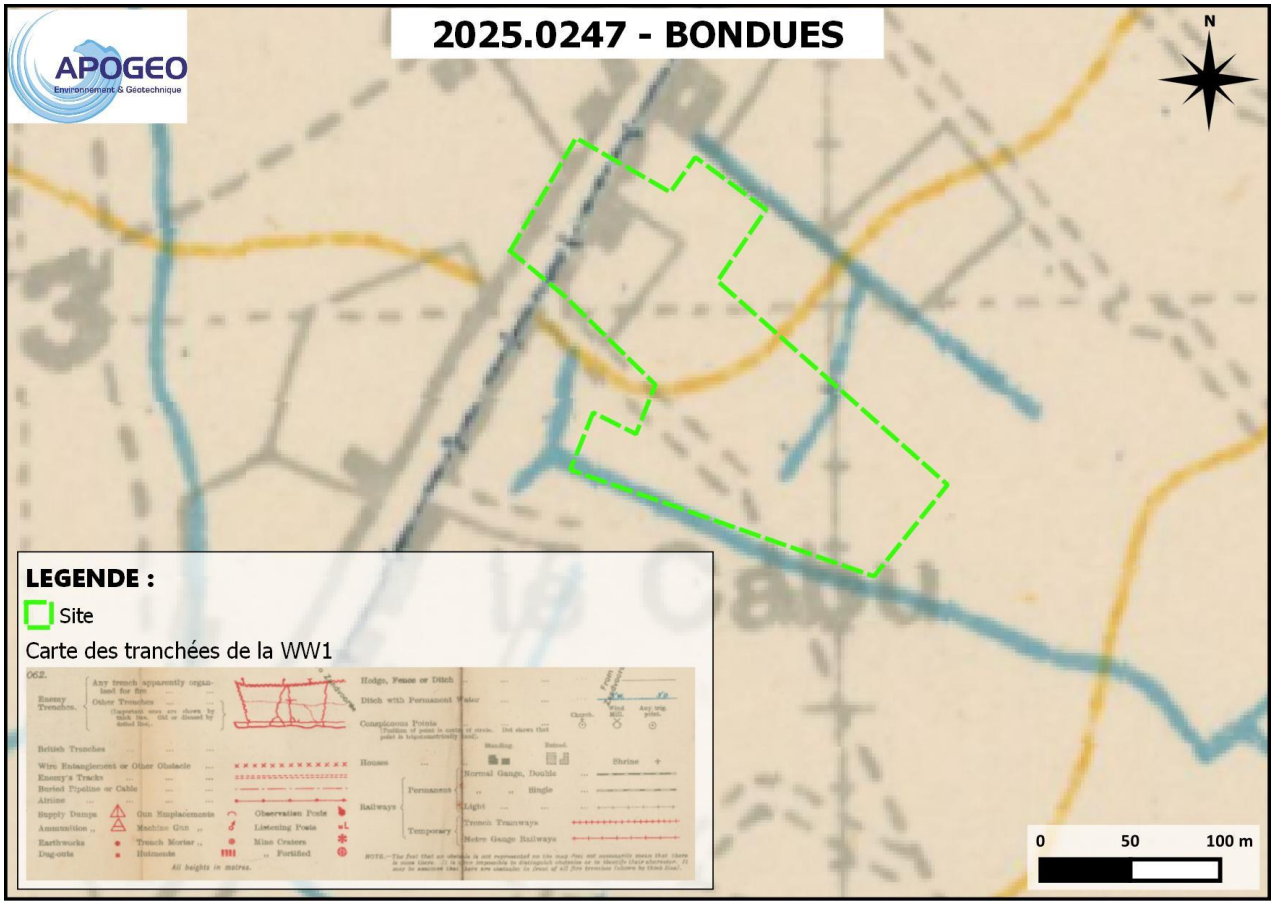



**Figure 5 : Extrait de la carte de la carte des tranchées de la Première Guerre mondiale (1918)**

- **<u>Aléa lié aux inondations</u>**

D'après le BRGM, le site est localisé dans une **zone potentiellement sujette aux inondations de cave**. Le zonage de cet aléa est réalisé en fonction de la géologie et des entités hydrogéologiques.

La commune de BONDUES fait partie d'un Territoire à Risques importants d'Inondation (TRI), mais le site est hors zone de crue. La commune est soumise à un Plan de Prévention des Risques d'Inondations (PPRI), mais le site est hors zone de prescription.

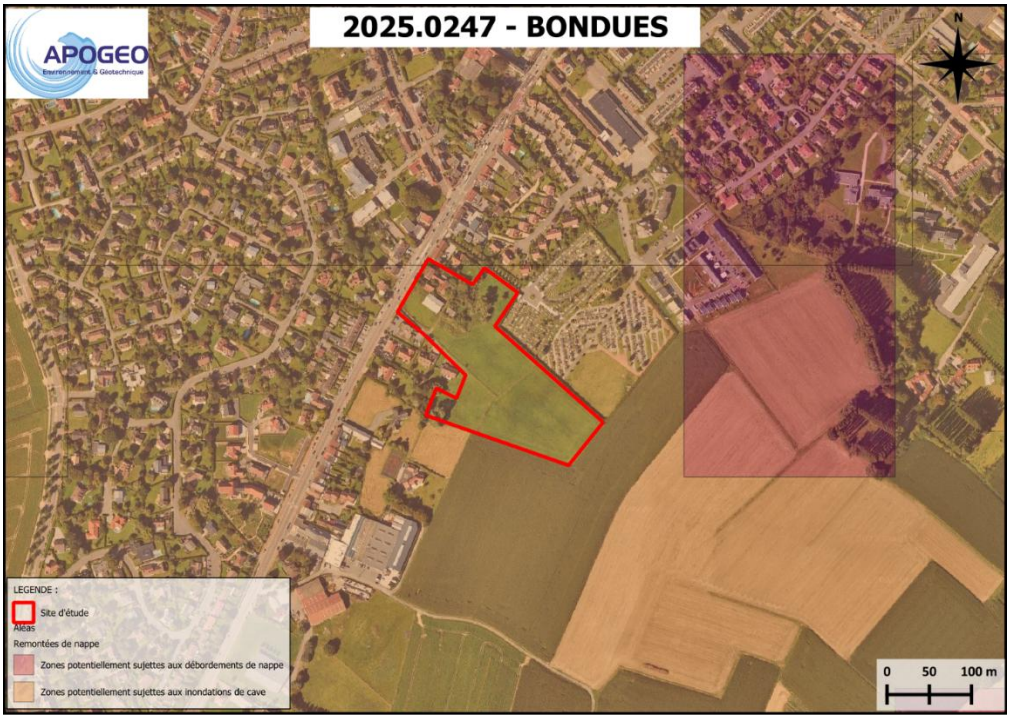



**Figure 6 : Extrait de la carte de l'aléa remontée de nappe**

- **<u>Aléa « retrait-gonflement des sols argileux »</u>**

D'après les données du site Géorisques, le site d'étude concerné présente un **aléa moyen** vis-à-vis des phénomènes de retrait-gonflement des sols argileux.

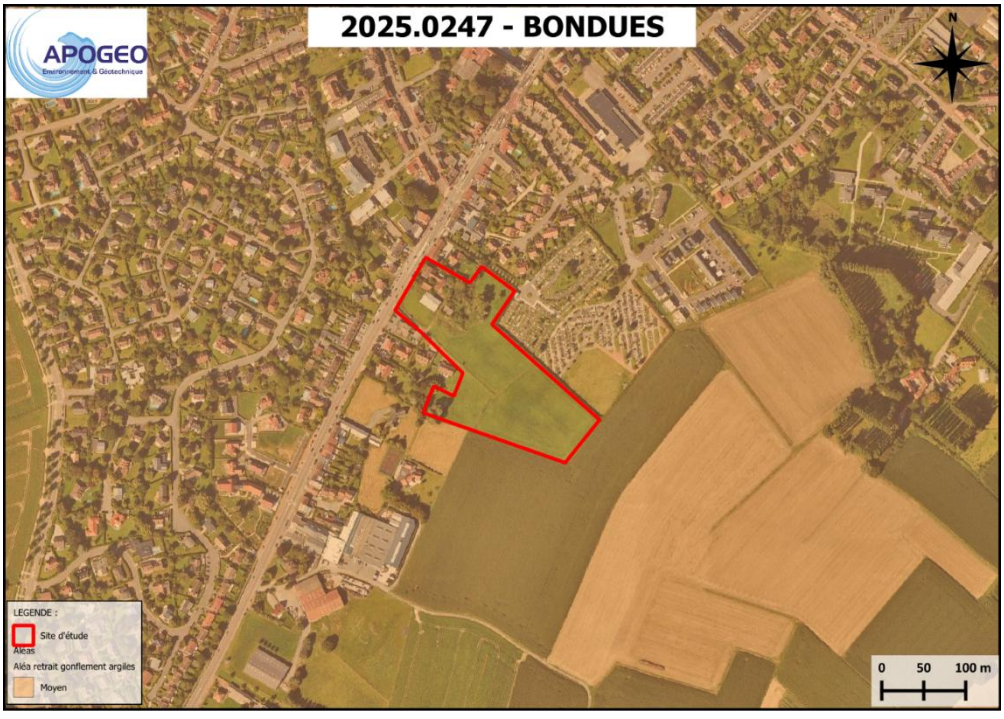



**Figure 7 : Extrait de la carte de l'aléa retrait-gonflement des argiles**

## 2.4. Etudes d'archives

D'après nos archives, quatre études géotechniques ont été effectuées par nos soins dans la commune de BONDUES. Le plan de localisation de ces études est présenté ci-après :

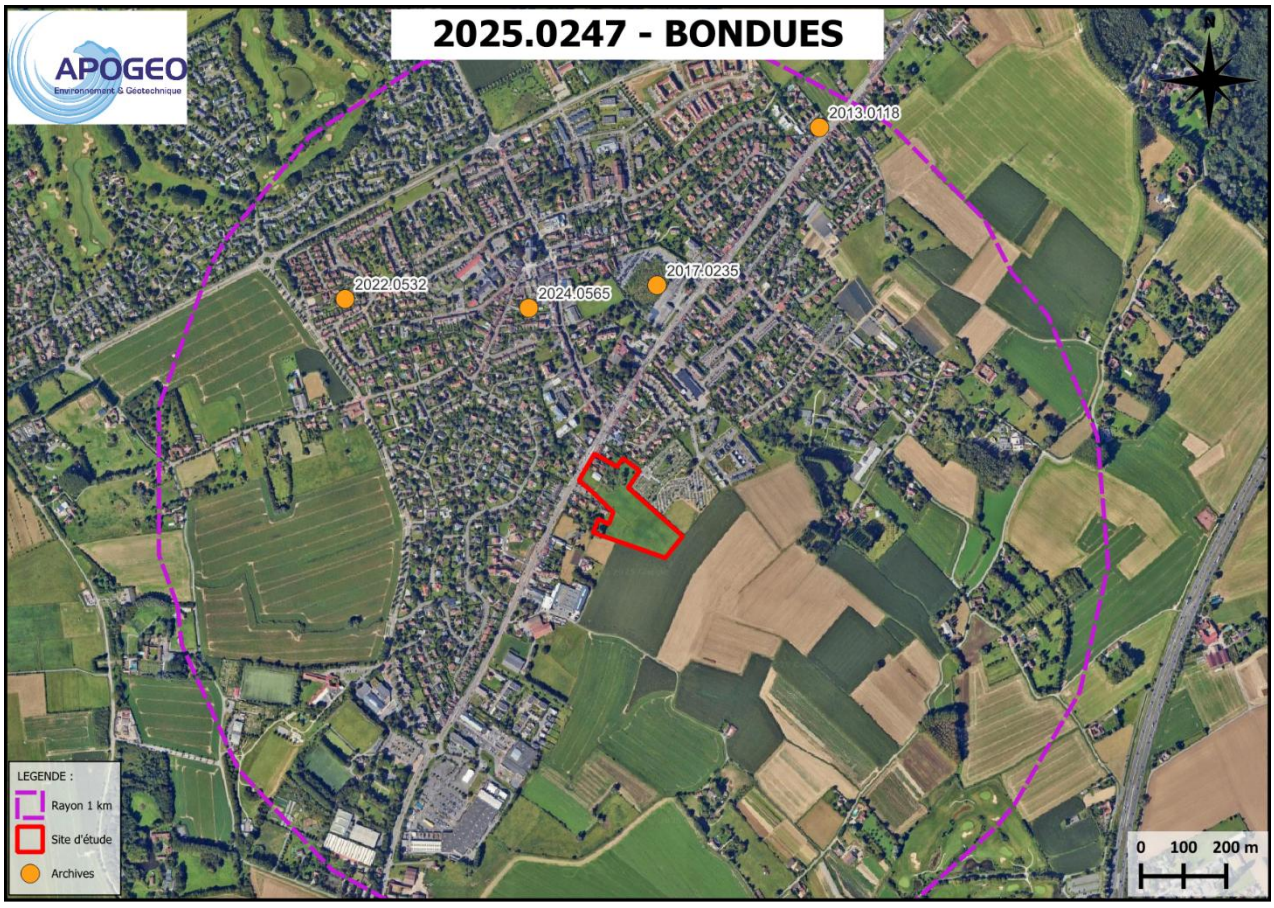



**Figure 8 : Plan de localisation des études géotechniques et des données de la BSS**

- **<u>Etude géotechnique G1 PGC (dossier 2024.0565 - APOGEO)</u>**

Le 6 novembre 2024, nous avons réalisé une étude géotechnique G1 PGC pour le compte de DUBOIS PROMOTION dans le cadre de l'aménagement d'une parcelle.

| Lithologie | Remblai | Limon sableux |
|---|---|---|
| **Profondeur (m)** | 0/0,2 | 0,2/2 |
| **$q_d$ (MPa)** | - | 1,1 à 9,6 |
| **Niveau d'eau** | Aucun niveau relevé en octobre 2024 | |

**Tableau 4 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2024.0565**

- **<u>Compte-rendu géotechnique (dossier 2022.0532 – APOGEO)</u>**

Le 2 août 2022, nous avons réalisé un compte-rendu d'essais de perméabilité pour le compte d'un particulier dans le cadre de l'aménagement d'une parcelle.

| Lithologie | Sable limoneux |
|---|---|
| **Profondeur (m)** | 0/2 |
| **Perméabilité K (m/s)** | 4,78 x$10^{-7}$ à 4,99 x$10^{-7}$ |
| **Niveau d'eau** | Aucun niveau relevé en juillet 2022 |

**Tableau 5 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2022.0532**

- **Etude géotechnique G2 AVP (dossier 2017.0235 – SEF)**

Le 3 août 2017, nous avons réalisé une étude géotechnique G2 AVP pour le compte de SOGEPROM-PROJECTIM dans le cadre de la construction de logements collectifs et individuels.

| Lithologie | Remblai | Limon | Argile |
|---|---|---|---|
| **Profondeur (m)** | 0/1,5 | 1,5/6 | 6/25 |
| **$q_c$ (MPa)** | - | ≈ 1 | 1,2 à 2,3 |
| **Niveau d'eau** | Niveaux (non stabilisés) relevés entre 2,6 à 4,7 m en juillet 2017 | | |

**Tableau 6 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2017.0235**

- **Etude géotechnique G12 (dossier 2013.0118 – SEF)**

Le 18 juillet 2013, nous avons réalisé une étude géotechnique G12 pour le compte de NOTRE LOGIS dans le cadre de la construction d'une résidence en R+2.

| Lithologie | Remblai | Limon sableux | Argile |
|---|---|---|---|
| **Profondeur (m)** | 0/1 | 1/7 | 7/19 |
| **$q_c$ (MPa)** | - | 0,5 à 2,5 | 1,5 à 6 |
| **Niveau d'eau** | Aucun niveau relevé en juin 2013 | | |

**Tableau 7 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2013.0118**

# 3. INVESTIGATIONS

## 3.1. Reconnaissance sur le site

L'implantation de nos points d'investigation est repérée sur les plans joints en annexe 9.

Pour rappel, le point d'investigation P1 a été déplacé du fait de la non-accessibilité du point P1 initial par la machine.

- **Essais au pénétromètre statique**

Quatorze essais pénétrométriques ont été réalisés les 7, 27 et 28 mai 2025 au moyen d'un appareillage statique type GOUDA monté sur porteur à chenilles.

Les essais ont atteint les profondeurs suivantes :

| Essais | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Profondeur (m)** | 17,39* | 19,02* | 19,32* | 18,21* | 15,25 | 15,29 | 15,00 |

| Essais | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Profondeur (m)** | 15,00 | 15,01 | 15,01 | 15,02 | 15,01 | 15,01 | 10,00 |

**Tableaux 8a et 8b : Profondeurs atteintes (en m) des essais pénétrométriques**

*(*) Refus*

Les diagrammes correspondants sont joints en annexe 2.

- **Sondages lithologiques**

Quatre sondages lithologiques désignés par R1 à R4 ont été réalisés le 27 mai 2025. Ils ont atteint une profondeur de 5,00 m chacun.

Ils ont permis le prélèvement ponctuel d'échantillons de sol intacts au moyen d'un carottier poinçonneur à paroi mince et à gaine inférieure, d'une part, et d'échantillons de sol remaniés conditionnés en sachets étanches pour examen visuel et essais en laboratoire, d'autre part.

Les coupes lithologiques établies à partir des échantillons prélevés sont jointes en annexe 3. Les niveaux d'eau éventuellement repérés en fin de forage y sont indiqués.

- **Piézomètres**

Deux forages semi-destructifs, à la tarière de diamètre 89 mm, descendus à 6,00 m de profondeur chacun ont été équipés d'un piézomètre sur toute leur hauteur avec une tête de protection. Ils sont désignés par PZ1 et PZ2.

Les coupes sont jointes en annexe 3. Les niveaux d'eau éventuellement repérés en fin de forage y sont indiqués.

- **Fouilles à la pelle hydraulique**

Douze fouilles à la pelle hydraulique notées PM1 à PM12 ont été réalisées le 6 mai 2025 et ont atteint 0,70 à 1,30 m de profondeur. Elles permettent d'identifier la coupe lithologique du sous-sol.

Elles ont permis le prélèvement d'échantillons remaniés pour examen visuel et essais en laboratoire.

Les coupes lithologiques établies à partir des échantillons prélevés sont jointes en annexe 4.

- **Essais d'infiltration « à la fosse »**

Six essais d'infiltration « à la fosse » notés I1 à I6 ont été réalisés au fond des fouilles PM1 à PM6 respectivement.

Dans les fouilles, une lame d'eau de 30 à 50 cm environ a été déversée et leur abaissement a été suivi pendant 2h afin de définir le volume infiltré.

Outre le volume infiltré, l'objectif des essais est de déterminer le coefficient de perméabilité (K) des terrains.

Les résultats sont repris en annexe 4.

- **Nivellement**

Les investigations ont fait l'objet d'un nivellement à l'aide d'une mire GPS effectué par nos soins lors du chantier.

Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau suivant :

| Investigations | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cote (m NGF) | +35,43 | +34,36 | +33,29 | +35,19 | +36,22 | +35,33 | +35,11 | +34,85 | +34,61 |

| Investigations | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 | R1 | R2 | R3 | R4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cote (m NGF) | +33,99 | +33,79 | +33,56 | +32,98 | +34,29 | +36,33 | +34,36 | +33,30 | +34,19 |

| Investigations | PZ1 | PZ2 | PM1+I1 | PM2+I2 | PM3+I3 | PM4+I4 | PM5+I5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cote (m NGF) | +35,73 | +32,28 | +35,18 | +33,85 | +32,23 | +34,47 | +33,29 |

| Investigations | PM6+I6 | PM7 | PM8 | PM9 | PM10 | PM11 | PM12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cote (m NGF) | +35,62 | +35,32 | +34,47 | +32,65 | +33,99 | +35,17 | +35,82 |

**Tableaux 9a à 9d : Altimétrie des points d'investigation**

## 3.2. Essais en laboratoire

Les échantillons extraits au droit des sondages et des fouilles ont fait l'objet d'essais d'identification des sols, d'essais d'aptitude au traitement et d'analyses physico-chimiques vis-à-vis des bétons sur des échantillons de sol et d'eau en laboratoire.

- **Essais d'identifications**

Ils ont comporté pour l'ensemble de la campagne :

- 18 mesures de la teneur en eau naturelle ;
- 2 mesures de la densité (humide et sèche) ;
- 6 classifications GTR des sols ;
- 3 mesures d'IPI.

Les résultats figurent dans des tableaux récapitulatifs joints en annexe 5.

Les résultats des mesures IPI sont joints en annexe 6 (Procès-verbales RAMERY TP).

- **Essais d'aptitude au traitement à la chaux seule**

Cette étude a pour but de déterminer les conditions de traitement des sols à la chaux seule en vue de leur réutilisation en remblais sous voirie et sous le bâtiment.

Elle consiste en la détermination du dosage en chaux à apporter au sol dont l'état hydrique est connu en vue d'améliorer la portance et permettre la traficabilité du chantier.

Les échantillons de sols ont été prélevés au droit de la fouille PM12 entre 0,50 et 1,10 m de profondeur.

L'étude comprend :

- La détermination du dosage en chaux pour l'amélioration de la portance et la réutilisation des sols en remblai (moulages à l'énergie Proctor Normal avec mesure de l'Indice Portant Immédiat à différents dosages) ;
- La mesure de l'Indice CBR après 4 jours d'immersion, au dosage retenu, pour la vérification de la pérennité du traitement.

Les résultats sont présentés en annexe 6 (Procès-verbal RAMERY TP).

- **Essais d'aptitude au traitement à la chaux et au liant hydraulique**

Cette étude consiste en l'évaluation de l'aptitude au traitement des sols à la chaux et au liant hydraulique en vue de leur réutilisation en couche de forme de voirie et de dallage.

Cette technique de traitement constitue une alternative à la réalisation d'une couche de forme en matériaux granulaires.

Les échantillons de sols ont été prélevés au droit de la fouille PM10 entre 0,40 et 1,00 m de profondeur.

L'étude comprend :

- La détermination des références de compactage du sol traité chaux / liant hydraulique (moulages à l'énergie Proctor Normal avec mesure de l'Indice Portant Immédiat à 1 dosage) ;
- La confection d'éprouvettes de sol traité après 7 jours de conservation dans un bain marie à 40°C suivant les recommandations de la norme (diamètre et hauteur = 5 cm) pour :
    - La mesure du gonflement volumique (GV) ;
    - La mesure de la résistance en compression diamétrale (Rtb) et du module de déformation (E).

Les résultats sont présentés en annexe 7 (Procès-verbal AGGERIS).

- **Mesures physico-chimiques**

Quatre tests d'agressivité vis-à-vis des structures enterrées en béton ont été réalisés sur des prélèvements d'eau et des prélèvements de sol.

Ces analyses ont pour objet de définir :

- Sur le prélèvement de sol :
  - Le degré d'acidité ;
  - La teneur en sulfates.
- Sur le prélèvement d'eau :
  - Le pH ;
  - La teneur en sulfates ;
  - La teneur en CO2 ;
  - La teneur en Ammonium (NH4+) ;
  - La teneur en Magnésium (Mg2+).

Les échantillons prélevés sont désignés comme suit :

- Échantillon de sol de 1,00 à 2,00 m en R1 et 1,30 à 2,00 m en R2 ;
- Échantillon d'eau en PZ1 et PZ2

Les tests sur les échantillons de sol et d'eau ont été réalisés par notre prestataire EUROFINS.

Les résultats sont présentés en annexe 8 du présent rapport.

# 4. ANALYSE DES RESULTATS

## 4.1. Géologie et géotechnique

L'examen des coupes des sondages, des fouilles et l'analyse des essais in situ et en laboratoire permettent de définir le profil géotechnique suivant du site :

- Terre végétale, remblais et horizons remaniés ;
- Formation limoneuse (Quaternaire),
- Formation argileuse de l'Yprésien (Tertiaire).

Les principales interfaces sont définies (ou estimées d'après l'allure des essais pénétrométriques) comme suit :

| Investigations | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Epaisseur des remblais (en m)** | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | 0,70 | 0,50 |
| **(Base en m NGF)** | (+34,9) | (+33,9) | (+32,8) | (+34,6) | (+35,6) | (+34,6) | (+34,4) | (+34,4) |
| **Toit des argiles (en m)** | 7,80 | 5,70 | 8,50 | 6,20 | 8,70 | 7,00 | 6,00 | 6,20 |
| **(Base en m NGF)** | (+27,6) | (+28,7) | (+24,8) | (+29,0) | (+27,5) | (+28,3) | (+29,1) | (+28,7) |

| Investigations | P9 | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 | R1 | R2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Epaisseur des remblais (en m)** | 0,60 | 0,50 | 0,60 | 0,40 | 0,50 | 0,70 | 0,10* | 0,10 |
| **(Base en m NGF)** | (+34,0) | (+33,5) | (+33,2) | (+33,2) | (+32,5) | (+33,6) | (+36,2) | (+34,3) |
| **Toit des argiles (en m)** | 6,10 | 5,50 | 5,60 | 6,10 | 8,40 | 5,20 | - | - |
| **(Base en m NGF)** | (+28,5) | (28,5) | (+28,2) | (+27,5) | (+24,6) | (+29,1) | | |

| Investigations | R3 | R4 | PZ1 | PZ2 | PM1+I1 | PM2+I2 | PM3+I3 | PM4+I4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Epaisseur des remblais (en m)** | 0,10 | 0,10 | 0,50 | 0,50 | 0,40 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| **(Base en m NGF)** | (+33,2) | (+34,1) | (+35,2) | (+31,8) | (+34,8) | (+33,6) | (+31,1) | (+34,2) |
| **Toit des argiles (en m)** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **(Base en m NGF)** | | | | | | | | |

| Investigations | PM5+I5 | PM6+I6 | PM7 | PM8 | PM9 | PM10 | PM11 | PM12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Epaisseur des remblais (en m)** | 0,25 | 0,20 | 0,30 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | 0,30 | 0,50 |
| **(Base en m NGF)** | (+33,0) | (+35,4) | (+35,0) | (+34,3) | (+32,5) | (+33,6) | (+34,9) | (+35,3) |
| **Toit des argiles (en m)** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **(Base en m NGF)** | | | | | | | | |

**Tableaux 10a à 10d : Profondeurs et cotes des principales interfaces**

*(*) Base non clairement identifiée*

- **<u>Terre végétale, remblais et horizons remaniés</u>**

Au droit des sondages R1 à R4, des piézomètres PZ1 et PZ2 et des fouilles PM1 à PM11, il a été identifié une terre végétale limoneuse de couleur marron.

Au droit de la fouille PM12, il s'agit d'un remblai limoneux présentant des débris de brique et de cailloux.

Au droit des essais P1 à P14, il semble s'agir d'une terre végétale, voire d'un remblai limoneux.

**L'épaisseur et la nature des horizons remaniés et des remblais de surface peuvent fortement varier latéralement et être très différentes de celles reconnues en fonction notamment de l'historique du site (bâtiments existants). Il en est de même pour les caractéristiques mécaniques et les paramètres d'identification de ces matériaux.**

- **<u>Formation limoneuse (Quaternaire)</u>**

Il s'agit d'un limon à un limon légèrement sablonneux de couleur marron, voire d'un limon légèrement argileux en base, jusqu'à la base des sondages R1 à R4 (5,00 m, soit jusqu'à +28,3 et +31,3 m NGF), des piézomètres PZ1 et PZ2 (6,00m, soit jusqu'à +28,3 et +29,7 m NGF) et des fouilles PM1 à PM12 (0,70 à 1,30 m, soit jusqu'à +31,1 et +34,9 m NGF).

Au droit des essais P1 à P14, il semble s'agir d'un limon jusqu'à des profondeurs comprises entre 5,20 et 8,70 m (soit jusqu'à +24,8 et +29,1 m NGF).

Les résistances de pointe mesurées dans ces horizons sont comprises entre 0,5 et 4,0 MPa.

Il s'agit d'un limon globalement mou.

**Remarque :**

Des valeurs de résistance de pointe $q_c$ plus élevés (3 à 13,8 MPa) ont été identifiés au droit des essais P1 (5,40 à 7,80 m), P3 (6,30 à 8,50 m), P5 (6,00 à 8,70 m), P6 (5,30 à 7,00 m), P7 (5,20 à 6,00 m), P8 (5,20 à 6,20 m) et P9 (5,30 à 6,10 m).

Ces valeurs peuvent correspondre à un passage de terrain plus sableux.

Ces horizons sont également caractérisés par :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Teneurs en eau : | 18,01 % < | W% | < 28,16 % |
| Densité humide : | 1,86 < | $d_h$ | < 1,95 |
| Densité sèche : | 1,52 < | $d_s$ | < 1,61 |
| VBS : | 2,22 < | VBS | < 3,11 |
| Passant 80 µm : | 95,7 % < | Passant à 80 µm | < 98,7 % |
| IPI : | 0,7 < | IPI | < 2,8 |

Il s'agit de sols de classe **GTR $A_1$ à $A_2$** dans un **état hydrique très humide.**

D'après les résultats des densités sèches, cet horizon est moyennement compact.

- **Formation argileuse (Tertiaire)**

Il semble s'agir d'une argile jusqu'à la base des essais P1 à P14 (10,00 à 19,32 m, soit jusqu'à +14,0 et +24,3 m NGF).

Les résistances de pointe mesurées dans ces horizons sont comprises entre 1,0 et 3,5 MPa.

Il s'agit d'une argile ferme à raide.

## 4.2. Données hydrogéologiques

- **Niveau d'eau**

Des niveaux d'eau (stabilisés) ont été relevés entre 2,07 et 2,27 m au droit des piézomètres PZ2 et PZ1 respectivement (soit entre +30,2 et +33,5 m NGF) le 15 mai 2025.

Des niveaux d'eau (non stabilisés) ont été relevés entre 2,30 et 2,90 m de profondeur (soit entre +30,9 et +33,6 m NGF) au droit des sondages R1 à R4 et des essais P1, P6, P7, P10 et P11 en mai 2025.

Aucun niveau d'eau n'a été relevé au droit des essais pénétrométriques P2 à P5, P8, P9 et P12 à P14 (jusqu'à leur base ou éboulement des parois) et jusqu'à la base des fouilles PM1 à PM12.

**Nous rappelons qu'un suivi piézométrique est en cours pour une durée de 1 an par notre service Hydrogéologie.**

- **Perméabilité des sols superficiels**

L'abaissement du niveau d'eau au droit des fouilles PM1+I1 à PM6+I6 dans les horizons superficiels a été mesuré :

| Essais | PM1+I1 | PM2+I2 | PM3+I3 |
|---|---|---|---|
| **Profondeur (m)** | 0,44/0,90 | 0,60/0,90 | 0,62/1,10 |
| **Cote de la base de la couche (m NGF)** | +34,3 | +33,0 | +31,1 |
| **Nature du sol** | Limon | Limon | Limon |
| **Perméabilité k (m/s)** | 5,14 x$10^{-6}$ | 2,66 x$10^{-6}$ | 2,63 x$10^{-6}$ |

| Essais | PM4+I4 | PM5+I5 | PM6+I6 |
|---|---|---|---|
| **Profondeur (m)** | 0,67/1,00 | 0,27/0,70 | 0,44/0,70 |
| **Cote de la base de la couche (m NGF)** | +34,5 | +32,6 | +34,9 |
| **Nature du sol** | Limon | Limon sablonneux | Limon |
| **Perméabilité k (m/s)** | 1,77 x$10^{-6}$ | 4,62 x$10^{-6}$ | 2,63 x$10^{-6}$ |

**Tableaux 11a et 11b : Perméabilité des sols superficiels**

### 4.3. Etude de traitement des sols

Les prélèvements d'échantillons ont été effectués au droit des fouilles PM10 et PM12 (entre 0,40 et 1,10 m de profondeur) pour la réalisation des études de traitement.

- **Etude de traitement des sols pour reclassement de l'arase**

Les résultats de l'étude de traitement à la chaux seule, pour réutilisation en remblai et reclassement de l'arase terrassement, sont regroupés dans le tableau ci-après et figurent en annexe 6 (Procès-verbal RAMERY TP).

Les mélanges étudiés sont les suivants : **traitement à 1,5 % de chaux**

| Mélange | $W_{nat}$ % | Masse vol. sèche t/$m^3$ | IPI | W après traitement % | $I_{CBR}$ 4j immersion | $I_{CBR}$4j/IPI |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sol naturel | 21,1 à 24,1 | 1,56 à 1,63 | 0,7 et 2,8 | - | - | - |
| **1,5 % chaux** | **20,6** | **1,65** | **19,4** | **21,6** | **33,7** | **> 1** |

**Tableau 12 : Traitement à la chaux**

**Les matériaux sont aptes au traitement à la chaux (1,5 %).**

- **Etude de traitement des sols pour réutilisation en couche de forme**

Les résultats de l'évaluation de l'aptitude au traitement des sols à la chaux et au liant hydraulique pour réutilisation en couche de forme sont regroupés dans le tableau ci-après et figurent en annexe 7 (Procès-verbal AGGERIS).

Le mélange étudié est le suivant : **traitement à 1 % chaux + 6 % liant hydraulique routier (Rolac Optimum S41 Ecolabel).**

| Références de compactage (sol traité chaux/liant) | | | Caractéristiques mécaniques (sol traité chaux/liant) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Masse vol. sèche OPN t/m³** | W OPN % | IPI OPN | GV 7 jours % | Rtb 7 jours MPa | E 7 jours MPa |
| **1,72** | **16,5** | **38** | **0,2** | **0,32** | **5 653** |

**Tableau 13 : Traitement à la chaux + liant hydraulique**

La valeur de la résistance en traction indirecte Rit après 7 jours est supérieur à 0,2 MPa.

**Les matériaux sont donc adaptés au traitement à la chaux + liant hydraulique pour ce dosage.**

### 4.4. Contexte sismique

Le site est localisé en zone sismique 2 (sismicité faible). Il peut être rappelé qu'une étude spécifique du caractère liquéfiable ou non des sols n'est pas requise dans ce cas.

La coupe du sous-sol peut être classé à ce stade « D » selon l'Eurocode 8 (Vs ≈ 150 m/s).

Les bâtiments projetés sont à priori classés en catégorie d'importance II **(à confirmer par la Maitrise d'Ouvrage et au stade G2 PRO)**, de ce fait les règles de conception parasismique ne seront pas à appliquer.

### 4.5. Résultats des mesures physico-chimiques

Les tableaux suivants présentent les résultats des analyses effectuées :

| Echantillon « Eau souterraine » | pH | Teneur en sulfates (SO4) (en mg/l) | Teneur en $CO_2$ (en mg/l) | Teneur en Ammonium ($NH_4^+$) (en mg/l) | Teneur en Magnésium ($Mg^{2+}$) (en mg/l) |
|---|---|---|---|---|---|
| **PZ1** | 7,3 | 57,5 | 0,0 | 1,93 | 22,3 |
| **PZ2** | 7,4 | 87,3 | 0,0 | 0,16 | 23,1 |

| Echantillon « Sol » | Degré d'acidité (en ml/kg MS) | Teneur en sulfates (SO4) (en mg/kg MS) |
|---|---|---|
| **R1 1/2 m** | < 20 | 119 |
| **R2 1,3/2 m** | 66 | 150 |

**Tableau 14 : Résultats des analyses physico-chimiques**

Les résultats indiquent des classes d'agressivités inférieures à XA1 pour l'ensemble des prélèvements réalisés.

Ces derniers sont présentés en annexe 8 du présent rapport.

**Rappel du tableau de référence (échantillons d'eau et de sols) :**

| | XA1 | XA2 | XA3 |
|---|---|---|---|
| Sulfates – $SO_4^{2-}$ (en mg/l) | 200 - 600 | 600 – 3 000 | 3 000 – 6 000 |
| pH | 6,5 – 5,5 | 5,5 – 4,5 | 4,5 – 4,0 |
| Dioxyde de carbone agressif – $CO_2$ (en mg/l) | 15 - 40 | 40 - 100 | > 100 (jusqu'à saturation) |
| Ammonium – $NH_4^+$ (en mg/l) | 15 - 30 | 30 - 60 | 60 - 100 |
| Magnésium – $Mg^{2+}$ (en mg/l) | 300 – 1 000 | 1 000 – 3 000 | > 3000 jusqu'à saturation |

| | XA1 | XA2 | XA3 |
|---|---|---|---|
| Sulfates – $SO_4^{2-}$ (en mg/kg) | 2 000 – 3 000 | 3 000 – 12 000 | 12 000 – 24 000 |
| Acidité (en ml/kg) | > 200 Baumann Gully | N'est pas rencontré dans la pratique | |

# 5. CONCLUSIONS – Etude géotechnique G2 AVP

## 5.1. Préconisations générales préalables

Pour rappel, le projet consiste en la construction d'un bâtiment de type R+1 à R+2 et sans niveau de sous-sol (Plot A), de deux bâtiments de type R+1 à R+2 et avec un niveau de sous-sol (Plots B et C) et de deux locaux vélos.

Les remblais et horizons remaniés de surface doivent impérativement être exclus en tant que sols d'assise directe pour les fondations, en raison de leur hétérogénéité et de leurs caractéristiques mécaniques hétérogènes.

Compte tenu du profil géomécanique du sous-sol tel qu'exposé auparavant et des caractéristiques du projet, on s'orientera vers :

- Un mode de fondations superficielles par massifs isolés/semelles filantes associées à un renforcement de sols par inclusions rigides pour le Plot A,
- Un mode de fondations profondes de type pieux pour les Plots B et C,
- Un mode de fondations superficielles de type radier généralisé pour les locaux vélos.

Nous développons, à la suite, les paramètres de prédimensionnement et les conditions de mise en œuvre de ces orientations principales.

**Remarque :**

Le mode de fondations par pieux peut être généralisé au droit du plot A.

### 5.2. Aléa vis-à-vis du retrait-gonflement des argiles

Il est important de souligner le fait qu'en application de l'article 68 de la loi ELAN du 23 Novembre 2018, le décret n°2019-495 du 22/05/2019 intègre au sein du Code de la Construction et de l'Habitation une section dédiée à la prévention des risques de mouvement de terrain différentiel consécutif à la sècheresse et à la réhydratation des sols argileux.

Sur la base du zonage présenté sur le site GEORISQUES depuis Janvier 2020 et officialisé au sein de l'arrêté du 22/07/2020 dont les dispositions sont entrées en vigueur le 16/08/2020, le terrain concerné par la présente étude se situe dans une zone d'aléa **moyen** vis-à-vis du phénomène de retrait/gonflement des argiles, ce qui implique, a priori, des dispositions particulières à mettre en place lors de la construction des habitations sur le site.

En effet, les résultats de l'enquête documentaire, des investigations et des essais en laboratoire présentés dans ce rapport mettent en évidence des sols de classe **$A_1/A_2$** d'après le GTR dont le caractère argileux est modéré.

**Dans ce contexte, il conviendra de prendre en considération les préconisations constructives permettant de s'affranchir du risque lié à ces sols moyennement argileux, à savoir :**

- Prévoir une profondeur minimale d'assise des fondations de 0,8 m par rapport aux plateformes finies extérieures ainsi qu'une homogénéité d'ancrage (notamment en cas de terrain pentu) ;
- En cas de mitoyenneté, mettre en place un joint de rupture pour assurer une désolidarisation avec la construction neuve ;
- Proscrire toute infiltration des eaux de pluie au droit des fondations de l'habitation ;

- Réaliser un revêtement étanche au pourtour de la construction (largeur > 1,5 m) ou mettre en place une géomembrane enterrée avec une légère pente sous la terre végétale ;
- Eloigner les plantations d'arbres à une distance de 1 à 1,5 fois la hauteur de l'arbre adulte de toute construction (ou mettre en place un écran anti-racines de 2 m de profondeur minimum) ;
- Prévoir des joints adaptés pour minimiser la rupture des canalisations et prévoir des dispositifs de gestion des eaux de ruissellement si besoin (tranchées drainantes en amont de l'habitation en cas de présence de talus) ;
- En l'absence de sous-sol général, un plancher porté par les fondations doit être réalisé.

## 5.3. Terrassement relatif au sous-sol commun

### 5.3.1. Données générales

Le projet prévoit la réalisation d'un niveau de sous-sol commun aux bâtiments des Plots B et C et à usage de parkings pour véhicules légers.

Le niveau fini du sous-sol ne nous a pas été communiqué. A ce stade et à titre indicatif, le niveau de sous-sol est considéré à 2,50 m de profondeur sous le niveau du terrain actuel, soit à la cote moyenne +31,5 m NGF.

Pour rappel, des niveaux d'eau stabilisés ont été relevés entre 2,07 et 2,27 m de profondeur (soit à +30,2 et +33,5 m NGF) au droit des piézomètres PZ1 et PZ2 en mai 2025.

Le futur sous-sol sera donc impacté par la nappe (notamment en périodes de « hautes eaux »).

**Pour rappel, un suivi piézométrique d'une période de 1 an et une étude hydrogéologique relative à la détermination des niveaux caractéristiques de la nappe sont en cours de réalisation par notre service Hydrogéologie et permettront de définir l'impact de la nappe sur le projet de sous-sol.**

A ce stade, compte tenu des profondeurs de terrassements à atteindre, de la profondeur de la nappe et de l'environnement, on pourrait s'orienter vers une solution de rabattement de nappe qui permettra la réalisation d'un talutage (là où la place le permet) et/ou d'un soutènement par parois lutéciennes.

### 5.3.2. Gestion de l'eau

- **Phase travaux**

Lors de la réalisation des travaux, il sera nécessaire de prévoir un rabattement de la nappe (dans les limons sus-jacents) pour réaliser les terrassements des fouilles générales du sous-sol commun.

La gestion de l'eau sera conditionnée par le type de soutènement éventuellement mis en œuvre (si un talutage n'est pas envisageable), et bien évidemment, par la position de la nappe au moment des travaux.

Le rabattement de nappe devra être justifié, au moment des travaux, par l'entreprise spécialisée retenue.

**Ce rabattement de nappe devra être strictement contrôlé et maitrisé pour éviter une extension trop importante du cône de rabattement et assurer la pérennité des avoisinants, en rappelant qu'un rabattement de nappe est de nature, à moyen terme, à provoquer des tassements des avoisinants.**

Le rabattement devra être maintenu tant que les ouvrages ne pourront pas résister à la poussée d'Archimède.

Il sera éventuellement nécessaire de poser des piézomètres de contrôle (les piézomètres existants hors emprise des sous-sols pourront être réutilisés) afin de vérifier les niveaux d'eau lors des terrassements.

La qualité des eaux d'exhaure devra être contrôlée et, si besoin, ces dernières feront l'objet d'un traitement adapté avant rejet au réseau des eaux pluviales (en cas d'obtention des autorisations de rejets).

**Dans tous les cas, toutes dispositions devront être prises pour ne pas déstabiliser les existants environnants (bâtiments et voiries).**

Enfin, il conviendra de s'assurer de l'absence de risque de phénomène de « renard ».

- **Phase définitive d'exploitation**

Il conviendra d'assurer des étanchements par cuvelage ou par un procédé d'étanchement équivalent (procédé à retenir jusqu'au niveau EE).

Le niveau bas devra être calculé de façon à pouvoir reprendre la poussée d'Archimède (par exemple type plancher « inversé »).

Ce principe de conception sera à appliquer aux rampes d'accès au sous-sol (au moins en partie basse).

Il conviendra également de prendre toutes dispositions pour éviter les remontées d'humidité et les formules des bétons devront être définies de façon à s'affranchir des phénomènes d'alcali-réaction.

### 5.3.3. Incidence du rabattement de nappe sur les avoisinants

Le site d'étude est localisé à proximité directe de bâtiments et de voiries.

L'étude spécifique au rabattement de nappe devra définir l'impact sur les « fondations » des avoisinants (en termes de tassement notamment).

### 5.3.4. Travaux de terrassement du sous-sol (à l'abri d'un rabattement de nappe)

Sous couvert d'un rabattement de nappe, deux solutions seront envisageables :

- Soit un talutage si l'espace disponible est suffisant ;
- Soit un soutènement, par exemple par parois lutéciennes.

- **Cas d'un talutage**

Il faudra dresser les pentes des talus des fouilles au maximum à 3H/2V au sein des limons.

Il faudra également protéger les talus contre les effets du ravinement par la mise en place d'un polyane/géotextile.

Le remblaiement à la périphérie extérieure des murs enterrés devra être effectué avec des matériaux d'apport homogènes, non susceptibles de favoriser les rétentions d'eau, non évolutifs et pouvant être compactés facilement par couches successives (sableux ou graveleux).

Ce remblaiement devra être soigné et contrôlé par exemple au pénétromètre dynamique, en particulier dans le cas de l'aménagement des abords.

Il conviendra de prendre toutes dispositions pour éviter les remontées d'humidité et les formules des bétons devront être définies de façon à s'affranchir des phénomènes d'alcali-réaction.

- **Cas d'un soutènement**

Pour le calcul du soutènement et/ou la reprise des efforts de poussée sur les murs enterrés, il pourra être considéré les paramètres intrinsèques dans les différentes couches de sol tels que définis dans le modèle suivant (le « 0 » correspond au terrain actuel, soit à la cote +31,5 m NGF) :

| Tranche de terrain en m (Cote en m NGF) | 0/6,5 (+29,0) | 6,5/8 (+27,5) | 8/11 (+24,5) | 11/18 (+17,5) |
|---|---|---|---|---|
| **Nature** | Terre végétale + limon sableux | Argile 1 | Argile 2 | Argile 3 |
| **Masse volumique humide γ (kN/m³)** | 19 | 20 | 20 | 20 |
| **Angle de frottement interne ϕ' (°)** | 25 | 10 | 15 | 15 |
| **Cohésion C' (kPa)** | 3 | 10 | 15 | 15 |

**Tableau 15 : Paramètres pour le calcul de soutènement**

**Des niveaux d'eau stabilisés ont été relevés aux cotes +30,2 et +33,5 m NGF le 15 mai 2025.**

**Pour rappel, un suivi piézométrique sur une durée de 1 an est en cours par notre service Hydrogéologie.**

**Remarques particulières :**

Les paramètres intrinsèques ont été estimés sur la base de valeurs d'expérience dans ce secteur.

L'entreprise devra justifier l'ouvrage de soutènement mis en œuvre (mission G3).

Il conviendra, au cours des travaux, d'assurer un suivi des mouvements en tête.

## 5.4. Fondations superficielles associées à un renforcement de sol – Plot A

### 5.4.1. Préconisations générales

Compte tenu du profil géomécanique du sous-sol, le renforcement de sol sera réalisé par inclusions rigides (mis en œuvre selon un principe de refoulement de sol).

Le dimensionnement et les conditions d'exécution des inclusions devront suivre les recommandations du projet national ASIRI.

Le renforcement de sol devra être descendu a minima de 1,00 m dans les horizons argileux, ce qui correspond à des profondeurs d'ancrage, par rapport au terrain actuel, de l'ordre de 7,50 m minimum (soit à la cote minimale +28,0 m NGF).

Ce renforcement de sol devra être défini de façon à justifier d'un tassement absolu n'excédant pas 2 cm.

Dans tous les cas, le renforcement de sol devra être justifié par l'entreprise spécialisée retenue en fonction de la technique de mise en œuvre, du diamètre du renforcement de sol (inclusions rigides) et des charges à reprendre (mission G3).

**Remarque :**

Un mode de fondations profondes de type pieux (FTC ou VM) peut également être réalisé.

### 5.4.2. Modèle terrain

Au stade « Avant-Projet », pour la justification des inclusions rigides, il faudra tenir compte de la maquette géotechnique suivante :

| Tranche de terrain (m)<br>Cote de la base de la couche (m NGF) | 0/1<br>(+34,5) | 1/6,5<br>(+29,0) | 6,5/8<br>(+27,5) | 8/11<br>(+24,5) | 11/18<br>(+17,5) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Nature du terrain** | Mort terrain | Limon sableux | Argile 1 | Argile 2 | Argile 3 |
| **$q_c$ (MPa)** | - | 0,9 | 1 | 1,5 | 2 |
| **α** | (1) | 1/2 | 2/3 | 2/3 | 2/3 |

**Tableau 16 : Modèle de terrain – Plot A**

**Remarques :**

Le « 0 » correspond au niveau du terrain actuel, soit à la cote +35,5 m NGF environ.

**Il conviendra de considérer qs = 0 kPa (frottement latéral nul) jusqu'à la cote +34,5 m NGF et jusqu'au point neutre.**

Entre points de renforcement de sols, la valeur de $q_{net}$ doit être limitée à 0,20 MPa (limon).

### 5.4.3. Portance des inclusions

Il faut calculer la charge nominale d'une inclusion rigide que nous assimilons à des pieux vissés moulés (pieux de classe 3 et de catégorie 7 selon la norme NF P 94-262 COMPIL1 : norme d'application nationale de l'Eurocode 7).

Les inclusions rigides seront ancrées à 7,50 m de profondeur minimum (soit à la cote minimale +28,0 m NGF) dans les horizons argileux.

Nous considérons des inclusions de 0,25 m et de 0,30 m de diamètre, constituées d'un béton de classe minimale C20/25, avec E = 10 000 MPa à long terme et fc28 = 20 MPa.

A titre indicatif, on trouvera dans les tableaux ci-après la portance verticale des inclusions pour des diamètres de 25 cm et 30 cm à différentes profondeurs :

| **Diamètre des inclusions** | | **0,25 m** | | |
|---|---|---|---|---|
| **Profondeur des inclusions** | | 7,50 | 8,50 | 9,50 |
| **Cote NGF de la base des inclusions** | | +28,0 | +27,0 | +26,0 |
| **ELU ($R_{c;d}$) (kN)** | Situations durables et transitoires | 127 | 152 | 176 |
| | Situations accidentelles | 140 | 167 | 194 |
| **ELS ($R_{c;cr;d}$) (kN)** | Combinaisons caractéristiques | 109 | 130 | 151 |
| | Combinaisons quasi-permanentes | 89 | 106 | 123 |

**Tableau 17 : Prédimensionnement des inclusions de diamètre 25 cm**

| **Diamètre des inclusions** | | **0,30 m** | | |
|---|---|---|---|---|
| **Profondeur des inclusions** | | 7,50 | 8,50 | 9,50 |
| **Cote NGF de la base des inclusions** | | +28,0 | +27,0 | +26,0 |
| **ELU ($R_{c;d}$) (kN)** | Situations durables et transitoires | 157 | 189 | 218 |
| | Situations accidentelles | 173 | 208 | 240 |
| **ELS ($R_{c;cr;d}$) (kN)** | Combinaisons caractéristiques | 135 | 161 | 186 |
| | Combinaisons quasi-permanentes | 110 | 132 | 152 |

**Tableau 18 : Prédimensionnement des inclusions de diamètre 30 cm**

Il conviendra néanmoins de vérifier que la contrainte dans l'inclusion ne dépasse pas la contrainte maximale du béton.

Nous rappelons également que dans le cas de l'utilisation d'un mortier moins performant, la charge nominale de l'inclusion sera plus faible.

La distance minimale entre axes de deux inclusions voisines devra être égale à 3 fois leur diamètre pour éviter l'effet de groupe (dans le cas contraire, il faudra tenir compte d'un coefficient minorateur, en se reportant à l'annexe J de la norme).

#### 5.4.4. Conditions d'exécution du renforcement

Des plates-formes de portance suffisante (EV2 > 30/35 MPa) devront être mises en œuvre au droit des ouvrages pour la réalisation des inclusions.

Au démarrage des travaux, il sera judicieux d'assurer un étalonnage d'exécution sur les essais géotechniques réalisés, notamment pour préciser les critères d'arrêt.

Il conviendra que l'outil d'attaque soit adapté au contexte géomécanique du sous-sol.

**L'entreprise s'assurera de mettre en place les moyens adaptés (machine de puissance suffisante, outils adéquats) afin d'éviter tout « refus élastique » dans les argiles et ainsi, de garantir la fiche des inclusions.**

La profondeur des inclusions rigides devra être adaptée point par point aux sols rencontrés en fonction des données du dimensionnement d'une part et des variations latérales naturelles de la coupe du sous-sol d'autre part.

Par ailleurs, les inclusions concernées par des surconsommations de plus de 30 % devront faire l'objet d'un contrôle spécifique par impédance mécanique.

#### 5.4.5. Contrôles

Ce renforcement de sol devra faire l'objet des contrôles suivants :

- Enregistrements des paramètres de forage en cours d'exécution ;
- Essais d'impédance mécanique ;
- Essai de chargement (ou prise en compte des coefficients minorateurs adaptés) ;
- Essais d'écrasement sur éprouvettes de béton (ou de mortier) ;
- Contrôle des diamètres selon recommandations ASIRI.

#### 5.4.6. Dimensionnement des massifs isolés/semelles filantes

En tête des points de renforcement arasés à 0,8 m de profondeur (mise hors gel et garde au retrait-gonflement des argiles) par rapport aux plates-formes finies extérieures, les massifs isolés et les semelles filantes pourront être dimensionnés sur la base d'un taux de sollicitation de service (ELS caractéristique) égal à 0,20 MPa.

### 5.4.7. Conditions d'exécution des massifs isolés

Les terrassements et en fonction de la tenue des terres, il faudra prendre en considération des surlargeurs pour l'évaluation des volumes de béton à mettre en œuvre.

En fonction de la période de réalisation des travaux, des venues d'eau (précipitation, nappe) ne sont pas totalement à exclure et il faudra en assurer l'épuisement.

Les fondations devront reposer directement sur les têtes d'inclusions rigides et il conviendra de prendre toutes les précautions nécessaires pour ne pas les endommager (éviter l'utilisation d'un godet rétro, favoriser la benne preneuse, …).

## 5.5. Prédimensionnement des pieux forés tarière creuse (FTC) – Plots B et C

### 5.5.1. Préconisations générales

On pourra réaliser des pieux forés à la tarière creuse dits « FTC » (pieux de classe 2 et de catégorie 6 selon la norme NF P 94-262 : norme d'application nationale de l'Eurocode 7).

Les pieux seront fichés a minima dans les horizons argileux à partir de la cote +26,5 m NGF, soit à une profondeur minimale de 7,50 m par rapport au terrain actuel.

De par la profondeur atteinte par nos investigations, la justification de pieux dont la fiche dépasse la cote +19,0 m NGF (soit 15,00 m de profondeur/TA) nécessitera des essais plus profonds.

Dans tous les cas, l'entreprise de fondations spéciales retenue devra justifier les pieux mis en œuvre (mission G3) en fonction des descentes de charges établies par le BET.

### 5.5.2. Paramètre de portance (Procédure du « modèle de terrain »)

- **Paramètre en frottement axial**

Selon les règles de l'Eurocode 7 (norme NF P 94-262 COMPIL 1) et pour des pieux forés à la tarière creuse, nous proposons de retenir le modèle suivant pour l'évaluation de l'effort limite mobilisable par frottement axial de la fondation profonde ($R_S$), selon l'exploitation des données pénétrométriques :

| Tranche de terrain (m)<br>Cote de la base de la couche (m NGF) | 0/3<br>(+31,0) | 3/6,5<br>(+27,5) | 6,5/8<br>(+26,0) | 8/11,5<br>(+22,5) | 11,5/18<br>(+16,0) | 18/20<br>(+14,0) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nature du terrain** | Mort terrain | Limon sableux | Argile 1 | Argile 2 | Argile 3 | Argile 4 |
| **$q_c$ moyen (MPa)** | - | 0,75 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 |
| **Courbe type** | - | Q1 | Q1 | Q1 | Q1 | Q1 |
| **$f_{sol}$ (kPa)** | - | 26,27 | 33,56 | 46,34 | 57,05 | 66,06 |
| **$\alpha_{pieu-sol}$** | - | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| **Frottement axial qs (kPa)** | - | 19,70 | 25,17 | 34,75 | 42,79 | 49,54 |

**Tableau 19 : Modèle pour l'évaluation de l'effort limite par frottement axial ($R_S$) – Pieu FTC**

**Remarques :**

Le « 0 » correspond au niveau du terrain actuel à la cote moyenne +34,0 m NGF environ.

**Il conviendra de considérer qs = 0 kPa (frottement latéral nul) au droit du sous-sol et dans les 50 cm des limons sous-jacents jusqu'à la cote +31,0 m NGF.**

Les valeurs de $\alpha_{pieu-sol}$ sont données pour des pieux réalisés avec un enregistrement continu des paramètres de forage et de bétonnage.

- **Portance en pointe**

L'effort limite mobilisable à la base de la fondation profonde ($R_b$) sera défini en considérant les paramètres suivants :

| Profondeur de base des pieux<br>Cote de la base en m NGF | 7,5 à 8 m<br>(+26,0 à +26,5) | 8,5 à 11,5 m<br>(+22,5 à +25,5) | 12 à 15 m<br>(+19,0 à +22,0) |
|---|---|---|---|
| **$q_{ce}$ (MPa)** | 0,3 MPa | 0,5 MPa | 0,75 MPa |
| **$k_c$ (*)** | 0,45 | 0,45 | 0,45 |
| **Taux de portance limite** | 0,135 MPa | 0,225 MPa | 0,3375 MPa |

**Tableau 20 : Paramètres de portance en pointe des pieux FTC ($R_b$)**

*(*) Le facteur de portance $k_c$ donné dans le tableau correspond à la valeur $k_{cmax}$ (à minorer dans le cas où un ancrage de 3 diamètres n'est pas respecté).*

### 5.5.3. Coefficients de modèle

Compte tenu de la méthode d'évaluation utilisée (modèle de terrain), du type de fondation envisagée et de la nature des sols d'ancrage, on retiendra les coefficients de modèle suivants :

- $\gamma_{R;d1} = 1,18$
- $\gamma_{R;d2} = 1,1$

Ces coefficients de modèle permettent de définir les valeurs caractéristiques des résistances de pointe (Rb;k) et de frottement axial (Rs;k) de la fondation profonde.

**Rappel :**

- $R_{b;k} = R_b / (\gamma_{R;d1} \times \gamma_{R;d2})$
- $R_{s;k} = R_s / (\gamma_{R;d1} \times \gamma_{R;d2})$
- $R_{c;k} = R_{b;k} + R_{s;k}$

### 5.5.4. Prédimensionnement des pieux FTC

A titre indicatif, on trouvera dans les tableaux ci-après la portance verticale (en compression) de pieux fichés à différentes profondeurs (7,5 m, 11 m et 12 m) et ce, pour 2 diamètres (62 et 72 cm).

| Diamètre des pieux | | Ø 62 cm | | |
|---|---|---|---|---|
| **Profondeur de la base des pieux (m)** | | 7,50 | 11,00 | 15,00 |
| **Cote de la base des pieux (m NGF)** | | +26,5 | +23,0 | +19,0 |
| **ELU (Rc;d) (kN)** | Situations durables et transitoires | 244 | 454 | 706 |
| | Situations accidentelles | 269 | 499 | 776 |
| **ELS (Rc;cr;d) (kN)** | Combinaisons caractéristiques | 181 | 348 | 557 |
| | Combinaisons quasi-permanentes | 148 | 284 | 456 |

**Tableau 21 : Capacité portante des pieux FTC de diamètre 62 cm**

| Diamètre des pieux | | Ø 72 cm | | |
|---|---|---|---|---|
| **Profondeur de la base des pieux (m)** | | 7,50 | 11,00 | 15,00 |
| **Cote de la base des pieux (m NGF)** | | +26,5 | +23,0 | +19,0 |
| **ELU (Rc;d) (kN)** | Situations durables et transitoires | 299 | 558 | 855 |
| | Situations accidentelles | 329 | 614 | 941 |
| **ELS (Rc;cr;d) (kN)** | Combinaisons caractéristiques | 219 | 423 | 669 |
| | Combinaisons quasi-permanentes | 179 | 346 | 547 |

**Tableau 22 : Capacité portante des pieux FTC de diamètre 72 cm**

Les paramètres ci-dessous correspondent aux coefficients appliqués aux différents états limites (ELS, ELU), à savoir :

**A l'ELU**

$Rc;d = Rc;k / \gamma t$

avec : $\gamma t$ = 1,1 en situations durables et transitoires

$\gamma t$ = 1,0 en situations accidentelles

**A L'ELS**

$Rc;cr;d = (0,5 \times Rb;k + 0,7 \times Rs;k) / \gamma CR$

avec : $\gamma CR$ = 0,9 en combinaisons caractéristiques

$\gamma CR$ = 1,1 en combinaisons quasi-permanentes

Il conviendra d'adapter le choix du béton vis-à-vis du contexte agressif du site.

Afin d'optimiser la contrainte admissible dans le béton, il sera possible de :

- Prévoir un contrôle renforcé des pieux ;
- Considérer un béton de classe de résistance supérieure selon les cahiers des charges spécifiques.

Il conviendra de s'assurer que la contrainte dans le béton constitutif des pieux ne dépasse pas la contrainte admissible à l'ELS.

Les paramètres de portance pourront également être optimisés par l'application de cahiers des charges spécifiques au type de pieux.

**On rappellera également que de par la profondeur atteinte par nos investigations, la justification de fondations plus profonde nécessitera des essais plus profonds si leur fiche dépasse 15,00 m.**

### 5.5.5. Sujétions d'exécution

Des plates-formes de portance suffisante (EV2 > 30/35 MPa) devront être mises en œuvre au droit des bâtiments pour la réalisation des pieux.

Il conviendra que l'outil d'attaque soit adapté au contexte géomécanique du sous-sol.

Par ailleurs, les pieux concernés par des surconsommations de plus de 30 % devront faire l'objet d'un contrôle spécifique par impédance mécanique.

Les cages d'armatures devront être définies de façon adaptée vis-à-vis des efforts verticaux (en compression/traction) et horizontaux (vents, sismiques, …).

**NB :** En cas d'efforts de traction, les pieux devront être dimensionnés à l'arrachement et un ferraillage toute hauteur sera requis.

La distance minimale entre axes de deux pieux voisins devra être égale à 3 fois leur diamètre pour éviter l'effet de groupe (dans le cas contraire, il faudra tenir compte d'un coefficient minorateur, en se reportant à l'annexe J de la norme).

- **Contrôles**

Les pieux devront faire l'objet des contrôles suivants :

- Enregistrements des paramètres de forage en cours d'exécution ;
- Essais d'écrasement sur éprouvettes de béton ;
- Essais d'impédance mécanique (en cas de surconsommation, contrôle renforcé et/ou de contrôle d'intégrité du pieu) ;
- Essai de chargement (ou prise en compte des coefficients minorateurs adaptés).

## 5.6. Fondations profondes par pieux vissés moulés (VM) – Plots B et C

### 5.6.1. Préconisations générales

On pourra réaliser des pieux vissés moulés dits « VM » (pieux de classe 3 et de catégorie 7 selon la norme NF P 94-262 : norme d'application nationale de l'Eurocode 7).

Les pieux seront fichés a minima dans les horizons argileux raides à partir de 7,50 m de profondeur par rapport au niveau actuel, soit à la cote +26,5 m NGF.

De par la profondeur atteinte par nos investigations, la justification de pieux dont la fiche dépasse la cote +19,0 m NGF (soit 15,00 m de profondeur/TA) nécessitera des essais plus profonds.

Dans tous les cas, l'entreprise de fondations spéciales retenue devra justifier les pieux mis en œuvre (mission G3) en fonction des descentes de charges établies par le BET.

### 5.6.2. Paramètres de portance (Procédure du « modèle de terrain »)

- **Portance en frottement axial**

D'après les règles de l'Eurocode 7 (norme NF P 94-262), et pour des pieux vissés moulés, nous proposons de retenir le modèle suivant pour l'évaluation de l'effort limite mobilisable par frottement axial de la fondation profonde ($R_S$), selon l'exploitation des valeurs pénétrométriques :

| Tranche de terrain (m) Cote de la base de la couche (m NGF) | 0/3 (+31,0) | 3/6,5 (+27,5) | 6,5/8 (+26,0) | 8/11,5 (+22,5) | 11,5/18 (+16,0) | 18/20 (+14,0) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nature du terrain** | Mort terrain | Limon sableux | Argile 1 | Argile 2 | Argile 3 | Argile 4 |
| **$q_c$ moyen (MPa)** | - | 0,75 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 |
| **Courbe type** | - | Q1 | Q1 | Q1 | Q1 | Q1 |
| **$f_{sol}$ (kPa)** | - | 26,27 | 33,56 | 46,34 | 57,05 | 66,06 |
| **$\alpha_{pieu-sol}$** | - | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| **Frottement axial qs (kPa)** | - | 24,95 | 31,88 | 44,02 | 54,20 | 62,75 |

**Tableau 23 : Modèle pour l'évaluation de l'effort limite par frottement axial ($R_S$) – Pieu VM**

**Remarque :**

Le « 0 » correspond au niveau du terrain actuel à la cote moyenne +34,0 m NGF environ.

**Il conviendra de considérer qs = 0 kPa (frottement latéral nul) au droit du sous-sol et dans les 50 cm des limons sous-jacents jusqu'à la cote +31,0 m NGF.**

Les valeurs de $\alpha_{pieu\text{-}sol}$ sont données pour des pieux réalisés avec un enregistrement continu des paramètres de forage et de bétonnage.

- **Portance en pointe**

L'effort limite mobilisable à la base de la fondation profonde ($R_b$) sera défini en considérant les paramètres suivants :

| Profondeur de base des pieux<br>Cote de la base en m NGF | 7,5 à 8 m<br>(+26,0 à +26,5) | 8,5 à 11,5 m<br>(+22,5 à +25,5) | 12 à 15 m<br>(+19,0 à +22,0) |
|---|---|---|---|
| **$q_{ce}$ (MPa)** | 0,3 MPa | 0,5 MPa | 0,75 MPa |
| **$k_c$ (*)** | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| **Taux de portance limite** | 0,15 MPa | 0,25 MPa | 0,375 MPa |

**Tableau 24 : Paramètres de portance en pointe ($R_b$) – Pieux VM**

*(*) Le facteur de portance $k_c$ donné dans le tableau correspond à la valeur $k_{cmax}$ (à minorer dans le cas où un ancrage de 3 diamètres n'est pas respecté).*

### 5.6.3. Coefficients de modèle

Compte tenu de la méthode d'évaluation utilisée (modèle de terrain) et du type de pieu envisagé et de la nature des sols d'ancrage, on retiendra les coefficients de modèle suivants :

$\gamma_{R;d1} = 1,18$

$\gamma_{R;d2} = 1,1$

Ces coefficients de modèle permettent de définir les valeurs caractéristiques des résistances de pointe ($R_{b;k}$) et de frottement axial ($R_{s;k}$) de la fondation profonde.

**Rappel :**

$R_{b;k} = R_b / (\gamma_{R;d1} \times \gamma_{R;d2})$

$R_{s;k} = R_s / (\gamma_{R;d1} \times \gamma_{R;d2})$

$R_{c;k} = R_{b;k} + R_{s;k}$

### 5.6.4. Prédimensionnement des pieux VM

La capacité portante des pieux sera fonction du type d'hélice utilisée (de type ordinaire ou de type épaisse).

Nous avons considéré des hélices ordinaires respectant les critères dans l'annexe A.10 de la norme NF P 94-262, et il conviendra que ce point soit confirmé par l'entreprise de fondations spéciales retenue.

Ainsi, dans notre cas, les diamètres retenus pour les calculs correspondent à 0,9 × Φ, soit 55 cm et 65 cm (pour des pieux de diamètre extérieur variant de 61 à 72 cm).

A titre indicatif, on trouvera dans les tableaux ci-après la portance verticale (en compression) de pieux vissés moulés à différentes profondeurs (7,5 m, 11 m et 15 m) et ce, pour 3 diamètres (55 et 65 cm).

| **Diamètre des pieux** | | **55 cm** | | |
|---|---|---|---|---|
| **Profondeur de la base des pieux** | | 7,50 | 11,00 | 15,00 |
| **Cote de la base des pieux** | | +26,5 | +23,0 | +19,0 |
| **ELU ($R_{c;d}$) (kN)** | Situations durables et transitoires | 248 | 468 | 745 |
| | Situations accidentelles | 273 | 515 | 820 |
| **ELS ($R_{c;cr;d}$) (kN)** | Combinaisons caractéristiques | 212 | 401 | 638 |
| | Combinaisons quasi-permanentes | 173 | 328 | 521 |

**Tableau 25 : Capacité portante des pieux VM de diamètre 55 cm**

| **Diamètre des pieux** | | **65 cm** | | |
|---|---|---|---|---|
| **Profondeur de la base des pieux** | | 7,50 | 11,00 | 15,00 |
| **Cote de la base des pieux** | | +26,5 | +23,0 | +19,0 |
| **ELU ($R_{c;d}$) (kN)** | Situations durables et transitoires | 309 | 585 | 917 |
| | Situations accidentelles | 340 | 644 | 1 009 |
| **ELS ($R_{c;cr;d}$) (kN)** | Combinaisons caractéristiques | 264 | 501 | 785 |
| | Combinaisons quasi-permanentes | 216 | 409 | 641 |

**Tableau 26 : Capacité portante des pieux VM de diamètre 65 cm**

Les paramètres ci-dessous correspondent aux coefficients appliqués aux différents états limites (ELS, ELU), à savoir :

**A l'ELU**

$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_t$

avec : $\gamma_t$ = 1,1 en situations durables et transitoires

$\gamma_t$ = 1,0 en situations accidentelles

**A l'ELS**

$R_{c;cr;d} = (0,7 \times R_{b;k} + 0,7 \times R_{s;k}) / \gamma_{CR}$

avec : $\gamma_{CR}$ = 0,9 en combinaisons caractéristiques

$\gamma_{CR}$ = 1,1 en combinaisons quasi-permanentes

Il conviendra d'adapter le choix du béton vis-à-vis du contexte agressif du site.

Afin d'optimiser la contrainte admissible dans le béton, il sera possible de :

- Prévoir un contrôle renforcé des pieux ;
- Considérer un béton de classe de résistance supérieure selon les cahiers des charges spécifiques.

Il faudra s'assurer que la contrainte dans le béton constitutif des pieux ne dépasse pas la contrainte admissible à l'ELS.

Les paramètres de portance pourront également être optimisés par l'application de cahiers des charges spécifiques au type de pieux.

**On rappellera également que de par la profondeur atteinte par nos investigations, la justification de fondations plus profonde nécessitera des essais plus profonds si leur fiche dépasse 15,00 m.**

### 5.6.5. Sujétions d'exécution

Des plates-formes de portance suffisante (EV2 > 30/35 MPa) devront être mises en œuvre au droit des bâtiments pour la réalisation des pieux.

Compte-tenu d'un vissage dans des horizons argileux, l'entreprise veillera également à mettre en œuvre une machine d'une puissance suffisante afin d'éviter tout « refus élastique » dans ces horizons.

Il conviendra que l'outil d'attaque soit adapté au contexte géomécanique du sous-sol.

Par ailleurs, les pieux concernés par des surconsommations de plus de 30 % devront faire l'objet d'un contrôle spécifique par impédance mécanique.

Les cages d'armatures devront être définies de façon adaptée vis-à-vis des efforts verticaux (en compression/traction) et horizontaux (vents, sismiques, …).

**NB :** En cas d'efforts de traction, les pieux devront être dimensionnés à l'arrachement et un ferraillage toute hauteur sera requis.

La distance minimale entre axes de deux pieux voisins devra être égale à 3 fois leur diamètre pour éviter l'effet de groupe (dans le cas contraire, il faudra tenir compte d'un coefficient minorateur, en se reportant à l'annexe J de la norme).

#### 5.6.6. Contrôles

Les pieux devront faire l'objet des contrôles suivants :

- Enregistrements des paramètres de forage en cours d'exécution ;
- Essais d'écrasement sur éprouvettes de béton ;
- Essais d'impédance mécanique (en cas de surconsommation, contrôle renforcé et/ou de contrôle d'intégrité du pieu) ;
- Essai de chargement (ou prise en compte des coefficients minorateurs adaptés).

### 5.7. Fondations superficielles par radier – Locaux vélos

- **Forme sous radier**

D'après les investigations réalisées, il conviendra de purger la terre végétale et/ou les remblais

Les sols présents au niveau de l'arase de terrassement du futur radier sont des limons, voir des limons légèrement sablonneux.

Il faudra prévoir une épaisseur de forme de répartition (après réglage de l'arase terrassement) de 60 cm d'épaisseur. Cette épaisseur permettra le respect de la garde hors gel de 0,8 m et d'homogénéiser la portance.

Cette forme sera constituée avec des matériaux d'apport nobles, homogènes et non évolutifs de type grave tout-venant (par exemple tout-venant de calcaire ou matériaux similaires de qualité au moins équivalente et de classe D31 : Dmax ≥ 50 mm, Calcaire 0/80 mm par exemple), venants en substitution des sols actuels de surface, et mis en œuvre par couches compactées mécaniquement.

Dans le cas de sol « douteux » ou détrempés, des vestiges enterrés, des poches molles ou des points durs éventuels, des purges seront à prévoir.

L'arase sous radier devra impérativement être exempt de matériaux évolutifs (type bois, plastique, plâtre, résidus de hauts fourneaux, …).

Les éventuelles purges peuvent être réalisées en granulats de classe $D_{31}$ suivant la norme NF P 11-300 ($D_{max}$ ≥ 50 mm, type calcaire de granulométrie 0/80 ou 0/120 mm par exemple).

La mise en œuvre de la couche de forme doit être effectuée immédiatement après réalisation des terrassements afin d'éviter son exposition aux intempéries et la décompression des fonds de fouille, et dans des conditions climatiques favorables.

Dans tous les cas, nous conseillons de prévoir le déroulement préalable d'un anticontaminant géotextile afin de favoriser l'efficacité du compactage.

La forme devra faire l'objet d'un contrôle de portance et de compactage par essais à la plaque (ou équivalent) et garantir un objectif d'un module de déformation EV2 > 50 MPa pour des charges inférieures ou égales à 20 kPa.

L'épaisseur de la forme devra être adaptée selon les résultats des essais de contrôles.

**NB :** L'utilisation éventuelle de matériaux recyclés doit faire l'objet d'une validation préalable par le maître d'œuvre en raison de leur caractère « non évolutif » non avéré (classification D31, dosage des sulfates, absence de potentiel gonflant, …).

**Remarque :**

La couche de forme des radiers peut également être réalisée en limon traité (limon de classe GTR $A_{1\,th}/A_{2\,th}$ à 1% chaux avec 6% de liant hydraulique, d'après les essais réalisés) et avec une épaisseur minimale de 35 cm au sens du GTS.

Les sols qui constitueront le fond de forme seront des matériaux limoneux, pouvant être sensibles à l'action de l'eau et il faudra prendre toutes dispositions pour éviter leur remaniement et leur détrempage.

Dans tous les cas, les matériaux orniérés ou présentant des phénomènes de matelassage devront être purgés au préalable, ainsi que tous matériaux douteux qui seraient découverts en fond de forme (remblais éventuels).

- **Paramètre de portance**

Selon la norme NF P 94-261 (norme d'application nationale de l'Eurocode 7) et selon la méthode pénétrométrique, les radiers seront dimensionnés en prenant en considération les paramètres suivants :

| Caractérisation | | Rupture du sol | | | Portance | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Désignation des paramètres** | $q_c$ | $k_c$ | $q_{net}$ | $q_{v;k}$ (*) | ELU ($\gamma_{R;v}$ = 1,4) | ELS caractéristique ($\gamma_{R;v}$ = 2,3) |
| **Valeurs** | 1,3 MPa | 0,27 | 0,35 MPa | 0,29 MPa | 0,20 MPa | **0,12 MPa** |

**Tableau 27 : Paramètre de portance des sols - Radier**

(*) $q_{v;k} = \frac{q_{net}}{1,2}$ *($\gamma_{R;d;v} = 1,2$ : coefficient de modèle)*

- **Evaluation des tassements**

Le corps du radier sera calculé sur la base de la modélisation suivante des sols supports :

| Couche de sol | Profondeur | Module Es (MPa) |
|---|---|---|
| **Couche de forme** | 0,6 | 45 MPa* |
| **Limon sableux 1** | Jusque 2,0 m | 8 MPa |
| **Limon sableux 2** | Jusque 5,0 m | 3 MPa |
| **Argile 1** | Jusque 8,0 m | 6 MPa |
| **Argile 2** | > 10,0 m | 9 MPa |

**Tableau 28 : Maquette géotechnique - Radier**

*(*) Es = 0,9 x EV2*

Les tassements absolus susceptibles d'affecter les radiers sont estimés comme suit :

| Surcharge | | Tassements absolus |
|---|---|---|
| **0,5 t/m²** | 5 kPa | ≈ 0,5 cm |
| **1 t/m²** | 10 kPa | ≈ 1 cm |
| **1,5 t/m²** | 15 kPa | ≈ 1,5 cm |

**Tableau 29 : Evaluation des tassements - Radier**

Les calculs des tassements ont été menés à l'aide du logiciel FOXTA, module « TASPLAQ ».

- **Raideur**

Sur la base des tassements calculés ci avant, la raideur du sol support (en incluant la couche de forme) peut être estimée à :

$$K_{radier} = 1,0 \text{ MPa/m}$$

- **Remarques générales**

L'entreprise spécialisée vérifiera que la contrainte maximale en tout point sous les futurs radiers reste bien inférieure à la contrainte de calcul du sol.

- **Sujétions d'exécution**

La mise en œuvre des formes sous radiers doit être effectuée immédiatement après réalisation des terrassements afin d'éviter son exposition aux intempéries et la décompression des fonds de fouille, et dans des conditions climatiques favorables.

En fonction de la période de réalisation des travaux, des venues d'eau ne sont pas totalement à exclure et il faudra en assurer l'épuisement soit par pompage ou drainage.

## 5.8. Conception des niveaux bas

Compte tenu du profil géomécanique du sous-sol tel qu'exposé auparavant et des horizons limoneux sous-jacents globalement mous, la conception à retenir dans le cas présent pour le Plot A est la réalisation de planchers portés par les fondations, soit coulés sur des formes de travail (constituées de matériaux non évolutifs) ne servant que comme fonds de coffrage, soit réalisés sur vides sanitaires.

Le niveau bas du sous-sol (Plots B et C) devra être conçu, à ce stade, en plancher « inversé » afin de résister à la sous-pression hydrostatique due à la nappe et il pourra être coulé sur une forme de travail ne servant que comme fond de coffrage.

La mise hors d'eau du sous-sol sera assurée par cuvelage ou par un procédé d'étanchement équivalent (procédure à retenir pour la dalle basse du sous-sol avec remontée sur les voiles périphériques jusqu'au niveau EE).

Pour les locaux vélos, le radier constituera le niveau bas des ouvrages.

## 5.9. Conception de la voirie et des parkings

### 5.9.1. Partie Supérieure des Terrassements (P.S.T.)

- **Préconisations générales**

La Partie Supérieure des Terrassements, d'une épaisseur de 1 m environ, est située sous la couche de forme.

En premier lieu, il conviendra de décaper a minima les horizons superficiels (terre végétale, remblais).

Dans le cas présent, la PST sera constituée par des limons de classe **GTR $A_1/A_2$** dans un **état hydrique très humide**.

De plus, d'après nos investigations sur site et les résultats des essais au laboratoire, la PST du site est de classe PST0 et l'arase de terrassements est classée AR0 (matériaux sensibles à l'eau et dans un état hydrique **très humide**).

De ce fait et d'après le GTR, il conviendra de reclasser cette arase (AR0) en classe AR1 a minima.

**Ainsi, il sera réalisé un cloutage préalable sur une épaisseur de 15/20 cm avant le montage de la couche de forme comme décrit ci-après.**

**NB** : Le reclassement de l'arase peut également être réalisé par un traitement des sols à 1,5 % de chaux sur une épaisseur de 50 cm.

Dans ce contexte, nous sommes ramenés à un cas de PST1/AR1.

Des purges des éventuels sols « douteux », détrempés, voire des remblais « francs » ou des vestiges enterrés constituant des points durs, pourront être nécessaires. Ces purges pourront être réalisées en matériaux granulaires $D_{31}$ avec géotextile préalable.

Dans tous les cas, le fond de forme devra impérativement être exempt de matériaux évolutifs (type bois, plastique, plâtre, résidus de hauts fourneaux, …), qui devront être purgés au besoin.

- **Phase travaux**

Le matériau doit être mis en œuvre suivant les prescriptions du guide technique SETRA / LCPC de juillet 2000 « Réalisation des remblais et des couches de forme ».

La pose préalable d'un géotextile sur les fonds de fouille et les parois de la fouille (remontée périphérique) est obligatoire.

La mise en œuvre du matériau de substitution doit être effectuée immédiatement après réalisation des terrassements afin d'éviter la décompression des fonds de fouille et leur exposition aux intempéries.

Dans le cas où des remontées d'eau seraient observables en fond de fouille, il faudra en assurer l'épuisement.

**La couche de forme peut ensuite être mise en œuvre suivant les prescriptions ci-après.**

### 5.9.2. Prédimensionnement de la couche de forme

- **Préconisations générales**

La couche de forme de la voirie peut être réalisée en granulats de classe $D_{31}$ suivant la norme NF P 11-300 ($D_{max} \geq 50$ mm, type calcaire 0/120 mm par exemple).

Dans ce cas, nous recommandons la mise en œuvre des matériaux sur une épaisseur minimale de **60 à 65 cm** pour des voiries légères et de **70 à 80 cm** pour des voiries lourdes.

Cette forme sera réalisée après la mise en œuvre du cloutage (sur 15/20 cm d'épaisseur).

L'épaisseur de la couche de forme devra être adaptée afin d'assurer la protection au gel du sol support (en fonction de la structure retenue et de l'indice de gel visé) et en fonction de l'objectif de portance requis (PF2 au minimum), tout en conservant une épaisseur minimale de 60 à 80 cm en matériau granulaire.

**NB** : La couche de forme de la voirie peut également être réalisée en limon traité (limon de classe GTR $A_{1\,th}/A_{2\,th}$ à 1 % chaux avec 6 % de liant hydraulique, d'après les essais réalisés).

Dans ce cas, nous recommandons la mise en œuvre des matériaux traité sur une épaisseur minimale de **35 cm** pour des voiries légères et d'au moins **45 cm** pour les voiries lourdes.

Toute poche de sol mou éventuel et surtout tout point dur devra être évacuée et l'épaisseur de la couche de forme augmentera en conséquence.

- **Phase travaux**

La pose préalable d'un géotextile sur le fond de fouille et les parois de la fouille (remontée périphérique) est obligatoire.

La couche de forme peut ensuite être mise en œuvre suivant les prescriptions du guide technique SETRA / LCPC de juillet 2000 « Réalisation des remblais et des couches de forme ».

L'objectif de portance de la plateforme voirie est de supposée classe PF2 minimum (EV2 ≥ 50 MPa et EV2/EV1 ≤ 2).

Nous recommandons la réalisation d'une planche d'essai au démarrage des travaux afin d'optimiser les épaisseurs de couche de forme vis-à-vis des critères de réception.

La mise en œuvre de la couche de forme doit être effectuée immédiatement après réalisation des terrassements afin d'éviter la décompression des fonds de fouille et leur exposition aux intempéries, et par conditions météorologiques favorables.

La partie supérieure de la couche de forme peut éventuellement être réalisée en matériaux fins (calcaire 0/31,5 de classe $D_{21}$ par exemple) de manière à faciliter les opérations de réglage avant application des couches de la structure.

La portance de la couche de forme doit être vérifiée au démarrage du chantier par la réalisation d'une planche d'essais à la plaque afin de confirmer l'obtention de l'objectif et augmenter son épaisseur si nécessaire.

La réalisation d'une couche de forme de qualité est indispensable à la mise en œuvre des couches de structure dans de bonnes conditions (effet d'enclume). Par ailleurs, elle contribue à la protection au gel du sol support et permet d'assurer la portance pendant la phase de construction (trafic poids-lourds).

L'utilisation éventuelle de matériaux recyclés doit faire l'objet d'une validation préalable par le Maître d'œuvre en raison de leur caractère non évolutif non avéré (classification $D_{31}$, dosage des sulfates, absence de potentiel gonflant, …).

Il est préférable de s'orienter vers une structure de voirie de type « souple » à base de matériaux hydrocarbonés (type grave bitume par exemple). L'épaisseur des couches de structure doit être définie en fonction du trafic retenu.

Pour rappel, les matériaux orniérés ou remaniés devront être purgés au préalable, ainsi que tous matériaux douteux qui seraient découverts en fond de forme.

- **Contrôle de mise en œuvre**

La couche de forme devra faire l'objet d'un contrôle de portance par essais à la plaque, et le critère de réception pour la voirie est l'obtention d'un module de déformation EV2 ≥ 50 MPa au minimum (avec un rapport EV2/EV1 ≤ 2).

## 6. REMARQUES GENERALES

La reconnaissance effectuée ayant un caractère ponctuel, les recommandations exposées auparavant seront bien entendu mises en œuvre, en tenant compte des conditions réelles des terrains mis au jour au cours des travaux.

La découverte de toute anomalie devra nous être signalée, en vue d'analyses et de définition des éventuelles mesures d'adaptation le plus appropriées.

La norme NF P 94-500 : « Missions d'ingénierie géotechnique » indique que les missions s'enchaînent lors de l'élaboration du projet et sa réalisation.

**Ce rapport devra être complété ultérieurement par une étude géotechnique de conception – phase « Projet » (mission G2PRO), une fois les caractéristiques du projet fixées au stade projet (descentes de charges, calage définitif en cotes NGF).**

Nous demeurons bien entendu à la disposition du maître d'ouvrage pour tout renseignement complémentaire au sujet de cette étude.

# ANNEXES

# ANNEXE n°1 :
# Missions d'ingénierie géotechnique normalisées

## 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.

## Classification des missions d'ingénierie géotechnique (suite)

**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).

— donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

**DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)**

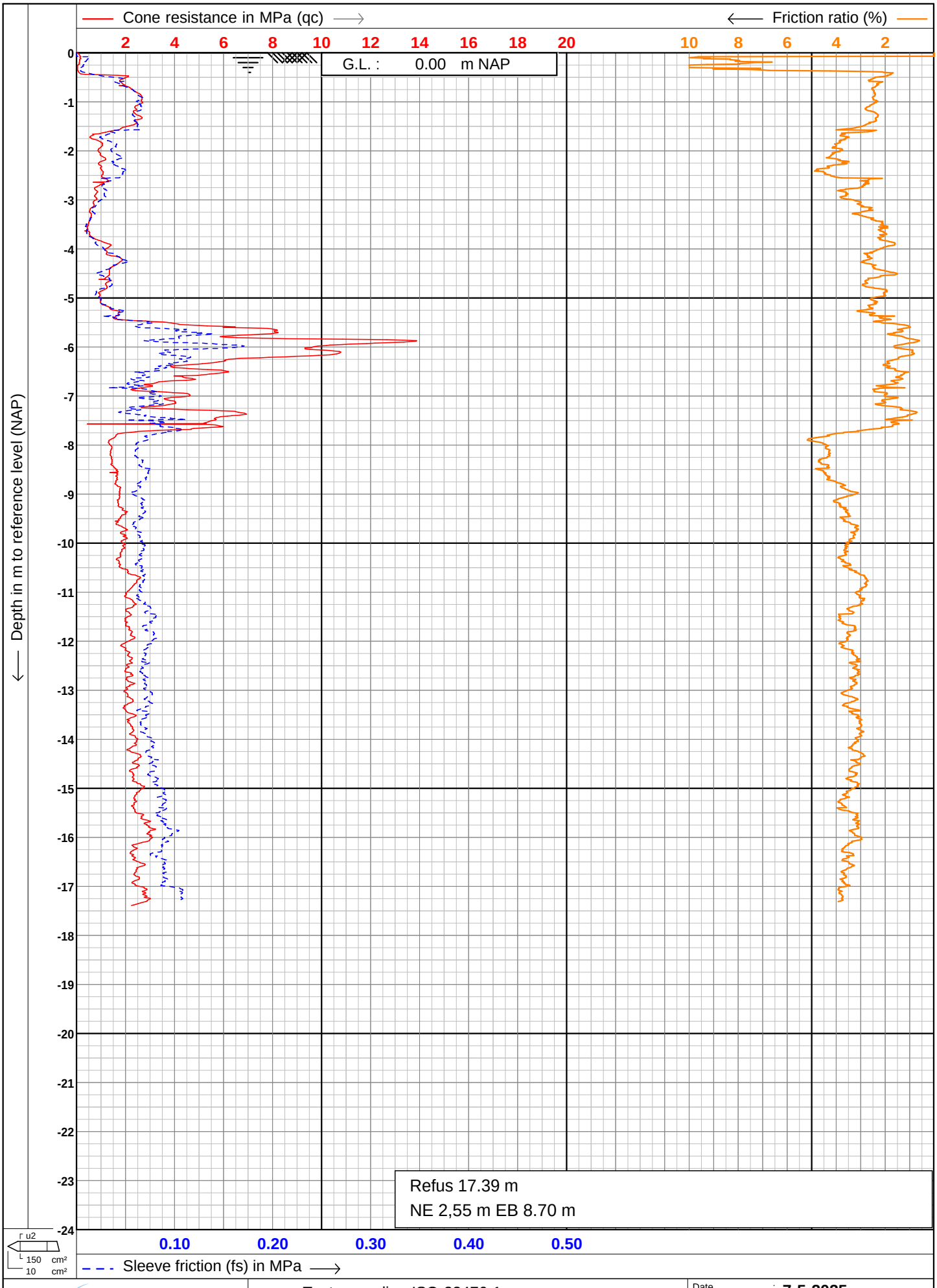
Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou 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).

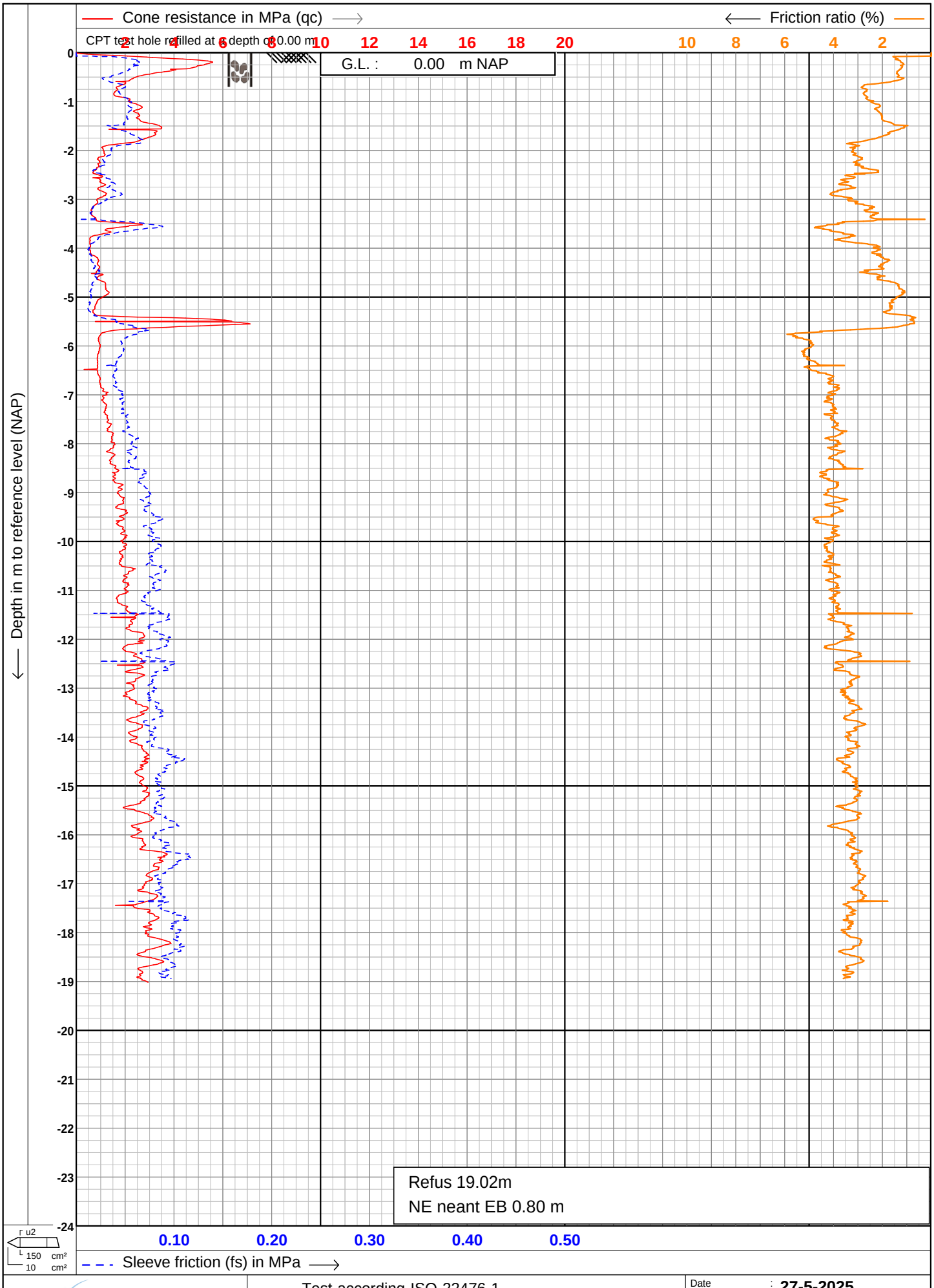
# ANNEXE n°2 :
# Diagrammes des essais au pénétromètre statique




MEURISSE Sondages

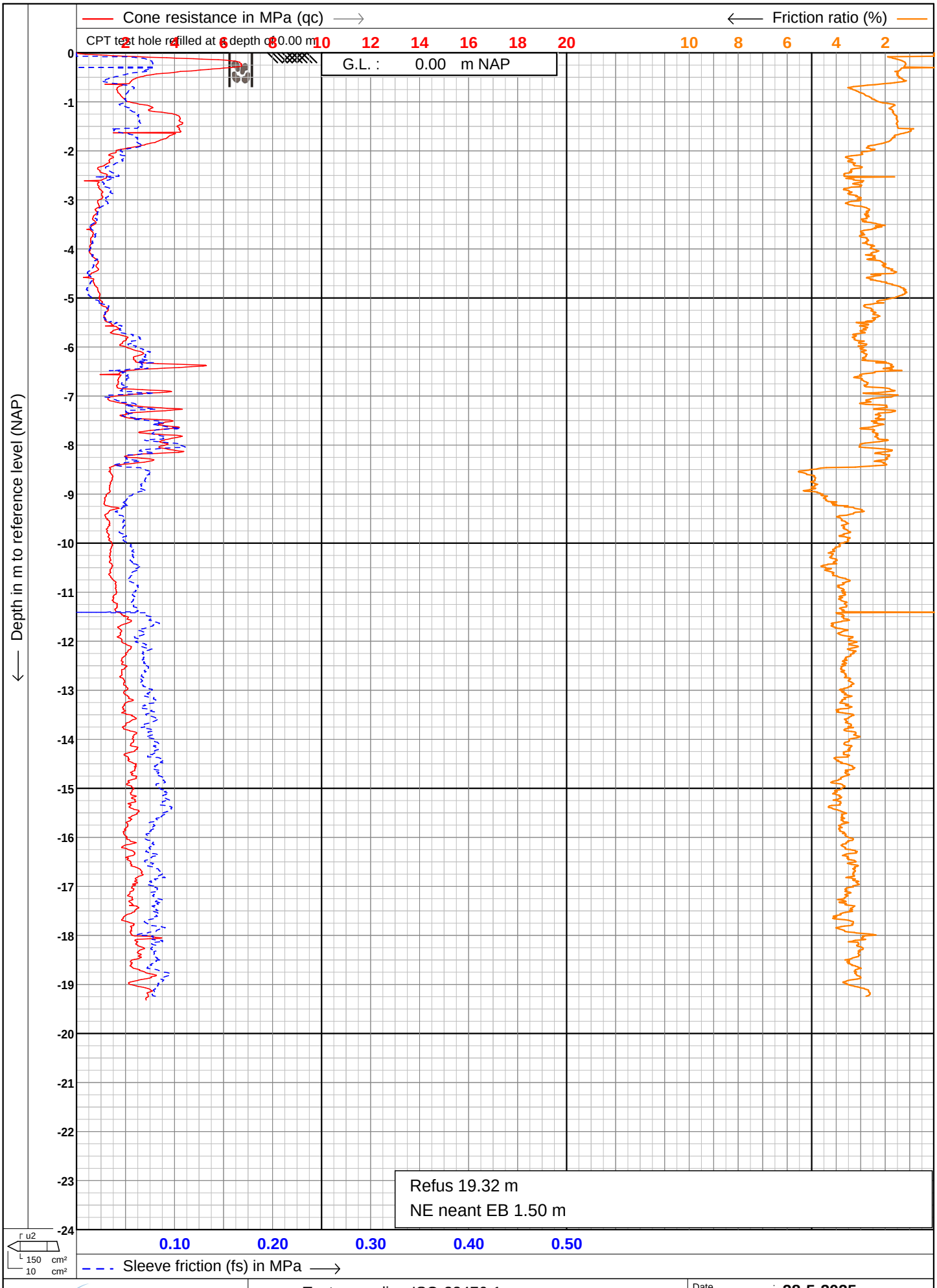
Test according ISO 22476-1

| | | |
|---|---|---|
| Project | : | **Sogeprom Projectim** |
| Location | : | **Bondues Avenue General de Gaulle** |
| Date | : | **7-5-2025** |
| Cone no. | : | **DP10CFPTXY.60388** |
| Project no. | : | **2025.0247** |
| CPT no. | : | **p1** 1/1 |



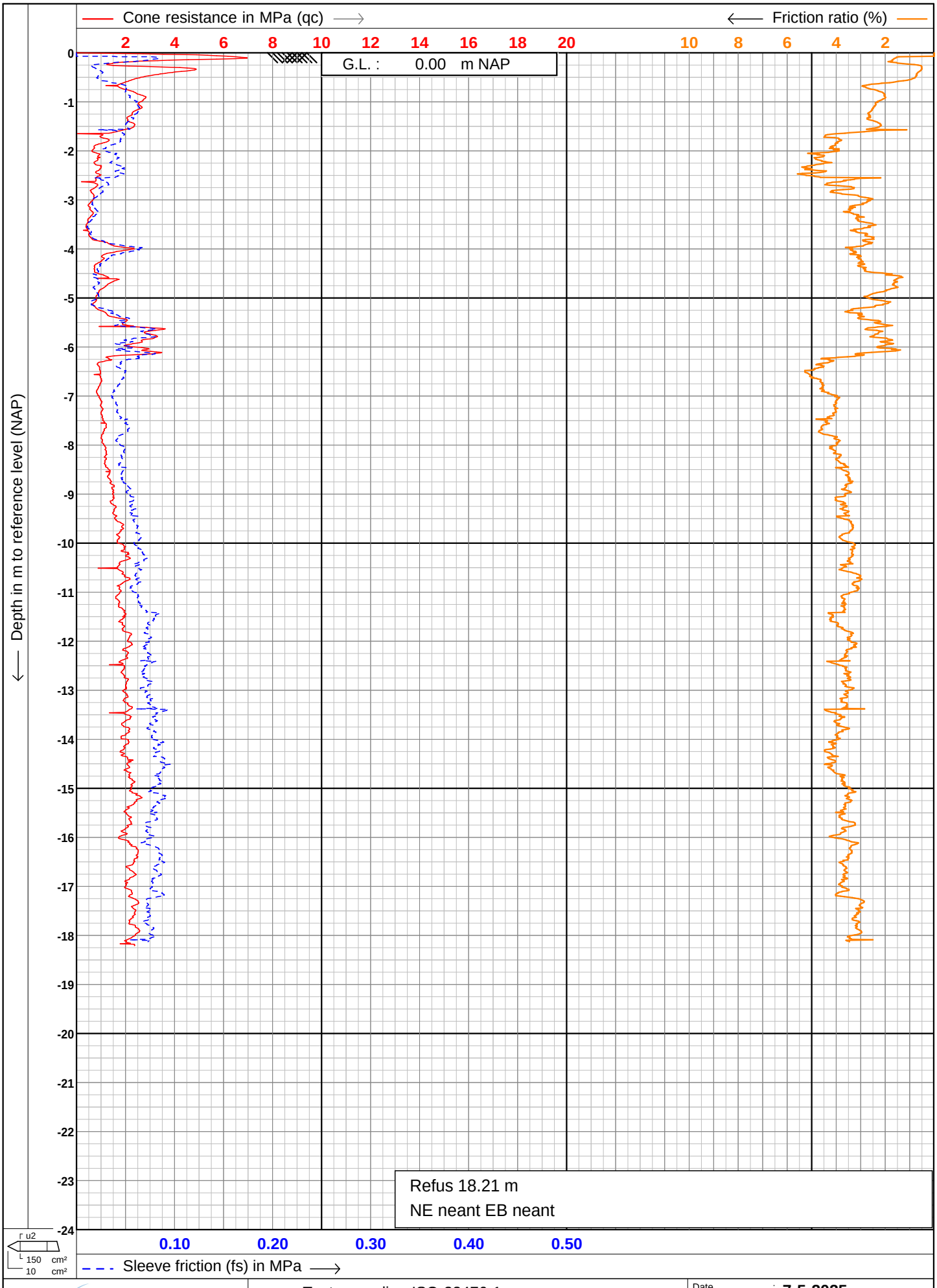

Test according ISO 22476-1

| | | |
|---|---|---|
| Project | : | **Sogeprom Projectim** |
| Location | : | **Bondues Avenue General de Gaulle** |
| Date | : | **27-5-2025** |
| Cone no. | : | **DP10CFPTXY.60388** |
| Project no. | : | **2025.0247** |
| CPT no. | : | **p2** 1/1 |



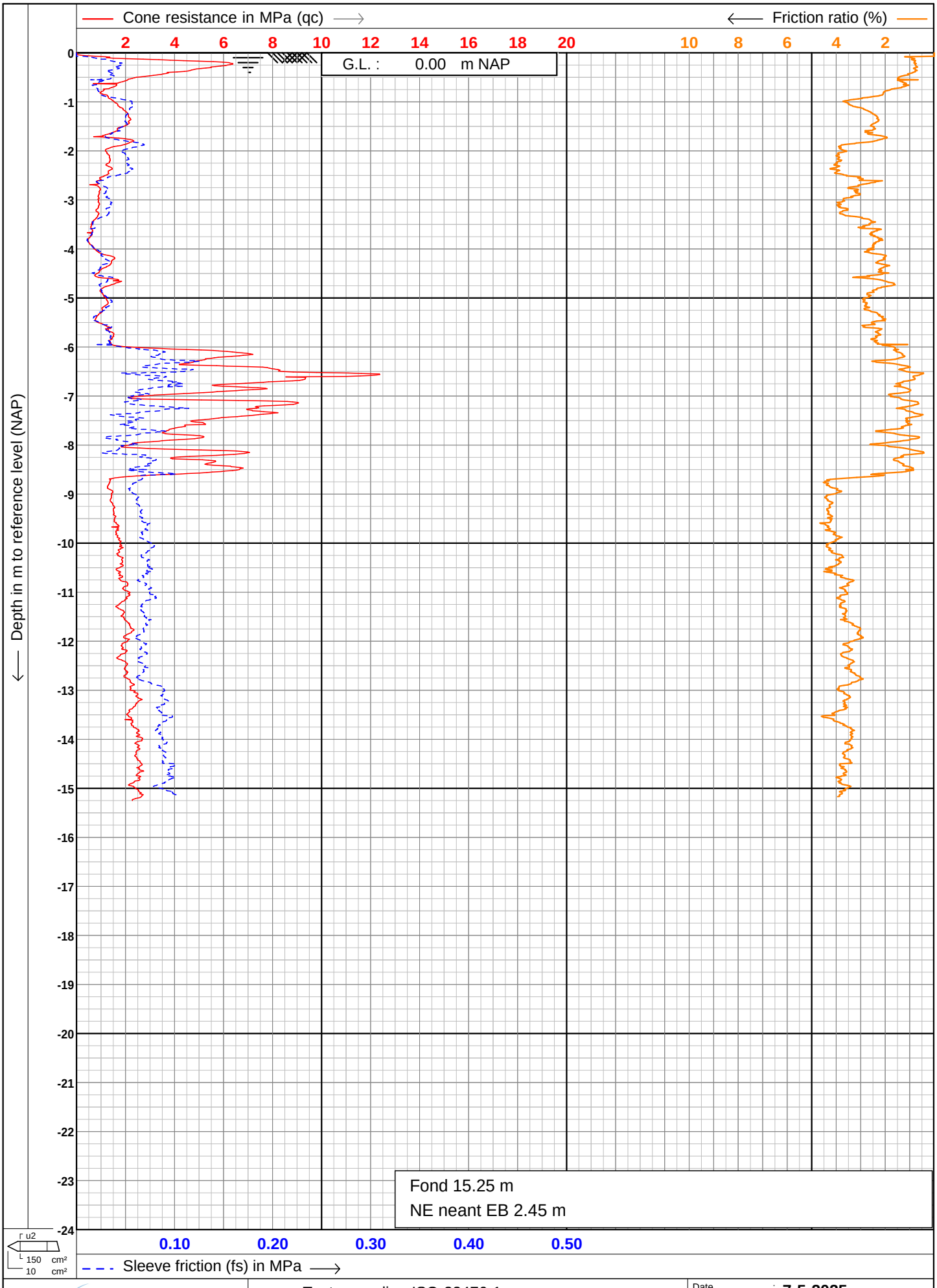

Test according ISO 22476-1

| | | |
|---|---|---|
| Project | : | **Sogeprom Projectim** |
| Location | : | **Bondues Avenue General de Gaulle** |
| Date | : | **28-5-2025** |
| Cone no. | : | **DP10CFPTXY.60388** |
| Project no. | : | **2025.0247** |
| CPT no. | : | **p3** 1/1 |




Test according ISO 22476-1

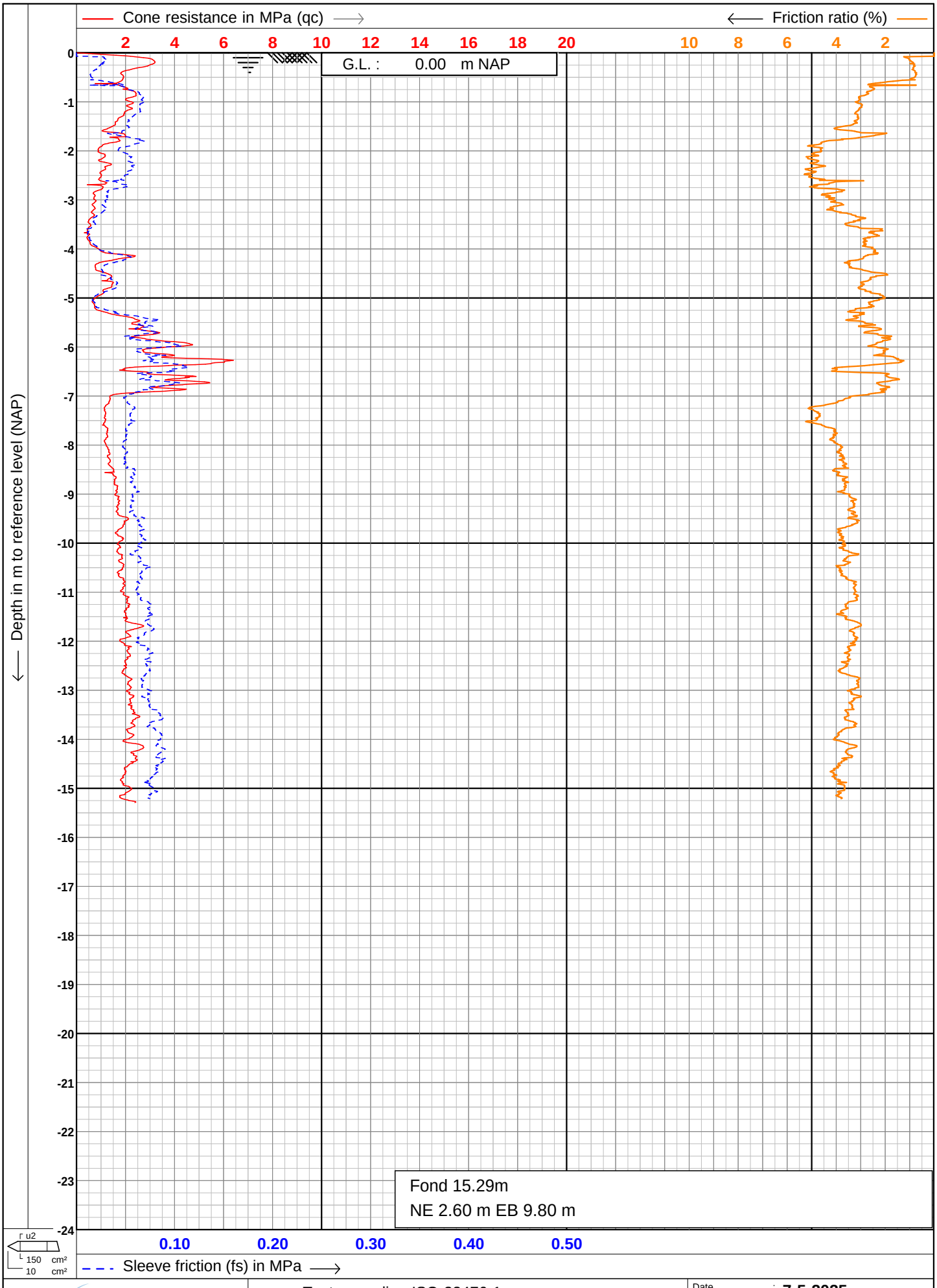
| | | |
|---|---|---|
| Project | : | **Sogeprom Projectim** |
| Location | : | **Bondues Avenue General de Gaulle** |
| Date | : | **7-5-2025** |
| Cone no. | : | **DP10CFPTXY.60388** |
| Project no. | : | **2025.0247** |
| CPT no. | : | **p4** 1/1 |




MEURISSE Sondages

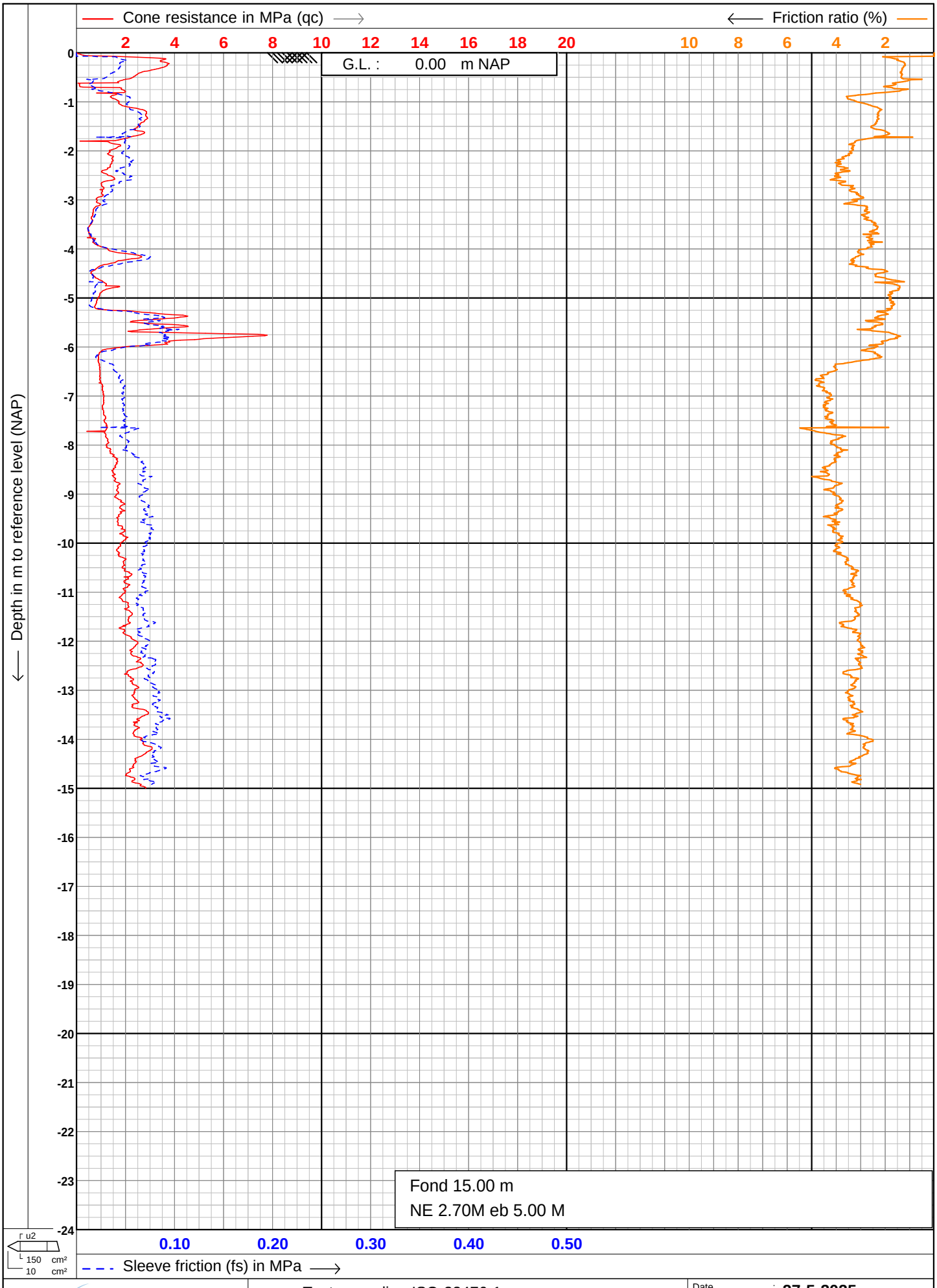
Test according ISO 22476-1

| | | |
|---|---|---|
| Project | : | **Sogeprom Projectim** |
| Location | : | **Bondues Avenue General de Gaulle** |
| Date | : | **7-5-2025** |
| Cone no. | : | **DP10CFPTXY.60388** |
| Project no. | : | **2025.0247** |
| CPT no. | : | **p5bis** 1/1 |



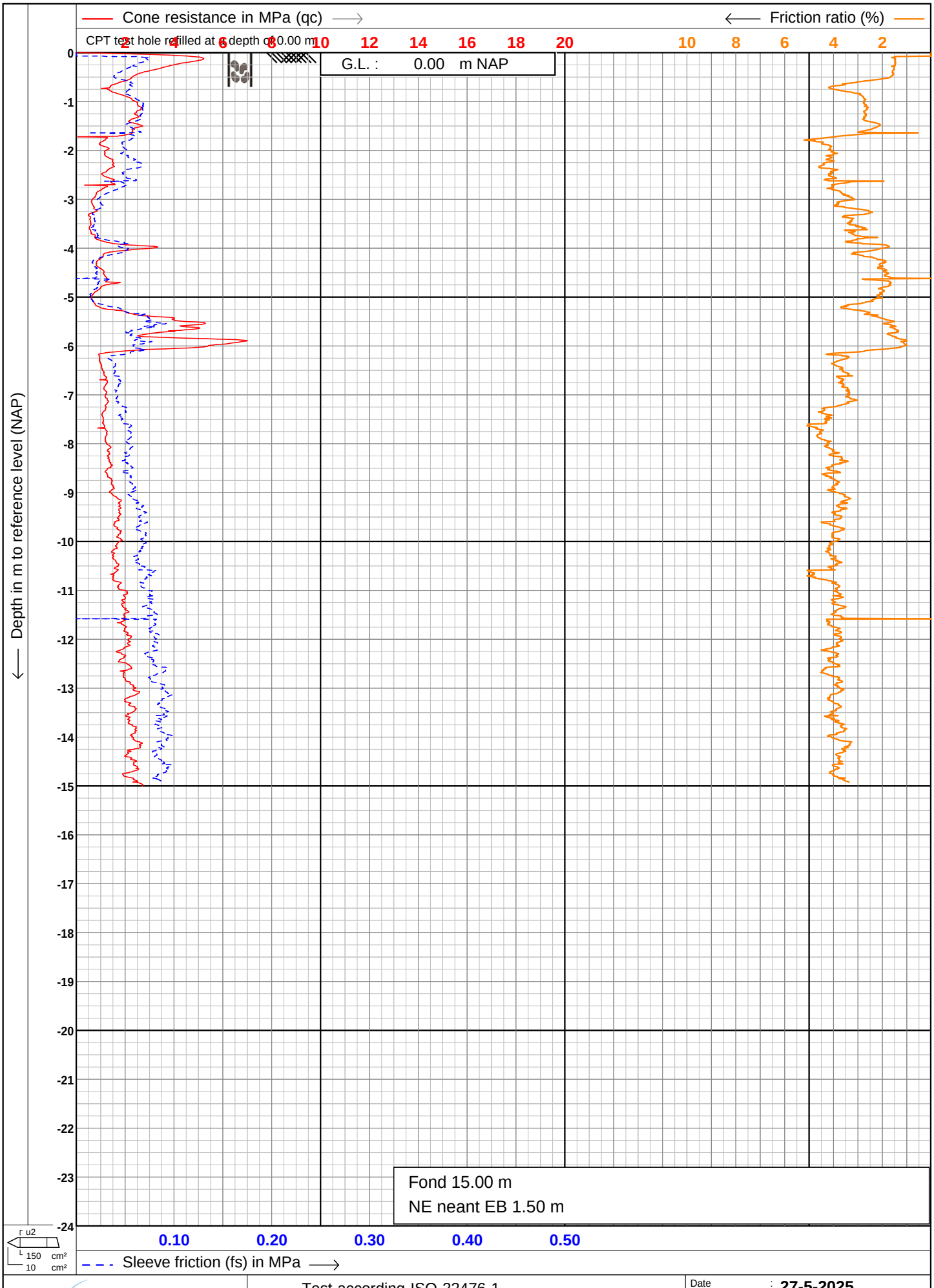

Test according ISO 22476-1

| | | |
|---|---|---|
| Project | : | **Sogeprom projectin** |
| Location | : | **Bondues Avenue du General de Gaulle** |
| Date | : | **7-5-2025** |
| Cone no. | : | **DP10CFPTXY.60388** |
| Project no. | : | **2025.0247** |
| CPT no. | : | **p6** 1/1 |




Test according ISO 22476-1

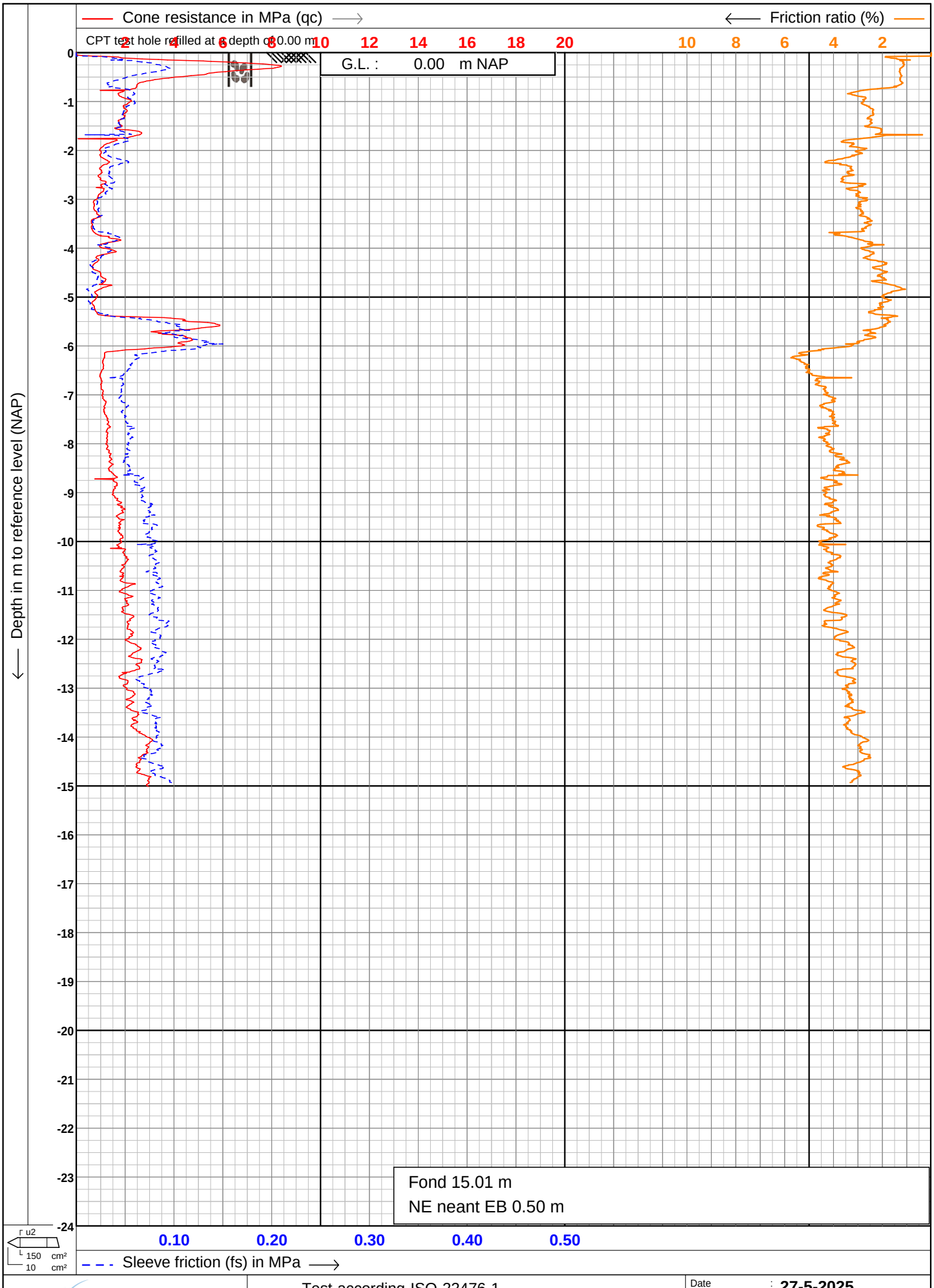
| | | |
|---|---|---|
| Project | : | **Sogeprom Projectim** |
| Location | : | **Bondues Avenue General de Gaulle** |
| Date | : | **27-5-2025** |
| Cone no. | : | **DP10CFPTXY.60388** |
| Project no. | : | **2025.0247** |
| CPT no. | : | **p7** 1/1 |




Test according ISO 22476-1

MEURISSE Sondages

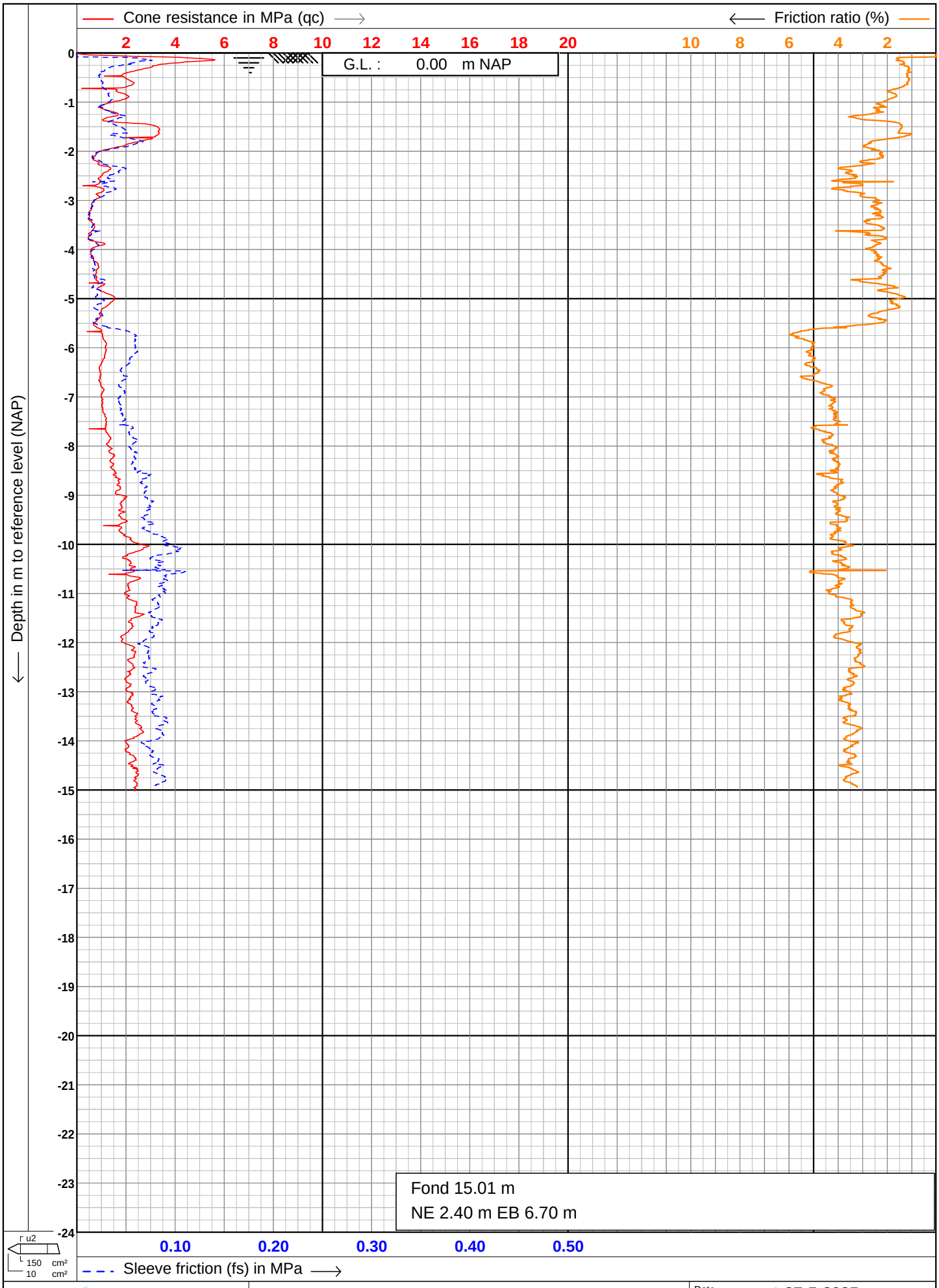
| | | | |
|---|---|---|---|
| Project | : | **Sogeprom Projectim** | |
| Location | : | **Bondues Avenue General de Gaulle** | |
| Date | : | **27-5-2025** | |
| Cone no. | : | **DP10CFPTXY.60388** | |
| Project no. | : | **2025.0247** | |
| CPT no. | : | **p8** | **1/1** |




Test according ISO 22476-1

MEURISSE Sondages

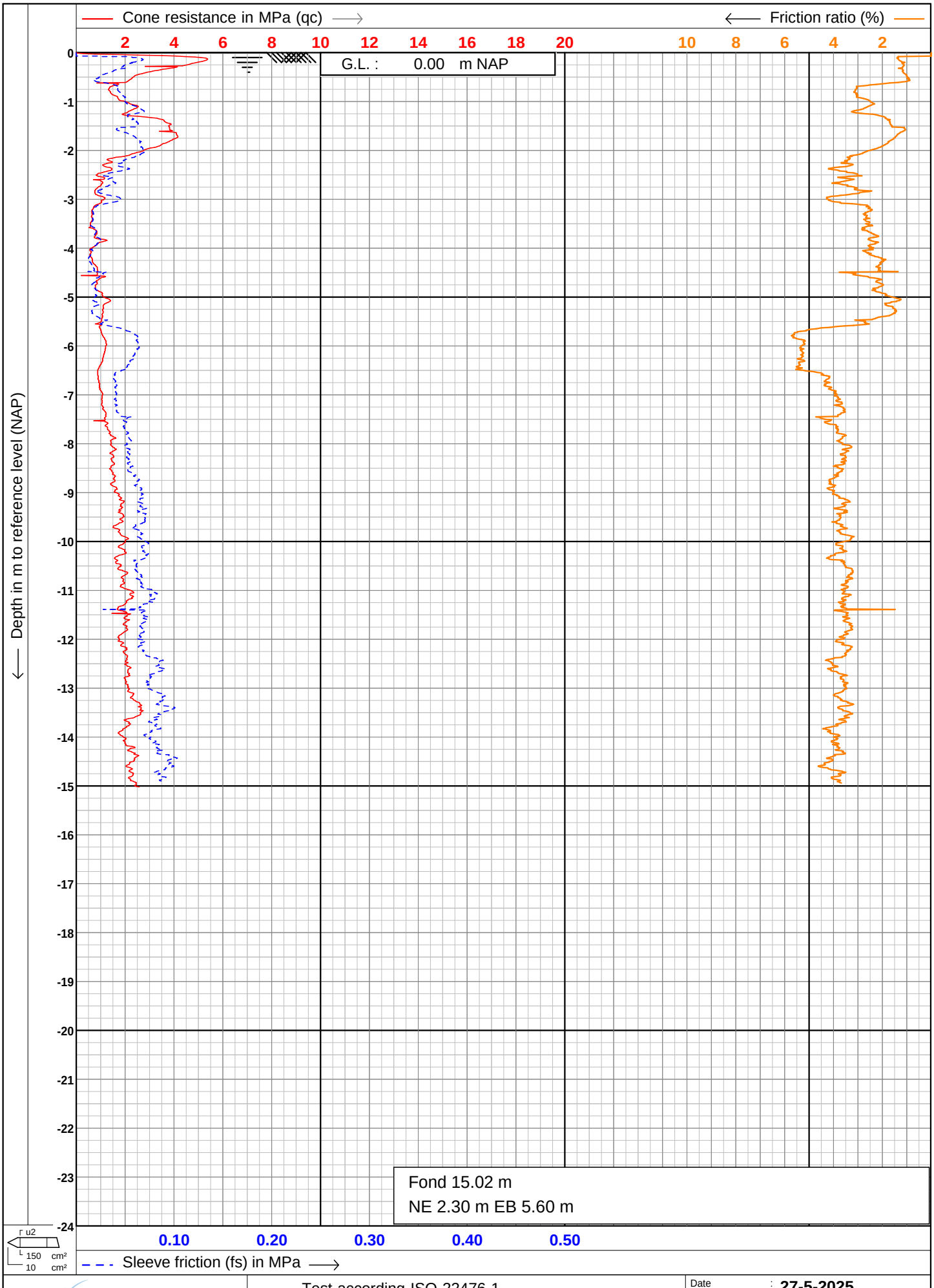
| | | |
|---|---|---|
| Project | : | **Sogeprom Projectim** |
| Location | : | **Bondues Avenue General de Gaulle** |
| Date | : | **27-5-2025** |
| Cone no. | : | **DP10CFPTXY.60388** |
| Project no. | : | **2025.0247** |
| CPT no. | : | **p9** 1/1 |




MEURISSE Sondages

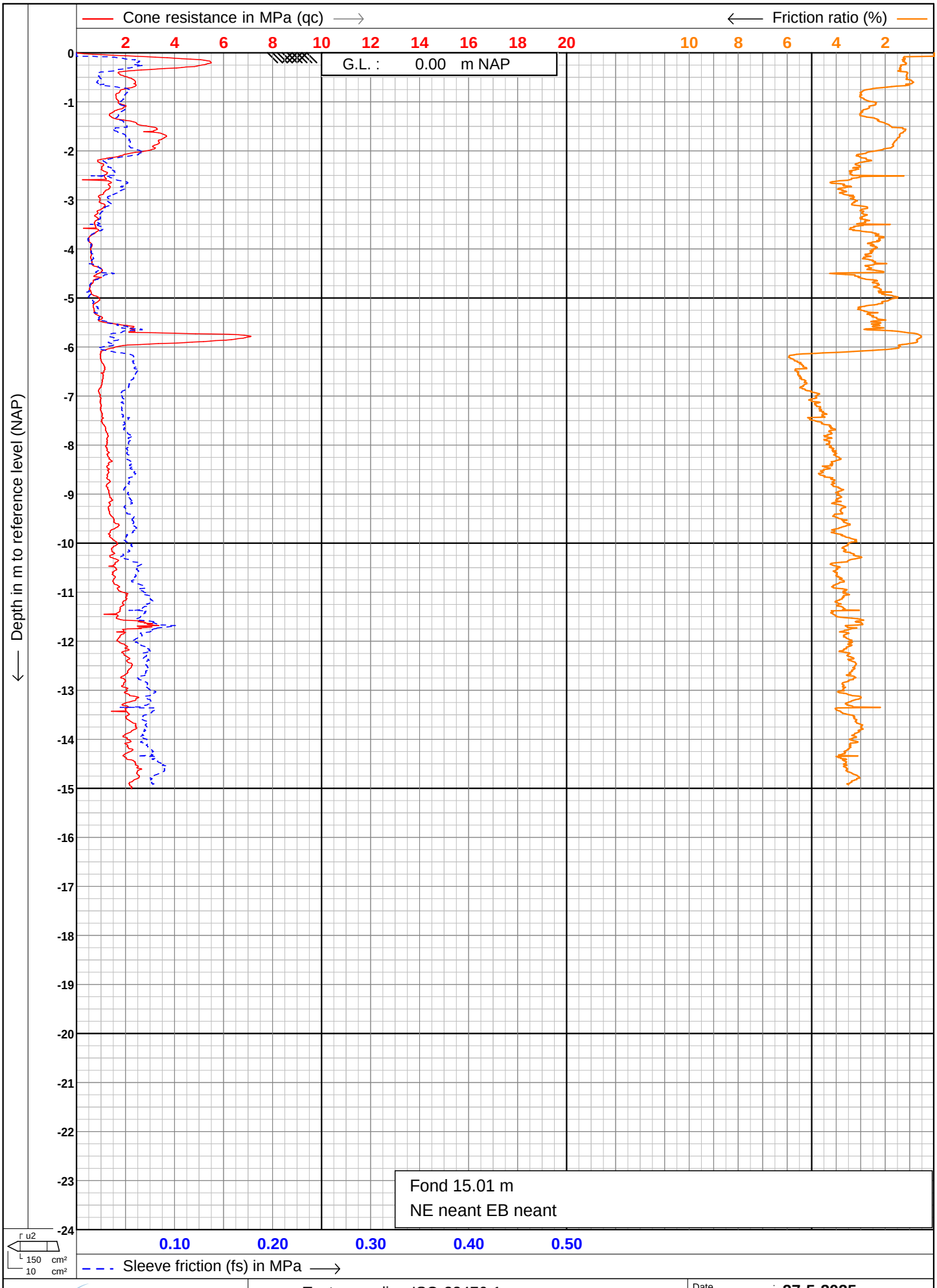
Test according ISO 22476-1

| | | |
|---|---|---|
| Project | : | **Sogeprom Projectim** |
| Location | : | **Bondues Avenue du General de Gaulle** |
| Date | : | **27-5-2025** |
| Cone no. | : | **DP10CFPTXY.60388** |
| Project no. | : | **2025.0247** |
| CPT no. | : | **p10** 1/1 |



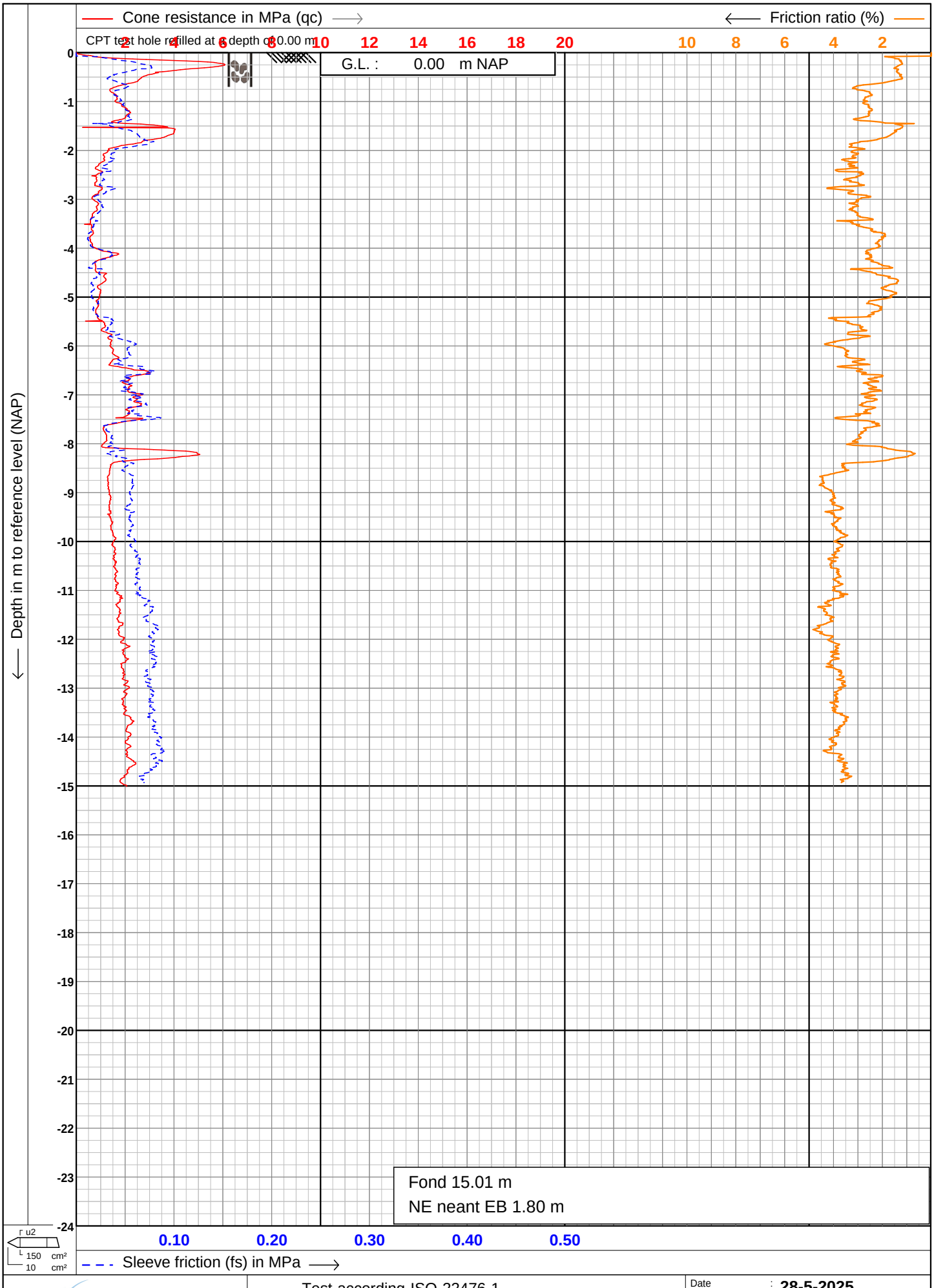

Test according ISO 22476-1

| | | |
|---|---|---|
| Project | : | **Sogeprom Projectim** |
| Location | : | **Bondues Avenue du General de Gaulle** |
| Date | : | **27-5-2025** |
| Cone no. | : | **DP10CFPTXY.60388** |
| Project no. | : | **2025.0247** |
| CPT no. | : | **p11** 1/1 |



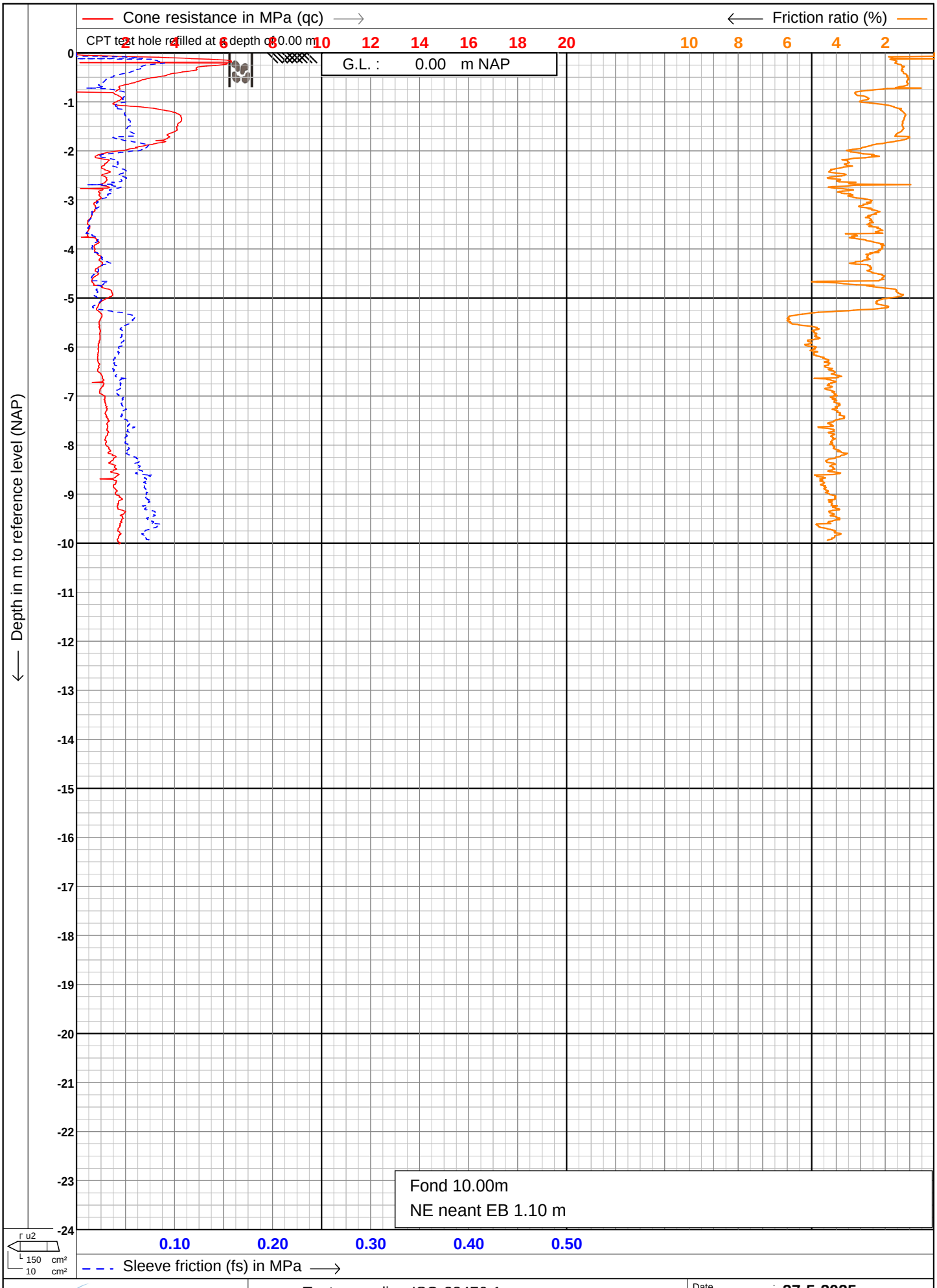

Test according ISO 22476-1

| | | |
|---|---|---|
| Project | : | **Sogeprom Projectim** |
| Location | : | **Bondues Avenue du General de Gaulle** |
| Date | : | **27-5-2025** |
| Cone no. | : | **DP10CFPTXY.60388** |
| Project no. | : | **2025.0247** |
| CPT no. | : | **p12** 1/1 |




Test according ISO 22476-1

| | | |
|---|---|---|
| Project | : | **Sogeprom Projectim** |
| Location | : | **Bondues Avenue du General de Gaulle** |
| Date | : | **28-5-2025** |
| Cone no. | : | **DP10CFPTXY.60388** |
| Project no. | : | **2025.0247** |
| CPT no. | : | **p13** 1/1 |




Test according ISO 22476-1

| | | |
|---|---|---|
| Project | : | **Sogeprom Projectim** |
| Location | : | **Bondues Avenue du General de Gaulle** |
| Date | : | **27-5-2025** |
| Cone no. | : | **DP10CFPTXY.60388** |
| Project no. | : | **2025.0247** |
| CPT no. | : | **p14** 1/1 |

# ANNEXE n°3 :
# Coupes des sondages lithologiques et des piézomètres

# SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO
Environnement & Géotechnique

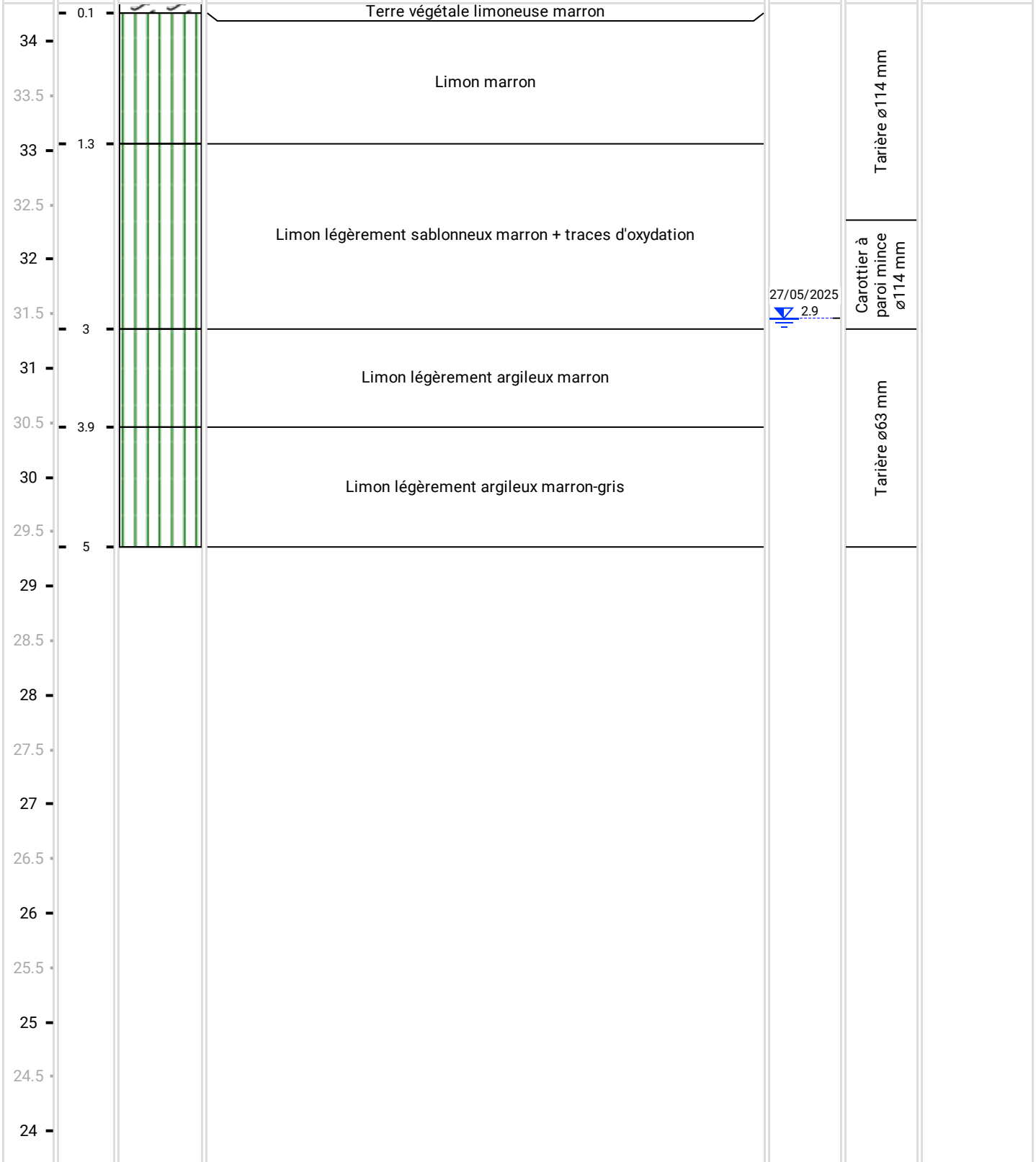
| | |
|---|---|
| Forage | Dossier |
| R1 | 2025.0247 |
| Date de début | Chantier |
| 27/05/2025 | BONDUES |
| Altitude undefined | Description du dossier |
| 36.33 m | Construction de logements collectifs |
| | Client |
| | SOGEPROM PROJECTIM |

| Alt. (m) | Prof. (m) | Figuré | Description | Niveaux d'eau (m) | Outils de forage | Observations de forage |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 36 | | | Terre végétale + limon marron-brun | | | |
| 35.5 | 1 | | | | | |
| 35 | | | Limon légèrement sablonneux marron | 27/05/2025 2.7 | Tarière ø114 mm | |
| 34.5 | | | | | | |
| 34 | | | | | | |
| 33.5 | | | | | | |
| 33 | | | | | | |
| 32.5 | | | | | | |
| 32 | | | | | | |
| 31.5 | 5 | | | | | |
| 31 | | | | | | |
| 30.5 | | | | | | |
| 30 | | | | | | |
| 29.5 | | | | | | |
| 29 | | | | | | |
| 28.5 | | | | | | |
| 28 | | | | | | |
| 27.5 | | | | | | |
| 27 | | | | | | |
| 26.5 | | | | | | |
| 26 | | | | | | |

# SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO
Environnement & Géotechnique

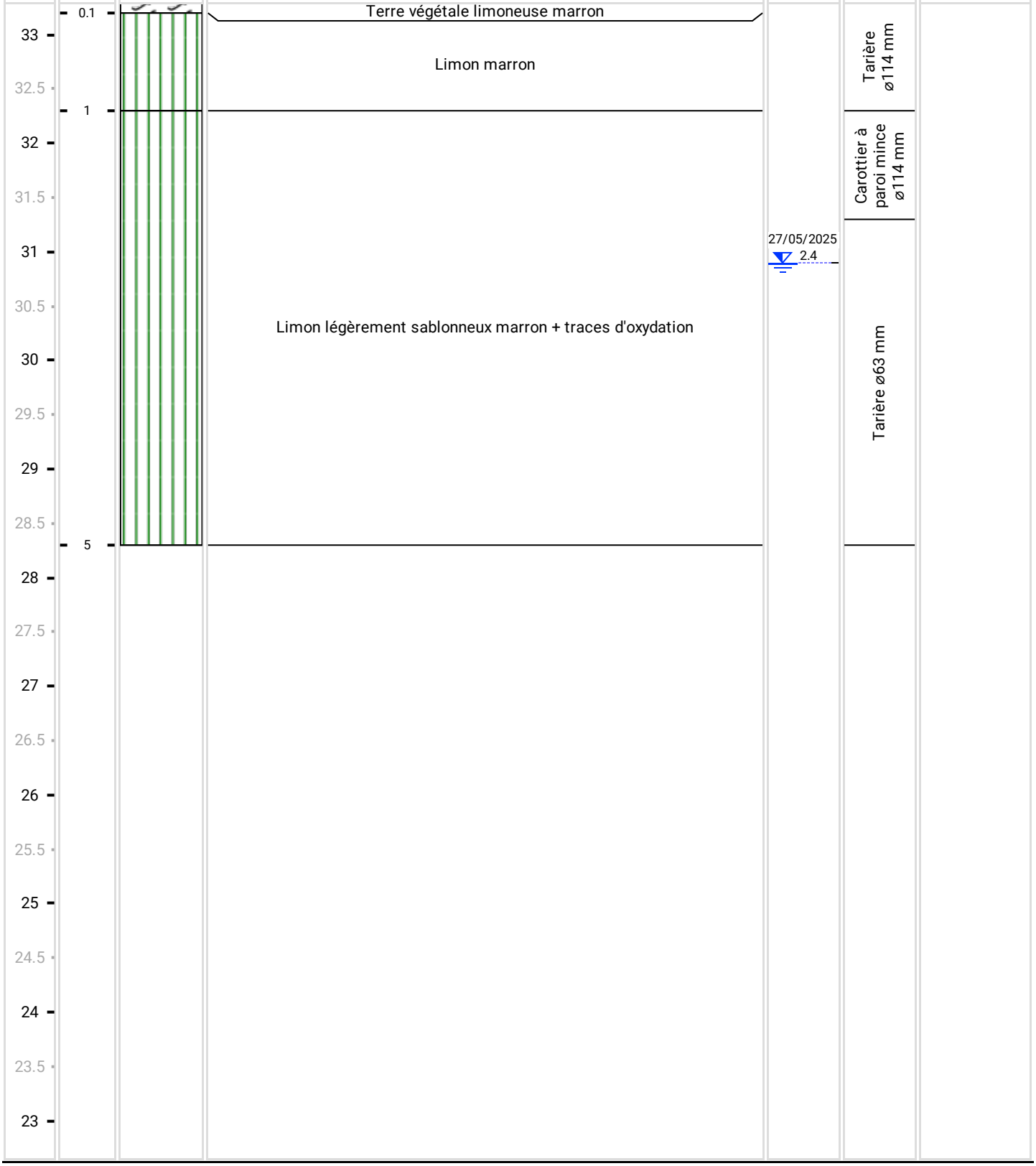
| | |
|---|---|
| Forage | Dossier |
| R2 | 2025.0247 |
| Date de début | Chantier |
| 27/05/2025 | BONDUES |
| Altitude undefined | Description du dossier |
| 34.36 m | Construction de logements collectifs |
| | Client |
| | SOGEPROM PROJECTIM |



# SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO
Environnement & Géotechnique

| | |
|---|---|
| Forage | Dossier |
| R3 | 2025.0247 |
| Date de début | Chantier |
| 27/05/2025 | BONDUES |
| Altitude undefined | Description du dossier |
| 33.3 m | Construction de logements collectifs |
| | Client |
| | SOGEPROM PROJECTIM |



# SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO
Environnement & Géotechnique

Forage
R4

Dossier
2025.0247

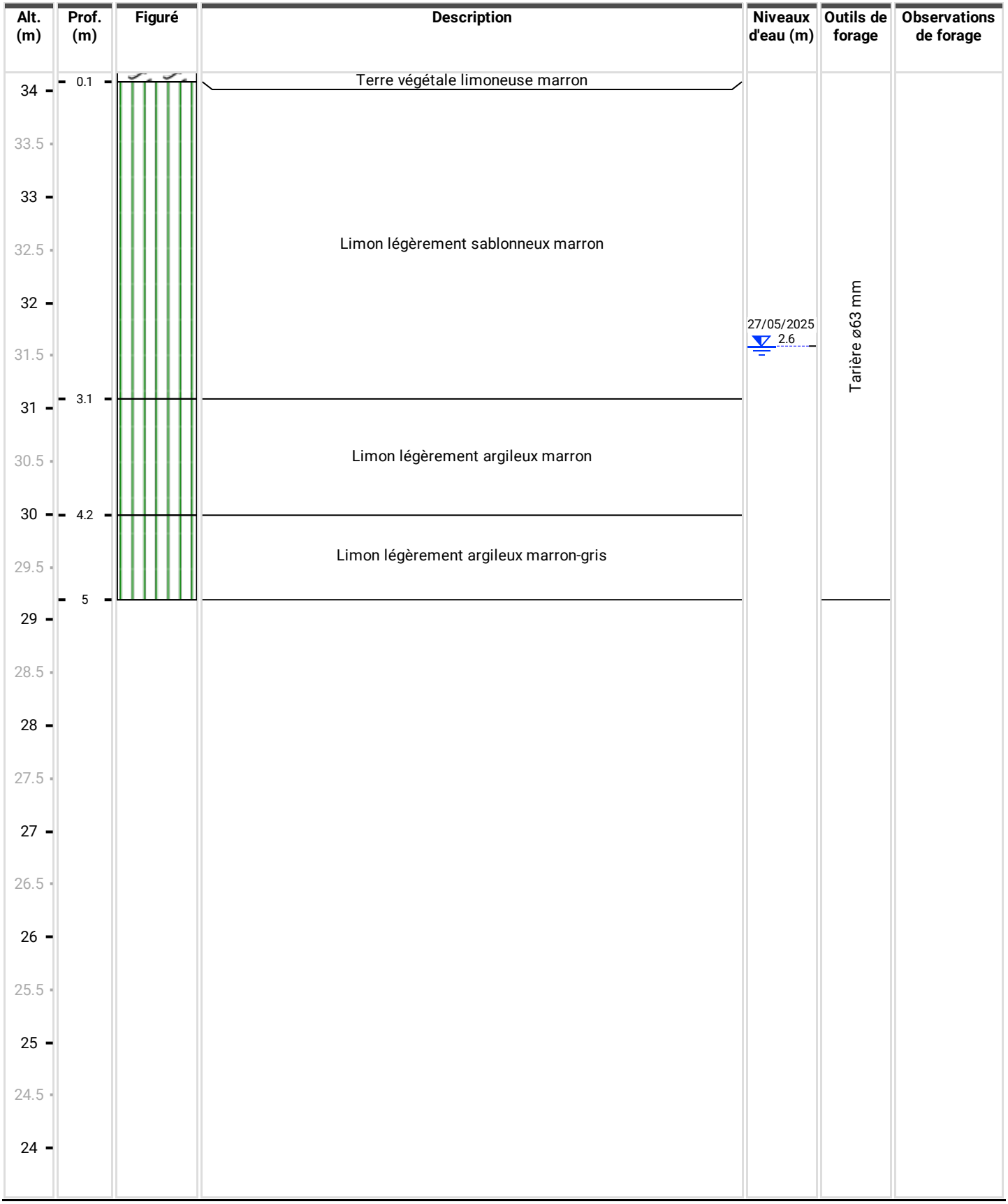
Date de début
27/05/2025

Chantier
BONDUES

Altitude undefined
34.19 m

Description du dossier
Construction de logements collectifs

Client
SOGEPROM PROJECTIM



# PIEZOMETRE

| | |
|---|---|
| Forage | Dossier |
| PZ1 | 2025.0247 |
| Date de début | Chantier |
| 12/05/2025 | BONDUES |
| Altitude undefined | Description du dossier |
| 35.73 m | Construction de logements collectifs |
| | Client |
| | SOGEPROM PROJECTIM |

| Prof. (m) | Figuré | Description | Équipement de forage | Niveaux d'eau (m) | Outils de forage | Observation de forage |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | | Terre végétale limoneuse marron | [0-0.5 m], Bouchon d'argile | | | |
| | | Limon légèrement sablonneux marron | [0-1.5 m], Tube PVC, ø 52/6<br>[1.5-6 m], Crépine PVC, ø 52/60 mm<br>[0.5-6 m], Gravier (massif filtrant) | 15/05/2025<br>2.27 | Tarière ø89 mm | |
| 6 | | | | | | |

# PIEZOMETRE

Forage
PZ2

Date de début
12/05/2025

Altitude undefined
32.28 m

Dossier
2025.0247

Chantier
BONDUES

Description du dossier
Construction de logements collectifs

Client
SOGEPROM PROJECTIM

| Prof. (m) | Figuré | Description | Équipement de forage | Niveaux d'eau (m) | Outils de forage | Observation de forage |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | | Terre végétale limoneuse marron | [0-0.5 m], Bouchon d'argile<br>[0-1.5 m], Tube PVC, ø 52/6 | | | |
| | | Limon légèrement sablonneux marron | [0.5-6 m], Gravier (massif filtrant)<br>[1.5-6 m], Crépine PVC, ø 52/60 mm | 15/05/2025 2.07 | Tarière ø89 mm | |
| 6 | | | | | | |

# ANNEXE n°4 :
# Coupes des fouilles à la pelle et des essais d'infiltration à la fosse

| | | | |
|---|---|---|---|
| APOGEO Environnement & Géotechnique | **Fouille à la pelle & Fiche d'essai d'infiltration à la fosse** | **Identification de la fouille :** | PM1+I1 |

## Référence dossier

| | | | |
|---|---|---|---|
| **N° dossier :** | 2025.0247 | **Opérateur(s) :** | LD + JN |
| **Client :** | Sogeprom Projectim | **Adresse du site :** | BONDUES |
| **Date de l'essai :** | 06/05/2025 | | |

## Conditons d'accès / Caractéristiques de la fouille

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Coordonnées :** | **X (m) : 706737.424** | **Y (m) : 7066907.946** | Z (m) : 35.178 |
| **Longueur (m) :** | 1,50 | **Profondeur (m) :** | 0,9 |
| **Largeur (m):** | 0,40 | **Coefficient géométrique de forme :** | 0,16 |

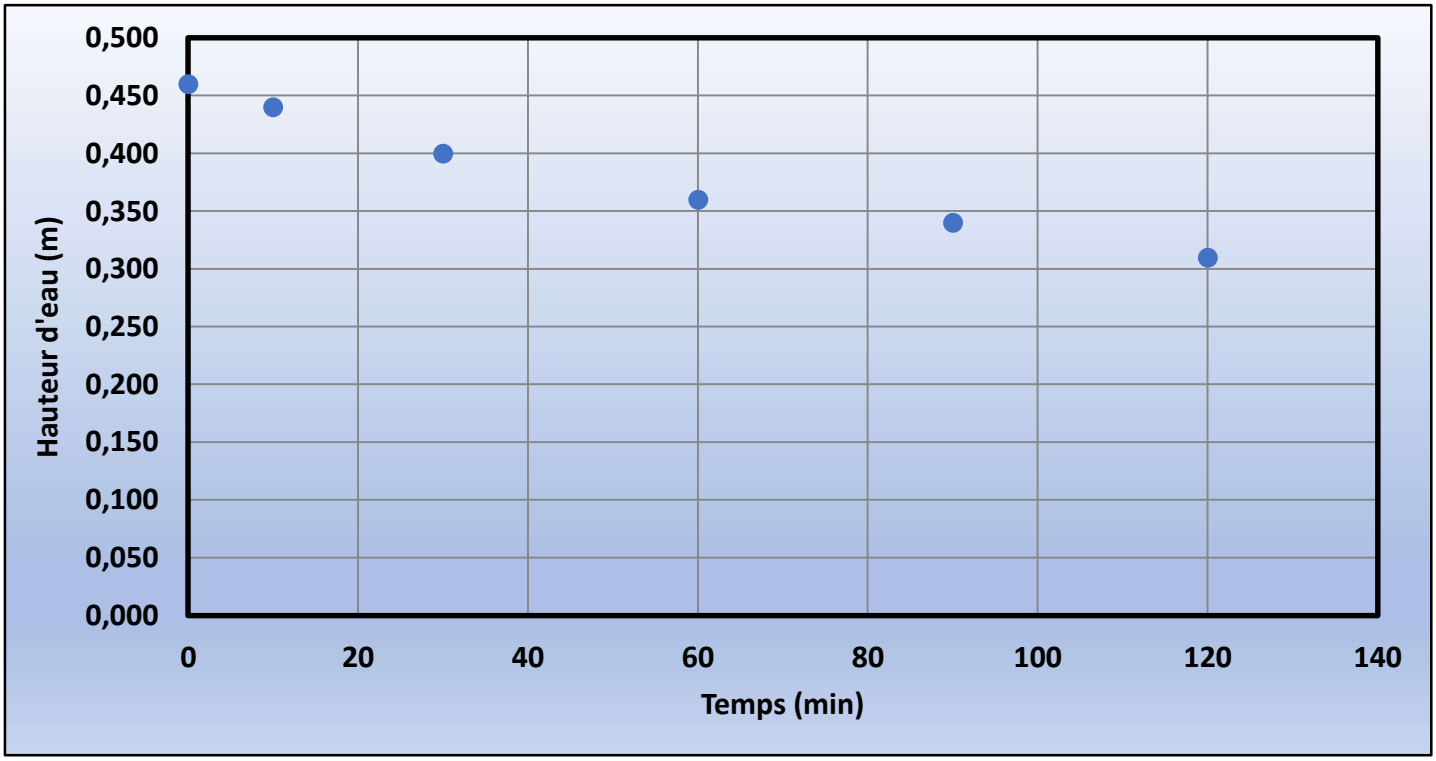
## Coupe descriptive

| Profondeur (m) | Description |
|---|---|
| 0,0 - 0,40 | Terre végétale |
| 0,40 - 0,90 | Limon |
| | |
| | |
| | |

## Suivi de la descente

| t (min) | Hauteur d'eau Hi (cm) | Hauteur d'eau Hi (m) |
|---|---|---|
| **0** | 46,0 | 0,460 |
| **10** | 44,0 | 0,440 |
| **30** | 40,0 | 0,400 |
| **60** | 36,0 | 0,360 |
| **90** | 34,0 | 0,340 |
| **120** | 31,0 | 0,310 |

**Coefficient de perméabilité K (m/s) : 5,14E-06**



| | | | |
|---|---|---|---|
| APOGEO Environnement & Géotechnique | **Fouille à la pelle & Fiche d'essai d'infiltration à la fosse** | **Identification de la fouille :** | PM2+I2 |

## Référence dossier

| | | | |
|---|---|---|---|
| **N° dossier :** | 2025.0247 | **Opérateur(s) :** | LD + JN |
| **Client :** | Sogeprom Projectim | **Adresse du site :** | BONDUES |
| **Date de l'essai :** | 06/05/2025 | | |

## Conditons d'accès / Caractéristiques de la fouille

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Coordonnées :** | **X (m) : 706800.894** | **Y (m) : 7066854.043** | Z (m) : 33.852 |
| **Longueur (m) :** | 1,00 | **Profondeur (m) :** | 0,9 |
| **Largeur (m):** | 0,40 | **Coefficient géométrique de forme :** | 0,14 |

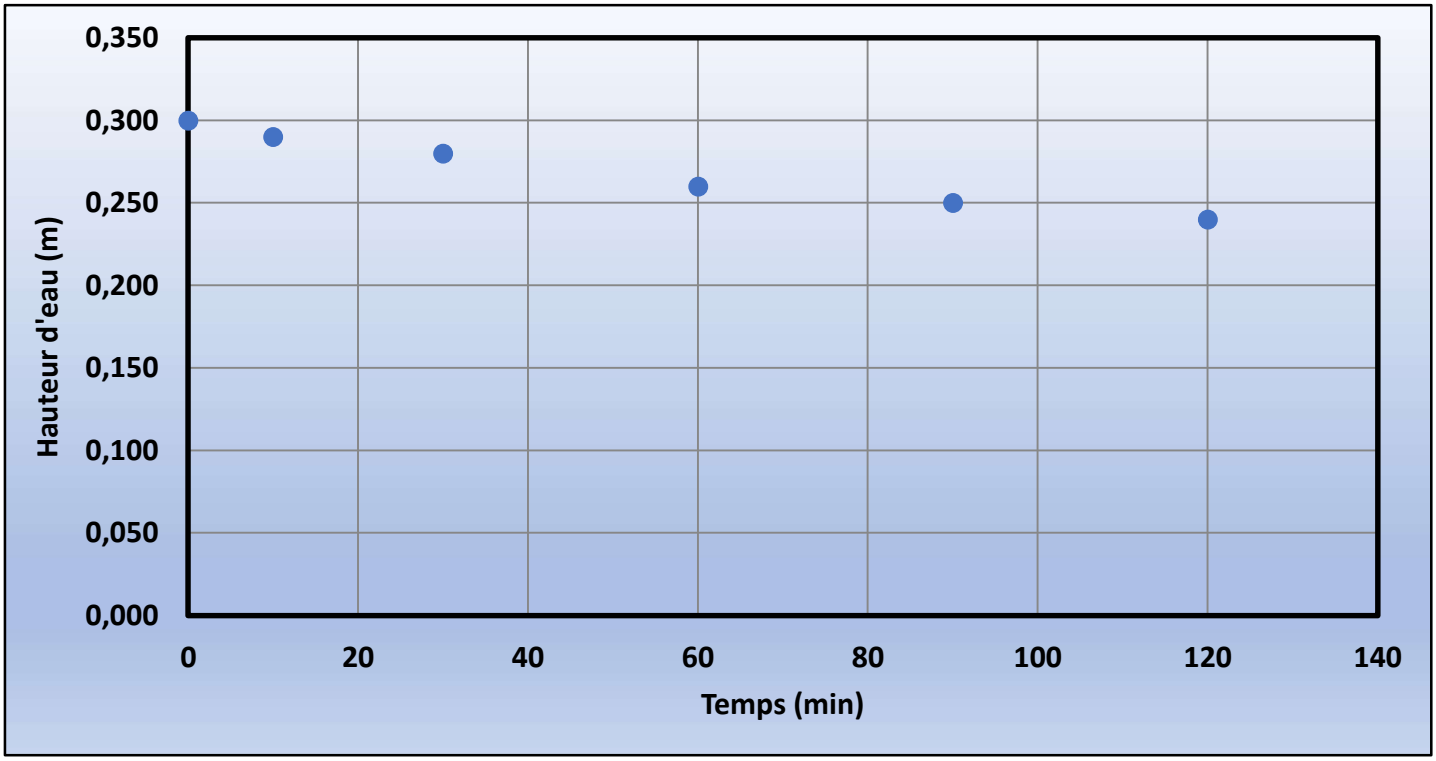
## Coupe descriptive

| Profondeur (m) | Description |
|---|---|
| 0,0 - 0,30 | Terre végétale |
| 0,30 - 0,90 | Limon marron |
| | |
| | |
| | |

## Suivi de la descente

| t (min) | Hauteur d'eau Hi (cm) | Hauteur d'eau Hi (m) |
|---|---|---|
| **0** | 30,0 | 0,300 |
| **10** | 29,0 | 0,290 |
| **30** | 28,0 | 0,280 |
| **60** | 26,0 | 0,260 |
| **90** | 25,0 | 0,250 |
| **120** | 24,0 | 0,240 |

**Coefficient de perméabilité K (m/s) : 2,66E-06**



| | | | |
|---|---|---|---|
| APOGEO Environnement & Géotechnique | **Fouille à la pelle & Fiche d'essai d'infiltration à la fosse** | **Identification de la fouille :** | PM3+I3 |

## Référence dossier

| | | | |
|---|---|---|---|
| **N° dossier :** | 2025.0247 | **Opérateur(s) :** | LD + JN |
| **Client :** | Sogeprom Projectim | **Adresse du site :** | BONDUES |
| **Date de l'essai :** | 06/05/2025 | | |

## Conditons d'accès / Caractéristiques de la fouille

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Coordonnées :** | **X (m) : 706848.908** | **Y (m) : 7066788.061** | Z (m) : 32.230 |
| **Longueur (m) :** | 1,00 | **Profondeur (m) :** | 1,1 |
| **Largeur (m):** | 0,40 | **Coefficient géométrique de forme :** | 0,14 |

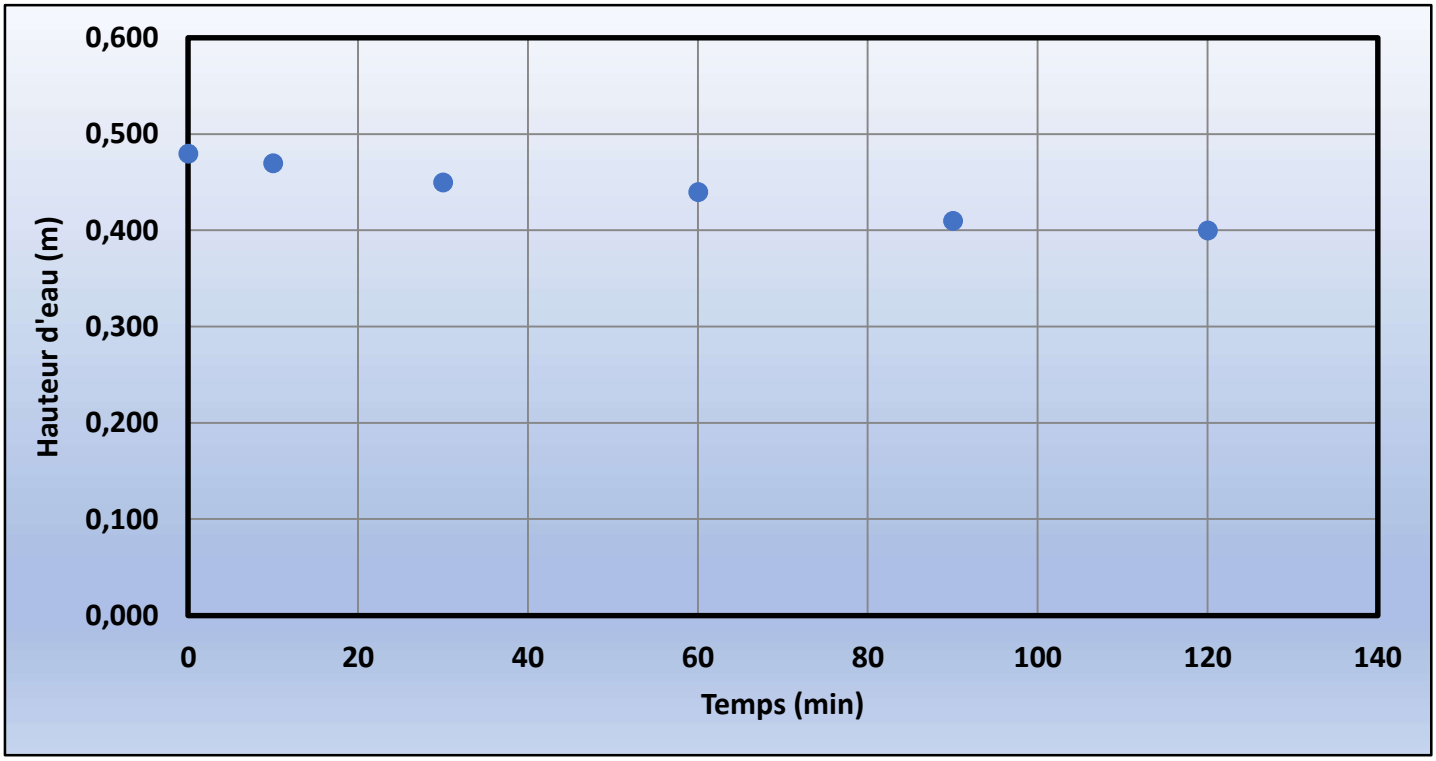
## Coupe descriptive

| Profondeur (m) | Description |
|---|---|
| 0,0 - 0,30 | Terre végétale |
| 0,30 - 1,10 | Limon marron |
| | |
| | |
| | |

## Suivi de la descente

| t (min) | Hauteur d'eau Hi (cm) | Hauteur d'eau Hi (m) |
|---|---|---|
| **0** | 48,0 | 0,480 |
| **10** | 47,0 | 0,470 |
| **30** | 45,0 | 0,450 |
| **60** | 44,0 | 0,440 |
| **90** | 41,0 | 0,410 |
| **120** | 40,0 | 0,400 |

**Coefficient de perméabilité K (m/s) : 2,63E-06**



| | | | |
|---|---|---|---|
| APOGEO Environnement & Géotechnique | **Fouille à la pelle & Fiche d'essai d'infiltration à la fosse** | **Identification de la fouille :** | PM4+I4 |

## Référence dossier

| | | | |
|---|---|---|---|
| **N° dossier :** | 2025.0247 | **Opérateur(s) :** | LD + JN |
| **Client :** | Sogeprom Projectim | **Adresse du site :** | BONDUES |
| **Date de l'essai :** | 06/05/2025 | | |

## Conditons d'accès / Caractéristiques de la fouille

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Coordonnées :** | **X (m) : 706733.054** | **Y (m) : 7066834.524** | Z (m) : 34.469 |
| **Longueur (m) :** | 1,00 | **Profondeur (m) :** | 1,0 |
| **Largeur (m):** | 0,40 | **Coefficient géométrique de forme :** | 0,14 |

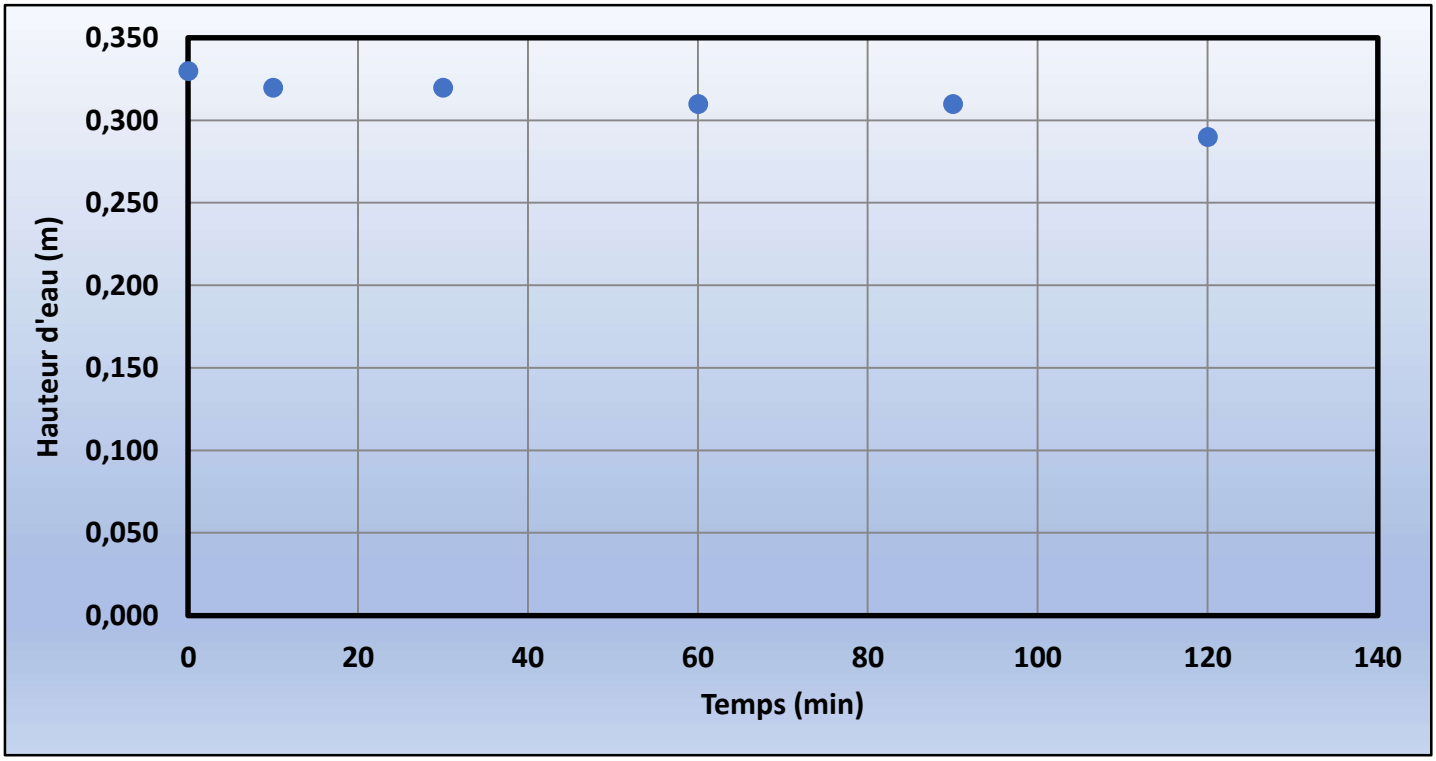
## Coupe descriptive

| Profondeur (m) | Description |
|---|---|
| 0,0 - 0,30 | Terre végétale |
| 0,30 - 1,0 | Limon marron |
| | |
| | |
| | |

## Suivi de la descente

| t (min) | Hauteur d'eau Hi (cm) | Hauteur d'eau Hi (m) |
|---|---|---|
| **0** | 33,0 | 0,330 |
| **10** | 32,0 | 0,320 |
| **30** | 32,0 | 0,320 |
| **60** | 31,0 | 0,310 |
| **90** | 31,0 | 0,310 |
| **120** | 29,0 | 0,290 |

**Coefficient de perméabilité K (m/s) : 1,77E-06**



| | | | |
|---|---|---|---|
| APOGEO Environnement & Géotechnique | **Fouille à la pelle & Fiche d'essai d'infiltration à la fosse** | **Identification de la fouille :** | PM5+I5 |

## Référence dossier

| | | | |
|---|---|---|---|
| **N° dossier :** | 2025.0247 | **Opérateur(s) :** | LD + JN |
| **Client :** | Sogeprom Projectim | **Adresse du site :** | BONDUES |
| **Date de l'essai :** | 06/05/2025 | | |

## Conditons d'accès / Caractéristiques de la fouille

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Coordonnées :** | **X (m) : 706793.467** | **Y (m) : 7066796.000** | Z (m) : 33.288 |
| **Longueur (m) :** | 1,50 | **Profondeur (m) :** | 0,7 |
| **Largeur (m):** | 0,40 | **Coefficient géométrique de forme :** | 0,16 |

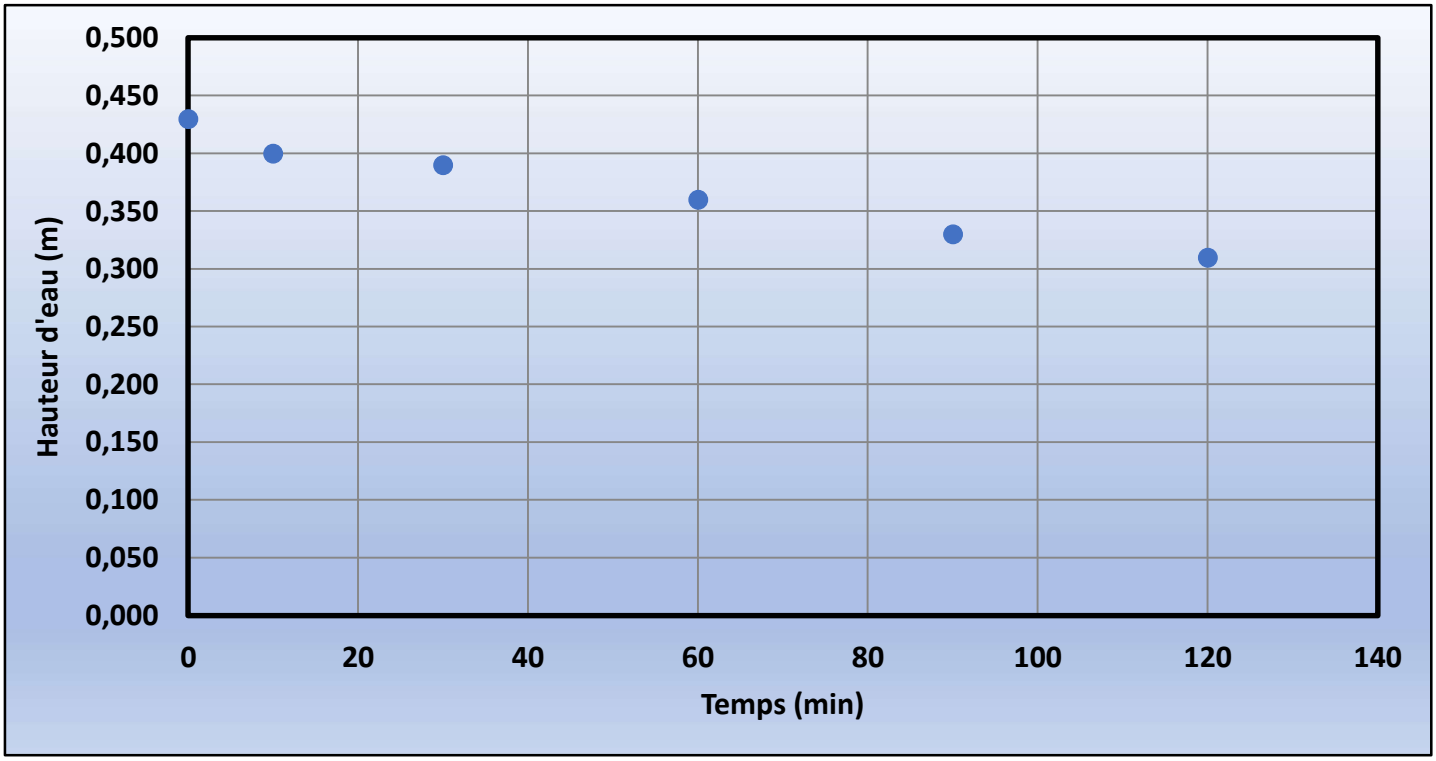
## Coupe descriptive

| Profondeur (m) | Description |
|---|---|
| 0,0 - 0,25 | Terre végétale |
| 0,25 - 0,70 | Limon sablonneux |
| | |
| | |
| | |

## Suivi de la descente

| t (min) | Hauteur d'eau Hi (cm) | Hauteur d'eau Hi (m) |
|---|---|---|
| **0** | 43,0 | 0,430 |
| **10** | 40,0 | 0,400 |
| **30** | 39,0 | 0,390 |
| **60** | 36,0 | 0,360 |
| **90** | 33,0 | 0,330 |
| **120** | 31,0 | 0,310 |

**Coefficient de perméabilité K (m/s) : 4,62E-06**



| | | | |
|---|---|---|---|
| APOGEO Environnement & Géotechnique | **Fouille à la pelle & Fiche d'essai d'infiltration à la fosse** | **Identification de la fouille :** | PM6+I6 |

## Référence dossier

| | | | |
|---|---|---|---|
| **N° dossier :** | 2025.0247 | **Opérateur(s) :** | LD + JN |
| **Client :** | Sogeprom Projectim | **Adresse du site :** | BONDUES |
| **Date de l'essai :** | 06/05/2025 | | |

## Conditons d'accès / Caractéristiques de la fouille

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Coordonnées :** | **X (m) : 706650.477** | **Y (m) : 7066933.045** | Z (m) : 35.618 |
| **Longueur (m) :** | 1,00 | **Profondeur (m) :** | 0,7 |
| **Largeur (m):** | 0,40 | **Coefficient géométrique de forme :** | 0,14 |

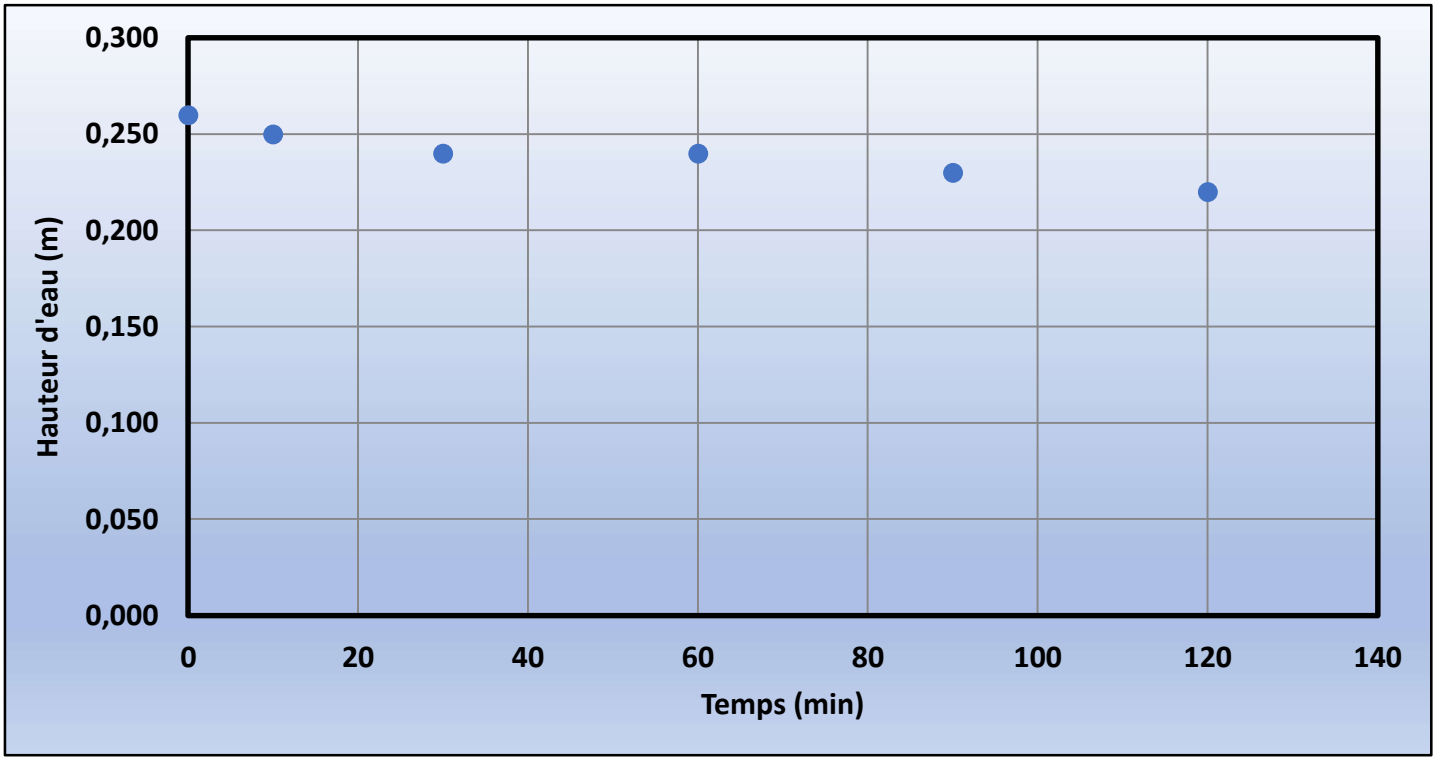
## Coupe descriptive

| Profondeur (m) | Description |
|---|---|
| 0,0 - 0,20 | Terre végétale |
| 0,20 - 0,70 | Limon marron |
| | |
| | |
| | |

## Suivi de la descente

| t (min) | Hauteur d'eau Hi (cm) | Hauteur d'eau Hi (m) |
|---|---|---|
| **0** | 26,0 | 0,260 |
| **10** | 25,0 | 0,250 |
| **30** | 24,0 | 0,240 |
| **60** | 24,0 | 0,240 |
| **90** | 23,0 | 0,230 |
| **120** | 22,0 | 0,220 |

**Coefficient de perméabilité K (m/s) : 1,72E-06**



| APOGEO Environnement & Géotechnique | **Fouille à la pelle mécanique** | **Identification de la fouille :** | PM7 |
|---|---|---|---|

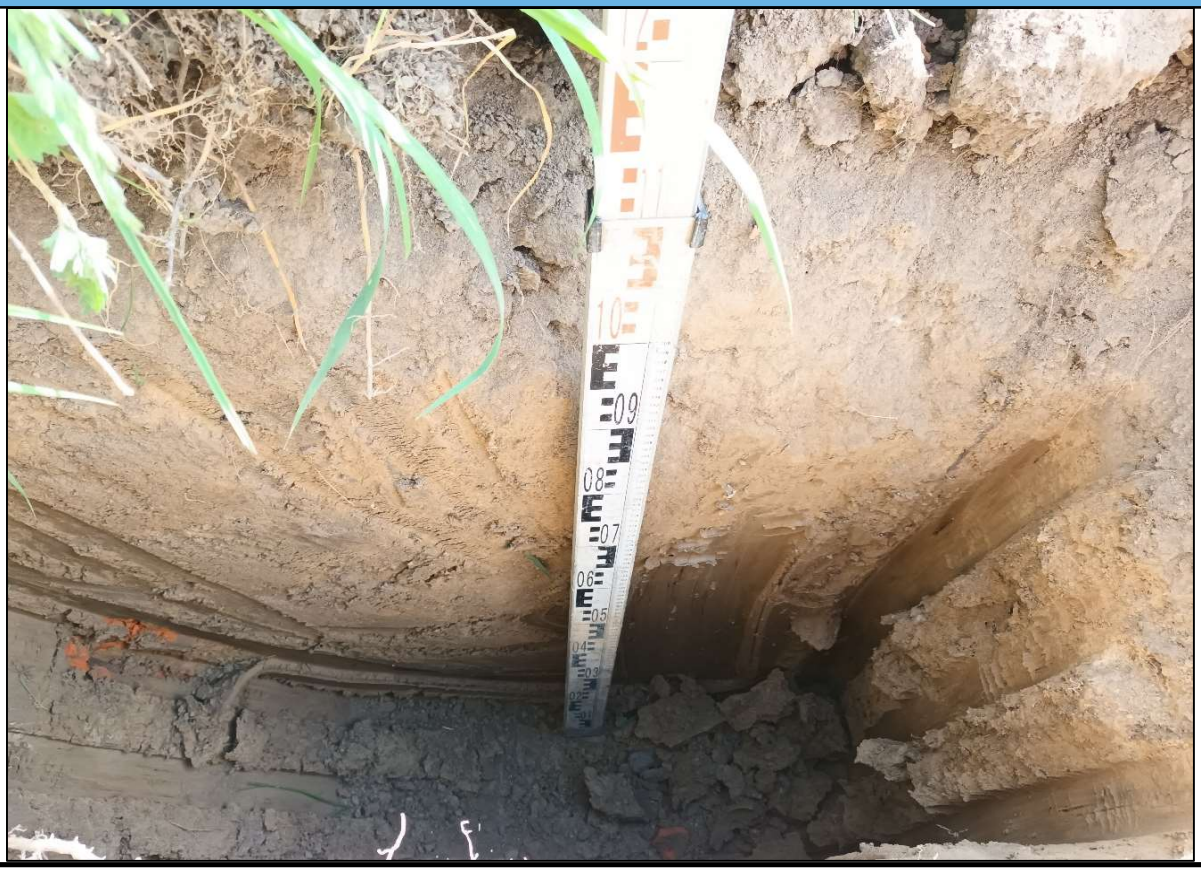
## Référence dossier

| | | | |
|---|---|---|---|
| **N° dossier :** | 2025.0247 | **Opérateur(s) :** | LD +JN |
| **Client :** | Sogeprom Projectim | **Adresse du site :** | BONDUES |
| **Date de la fouille :** | 06/05/2025 | | |

## Coupe descriptive

| Profondeur (m) | Description |
|---|---|
| 0,0 - 0,30 | Terre végétale |
| 0,30 - 1,30 | Limon marron |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

## Cartographie / Photographie de la fouille



| | | | |
|---|---|---|---|
| APOGEO Environnement & Géotechnique | **Fouille à la pelle mécanique** | **Identification de la fouille :** | PM8 |

| **Référence dossier** | | | |
|---|---|---|---|
| **N° dossier :** | 2025.0247 | **Opérateur(s) :** | LD +JN |
| **Client :** | Sogeprom Projectim | **Adresse du site :** | BONDUES |
| **Date de la fouille :** | 06/05/2025 | | |

| **Coupe descriptive** | |
|---|---|
| **Profondeur (m)** | **Description** |
| 0,0 - 0,20 | Terre végétale |
| 0,20 - 0,90 | Limon marron |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

**Cartographie / Photographie de la fouille**



| | | | |
|---|---|---|---|
| APOGEO Environnement & Géotechnique | **Fouille à la pelle mécanique** | **Identification de la fouille :** | PM9 |

| **Référence dossier** | | | |
|---|---|---|---|
| **N° dossier :** | 2025.0247 | **Opérateur(s) :** | LD +JN |
| **Client :** | Sogeprom Projectim | **Adresse du site :** | BONDUES |
| **Date de la fouille :** | 06/05/2025 | | |

| **Coupe descriptive** | |
|---|---|
| **Profondeur (m)** | **Description** |
| 0,0 - 0,20 | Terre végétale |
| 0,20 - 1,30 | Limon marron |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

**Cartographie / Photographie de la fouille**



| | | | |
|---|---|---|---|
| APOGEO Environnement & Géotechnique | **Fouille à la pelle mécanique** | **Identification de la fouille :** | PM10 |

| **Référence dossier** | | | |
|---|---|---|---|
| **N° dossier :** | 2025.0247 | **Opérateur(s) :** | LD +JN |
| **Client :** | Sogeprom Projectim | **Adresse du site :** | BONDUES |
| **Date de la fouille :** | 06/05/2025 | | |

| **Coupe descriptive** | |
|---|---|
| **Profondeur (m)** | **Description** |
| 0,0 - 0,40 | Terre végétale |
| 0,40 - 1,30 | Limon marron |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

**Cartographie / Photographie de la fouille**



| | | | |
|---|---|---|---|
| APOGEO Environnement & Géotechnique | **Fouille à la pelle mécanique** | **Identification de la fouille :** | PM11 |

| **Référence dossier** | | | |
|---|---|---|---|
| **N° dossier :** | 2025.0247 | **Opérateur(s) :** | LD +JN |
| **Client :** | Sogeprom Projectim | **Adresse du site :** | BONDUES |
| **Date de la fouille :** | 06/05/2025 | | |

| **Coupe descriptive** | |
|---|---|
| **Profondeur (m)** | **Description** |
| 0,0 - 0,30 | Terre végétale |
| 0,30 - 1,30 | Limon légèrement argileux marron |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

**Cartographie / Photographie de la fouille**



| | | | |
|---|---|---|---|
| APOGEO Environnement & Géotechnique | **Fouille à la pelle mécanique** | **Identification de la fouille :** | PM12 |

## Référence dossier

| | | | |
|---|---|---|---|
| **N° dossier :** | 2025.0247 | **Opérateur(s) :** | LD +JN |
| **Client :** | Sogeprom Projectim | **Adresse du site :** | BONDUES |
| **Date de la fouille :** | 06/05/2025 | | |

## Coupe descriptive

| Profondeur (m) | Description |
|---|---|
| 0,0 - 0,50 | Remblai limoneux + débris de brique + cailloux |
| 0,50 - 1,10 | Limon marron |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

## Cartographie / Photographie de la fouille



# ANNEXE n°5 :
# Feuilles d'identification géotechnique des sols

# SYNTHESE DES ESSAIS EN LABORATOIRE

SE.V01

Client : SOGEPROM PROJECTIM

Lieu : BONDUES

Date : 28/05/2025

N°Affaire : 2025.0247

| Essais en laboratoire | | | Teneur en eau | Densité | | Limites d'Atterberg | | | Granulométrie par tamisage | | | Valeur au bleu | Classification | Limite de retrait | Matière org | Oedomètre | | IPI | Cisaillement | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **NORMES** | | | 94-050 | 94-053 | | 94-051 | | | 94-056 | | | 94-068 | 11-300 | 94-060-1 | - | 94-090-1 | | 94-078 | 94-071-1 | | |
| **Forage** | **Prof** (m) | **Nature** | **Wn** (%) | $d_s$ (-) | $d_h$ (-) | $W_L$ (%) | $W_P$ (%) | $I_P$ (%) | % de passant **50mm** | **2mm** | **80µm** | **VBS** (-) | **GTR** (-) | $W_R$ (%) | **MO** (%) | **e0** (-) | **Cc** (-) | **IPI** (-) | $\rho_s$ (Mg/m$^3$) | $C_i$ (kPa) | $\phi_i$ (°) |
| R1 | 0,00 - 1,00 | Limon | 20,71 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2,00 - 3,00 | Limon légèrement sablonneux | 26,13 | - | - | - | - | - | - | 99,9 | 98,5 | 2,41 | **A1** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| R2 | 2,00 - 2,75 | Limon légèrement sablonneux | 22,08 | 1,52 | 1,86 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3,00 - 3,90 | Limon légèrement argileux | 28,16 | - | - | - | - | - | - | - | 98,2 | 2,36 | **A1** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3,90 - 5,00 | Limon légèrement argileux | 27,66 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| R3 | 1,00 - 1,75 | Limon légèrement sablonneux | 21,32 | 1,61 | 1,95 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2,00 - 3,80 | Limon légèrement sablonneux | 21,54 | - | - | - | - | - | - | 99,5 | 97,3 | 2,26 | **A1** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3,80 - 5,00 | Limon légèrement sablonneux | 26,19 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| R4 | 0,10 - 1,70 | Limon légèrement sablonneux | 20,73 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 1,70 - 3,10 | Limon légèrement sablonneux | 23,45 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3,10 - 4,20 | Limon légèrement argileux | 28,06 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

# SYNTHESE DES ESSAIS EN LABORATOIRE

SE.V01

Client : SOGEPROM PROJECTIM

Lieu : BONDUES

Date : 28/05/2025

N°Affaire : 2025.0247

| Essais en laboratoire | | | Teneur en eau | Densité | | Limites d'Atterberg | | | Granulométrie par tamisage | | | Valeur au bleu | Classification | Limite de retrait | Matière org | Oedomètre | | IPI | Cisaillement | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **NORMES** | | | 94-050 | 94-053 | | 94-051 | | | 94-056 | | | 94-068 | 11-300 | 94-060-1 | - | 94-090-1 | | 94-078 | 94-071-1 | | |
| **Forage** | **Prof** (m) | **Nature** | **Wn** (%) | $d_s$ (-) | $d_h$ (-) | $W_L$ (%) | $W_P$ (%) | $I_P$ (%) | % de passant **50mm** | **2mm** | **80µm** | **VBS** (-) | **GTR** (-) | $W_R$ (%) | **MO** (%) | **e0** (-) | **Cc** (-) | **IPI** (-) | $\rho_s$ (Mg/m$^3$) | $C_i$ (kPa) | $\phi_i$ (°) |
| PM2 | 0,30 - 0,90 | Limon | 20,54 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PM6 | 0,20 - 0,70 | Limon | 19,46 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PM7 | 0,30 - 1,30 | Limon | 22,96 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PM8 | 0,20 - 0,90 | Limon | 18,77 | - | - | - | - | - | - | 99,9 | 95,7 | 2,25 | **A1** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PM9 | 0,20 - 1,30 | Limon | 20,84 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PM10 | 0,40 - 1,20 | Limon | 19,34 | - | - | - | - | - | - | 99,5 | 96,6 | 2,22 | **A1** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PM11 | 0,30 - 1,30 | Limon légèrement argileux | 18,01 | - | - | - | - | - | - | 99,9 | 98,7 | 3,11 | **A2** | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

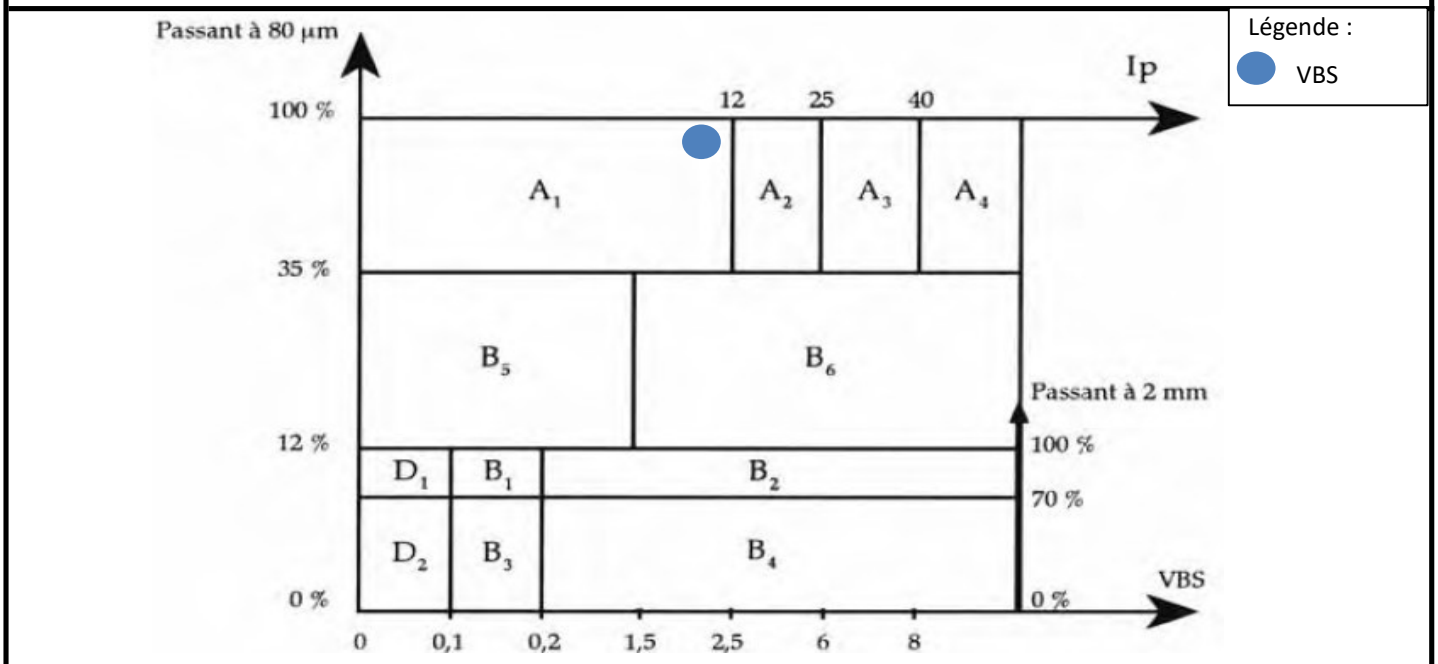
## SYNTHESE DES ESSAIS D'IDENTIFICATION

**Client :** SOGEPROM PROJECTIM
**Lieu :** BONDUES

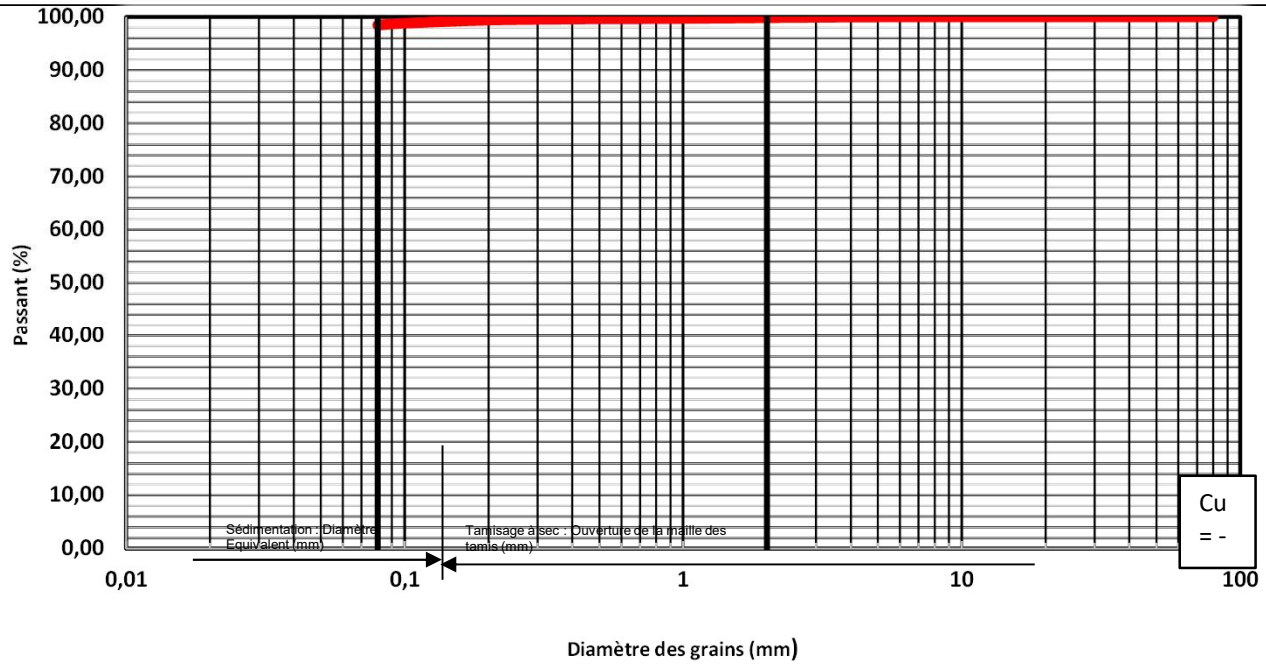
**Date :** 28/05/2025
**N° Affaire :** 2024.0247

| Essais en laboratoire | | | Teneur en eau | Limites d'Atterberg | | | Granulométrie par tamisage | | | Valeur au bleu | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NORMES | | | 17892-1 | 17892-12 | | | 17892-4 | | | 94-068 | 11-300 |
| **Sondage** | **Prof** (m) | **Nature** | **$W_n$** (%) | **$W_L$** (%) | **$W_P$** (%) | **$I_P$** (%) | % de passant **50mm** | **2mm** | **80µm** | **VBS** (-) | **GTR** (-) |
| R1 | 2,00 - 3,00 | on légèrement sablonn | 26,13 | - | - | - | - | 99,9 | 98,5 | 2,41 | **A1** |

## Diagramme de classification GTR




## Courbe granulométrique



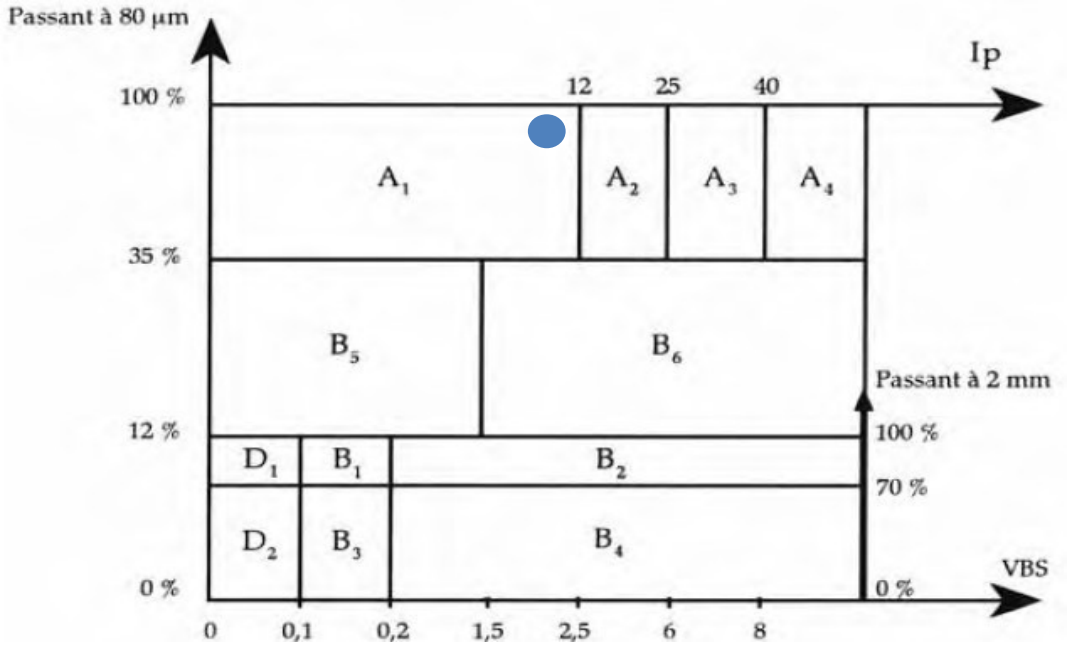
## SYNTHESE DES ESSAIS D'IDENTIFICATION

**Client :** SOGEPROM PROJECTIM
**Lieu :** BONDUES

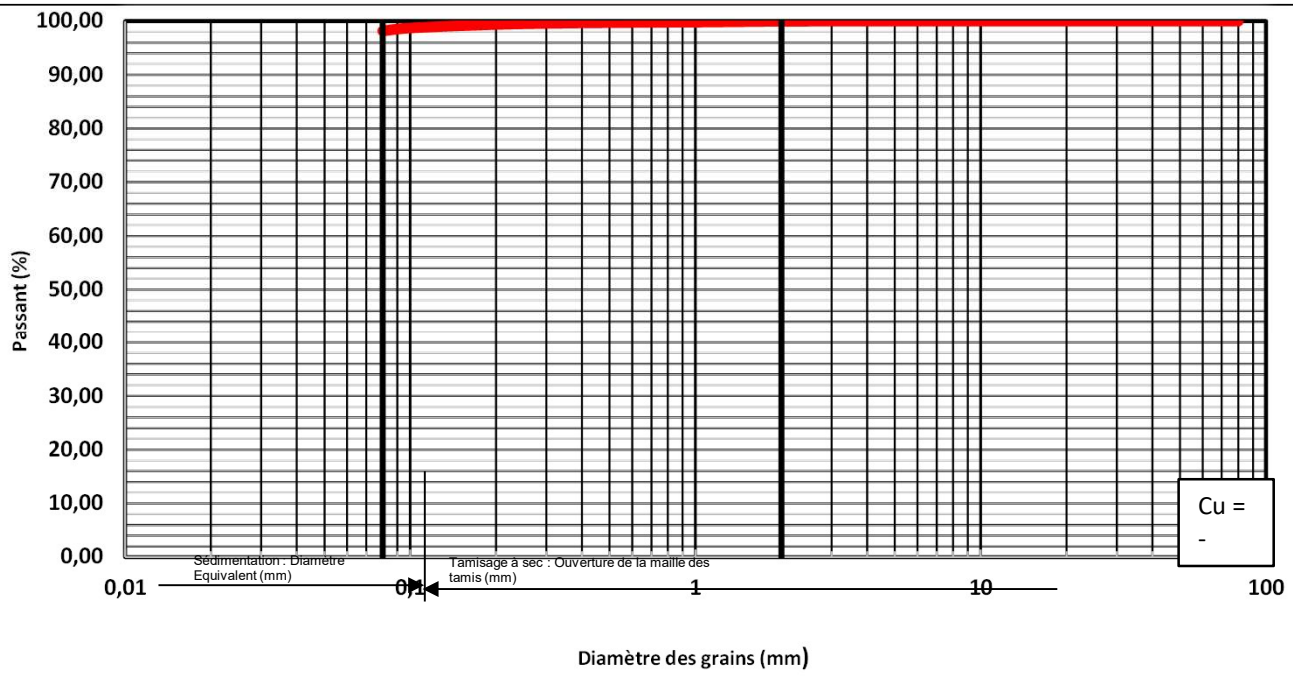
**Date :** 28/05/2025
**N° Affaire :** 2024.0247

| Essais en laboratoire | | | Teneur en eau | Limites d'Atterberg | | | Granulométrie par tamisage | | | Valeur au bleu | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NORMES | | | 17892-1 | 17892-12 | | | 17892-4 | | | 94-068 | 11-300 |
| **Sondage** | **Prof** (m) | **Nature** | $W_n$ (%) | $W_L$ (%) | $W_P$ (%) | $I_P$ (%) | % de passant **50mm** | **2mm** | **80µm** | **VBS** (-) | **GTR** (-) |
| R2 | 3,00 - 3,90 | mon légèrement argileu | 28,16 | - | - | - | - | 100,0 | 98,2 | 2,36 | **A1** |

### Diagramme de classification GTR




### Courbe granulométrique



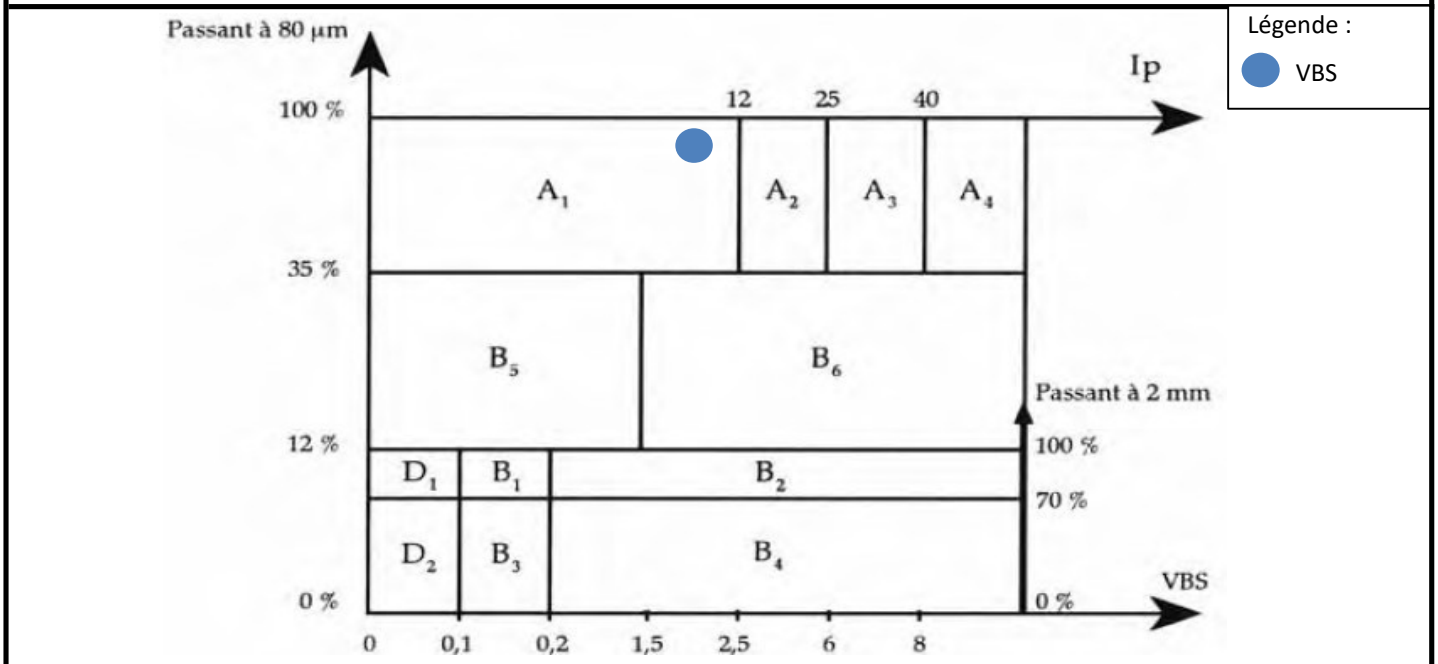
## SYNTHESE DES ESSAIS D'IDENTIFICATION

**Client :** SOGEPROM PROJECTIM
**Lieu :** BONDUES

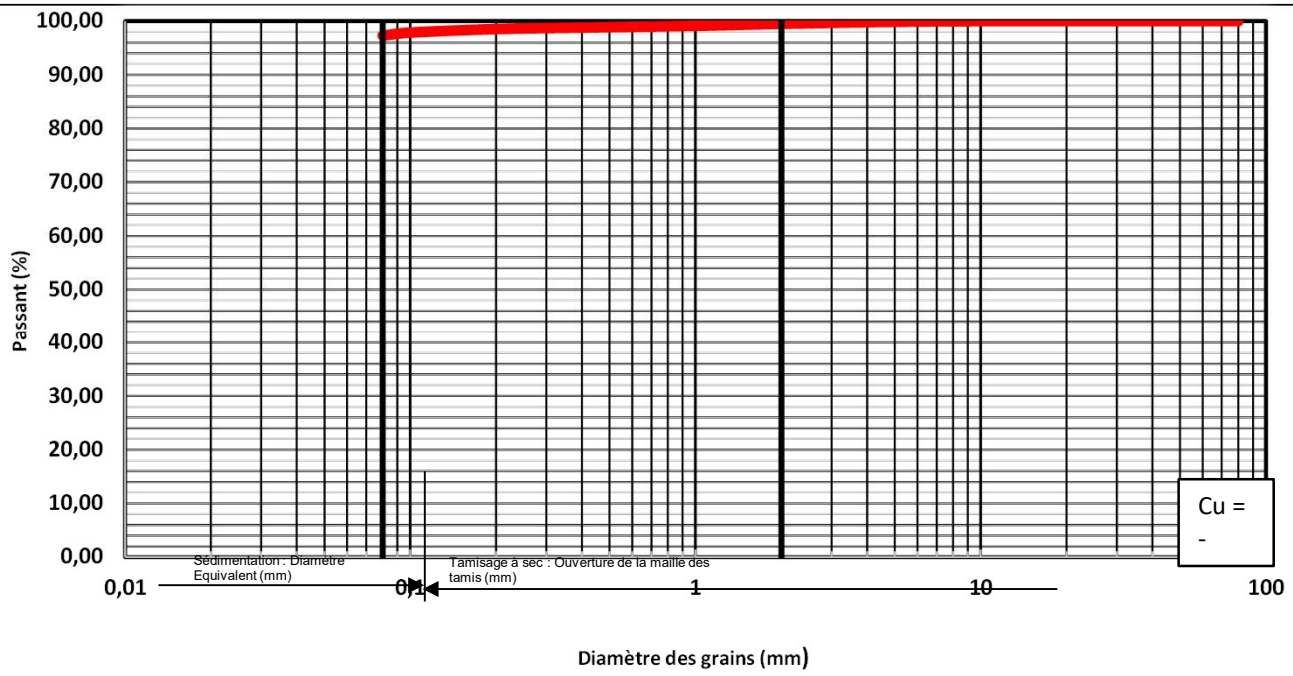
**Date :** 28/05/2025
**N° Affaire :** 2024.0247

| Essais en laboratoire | | | Teneur en eau | Limites d'Atterberg | | | Granulométrie par tamisage | | | Valeur au bleu | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NORMES | | | 17892-1 | 17892-12 | | | 17892-4 | | | 94-068 | 11-300 |
| **Sondage** | **Prof** (m) | **Nature** | **$W_n$** (%) | **$W_L$** (%) | **$W_P$** (%) | **$I_P$** (%) | % de passant **50mm** | **2mm** | **80µm** | **VBS** (-) | **GTR** (-) |
| R3 | 2,00 - 3,80 | Limon légèrement sablonneux | 21,54 | - | - | - | - | 99,5 | 97,3 | 2,26 | **A1** |

### Diagramme de classification GTR




### Courbe granulométrique



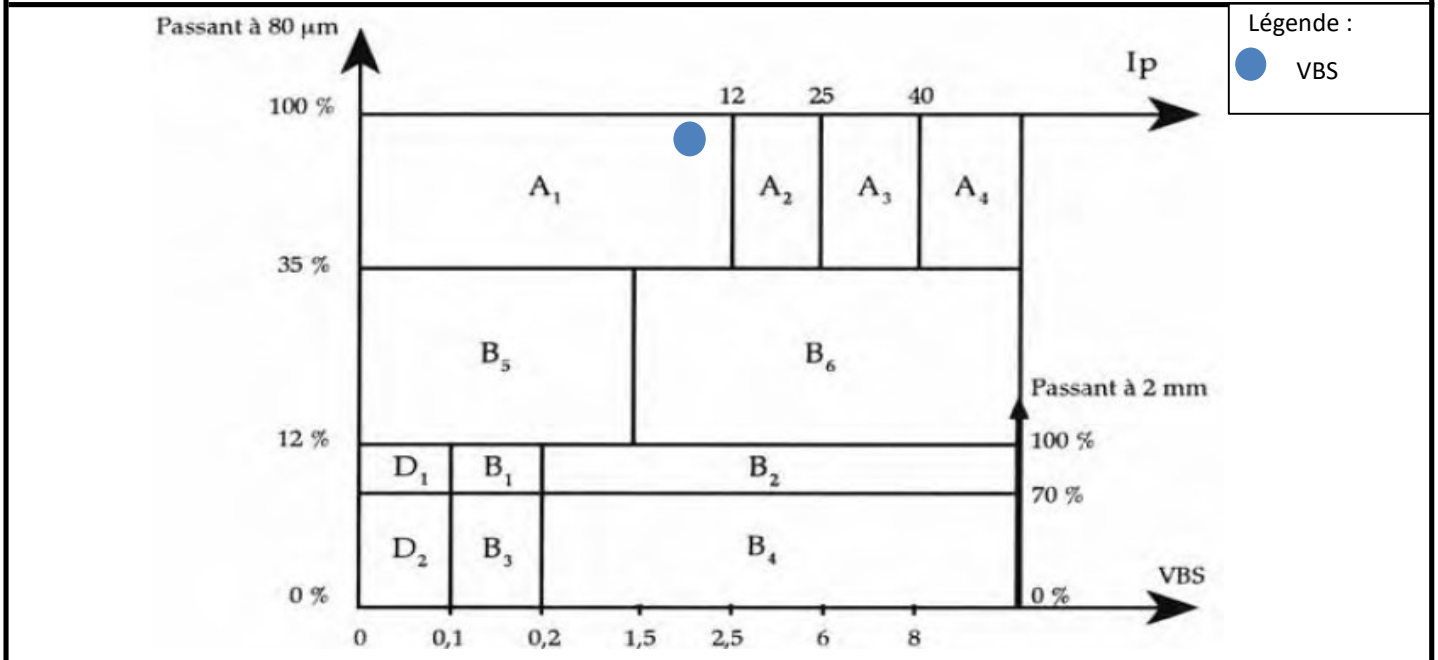
## SYNTHESE DES ESSAIS D'IDENTIFICATION

**Client :** SOGEPROM PROJECTIM
**Lieu :** BONDUES

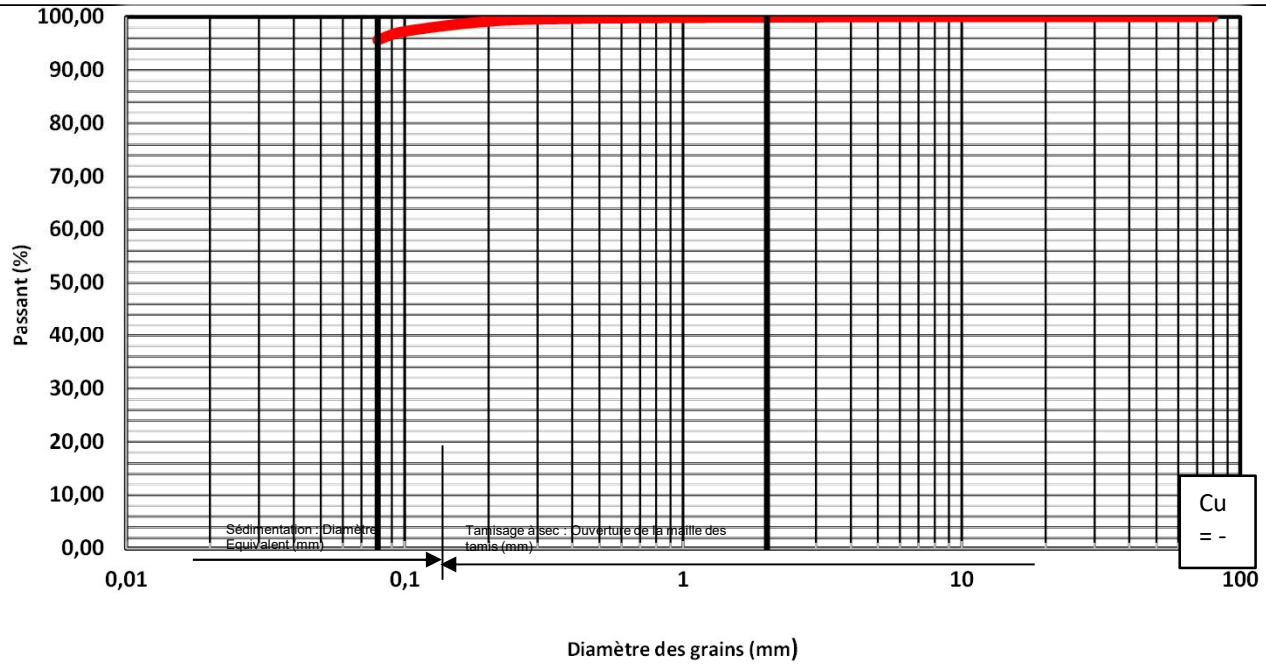
**Date :** 28/05/2025
**N° Affaire :** 2024.0247

| Essais en laboratoire | | | Teneur en eau | Limites d'Atterberg | | | Granulométrie par tamisage | | | Valeur au bleu | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NORMES | | | 17892-1 | 17892-12 | | | 17892-4 | | | 94-068 | 11-300 |
| **Sondage** | **Prof** (m) | **Nature** | **$W_n$** (%) | **$W_L$** (%) | **$W_P$** (%) | **$I_P$** (%) | % de passant **50mm** | **2mm** | **80µm** | **VBS** (-) | **GTR** (-) |
| PM8 | 0,20 - 0,90 | Limon | 18,77 | - | - | - | - | 99,9 | 95,7 | 2,25 | **A1** |

### Diagramme de classification GTR




### Courbe granulométrique



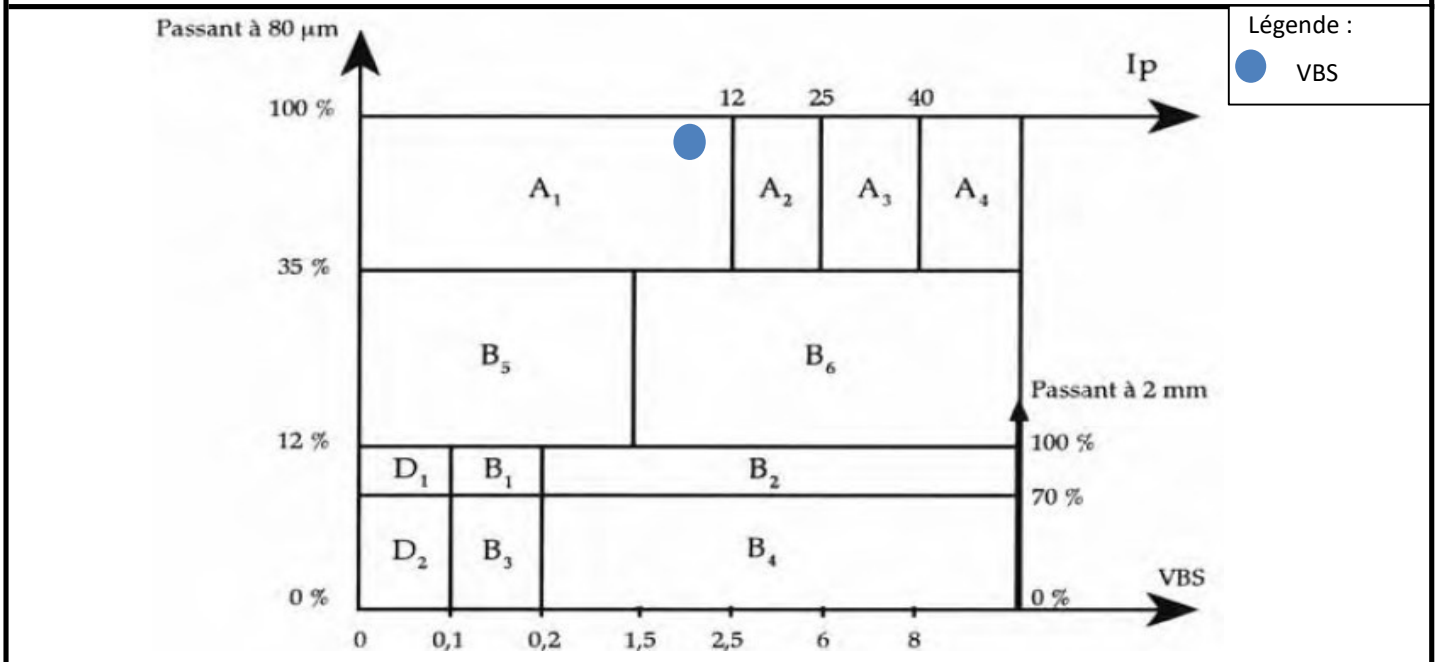
## SYNTHESE DES ESSAIS D'IDENTIFICATION

**Client :** SOGEPROM PROJECTIM
**Lieu :** BONDUES

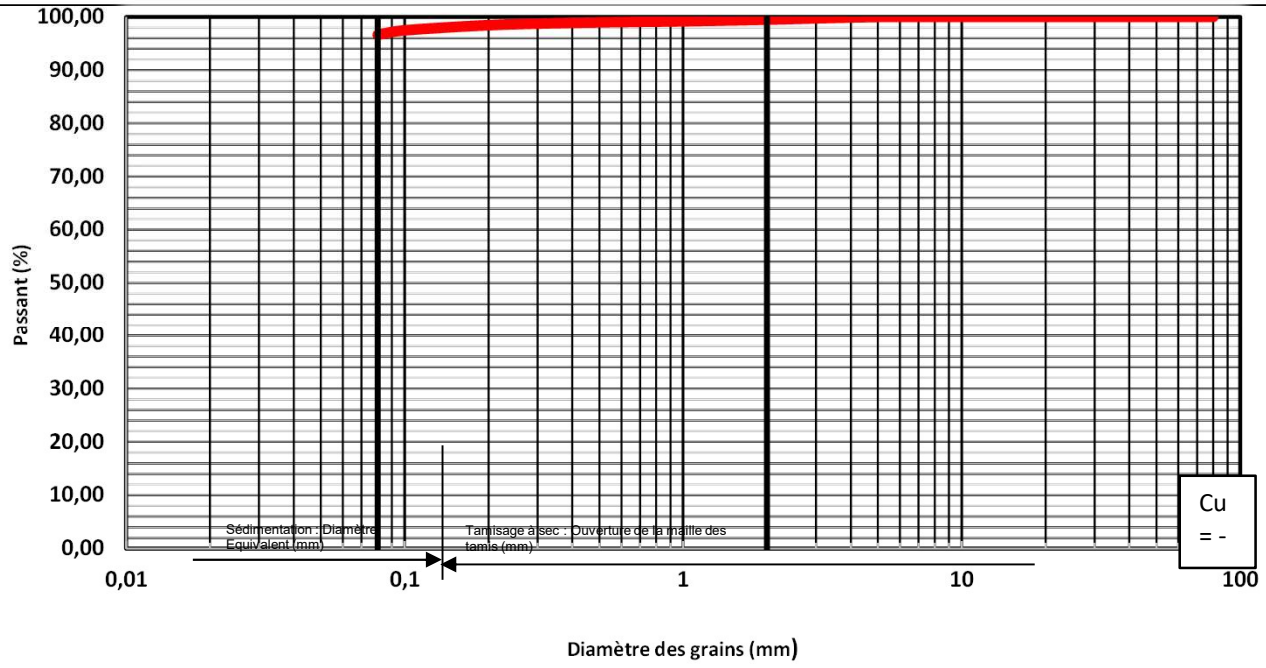
**Date :** 28/05/2025
**N° Affaire :** 2024.0247

| Essais en laboratoire | | | Teneur en eau | Limites d'Atterberg | | | Granulométrie par tamisage | | | Valeur au bleu | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NORMES | | | 17892-1 | 17892-12 | | | 17892-4 | | | 94-068 | 11-300 |
| **Sondage** | **Prof** (m) | **Nature** | **$W_n$** (%) | **$W_L$** (%) | **$W_P$** (%) | **$I_P$** (%) | % de passant **50mm** | **2mm** | **80µm** | **VBS** (-) | **GTR** (-) |
| PM10 | 0,40 - 1,30 | Limon | 19,34 | - | - | - | - | 99,5 | 96,6 | 2,22 | **A1** |

### Diagramme de classification GTR




### Courbe granulométrique



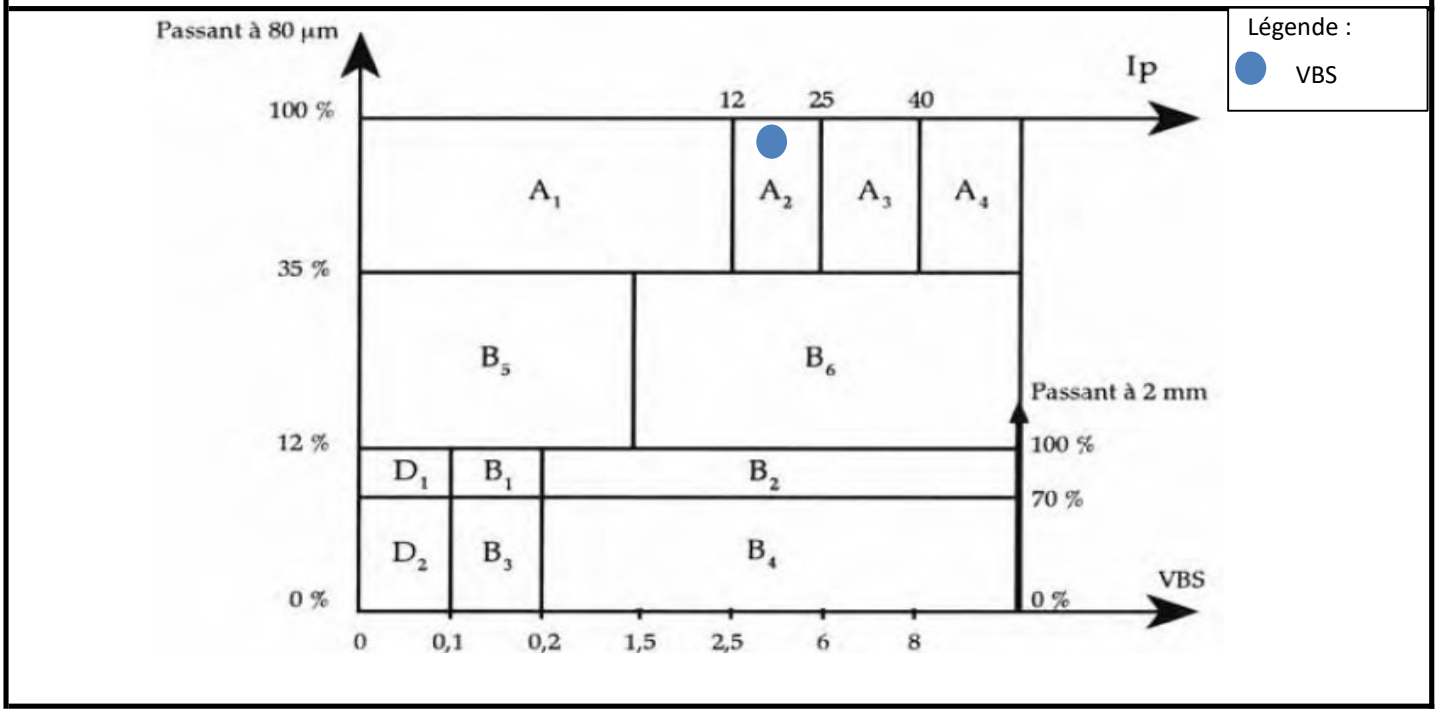
## SYNTHESE DES ESSAIS D'IDENTIFICATION

**Client :** SOGEPROM PROJECTIM
**Lieu :** BONDUES

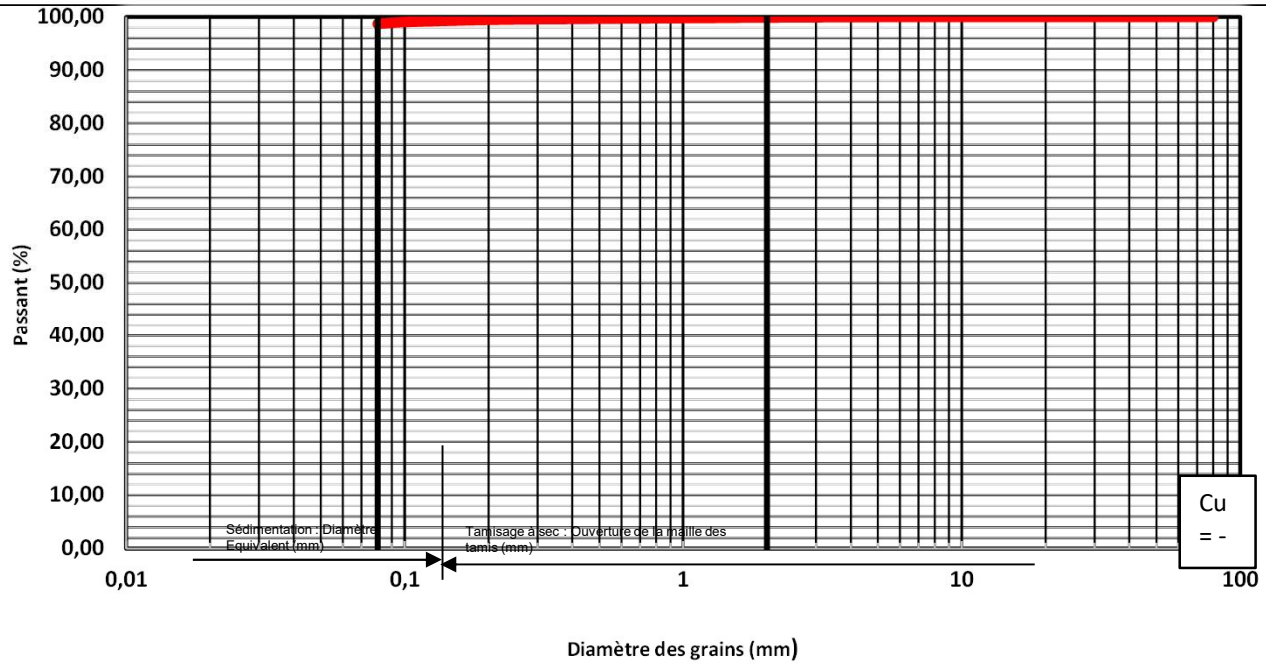
**Date :** 28/05/2025
**N° Affaire :** 2024.0247

| Essais en laboratoire | | | Teneur en eau | Limites d'Atterberg | | | Granulométrie par tamisage | | | Valeur au bleu | Classification |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NORMES | | | 17892-1 | 17892-12 | | | 17892-4 | | | 94-068 | 11-300 |
| **Sondage** | **Prof** (m) | **Nature** | **$W_n$** (%) | **$W_L$** (%) | **$W_P$** (%) | **$I_P$** (%) | % de passant **50mm** | **2mm** | **80µm** | **VBS** (-) | **GTR** (-) |
| PM11 | 0,30 - 1,30 | Limon légèrement argileux | 18,01 | - | - | - | - | 99,9 | 98,7 | 3,11 | **A2** |

### Diagramme de classification GTR




### Courbe granulométrique



# ANNEXE n°6 :
# Résultats des essais IPI et de traitement des sols à la chaux (PV RAMERY TP)

Ramery

Laboratoire

# *Identification des matériaux - Classification GTR des sols*
## *Poinçonnement CBR ou IPI*

**Chantier - Site :** **Bondues**
2025,0247
**Dossier N°:** Labo25080 **Date :** 19/05/2025
**Agence :** APOGEO

**Nature du matériau :** **Limon**
**Origine :** **APOGEO**
Référence échantillon : PM7 - PM9 - PM11 - PM12
Localisation :

Date d'essais : S20
Date prélèvement : -
Lieu de prélèvement :
Par : APOGEO

## Paramètres de compactage

| N° échantillon | | Energie | Indice | Wnat (%) | ρh (t/m³) | ρd (t/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **PM7** | Normale | IPI | **24,1** | **1,93** | **1,56** |
| 2 | **PM9** | Normale | IPI | **21,6** | **1,97** | **1,62** |
| 3 | **PM11** | Normale | IPI | **21,1** | **1,97** | **1,63** |

## Poinçonnement IPI ou CBR selon NF P 94-078

| N° échantillon | | Enfoncement (mm) | Lecture compacteur | Effort de pénétration (Kn) | IPI à $W_{nat}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **PM7** | E 2,5 | 17 | 0,3695 | 2,8 | **2,8** |
| | | E 5,0 | 25 | 0,5434 | 2,7 | |
| 2 | **PM9** | E 2,5 | 3 | 0,0652 | 0,5 | **0,7** |
| | | E 5,0 | 6 | 0,1314 | 0,7 | |
| 3 | **PM11** | E 2,5 | 6 | 0,1314 | 1,0 | **1,4** |
| | | E 5,0 | 13 | 0,2826 | 1,4 | |

## GTR - Etude de traitement de sol selon GTS

| N° & Type | Dosage (%) | | $W_{avant}$ (%) | ρh (t/m³) | ρd (t/m³) | $W_{moule}$ (%) | IPI (%) | Spec. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **PM12** | **CaO** | **1,5%** | 20,6 | 1,96 | 1,65 | 19,2 | **19,4** | **7 à 15 (A2)** |
| | **Indice CBR après immersion** | | | | $W_{moule}$ (%) | **i CBR xj (%)** | **G (%)** | **Spec.** |
| | Temps de cure : **4** jours | | | | 21,6 | **33,7** | **0,07** | **I $CBR_{im}$ / IPI > 1** |

Types d'essai : *Teneur en eau selon NF P 94-050*
*Essais Proctor OPN selon NF P 94-093 - Indice Portant Immédiat et CBR selon NF P 94-078*

Observations :

*Le technicien,*
**Candelier P.**

***Ramery Travaux Publics - Laboratoire***
334, rue de l'Alloeu - 59193 Erquinghem -Lys
Tél. 03 20 77 86 00 - Fax. 03 20 77 77 44 - www.ramery.fr

# ANNEXE n°7 :
# Résultats des essais de traitement à la chaux et au liant hydraulique (PV AGGERIS)

P.A. La Maladrerie – 7 rue des Charrons
59134 HERLIES
Tél.: 03.21.66.10.20

# Evaluation de l'aptitude au traitement
**NF P 94-100**

## Procés Verbal N° 250310

**Client : APOGEO**
N° Dossier : 25128
Affaire : BONDUES - 2025.0247 - SOGEPROM
Destinataire : M. Ergogan ILHAN
Date d'essais : 23/05/2025

**Nature : Limon argileux**
Repère : Mélange sondages PM10
Date de réception : 06/05/2025
N° d'enregistrement : 25064

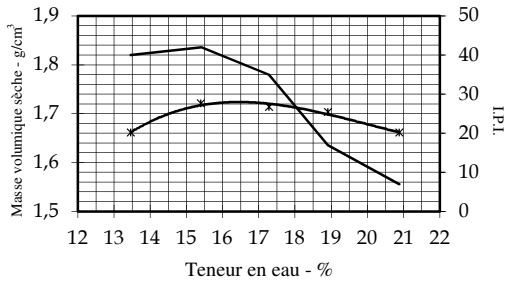
**IDENTIFICATION ET DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DE MISE EN ŒUVRE.**

- **Classifications :** * **selon NF P 11-300 (09/1992)**
  * **selon NF P 11-300 (01/2025)**
  ** Cf. laboratoire APOGEO*
  *TW nat 21,8 %*

- **Traitement :**
  - 1 % de Chaux TP90 Bocahut
  - 6 % de Rolac Optimum S41 Ecolabel

- **Référence :**
  Densité O.P.N. : 1,72 g/cm³ à 16,5 % d'eau (I.P.I. : 38)
  *TW avant traitement : 19 %*

**COURBE PROCTOR** - NF P 94-093 / NF P 94-078




*Type d'essai : proctor normal - moule CBR*

**EVALUATION DE L'APTITUDE AU TRAITEMENT** - NF P 94-100.

- **Gonflement volumique :**

| | |
|---|---|
| Mesuré après 4 heures d'immersion (%) 1) | - |
| Mesuré après 24 heures d'immersion (%) 1) | - |
| Mesuré après 7 jours d'immersion (%) | **0,2** |

1) *Facultatif*

- **Caractéristiques mécaniques :**

| | |
|---|---|
| Résistance en traction indirecte (Rit en MPa) | **0,32** |
| Module d'élasticité (Eit en MPa) 1) | *5653* |

1) *Facultatif*

**COMMENTAIRES.**
La valeur Rit issue de cet essai ne se substitue pas à une étude complète et ne doit pas être utilisée pour dimensionner une structure.

| **CRITERES** | | |
|---|---|---|
| Jugement | Gonflement - $GV_{7j}$ | Rit en MPa |
| **Adapté** | **< 5** | **> 0,2** |
| Douteux | 5 < $GV_{7j}$ % < 10 | 0,1< Rit < 0,2 |
| Inadapté | > 10 | < 0,1 |
| Aptitude au traitement : | **ADAPTE** | |

A Herlies, le 23/05/2025
R. RENOU

*F407-141.1*

Le présent rapport d'essai comporte une page unique. Il ne concerne que les objets soumis aux essais.Sauf autorisation préalable, il n'est utilisable à des fins commerciales ou publicitaires qu'en reproduction intégrale.

# ANNEXE n°8 :
# Résultats des essais d'agressivité vis-à-vis des bétons (PV EUROFINS)

EUROFINS ANALYSES POUR L'ENVIRONNEMENT FRANCE SAS

**APOGEO**
**Madame Laurie DEPIL**
Parc d'entreprises de la Motte au Bois
Rue Pierre Jacquart
62440 HARNES

# RAPPORT D'ANALYSE

## Dossier N° : 25E099048

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-122793-01

Version du : 17/06/2025

Date de réception technique : 27/05/2025
Première date de réception physique : 27/05/2025

Référence Dossier : N° Projet : 2025.0247/202105
Nom Projet : 2025.0247/202105
Nom Commande : CS329-01-001561/2025.0247/202105
Référence Commande : CS329-01-001561/2025.0247/202105

Coordinateur de Projets Clients : Marion Baumgarten / MarionBaumgarten@eurofins.com / +33 3 88 91 19 11

| N° Ech | Matrice | | Référence échantillon |
|---|---|---|---|
| 001 | Eau souterraine | (ESO) | PZ1 |
| 002 | Eau souterraine | (ESO) | PZ2 |



ACCREDITATION
N° 1- 1488
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

EUROFINS ANALYSES POUR L'ENVIRONNEMENT FRANCE SAS

# RAPPORT D'ANALYSE

## Dossier N° : 25E099048

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-122793-01

Version du : 17/06/2025

Date de réception technique : 27/05/2025

Première date de réception physique : 27/05/2025

Référence Dossier : N° Projet : 2025.0247/202105

Nom Projet : 2025.0247/202105

Nom Commande : CS329-01-001561/2025.0247/202105

Référence Commande : CS329-01-001561/2025.0247/202105

| N° Echantillon | | 001 | 002 |
|---|---|---|---|
| Référence client : | | PZ1 | PZ2 |
| Matrice : | | ESO | ESO |
| Date de prélèvement : | | 26/05/2025 | 26/05/2025 |
| Date de début d'analyse : | | 27/05/2025 | 27/05/2025 |
| **Préparation Physico-Chimique** | | | |
| LS025 : **Filtration 0.45 µm** | | Effectuée | Effectuée |
| **Analyses immédiates** | | | |
| LS001 : **Mesure du pH** | | | |
| pH | | * 7.3 | * 7.4 |
| Température | °C | 18.8 | 19.0 |
| JI020 : **Titre Alcalimétrique Complet (TAC)** | ° f | * 40.1 | * 40.5 |
| LS028 : **Anhydride carbonique (CO2) agressif** | mg/l | 0.00 | 0.00 |
| **Indices de pollution** | | | |
| LS02L : **Azote Nitrique / Nitrates (NO3)** | | | |
| Nitrates | mg NO3/l | * 65.7 | * 1.10 |
| Azote nitrique | mg N-NO3/l | * 14.85 | * 0.25 |
| LS02I : **Chlorures (Cl)** | mg/l | * 57.5 | * 15.6 |
| LS02R : **Ammonium** | mg NH4/l | * 1.93 | * 0.16 |
| LS02Z : **Sulfates (SO4)** | mg/l | * 57.5 | * 87.3 |
| LSRDB : **Classe d'agressivité selon NF EN 206** | | <XA1 | <XA1 |
| **Métaux** | | | |
| LS206 : **Magnésium (Mg) dissous** | mg/l | * 22.3 | * 23.1 |
| LS204 : **Calcium (Ca) dissous** | mg/l | * 191 | * 165 |
| LS207 : **Potassium (K) dissous** | mg/l | * 1.79 | * 1.37 |
| LS208 : **Sodium (Na) dissous** | mg/l | * 15.2 | * 13.8 |



ACCREDITATION
N° 1- 1488
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

EUROFINS ANALYSES POUR L'ENVIRONNEMENT
FRANCE SAS

# RAPPORT D'ANALYSE

## Dossier N° : 25E099048

Version du : 17/06/2025

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-122793-01

Date de réception technique : 27/05/2025
Première date de réception physique : 27/05/2025

Référence Dossier : N° Projet : 2025.0247/202105
Nom Projet : 2025.0247/202105
Nom Commande : CS329-01-001561/2025.0247/202105
Référence Commande : CS329-01-001561/2025.0247/202105

| Observations | N° d'échantillon | Référence client |
|---|---|---|
| Spectrophotométrie visible automatisée : l'analyse a été réalisée sur l'échantillon filtré à 0.45µm. | (001) (002) | PZ1 / PZ2 / |



Gilles Lacroix
Chef de Service Coord. Projets Clients

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 5 page(s). Le présent rapport ne concerne que les objets soumis à l'essai. Les résultats et conclusions éventuelles s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu. Les données transmises par le client pouvant affecter la validité des résultats (la date de prélèvement, la matrice, la référence échantillon et autres informations identifiées comme provenant du client), ne sauraient engager la responsabilité du laboratoire.
Seules certaines prestations rapportées dans ce document sont couvertes par l'accréditation. Elles sont identifiées par le symbole *.

Les résultats précédés du signe < correspondent aux limites de quantification, elles sont la responsabilité du laboratoire et fonction de la matrice.
Tous les éléments de traçabilité et incertitude (déterminée avec k = 2) sont disponibles sur demande.

EUROFINS ANALYSES POUR L'ENVIRONNEMENT FRANCE SAS

# Annexe technique

## Dossier N° :25E099048

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-122793-01

Emetteur : Madame Laurie DEPIL

Commande EOL : 006-10514-1312488

Nom projet : N° Projet : 2025.0247/202105
2025.0247/202105
Nom Commande : CS329-01-001561/2025.0247/202105

Référence commande :
CS329-01-001561/2025.0247/202105

## Eau souterraine

| Code | Analyse | Principe et référence de la méthode | LQI | Incertitude à la LQ | Unité | Prestation réalisée sur le site de : |
|---|---|---|---|---|---|---|
| JI020 | Titre Alcalimétrique Complet (TAC) | Spectrophotométrie (UV/VIS) - Méthode interne - Méthode interne - Méthode interne | 0.5 | 30% | ° f | Eurofins Analyses pour l'Environnemen France |
| LS001 | Mesure du pH | Potentiométrie - NF EN ISO 10523 | | | | |
| | pH | | | | | |
| | Température | | | | °C | |
| LS025 | Filtration 0.45 µm | Filtration - Méthode interne | | | | |
| LS028 | Anhydride carbonique (CO2) agressif | Calcul - Calcul | | | mg/l | |
| LS02I | Chlorures (Cl) | Spectrophotométrie (UV/VIS) [Spectrophotométrie visible automatisée] - NF EN ISO 15923-1 | 1 | 30% | mg/l | |
| LS02L | Azote Nitrique / Nitrates (NO3) | Spectrophotométrie (UV/VIS) [Spectrophotométrie visible automatisée ] - NF EN ISO 15923-1 | | | | |
| | Nitrates | | 1 | 35% | mg NO3/l | |
| | Azote nitrique | | 0.2 | 35% | mg N-NO3/l | |
| LS02R | Ammonium | Spectrophotométrie (UV/VIS) - NF EN ISO 15923-1 | 0.05 | 22% | mg NH4/l | |
| LS02Z | Sulfates (SO4) | Spectrophotométrie (UV/VIS) [Spectrophotométrie visible automatisée] - NF EN ISO 15923-1 | 5 | 20% | mg/l | |
| LS204 | Calcium (Ca) dissous | ICP/AES - NF EN ISO 11885 | 1 | 30% | mg/l | |
| LS206 | Magnésium (Mg) dissous | | 0.01 | 30% | mg/l | |
| LS207 | Potassium (K) dissous | | 0.1 | 40% | mg/l | |
| LS208 | Sodium (Na) dissous | | 0.05 | 35% | mg/l | |
| LSRDB | Classe d'agressivité selon NF EN 206 | Calcul - Calcul | | | | |

EUROFINS ANALYSES POUR L'ENVIRONNEMENT FRANCE SAS

# Annexe de traçabilité des échantillons

*Cette traçabilité recense les flaconnages des échantillons scannés dans EOL sur le terrain avant envoi au laboratoire*

## Dossier N° : 25E099048

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-122793-01

Emetteur :

Commande EOL : 006-10514-1312488

Nom projet : N° Projet : 2025.0247/202105
2025.0247/202105
Nom Commande : CS329-01-001561/2025.0247/202105

Référence commande :
CS329-01-001561/2025.0247/202105

### Eau souterraine

| N° Ech | Référence Client | Date & Heure Prélèvement | Date de Réception Physique (1) | Date de Réception Technique (2) | Code-Barre | Nom Flacon |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 001 | PZ1 | 26/05/2025 12:25:00 | 27/05/2025 | 27/05/2025 | +P01HS1142 | Flaconnage non reconnu |
| 001 | PZ1 | 26/05/2025 12:25:00 | 27/05/2025 | 27/05/2025 | +P02GO2538 | Flaconnage non reconnu |
| 001 | PZ1 | 26/05/2025 12:25:00 | 27/05/2025 | 27/05/2025 | +P040242654 | Flaconnage non reconnu |
| 001 | PZ1 | 26/05/2025 12:25:00 | 27/05/2025 | 27/05/2025 | +V020762003 | Flaconnage non reconnu |
| 001 | PZ1 | 26/05/2025 12:25:00 | 27/05/2025 | 27/05/2025 | P01HS1110 | 100mL PE |
| 002 | PZ2 | 26/05/2025 12:26:00 | 27/05/2025 | 27/05/2025 | +P01HS1128 | Flaconnage non reconnu |
| 002 | PZ2 | 26/05/2025 12:26:00 | 27/05/2025 | 27/05/2025 | +P02HO1220 | Flaconnage non reconnu |
| 002 | PZ2 | 26/05/2025 12:26:00 | 27/05/2025 | 27/05/2025 | +P040242648 | Flaconnage non reconnu |
| 002 | PZ2 | 26/05/2025 12:26:00 | 27/05/2025 | 27/05/2025 | +V020761978 | Flaconnage non reconnu |
| 002 | PZ2 | 26/05/2025 12:26:00 | 27/05/2025 | 27/05/2025 | P01HS1107 | 100mL PE |

(1) : Date à laquelle l'échantillon a été réceptionné au laboratoire.
Lorsque l'information n'a pas pu être récupérée, cela est signalé par la mention N/A (non applicable).

(2) : Date à laquelle le laboratoire disposait de toutes les informations nécessaires pour finaliser l'enregistrement de l'échantillon.

EUROFINS ANALYSES POUR L'ENVIRONNEMENT FRANCE SAS

**APOGEO**
**Monsieur Timothée LECLERCQ**
Parc d'entreprises de la Motte au Bois
Rue Pierre Jacquart
62440 HARNES

# RAPPORT D'ANALYSE

## Dossier N° : 25E109217

Version du : 24/06/2025

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-129780-01

Date de réception technique : 11/06/2025
Première date de réception physique : 11/06/2025

Référence Dossier : N° Projet : 2025.0274 - 202105
Nom Projet : 2025.0274 - 202105
Nom Commande : 2025.0274 - 202105 - CS329-01-001572
Référence Commande : 2025.0274 - 202105 - CS329-01-001572

Coordinateur de Projets Clients : Marion Baumgarten / MarionBaumgarten@eurofins.com / +33 3 88 91 19 11

| N° Ech | Matrice | | Référence échantillon |
|---|---|---|---|
| 001 | Sol | (SOL) | R1 1.00-2.00 |
| 002 | Sol | (SOL) | R2 1.00-2.00 |



ACCREDITATION
N° 1- 1488
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

EUROFINS ANALYSES POUR L'ENVIRONNEMENT FRANCE SAS

# RAPPORT D'ANALYSE

## Dossier N° : 25E109217

Version du : 24/06/2025

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-129780-01

Date de réception technique : 11/06/2025
Première date de réception physique : 11/06/2025

Référence Dossier : N° Projet : 2025.0274 - 202105
Nom Projet : 2025.0274 - 202105
Nom Commande : 2025.0274 - 202105 - CS329-01-001572
Référence Commande : 2025.0274 - 202105 - CS329-01-001572

| N° Echantillon | | 001 | 002 |
|---|---|---|---|
| Référence client : | | R1 1.00-2.00 | R2 1.00-2.00 |
| Matrice : | | SOL | SOL |
| Date de prélèvement : | | 10/06/2025 | 10/06/2025 |
| Date de début d'analyse : | | 12/06/2025 | 12/06/2025 |
| **Préparation Physico-Chimique** | | | |
| ZS00U : **Prétraitement et séchage à 40°C** | | * Fait | * Fait |
| LS896 : **Matière sèche** | % P.B. | * 82.1 | * 82.3 |
| **Métaux** | | | |
| ZS09F : **Minéralisation HCl** | | Fait | Fait |
| **Agressivité du sol vis-à-vis du béton** | | | |
| ZS8IA : **Degré d'acidité des sols selon BAUMANN GULLY** | ml/kg M.S. | <20 | 66 |
| ZS18C : **Classe d'agressivité** | | | |
| Sulfates solubles à l'acide selon NF EN 11885 | mg/kg M.S. | 119 | 150 |
| Classe d'agressivité selon NF EN 206-1 | | <XA1 | <XA1 |

| Observations | N° d'échantillon | Référence client |
|---|---|---|
| La conformité relative à la température relevée à réception des échantillons n'est pas remplie. | (001) (002) | R1 1.00-2.00 / R2 1.00-2.00 / |



ACCREDITATION
N° 1- 1488
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

EUROFINS ANALYSES POUR L'ENVIRONNEMENT
FRANCE SAS

# RAPPORT D'ANALYSE

## Dossier N° : 25E109217

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-129780-01

Version du : 24/06/2025

Date de réception technique : 11/06/2025
Première date de réception physique : 11/06/2025

Référence Dossier : N° Projet : 2025.0274 - 202105
Nom Projet : 2025.0274 - 202105
Nom Commande : 2025.0274 - 202105 - CS329-01-001572
Référence Commande : 2025.0274 - 202105 - CS329-01-001572



Gilles Lacroix
Chef de Service Coord. Projets Clients

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 5 page(s). Le présent rapport ne concerne que les objets soumis à l'essai. Les résultats et conclusions éventuelles s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu. Les données transmises par le client pouvant affecter la validité des résultats (la date de prélèvement, la matrice, la référence échantillon et autres informations identifiées comme provenant du client), ne sauraient engager la responsabilité du laboratoire.
Seules certaines prestations rapportées dans ce document sont couvertes par l'accréditation. Elles sont identifiées par le symbole *.

Les résultats précédés du signe < correspondent aux limites de quantification, elles sont la responsabilité du laboratoire et fonction de la matrice.
Tous les éléments de traçabilité et incertitude (déterminée avec k = 2) sont disponibles sur demande.

EUROFINS ANALYSES POUR L'ENVIRONNEMENT FRANCE SAS

# Annexe technique

## Dossier N° :25E109217

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-129780-01

Emetteur : Monsieur Timothée LECLERCQ

Commande EOL : 006-10514-1318180

Nom projet : N° Projet : 2025.0274 - 202105
2025.0274 - 202105
Nom Commande : 2025.0274 - 202105 - CS329-01-001572

Référence commande : 2025.0274 - 202105 - CS329-01-001572

## Sol

| Code | Analyse | Principe et référence de la méthode | LQI | Incertitude à la LQ | Unité | Prestation réalisée sur le site de : |
|---|---|---|---|---|---|---|
| LS896 | Matière sèche | Gravimétrie - NF ISO 11465 | 0.1 | 5% | % P.B. | Eurofins Analyses pour l'Environnemen France |
| ZS00U | Prétraitement et séchage à 40°C | Séchage [sur la totalité de l'échantillon sauf mention contraire] - NF EN 16179 | | | | |
| ZS09F | Minéralisation HCl | Digestion acide - Adapté de NF EN 1744-1&12 | | | | |
| ZS18C | Classe d'agressivité<br>Sulfates solubles à l'acide selon NF EN 11885<br>Classe d'agressivité selon NF EN 206-1 | Calcul - Classe d'exposition NF EN 206-1 Annexe C | | | mg/kg M.S. | |
| ZS8IA | Degré d'acidité des sols selon BAUMANN GULLY | Titrimétrie [Extraction solide-liquide puis titrage acido-basique] - EN 16502 | 20 | | ml/kg M.S. | |

EUROFINS ANALYSES POUR L'ENVIRONNEMENT FRANCE SAS

# Annexe de traçabilité des échantillons

*Cette traçabilité recense les flaconnages des échantillons scannés dans EOL sur le terrain avant envoi au laboratoire*

## Dossier N° : 25E109217

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-129780-01

Emetteur :

Commande EOL : 006-10514-1318180

Nom projet : N° Projet : 2025.0274 - 202105
2025.0274 - 202105
Nom Commande : 2025.0274 - 202105 - CS329-01-001572

Référence commande : 2025.0274 - 202105 - CS329-01-001572

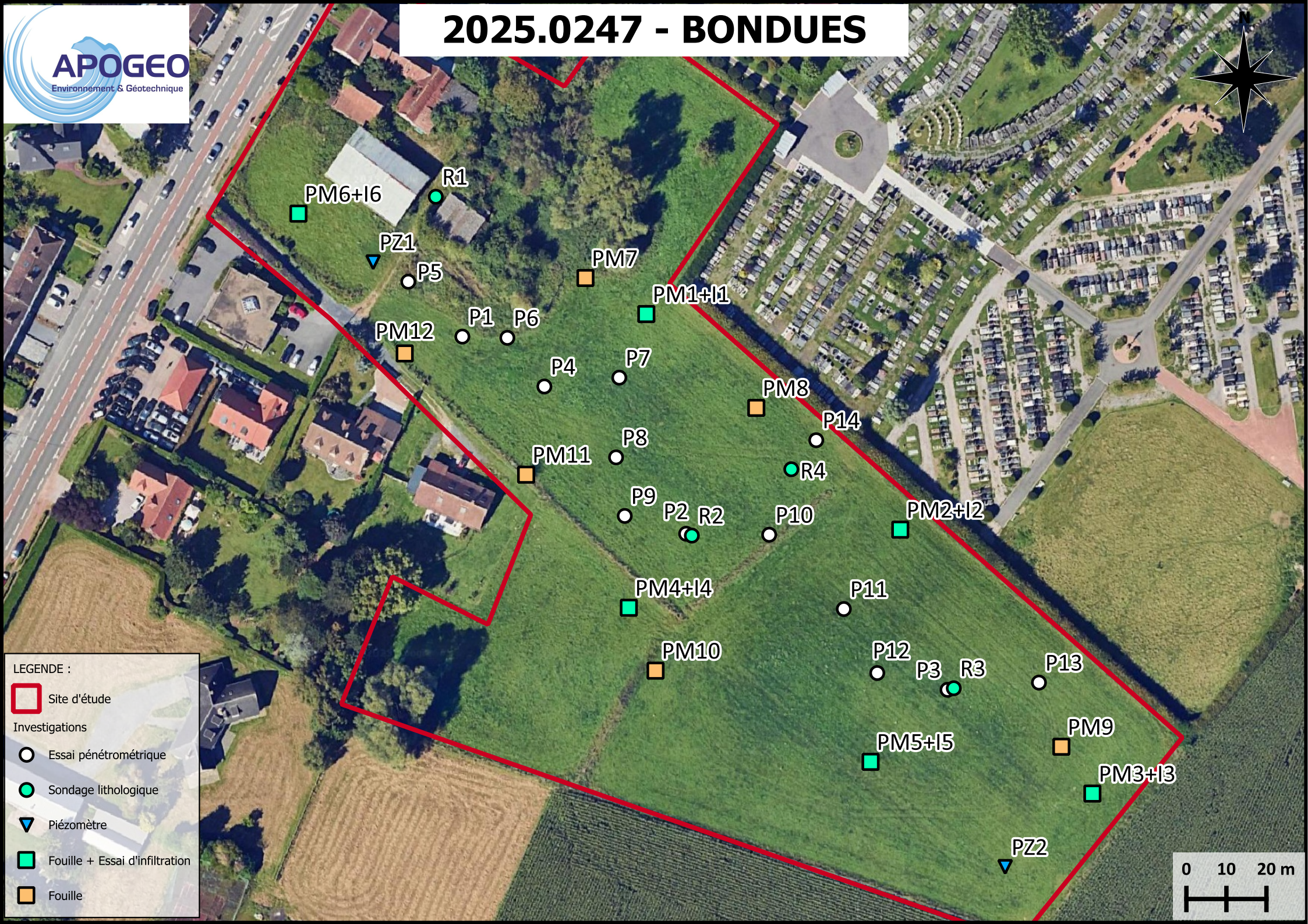
### Sol

| N° Ech | Référence Client | Date & Heure Prélèvement | Date de Réception Physique (1) | Date de Réception Technique (2) | Code-Barre | Nom Flacon |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 001 | R1 1.00-2.00 | 10/06/2025 09:43:00 | 11/06/2025 | 11/06/2025 | P09638268 | Seau Lixi |
| 002 | R2 1.00-2.00 | 10/06/2025 09:43:00 | 11/06/2025 | 11/06/2025 | P09638269 | Seau Lixi |

(1) : Date à laquelle l'échantillon a été réceptionné au laboratoire.
Lorsque l'information n'a pas pu être récupérée, cela est signalé par la mention N/A (non applicable).

(2) : Date à laquelle le laboratoire disposait de toutes les informations nécessaires pour finaliser l'enregistrement de l'échantillon.

# ANNEXE n°9 :
# Plans d'implantation des reconnaissances


2025.0247 - BONDUES
APOGEO
Environnement & Géotechnique
N
R1
PM6+I6
PZ1
P5
PM7
PM1+I1
P1
P6
PM12
P4
P7
PM8
P14
P8
PM11
R4
P9
P2
R2
P10
PM2+I2
PM4+I4
P11
PM10
P12
P3
R3
P13
PM9
PM5+I5
PM3+I3
PZ2
LEGENDE :
Site d'étude
Investigations
Essai pénétrométrique
Sondage lithologique
Piézomètre
Fouille + Essai d'infiltration
Fouille
0
10
20 m


2025.0247 - BONDUES
APOGEO
Environnement & Géotechnique
N
R1
PM6+I6
PZ1
P5
PM7
PM1+I1
PM12
P1
P6
P4
P7
PM8
P14
PM11
P8
R4
P9
P2
R2
P10
PM2+I2
PM4+I4
P11
PM10
P12
R3
P13
P3
PM5+I5
PM9
PM3+I3
PZ2
PLOT A
PLOT B
PLOT C
LEGENDE :
Site d'étude
Investigations
Essai pénétrométrique
Sondage lithologique
Piézomètre
Fouille + Essai d'infiltration
Fouille
0
25
50 m