ETIXIA

HEM (59)
RUE DU CALVAIRE

PROJET DE CONSTRUCTION DE BATIMENTS D'ACTIVITE, LOISIRS, RESTAURATION ET BUREAUX

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

APOGEO
Environnement & Géotechnique

RAPPORT

RFE2024.0536.G2AVP.V01

Mars 2025

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

ETIXIA

HEM (59)
RUE DU CALVAIRE

PROJET DE CONSTRUCTION DE BATIMENTS D'ACTIVITE, LOISIRS, RESTAURATION ET BUREAUX

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

Nature document	RAPPORT		
Référence document	RFE2024.0536.G2AVP.V01	**Date**	20/03/2025
Version	V01	**Modifications**	-
Etude géotechnique			
Rédacteur	Jean CARPENTIER	**Fonction**	Chargé d'études géotechniques
Relecteur	Jean-Michel VAILLANT	**Fonction**	Directeur
Codification selon la norme NF P 94 500	G2-AVP		
Destinataire			

Société	ETIXIA	**Interlocuteurs @**	Mme Claire COQUEBLIN claire.coqueblin@etixia.com Mr Eric BOULANGER eric.boulanger@etixia.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 8
   1.5. Description du site 9
2. ENQUETE DOCUMENTAIRE 10
   2.1. Consultation des photographies aériennes 10
   2.2. Contexte géologique 16
   2.3. Aléas (site www.georisques.gouv.fr) 16
   2.4. Etude d'archives 18
3. INVESTIGATIONS 20
   3.1. Reconnaissance sur le site 20
   3.2. Essais en laboratoire 23
4. ANALYSE DES RESULTATS 25
   4.1. Géologie et géotechnique 25
   4.2. Données hydrogéologiques 27
   4.3. Contexte sismique 28
   4.4. Résultats des mesures physico-chimiques 29
   4.5. Etude de traitement des sols 29
5. MODELE DE TERRAIN 30
6. CONCLUSIONS – Etude géotechnique G2 AVP 31
   6.1. Préconisations générales préalables 31
   6.2. Démolition des existants 31
   6.3. Remblaiement du sous-sol 32

6.4. Fondations profondes par pieux 33
6.4.1. Préconisations générales 33
6.4.2. Paramètre de portance « pieux forés tarière creuse » 33
6.4.3. Coefficients de modèle 35
6.4.4. Relation fiches/portances des pieux 36

6.5. Fondations superficielles associées à un renforcement de sol 40
6.5.1. Préconisations générales 40
6.5.2. Modèle terrain 40
6.5.3. Portance des inclusions rigides 41
6.5.4. Conditions d'exécution du renforcement 43
6.5.5. Contrôles 43
6.5.6. Dimensionnement des semelles et des massifs 43
6.5.7. Conditions d'exécution des semelles et des massifs 44

6.6. Conception des niveaux bas 44

6.7. Conception de la voirie et des parkings 47
6.7.1. Gestion des eaux 47
6.7.2. Partie Supérieure des Terrassements (P.S.T.) 47
6.7.3. Prédimensionnement de la couche de forme 48

7. REMARQUES GENERALES 50

FIGURES

Figure 1 : Plan de situation 8
Figure 2 : Plan de masse du projet 9
Figures 3a à 3i : Photographies du site d'étude (janvier 2025) 10
Figure 4 : Photographies aériennes anciennes 15
Figure 5 : Extrait de la carte géologique de LILLE au 1/50 000 16
Figure 6 : Carte d'aléa remontée de nappe 17
Figure 7 : Carte de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux 17
Figure 8 : Plan de localisation des études géotechniques réalisées dans un rayon de 1000 m 18
Figures 9a et 9b : Plan du sous-sol de l'existant / Impact du sous-sol existant sur le projet 32

TABLEAUX

Tableau 1 : Eléments transmis 7
Tableau 2 : Synthèse des principales observations 15
Tableau 3 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2019.0048 18
Tableau 4 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2020.0769 19
Tableau 5 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2022.0082 19
Tableau 6 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2023.0217 19
Tableau 7 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2020.0769 19
Tableaux 8a et 8b : Profondeurs des essais au pénétromètre statique 21
Tableaux 9a à 9f : Altimétrie des points d'investigation 23
Tableau 10 : Niveau d'eau non stabilisé relevé au droit des investigations réalisées 27
Tableau 11 : Perméabilité des sols limoneux superficiels 28
Tableau 12 : Perméabilités des sols argilo-sableux superficiels 28
Tableau 13 : Résultats des analyses physico-chimiques 29
Tableau 14 : Modèle de terrain – Zone Sud-Ouest 30
Tableau 15 : Modèle de terrain – Zone Centrale 30
Tableau 16 : Modèle de terrain – Zone Est 30
Tableau 17 : Modèle Sud-Ouest pour l'évaluation de l'effort limite par frottement axial (R_S) – Pieu FTC 33
Tableau 18 : Modèle Centrale pour l'évaluation de l'effort limite par frottement axial (R_S) – Pieu FTC 34
Tableau 19 : Modèle Est pour l'évaluation de l'effort limite par frottement axial (R_S) – Pieu FTC 34
Tableau 20 : Paramètres de portance en pointe des pieux (R_b) – Zone Sud-Ouest 35
Tableau 21 : Paramètres de portance en pointe des pieux (R_b) – Zone Centrale 35
Tableau 22 : Paramètres de portance en pointe des pieux (R_b) – Zone Est 35
Tableau 23 : Capacité portante des pieux de diamètre Ø 52 cm – Zone Sud-Ouest 36
Tableau 24 : Capacité portante des pieux de diamètre Ø 72 cm – Zone Sud-Ouest 36
Tableau 25 : Capacité portante des pieux de diamètre Ø 52 cm – Zone Centrale 37
Tableau 26 : Capacité portante des pieux de diamètre Ø 72 cm – Zone Centrale 37
Tableau 27 : Capacité portante des pieux de diamètre Ø 52 cm – Zone Est 38
Tableau 28 : Capacité portante des pieux de diamètre Ø 72 cm – Zone Est 38
Tableau 29 : Prédimensionnement des inclusions – Zone Sud-Ouest 41
Tableau 30 : Prédimensionnement des inclusions – Zone Centrale 42

Tableau 31 : Prédimensionnement des inclusions – Zone Est 42
Tableau 32 : Maquette géotechnique – Dallage zone Centrale 45
Tableau 33 : Maquette géotechnique – Dallage zone Est 46
Tableau 34 : Evaluations des tassements – Dallage 46

ANNEXES

ANNEXE n°1 : Missions d'ingénierie géotechnique normalisées

ANNEXE n°2 : Coupes des sondages pressiométriques

ANNEXE n°3 : Diagrammes des essais au pénétromètre statique

ANNEXE n°4 : Diagrammes des essais au pénétromètre dynamique lourd et sondage lithologique associé

ANNEXE n°5 : Coupes des sondages lithologiques

ANNEXE n°6 : Coupe du piézomètre

ANNEXE n°7 : Coupe des fouilles à la pelle et des essais d'infiltration à la fosse

ANNEXE n°8 : Essai d'infiltration de type « Lefranc »

ANNEXE n°9 : Feuilles d'identification géotechnique des sols

ANNEXE n°10 : Résultats d'agressivité vis-à-vis des bétons (PV EUROFINS)

ANNEXE n°11 : 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.

Selon cette même norme et en référence à la commande qui nous a été passée, cette étude sera complétée 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 cotes NGF) d'une part et après démolition des existants sur le site d'autre part.

En outre, l'étude G2 PRO sera réalisée sur la base d'investigations complémentaires (des essais au pénétromètre statique, des sondages lithologiques et des fouilles à la pelle mécanique) prévues après démolition des existants en interférence avec le projet.

Une étude de supervision et suivi d'exécution G4 sera également réalisée.

Une étude des niveaux caractéristiques de la nappe, un suivi piézométrique sur une durée de 12 mois ainsi que la déclaration d'un piézomètre au titre de la loi sur l'eau sont en cours de réalisation par notre service Hydrogéologie.

Une étude de diagnostic de pollution des sols INFOS & DIAG et en cours de réalisation par notre service SSP (sites et sols pollués) selon la norme NFX 31-620.

1.2. Intervenants

Maître d'ouvrage : ETIXIA

Commande : ETIXIA, du 18 décembre 2024

Proposition : APOGEO/MEURISSE du 6 décembre 2024 (référencée « ODS2024.0536.V03 »)

1.3. Documents de travail

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

Document	Date	Expéditeur
Dossier de consultation	21/08/2024	EXITIA
Plan topographique	04/09/2024	''
Expertise écologique – Orchidées	18/09/2024	''
Préconisations pour etudes geotechniques G2-AVP et PRO	29/10/2024	''
Plan des réseaux	25/01/2025	''

Tableau 1 : Eléments transmis

1.4. Données du projet

Le projet prévoit la déconstruction totale du bâtiment et infrastructures actuellement en place, afin de permettre la construction de bâtiments d'activité, de loisirs, de restauration et de bureaux selon un phasage défini permettant notamment le transfert d'espèces végétales protégées (orchidées).

Le type de bâtiment mis en place seront en R+3 sans sous-sol pour les bureaux et en R+1 sans sous-sol pour ceux de restauration, loisirs et d'activités, localisé rue du calvaire à HEM (59).

Il est également prévu la création de voiries légère et lourde ainsi que parkings VL et quai de déchargement.

D'après le relevé altimétrique des investigations réalisées sur site ainsi que le plan topographique transmis par le client, le niveau du terrain actuel du site d'étude varie entre les cotes +27,45 et +33,4 m NGF, ce qui traduit une légère déclivité de l'Est à l'Ouest.

Les niveaux bas des ouvrages ainsi que les descentes de charges ne nous ont pas été communiquées pour la rédaction de ce rapport.

Les niveaux finis des rez des ouvrages projetés sont considérés ici comme étant calés au plus près du terrain actuel au stade avant-projet.



Figure 1 : Plan de situation

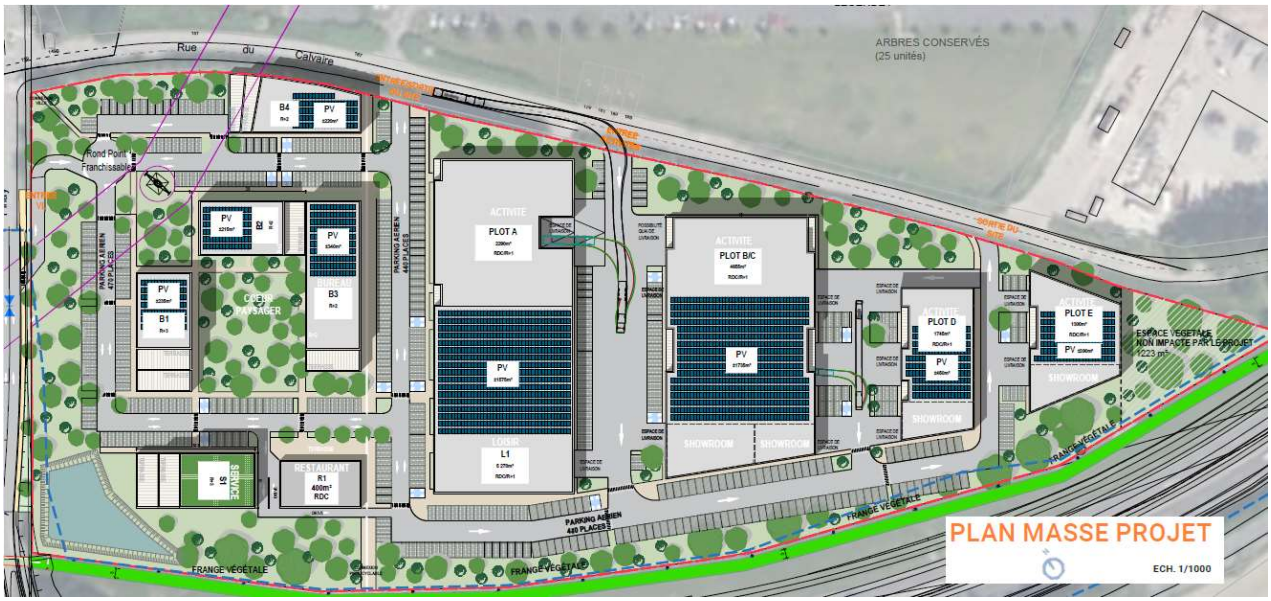


Figure 2 : Plan de masse du projet

1.5. Description du site

Une visite de site initiale a été effectuée le 13 septembre 2024 par nos soins. Lors de cette visite, il a été constaté que :

- Le site est occupé par un bâtiment dont on remarque la présence d'un sous-sol ;
- Un parking est présent à l'Est accompagné de buttes de terre ;
- Des talus de terre sont également présents à l'extrême Est ;
- Le reste de la zone d'étude est principalement en enrobé, à l'exception la partie Sud-Ouest qui est une partie enherbée et arborée.

Le site était, en partie, boisé et donc difficile d'accès à nos ateliers de forage sans aménagement préalables, mais une majeure partie de la zone est accessible.

Une zone adjacente au bâtiment existant, située au nord, était inaccessible à nos machines de forage en raison de la présence de talus arborés limitant l'accès. Toutefois, un cheminement piéton étroit permettait un accès à pied. Par conséquent, nous avons déplacé tous les points d'investigation dans cette zone et réalisé ceux qui étaient faisables à la main à l'aide de matériel manuels.

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

Il n'a pas été possible de réaliser des sondages au droit des existants et, au stade avant-projet, les investigations ont été implantées à proximité.

Au stade projet, des investigations complémentaires sont prévues après démolition des existants.

De ce fait, les investigations ont pu être implantées selon les contraintes du site tel que précisé sur le plan joint en annexe 11 (au stade avant-projet).



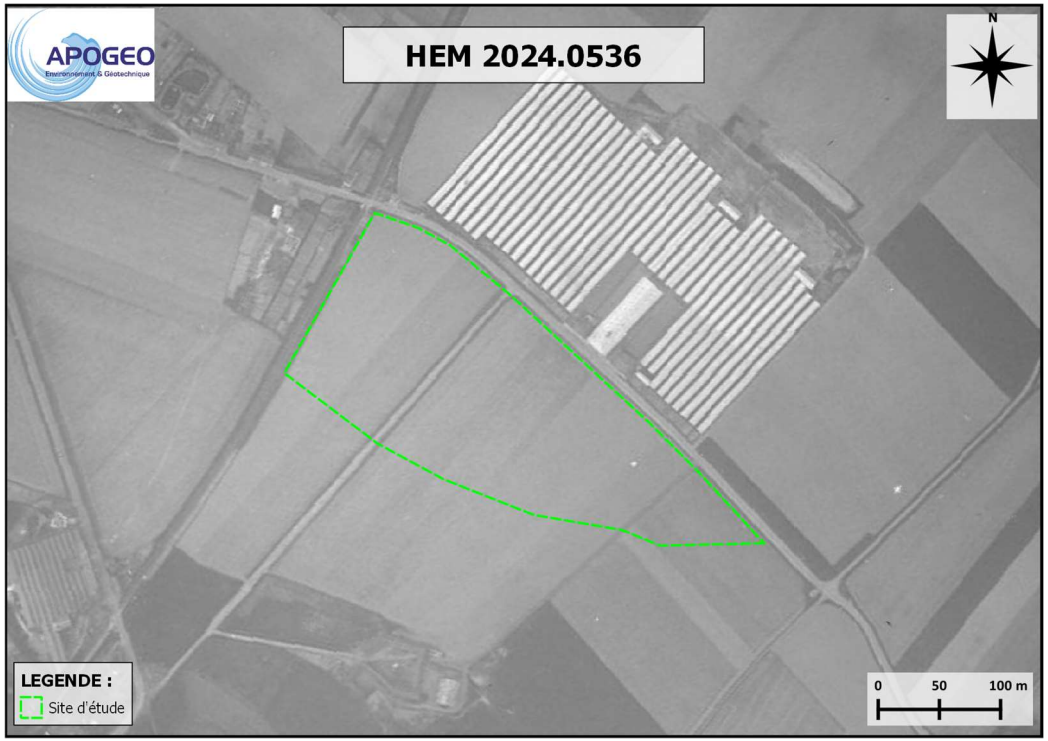
Figures 3a à 3i : Photographies du site d'étude (janvier 2025)

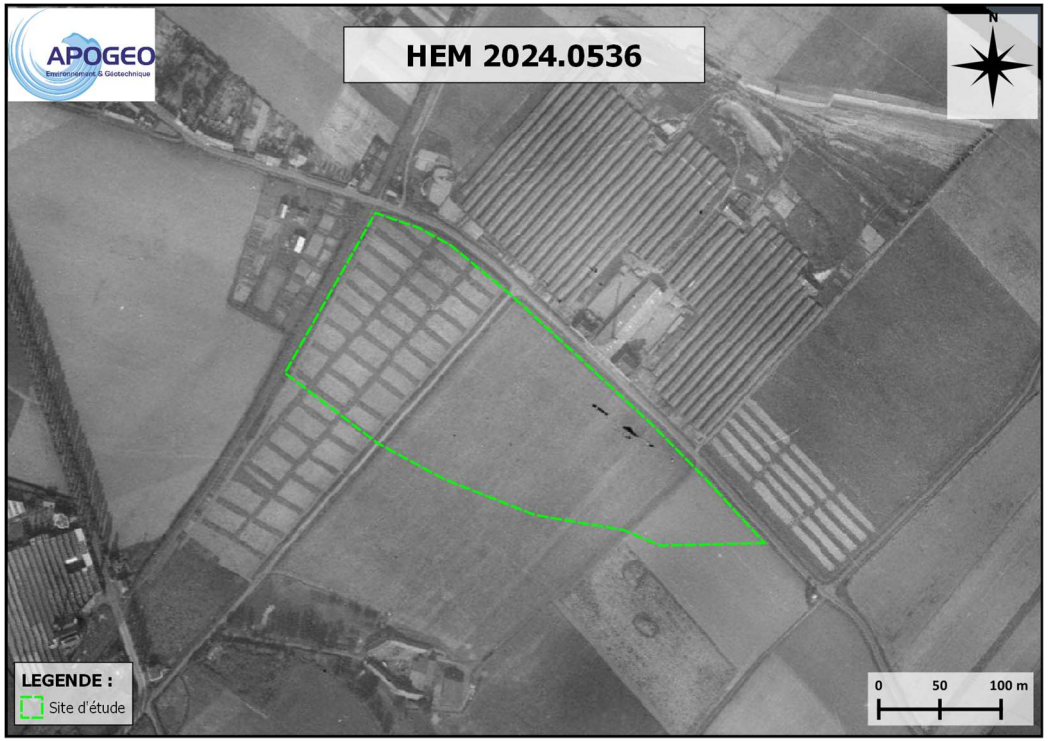
2. ENQUETE DOCUMENTAIRE

2.1. Consultation des photographies aériennes

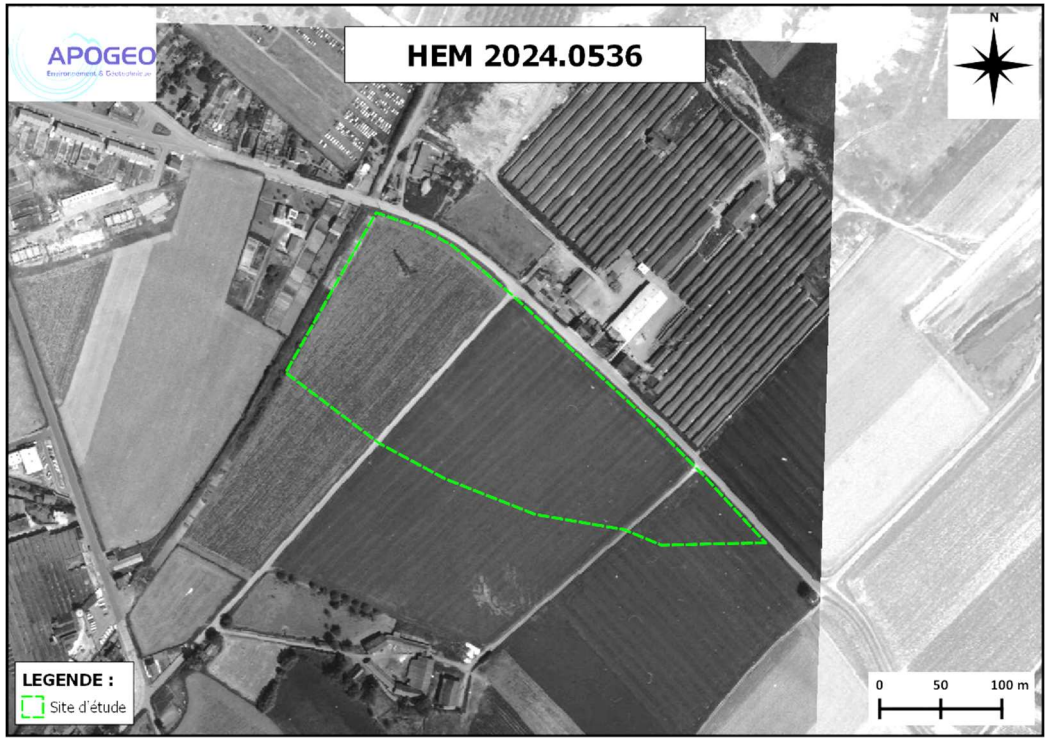
Les photographies aériennes sont mises à disposition sur le site internet « remonter le temps » de l'Institut Géographique National (IGN). Les clichés ont été consultés afin de rendre compte de l'historique d'occupation du site.

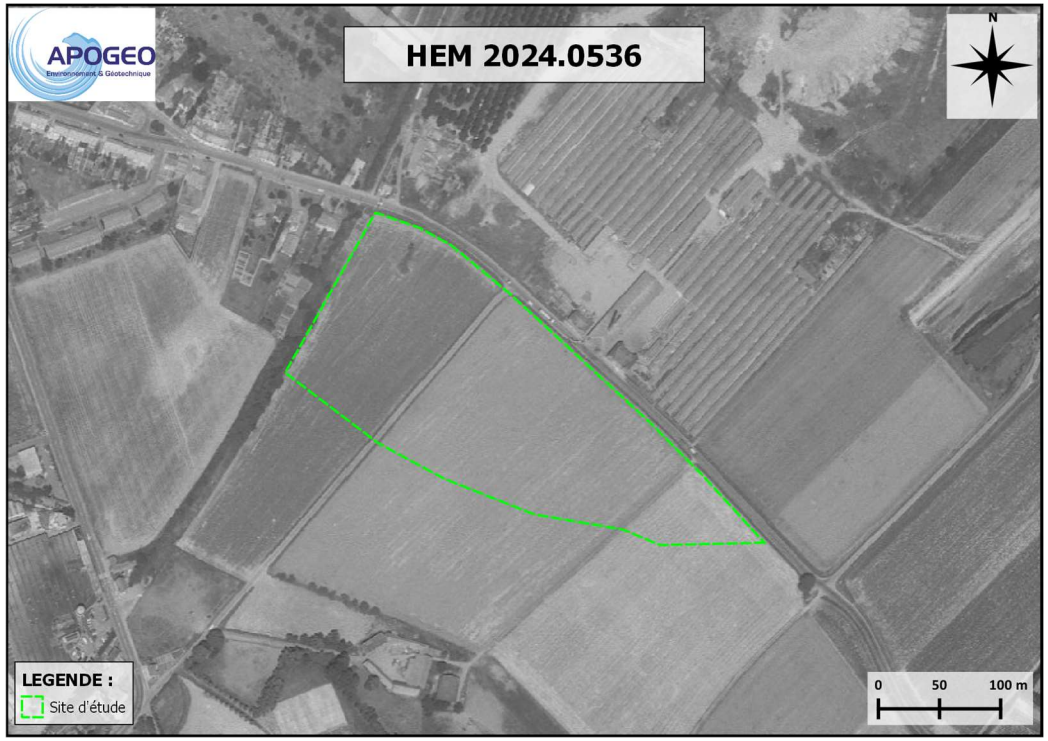
Le tableau suivant synthétise les principales observations issues des prises de vues aériennes exploitées.



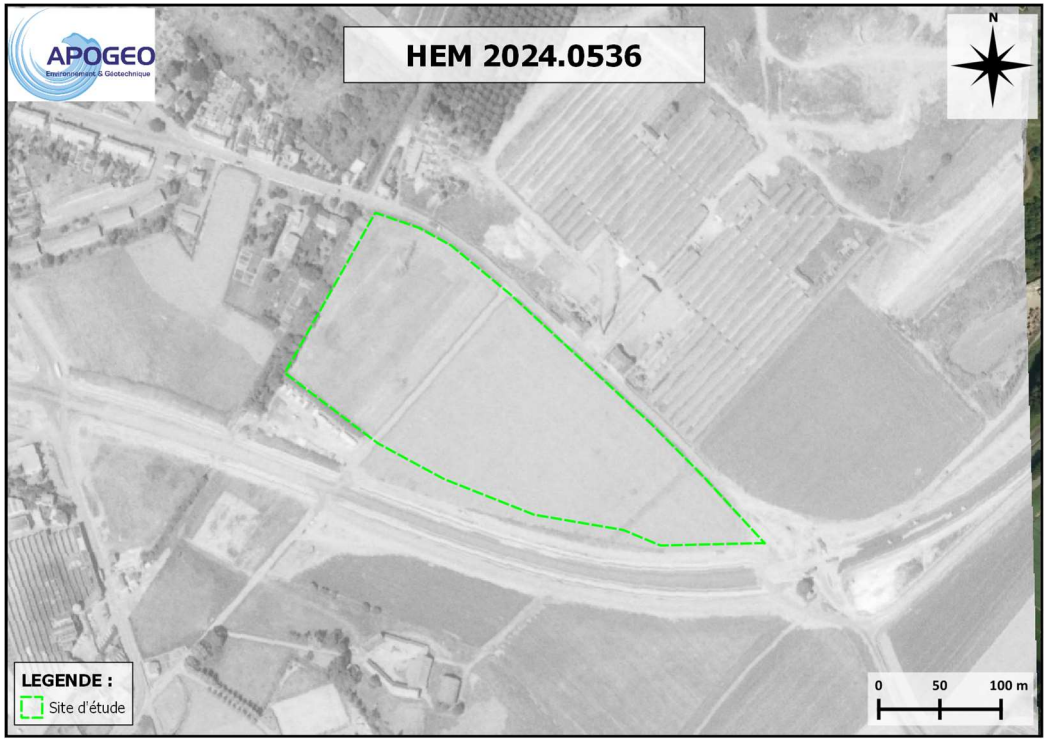


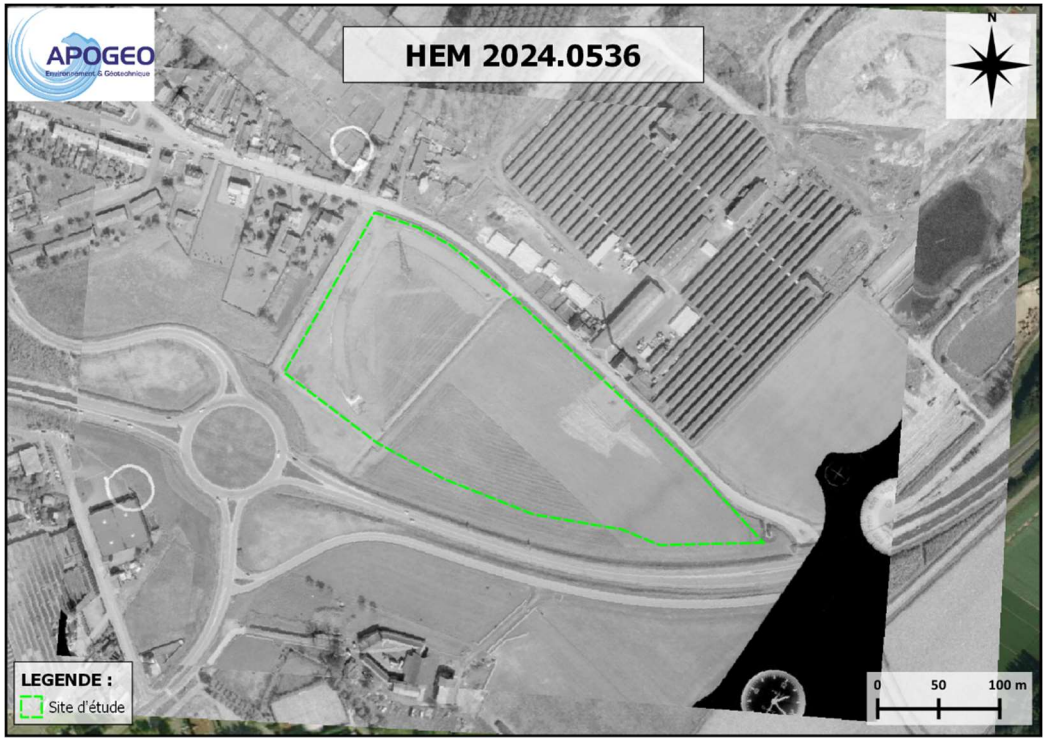
Faits marquants en 1933		Faits marquants en 1947	
Hors site	**Sur site**	**Hors site**	**Sur site**
L'environnement est rural avec la présence d'une briqueterie au nord et des habitations à l'ouest du site.	Le site correspond à une partie de plusieurs parcelles agricoles ainsi que d'un chemin.	Aucun changement notable.	Aucun changement notable.



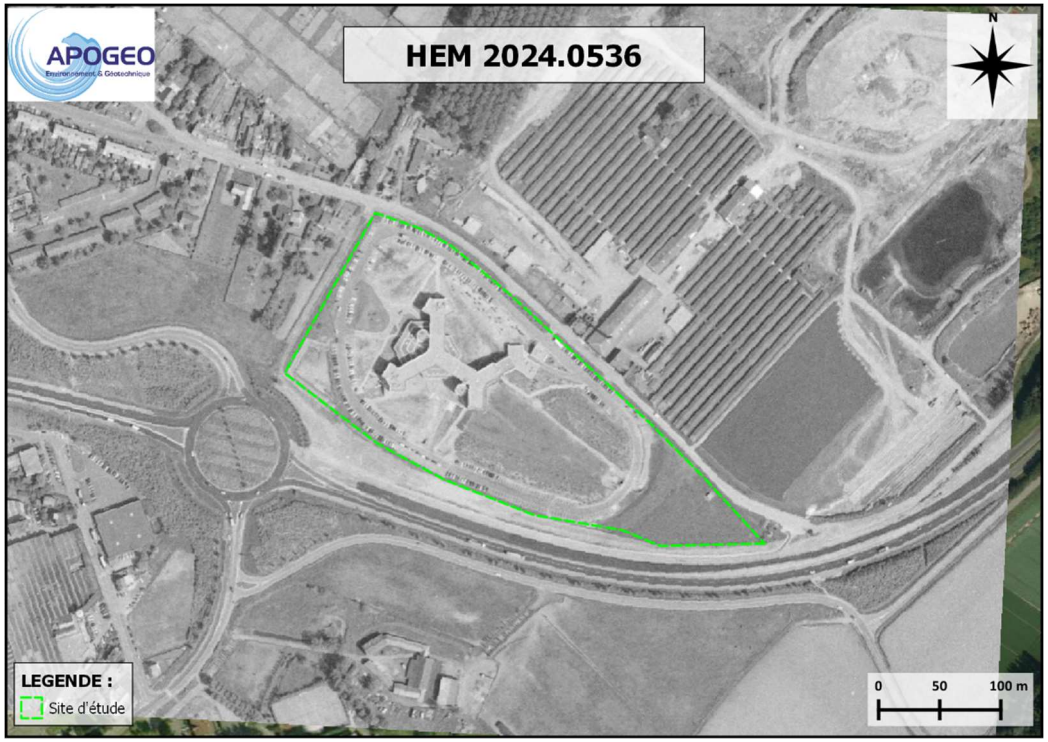


Faits marquants en 1969		Faits marquants en 1983	
Hors site	**Sur site**	**Hors site**	**Sur site**
Aucun changement notable.	Aucun changement notable.	Aucun changement notable.	Aucun changement notable.





Faits marquants en 1986		Faits marquants en 1989	
Hors site	**Sur site**	**Hors site**	**Sur site**
La route départementale M700 au sud du site est construite.	Aucun changement notable.	Aucun changement notable.	Aucun changement notable.





Faits marquants en 1992		Faits marquants en 2005	
Hors site	**Sur site**	**Hors site**	**Sur site**
Aucun changement notable.	Le bâtiment ainsi que son parking sont construits.	La briqueterie est déconstruite. L'activité de matériaux de construction semble démarré à l'est.	Aucun changement notable.



Figure 4 : Photographies aériennes anciennes

Faits marquants en 2009		Faits marquants en 2012	
Hors site	**Sur site**	**Hors site**	**Sur site**
Un bâtiment d'entrepôts est construit au nord.	Deux préfabriqués sont installés. On observe des déblais à l'est du site.	Aucun changement notable.	Un troisième préfabriqué est installé. Les trois préfabriqués ont depuis été désinstallés (cf. figure 1).

Tableau 2 : Synthèse des principales observations

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 :

- Terre végétale, remblais et horizons remaniés (Formation anthropique),
- Les limons de plateaux (Quaternaire),
- D'éventuel reliquat d'argile de Roncq, de Roubaix, d'Orchies de l'Yprésien (Tertiaire),
- Les sables d'Ostricourt du Landénien supérieur (Tertiaire).

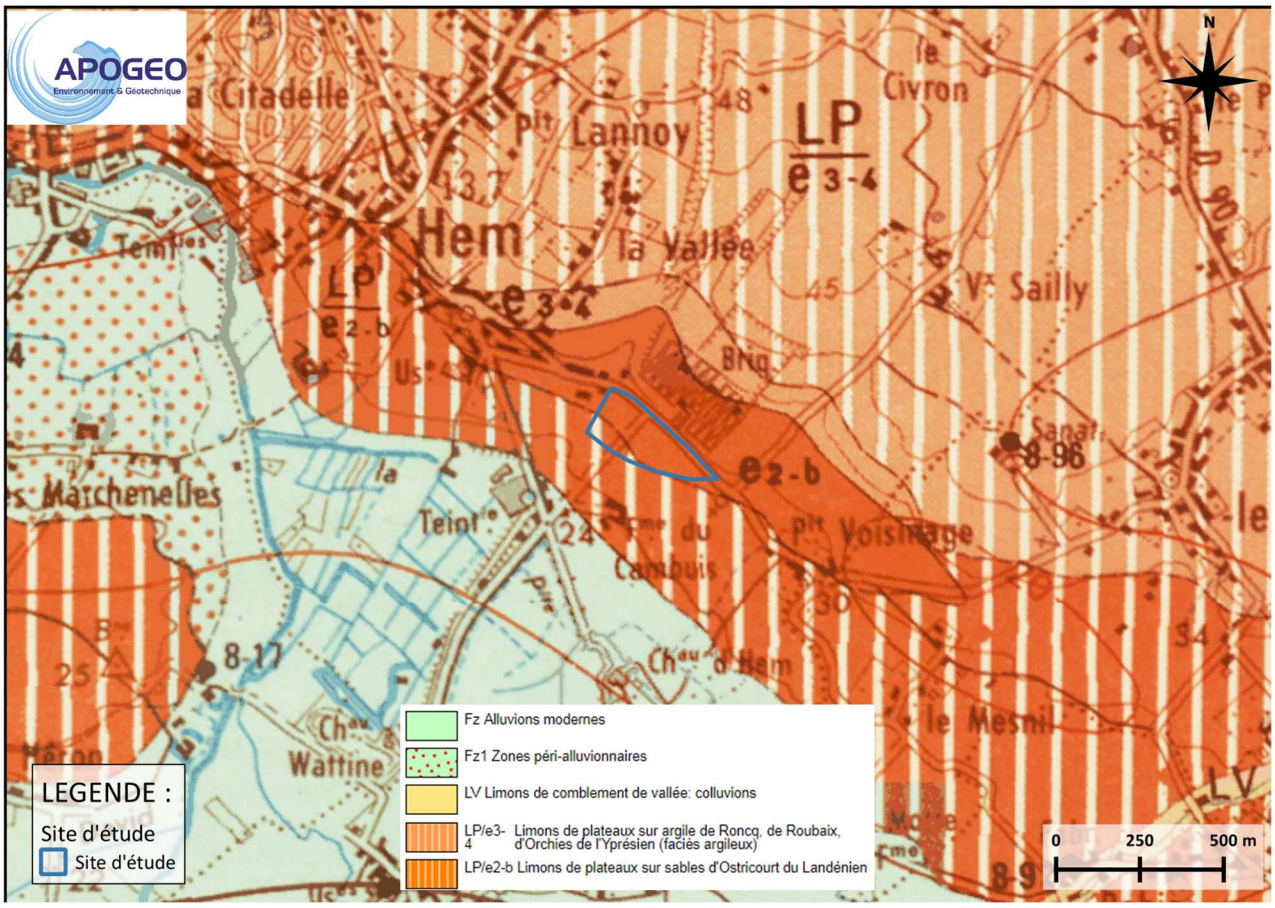


Figure 5 : Extrait de la carte géologique de LILLE au 1/50 000

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 HEM.

- **Aléa lié aux inondations**

D'après le BRGM, le site est localisé dans une zone potentiellement sujette aux **débordements de nappe** (uniquement au Nord-Ouest) et aux **débordements de cave**. Le zonage de cet aléa est réalisé en fonction de la géologie et des entités hydrogéologiques.



Figure 6 : Carte d'aléa remontée de nappe

- **Aléa « retrait-gonflement des sols argileux »**

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.

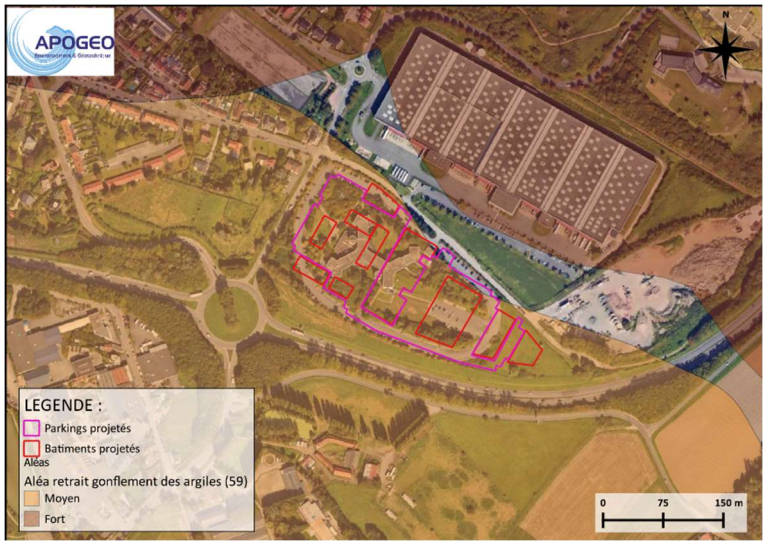


Figure 7 : Carte de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux

2.4. Etude d'archives

D'après nos archives, cinq études géotechniques ont été effectuées par nos soins dans un rayon de 1000 m autour du site d'étude. Le plan de localisation de ces études est présenté ci-après :



Figure 8 : Plan de localisation des études géotechniques réalisées dans un rayon de 1000 m

- **<u>Etude géotechnique G2 AVP (APOGEO, 2019.0048)</u>**

En mars 2019, nous avons réalisé une étude géotechnique G2 AVP pour un particulier dans le cadre de la reprise en sous-œuvre par micropieux d'un pavillon.

Lithologie	Remblai	Argile		Sable
Profondeur (m)	0/1,5	1,5/5	5/9	9/15
Pl* (MPa)	0,25	0,5	1,45	2,14
Niveau d'eau	Aucun niveau d'eau reconnu en février 2019			

Tableau 3 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2019.0048

- **Etude géotechnique G1 PGC (APOGEO, 2020.0769)**

En décembre 2020, nous avons réalisé une étude géotechnique préalable G1 PGC pour la société KERVELEO dans le cadre de l'aménagement d'une parcelle.

Lithologie	Terre végétal	Limon
Profondeur (m)	0/0,3	0,3/1,5
Niveau d'eau	Aucun niveau d'eau reconnu en décembre 2020	

Tableau 4 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2020.0769

- **Etude géotechnique G1 PGC (APOGEO, 2022.0082)**

En février 2022, nous avons réalisé une étude géotechnique préalable G1 PGC pour un particulier dans le cadre de l'aménagement d'une parcelle.

Lithologie	Terre végétal	Limon
Profondeur (m)	0/0,3	0,3/1,5
qd (MPa)	2,0 à 4,0	4,0 à 8,0
Niveau d'eau	Aucun niveau d'eau reconnu en février 2022	

Tableau 5 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2022.0082

- **Etude géotechnique G2 PRO (APOGEO, 2023.0217)**

En octobre 2024, nous avons réalisé une étude géotechnique G2 PRO pour la société TISSERIN PROMOTION dans le cadre de la construction d'un bâtiment de logements.

Lithologie	Remblai	Argile	Sable	
Profondeur (m)	0/3	3/11	11/18	18/25
Pl* (MPa)	/	0,65	1,9	4,85
Em (MPa)	/	4,5	15,0	150,0
Niveau d'eau	EB = +29,20	Eh = +31,17	EE = +31,67	

Tableau 6 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2023.0217

- **Etude géotechnique G2 AVP (APOGEO, 2023.0716)**

En février 2024, nous avons réalisé une étude géotechnique G2 AVP pour la société LOGER HABITAT dans le cadre de la construction d'un immeuble de 35 logements collectifs.

Lithologie	Remblai	Limon	Argile		Sable
Profondeur (m)	0/1	1/8	8/13	13/19	19/25
Pl* (MPa)	/	0,4	1,5	2,9	3,5
Niveau d'eau	Niveaux d'eau (non stabilisés) reconnus entre 0,8 et 3,8 en janvier 2024				

Tableau 7 : Coupe géotechnique simplifiée – Dossier 2020.0769

3. INVESTIGATIONS

3.1. Reconnaissance sur le site

L'implantation des investigations réalisées en janvier et février 2025 au stade avant-projet et avant démolition des existants (essais pressiométriques, au pénétromètre statique et dynamique, fouilles, sondages lithologiques et piézométriques) est repérée sur le plan joint en annexe 11.

Remarque importante :

Ces investigations ont été réalisées en tenant compte des contraintes du site avant démolition des existants.

Des investigations complémentaires comprenant des essais au pénétromètre statique, des sondages lithologiques et des fouilles à la pelle mécanique sont prévus après démolition des existants. Celles-ci seront intégrées à l'étude G2 PRO.

- **Sondages pressiométriques**

Les sondages pressiométriques PR1 à PR3 ont été réalisés en janvier 2025 et ont atteint 20,0 m de profondeur.

La foration des sondages a été effectuée par méthode destructive au moyen d'un tricône de diamètre 63 mm par injection d'un fluide de forage jusqu'à leur base.

Les essais pressiométriques ont été réalisés avec une sonde standard, au pas de 2,0 m jusqu'à la fin des forages, soit la réalisation de 36 essais au total.

Les diagrammes correspondants sont joints en annexe 2.

Ces diagrammes présentent :

- La coupe des terrains traversés (coupe sondeur « sommaire » lors de la foration par forage destructif)
- Le diagramme d'évolution, avec la profondeur croissante, des trois paramètres pressiométriques caractéristiques (donnés en MPa) :

  E_M = module pressiométrique

  Pl* = pression limite nette

  Pf* = pression de fluage nette
- Le niveau d'eau éventuellement repéré après foration.

- **Essai au pénétromètre statique**

Seize essais ont été réalisés du 22 au 24 janvier 2025 au moyen d'un appareillage de pénétration statique type Gouda monté sur porteur à chenilles.

Ils sont désignés par P1 à P19 et ont les profondeurs suivantes :

Essais	P1	P2	P3	P6	P7	P8	P9	P11
Profondeur atteinte (m)	9,1	11,2	10,4	19,0	16,4	10,4	5,8	5,7

Essais	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
Profondeur atteinte (m)	8,6	7,1	6,0	6,0	5,7	5,6	5,5	6,5

Tableaux 8a et 8b : Profondeurs des essais au pénétromètre statique

Tous les essais ont essuyé des refus avant la profondeur demandée.

Des avant-trous préalables ont été réalisés dans les enrobés afin de pouvoir réaliser ces essais.

Les diagrammes correspondants sont joints en annexe 3.

Nota : les essais P4/P5/P10/P20 n'ont pas pu être réalisés à cause de l'inaccessibilité des points (présence de talus de terre, d'existant limitant l'accès …). Ces essais seront réalisés lors de la campagne de sondage complémentaire en G2 PRO après démolition des existants.

- **Essais au pénétromètre dynamique lourd et sondages lithologiques**

Six essais pénétrométriques désignés par PD1 à PD6 ont été réalisés le 3 février 2025 au moyen d'un pénétromètre dynamique lourd type DPSH-B. Les essais ont tous atteints une profondeur de 3,0 m sans rencontrer de refus.

Ces essais sont associés à des sondages lithologiques, désignés par S1 à S6, ils ont été réalisés le 3 février 2025 et ont permis le prélèvement d'échantillons de sol remaniés conditionnés en sachets étanches pour examen visuel et essais en laboratoire.

Les diagrammes correspondants sont joints en annexe 4.

Les coupes lithologiques correspondants sont joints en annexe 4.

- **Sondages lithologiques**

Six sondages lithologiques désignés par R1 à R6 ont été réalisés du 3 au 4 février 2025. Ils ont atteint une profondeur de 5,0 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 5.

Les niveaux d'eau éventuellement repérés en fin de forage y sont indiqués.

- **Piézomètre**

Un forage destructif descendus à 9,0 m a été réalisé le 4 février 2025 et a été équipé d'équipement piézométrique jusqu'à sa base avec une tête de protection. Il est désigné par PZ1.

La coupe sommaire établie à partir des cuttings est jointe en annexe 6.

Le niveau d'eau éventuellement repéré en cours de forage y est indiqué.

- **Fouilles à la pelle mécanique**

Douze fouilles à la pelle mécanique notées PM1 à PM12 ont été réalisées du 29 au 30 janvier 2025 et ont atteint des profondeurs comprises entre 1,5 et 2,0 m. Elles permettent d'identifier la coupe lithologique du 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 7.

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

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

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

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

Les résultats sont repris en annexe 7.

- **Essais d'infiltration à charge variable en forage ouvert**

Deux essais de perméabilité à charge variable en forage ouvert, désignés par EL1 et EL2 (réalisés au droit des sondages lithologiques R5 et R6), ont été réalisé le 4 février 2025.

Cet essai consiste à mesurer l'abaissement de l'eau à la base d'un forage de diamètre D, dans une cavité de longueur L.

Les terrains situés au-dessus de la lanterne d'infiltration sont isolés par un tubage métallique dans le but de ne pas interférer sur les résultats.

L'évolution de la lame d'eau est suivie en fonction du temps permettant ainsi de déterminer le coefficient de perméabilité (K) du terrain mesuré.

Les résultats sont repris en annexe 8.

- **Nivellement**

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

Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau suivant :

Essais	P1	P2	P3	P6	P7	P8	P9	P11
Cote (m NGF)	+29,48	+29,68	+29,73	+27,58	+27,47	+27,97	+29,90	+29,57

Essais	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
Cote (m NGF)	+27,45	+30,87	+27,73	+29,63	+29,83	+30,33	+30,67	+30,52

Investigations	PD/S1	PD/S2	PD/S3	PD/S4	PD/S5	PD/S6
Cote (m NGF)	+29,34	+29,71	+30,18	+30,89	+30,16	+30,28

Investigations	PR1	PR2	PR3
Cote (m NGF)	+29,36	+29,71	+31,81

Investigations	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6
Cote (m NGF)	+29,95	+29,00	+33,40	+32,35	+31,41	+29,23

Investigations	PM7	PM8	PM9	PM10	PM11	PM12
Cote (m NGF)	+29,67	+30,55	+33,10	+29,36	+29,46	+29,07

Tableaux 9a à 9f : 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 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 :

- 10 mesures de la teneur en eau naturelle ;
- 6 classifications GTR des sols ;
- 2 mesures de l'indice de portance immédiat (IPI) (en cours).

Les résultats figurent dans un tableau récapitulatif joint en annexe 9.

- **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 seront prélevés effectués au droit des fouilles PM réalisé en 2nd temps

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.

L'étude est en cours de réalisation au sein d'un de notre laboratoire partenaire et sera insérées dans une version 2 de ce rapport.

- **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 seront prélevés effectués au droit des fouilles PM réalisé en 2nd temps

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).

L'étude est en cours de réalisation au sein d'un de notre laboratoire partenaire et sera insérées dans une version 2 de ce rapport.

- **Mesures physico-chimiques**

Des tests d'agressivité vis-à-vis des structures enterrées en béton ont été réalisés sur trois prélèvements de sols.

Ces analyses ont pour objet de définir :

- Sur le prélèvement de sol :
  - Le degré d'acidité ;
  - La teneur en sulfates.

Les échantillons prélevés sont désignés comme suit :

- Échantillon de sol :
  - 1,0 à 2,0 m en R1 ;
  - 1,0 à 1,45 m en R2 ;
  - 1,55 à 2,0 m en R4 ;

Les résultats sont joints en annexe 10.

4. ANALYSE DES RESULTATS

4.1. Géologie et géotechnique

L'examen des coupes de 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 anthropique),
- Formation limoneuse (Quaternaire) ;
- Formation argileuse (tertiaire) ;
- Formation sableuse (tertiaire).

▪ **Terre végétale, remblais et horizons remaniés**

Au droit des voiries, il s'agit principalement de remblai de couche de forme limono-graveleux à beige à grisâtre présentant des débris de brique rouge et des cailloux repérés en moyenne sur 0,4 à 1,1 m d'épaisseur.

Au droit des investigations réalisés au droit des zones enherbés et proches des bâtiments existants, il s'agit d'une terre végétale limoneuse marron sur 0,2 m d'épaisseur.

Rappel : 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 (bâtiment actuel, sous-sol). Il en est de même pour les caractéristiques mécaniques et les paramètres d'identification de ces matériaux.

En relation avec les existants devant être démolis sur le site, il est probable que des surépaisseurs de remblais (voire des vestiges enterrés) puissent subsister en fonction de la qualité des démolitions.

- **Formation limoneuse (Quaternaire)**

Il s'agit d'un limon légèrement argileux de couleur marron localement sableux.

D'après l'allure des essais au pénétromètre dynamique, il s'agit d'un limon jusqu'à 3,0 m de profondeur (base des essais).

D'après l'allure des essais au pénétromètre statique, il semble s'agir d'un limon jusqu'à des profondeurs comprises entre 3,0 et 6,5 m de profondeur.

Les caractéristiques mécaniques mesurées dans ces horizons sont :

Pression limite nette :	0,20 MPa <	Pl*	< 0,45 MPa
Module pressiométrique :	1,10 MPa <	E_M	< 3,4 MPa
Résistance dynamique apparente :	1,5 MPa <	q_d	< 3,9 MPa
Résistance de pointe :	0,5 MPa <	q_c	< 1,5 MPa

Cet horizon correspond à un limon très mou à mou.

Ces horizons sont également caractérisés par :

Teneurs en eau :	19,8 % <	W%	< 24,2 %
VBS :	1,94 <	VBS	< 3,06
Passant 80 µm :	59,0 % <	Passant à 80 µm	< 97,6 %

Il s'agit de sols de classe **GTR A1/A2**.

- **Formation argileuse (Tertiaire)**

Il s'agit d'une argile sableuse de couleur grise.

Cet horizon a été reconnu en partie Centrale du site au droit des sondages pressiométriques PR1 et PR2 jusqu'à 11,0 m de profondeur, ainsi que des essais au pénétromètre statiques P1, P2, P3, P8, P12, P14 et P15 jusqu'à leurs refus entre 6,0 et 10,0 m de profondeurs.

Il a également été reconnu au droit du sondage pressiométrique PR3 jusqu'à 4,5 m de profondeur, ainsi que des essais au pénétromètre statiques P9, P11, P13, P16, P17, P18 et P19 (situés à l'Est du site) jusqu'à environ 3,5 et 4,5 m de profondeur.

Remarque importante : Cet horizon est rencontré jusqu'au refus des essais au pénétromètre statique P6 et P7 soit 19,0 m de profondeur en partie Sud-Ouest du site.

Les caractéristiques mécaniques mesurées dans ces horizons sont :

Pression limite nette :	1,05 MPa <	Pl*	< 1,64 MPa
Module pressiométrique :	10,8 MPa <	E_M	< 16,8 MPa
Résistance de pointe :	1,0 MPa <	q_c	< 2,5 MPa

Cet horizon correspond à une argile ferme à raide.

- **Formation sableuse (Tertiaire)**

Il s'agit d'un sable argileux de couleur gris vert.

Cet horizon a été reconnu au droit des sondages pressiométriques jusqu'à leurs base soit 20,0 m de profondeur, ainsi que des essais au pénétromètre statiques P13, P16, P17, P18 et P19 jusqu'à leurs refus.

Il est à noter que cet horizon n'a pas été reconnu au droit des autres sondages.

Les caractéristiques mécaniques mesurées dans ces horizons sont :

Pression limite nette :	1,73 MPa <	Pl*	< 5,00 MPa
Module pressiométrique :	26,2 MPa <	E_M	< 99,4 MPa
Résistance de pointe :	2,0 MPa <	q_c	< 12,0 MPa

Cet horizon correspond à un sable très dense.

4.2. Données hydrogéologiques

- **Niveaux d'eau**

Des niveaux d'eau **non stabilisés** ont été observés au droit des sondages et des essais suivants :

Investigations	R3	R4	S4	PM1	PM2	PM8
Date du relevé	04/02	04/02	03/02	30/01	29/01	29/01
Niveau d'eau (m)	3,1	3,2	2,2	1,3	1,3	1,3
Cote du niveau d'eau (m NGF)	+27,1	+27,7	+28,1	+28,6	+27,7	+29,2

Investigations	P2	P3	P6	P8	P13	P16	P18
Date du relevé	24/01	24/01	23/1	23/01	22/01	22/01	22/01
Niveau d'eau (m)	2,8	3,1	3,7	4,5	4,6	4,1	3,8
Cote du niveau d'eau (m NGF)	+26,7	+26,6	+23,8	+23,5	+26,3	+25,7	+26,9

Tableau 10 : Niveau d'eau non stabilisé relevé au droit des investigations réalisées

Rappel :

Un piézomètre a été mis en place par nos soins au droit du site d'étude en janvier 2025. Un suivi piézométrique sur une durée de 1 an est en cours et fera l'objet d'un compte-rendu à la fin du suivi et d'une étude des niveaux caractéristiques de la nappe par notre service Hydrogéologie.

Un rapport hydrogéologique initial d'étude des niveaux caractéristiques de la nappe est en cours de rédaction par notre service hydrogéologique.

- **Perméabilité des sols superficiels**

Les abaissements du niveau d'eau au droit des fouilles PM1 à PM6 dans les horizons limoneux entre 1,5 et 2,0 m de profondeur ont été mesurés.

Essais	PM1+I1	PM2+I2	PM3+I3	PM4+I4	PM5+I5	PM6+I6
Profondeur (m)	1,0/1,5	1,0/1,5	1,5/2,0	1,5/2,0	1,5/2,0	1,5/2,0
Cote de la base de la couche (m NGF)	+28,4	+27,5	+31,4	+27,6	+28,6	+31,1
Nature du sol	Limon	Limon	Limon	Limon	Limon	Limon
Perméabilité k (m/s)	$< 10^{-7}$	$< 10^{-7}$	$6,2 \times 10^{-7}$	$7,6 \times 10^{-7}$	$2,6 \times 10^{-7}$	$4,0 \times 10^{-5}$

Tableau 11 : Perméabilité des sols limoneux superficiels

Les abaissements du niveau d'eau via les essais à charge variable en forage ouvert LF1 et LF2 dans les horizons argilo-sableux entre 3,0 et 4,0 m de profondeur, ont permis de mettre en évidence les perméabilités suivantes :

Essais	LF1	LF2
Profondeur (m)	3,0/4,0	3,0/4,0
Cote basse (m NGF)	+26,18	+26,28
Nature du sol	Sable argileux	Sable argileux
Perméabilité k (m/s)	$2,65 \times 10^{-5}$	$4,48 \times 10^{-5}$

Tableau 12 : Perméabilités des sols argilo-sableux superficiels

4.3. 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.

Les bâtiments projetés sont à priori classé 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 appliquées.

4.4. Résultats des mesures physico-chimiques

Les tableaux suivants présentent les résultats des analyses effectuées :

Echantillon « Sol »	Degré d'acidité (en ml/kg MS)	Teneur en sulfates (SO4) (en mg/kg MS)
R1 1,1/2,0 m	< 20	326
R2 1,0/1,45 m	< 20	< 100
R4 1,55/2,0 m	< 20	246

Tableau 13 : Résultats des analyses physico-chimiques

Les résultats relatifs à l'agressivité des sols et de l'eau souterraine indiquent des valeurs mesurées caractérisant une **classe d'exposition inférieure à XA1.**

Les résultats sont joints en annexe 9.

Rappel des tableaux de référence (échantillon de sol) :

	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	

4.5. Etude de traitement des sols

Les prélèvements d'échantillons effectués au droit des fouilles PM réalisé en 2nd temps pour la réalisation des études de traitement.

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

L'étude est en cours de réalisation au sein d'un de nos laboratoire partenaire et sera insérées dans une version 2 de ce rapport.

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

L'étude est en cours de réalisation au sein d'un de nos laboratoire partenaire et sera insérées dans une version 2 de ce rapport.

5. MODELE DE TERRAIN

Les investigations réalisées par nos soins permettent de proposer les modèles de terrain suivants :

Tranche de terrain Cote basse (m NGF)	0,0/3,0* +25,0	3,0/4,5 +23,5	4,5/7,0 +21,0	7,0/16,0 +17,0	16,0/20,0 +13,0
Nature	Remblai/Sous-sol	Limon 1	Argile 1	Argile 2	Argile 3
q_c (MPa)	/	0,5 à 1,0	1,0	1,5	2,0 à 4,0
Pl* (MPa)	/	0,25	0,5	0,75	1,3
Em (MPa)	/	1,6	4,5	/	13,5
α	/	1/2	2/3	2/3	2/3

(le « 0 » correspond à la cote du terrain actuel au droit des futurs ouvrage soit environ +27,5 m NGF).
(*) La profondeur du sous-sol sera à affiner en fonction des démolitions

Tableau 14 : Modèle de terrain – Zone Sud-Ouest

Tranche de terrain Cote basse (m NGF)	0,0/3,0* +25,0	3,0/4,5 +23,5	4,5/7,0 +21,0	7,0/11,0 +17,0	11,0/15,0 +13,0	15,0/20,0 +8,0
Nature	Remblai/Sous-sol	Limon 1	Argile 1	Argile 2	Sable 1	Sable 2
q_c (MPa)	/	1,0	1,0 à 2,0	2,0 à 8,0	/	/
Pl* (MPa)	/	0,25	0,5	1,3	2,9	1,7
Em (MPa)	/	1,6	4,5	13,5	29,5	28,0
α	/	1/2	2/3	2/3	1/3	1/3

(le « 0 » correspond à la cote du terrain actuel au droit des futurs ouvrage soit environ +28,0 m NGF).
(*) La profondeur du sous-sol sera à affiner en fonction des démolitions

Tableau 15 : Modèle de terrain – Zone Centrale

Tranche de terrain Cote basse (m NGF)	0,0/1,0 +28,5	1,0/4,5 +25,0	4,5/5,5 +24,0	5,5/7,0 +22,5	7,0/15,0 +14,5	15,0/20,0 +9,5
Nature	Remblai	Limon 1	Argile 1	Sable 1	Sable 2	Sable 3
q_c (MPa)	/	0,5 à 1,5	1,0 à 4,0	/	/	/
Pl* (MPa)	/	0,25	0,8	2,7	4,8	3,6
Em (MPa)	/	1,6	7,5	31,0	75,0	59,3
α	/	1/2	2/3	1/3	1/3	1/3

(le « 0 » correspond à la cote du terrain actuel au droit du futur ouvrage soit +29,50 m NGF).

Tableau 16 : Modèle de terrain – Zone Est

Légende :

q_c :	Résistance à la pointe	E_M :	Module de déformation
Pl* :	Pression limite nette	α :	Coefficient rhéologique des sols

Niveaux d'eau :

Des niveaux d'eau ont été relevés entre +1,3 et 4,8 m de profondeur (soit entre les cotes +29,2 et +23,5 m NGF) entre janvier et février 2025 au droit différent sondage.

Un suivi piézométrique sur une durée de 1 an est en cours et fera l'objet d'un compte-rendu à la fin du suivi et d'une étude des niveaux caractéristiques de la nappe par notre service Hydrogéologie.

6. CONCLUSIONS – Etude géotechnique G2 AVP

6.1. Préconisations générales préalables

Nous rappelons que la présente étude géotechnique de conception – phase « Avant-projet » devra être complétée par une étude géotechnique de conception – phase « Projet » une fois le projet défini au stade « PRO ».

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 (**remblais puis horizons sous-jacents avec des caractéristiques mécaniques très faibles**) et des caractéristiques du projet (bâtiments R+1 à R+3), on pourra s'orienter vers :

- Un mode de fondations profondes de type pieux ancrés dans les horizons argileux,
- Un mode de fondations superficielles par semelles filantes ou massifs isolés associées à un renforcement de sol par inclusions rigides ancrées dans les horizons argileux.

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

6.2. Démolition des existants

On rappelle qu'une partie des bâtiments projetés sont localisés sur l'emprise du bâtiment existant avec sous-sol voué à la démolition.

Il conviendra, dans la mesure du possible, de purger l'entièreté des fondations existantes pour éviter les refus des outils de forage lors de la réalisation des pieux.

Selon la qualité des démolitions de ces derniers, les vestiges éventuels des ouvrages nécessiteront des dispositions particulières (pelle mécanique équipée d'un BRH, blindage des fouilles…) pour l'exécution des fondations.

Si présence avérée d'ouvrages à la suite des travaux de démolition (en fonction du plan de récolement des démolitions par exemple), il faudra alors :

- Purger l'ensemble des points durs (fondations, maçonneries, …) avant la réalisation des pieux et/ou des inclusions rigides ;
- Prendre en compte la présence de fondation (non connues) dans le maillage des pieux et/ou des inclusions rigides à réaliser ;
- Décaler éventuellement les porteurs afin d'être hors emprise.

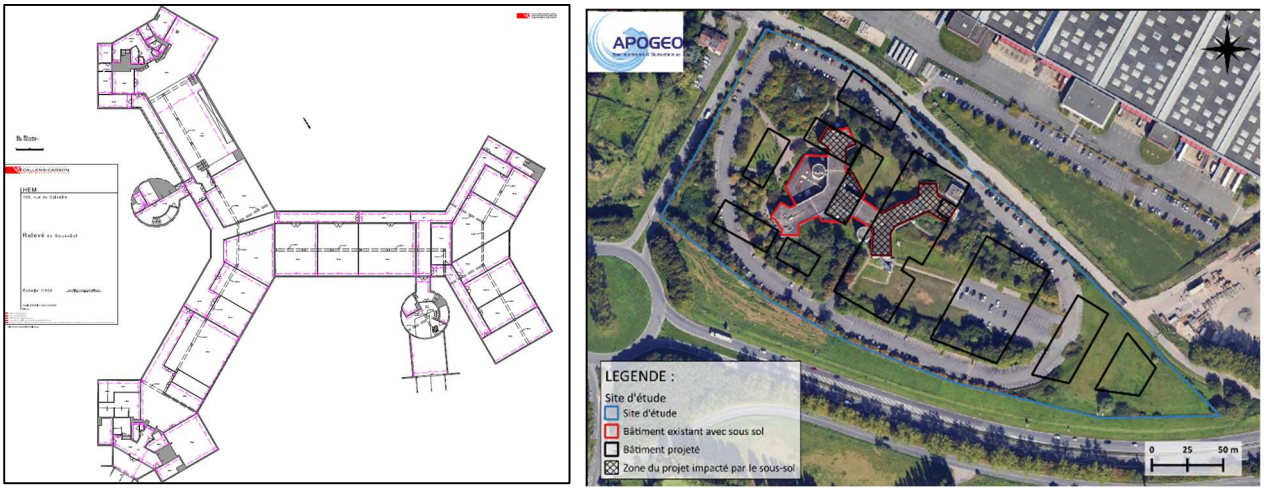
6.3. Remblaiement du sous-sol

Nous rappelons que le bâtiment existant au milieu du site d'étude possède un niveau enterré d'environ 3,0 m de profondeur et qui sera comblé après démolition.

Les remblais devront être réalisés avec des matériaux d'apports sains, homogènes et inertes mis en œuvre par couches minces compactées mécaniquement.

Le remblai pourra être réalisé en granulats de classe D_{31} suivant la norme NF P 11-300 (D_{max} ≥ 50 mm, type calcaire 0/80 ou 0/120 mm par exemple) ou en sol traité chaux/ciment.

Le choix des matériaux retenus pour la réalisation du remblaiement impactera l'exécution des pieux et/ou des inclusions rigides.



Figures 9a et 9b : Plan du sous-sol de l'existant / Impact du sous-sol existant sur le projet

La démolition et le comblement de ce sous-sol n'impactera qu'une partie des bâtiments projetés comme décrit sur la figure ci-dessous.

6.4. Fondations profondes par pieux

6.4.1. 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).

Ces pieux seront fichés dans les horizons argileux ou sableux en fonction de leur localisation sur le site et des charges à reprendre.

Par la profondeur atteinte par nos investigations, la justification de pieux dont la fiche dépasse la cote + 10,36 m NGF (soit 19,0 m de profondeur/TA) nécessitera des essais plus profonds.

NB : Des pieux vissés-moulés pourraient être également envisagés (non développés ici).

6.4.2. Paramètre de portance « pieux forés tarière creuse »

- **Paramètre en frottement axial**

Selon les règles de l'Eurocode 7 (norme NF P 94-262 COMPIL 1) et pour des pieux 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 pressiométriques et pénétrométriques :

Tranche de terrain (m) Cote de la base de la couche (m NGF)	0,0/3,0* +25,0	3,0/4,5 +23,5	4,5/7,0 +21,0	7,0/16,0 +17,0	16,0/20,0 +13,0
Nature du terrain	Remblai/ Sous-sol	Limon 1	Argile 1	Argile 2	Argile 3
Pl* (MPa)	/	0,25	0,5	0,75	1,3
Courbe type	/	Q1	Q1	Q2	Q2
f_{sol} (kPa)	/	23,7	34,3	39,2	43,4
$\alpha_{pieu-sol}$	/	1,5	1,5	1,5	1,5
Frottement axial qs (kPa)	/	35,6	51,4	58,8	65,2

Tableau 17 : Modèle Sud-Ouest pour l'évaluation de l'effort limite par frottement axial (R_S) – Pieu FTC

Tranche de terrain (m) Cote de la base de la couche (m NGF)	0,0/3,0* +25,0	3,0/4,5 +23,5	4,5/7,0 +21,0	7,0/11,0 +17,0	11,0/15,0 +13,0	15,0/20,0 +8,0
Nature du terrain	Remblai/ Sous-sol	Limon 1	Argile 1	Argile 2	Sable 1	Sable 2
Pl* (MPa)	/	0,25	0,5	1,3	2,9	1,7
Courbe type	/	Q1	Q1	Q1	Q2	Q2
f_{sol} (kPa)	/	23,7	34,3	43,4	86,3	67,0
$\alpha_{pieu-sol}$	/	1,5	1,5	1,5	1,8	1,8
Frottement axial qs (kPa)	/	35,6	51,4	65,2	155,3	120,6

Tableau 18 : Modèle Centrale pour l'évaluation de l'effort limite par frottement axial (R_S) – Pieu FTC

(*) La profondeur du sous-sol sera à affiner en fonction des démolitions

Tranche de terrain (m) Cote de la base de la couche (m NGF)	0,0/1,0 +28,5	1,0/4,5 +25,0	4,5/5,5 +24,0	5,5/7,0 +22,5	7,0/15,0 +14,5	15,0/20,0 +9,5
Nature du terrain	Remblai	Limon 1	Argile 1	Sable 1	Sable 2	Sable 3
Pl* (MPa)	/	0,25	0,8	2,7	4,8	3,6
Courbe type	/	Q1	Q1	Q2	Q2	Q2
f_{sol} (kPa)	/	23,7	39,8	83,6	107,7	94,7
$\alpha_{pieu-sol}$	/	1,5	1,5	1,8	1,8	1,8
Frottement axial qs (kPa)	/	35,6	59,7	150,5	170	170

Tableau 19 : Modèle Est 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 +27,5 m NGF environ pour la zone Sud-Ouest, +28,0 m NGF pour la zone Centrale et +29,5 m NGF environ pour la zone Est.

Il conviendra de considérer qs = 0 kPa (frottement latéral nul) sur l'épaisseur du sous-sol soit la cote +25,0 m NGF t ainsi que dans les remblais jusqu'à la cote +28,5 m NGF en partie Est.

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 (m) Cote de la base (m NGF)	7,0/16,0 +17,0	16,0/20,0 +13,0
Nature du terrain	Argile 2	Argile 3
Pl* (MPa)	0,75	1,3
k_p(*)	1,3	1,3
Taux de portance limite (MPa)	0,98	1,69

Tableau 20 : Paramètres de portance en pointe des pieux (R_b) – Zone Sud-Ouest

Profondeur de base des pieux (m) Cote de la base (m NGF)	7,0/11,0 +17,0	11,0/15,0 +13,0
Nature du terrain	Argile 1	Argile 2
Pl* (MPa)	1,3	2,9
k_p(*)	1,3	1,65
Taux de portance limite (MPa)	1,69	3,77

Tableau 21 : Paramètres de portance en pointe des pieux (R_b) – Zone Centrale

Profondeur de base des pieux (m) Cote de la base (m NGF)	5,5/7,0 +22,5	7,0/15,0 +14,5
Nature du terrain	Sable 1	Sable 2
Pl* (MPa)	2,7	4,8
k_p(*)	1,3	1,65
Taux de portance limite (MPa)	4,45	7,92

Tableau 22 : Paramètres de portance en pointe des pieux (R_b) – Zone Est

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

6.4.3. 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 :

- $\gamma_{R;d1}$ = 1,15
- $\gamma_{R;d2}$ = 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 :

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

6.4.4. Relation fiches/portances des pieux

- **Zone Sud-Ouest :**

A titre indicatif, on trouvera dans les tableaux ci-après la portance verticale (en compression) de pieux fichés à différentes profondeurs (10, 12 et 15 m) et ce, pour 2 diamètres (52 et 72 cm).

Diamètre des pieux		Ø 52 cm		
Profondeur des pieux (m)		10	12	15
Cote basse des pieux (m NGF)		+17,5	+15,5	+12,5
ELU (Rc;d) (kN)	Situations durables et transitoires	570	708	942
	Situations accidentelles	627	779	1036
ELS (Rc;cr;d) (kN)	Combinaisons caractéristiques	451	569	763
	Combinaisons quasi-permanentes	369	465	624

Tableau 23 : Capacité portante des pieux de diamètre Ø 52 cm – Zone Sud-Ouest

Diamètre des pieux		Ø 72 cm		
Profondeur des pieux (m)		10	12	15
Cote basse des pieux (m NGF)		+17,5	+15,5	+12,5
ELU (Rc;d) (kN)	Situations durables et transitoires	868	1059	1398
	Situations accidentelles	955	1166	1538
ELS (Rc;cr;d) (kN)	Combinaisons caractéristiques	673	837	1114
	Combinaisons quasi-permanentes	551	684	911

Tableau 24 : Capacité portante des pieux de diamètre Ø 72 cm – Zone Sud-Ouest

- **Zone Centrale :**

A titre indicatif, on trouvera dans les tableaux ci-après la portance verticale (en compression) de pieux fichés à différentes profondeurs (10, 12 et 15 m) et ce, pour 2 diamètres (52 et 72 cm).

Diamètre des pieux		Ø 52 cm		
Profondeur des pieux (m)		10	12	15
Cote basse des pieux (m NGF)		+18,0	+16,0	+13,0
ELU (Rc;d) (kN)	Situations durables et transitoires	781	1432	1753
	Situations accidentelles	859	1576	1928
ELS (Rc;cr;d) (kN)	Combinaisons caractéristiques	586	1048	1377
	Combinaisons quasi-permanentes	479	857	1126

Tableau 25 : Capacité portante des pieux de diamètre Ø 52 cm – Zone Centrale

Diamètre des pieux		Ø 72 cm		
Profondeur des pieux (m)		10	12	15
Cote basse des pieux (m NGF)		+18,0	+16,0	+13,0
ELU (Rc;d) (kN)	Situations durables et transitoires	1246	2307	2695
	Situations accidentelles	1371	2538	2965
ELS (Rc;cr;d) (kN)	Combinaisons caractéristiques	912	1648	2071
	Combinaisons quasi-permanentes	746	1348	1693

Tableau 26 : Capacité portante des pieux de diamètre Ø 72 cm – Zone Centrale

- **Zone Est :**

A titre indicatif, on trouvera dans les tableaux ci-après la portance verticale (en compression) de pieux fichés à différentes profondeurs (10, 12 et 15 m) et ce, pour 2 diamètres (52 et 72 cm).

Diamètre des pieux		Ø 52 cm		
Profondeur des pieux (m)		10	12	15
Cote basse des pieux (m NGF)		+19,5	+17,5	+14,5
ELU (Rc;d) (kN)	Situations durables et transitoires	2289	2688	3060
	Situations accidentelles	2518	2957	3366
ELS (Rc;cr;d) (kN)	Combinaisons caractéristiques	1664	2005	2379
	Combinaisons quasi-permanentes	1360	1640	1945

Tableau 27 : Capacité portante des pieux de diamètre Ø 52 cm – Zone Est

Diamètre des pieux		Ø 72 cm		
Profondeur des pieux (m)		10	12	15
Cote basse des pieux (m NGF)		+19,5	+17,5	+14,5
ELU (Rc;d) (kN)	Situations durables et transitoires	3813	4365	4760
	Situations accidentelles	4194	4802	5236
ELS (Rc;cr;d) (kN)	Combinaisons caractéristiques	2697	3170	3614
	Combinaisons quasi-permanentes	2206	2593	2955

Tableau 28 : Capacité portante des pieux de diamètre Ø 72 cm – Zone Est

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 : γt = 1,1 en situations durables et transitoires

γt = 1,0 en situations accidentelles

A L'ELS

$R_{c;cr;d} = (0,5 \times R_{b;k} + 0,7 \times R_{s;k}) / \gamma CR$

avec : γCR = 0,9 en combinaisons caractéristiques

γCR = 1,1 en combinaisons quasi-permanentes

Il conviendra d'adapter le choix du béton vis-à-vis du contexte agressif du site (voir §4.4, page 29).

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.

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.

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

La classe de béton (C20/25, C25/30 ou C30/37) sera un facteur déterminant pour la capacité portante des pieux, notamment en raison des sollicitations importantes, en particulier pour les pieux situés en partie EST.

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

- **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 (vestiges de démolition éventuels).

Des refus de foration sont possibles sur des remblais grossiers ou des éventuels vestiges enterrés (en fonction de la qualité de la démolition), ce qui imposera la réalisation d'avant-trous ou de préforages.

Par ailleurs, il faut également s'attendre à des surconsommations importantes de béton au droit des éventuels remblais grossiers et 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).

6.5. Fondations superficielles associées à un renforcement de sol

6.5.1. Préconisations générales

Pour des charges modérées, on envisagera la réalisation de fondations superficielles associées à un renforcement de sols.

Le renforcement de sol pourra être 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.

NB : Un renforcement de sols par colonnes ballastées est à proscrire dans les sols fortement compressibles.

Le renforcement de sol devra être descendu à minima de 1,0 m dans horizons argileux ou sableux en fonction de leur localisation sur le site ce qui correspond à des profondeurs d'ancrage, par rapport au niveau du terrain actuel, de l'ordre de 7,0 m minimum.

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).

6.5.2. Modèle terrain

Au stade « Avant-Projet », pour la justification des inclusions rigides, il faudra tenir compte des maquettes géotechniques définis en paragraphe 5 page 30.

Remarques :

Le « 0 » correspond au niveau du terrain actuel à la cote moyenne +27,5 m NGF environ pour la zone Sud-Ouest, +28,0 m NGF pour la zone Centrale et +29,5 m NGF environ pour la zone Est.

Entre points de renforcement de sols, la valeur de q_{net} doit être limitée à 0,10 MPa (limons mou).

Il conviendra de considérer qs = 0 kPa (frottement latéral nul) sur l'épaisseur du sous-sol soit la cote +25,0 m NGF t ainsi que dans les remblais jusqu'à la cote +28,5 m NGF en partie Est.

6.5.3. Portance des inclusions rigides

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).

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

A titre indicatif, on trouvera dans les tableaux ci-après la portance verticale des inclusions pour des diamètres de 0,25 m et 0,3 m à différentes profondeurs.

- **Zone Sud-Ouest :**

Diamètre des inclusions		0,25 m		0,30 m	
Profondeur des inclusions		8,0 m	10,0 m	8,0 m	10,0 m
ELU ($R_{c;d}$) (kN)	Situations durables et transitoires	170	260	213	292
	Situations accidentelles	187	237	234	321
ELS ($R_{c;cr;d}$) (kN)	Combinaisons caractéristiques	146	200	182	250
	Combinaisons quasi-permanentes	119	165	149	204

Tableau 29 : Prédimensionnement des inclusions – Zone Sud-Ouest

- **Zone Centrale :**

Diamètre des inclusions		0,25 m		0,30 m	
Profondeur des inclusions		8,0 m	10,0 m	8,0 m	10,0 m
ELU ($R_{c;d}$) (kN)	Situations durables et transitoires	219	291	253	368
	Situations accidentelles	199	320	279	405
ELS ($R_{c;cr;d}$) (kN)	Combinaisons caractéristiques	170	200*	217	288*
	Combinaisons quasi-permanentes	139	200*	177	257

(*) Contrainte maximale pour un béton de classe C20/25

Tableau 30 : Prédimensionnement des inclusions – Zone Centrale

- **Zone Est :**

Diamètre des inclusions		0,25 m		0,30 m	
Profondeur des inclusions		8,0 m	10,0 m	8,0 m	10,0 m
ELU ($R_{c;d}$) (kN)	Situations durables et transitoires	355*	355*	512*	512*
	Situations accidentelles	444*	444*	640*	640*
ELS ($R_{c;cr;d}$) (kN)	Combinaisons caractéristiques	200*	200*	288*	288*
	Combinaisons quasi-permanentes	200*	200*	288*	288*

(*) Contrainte maximale pour un béton de classe C20/25

Tableau 31 : Prédimensionnement des inclusions – Zone Est

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).

6.5.4. 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 et l'ancrage de 3 diamètres dans les horizons alluvionnaires sableux suffisamment compacts devra être systématiquement assuré.

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.

L'entreprise veillera également à mettre en œuvre une machine d'une puissance suffisante afin de garantir la fiche des inclusions.

Des refus de foration sont possibles sur des remblais grossiers ou des éventuels vestiges enterrés (en fonction de la qualité de la démolition), ce qui imposera la réalisation d'avant-trous ou de préforages.

Par ailleurs, il faut également s'attendre à des surconsommations importantes de béton au droit des horizons remaniés et des horizons alluvionnaires limoneux, de plus les inclusions concernées par des surconsommations de plus de 30 % devront faire l'objet d'un contrôle spécifique par impédance mécanique.

6.5.5. 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.

6.5.6. Dimensionnement des semelles et des massifs

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

6.5.7. Conditions d'exécution des semelles et des massifs

Les terrassements dans les horizons remaniés/terre végétale et les horizons limoneux seront confrontés à une tenue médiocre des terres et 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, et de la profondeur de la nappe, des venues d'eau 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, …).

6.6. Conception des niveaux bas

Pour les niveaux bas des bâtiments projetés impacté par le remblaiement du sous-sol, la conception à retenir pour le projet, est la réalisation de planchers portés par les fondations.

Pour les niveaux bas des bâtiments projetés non impacté par le sous-sol, on pourra envisager soit une dalle portée par les fondations soit une solution de dallage sur terre-plein en respectant les conditions suivantes.

- **Forme sous dallage**

Compte tenu du contexte argileux évoqué précédemment et des sols présents au niveau de l'arase terrassement du futur dallage (limons de classe GTR A_2), il faudra prévoir une épaisseur de forme de répartition d'au moins 70/75 cm d'épaisseur.

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 ou 0/120 mm par exemple), venants en substitution des sols actuels de surface, et mis en œuvre par couches compactées mécaniquement.

Les solutions variantes suivantes pourront être réalisées sous réserve de la réalisation d'une étude spécifique (**étude de traitement en cours de réalisation**) :

- Limon traité chaux/ciment **de 40 à 45 cm minimum** ;
- Plateforme mixte comprenant une couche de sols traités (limon traité chaux/ciment) et une couche granulaire.

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.

Compte tenu des sols encaissants très peu perméable, il conviendra de réaliser des formes de pentes reliées à un exutoire afin d'éviter toutes stagnations d'eau lors des terrassements.

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, …).

La forme devra faire l'objet d'un contrôle de portance par essais à la plaque, à réaliser selon la procédure normalisée du LCPC. Les critères de réception seront:

- Module de déformation : EV2 > 50 MPa (pour des charges réparties ≤ 20 kN/m²) ;
- Module de déformation : EV2 > 70 MPa (pour des charges réparties > 20 kN/m²) ;
- EV2 / EV1 < 2,2.

Il faut rappeler que les sols qui constitueront les fonds de formes seront des matériaux limoneux, soit des sols sensibles voire très sensibles à l'action de l'eau et il faudra prendre toutes dispositions pour éviter leur remaniement et leur détrempage.

Il conviendra de réaliser un contrôle strict de l'arase de terrassement afin de purger les poches de sols remaniés et/ou présentant des phénomènes de matelassage.

Dans tous les cas, les matériaux orniérés ou présentant des phénomènes de matelassage devront être purgés au préalable.

Un contrôle visuel strict du fond de forme sera effectué (visuels, essais …).

Compte tenu des sols encaissants très peu perméable, il conviendra de réaliser des formes de pentes afin d'éviter toutes stagnations d'eaux.

- **Evaluation simplifiée des tassements**

Tranche de terrain / Prof. (m)	0,0/0,7	0,7/1,0	1,0/4,5	4,5/7,0	7,0/11,0	11,0/15,0	15,0/20,0
Nature	Forme granulaire	Remblai	Limon 1	Argile 2	Argile 2	Sable 1	Sable 2
Module Pressiométrique Em (MPa)	/	2,0	1,6	4,5	13,5	29,5	28,0
α	/	1/2	1/2	2/3	2/3	1/3	1/3
Module d'Elasticité Es (MPa)	45/63 (*)	4,0	3,2	6,7	20,2	88,5	84,0

(*) $E_s = 0{,}9 \times E_{v2}$

Tableau 32 : Maquette géotechnique – Dallage zone Centrale

Tranche de terrain / Prof. (m)	0,0/0,7	0,7/1,0	1,0/4,5	4,5/5,5	5,5/7,0	7,0/15,0	15,0/20,0
Nature	Forme granulaire	Remblai	Limon 1	Argile 1	Sable 1	Sable 2	Sable 3
Module Pressiométrique Em (MPa)	/	2,0	1,6	7,5	31,0	75,0	59,3
α	/	1/2	1/2	2/3	1/3	1/3	1/3
Module d'Elasticité Es (MPa)	45/63 (*)	4,0	3,2	11,2	93	225	178

(*) $E_s = 0{,}9 \times E_{v2}$

Tableau 33 : Maquette géotechnique – Dallage zone Est

Les tassements absolus susceptibles d'affecter les futurs dallages, en prenant en compte des charges réparties homogènes, sont indiqués ci-après en considérant différentes sollicitations réparties appliquées.

Il a été considéré, pour les calculs, une forme de répartition de 70 cm d'épaisseur et un dallage en béton armé de 15 cm d'épaisseur avec un module de déformation du béton de 10 GPa (hypothèses à confirmer par le dallagiste), nous avons obtenu les estimations de tassements suivantes :

Sollicitations réparties	Tassements absolus	
	Zone Centrale	Zone Est
10 kPa	0,5 à 1,5 cm	0,5 à 1,0 cm
20 kPa	1,5 à 2,5 cm	1,0 à 2,0 cm
30 kPa	2,0 à 3,5 cm	1,5 à 2,5 cm

Tableau 34 : Evaluations des tassements – Dallage

Les calculs des tassements sous dallage ont également été effectués à l'aide du logiciel FOXTA, module « TASPLAQ » pour des surcharges sur dallage hypothétique. Il conviendra de nous les transmettre lors de la G2 PRO.

Il conviendra, toutefois, de s'assurer que les tassements absolus et différentiels du dallage soient compatibles avec les contraintes réelles liées à l'exploitation.

Nous rappelons également que les tassements liés aux fondations et liés au dallage sont cumulatifs.

6.7. Conception de la voirie et des parkings

6.7.1. Gestion des eaux

Tout d'abord, nous pouvons constater que le site est peu favorable à une infiltration des eaux pluviales en raison de la proximité de la nappe, la nature des sols (limon sableux classe GTR A1/A2) et de leur perméabilité très faible.

Les travaux de terrassements des voiries et parking pourrait être concernées par la position de la nappe.

Nous rappelons qu'un suivi piézométrique sur une période de 12 mois et une étude hydrogéologique relative à la détermination des niveaux caractéristiques de la nappe sont en cours par notre service Hydrogéologie.

Les terrassements généraux relatifs à la mise en œuvre de la voirie imposeront la mise hors d'eau au préalable par la réalisation de tranchées reliées à un exutoire permettant d'essorer et d'assainir la plateforme en phase travaux et en phase d'exploitation.

La mise en place d'un dispositif d'épuisement de la nappe superficielle (par exemple via un système de pompage, voire un rabattement de nappe) pourra être envisagée et devra faire l'objet d'une étude hydrogéologique spécifique.

Dans tous les cas, les travaux de terrassements devront être réalisés en période climatique favorable (absence de précipitation, …) et il conviendra de réaliser des formes de pentes reliées à un exutoire afin d'éviter toutes stagnations d'eau en phase travaux.

Compte des niveaux d'eau relevés à faible profondeur et de la nature des sols, il sera nécessaire d'opte pour la réalisation d'une forme drainante reliée à un exutoire afin de gérer les eaux de la nappe et les eaux pluviales.

6.7.2. Partie Supérieure des Terrassements (P.S.T.)

- **<u>Préconisations générales</u>**

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 la terre végétale, les enrobés et les dalles bétons.

Dans le cas présent, la PST sera constituée par les horizons de limon-argilo-sableux de classe GTR A_1/A_2 suivant la norme NF P 11-300, ou ponctuellement de sols F1.

Dans le cas où des poches de remblais ou des remblais indurés (béton, brique, vestiges de fondations) seraient mises en évidence lors de la réalisation des travaux de terrassements, ces dernières devront également être purgées.

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).

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.

En parallèle, les horizons de limon-argilo-sableux de faibles caractéristiques mécaniques pourraient présenter des phénomènes de matelassage ce qui nécessiterait la réalisation d'un cloutage de l'arase de terrassement.

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

6.7.3. 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} ≥ 50 mm, type calcaire 0/120 mm par exemple).

Les solutions variantes suivantes pourront être réalisées sous réserve de la réalisation d'une étude spécifique (**étude de traitement en cours de réalisation**) :

- Limon traité chaux/ciment **de 40 à 45 cm minimum** ;
- Plateforme mixte comprenant une couche de sols traités (limon traité chaux/ciment) et une couche granulaire.

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

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 65 cm en matériau granulaire.

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.

Compte tenu des horizons organiques mis en évidence, il ne faut pas exclure la déformabilité des horizons de surface.

- **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).

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

La présente étude G2 AVP sera complétée par une étude géotechnique de conception – phase « Projet » (mission G2 PRO), une fois les caractéristiques du projet fixées au stade projet (descentes de charges, calage définitif en cotes NGF) d'une part et après démolition des existants et réalisation d'investigations complémentaires sur le site d'autre part.

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.

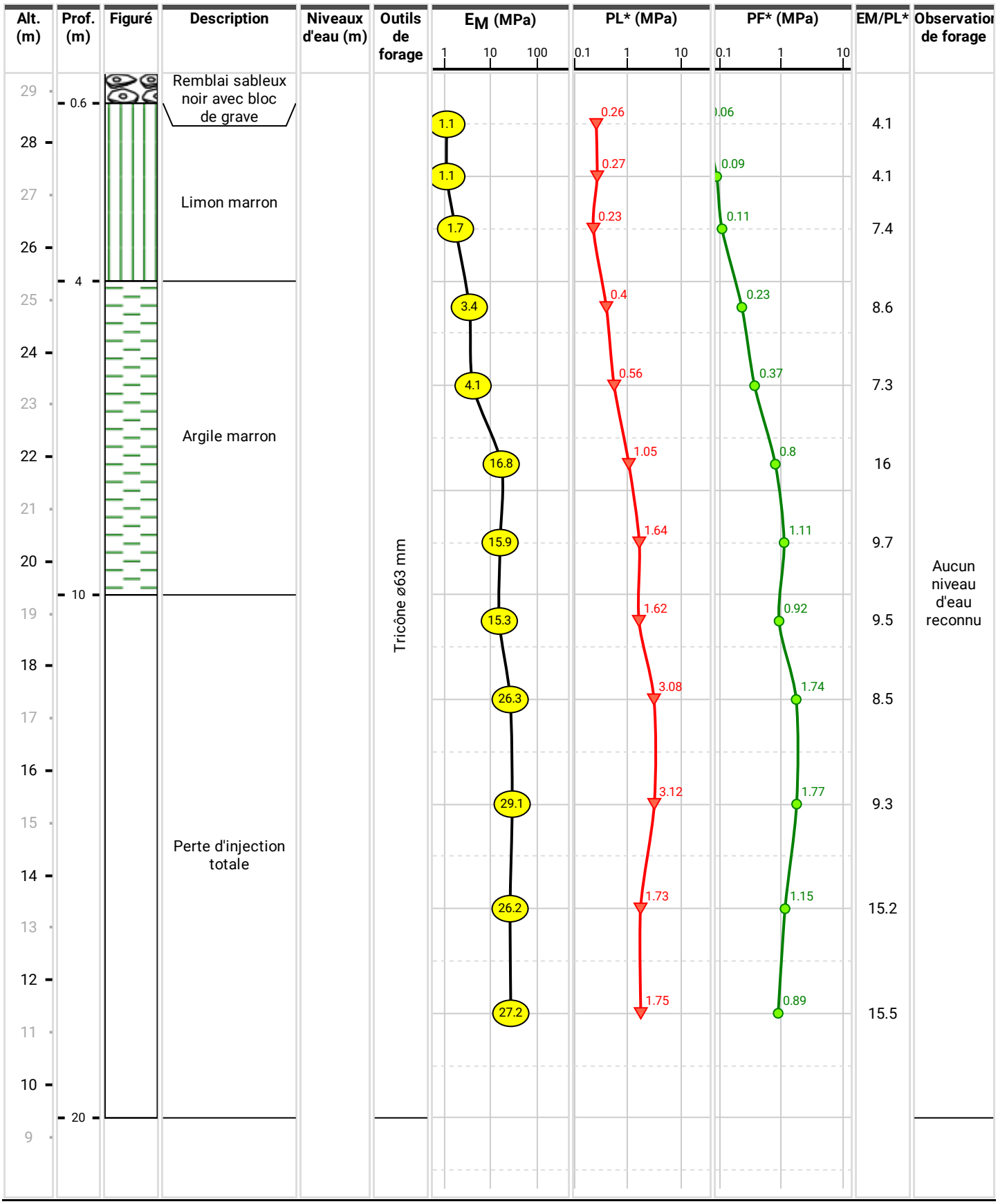
— Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

ANNEXE n°2 :
Coupes des sondages pressiométriques

SONDAGE PRESSIOMETRIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

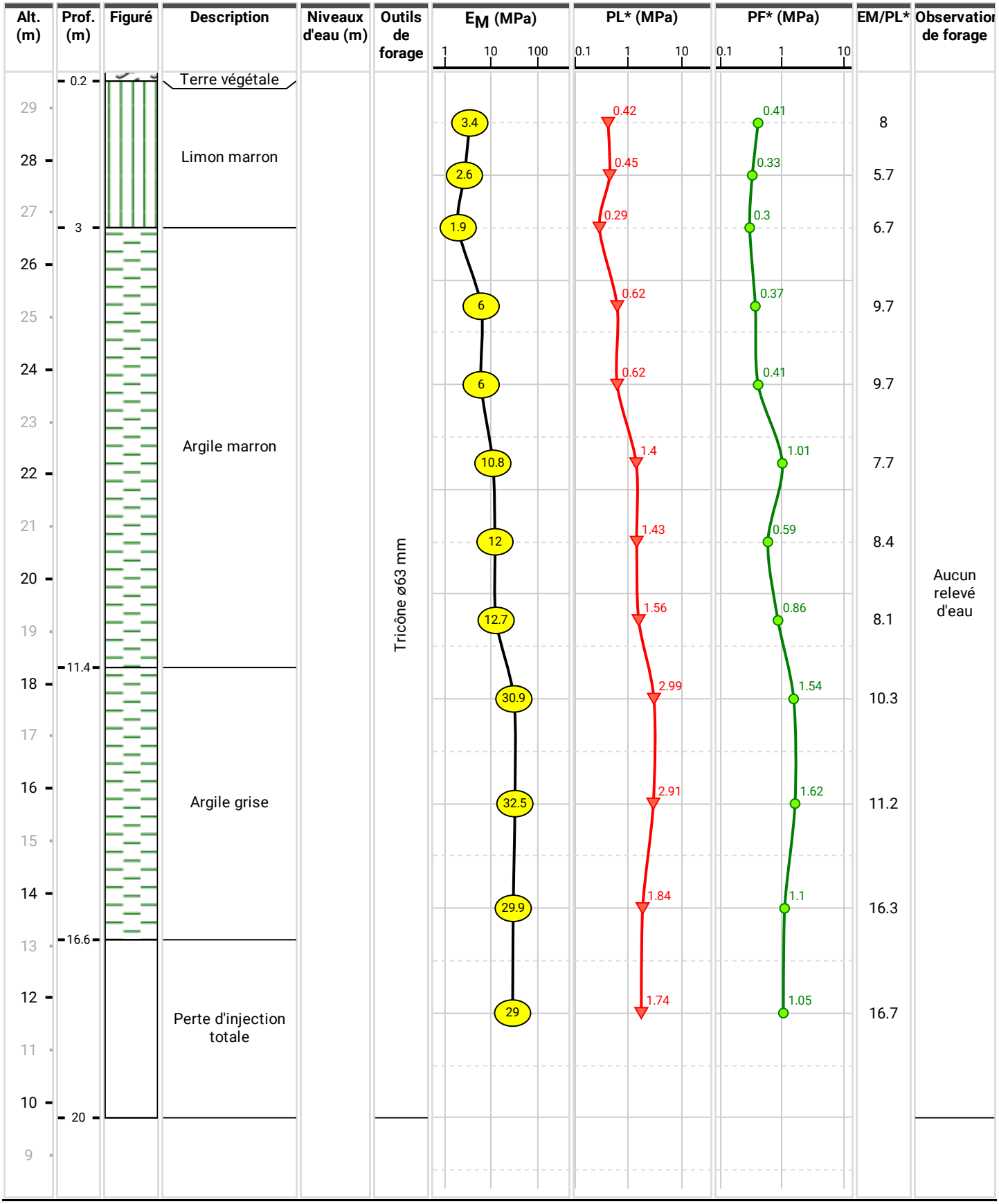
Forage	Dossier
PR1	2024.0536
Date de début	Chantier
29/01/2025	Rue du Calvaire - HEM (59)
Altitude undefined	Description du dossier
29.36 m	Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux
	Client
	ETIXIA



SONDAGE PRESSIOMETRIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

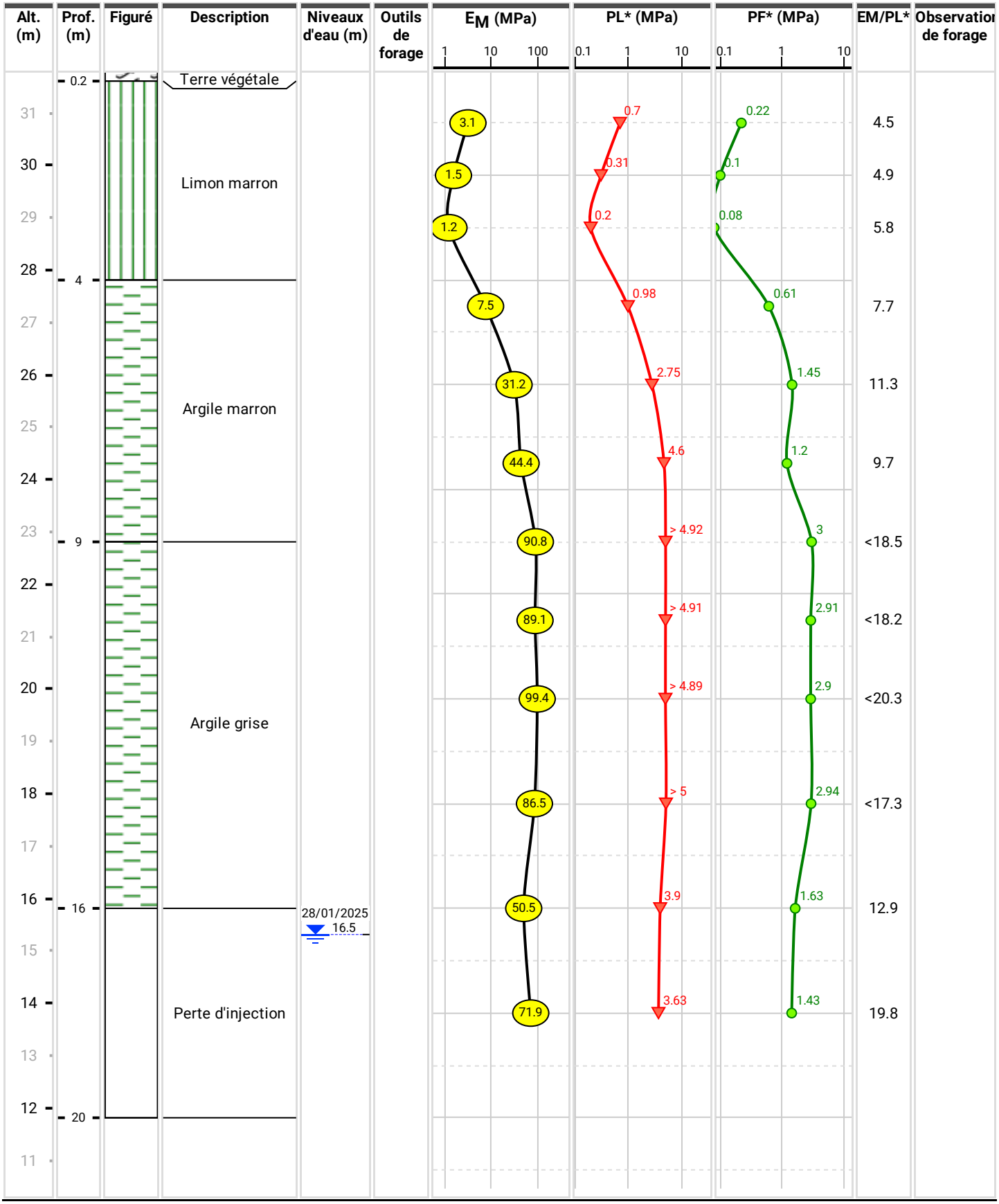
Forage	Dossier
PR2	2024.0536
Date de début	Chantier
29/01/2025	Rue du Calvaire - HEM (59)
Altitude undefined	Description du dossier
29.71 m	Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux
	Client
	ETIXIA



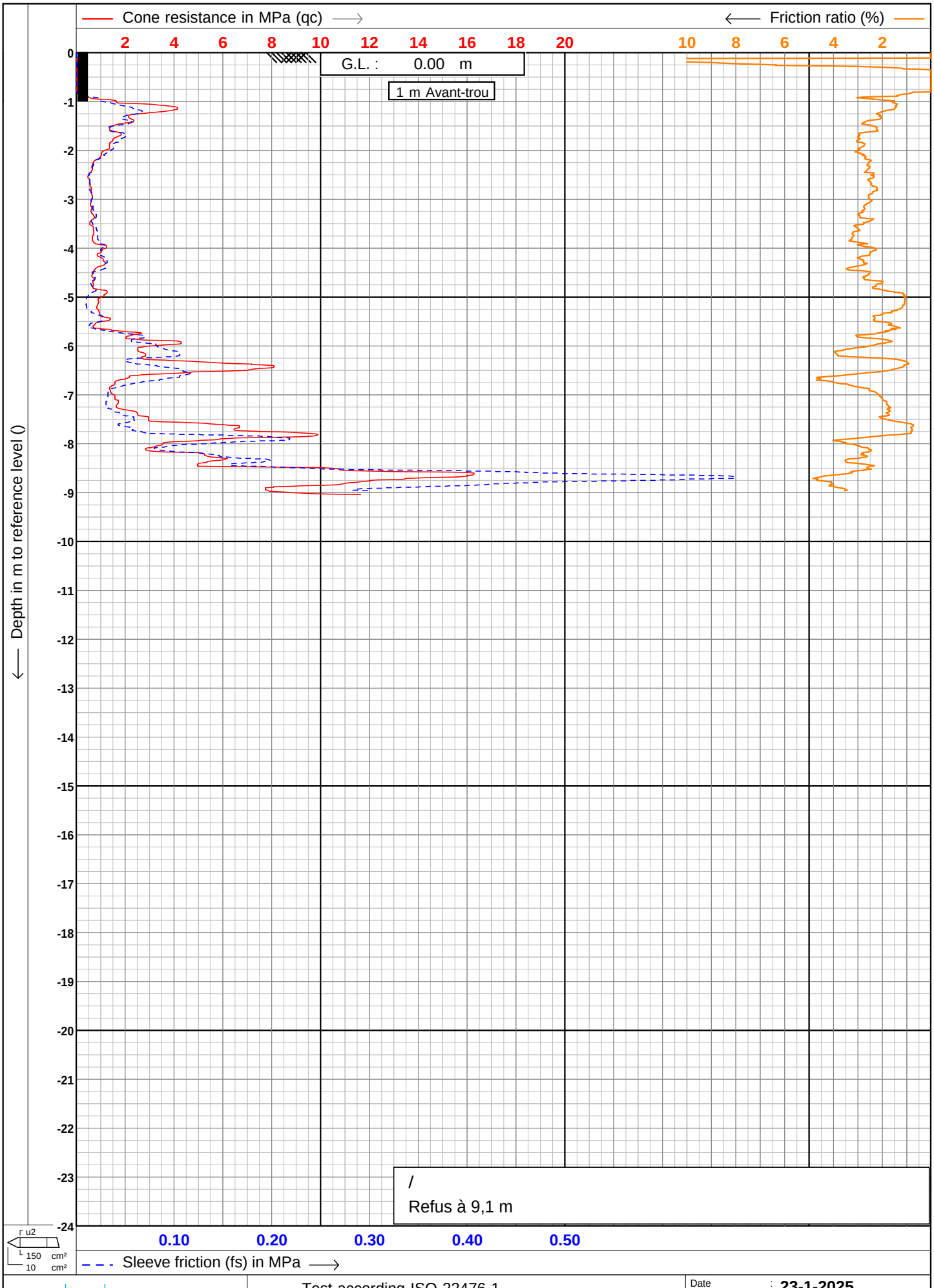
SONDAGE PRESSIOMETRIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

Forage	Dossier
PR3	2024.0536
Date de début	Chantier
28/01/2025	Rue du Calvaire - HEM (59)
Altitude undefined	Description du dossier
31.81 m	Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux
	Client
	ETIXIA



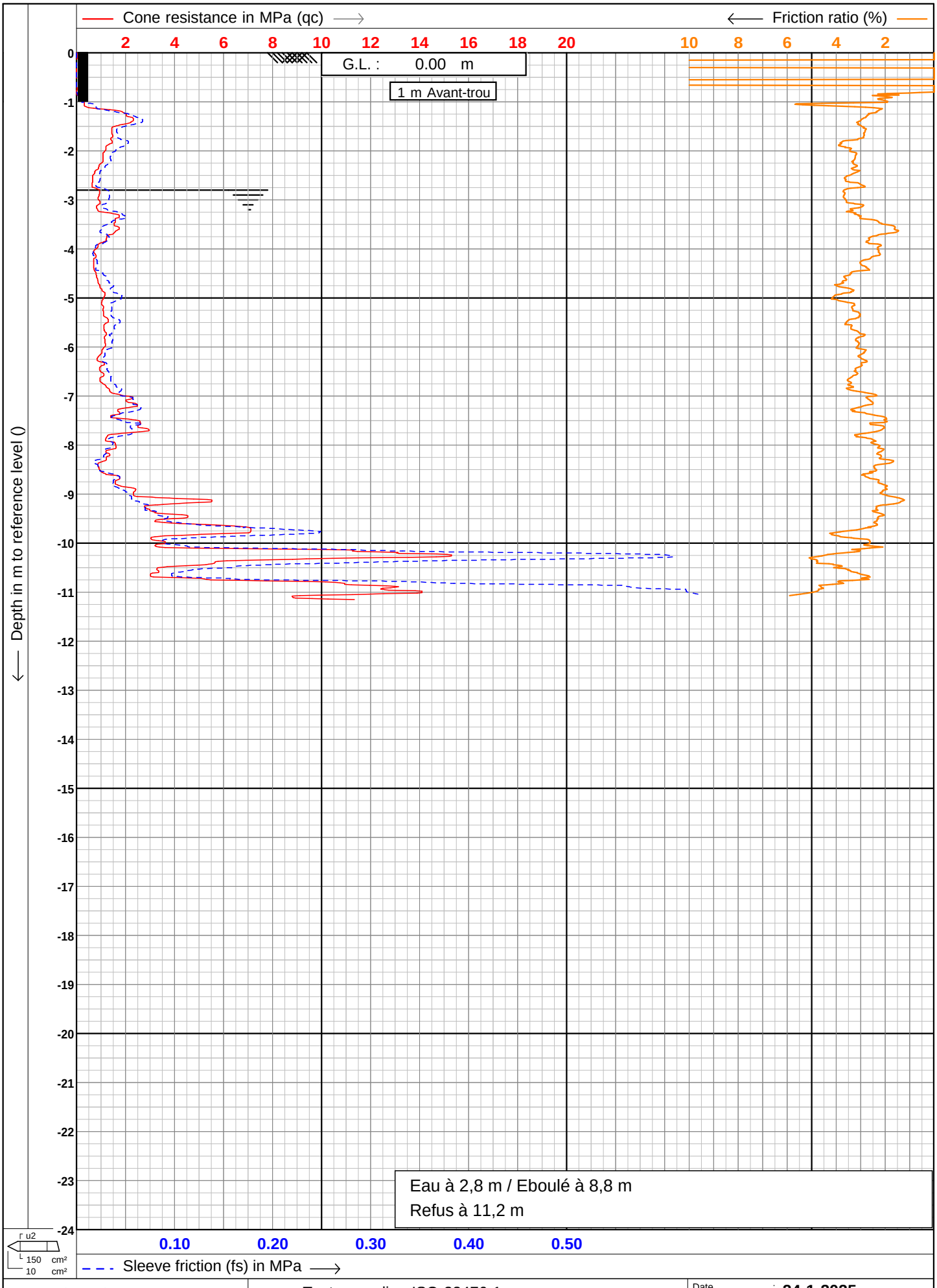
ANNEXE n°3 :
Diagrammes des essais au pénétromètre statique



CPT-OFFICE

Test according ISO 22476-1

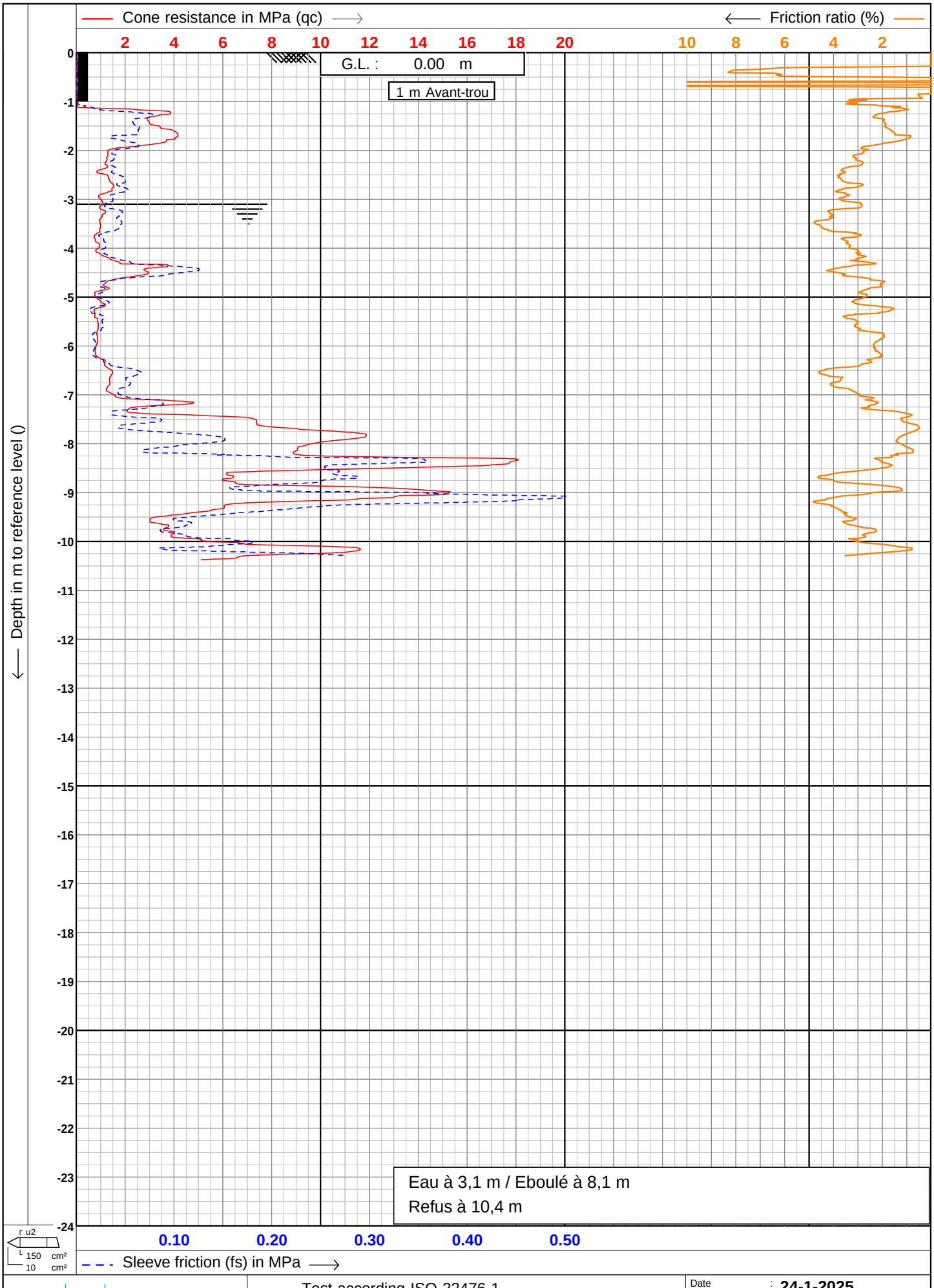
Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**23-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**P1** 1/1



Test according ISO 22476-1

CPT-OFFICE

Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**24-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**P2** 1/1



CPT-OFFICE

Test according ISO 22476-1

Project : **ETIXIA**

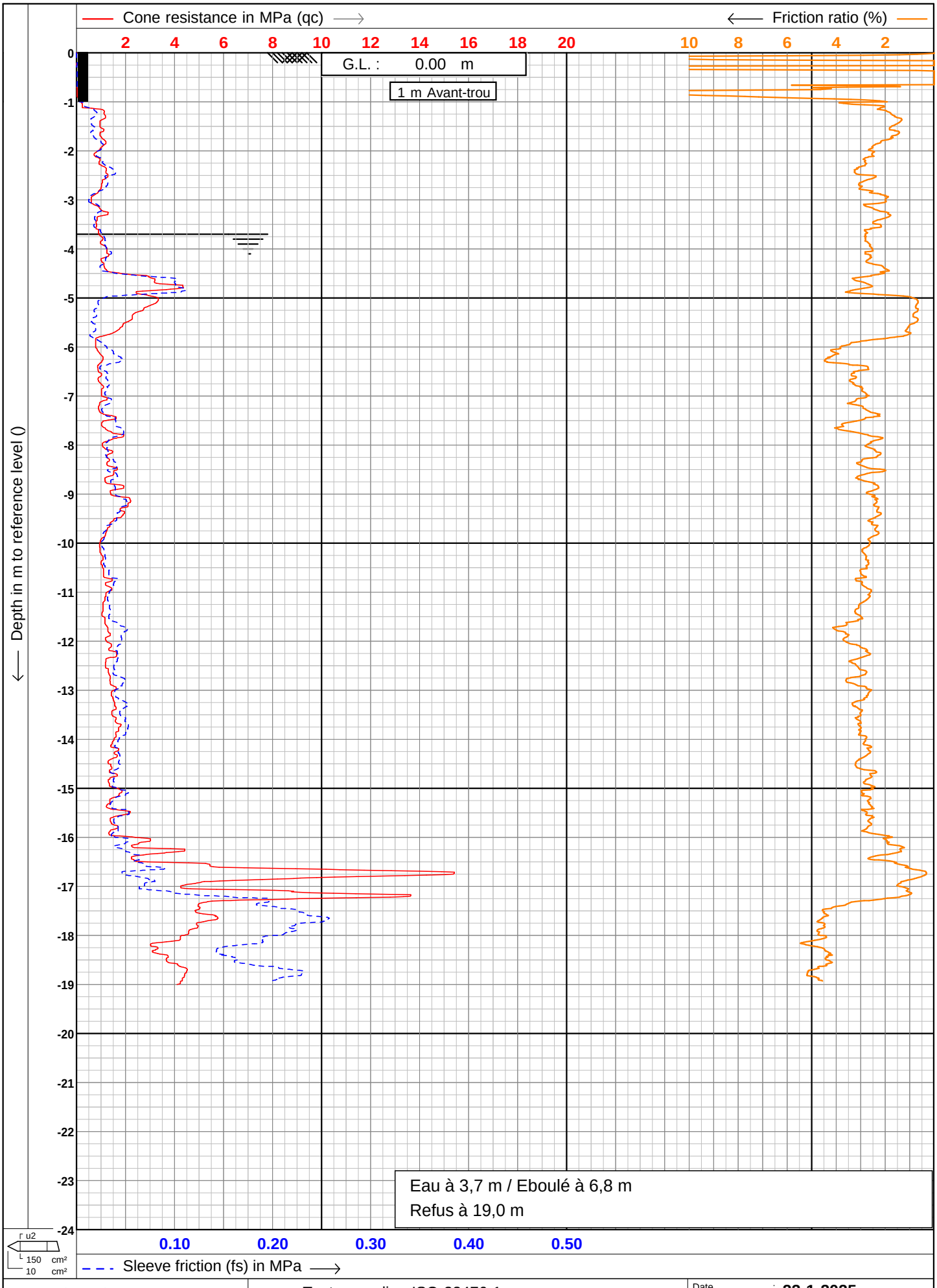
Location : **Rue du Calvaire - HEM (59)**

Date : **24-1-2025**

Cone no. : **DP10CFPTXY.60388**

Project no. : **2024.0536**

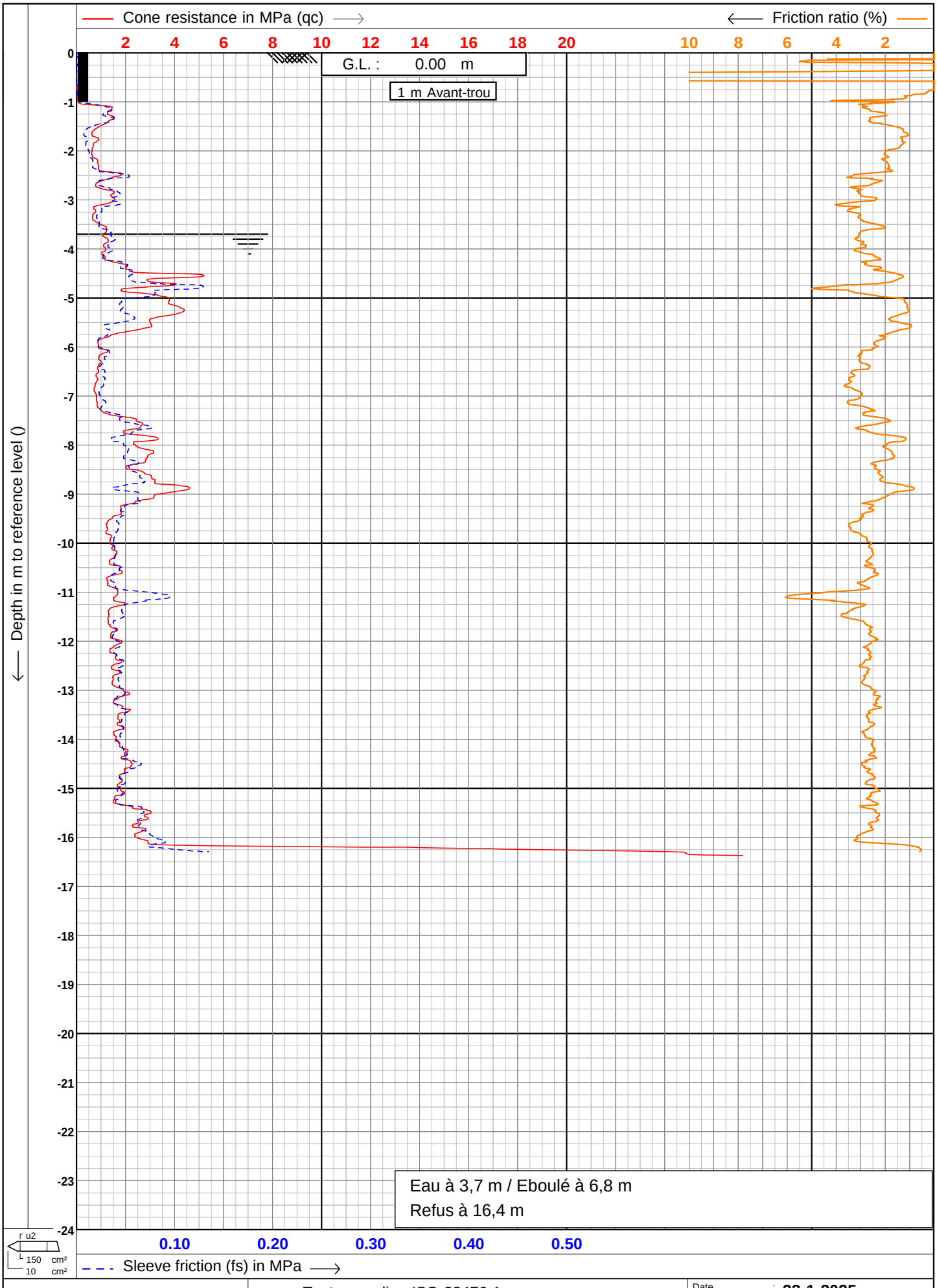
CPT no. : **P3** **1/1**



CPT-OFFICE

Test according ISO 22476-1

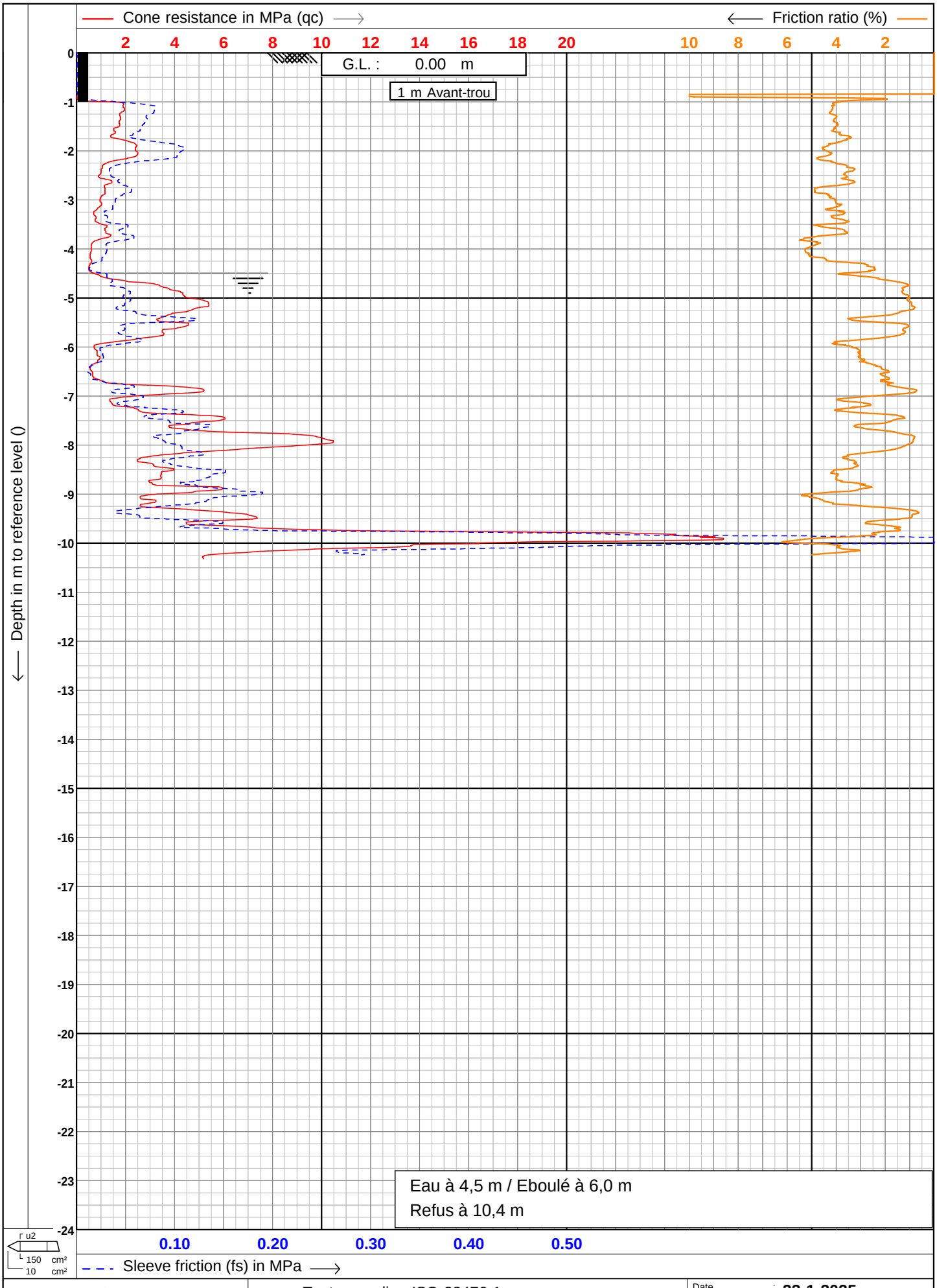
Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**23-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**P6**



CPT-OFFICE

Test according ISO 22476-1

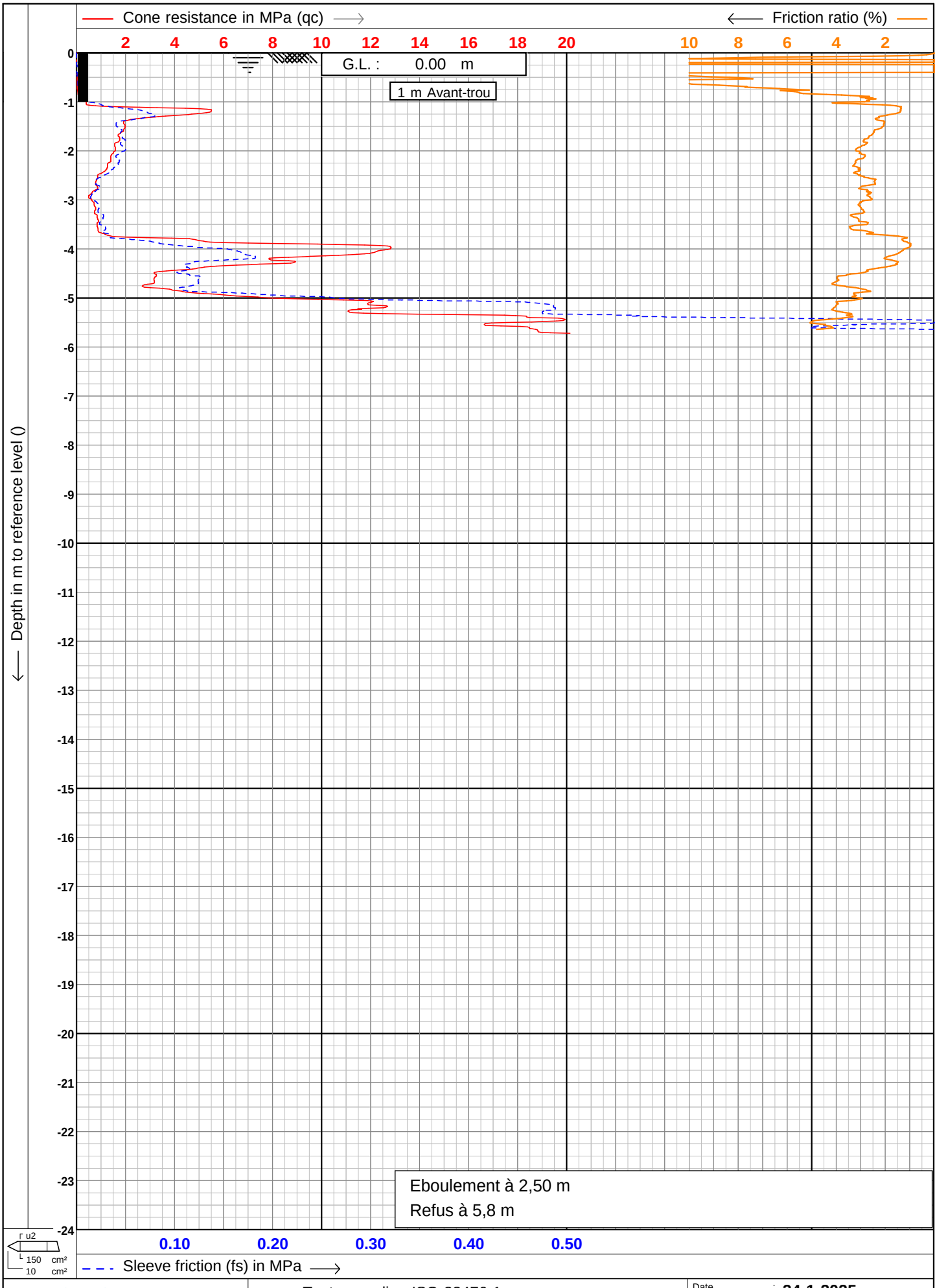
Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**23-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**p7** 1/1



Test according ISO 22476-1

CPT-OFFICE

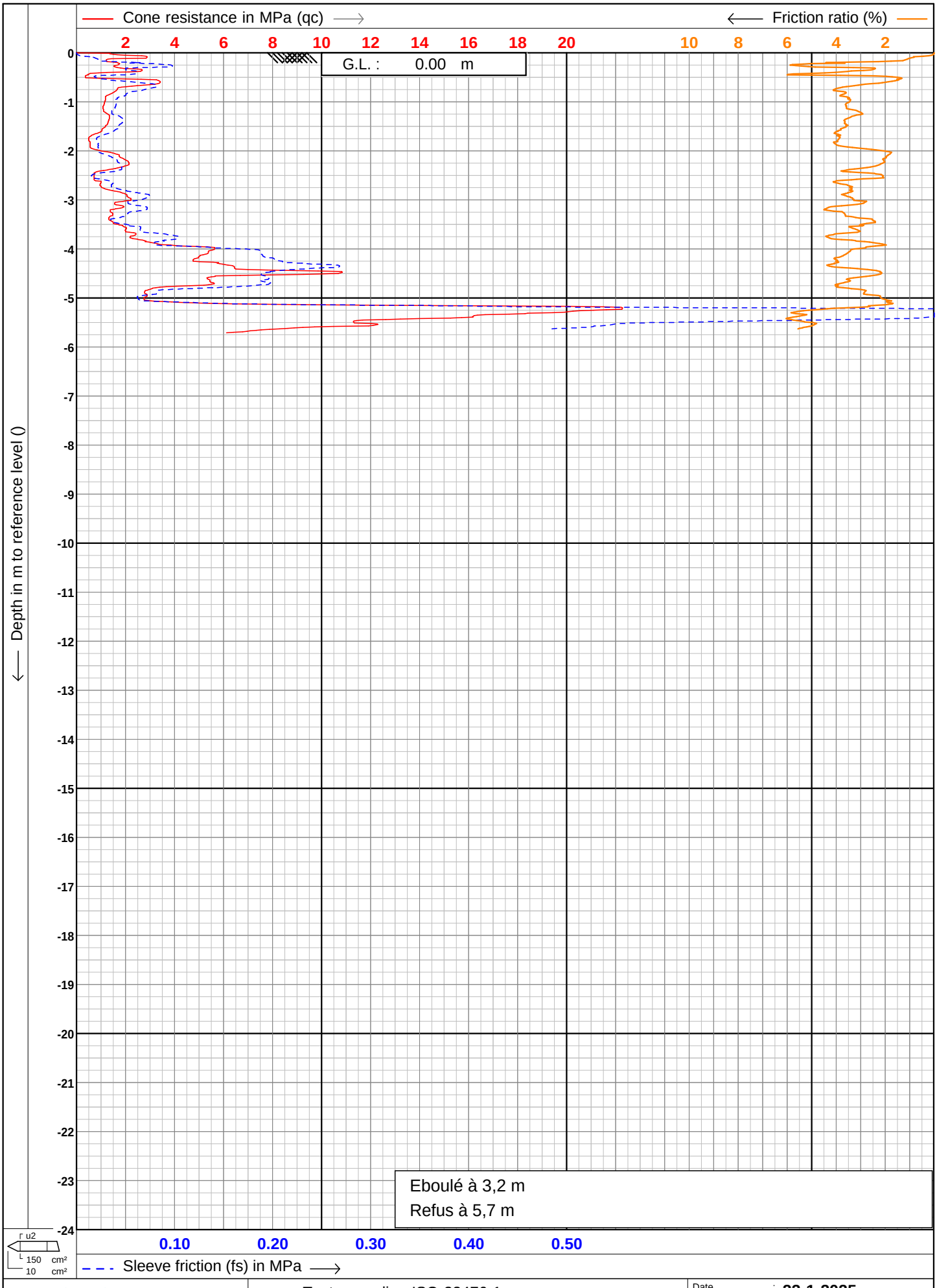
Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**23-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**p8** 1/1



CPT-OFFICE

Test according ISO 22476-1

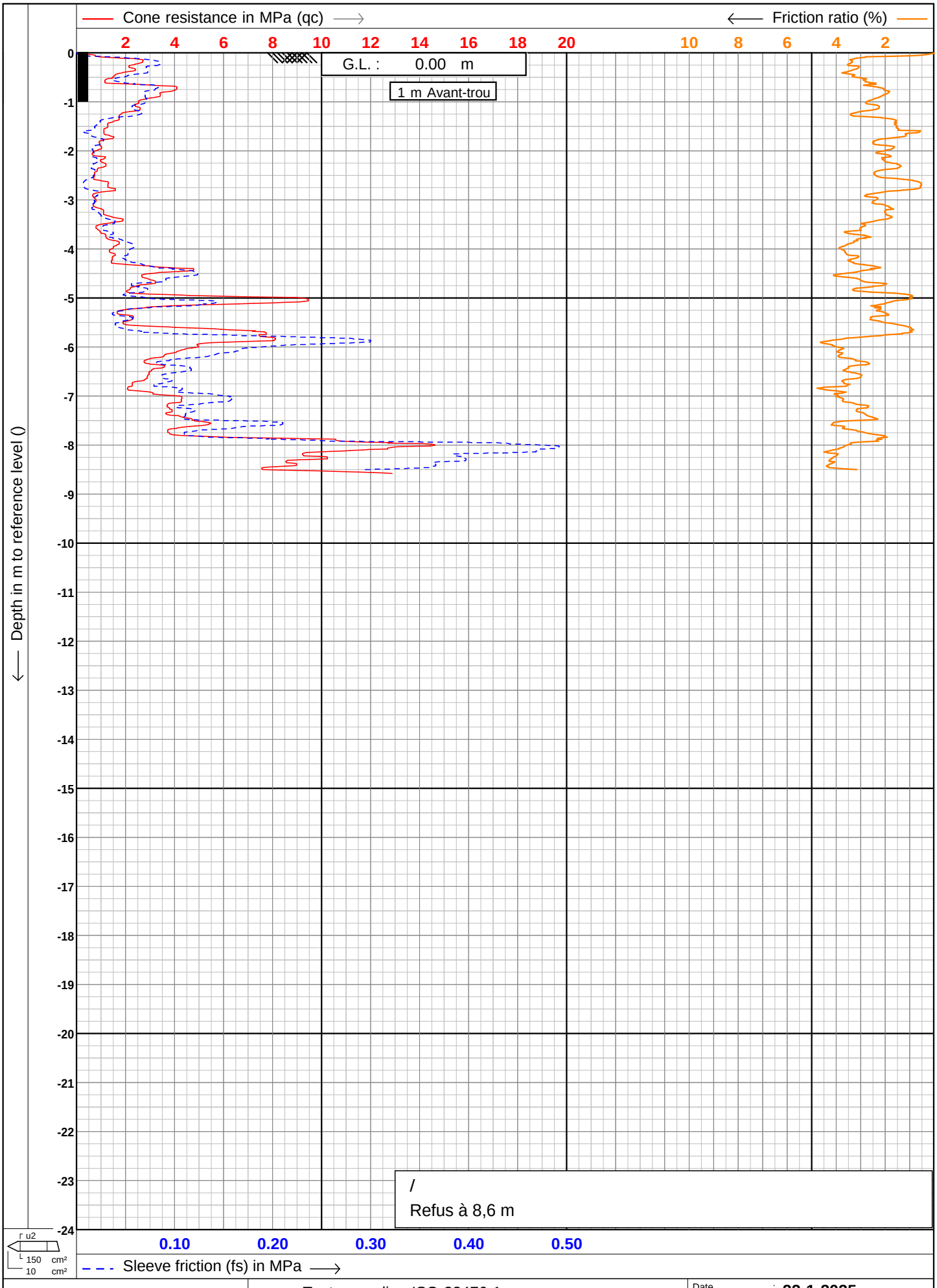
Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**24-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**P9**



CPT-OFFICE

Test according ISO 22476-1

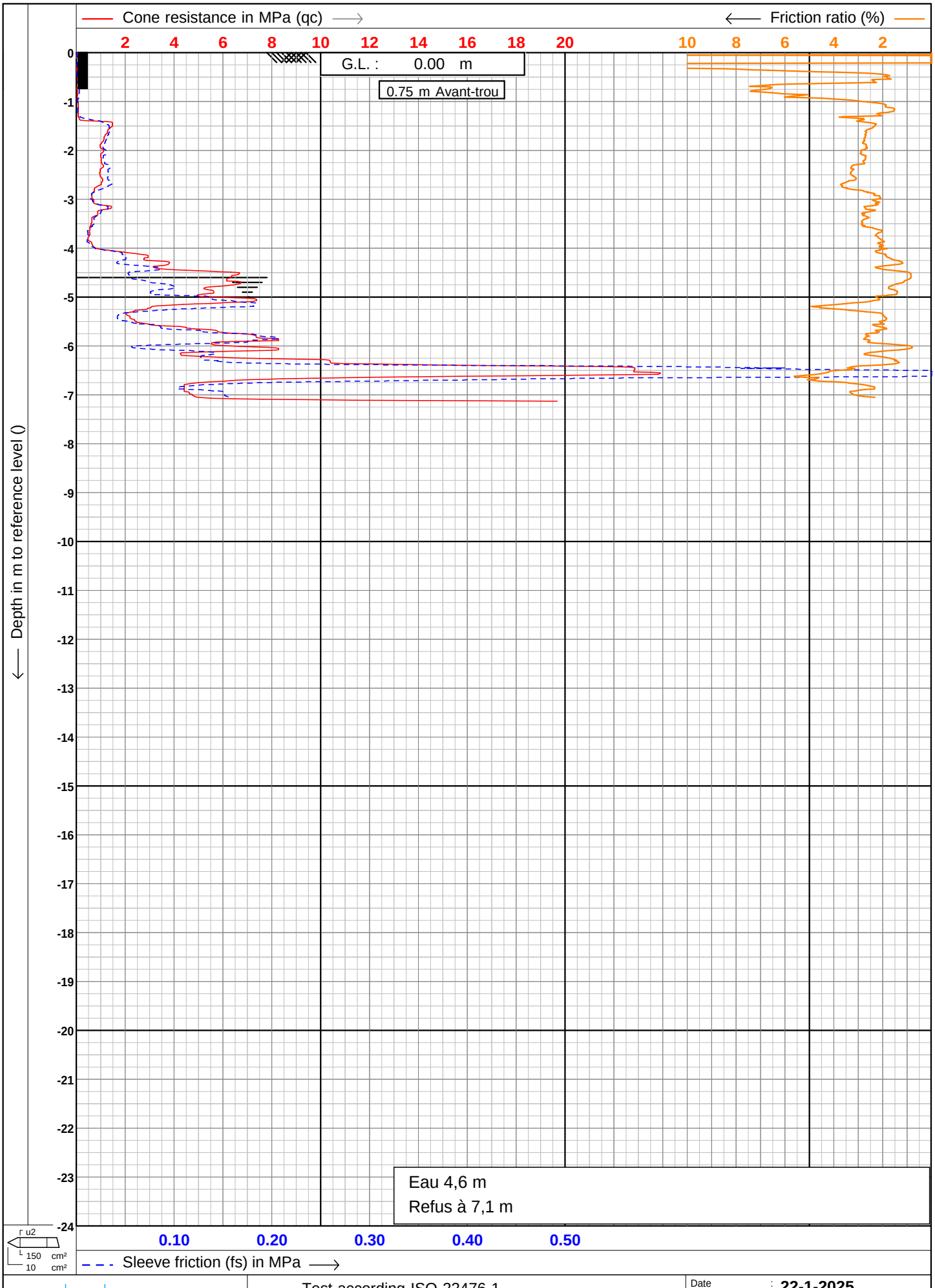
Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**23-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**P11** 1/1



CPT-OFFICE

Test according ISO 22476-1

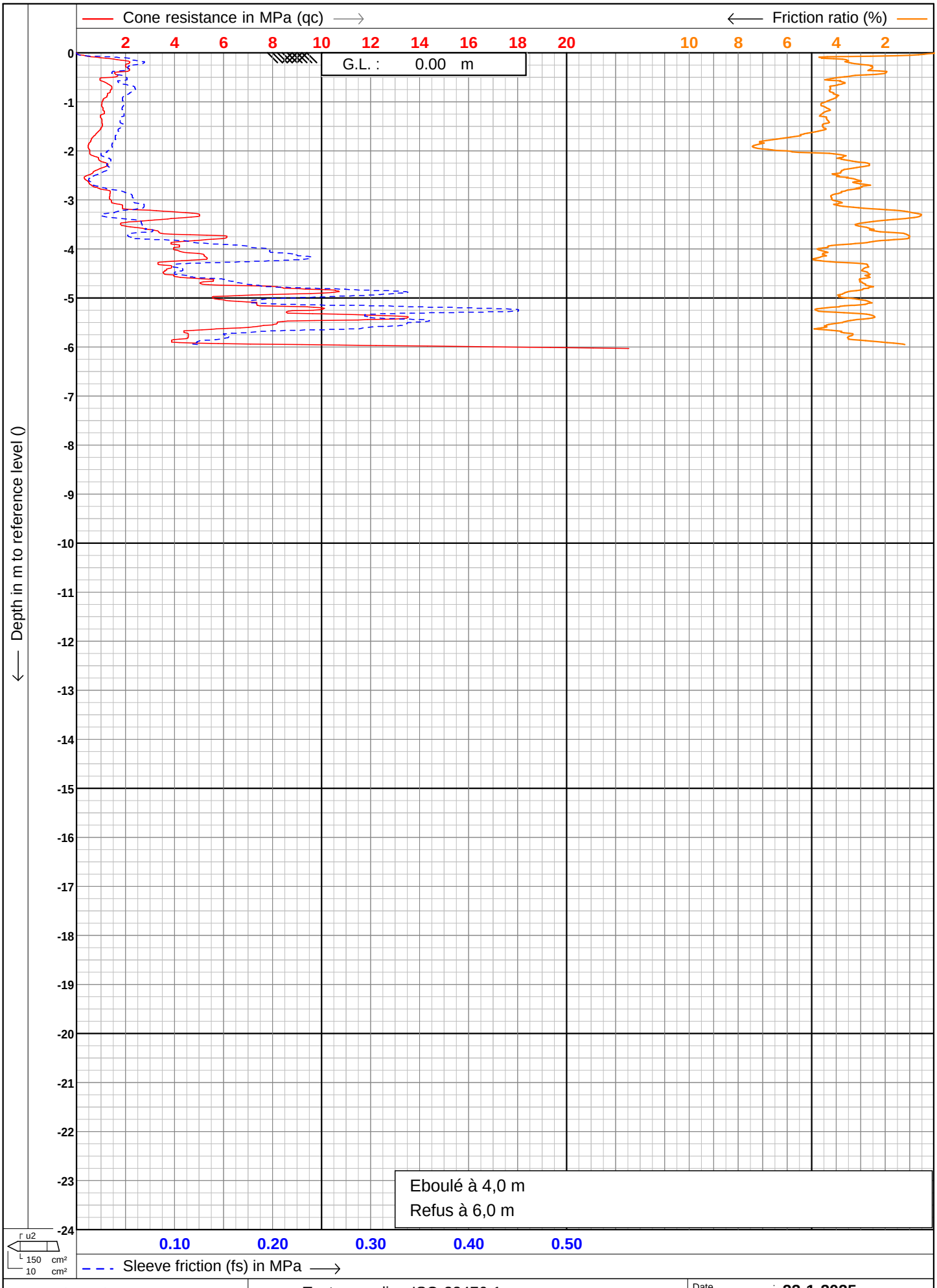
Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**22-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**P12**



CPT-OFFICE

Test according ISO 22476-1

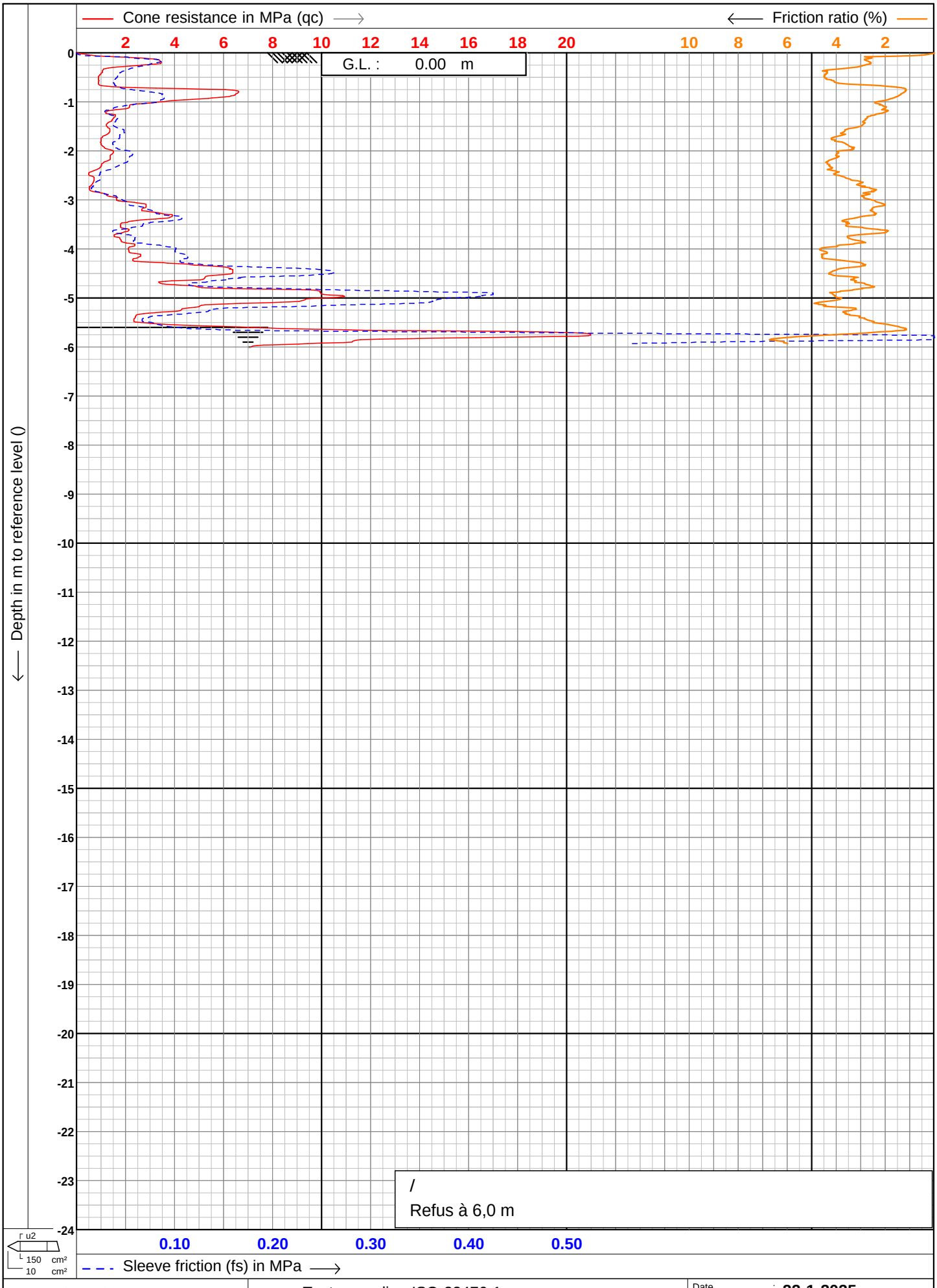
Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**22-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**P13** 1/1



Test according ISO 22476-1

CPT-OFFICE

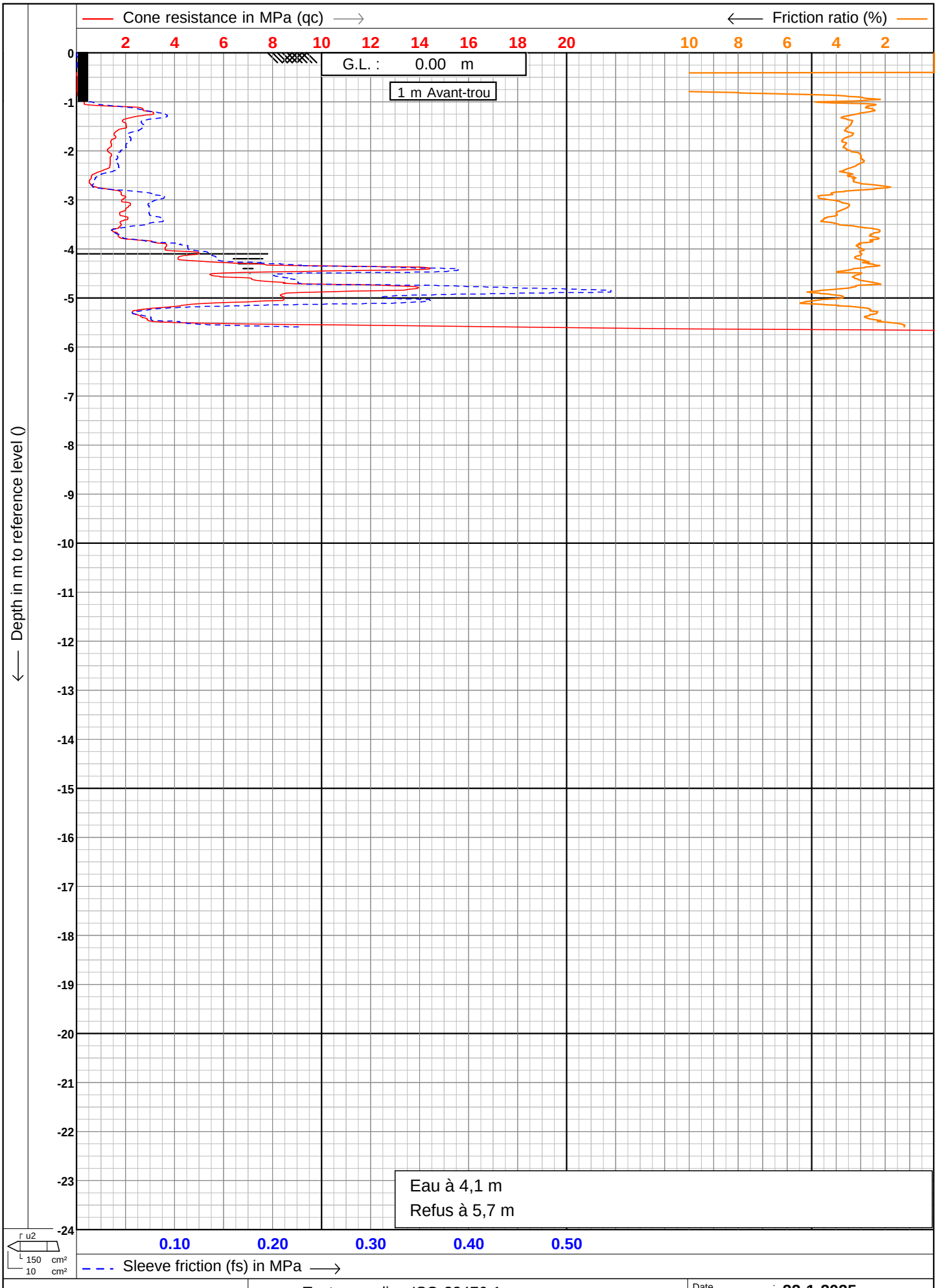
Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**23-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**P14** 1/1



CPT-OFFICE

Test according ISO 22476-1

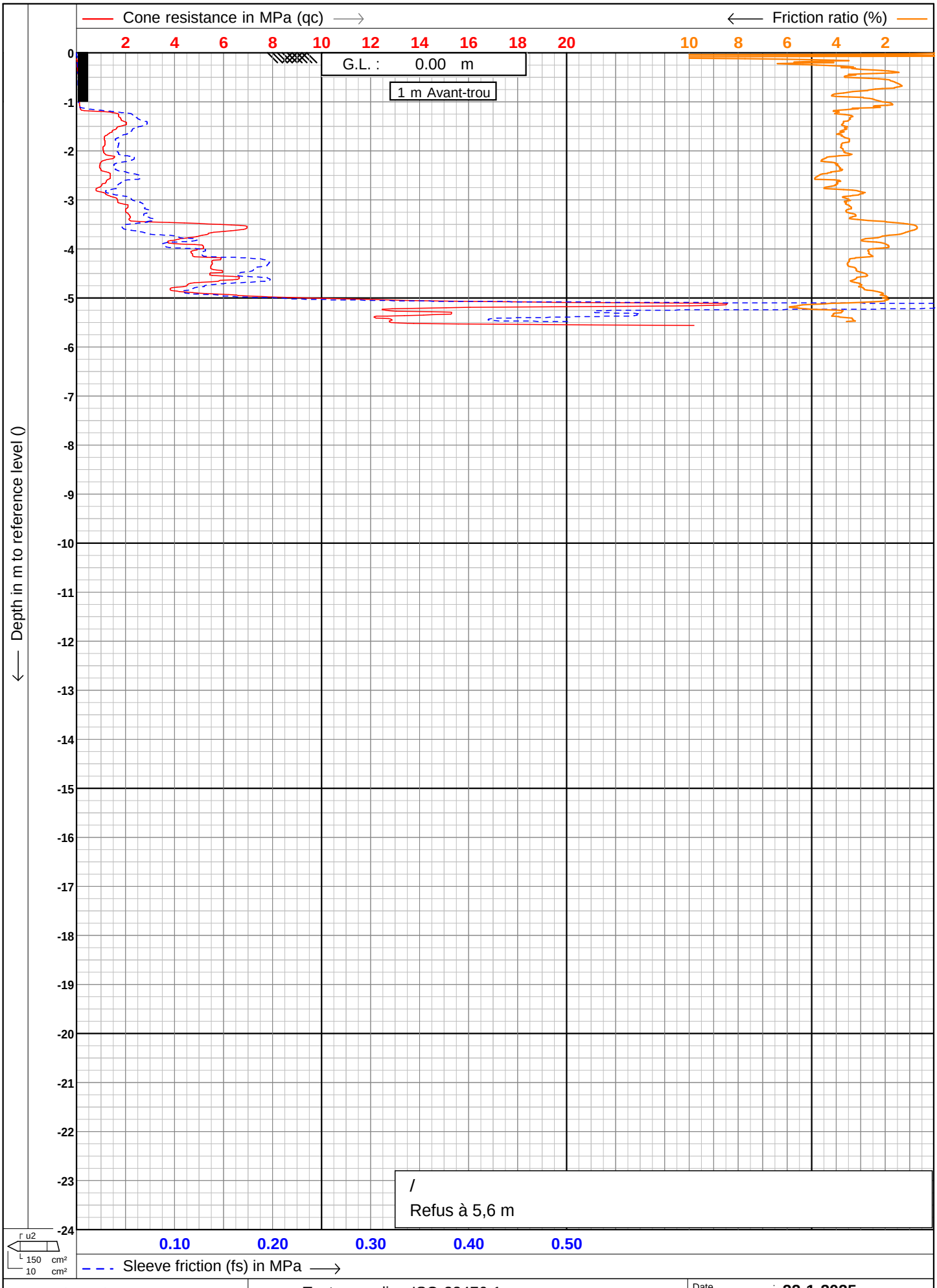
Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**22-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**P15** 1/1



CPT-OFFICE

Test according ISO 22476-1

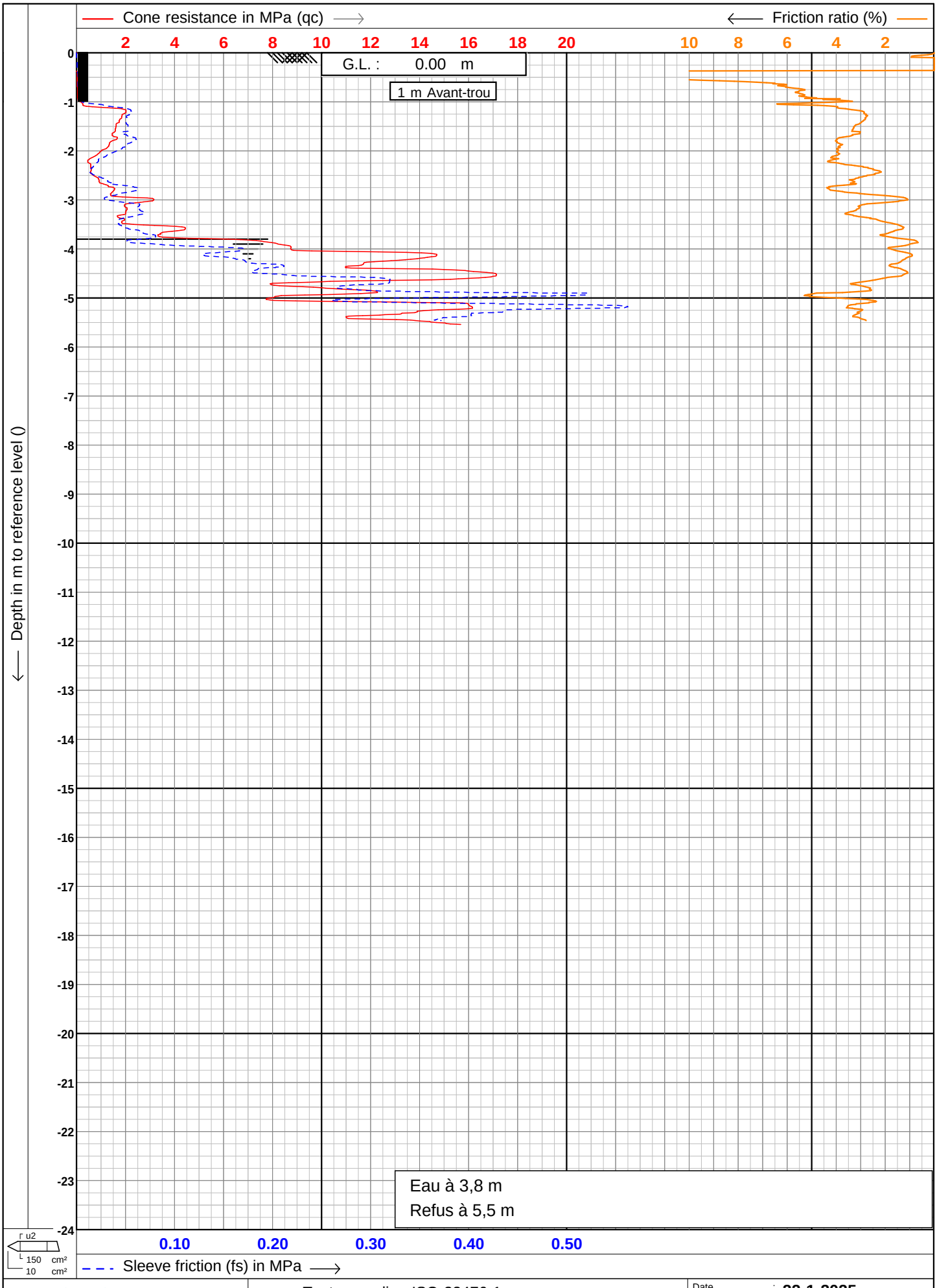
Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**22-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**P16** 1/1



CPT-OFFICE

Test according ISO 22476-1

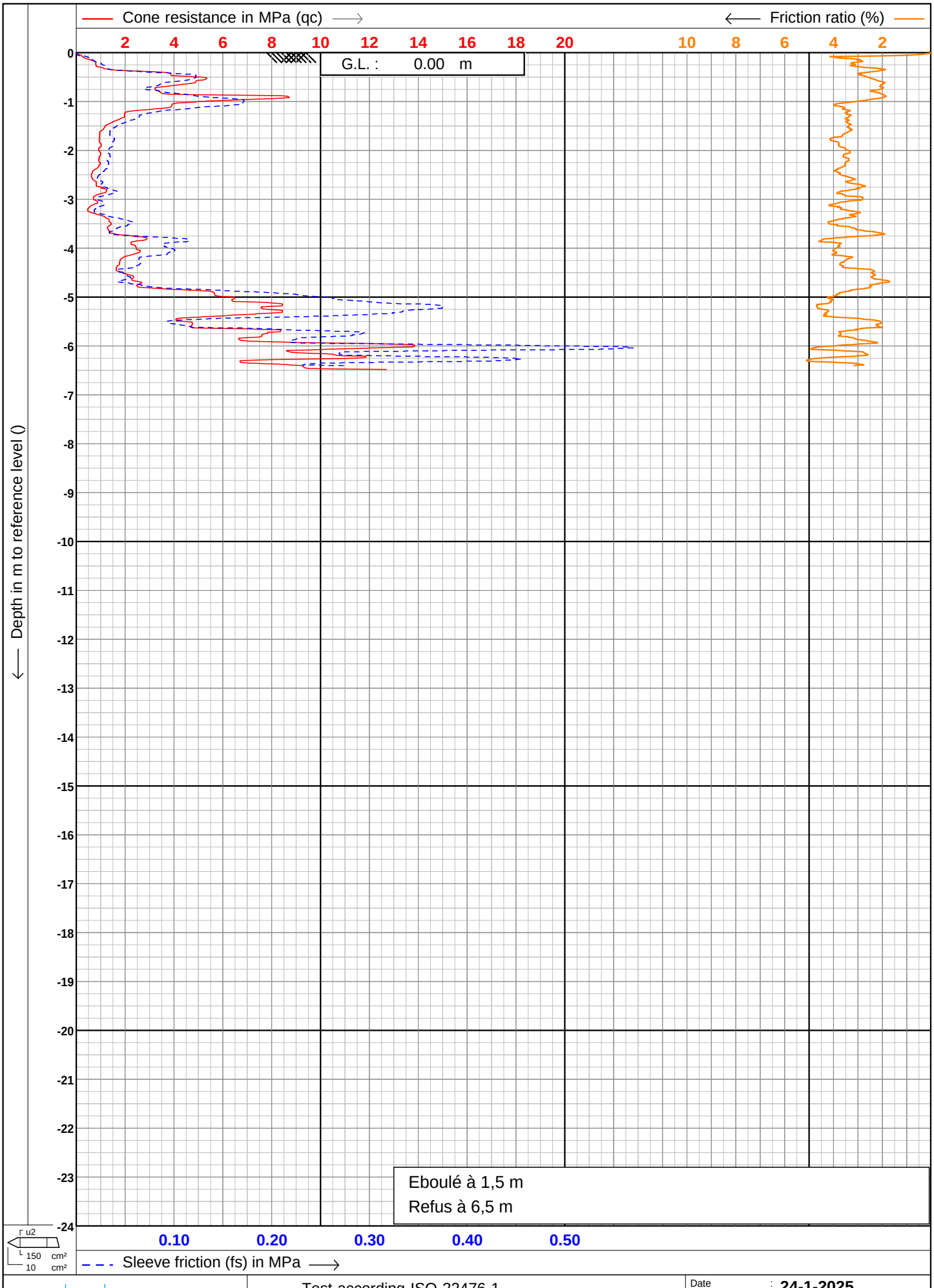
Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**22-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**P17** 1/1



CPT-OFFICE

Test according ISO 22476-1

Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**22-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**P18** 1/1



Test according ISO 22476-1

CPT-OFFICE

Project	:	**ETIXIA**
Location	:	**Rue du Calvaire - HEM (59)**
Date	:	**24-1-2025**
Cone no.	:	**DP10CFPTXY.60388**
Project no.	:	**2024.0536**
CPT no.	:	**P19** 1/1

ANNEXE n°4 :
Diagrammes des essais au pénétromètre dynamique lourd et sondage lithologique associé

PENETROMETRE DYNAMIQUE

APOGEO
Environnement & Géotechnique

Forage
PD1

Date de début
03/02/2025

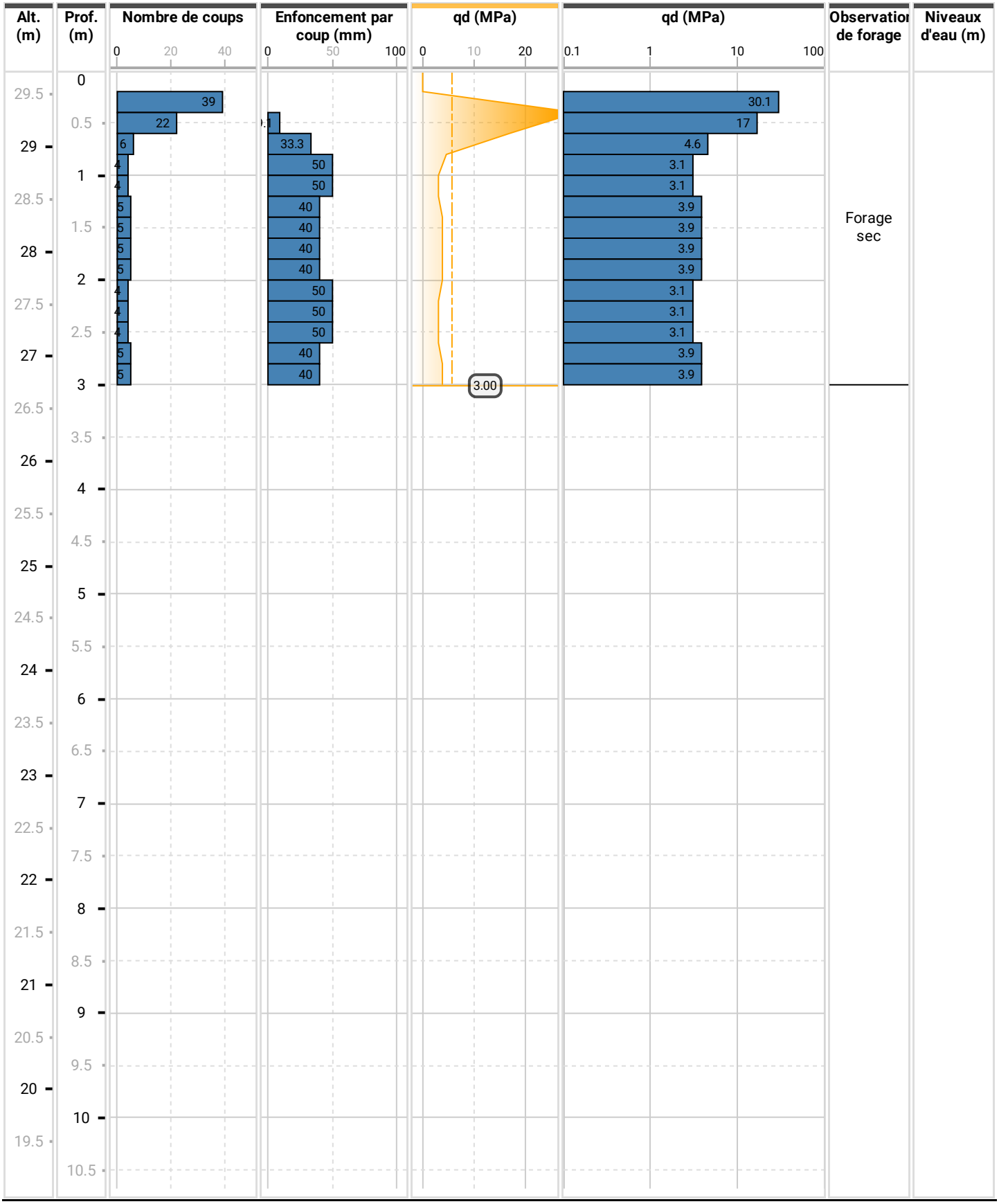
Altitude undefined
29.73 m

Dossier
2024.0536

Chantier
Rue du Calvaire - HEM (59)

Description du dossier
Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux

Client
ETIXIA



SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

Forage
S1

Date de début
03/02/2025

Altitude
undefined
29.73 m

Dossier
2024.0536

Chantier
Rue du Calvaire - HEM (59)

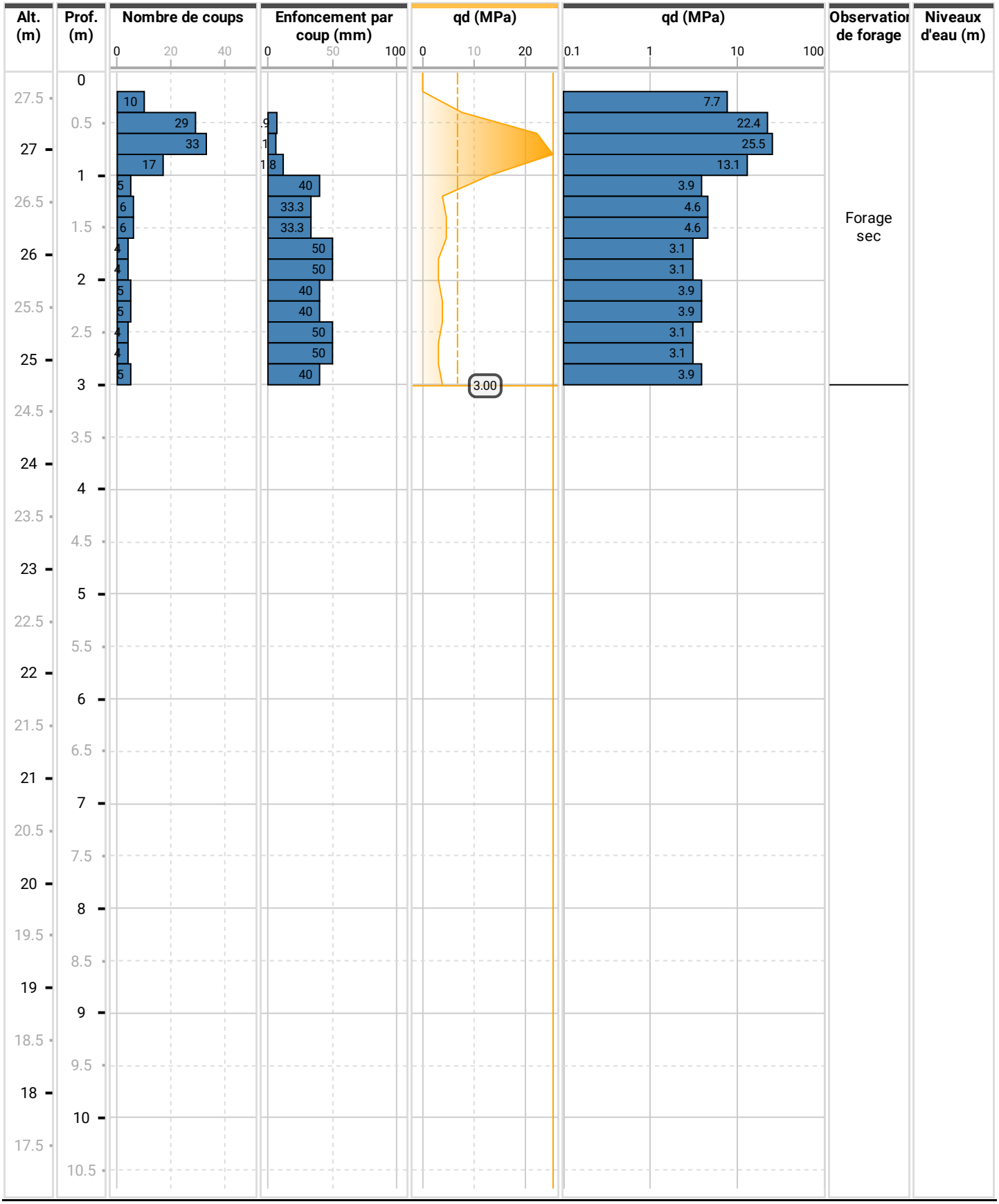
Description du dossier
Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux

Client
ETIXIA

Alt. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Niveaux d'eau (m)	Outils de forage	Observations de forage
29.5			Remblai		Tarière ø63 mm	Forage sec
29	0.7		Limon marron			
28.5						
28	1.6		Limon argileux marron			
27.5	2.2		Argile sablonneuse marron			
27	3					
26.5						
26						
25.5						
25						
24.5						
24						
23.5						
23						
22.5						
22						
21.5						
21						
20.5						
20						
19.5						

PENETROMETRE DYNAMIQUE

Forage	Dossier
PD2	2024.0536
Date de début	Chantier
03/02/2025	Rue du Calvaire - HEM (59)
Altitude undefined	Description du dossier
27.76 m	Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux
	Client
	ETIXIA



SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

Forage
S2

Date de début
03/02/2025

Altitude
undefined
27.76 m

Dossier
2024.0536

Chantier
Rue du Calvaire - HEM (59)

Description du dossier
Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux

Client
ETIXIA

Alt. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Niveaux d'eau (m)	Outils de forage	Observations de forage
27.5			Remblai		Tarière ø63 mm	Forage sec
27	0.9		Limon marron			
26.5	1.4		Limon argileux marron			
26						
25.5	2.5		Argile sablonneuse marron			
25	3					
24.5						
24						
23.5						
23						
22.5						
22						
21.5						
21						
20.5						
20						
19.5						
19						
18.5						
18						
17.5						

PENETROMETRE DYNAMIQUE

Forage
PD3

Dossier
2024.0536

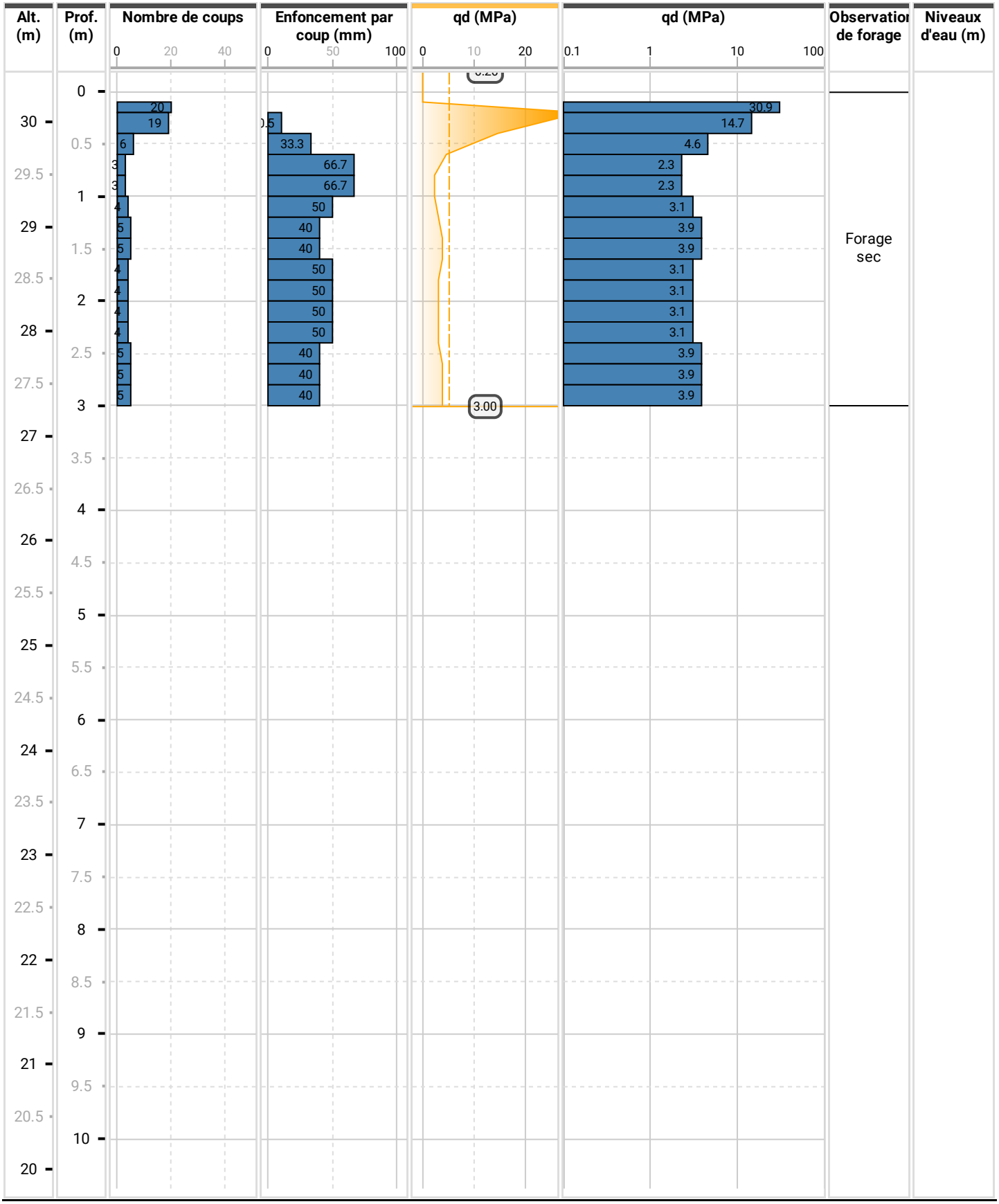
Date de début
03/02/2025

Chantier
Rue du Calvaire - HEM (59)

Altitude undefined
30.29 m

Description du dossier
Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux

Client
ETIXIA



SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

Forage
S3

Date de début
03/02/2025

Altitude
undefined
30.29 m

Dossier
2024.0536

Chantier
Rue du Calvaire - HEM (59)

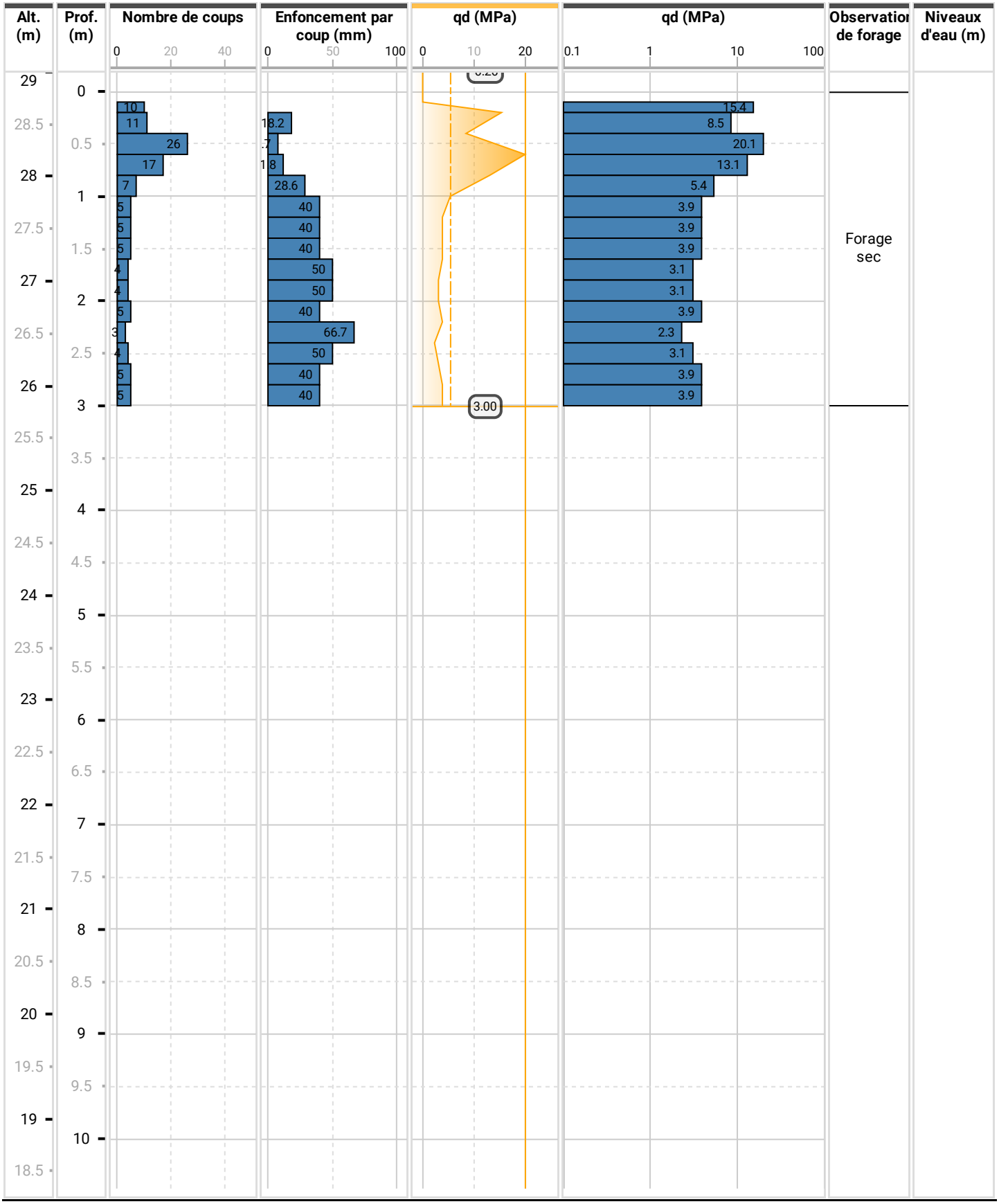
Description du dossier
Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux

Client
ETIXIA

Alt. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Niveaux d'eau (m)	Outils de forage	Observations de forage
30	0.4		Remblai		Tarière ø63 mm	Forage sec
29.5	1		Limon marron			
29			Limon sableux marron			
28.5						
28	2.4		Argile sablonneuse marron			
27.5	3					
27						
26.5						
26						
25.5						
25						
24.5						
24						
23.5						
23						
22.5						
22						
21.5						
21						
20.5						
20						

PENETROMETRE DYNAMIQUE

Forage	Dossier
PD4	2024.0536
Date de début	Chantier
03/02/2025	Rue du Calvaire - HEM (59)
Altitude undefined	Description du dossier
28.81 m	Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux
	Client
	ETIXIA



SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

Forage
S4

Date de début
03/02/2025

Altitude
undefined
30.29 m

Dossier
2024.0536

Chantier
Rue du Calvaire - HEM (59)

Description du dossier
Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux

Client
ETIXIA

Alt. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Niveaux d'eau (m)	Outils de forage	Observations de forage
30			Remblai		Tarière ø63 mm	RAS
29.5	0.8		Limon marron			
29	1.2		Limon argileux marron	03/02/2025 2.15		
28.5						
28	2.2		Argile sablonneuse marron			
27.5						
27	3					
26.5						
26						
25.5						
25						
24.5						
24						
23.5						
23						
22.5						
22						
21.5						
21						
20.5						
20						

PENETROMETRE DYNAMIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

Forage
PD5

Dossier
2024.0536

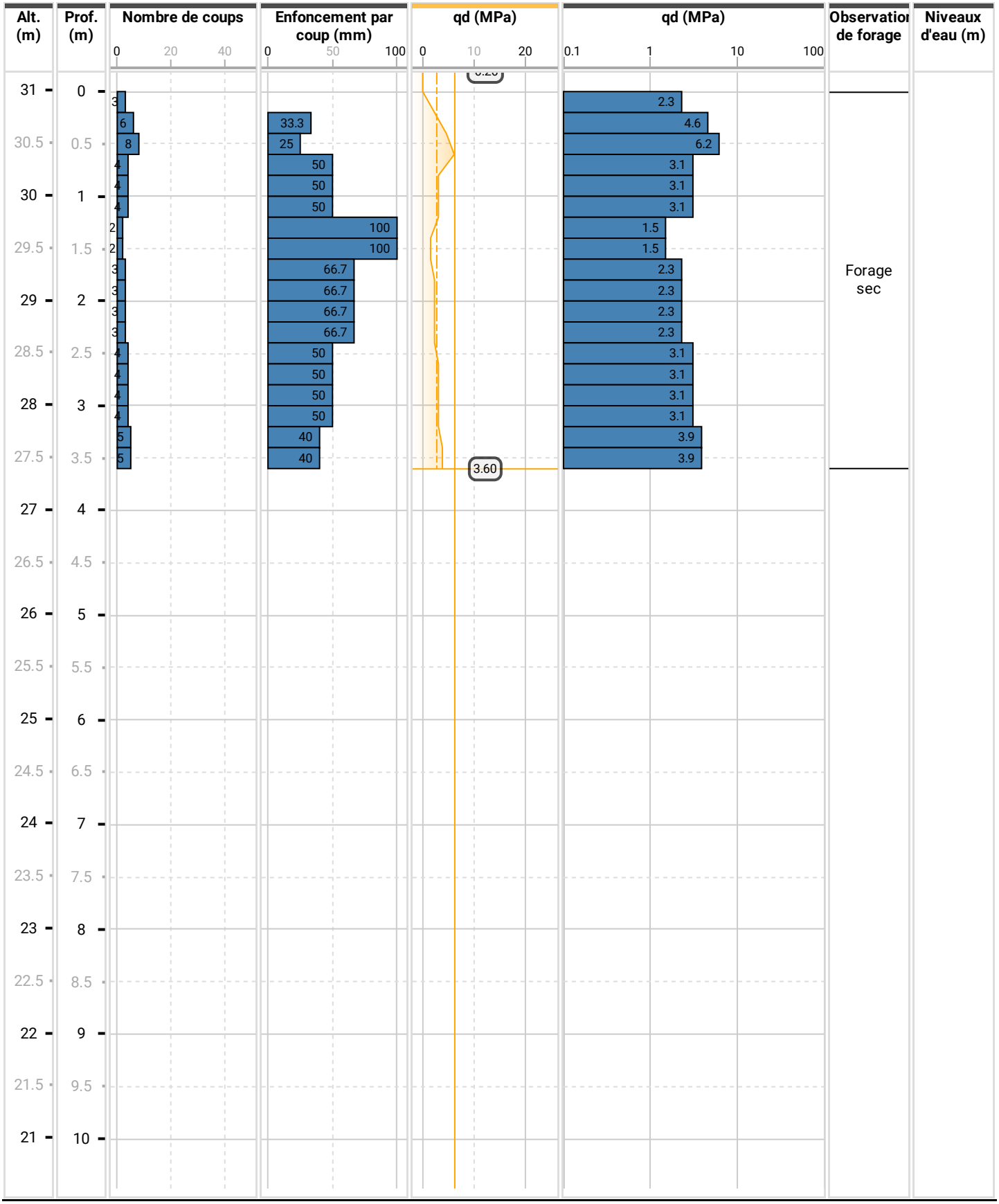
Date de début
03/02/2025

Chantier
Rue du Calvaire - HEM (59)

Altitude undefined
30.99 m

Description du dossier
Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux

Client
ETIXIA



SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

Forage	Dossier
S5	2024.0536
Date de début	Chantier
03/02/2025	Rue du Calvaire - HEM (59)
Altitude	Description du dossier
undefined	Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux
30.99 m	Client
	ETIXIA

Alt. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Niveaux d'eau (m)	Outils de forage	Observations de forage
30.5	0.5		Remblai		Tarière ø63 mm	Forage sec
30	1.2		Limon marron			
29.5			Limon argileux marron			
29						
28.5	2.4		Argile sablonneuse marron			
28	3					
27.5						
27						
26.5						
26						
25.5						
25						
24.5						
24						
23.5						
23						
22.5						
22						
21.5						
21						
20.5						

PENETROMETRE DYNAMIQUE

Forage
PD6

Dossier
2024.0536

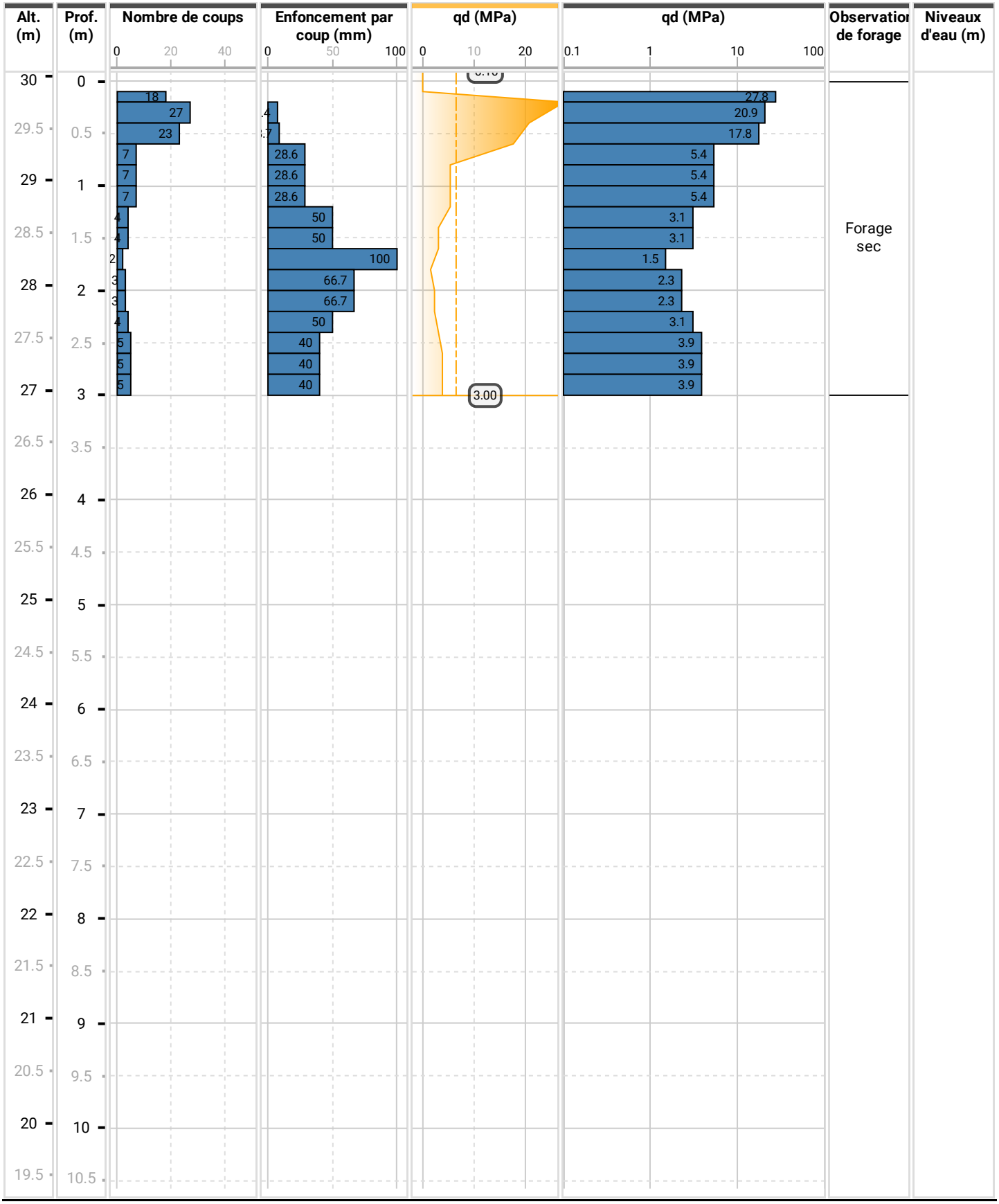
Date de début
03/02/2025

Chantier
Rue du Calvaire - HEM (59)

Altitude undefined
29.95 m

Description du dossier
Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux

Client
ETIXIA



SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

Forage
S6

Date de début
03/02/2025

Altitude
undefined
29.95 m

Dossier
2024.0536

Chantier
Rue du Calvaire - HEM (59)

Description du dossier
Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux

Client
ETIXIA

Alt. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Niveaux d'eau (m)	Outils de forage	Observations de forage
29.5	0.7		Remblai		Tarière ø63 mm	Forage sec
29			Limon marron			
	1.2					
28.5			Limon argileux marron			
28						
27.5	2.4		Argile sablonneuse marron			
27	3					
26.5						
26						
25.5						
25						
24.5						
24						
23.5						
23						
22.5						
22						
21.5						
21						
20.5						
20						
19.5						

ANNEXE n°5 :
Coupes des sondages lithologiques

SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

Forage	Dossier
R1	2024.0536
Date de début	Chantier
03/02/2025	Rue du Calvaire - HEM (59)
Altitude	Description du dossier
undefined	Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux
29.45 m	Client
	ETIXIA

Alt. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Niveaux d'eau (m)	Outils de forage	Observations de forage
29	0.2		Terre végétale limoneuse		Tarière ø114 mm	Forage sec
28.5			Limon marron		Carottier à paroi mince	
28						
27.5					Tarière ø63 mm	
27	2.7		Limon argilo sableux marron			
26.5						
26						
25.5	4					
25						
24.5						
24						
23.5						
23						
22.5						
22						
21.5						
21						
20.5						
20						
19.5						
19						

SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

Forage	Dossier
R2	2024.0536
Date de début	Chantier
03/02/2025	Rue du Calvaire - HEM (59)
Altitude	Description du dossier
undefined	Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux
29.71 m	Client
	ETIXIA

Alt. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Niveaux d'eau (m)	Outils de forage	Observations de forage
29.5	0.2		Terre végétale limoneuse		Tarière ø114 mm	Forage sec
29			Limon marron			
	1				Carottier à paroi mince	
28.5			Limon vasard marron			
	1.4					
28						
27.5					Tarière ø63 mm	
27			Limon marron			
26.5						
26						
	4					
25.5						
25						
24.5						
24						
23.5						
23						
22.5						
22						
21.5						
21						
20.5						
20						
19.5						

SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

Forage
R3

Date de début
04/02/2025

Altitude
undefined
30.18 m

Dossier
2024.0536

Chantier
Rue du Calvaire - HEM (59)

Description du dossier
Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux

Client
ETIXIA

Alt. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Niveaux d'eau (m)	Outils de forage	Observations de forage
30	0		Remblai limoneux marron a brique rouge et cailloutis		Tarière ø114	RAS
29.5	0.5		Remblai limono-graveleux marron a brique rouge et cailloutis		Carottier à paroi mince	
29	1.1		Limon marron			
28.5						
28						
27.5	2.5		Limon sablonneux marron	04/02/2025 3.1	Tarière ø63 mm	
27	3		Sable limoneux marron			
26.5						
26	4					
25.5						
25						
24.5						
24						
23.5						
23						
22.5						
22						
21.5						
21						
20.5						
20						

SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

Forage
R4

Date de début
04/02/2025

Altitude
undefined
30.89 m

Dossier
2024.0536

Chantier
Rue du Calvaire - HEM (59)

Description du dossier
Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux

Client
ETIXIA

Alt. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Niveaux d'eau (m)	Outils de forage	Observations de forage
30.5	0.2		Terre végétale limoneuse		Tarière ø114 mm	RAS
30			Limon marron			
	1.25		Limon vasard marron		Carottier à paroi mince	
29.5	1.55		Limon marron			
29	2		Limon légèrement argileux marron		Tarière ø63 mm	
28.5						
28	3		Sable argileux verdâtre	04/02/2025 3.2		
27.5						
27	4					
26.5						
26						
25.5						
25						
24.5						
24						
23.5						
23						
22.5						
22						
21.5						
21						
20.5						

SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

Forage
R5/LF1

Date de début
04/02/2025

Altitude
undefined

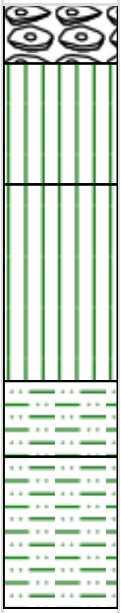
30.16 m

Dossier
2024.0536

Chantier
Rue du Calvaire - HEM (59)

Description du dossier
Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux

Client
ETIXIA

Alt. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Niveaux d'eau (m)	Outils de forage
30	0.4		Remblai limoneux gis à brique rouge		Tarière ø64 mm
29.5			Limon marron		
29	1.2		Limon légèrement argileux marron		
28.5					
28					
27.5	2.5		Argile sableuse marron gris		
27	3		Argile sableuse gris vert		
26.5					
26	4				
25.5					
25					
24.5					
24					
23.5					
23					
22.5					
22					
21.5					
21					
20.5					
20					

SONDAGE GEOLOGIQUE

APOGEO Environnement & Géotechnique

Forage
R6/LF2

Date de début
04/02/2025

Altitude
undefined
30.28 m

Dossier
2024.0536

Chantier
Rue du Calvaire - HEM (59)

Description du dossier
Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux

Client
ETIXIA

Alt. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Niveaux d'eau (m)	Outils de forage
30			Remblai de couche de forme gris		Tarière ø64 mm
	0.6		Limon marron		
29.5					
	1.2		Limon légèrement argileux marron		
29					
28.5					
28					
	2.8		Sable argileux gris-vert		
27.5					
27					
26.5					
	4				
26					
25.5					
25					
24.5					
24					
23.5					
23					
22.5					
22					
21.5					
21					
20.5					
20					

ANNEXE n°6 :
Coupe du piézomètre

PIEZOMETRE

Forage	Dossier
PZ1	2024.0536
Date de début	Chantier
04/02/2025	Rue du Calvaire - HEM (59)
Altitude undefined	Description du dossier
31.14 m	Projet de construction de bâtiments d'activité, loisirs, restauration et bureaux
	Client
	ETIXIA

Prof. (m)	Figuré	Description	Équipement de forage	Prof. (m)
0 – 2.5		Cutting marron foncé	[0-2 m], Tube PVC, ø 52/60 mm [0-3 m], Argile	0 – 2.5
2.5 – 5		Cutting marron foncé		2.5 – 5
5 – 7.5		Cutting vert gris	[2-9 m], Crépine PVC, ø 52/60 mm [3-9 m], Gravier (massif filtrant)	5 – 7.5
7.5 – 9		Cutting gris		7.5 – 9
				9 – 10.5

ANNEXE n°7 :
Coupe 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 :	2024.0536	**Opérateur(s) :**	JN
Client :	ETIXIA	**Adresse du site :**	Rue du Calvaire HEM
Date de l'essai :	30/01/2025		

Conditons d'accès / Caractéristiques de la fouille			
Coordonnées :	**X (m) :** 713931,203	**Y (m) :** 7061228,050	**Z (m) :** 29,948
Longueur (m) :	1,50	**Profondeur (m) :**	1,5
Largeur (m):	0,40	**Coefficient géométrique de forme :**	0,16

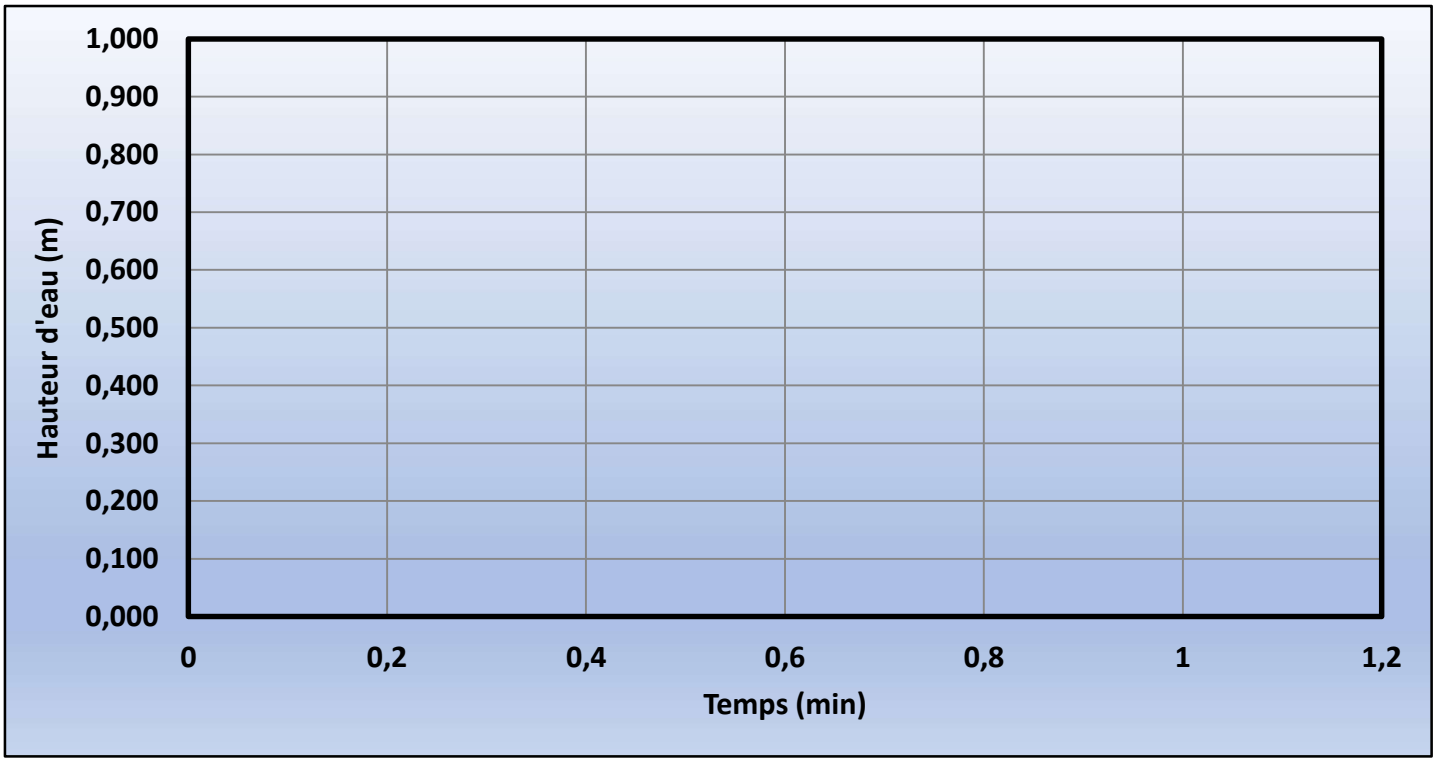
Coupe descriptive

Profondeur (m)	Description
0,0 - 0,15	Terre végétale + verdure
0,15 - 1,50	Limon clair + nodule de craie (remblai)
	arrivée d'eau à 1,30m, en 45 min l'eau monte de 40cm

Suivi de la descente

t (min)	Hauteur d'eau Hi (cm)	Hauteur d'eau Hi (m)

Coefficient de perméabilité K (m/s) : < 1,0E-8



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 :	2024.0536	**Opérateur(s) :**	JN
Client :	ETIXIA	**Adresse du site :**	Rue du Calvaire HEM
Date de l'essai :	29/01/2025		

Conditons d'accès / Caractéristiques de la fouille

Coordonnées :	**X (m) :**	voir plan	**Y (m) :**	voir plan
Longueur (m) :	1,00		**Profondeur (m) :**	1,5
Largeur (m):	0,50		**Coefficient géométrique de forme :**	0,17

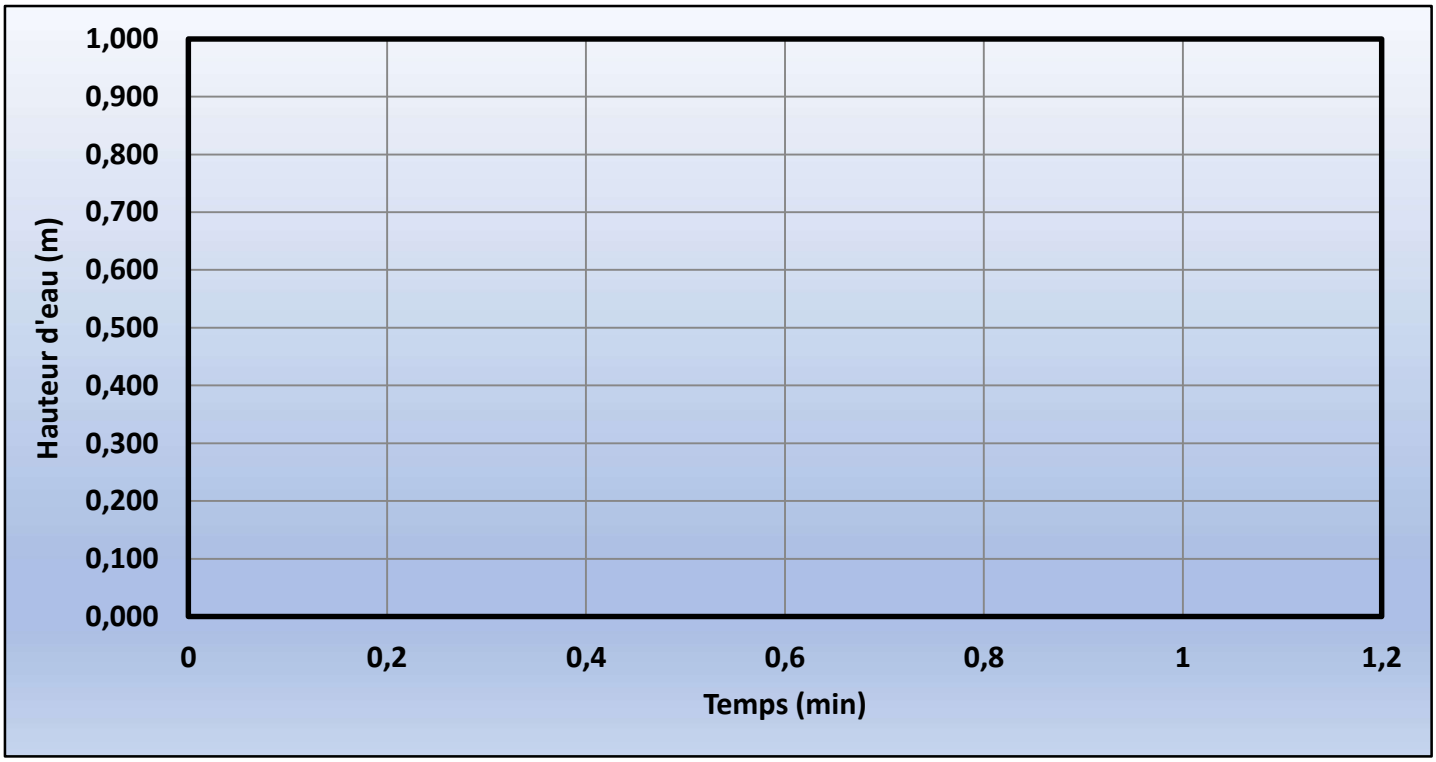
Coupe descriptive

Profondeur (m)	Description
0,0 - 0,15	Terre végétale + verdure
0,15 - 1,50	Limon clair + nodule de craie (remblai)
	arrivée d'eau à 1,30m, en 45 min l'eau monte de 40cm

Suivi de la descente

t (min)	Hauteur d'eau Hi (cm)	Hauteur d'eau Hi (m)

Coefficient de perméabilité K (m/s) : < 1,0E-8



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 :	2024.0536	**Opérateur(s) :**	JN
Client :	ETIXIA	**Adresse du site :**	Rue du Calvaire HEM
Date de l'essai :	29/01/2025		

Conditons d'accès / Caractéristiques de la fouille

Coordonnées :	**X (m) :**	voir plan	**Y (m) :**	voir plan
Longueur (m) :	1,50		**Profondeur (m) :**	2,0
Largeur (m):	0,40		**Coefficient géométrique de forme :**	0,16

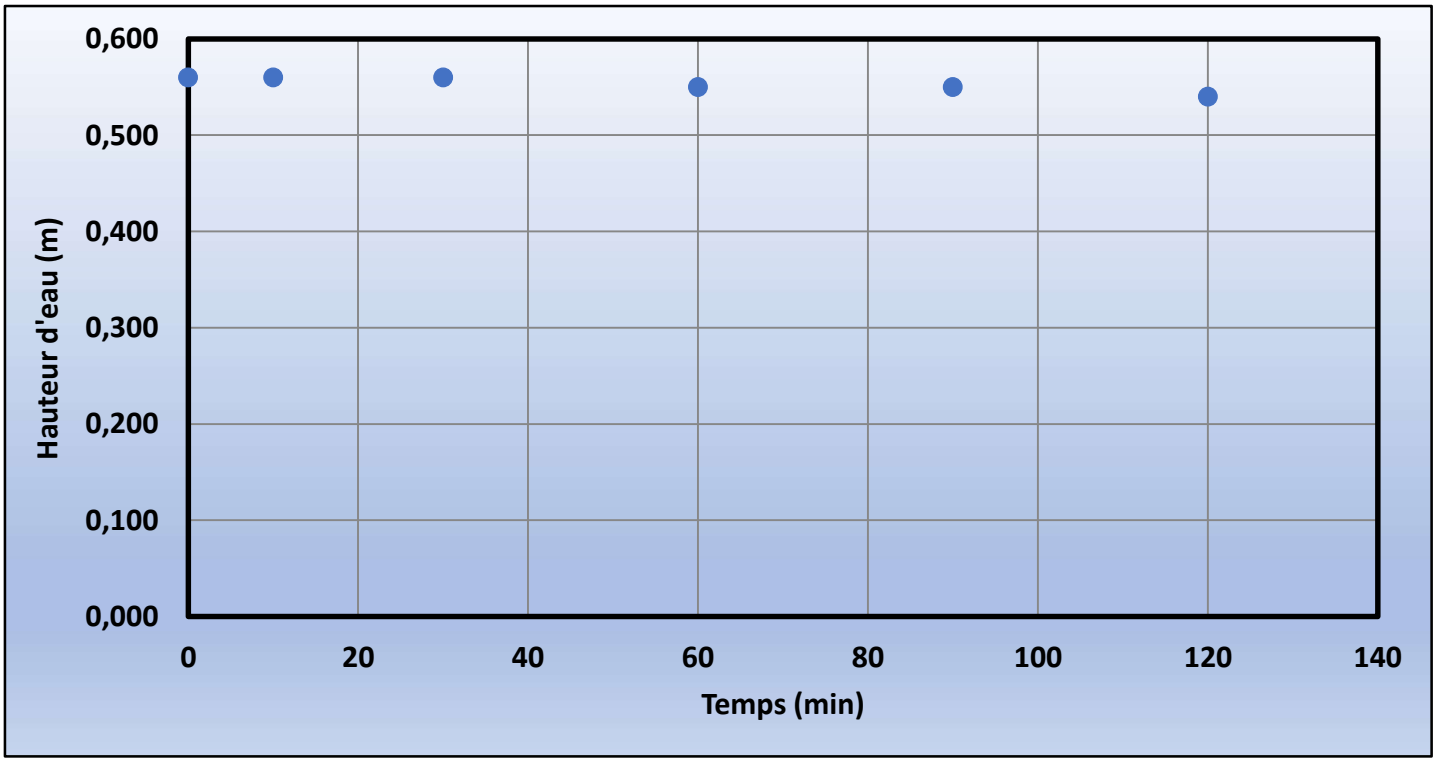
Coupe descriptive

Profondeur (m)	Description
0,0 - 0,30	Limon brun + verdure + petit remblai
0,30 - 0,60	Limon clair + remblai
0,60 - 2,0	Limon clair sableux

Suivi de la descente

t (min)	Hauteur d'eau Hi (cm)	Hauteur d'eau Hi (m)
0	56,00	0,560
10	56,00	0,560
30	56,00	0,560
60	55,00	0,550
90	55,00	0,550
120	54,00	0,540

Coefficient de perméabilité K (m/s) : 6,20E-07



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 :	2024.0536	**Opérateur(s) :**	JN
Client :	ETIXIA	**Adresse du site :**	Rue du Calvaire HEM
Date de l'essai :	29/01/2025		

Conditons d'accès / Caractéristiques de la fouille			
Coordonnées :	**X (m) :** 714048,878	**Y (m) :** 7061098,948	**Z(m) :** 29,665
Longueur (m) :	1,50	**Profondeur (m) :**	2,0
Largeur (m):	0,40	**Coefficient géométrique de forme :**	0,16

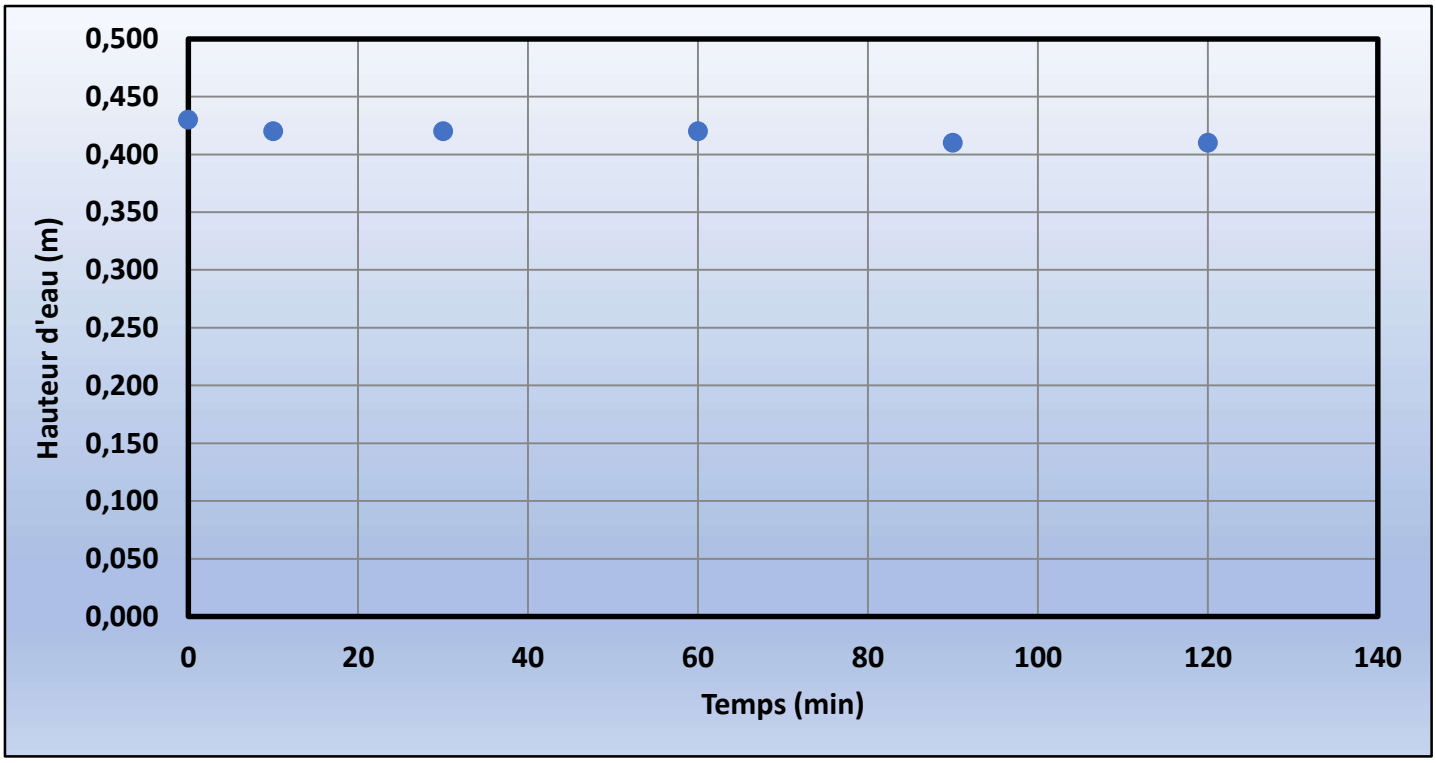
Coupe descriptive

Profondeur (m)	Description
0,0 - 0,30	Limon + verdure + petit remblai
0,30 - 0,60	Limon + remblai de craie
0,60 - 2,0	Limon clair sableux

Suivi de la descente

t (min)	Hauteur d'eau Hi (cm)	Hauteur d'eau Hi (m)
0	43,00	0,430
10	42,00	0,420
30	42,00	0,420
60	42,00	0,420
90	41,00	0,410
120	41,00	0,410

Coefficient de perméabilité K (m/s) : 7,59E-07



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 :	2024.0536	**Opérateur(s) :**	JN
Client :	ETIXIA	**Adresse du site :**	Rue du Calvaire HEM
Date de l'essai :	29/01/2025		

Conditons d'accès / Caractéristiques de la fouille			
Coordonnées :	**X (m) :** 714130,447	**Y (m) :** 7061103,489	**Z(m) :** 30,549
Longueur (m) :	1,50	**Profondeur (m) :**	2,0
Largeur (m):	0,40	**Coefficient géométrique de forme :**	0,16

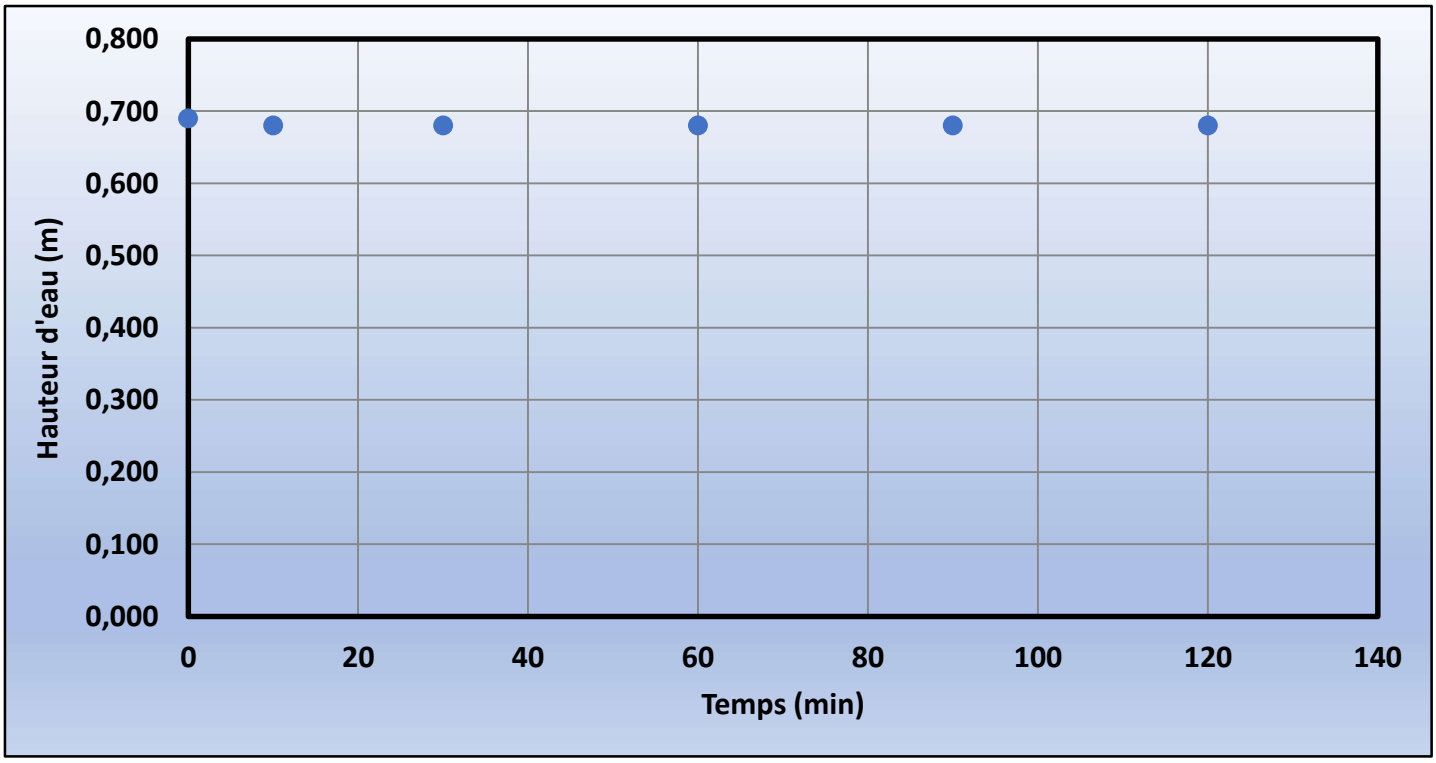
Coupe descriptive

Profondeur (m)	Description
0,0 - 0,20	Terre végétale + verdure + petit remblai
0,20 - 0,60	Remblai
0,60 - 2,0	Limon clair sableux

Suivi de la descente

t (min)	Hauteur d'eau Hi (cm)	Hauteur d'eau Hi (m)
0	69,00	0,690
10	68,00	0,680
30	68,00	0,680
60	68,00	0,680
90	68,00	0,680
120	68,00	0,680

Coefficient de perméabilité K (m/s) : 2,60E-07



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 :	2024.0536	**Opérateur(s) :**	JN
Client :	ETIXIA	**Adresse du site :**	Rue du Calvaire HEM
Date de l'essai :	29/01/2025		

Conditons d'accès / Caractéristiques de la fouille			
Coordonnées :	**X (m) :** 714168,277	**Y (m) :** 7061069,035	**Z(m) : 33,103**
Longueur (m) :	1,50	**Profondeur (m) :**	2,0
Largeur (m):	0,40	**Coefficient géométrique de forme :**	0,16

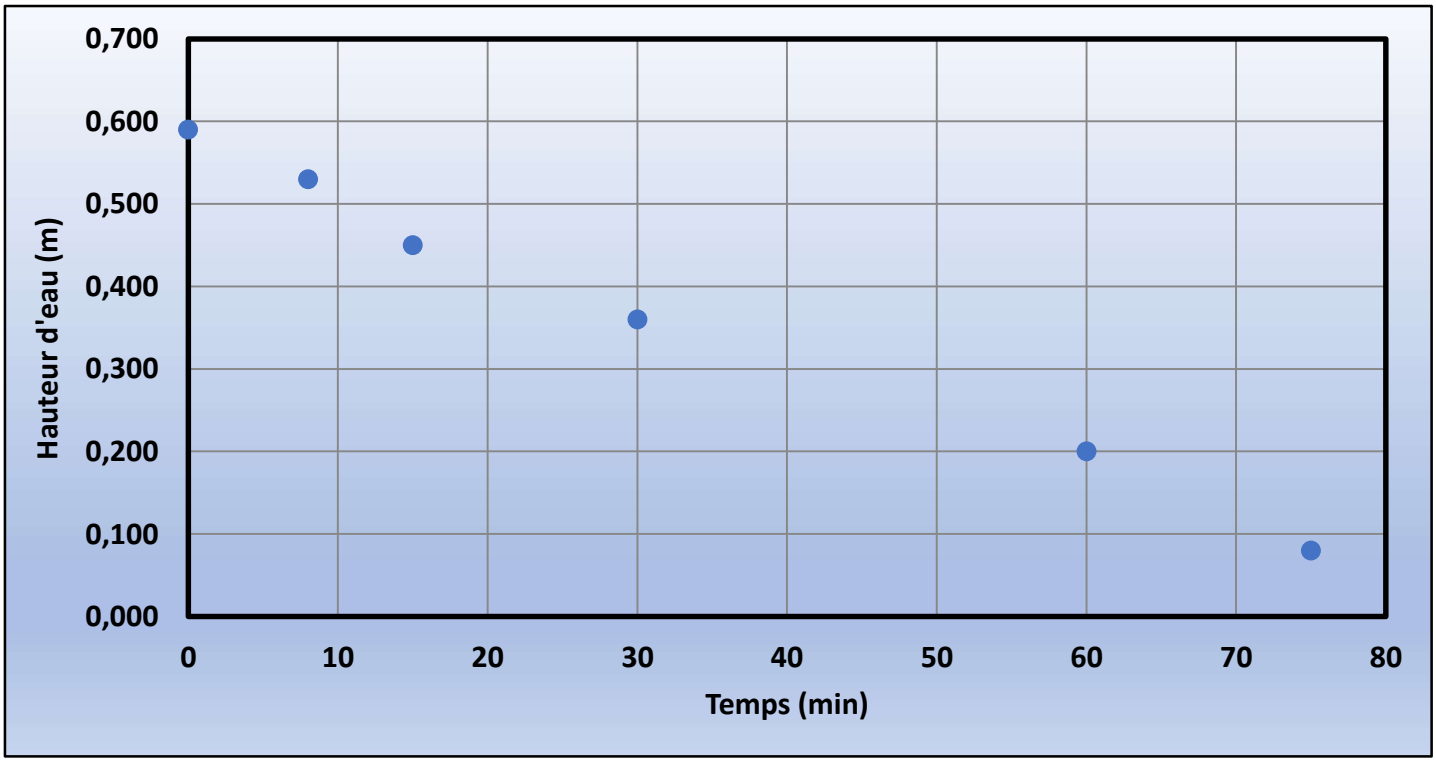
Coupe descriptive

Profondeur (m)	Description
0,0 - 0,30	Limon brun + verdure
0,30 - 2,0	Limon clair arigilo/sableux

Suivi de la descente

t (min)	Hauteur d'eau Hi (cm)	Hauteur d'eau Hi (m)
0	59,00	0,590
8	53,00	0,530
15	45,00	0,450
30	36,00	0,360
60	20,00	0,200
75	8,00	0,080

Coefficient de perméabilité K (m/s) : 4,02E-05



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

Référence dossier			
N° dossier :	2024.0536	**Opérateur(s) :**	JN
Client :	ETIXIA	**Adresse du site :**	Rue du Calvaire HEM
Date de la fouille :	30/01/2025		

Coupe descriptive	
Profondeur (m)	**Description**
0,0 - 0,20	Terre végétale + verdure
0,20 - 1,50	Limon clair + nodule de craie (remblai)
1,50 - 1,60	Sable jaune (eau à 1,60m)
1,60 - 1,80	sable gris
	présence d'un grillage orange à 1,50m

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

Référence dossier			
N° dossier :	2024.0536	**Opérateur(s) :**	JN
Client :	ETIXIA	**Adresse du site :**	Rue du Calvaire HEM
Date de la fouille :	29/01/2025		

Coupe descriptive	
Profondeur (m)	**Description**
0,0 - 0,15	Terre végétale + verdure
0,15 - 1,50	Limon clair + nodule de craie (remblai)
	arrivée d'eau à 1,30m, en 45 min l'eau monte de 40cm

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

Référence dossier			
N° dossier :	2024.0536	**Opérateur(s) :**	JN
Client :	ETIXIA	**Adresse du site :**	Rue du Calvaire HEM
Date de la fouille :	30/01/2025		

Coupe descriptive	
Profondeur (m)	**Description**
0,0 - 0,10	Terre végétale + remblai
0,10 - 0,40	Limon brun + rembali
0,40 - 0,60	Remblai graveleux gris/bleu
0,60 - 0,80	Sable gris
0,80 - 2,0	Limon clair sableux

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

Référence dossier			
N° dossier :	2024.0536	**Opérateur(s) :**	JN
Client :	ETIXIA	**Adresse du site :**	Rue du Calvaire HEM
Date de la fouille :	30/01/2025		

Coupe descriptive	
Profondeur (m)	**Description**
0,0 - 0,40	Limon + verdure + petit remblai
0,40 - 2,0	Limon clair sableux

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

Référence dossier			
N° dossier :	2024.0536	**Opérateur(s) :**	JN
Client :	ETIXIA	**Adresse du site :**	Rue du Calvaire HEM
Date de la fouille :	29/01/2025		

Coupe descriptive	
Profondeur (m)	**Description**
0,0 - 0,15	Terre végétale + verdure + petit remblai
0,15 - 0,40	Remblai
0,40 - 2,0	Limon clair sableux

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

Référence dossier			
N° dossier :	2024.0536	**Opérateur(s) :**	JN
Client :	ETIXIA	**Adresse du site :**	Rue du Calvaire HEM
Date de la fouille :	29/01/2025		

Coupe descriptive	
Profondeur (m)	**Description**
0,0 - 0,20	Limon + verdure + remblai
0,20 - 0,60	Limon brun + remblai
0,60 - 2,0	Limon clair sableux + petit remblai

ANNEXE n°8 :
Essai d'infiltration de type « Lefranc »

ESSAI D'EAU

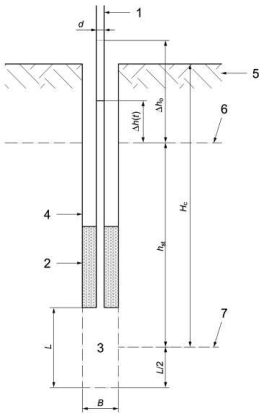
Détermination du coefficient de perméabilité d'un terrain par essai à charge variable en forage ouvert

Essai réalisé selon la norme NF X 30-423

Site :	HEM	Client :	EXITIA
N° affaire :	2024.0536	Date de l'essai :	04/02/2025
Opérateur:	EC - BG	Sondage:	R5/EL1
Nature du terrain:	Sable argileux	Profondeur de l'essai:	3,0 / 4,0 m

Mesures brutes des niveaux d'eau

T (min)	h (m/repère)
0	0
2	0,077
3	0,144
4	0,19
5	0,233
10	0,275
15	0,558
20	0,847
30	1,125
45	1,396
60	1,66

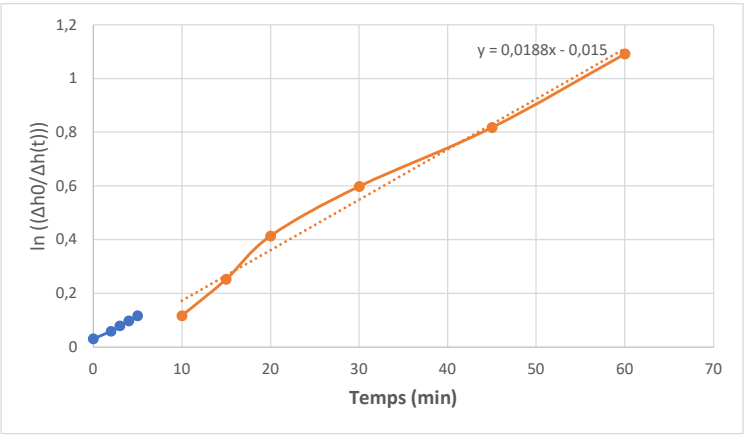


Légende

1 Tube de mesure d'aire de section intérieure A_i et diamètre intérieur d
2 Système d'isolement
3 Cavité de mesure de diamètre B et de hauteur L
4 Forage
5 Terrain naturel
6 Charge hydraulique stabilisée avant essai
7 Plan horizontal de référence

Figure 1 — Notations

Profondeur de la cavité **Hc** (m)	3
Longeur de la cavité **L** (m)	1
Diamétre du sondage **B** (m)	0,064
Charge hydraulique **hst** (m)	2,5
Elancement de la cavité **C** (m)	15,625
Facteur de forme de la cavité **m**	28,52243398



k graphique (m/s)	**2,64E-05**

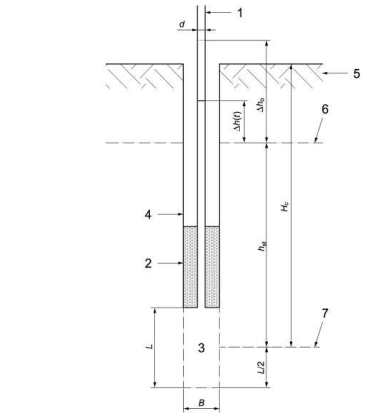
ESSAI D'EAU

Détermination du coefficient de perméabilité d'un terrain par essai à charge variable en forage ouvert

Essai réalisé selon la norme NF X 30-423

Site :	HEM	Client :	EXITIA
N° affaire :	2024.0536	Date de l'essai :	04/02/2025
Opérateur:	EC - BG	Sondage:	R6/EL2
Nature du terrain:	Sable argileux	Profondeur de l'essai:	3,0 / 4,0 m

Mesures brutes des niveaux d'eau	
T (min)	**h (m/repère)**
0	0
2	0,048
3	0,087
4	0,123
5	0,166
10	0,212
15	0,403
20	0,592
30	0,787
45	0,984
60	1,178

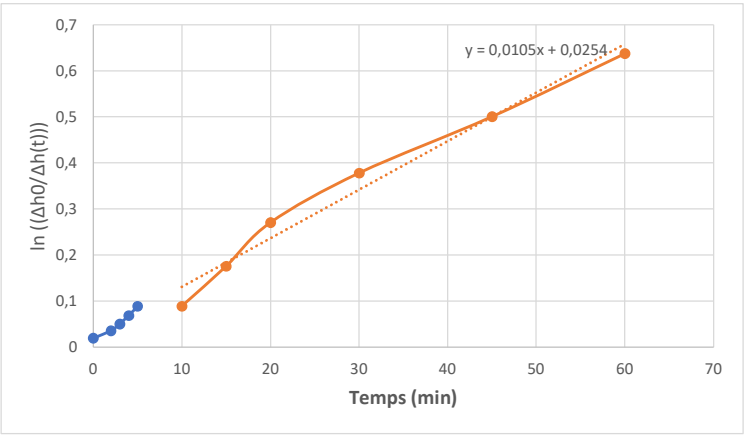


Légende

1 Tube de mesure d'aire de section intérieure A_i et diamètre intérieur d
2 Système d'isolement
3 Cavité de mesure de diamètre B et de hauteur L
4 Forage
5 Terrain naturel
6 Charge hydraulique stabilisée avant essai
7 Plan horizontal de référence

Figure 1 — Notations

Profondeur de la cavité **Hc** (m)	3
Longeur de la cavité **L** (m)	1
Diamétre du sondage **B** (m)	0,064
Charge hydraulique **hst** (m)	2,5
Elancement de la cavité **C** (m)	15,625
Facteur de forme de la cavité **m**	28,52243398



k graphique (m/s)	**4,48E-05**

ANNEXE n°9 :
Feuilles d'identification géotechnique des sols

SYNTHESE DES ESSAIS EN LABORATOIRE

SE.V01

Client : ETIXIA

Lieu : HEM

Date : 18/02/2025

N°Affaire : 2024.0536

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		
									% de passant												
Forage	**Prof** (m)	**Nature**	**Wn** (%)	**d_s** (-)	**d_h** (-)	**W_L** (%)	**W_P** (%)	**I_P** (%)	**50mm**	**2mm**	**80µm**	**VBS** (-)	**GTR** (-)	**W_R** (%)	**MO** (%)	**e0** (-)	**Cc** (-)	**IPI** (-)	**ρ_s** (Mg/m^3)	**C_i** (kPa)	**ϕ_i** (°)
R1	1,00 - 2,00	Limon	23,2	-	-	-	-	-	-	99,9	96,2	2,3	**A1**	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,00 - 2,70	Limon	22,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**	-	-	-	-	-	-	-	-
R2	1,00 - 1,45	Limon	19,8	-	-	-	-	-	-	98,0	92,9	1,94	**A1**	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,45 - 2,00	Limon	20,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**	-	-	-	-	-	-	-	-
R3	1,10 - 1,50	Limon	23,2	-	-	-	-	-	-	99,7	97,6	2,59	**A2**	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,50 - 1,90	Limon	23,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**	-	-	-	-	-	-	-	-
R4	1,25 - 1,55	Limon vasard	18,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,55 - 2,00	Limon sableux	24,2	-	-	-	-	-	-	99,9	59,0	2,5	**A1**	-	-	-	-	-	-	-	-
PM6	0,60 - 2,00	Limon légèrement argileux	21,1	-	-	-	-	-	-	99,2	92,7	3,06	**A2**	-	-	-	-	-	-	-	-
PM12	0,30 - 2,00	Limon	21,2	-	-	-	-	-	-	98,5	93,9	2,71	**A2**	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**	-	-	-	-				

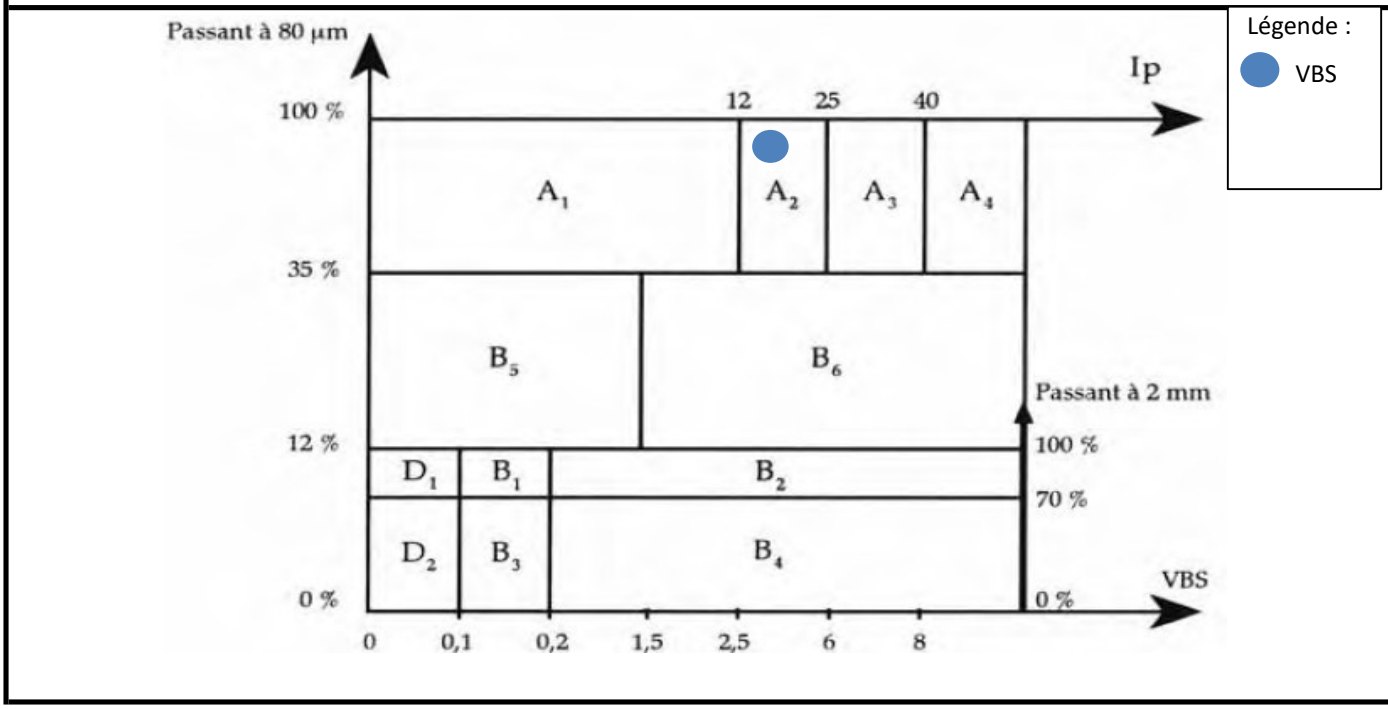
SYNTHESE DES ESSAIS D'IDENTIFICATION

Client : ETIXIA
Lieu : HEM

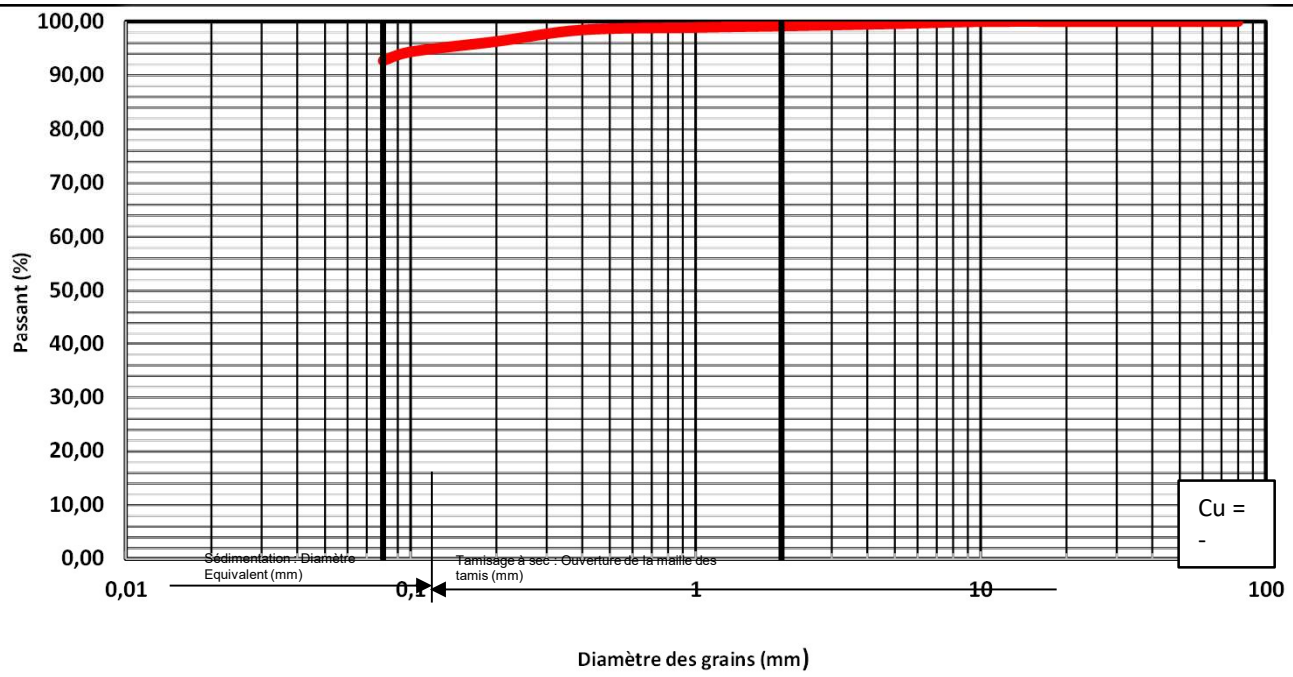
Date : 13/02/2025
N° Affaire : 2024.0536

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** (-)
PM6	0,60 - 2,00	Limon légèrement argileux	21,12	-	-	-	-	99,2	92,7	3,06	A2

Diagramme de classification GTR



Courbe granulométrique



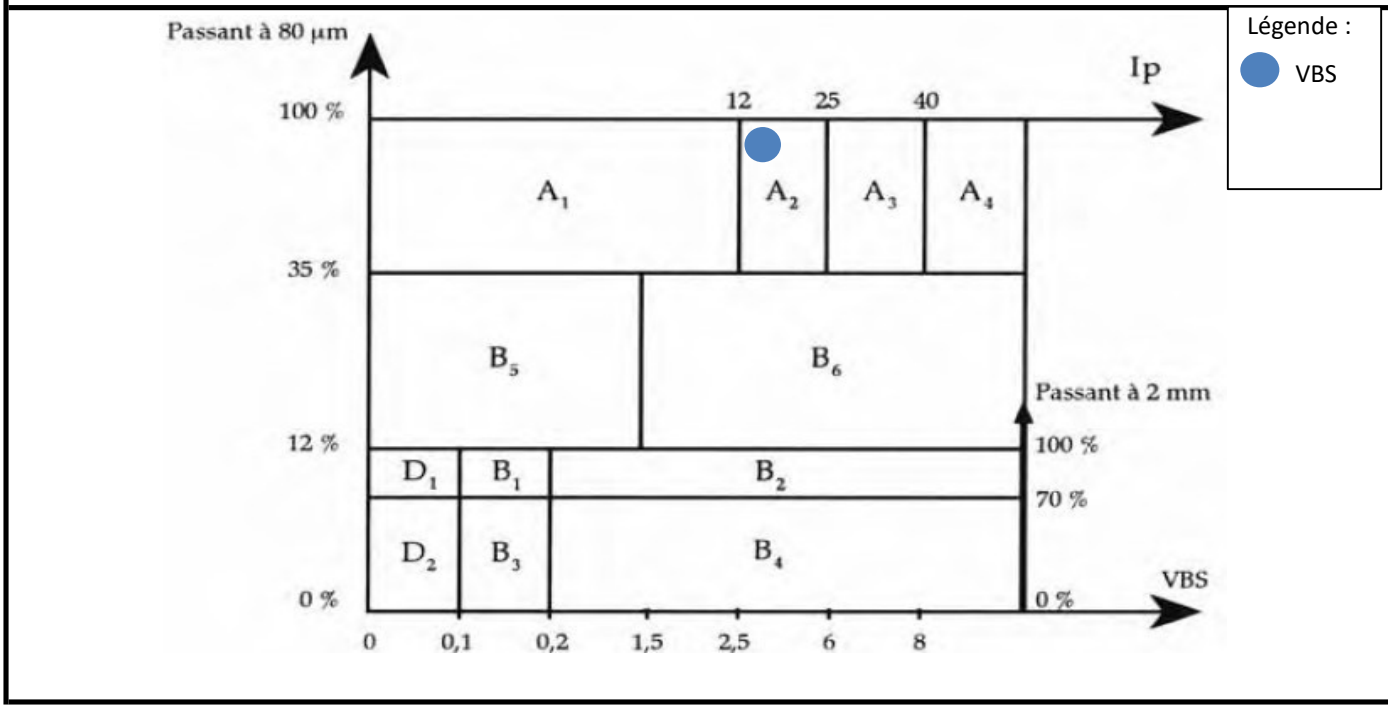
SYNTHESE DES ESSAIS D'IDENTIFICATION

Client : ETIXIA
Lieu : HEM

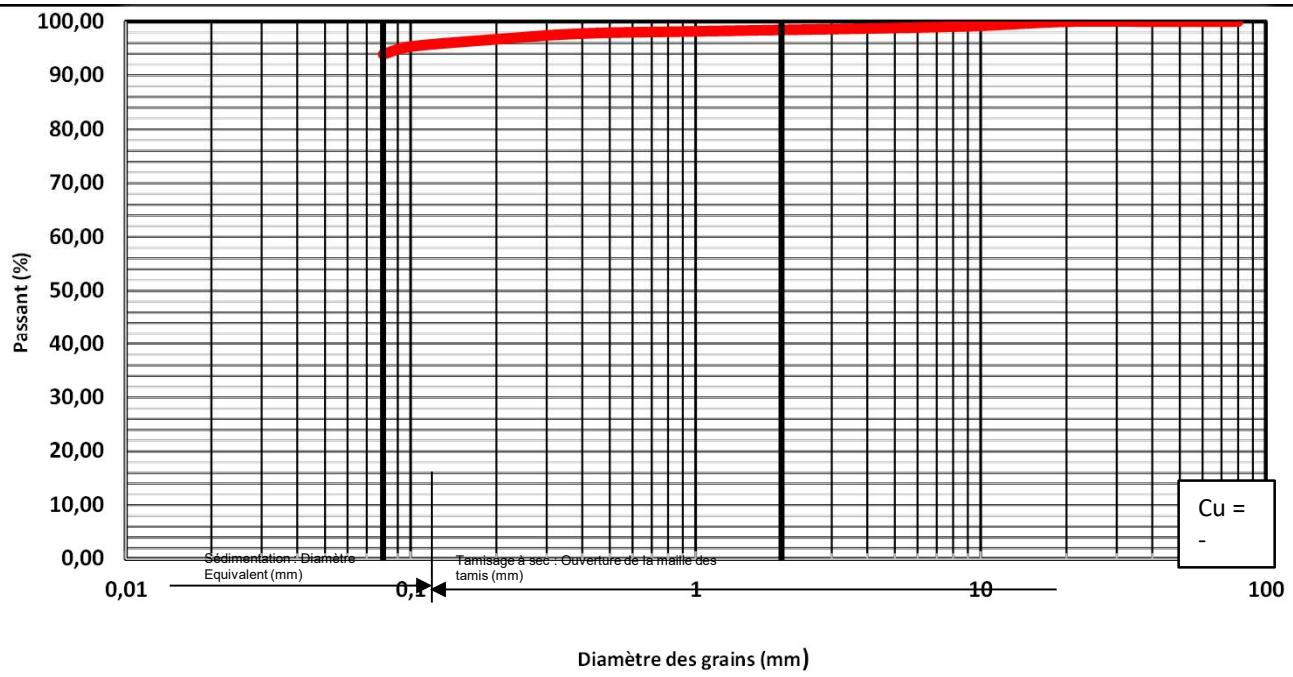
Date : 13/02/2025
N° Affaire : 2024.0536

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** (-)
PM12	0,30 - 2,00	Limon	21,20	-	-	-	-	98,5	93,9	2,71	A2

Diagramme de classification GTR



Courbe granulométrique



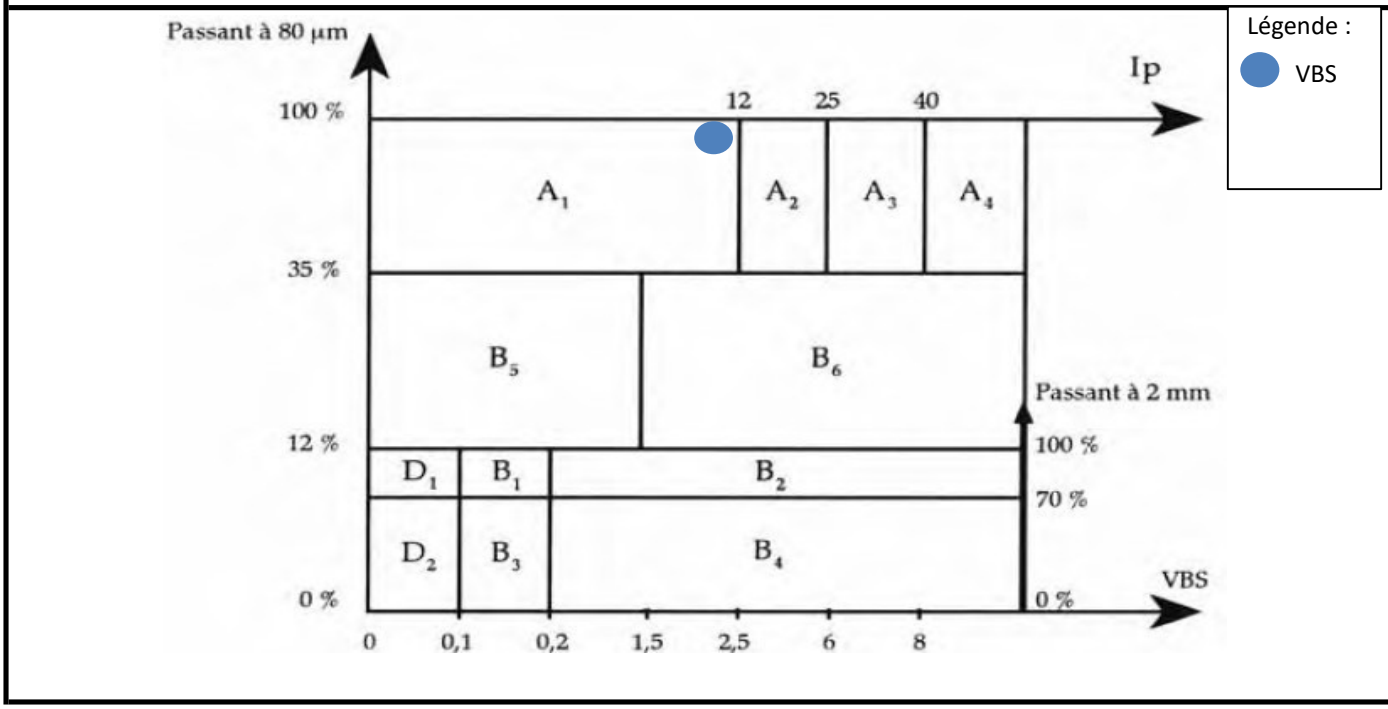
SYNTHESE DES ESSAIS D'IDENTIFICATION

Client : ETIXIA
Lieu : HEM

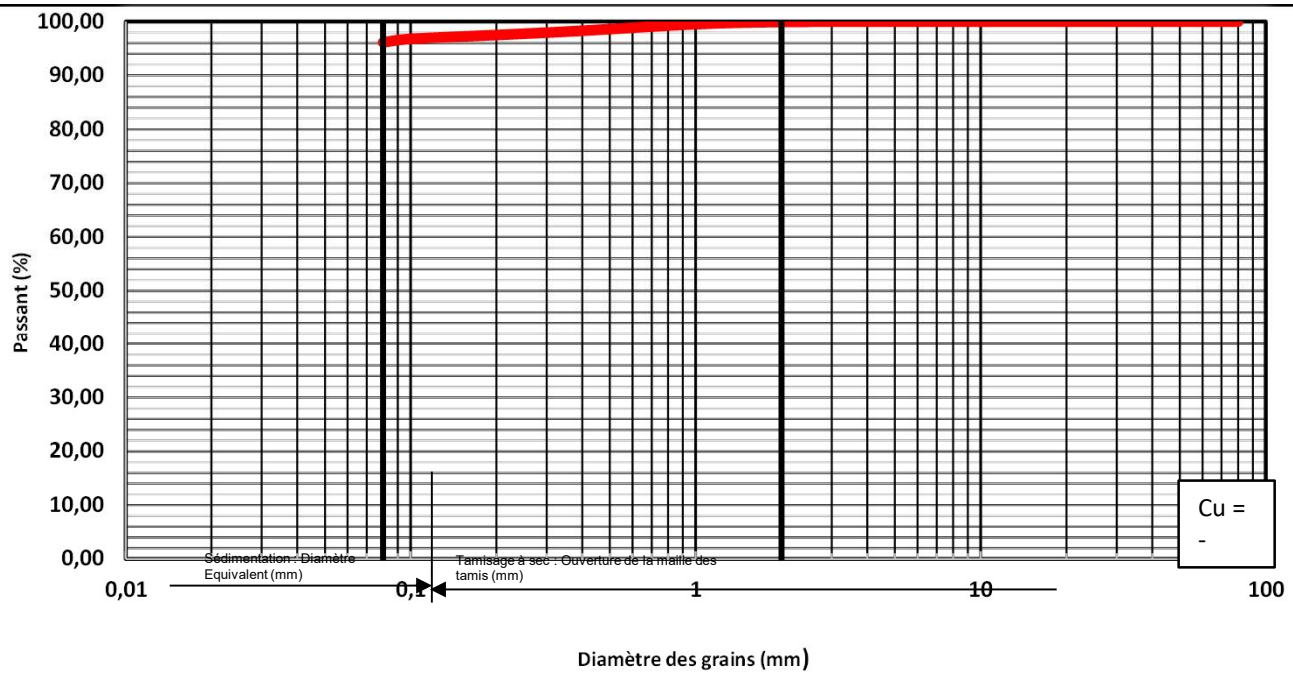
Date : 13/02/2025
N° Affaire : 2024.0536

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	1,00 - 2,00	Limon	23,24	-	-	-	-	99,9	96,2	2,30	A1

Diagramme de classification GTR



Courbe granulométrique



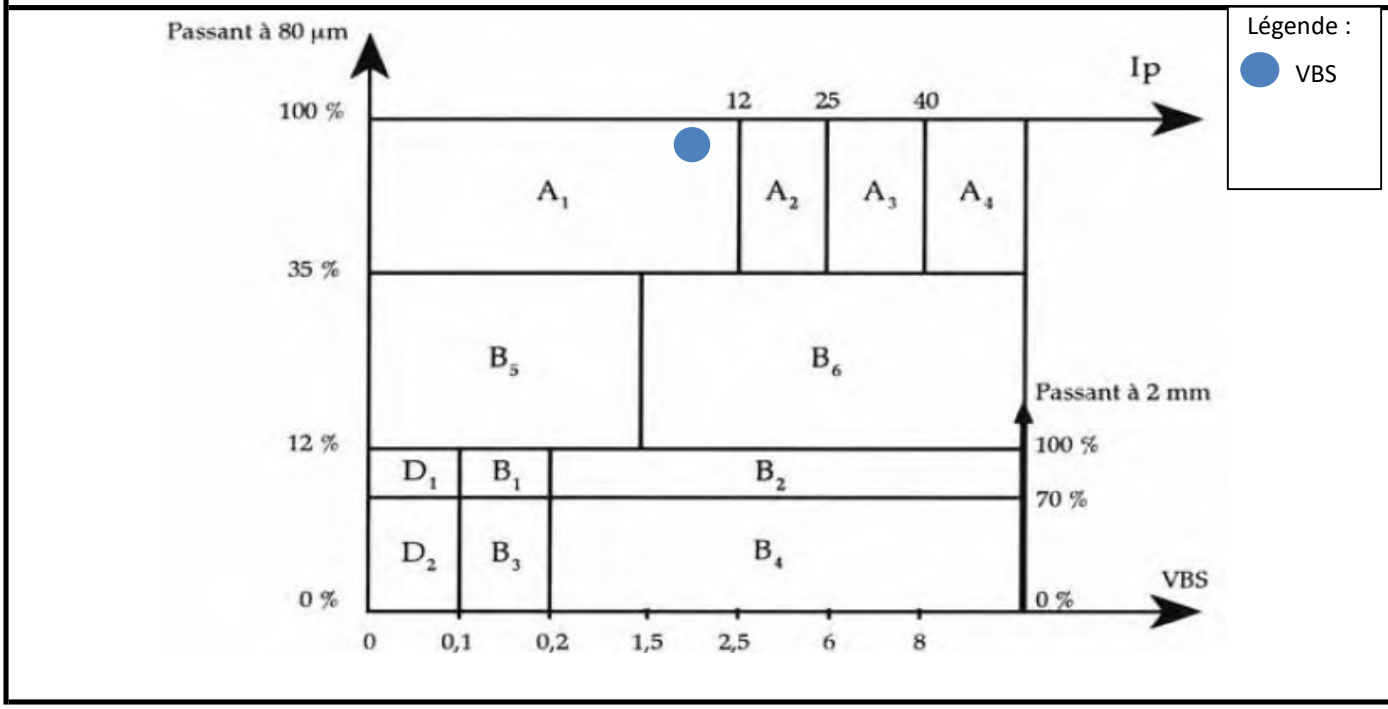
SYNTHESE DES ESSAIS D'IDENTIFICATION

Client : ETIXIA
Lieu : HEM

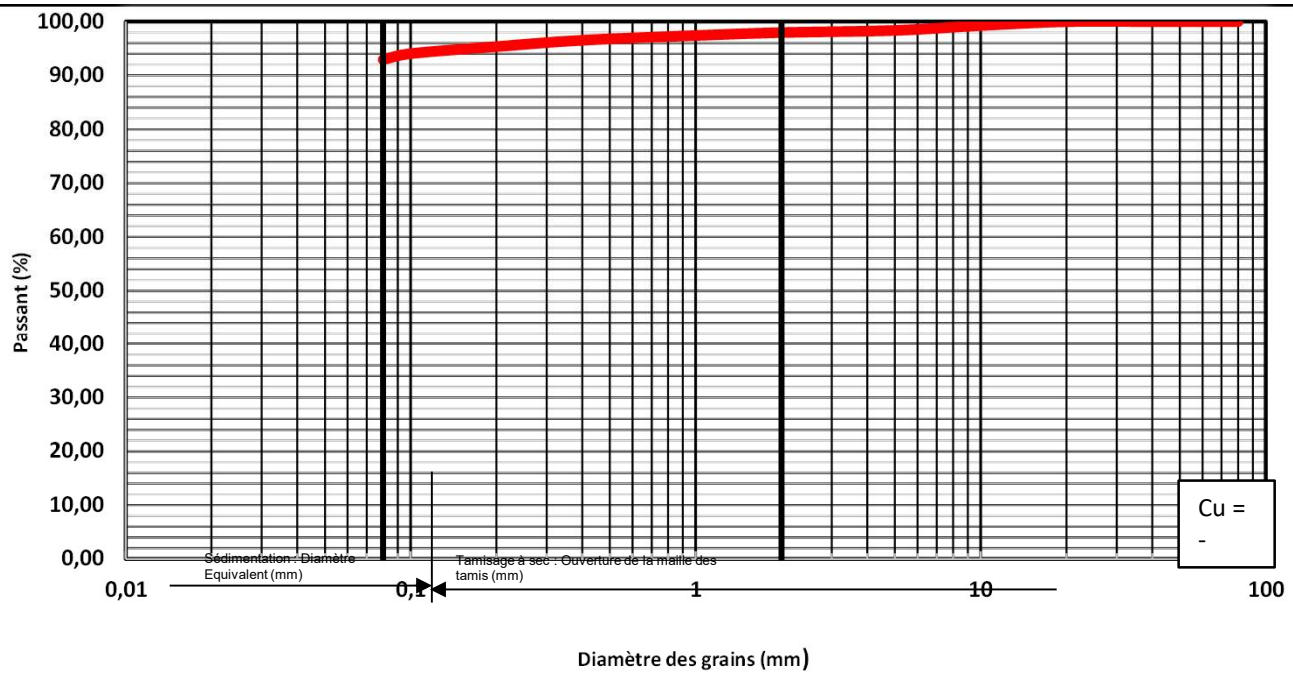
Date : 13/02/2025
N° Affaire : 2024.0536

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	1,00 - 1,45	Limon	19,75	-	-	-	-	98,0	92,9	1,94	A1

Diagramme de classification GTR



Courbe granulométrique



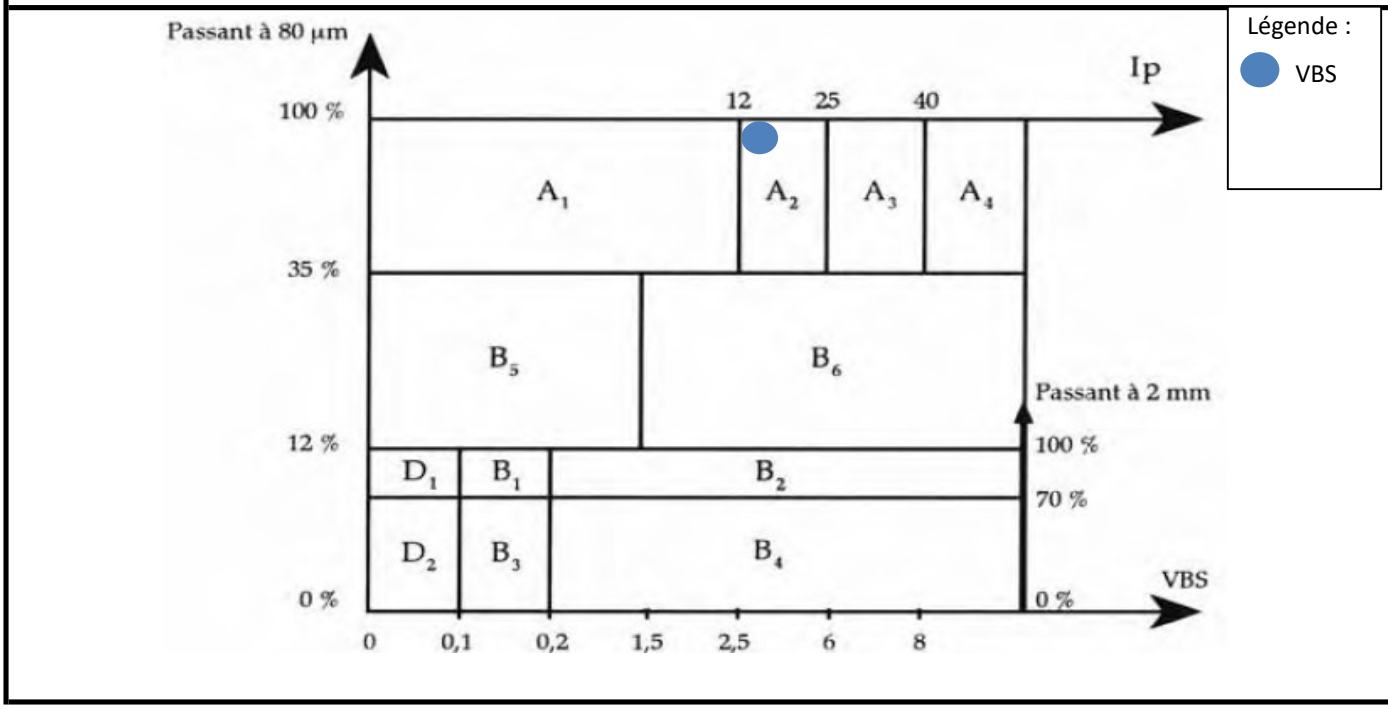
SYNTHESE DES ESSAIS D'IDENTIFICATION

Client : ETIXIA
Lieu : HEM

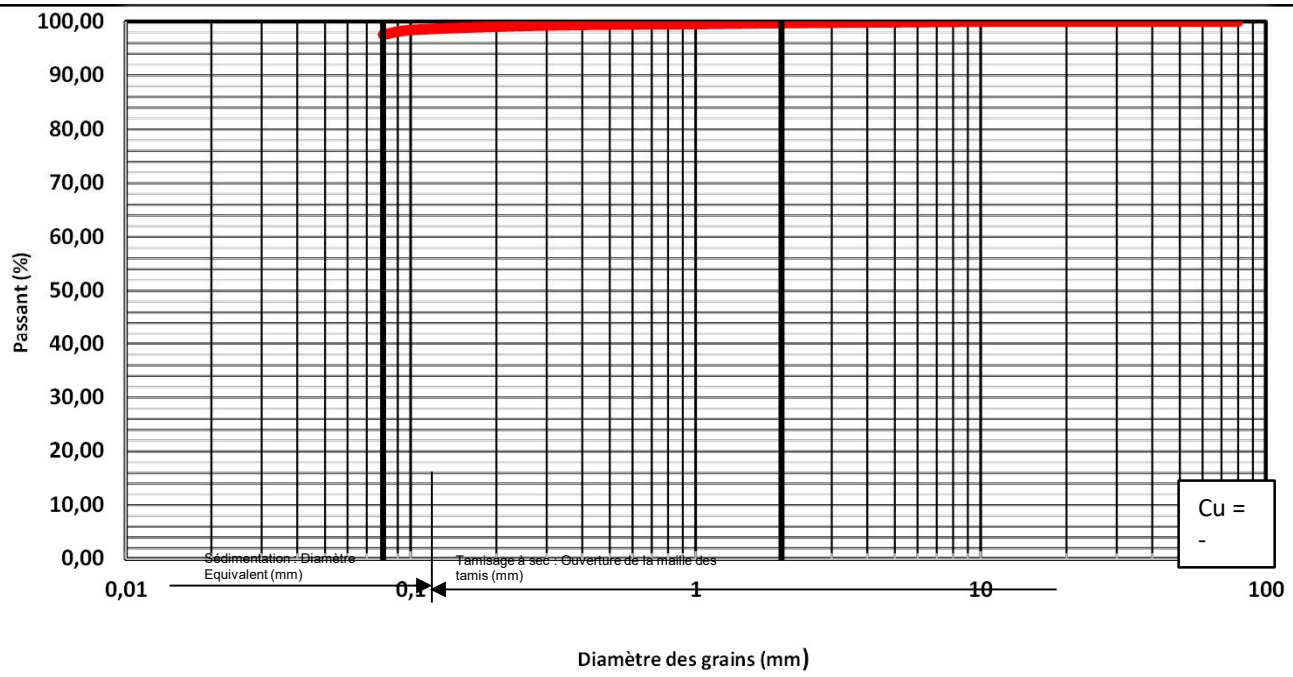
Date : 13/02/2025
N° Affaire : 2024.0536

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
							% de passant				
Sondage	**Prof** (m)	**Nature**	**W_n** (%)	**W_L** (%)	**W_P** (%)	**I_P** (%)	**50mm**	**2mm**	**80µm**	**VBS** (-)	**GTR** (-)
R3	1,10 - 1,50	Limon	23,15	-	-	-	-	99,7	97,6	2,59	A2

Diagramme de classification GTR



Courbe granulométrique



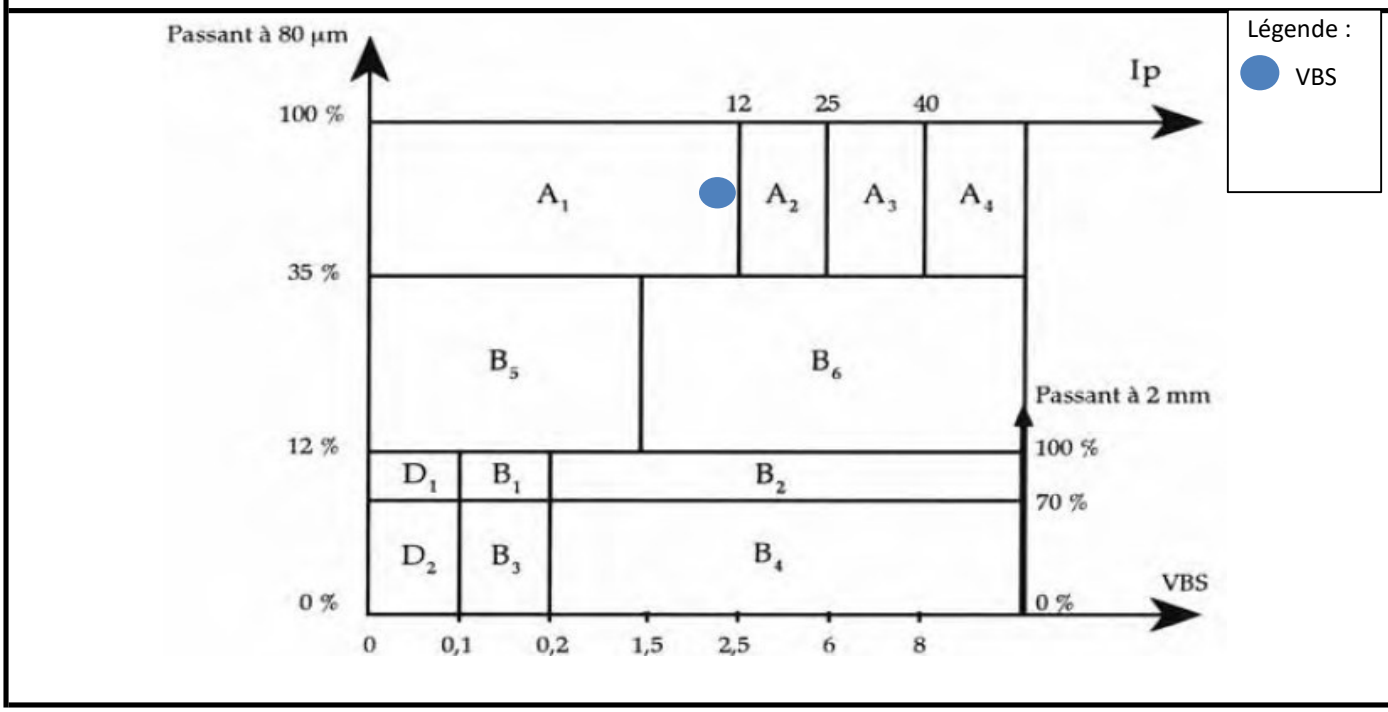
SYNTHESE DES ESSAIS D'IDENTIFICATION

Client : ETIXIA
Lieu : HEM

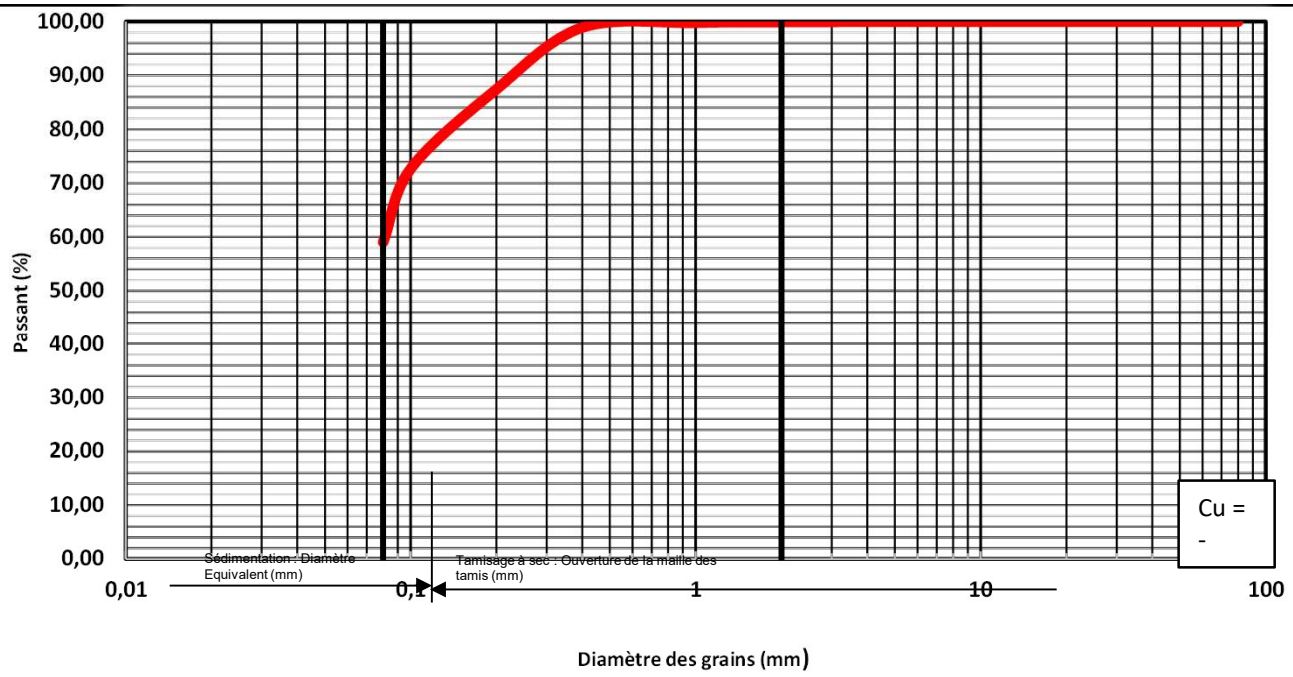
Date : 18/02/2025
N° Affaire : 2024.0536

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** (-)
R4	1,55 - 2,00	Limon sableux	24,23	-	-	-	-	99,9	59,0	2,50	A1

Diagramme de classification GTR



Courbe granulométrique



ANNEXE n°10 :
Résultats d'agressivité vis-à-vis des bétons (PV EUROFINS)

ANNEXE n°11 :
Plans d'implantation des reconnaissances


APOGEO
Environnement & Géotechnique
N
P1
PM8
P3
P2
PR1
R1
S1/PD1
PM1+I1
PM2+I2
P10
P4
LEF1
P9
PM7
PM9
P5
S2/PD2
S3/PD3
P6
P7
P11
P13
PM3+I3
PM10
P8
P12
P14
R3
S5/PD5
PZ1
PR2
R2
PM4+I4
PM5+I5
PR3
S4/PD4
P15
LEF2
P18
PM11
PM6+I6
R4
P16
P17
P19
S6/PD6
PM12
P20
LEGENDE :
Parkings projetés
Batiments projetés
Site d'étude
Station principale des orchidées
Rosettes d'Ophrys abeille
Investigations
Essai pénétrométrique
Sondage lithologique
Sondage pressiomètrique
Sondage avec essai "Lefranc/Nasberg"
Sondage + Essais (VRD)
Fouille avec essai d'infiltration
Pelle mécanique
Piézomètre
0
25
50 m