



Etude géotechnique préalable à la
Reconstruction des Hôpitaux de Tarbes-Lourdes

Mission G2-AVP

Colline de Croueau
LANNE (65380)



Dossiers n° 6411126 - v3 - Février 2025

CENTRE HOSPITALIER DE TARBES-LOURDES
Boulevard de Lattre de Tassigny,
B. P. 1330
65013 TARBES Cedex 9

CLIENT

MAITRISE D'OUVRAGE	Centre Hospitalier de Tarbes - Lourdes
ADRESSE	Boulevard de Lattre de Tassigny, B. P. 1330, 65013 TARBES CEDEX 9
INTERLOCUTEURS	M. SABATIER – Directeur M. HEINS – Direction des Travaux – CH Tarbes-Lourdes M. LEMAITRE – Direction technique de Projet AMO – A2MO M. PICOT – Chargé d'affaires - OTÉIS

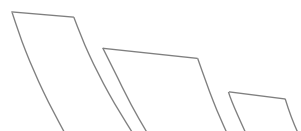
ECR ENVIRONNEMENT

AGENCE DE	Pau
ADRESSE	11 rue Benjamin Franklin, 64 230 LESCAR
TELEPHONE	05 59 35 62 61
MAIL	pau@ecr-environnement.com

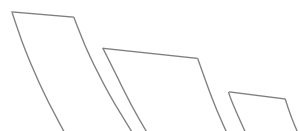
DATE	INDICE	OBSERVATION / MODIFICATION	REDACTEUR	VERIFICATEUR
13/02/2024	01	Rapport n° 6410941 -Mission G2-AVP : Edition initiale	J. MORIN	H. SYLLA
13/05/2024	02	Rapport n° 6410941 -Mission G2-AVP : Précisions et Mises au point APD MOE	J. MORIN	H. SYLLA
27/02/2025	03	Rapport n° 6410941 -Mission G2-AVP : Ajout de la campagne de géophysique + analyses laboratoires + sondages complémentaires	J. MORIN	

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	5
1.1. OBJET DE LA MISSION	5
1.2. DOCUMENTS REMIS POUR L'ETUDE.....	6
1.3. PRESENTATION DU SITE ET DU PROJET	6
1.3.1. Localisation du site et cadre du projet	6
1.3.2. Présentation du projet	11
1.4. DOCUMENTS BIBLIOGRAPHIQUES.....	19
1.4.1. Contexte géologique.....	19
1.4.2. Sismicité	20
1.4.3. Aléa retrait-gonflement des argiles (approche bibliographique).....	20
1.4.4. Aléa remontée de nappe	21
1.4.5. Cavités / Mouvements de terrains	22
1.4.6. Synthèse des résultats de l'étude G1	23
1.5. INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES REALISEES	24
2. RESULTATS DES INVESTIGATIONS	26
2.1. CARACTERISTIQUES LITHOLOGIQUES.....	26
2.2. ANALYSE DES ENREGISTREMENTS DE PARAMETRES DE FORAGE	29
2.3. ORGANISATION STRUCTURALE DU SUBSTRATUM ET TENUE DES TERRAINS SUPERFICIELS.....	30
2.3.1. Structure et fracturation du substratum	30
2.3.2. Tenue des terrains.....	33
2.4. CARACTERISTIQUES GEOMECHANIQUES	34
2.4.1. Résultats pressiométriques	34
2.4.2. Résultats pénétrométriques.....	36
2.5. RESULTATS DES MESURES GEOPHYSIQUES	37
2.5.1. Reconnaissance géophysique en sismique réfraction.....	37
2.5.2. Reconnaissance géophysique en tomographie électrique	41
2.6. RESULTATS DES ANALYSES EN LABORATOIRE.....	44
2.6.1. Identification GTR et essai d'aptitude	44
2.6.2. Caractérisation DRX des argiles.....	46
2.6.3. Détermination de la masse volumique des sols fins	47
2.6.4. Essais de compressibilité à l'œdomètre	47
2.6.5. Essai de cisaillement.....	48
2.6.6. Identification des matériaux rocheux	49
2.6.7. Analyses sur l'eau	49
2.7. NIVEAUX D'EAU / DONNEES PIEZOMETRIQUES	50
2.8. PERMEABILITE DES TERRAINS.....	52
2.9. COMPOSANTES / RISQUES ANTHROPIQUES.....	53
3. RECOMMANDATIONS GEOTECHNIQUES : SOLUTIONS ENVISAGEABLES – PRINCIPES DE MISE EN ŒUVRE.....	54
3.1. SYNTHESE GEOTECHNIQUE.....	54

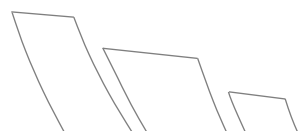


3.2.	COUPE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE	54
3.3.	MAQUETTE DE CALCULS GEOTECHNIQUES DU SITE	56
3.4.	SISMICITE	56
3.5.	TERRASSEMENTS GENERAUX	58
3.6.	GESTION DES EAUX	59
3.7.	TALUTAGES	60
3.8.	SOUTENEMENTS	61
3.9.	EXEMPLE DE RENFORCEMENT / SOUTENEMENT PAR PAROIS CLOUEES	63
3.10.	REUTILISATION DES TERRES - MISE EN ŒUVRE DES REMBLAIS / COUCHES DE FORME	64
3.11.	IMPACT DES TERRES A APPORTER EN REMBLAIS	66
3.12.	ETUDE RELATIVE A LA MISE EN PLACE DES REMBLAIS TECHNIQUES	68
3.13.	POSSIBILITE DE FONDATIONS SUPERFICIELLES PAR SEMELLES / MASSIFS ISOLES	69
3.14.	POSSIBILITE DE FONDATIONS PAR RADIERS	70
3.15.	MISE EN ŒUVRE DES DALLAGES	71
3.16.	POSSIBILITE DE FONDATIONS PROFONDES	72
4.	PARAMETRES DE JUSTIFICATION – FONDATIONS SUPERFICIELLES (SEMELLES FILANTES OU ISOLEES)	73
4.1.	CONTRAINTES ADMISSIBLES	73
4.2.	EBAUCHE DIMENSIONNELLE	74
4.3.	ESTIMATION DES TASSEMENTS	74
5.	PARAMETRES DE JUSTIFICATION – RADIERS ET DALLAGES	75
5.1.	CONTRAINTES DE CALCUL	75
5.2.	PARAMETRES DE DEFORMATION DES SOLS	76
5.3.	ESTIMATION DES TASSEMENTS (RADIERS)	76
6.	PARAMETRES DE JUSTIFICATION – FONDATIONS PROFONDES	78
6.1.	HYPOTHESE DE CALCULS ET PRINCIPES DE CONCEPTION	78
6.2.	MAQUETTES GEOTECHNIQUES	81
6.3.	EXEMPLE DE PRE-DIMENSIONNEMENTS	83
6.4.	REMARQUES IMPORTANTES	84
6.5.	ESTIMATION DES RAIDEURS VERTICALES	85
6.6.	PRISE EN COMPTE DES EFFORTS HORIZONTAUX ET MOMENTS	85
6.7.	ESTIMATION DES DEPLACEMENTS SOUS EFFORTS SISMQUES	87
6.8.	ESTIMATION DES RAIDEURS HORIZONTALES MOYENNES	87
7.	PRECONISATION DE VOIRIES / STATIONNEMENT	89
7.1.	TRAVAUX PREPARATOIRES	89
7.2.	PLATEFORME SUPERIEUR DES TERRASSEMENTS	89
7.3.	COUCHE DE FORME	90



7.4.	EXEMPLE DE STRUCTURE DE VOIRIES	90
8.	<u>POURSUITES DE L'ETUDE DE CONCEPTION GEOTECHNIQUE</u>	<u>91</u>

ANNEXES



1. INTRODUCTION

1.1. Objet de la mission

À la demande et pour le compte du **Centre Hospitalier de Tarbes-Lourdes** [Boulevard de Lattre de Tassigny, B. P. 1330, 65013 TARBES CEDEX 9], la société ECR Environnement - Agence de Pau, a réalisé une étude géotechnique dans le cadre du projet de **reconstruction des Hôpitaux de Tarbes-Lourdes** sur la commune de Lannes (65380).

Le projet a déjà fait l'objet d'une étude géotechnique G1 par INGESOL (rapport n° RP21. 560.M du 15 octobre 2021).

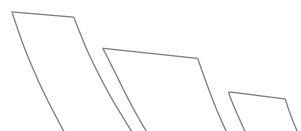
Le présent rapport correspond à une mise-à-jour de l'étude AVP réalisée en fin 2023 / début 2024, intégrant les campagnes d'investigations complémentaires effectuées lors de l'année 2024 (détails ci-dessous) :

N° devis	Date	Mission	Date des investigations
6410529 - 6410530	20/04/2024	Mission G2-AVP	13 novembre – 1 ^{er} décembre 2023
6410929	14/06/2024	<u>Campagne géophysique</u> : Sismique réfraction et tomographie électrique	17 – 20 juin 2024
6410930	14/06/2024	Sondage profond et essais en laboratoire (caractérisation du réemploi des matériaux rocheux)	21 – 22 octobre 2024
6411079	08/11/2024	<u>Caractérisation de la zone de remblais techniques</u> : sondages, campagne géophysique et analyses laboratoire	2 – 13 décembre 2024 27 – 31 janvier 2025

Il rend compte des résultats obtenus et a pour objectif :

- de vérifier les caractéristiques des sols à l'emplacement défini du projet,
- caractériser les aléas géotechniques identifiés ;
- donner les hypothèses géotechniques et les principes généraux de construction relatifs aux ouvrages géotechniques (fondations, niveaux bas, terrassements en masse et soutènements, ...)
- préciser les sujétions particulières relatives au contexte géotechnique, hydrogéologique, et aux existants / avoisinants.

Par référence à la classification des « Missions géotechniques normalisées » (Norme NFP 94-500 – Novembre 2013), cette étude est de type G2-AVP [Etude géotechnique de conception – phase avant-projet], et voit de ce fait l'étendue de sa mission limitée aux prestations correspondantes.



1.2. Documents remis pour l'étude

Préalablement à la réalisation de l'étude G2-AVP, il nous a été fourni les documents suivants :

- cahier des charges géotechnique rédigé par le BET OTEIS en Février 2023 ;
- plan topographique ;
- des plans de masse, coupes, façades et niveaux sous formats .pdf et .dwg _ pièces architecte phase APS du 31/08/2023.
- rapport de diagnostic pollution établi par GÉOTEC Environnement du 9 juillet 2021 ;
- rapport de diagnostic de zones humides établi par SCE Aménagement & Environnement en juillet 2021 ;
- rapport de diagnostic écologique établi par SCE Aménagement & Environnement en juillet 2022 ;
- rapport d'étude géotechnique G1-PGC n° RP21.560.M du 15 octobre 2021 établi par INGÉSOL + Note technique complémentaire du 3 janvier 2022 sur agressivité eau et suivi piézométrique ;
- plan de repérage des ouvrages et ordre de grandeur des descentes de charges statiques par zones (Parking, partie Nord, partie Sud, ouvrages de soutènements) transmis par mail OTEIS du 15 janvier 2024.

1.3. Présentation du site et du projet

1.3.1. Localisation du site et cadre du projet

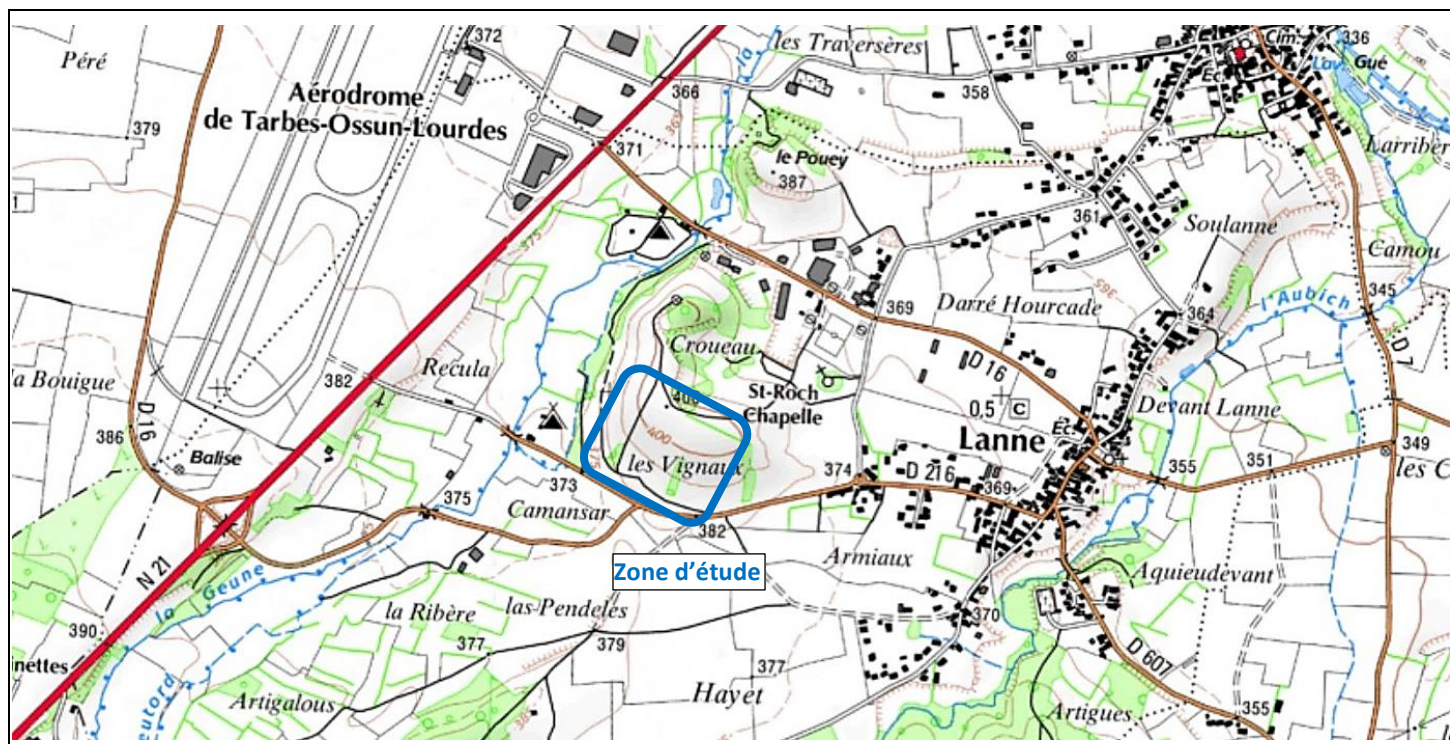
Le site d'étude est localisé sur le versant Sud de la colline de Croueau, sur la commune LANNE (65380) et s'inscrit sur les parcelles cadastrales ZB 64 à 71 et ZB 154 d'une superficie d'environ 7 ha.

Il s'agit d'un terrain d'exploitation agricole.

Il y a lieu de signaler la présence d'un lotissement récemment aménagé à environ 90 m de distance de la limite Est du projet, et du cours d'eau La Geune à environ 100 m à l'Ouest.

Dans l'environnement plus lointain, nous pouvons noter la présence d'une entreprise de transport située à 400 m au Nord du projet, ainsi que de l'aéroport Tarbes-Ossun-Lourdes à environ 800 m à l'Ouest.





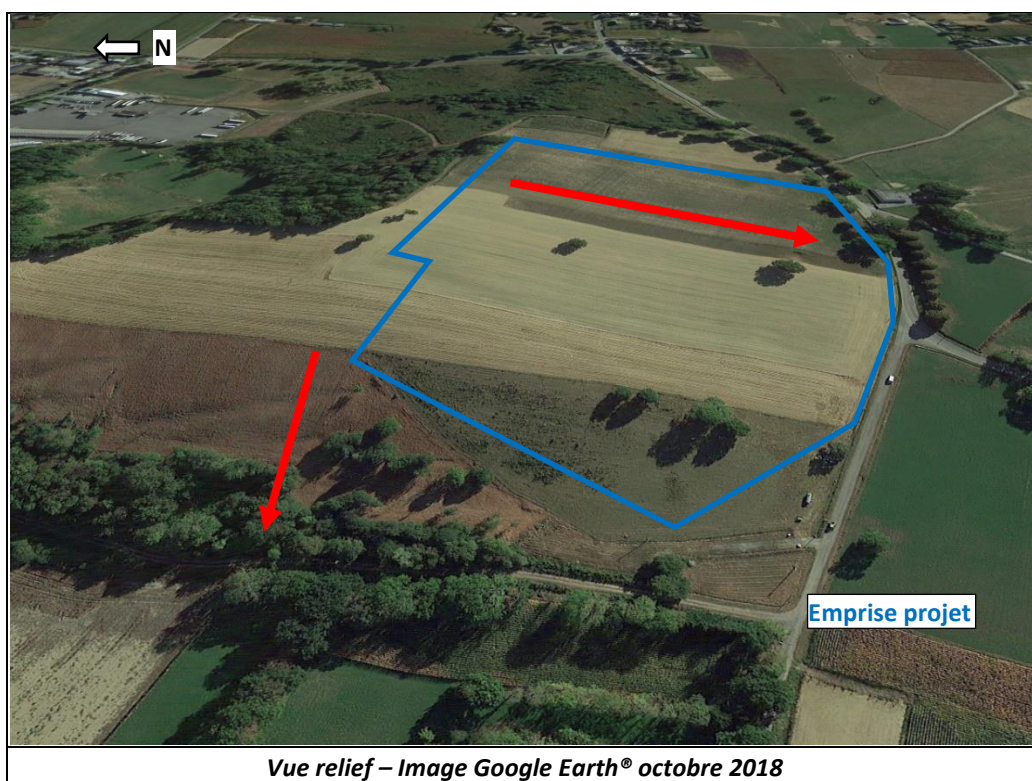
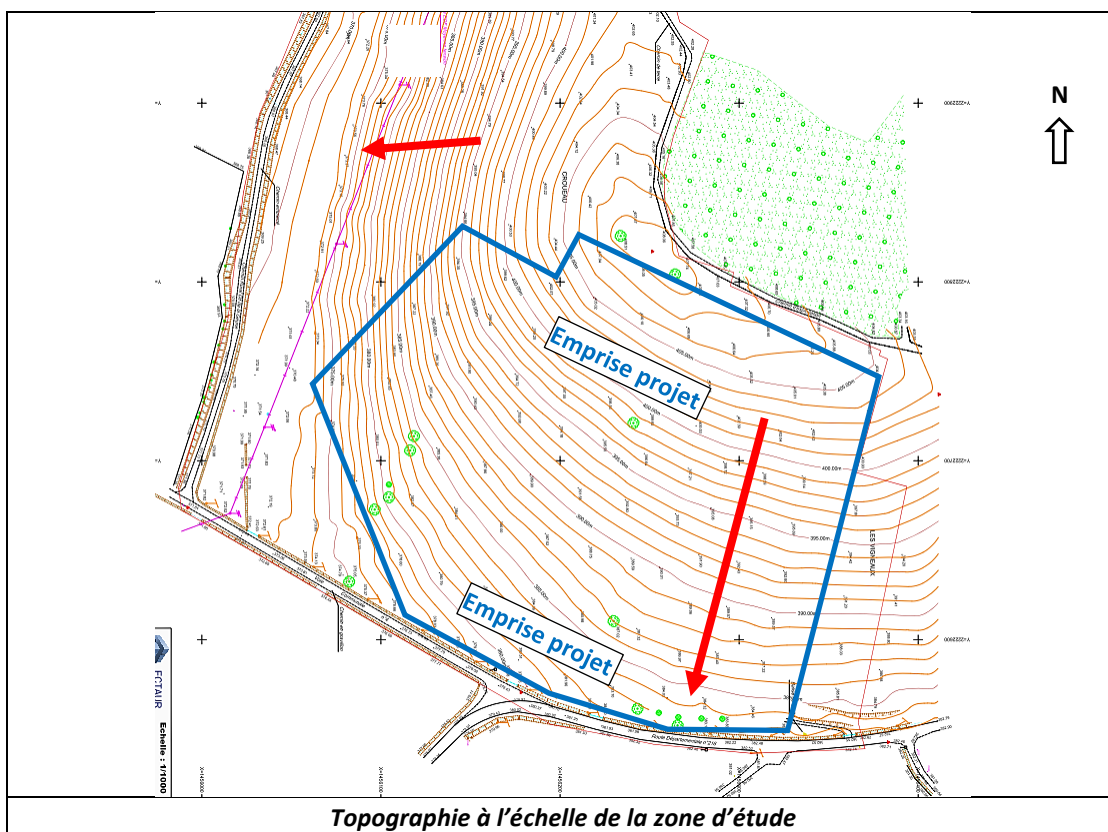
Localisation de l'étude - Extrait de la carte IGN



Vue aérienne du site – Image IGN-Géoportail® août 2022

L'altimétrie du site est comprise **entre 371 et 408 m NGF** d'après le plan topographique fourni – soit un dénivelé global atteignant 37 m.

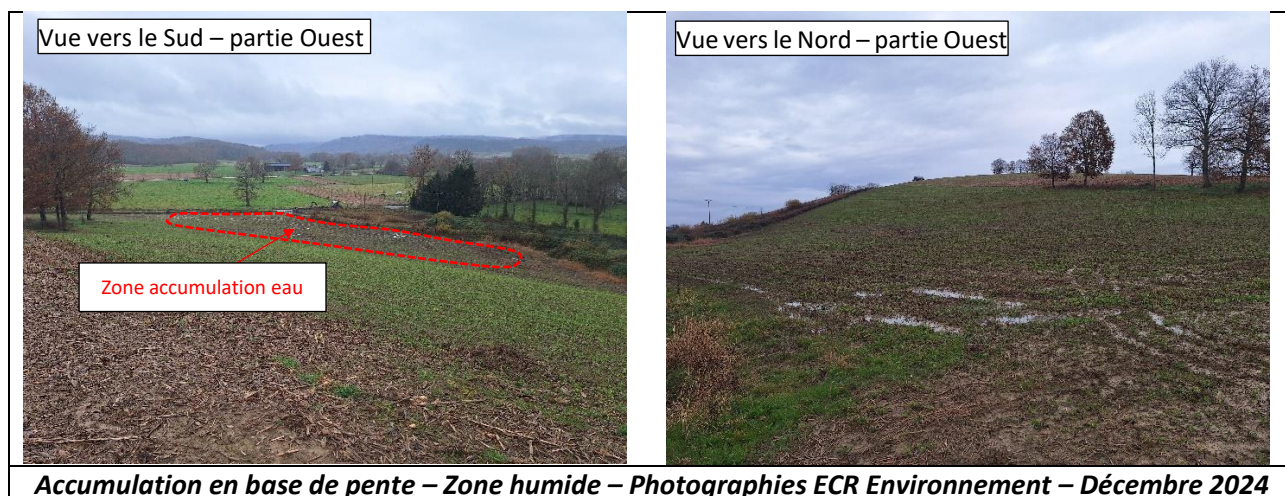
Le terrain sur l'emprise projet présente une pente orientée vers le Sud (≈ 10 à 15% - soit 5 à 10°) et une pente orientée vers l'Ouest (≈ 25 à 30% - soit 15 à 20°).

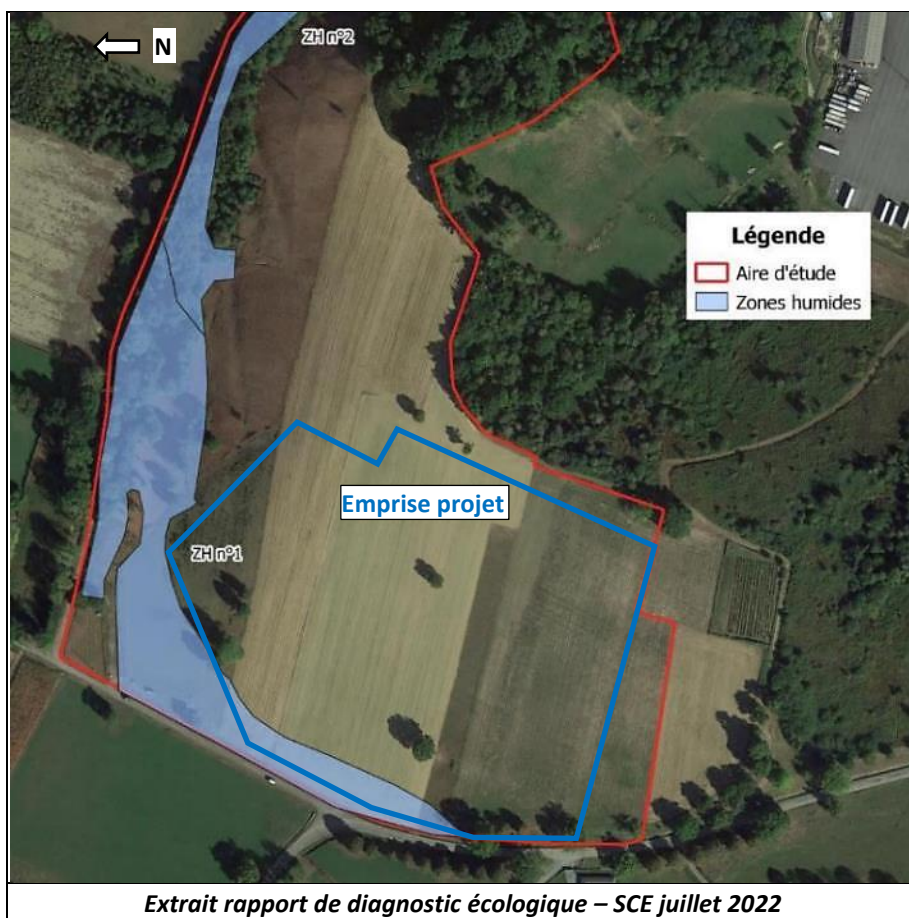




Les pentes s'annulent pratiquement en partie basse du site (plaines alluviales, plaine dépendage).

Il y a lieu de souligner l'existence des zones humides aux extrémités Ouest / Sud-ouest de l'emprise projet (zones de restrictions). D'après le rapport Diagnostic « Zones humides » SCE, celles-ci sont principalement liées à la remontée saisonnière de la nappe alluviale mais est également alimentée par les eaux de ruissellements.

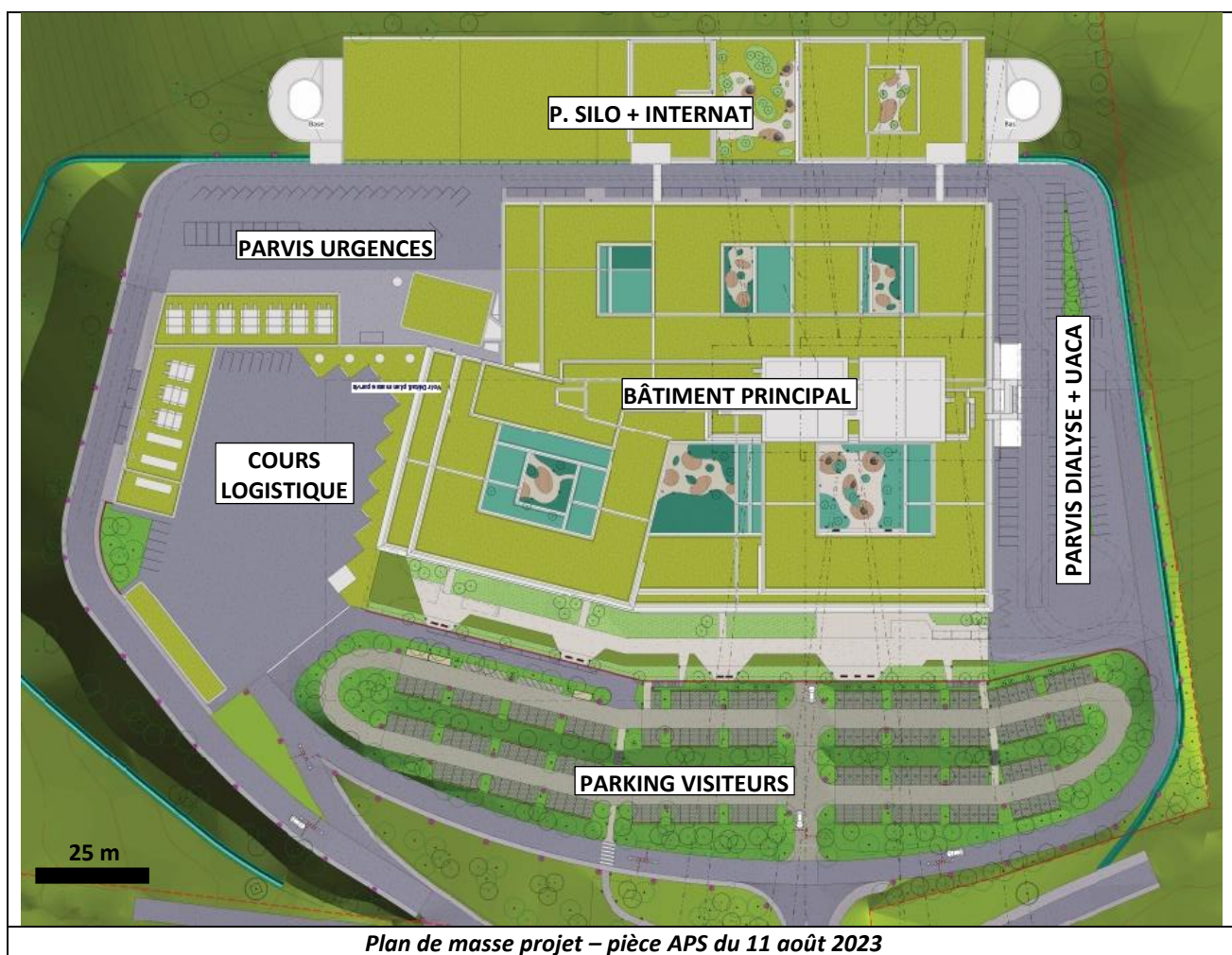




1.3.2. Présentation du projet

Le projet prévoit la reconstruction à neuf des hôpitaux de Tarbes et Lourdes, avec la réalisation de plusieurs structures plus ou moins imposantes, comprenant notamment :

- un **bâtiment principal [BN+BS]** en cœur de projet, occupant une emprise totale de l'ordre de 15 500 m² (≈ 150 m x 105 m), avec une partie Nord [BN] de 3 niveaux et une partie Sud [BS] de 7 à 8 niveaux ;
- un **parking silo [PS]** de 3 niveaux enterrés surmonté d'un bâtiment **Internat** de 1 niveau, occupant une emprise de l'ordre 8 000 m² (≈ 200 m x 40 m) à l'arrière du bâtiment principal, en limite de propriété Nord ;
- une **zone logistique [ZL]** côté Ouest du site, avec structures de 2 niveaux enterrés en parties arrières occupant une emprise d'environ 2 000 m², et une cours logistique d'environ 4 000 m² ([ZL] ≈ 80 m x 70 m) ;
- un **parvis urgences [URG]** en amont de la zone logistique, d'environ 2 600 m² (≈ 80 m x 30 m) ;
- un **parvis dialyse + UACA [DIAL-UACA]** côté Est du site, avec au moins 2 niveaux de plateformes occupant une emprise d'environ 4 500 m² (≈ 120 m x 35 m) ;
- un **parking visiteurs [pVL]** occupant une emprise d'environ 8 500 m² (≈ 215 m x 40 m) ;



La réalisation du projet en adaptation avec la topographie du site est prévue avec un encastrement presque intégral du projet dans le relief.

Le **niveau 00** correspond au niveau RDC du bâtiment principal Sud [BS], prévu à la **cote altimétrique 391,2 m NGF**.

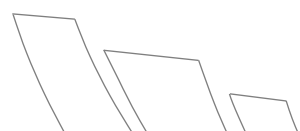
Le bâtiment principal Sud **[BS]** comprend un niveau de sous-sol SS1 constituant le niveau bas de l'ouvrage (en rez-de-jardin côté Sud) prévu à la **cote altimétrique 386,9 m NGF** (-4,3 m / niv. 00); et certaines parties prévues avec vide sanitaire VS sous dalle basse à la **cote altimétrique 385,1 m NGF** (-1,8 m / niv. SS1).

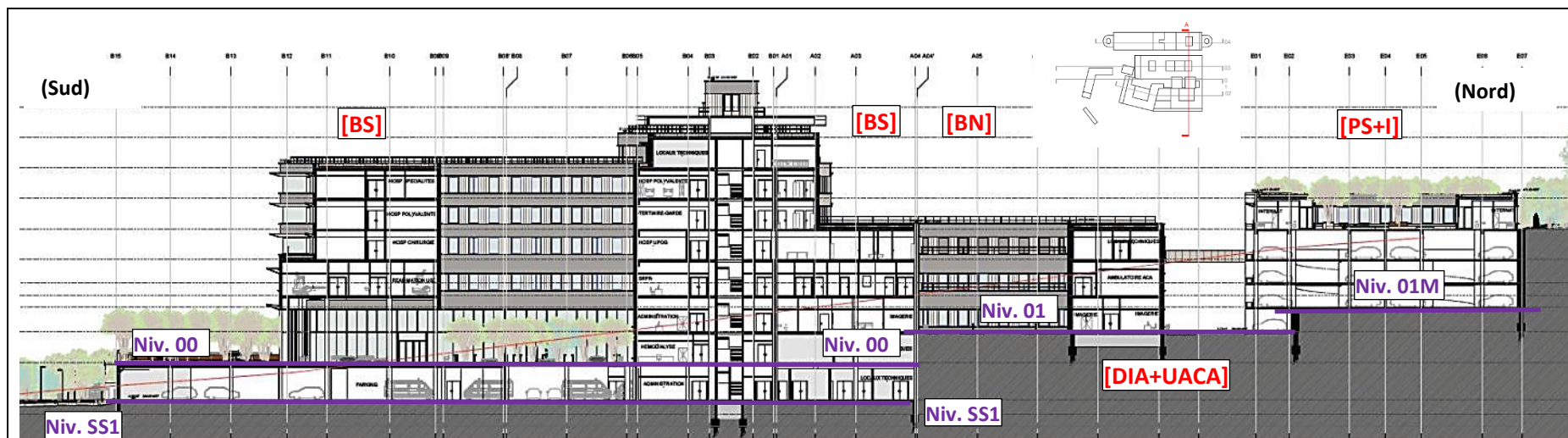
Le niveau de la zone logistique **[ZL]** côté Ouest sera calé au niveau VS.

Le bâtiment principal Nord **[BS]** comprendra également certaines parties avec vide sanitaire.

Les niveaux bas des principales structures et niveaux de plateforme des parvis sont prévus tels que :

Structure	Position niveau bas / niveau référence 00	Altimétrie NGF niveau bas	Cotes approx NGF terrain actuel	Prof. niveau bas - PF / terrain actuel
[BS] Bât. Principal Sud en R+6 à R+7 (dont 1 SS)	Niv. VS Niv. SS1	385,1 386,9	≈ 390 à 399	≈ -3 à -14
[BN] Bât. Principal Nord en R+2	Niv. 01	394,9	≈ 399 à 403	≈ -4 à -8 m
[PS] Parking silo en R-3 + Internat RDC	Niv. 01 Niv. 01M	394,9 397,8	≈ 405 à 408	≈ -10
[ZL] Zone logistique en R+1	Niv. VS Niv. SS1	385,1 386,9	≈ 383 à 395	≈ +2 à -10
[URG] Parvis urgences	Niv. 01	394,9	≈ 393 à 403	≈ +1 à -8
[DIA+UACA] Parvis dialyse + UACA	Niv. 00 Niv. 01	391,2 394,9	≈ 390 à 405	≈ ±0 à -10

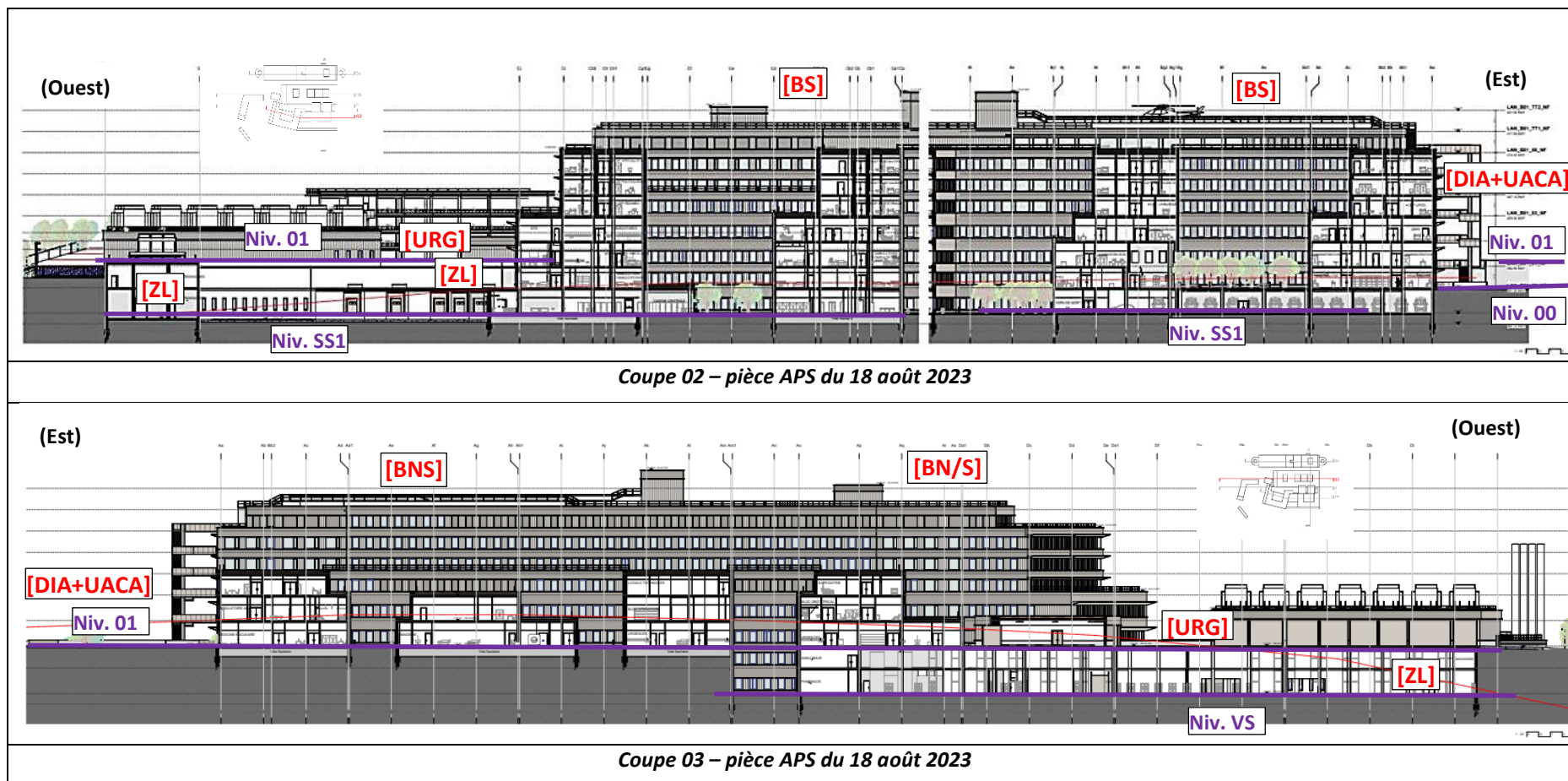




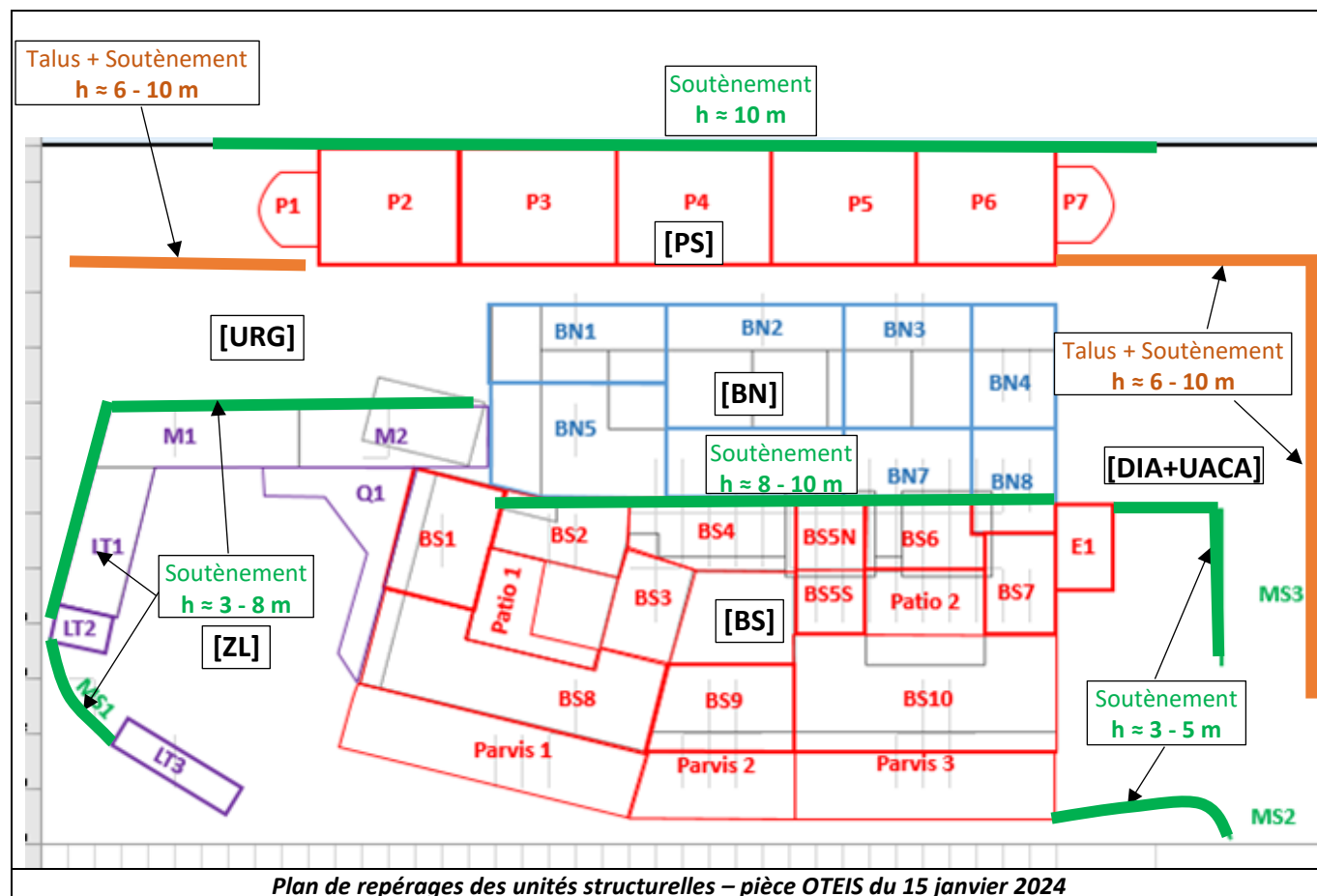
Coupe AA' – pièce APS du 18 août 2023



Coupe 01 – pièce APS du 18 août 2023



La réalisation des différentes plateformes successives impliquera donc des décaissés importants suivant la topographie initiale, atteignant **3-4 m à 8-12 m** de hauteur. Des dispositifs de **soutènement provisoires / définitifs** seront à prévoir en ce sens.



L'accès de la partie Sud à la partie Nord du site est envisagé par la réalisation d'une **voirie périphérique côté Ouest**, où la pente naturelle est relativement marquée, nécessitant un **modelage en remblai de grande hauteur pour le rattrapage de dénivelé (jusqu'à 10 m)**.

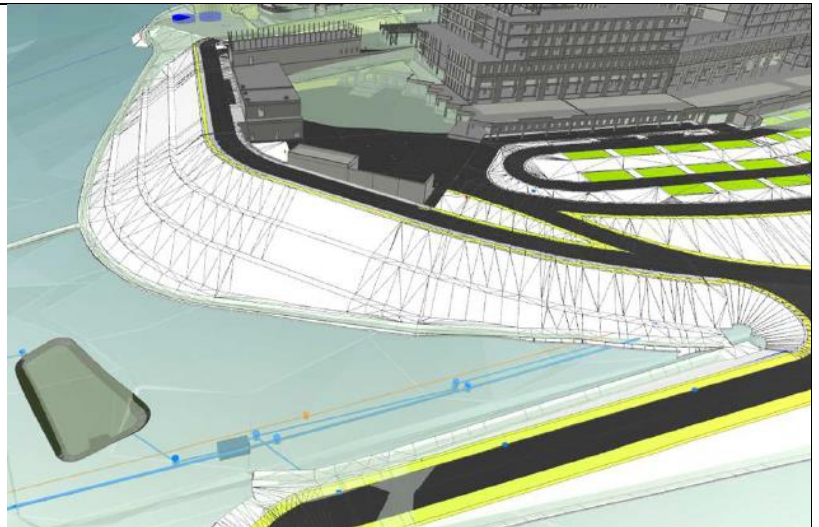
La base du remblai se positionnera, en partie, au droit de la zone humide à environ 375 m NGF et la partie haute arrivera aux niveaux 00 et 01 à environ 391 et 395 m NGF.

L'emprise terrassement disponible amène à envisager une pente de talus définitive pour le remblai créé de l'ordre de 1v/2h à 2v/3h.

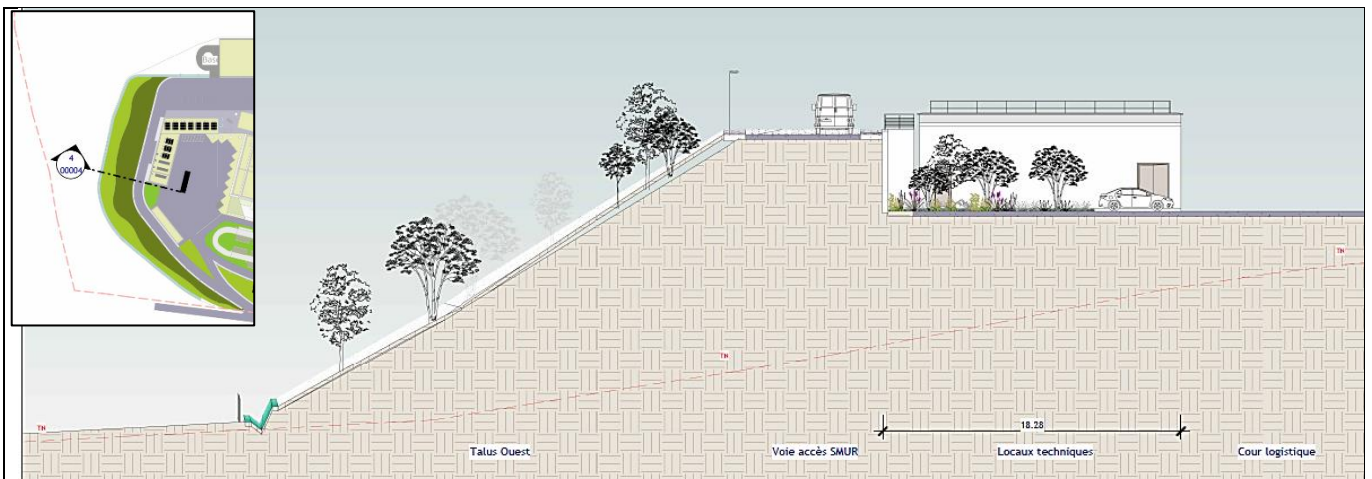




Extrait plan de masse : remblai Ouest

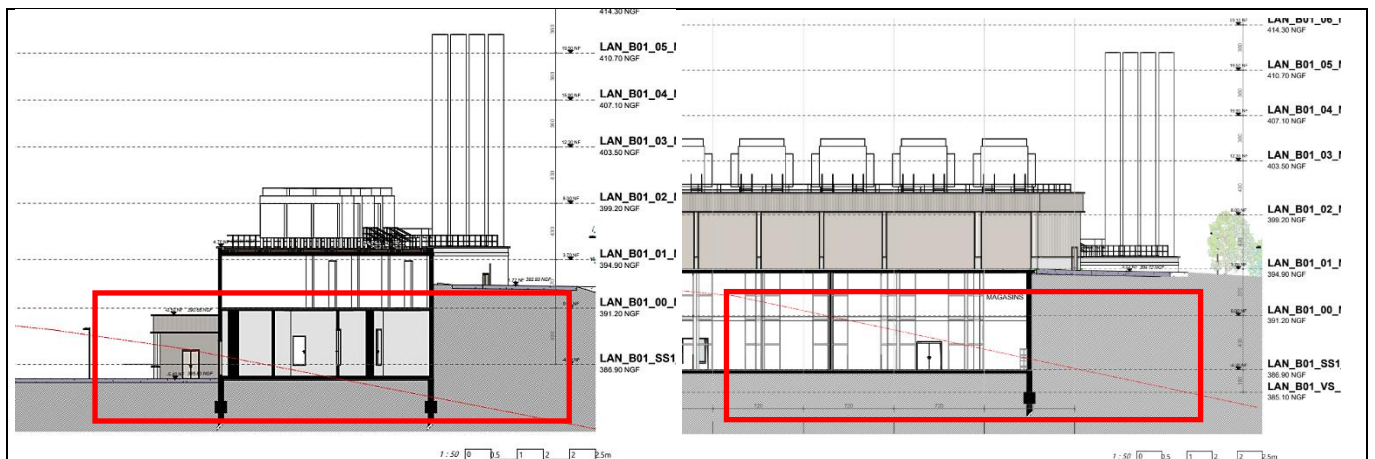


Vue 3D - remblai ouest

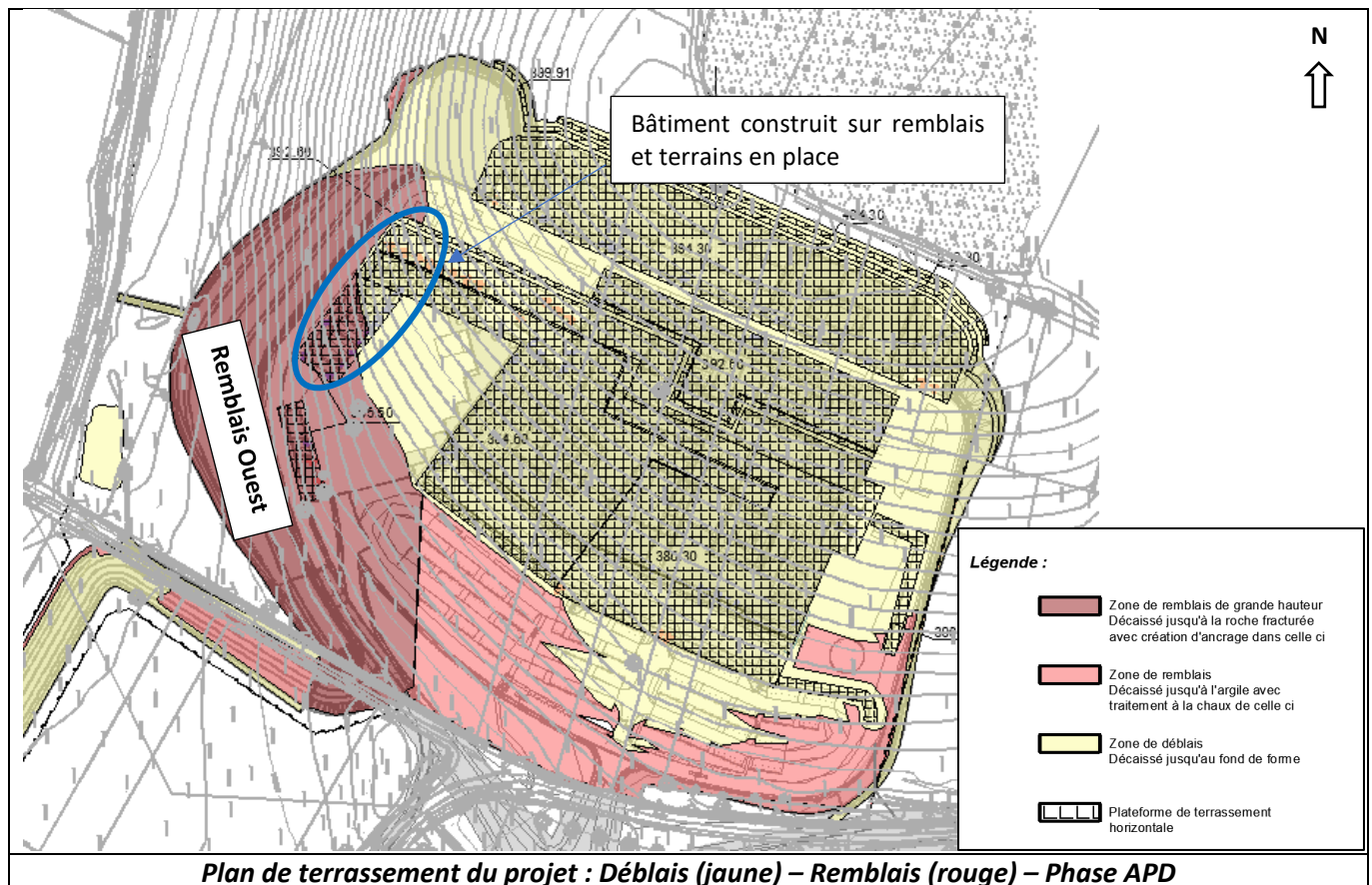


Coupe de principe : remblai Ouest et zone logistique - pièce APS du 11 août 2023

Une partie des structures à créer sur la zone logistique sera construite sur le remblai (=> interactions et sujétions de conception), et une partie sur les terrains en place lorsque le niveau du terrain initial est rattrapé.



Zoom coupes 01 et 03 sur zone logistique - pièce APS du 18 août 2023



Au stade actuel des études de conception et en regard de l'importance des structures à créer, les ordres de grandeur des charges à reprendre en fondations transmis par OTEIS (charges statiques ponctuelles ELS) sont :

- bâtiment principal Nord [BN] de 3 niveaux : $G = 290 \text{ à } 300 \text{ t} + Q = 100 \text{ à } 110 \text{ t} = \mathbf{400 \text{ t}}$;
- bâtiment principal Sud [BS] de 7 à 8 niveaux : $G = 265 \text{ à } 400 \text{ t} + Q = 116 \text{ à } 160 \text{ t} = \mathbf{380 \text{ à } 560 \text{ t}}$;
- parking silo + internat [PS] de 4 niveaux : $G = 100 \text{ t} + Q = 50 \text{ t} = \mathbf{150 \text{ t}}$;
- zone logistique [ZL] de 2 niveaux : $G + Q = \mathbf{100 \text{ t}}$.

Les charges surfaciques du bâtiment principal sont prévues de l'ordre de **$0,4 \text{ t/m}^2$** .

Dans l'hypothèse de charges continues sur semelles filantes, nous considérons en première approche des charges de l'ordre de $10 \text{ à } 75 \text{ t/ml}$.

Nous prenons également comme hypothèses en charges surfaciques sur niveaux bas pour les autres structures :

- parking silo : $0,50 \text{ t/m}^2$;
- zone logistique : $0,5 \text{ à } 1,0 \text{ t/m}^2$.

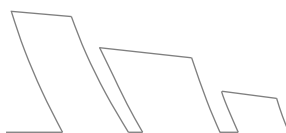
Il convient de souligner que le projet est **catégorie d'importance géotechnique IV** : « *ERP de classe 1 - Etablissement de santé nécessaire à la gestion de crise* », en zone de sismicité 4, et soumis aux **exigences de conception parasismique**.

Les efforts à reprendre en fondations sous sollicitations sismiques seront sans doute très importants (verticaux descendant / ascendants et horizontaux).

Concernant les voiries à créer – outre les zones de stationnement VL, les sollicitations / classe de trafic prévisionnelles ne sont pas encore explicitées. Il est indiqué que les voiries devront résister à un fort trafic.

Nous considérons alors en première approche une hypothèse de classes de trafic voiries T4 (jusqu'à 50 PL/jour) et **T3** (jusqu'à 150 PL/jour).

Rappel : Il revient aux responsables de l'opération de nous signaler toutes différences importantes à ces hypothèses afin que nous puissions reconsidérer, si nécessaire, tout ou une partie de nos conclusions. Il en est de même si le projet venait à changer.



1.4. Documents bibliographiques

1.4.1. Contexte géologique

D'après la carte géologique de Bagnères-De-Bigorre (n°1053) au 1/50 000 éditée par le BRGM et les résultats de l'étude G1 INGESOL, les terrains d'assise (substratum) au droit du site sont constitués par les **Flyschs ardoisiers albo-cénomaniens [n7b-c1]**.

D'après la notice BRGM, le Flysch Noir albo-cénomaniens des Pyrénées correspond à une unité stratigraphique de grande échelle. La série des Flysch « ardoisier » est puissante de plus de 4000 m en Bigorre.

Elle se compose de formations sédimentaires turbiditiques pélo-gréseuses / et de brèches marneuses à calcaires, accumulées dans les fossés d'effondrement qui jalonnaient le pied des Pyrénées, dont le mode de dépôt puis la tectonique ont engendré des **plissements schisteux et métamorphiques**.

Il en résulte des **corps sédimentaires prismatiques, indépendants** les uns des autres et **d'épaisseur variable**, de 0 à plusieurs centaines de mètres.

Dans le secteur, le substratum est morcelé en blocs basculés vers l'Ouest ou vers le Sud par des **failles normales** à regard oriental (direction N-S) ou septentrional (direction O-E).

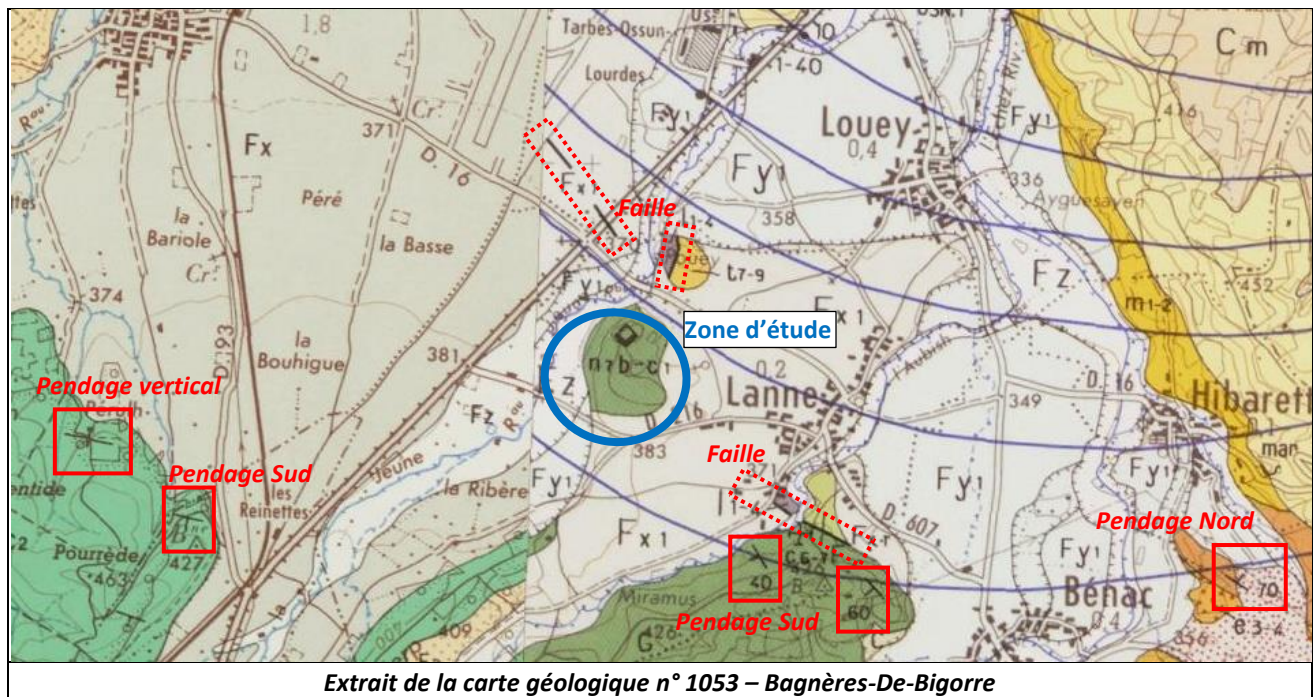
La carte géologique figure des failles identifiées sur le secteur et laisse supposer des failles cachées sous les faciès de recouvrement. Les figurés de **pendage des couches** indiquent une orientation Nord-ouest / Sud-est et une inclinaison prononcée allant de 40 à 80°, principalement vers le Sud / Sud-ouest, voire sub-verticale.

Les altérations de surface du substratum sont de nature à accentuer sensiblement et aléatoirement la fracturation des terrains.

Ces terrains d'assise, constituant la géomorphologie en relief du site, sont recouverts par ;

- des dépôts colluvionnaires principalement argilo-limoneux, d'épaisseur limitée sur les pentes / parties hautes (couche de labour) ;
- des **faciès alluvionnaires anciens** [Fx1] composés de galets et de graviers +/- altérés dans une matrice sablo-argileuse (Terrasse de l'aéroport d'Ossun), a priori présentes **en partie basse côté Est de la zone d'étude** ;
- des **faciès alluvionnaires récents** [Fz] composés de sols fins argilo-limono-sableux peu compacts, présentes **en partie basse côté Ouest** (zone humide, lit majeur de *la Geune*).





1.4.2. Sismicité

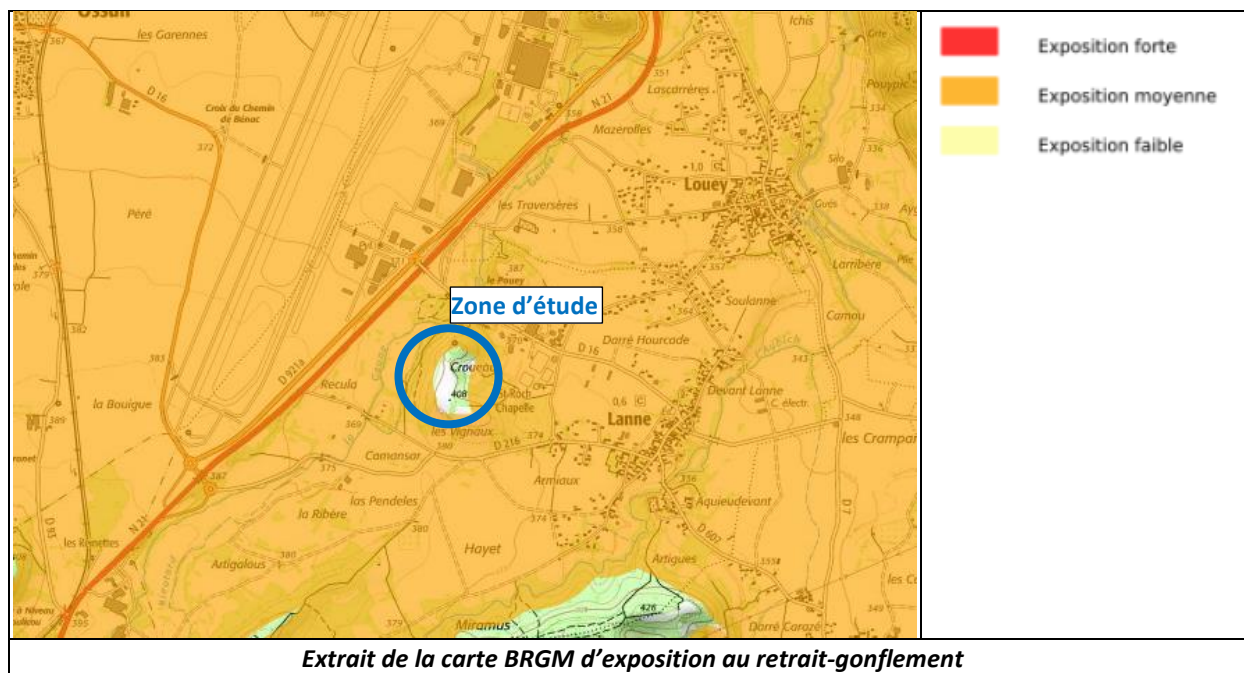
Selon le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 portant sur la délimitation des zones de sismicité du territoire français et entré en vigueur depuis le 01 mai 2011, le projet se situe en **zone de sismicité 4 (aléa moyen)**, avec accélération au rocher $a_{gr} = 1,6 \text{ m/s}^2$.

Le projet est de **catégorie d'importance IV** : "ERP de catégorie 1 – Établissement de santé nécessaires à la gestion de crise", et **soumis aux exigences de conception parasismiques** suivant l'Eurocode 8.

1.4.3. Aléa retrait-gonflement des argiles (approche bibliographique)

D'après les données du Portail de la Prévention des Risques Majeurs (georisques.gouv.fr), à ce jour, la commune ne fait pas l'objet d'un Plan de prévention des risques de type mouvements de terrain.

D'après la carte d'aléa liée au phénomène de retrait-gonflement des argiles établie par le BRGM (sur la base d'un modèle régional / à grande échelle), la zone d'étude est figurée en **exposition moyenne à nulle**.



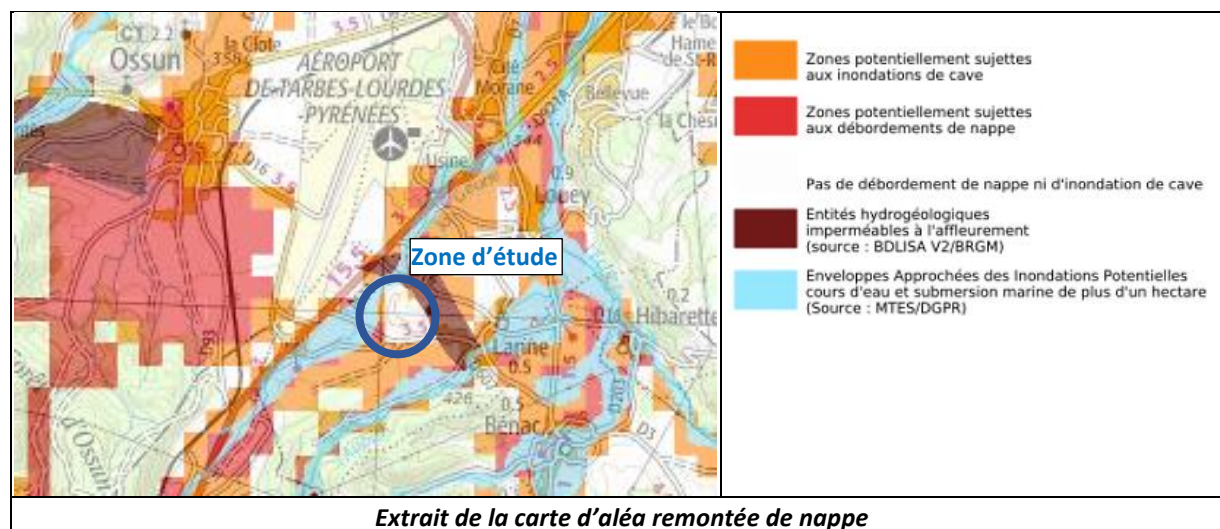
Remarque : ce référencement est donné à l'échelle globale et ne tient pas compte des variations locales. En pratique, seuls des prélèvements et des analyses spécifiques en laboratoire permettraient de juger précisément de cet aléa.

1.4.4. Aléa remontée de nappe

La carte des risques de remontées de nappes établie par le BRGM (sur la base d'un modèle régional / à grande échelle) répertorie le site :

- en zone sans risque de débordement de nappe ou inondation de caves en partie haute ;
- en zone potentiellement sujette aux inondations de cave, voire débordement de nappe en partie basse ;
- et en enveloppe approchée d'inondation de cours d'eau sur la zone humide côté Ouest.

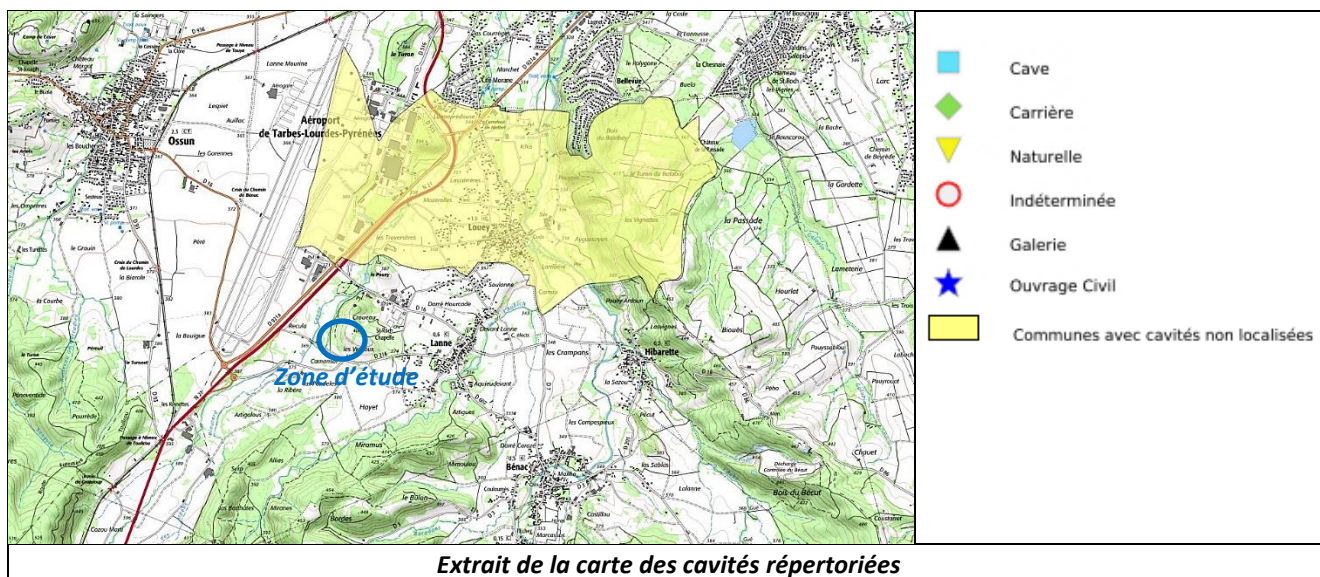
Le site se trouve **hors zones inondables – zones réglementaires** définies par le PPRI en vigueur sur la commune approuvé le 24 janvier 2010.



1.4.5. Cavités / Mouvements de terrains

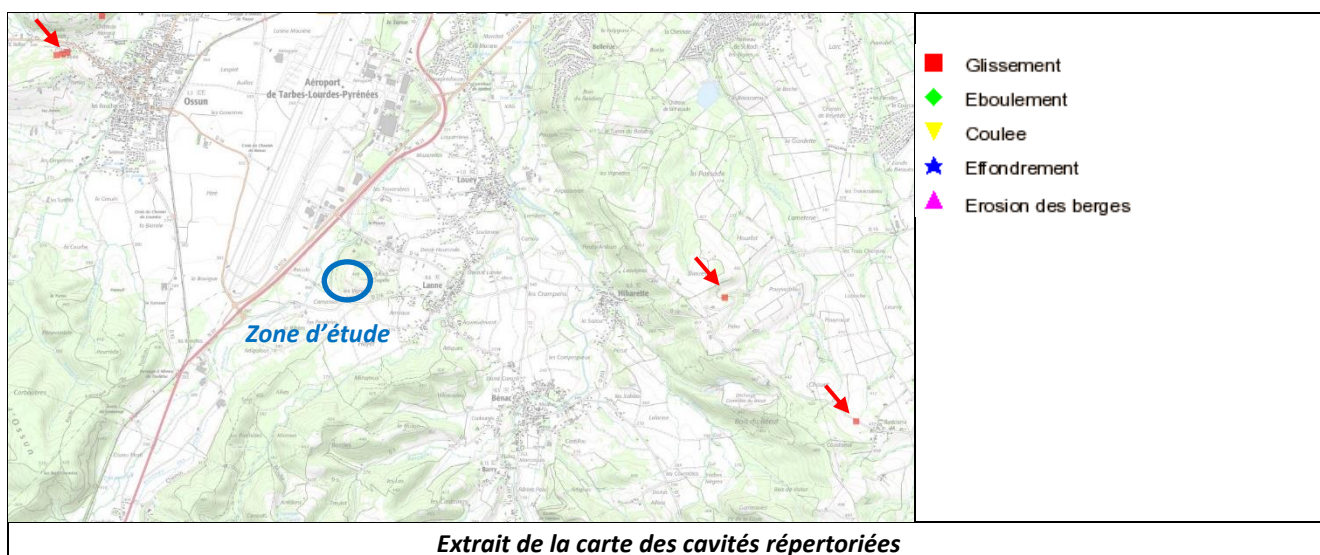
D'après les cartes établies par le BRGM, aucune cavité n'est répertoriée sur le secteur, et la commune de LANNE n'est pas répertoriée en zone à risque de cavité non localisée.

La commune de LOUEY voisine au Nord est référencée en zone avec cavités non localisée (présence de faciès sédimentaires carbonaté d'âge éocène à miocène).



Aucun mouvement de terrain n'est répertorié par le BRGM sur le secteur du projet.

Quelques glissements de terrains sont recensés à plus de 4 km au Nord-ouest et à l'Est – sur des secteurs présentant des faciès sédimentaires d'âge éocène à miocène.



Aucun regard des éléments recueillis, nous considérons très faible à nul les risques naturels de cavité et mouvement de terrains au droit du projet.



1.4.6. Synthèse des résultats de l'étude G1

Une campagne d'investigation avait été menée par l'entreprise INGÉSOL en 2021 au cours de laquelle il a été réalisé :

- 3 sondages pressiométriques, SP_{1G1} à SP_{3G1} descendus à 10,0 et 15,0 m/TA ;
- 14 essais au pénétromètre dynamique lourd de type B, descendus jusqu'au refus entre 1,2 et 5,2 m/TA ;
- 18 fouilles à la pelle mécanique, jusqu'au refus entre 1,8 et 2,5 m de profondeur ;
- La mise en place de 3 piézomètres avec suivi mensuel ;
- Des analyses en laboratoire consistant en la réalisation de :
 - 5 classifications des sols selon le GTR92 ;
 - Un essai de traitement à la chaux et une analyse d'agressivité des eaux sur le béton.

Ces sondages, intéressant notamment la partie basse du site, ont permis de mettre en évidence la coupe de sol suivante :

- un **recouvrement argileux beige ocre à gris sensibles à l'eau** (classe GTR A2 avec VBS de l'ordre de 2,5 à 3), visibles sur 1,0 à 2,0 m d'épaisseur en moyenne et présentant des caractéristiques mécaniques médiocres ;
- Une **frange altérée** composée d'**argiles beige / ocre à lentilles de flysch ardoisier gris très fracturé** surtout identifiée en partie basse et pouvant atteindre localement des épaisseurs de l'ordre de 4 à 5 m. Cette unité a des valeurs de résistance très hétérogènes ;
- des **flyschs ardoisiers très fracturés à matrice argileuse** localement visibles jusqu'à 5,0 à 6,0 m de profondeur de moyennes à bonnes compacités ;
- des **flyschs ardoisiers peu fracturés** reconnus jusqu'aux arrêts volontaires des sondages à 10,0 et 15,0 de profondeur par rapport au terrain actuel (m/TA) et de très bonnes caractéristiques mécaniques.

Concernant la présence d'eau, il est indiqué à l'issue des fouilles à la pelle (9u) effectuées en janvier 2021 :

- « *seul des venues d'eau ont été observées au droit du sondage PM1 – sur zone humide – correspondant à des circulations d'eau de surface (terrain gorgé d'eau, pluies abondantes)* ».
- « *De plus une humidité importante a été relevée au sein des flysch ardoisiers très fracturés, on note également une forte oxydation* ».

A noter que la fiche de la fouille PM8 réalisée en partie basse au Sud-est indique aussi « *forte venue d'eau de surface* » - comme en PM1. Les terrains concernés sont les colluvions ou alluvions argilo-limoneuses.

Les sondages pressiométriques indiquaient des venues d'eau observées vers 4 à 5 m en cours de forage et des niveaux d'eau mesurés vers 2 à 3 m en fin dans les flyschs plus ou moins altérés.

Les fouilles PM10 à PM18 réalisées en août 2021 sont restées sèches mais ont montré des humidités à partir de 1,5 à 2 m.

Le suivi piézométrique effectué de septembre à décembre 2021 au droit de **Pz3 (bas de pente)** indique un **niveau de nappe persistant à faible profondeur en partie basse du site, compris entre 1,10 et 1,70 m**.



1.5. Investigations géotechniques réalisées

Les investigations réalisées au cours des campagnes successives ont consisté en :

- **13 sondages pressiométriques** - SP1 à SP13, réalisés en tarière mécanique Ø63 mm et en destructif au tricône Ø64 mm avec injection d'eau, descendus **entre 15 et 20 m** de profondeur , avec essais pressiométriques répartis tous les 1,5 – 2,0 m ;

Les **enregistrements de paramètres de forage**, SD, ont été effectués en SP3, SP5 à SP7 et SP9 à SP13, permettant d'apprécier qualitativement la compacité des terrains et la présence d'éventuelles anomalies (altération / fracturation / décompressions) ;

- **6 sondages carottés** - SC2, SC6, SC7, SC11 à SC13, descendus entre **8 et 12 m** de profondeur ;
- **5 équipements piézométrique** – Pz3, Pz6, Pz7, Pz11 et Pz13, en tube PVC Ø45x50 m et Ø51/60 mm, équipés de sondes d'acquisition autonomes permettant le suivi des niveaux d'eaux ;
- **12 fouilles à la pelle mécanique 10 t**, PM1 à PM12, descendues jusqu'aux **refus entre 1,5 et 2,8 m/TA** ;
- **39 essais au pénétromètre dynamique lourd type B**, P1 à P39, conduits jusqu'aux **refus entre 1,4 et 5,8 m/TA** ;
- **3 sondages de reconnaissance complémentaires** - ST2, ST4, ST7, réalisés en tarière Ø 63 mm en parallèle des précédents essais P2, P4, P7, et descendus jusqu'au **refus entre 2,0 et 4,0 m/TA** ;
- **3 essais d'infiltration d'eau type Porchet**, K1 à K3, réalisés dans 3 sondages en tarière Ø 140 mm descendus à **0,7 et 0,8 m/TA** ;
- **2 essais d'infiltration à la fosse**, K4 et K5, réalisés au droit des fouilles PM2 et PM12 ;
- **des campagnes de mesure géophysique** avec la réalisation de profils sismique réfraction et de panneaux électriques orientés Nord - Sud et Est – Ouest.

À ces prestations in-situ, il s'est ajouté des analyses en laboratoire comprenant :

- **4 identifications GTR92** des échantillons de sols prélevés en SC2, SC6, SC11 et SC12 ;
- **1 essai de cisaillement direct CD** sur échantillon intact prélevé en SC6 au niveau des terrains superficiels ;
- **1 caractérisation DRX** des argiles superficielles ;
- **2 essais œdométrique** sur des échantillons prélevé en SC12 ;
- **4 essais Los Angeles et Micro-Deval** ainsi que **2 essais de fragmentabilité et de dégradabilité**, sur des matériaux rocheux prélevés en SC2, SC6 et SC7 ;
- **1 analyse d'agressivité de l'eau vis-à-vis du béton** suivant la norme EN-206-1 sur échantillon prélevé en Pz3.

NOTA : La nature des terrains en fragments / blocs fracturés indurés dès 1 à 2 m de profondeur a fortement limité le nombre / empêché la faisabilité des essais mécaniques usuels en laboratoire.



Les sondages ont été implantés conformément au plan joint en annexe, avec le concours de la Cellule Topographie d'ECR. L'écartement moyen entre points de reconnaissance est de l'ordre de 25 à 50 m.

Leur coordonnées (système CC43 – RGF 93) et altimétrie NGF sont telles que :

Sondages	x	y	Cote NGF
SP1	1456207.50	2222803.53	404,70
SP2 - SC2	1456274.30	2222765.89	406,10
SP3 – Pz3	1456348.10	2222745.85	405,50
SP4	1456223.74	2222761.34	401,80
SP5	1456320.10	2222702.47	400,20
SP6 - SC6 - Pz6	1456258.26	2222692.48	395,90
SP7 - SC7 - Pz7	1456166.93	2222697.95	389,00
SP8	1456236.23	2222659.95	390,90
SP9	1456297.93	2222640.83	392,20
SP10	1456073.81	2222674.56	375,60
SP11 – SC11 – Pz11	1456136.45	2222785.92	391,90
SP12 – SC12	1456069.68	2222769.65	374,20
SP13 – SC13 – Pz13	1456040.69	2222701.93	372,15
P1	1456183.56	2222805.51	401,75
P2 - ST2	1456244.59	2222797.15	407,35
P3	1456321.63	2222763.08	406,50
P4 - ST4	1456303.25	2222744.58	404,90
P5	1456315.15	2222721.39	402,40
P6	1456257.25	2222741.10	402,10
P7 - ST7	1456306.19	2222669.43	395,35
P8	1456216.04	2222724.08	396,10
P9	1456206.65	2222690.98	391,90
P10	1456274.03	2222663.36	393,45
P11	1456191.11	2222756.24	397,85
P12	1456168.11	2222776.74	396,90
P13	1456142.90	2222805.04	394,25
P14	1456111.26	2222797.09	385,60
P15	1456128.33	2222748.43	388,10
P16	1456078.55	2222750.23	376,15
P17	1456127.53	2222713.52	385,50
P18 – K1	1456111.28	2222670.60	380,75
P19	1456165.43	2222724.60	391,00

Sondages	x	y	Cote NGF
P20	1456171.05	2222668.70	386,55
P21	1456154.10	2222630.79	382,25
P22	1456215.62	2222638.98	387,65
P23	1456219.77	2222610.02	385,80
P24	1456284.56	2222601.68	387,95
P25	1456264.08	2222564.04	383,65
P26 – K3	1456319.80	2222578.36	386,55
P27	1456324.84	2222622.43	391,00
P28	1456336.71	2222663.85	395,90
P29	1456349.77	2222711.79	402,10
P30	1456282.71	2222704.68	398,95
P31	1456089.91	2222655.70	376,40
P32	1456063.12	2222650.49	373,80
P33	1456055.07	2222680.76	373,15
P34	1456028.25	2222689.30	371,90
P35	1456044.40	2222736.68	371,50
P36	1456096.42	2222690.97	379,15
P37	1456046.23	2222787.38	371,25
P38	1456072.70	2222724.27	375,15
P39	1456110.91	2222739.33	384,30
PM1	1456351.15	2222692.73	399,75
PM2 - K4	1456215.76	2222796.47	405,00
PM3	1456111.58	2222773.16	385,40
PM4	1456360.57	2222736.57	404,60
PM5	1456257.09	2222727.43	400,30
PM6	1456159.22	2222758.05	393,65
PM7	1456288.62	2222780.35	407,40
PM8	1456304.15	2222693.79	398,40
PM9	1456218.96	2222746.92	399,25
PM10	1456333.65	2222645.03	393,60
PM11	1456289.07	2222612.25	389,50
PM12 - K5	1456159.67	2222706.43	389,00

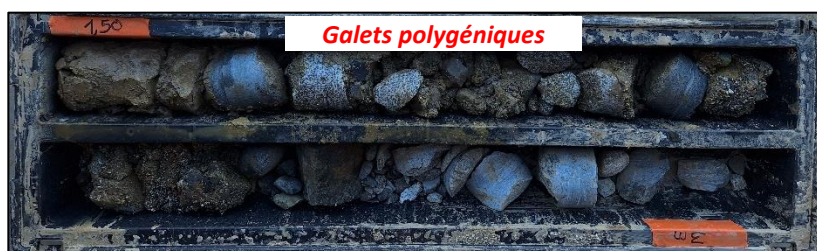


2. RESULTATS DES INVESTIGATIONS

2.1. Caractéristiques lithologiques

Comme indiqué sur les coupes lithologiques des sondages disponibles en annexes, les terrains rencontrés sont relativement homogènes à l'échelle de la zone étudiée et sont essentiellement constitués par :

- des sols superficiels et une frange d'altération d'épaisseurs variables, pouvant se décomposer en :
 - **horizon U1a/ : couverture argileuse**
il s'agit d'**argiles [marron/beige] +/- plastiques et collantes** identifiés sur 0,5 à 1,5 m d'épaisseur en moyenne au droit de nos sondages – correspondant à la couche de labour, recouvrant ;
 - **horizon U1a bis/ : recouvrement alluvionnaire** (uniquement observé en SC13 – Extrémité sud-ouest du projet)
il s'agit d'**argile sablo-graveleuse [marron/beige] contenant de nombreux galets polygéniques (granites, schistes, etc...)** de tailles **décimétrique à pluri-décimétrique**, identifiée jusqu'à 3,8 m/TA en SP13 – SC13 ;



- **horizon U1b/ : Frange d'altération argileuse à cailloutis / blocs**
il s'agit d'**argile [beige/ocre] présentant des bancs de schistes ardoisiers +/- altérés**, identifiée jusque 1,3 à 1,8 m/TA en moyenne ;
- et le substratum albo-Cénomaniens comprenant :
 - **horizon U2/ : substratum +/- fracturé à altéré**
il s'agit de **roches sédimentaires [gris/noirs] +/- fracturées à très fracturées**, admettant quelques passages / remplissages argilo-limoneux, d'épaisseurs variables (2 à 3 m en moyenne) et rencontrés localement jusqu'à 4,0 à 6,5 m/TA ;





➤ **horizon U3/ : substratum peu fracturé**

il s'agit de **roches sédimentaires [gris/noir] +/- massifs** (pélites, schistes ardoisiers) reconnus jusqu'à l'arrêt volontaire des sondages les plus profonds entre 15,0 et 20,0 m/TA. Des passages +/- fracturés et localement argileux ont été ponctuellement identifiés au sein de cette unité.



Cette succession lithologique rencontrée lors de notre campagne de sondage est concordante avec les résultats obtenus lors de l'étude G1-PGC réalisée par INGÉSOL en 2021.

Il est à noter que l'épaisseur des sols de recouvrement et de la frange altérée à dominance argileuse est globalement constante en partie amont et médiane du site (≈ 1 à 2 m) ; tandis qu'elle a tendance à être plus épaisse en partie aval (observée localement jusqu'à $5,5$ m de profondeur - SP3_{G1}), indiquant une accumulation colluvionnaire en bas de pente et le passage aux dépôts alluvionnaires.

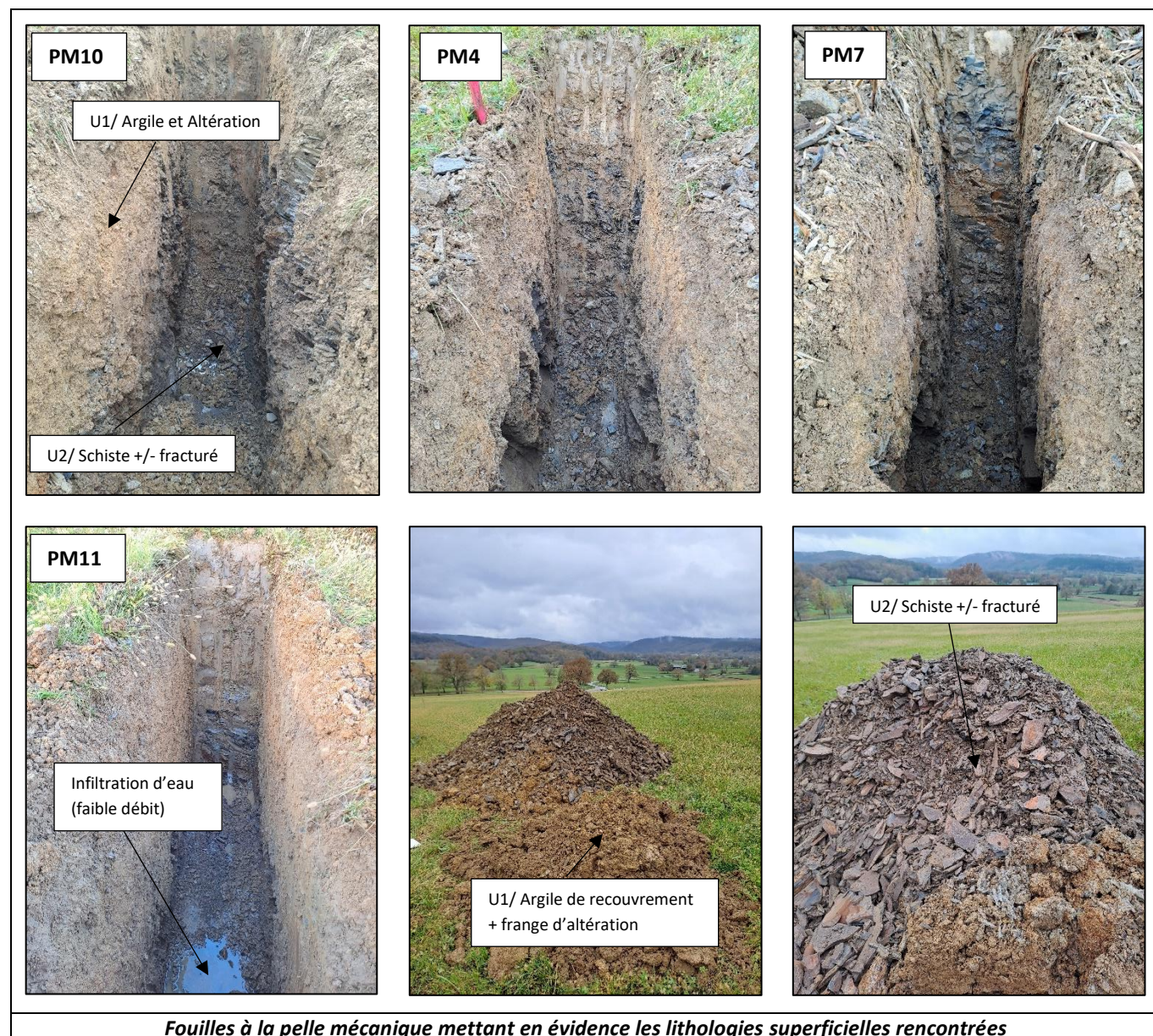
Remarques : hormis pour les sondages carottés et fouilles à la pelle mécanique, les descriptions susmentionnées se basent sur des remontées partielles de cuttings issus de forages en petit diamètre ($\varnothing 63$ mm). Les coupes lithologiques établies doivent donc être considérées comme schématiques.

De par l'origine de ces formations géologiques, les phénomènes d'altérations, érosifs et tectoniques qu'ils ont subis peuvent entraîner des variations importantes sur de courtes distances d'épaisseurs et profondeurs / cotes altimétrique des horizons.

Il conviendra donc d'être prudent quant à l'extrapolation des interfaces entre les différents points de sondages (écartement moyen entre points de reconnaissance superficiels est de l'ordre de 30 à 50 m, sensiblement plus s'agissant des reconnaissances profondes).



Les photographies des fouilles à la pelle mécaniques reportées ci-après permettent de visualiser la constitution des terrains superficiels



2.2. Analyse des enregistrements de paramètres de forage

Les **enregistrements de paramètres de forage – SD** ont été effectués en SP3 - SP5 - SP6 - SP7 - SP9 - SP10 à SP13, permettant d'apprécier qualitativement la compacité des terrains et la présence d'éventuelles anomalies (altération / fracturation / décompressions).

Les paramètres enregistrés sont les suivants :

- Vitesse instantanée d'avancement VIA (m/h) ;
- Pression de poussée sur outil PO (bars) ;
- Pression d'injection PI (bars) ;
- Couple de rotation CR (bars).

Pour les machines ayant réalisés les sondages, les paramètres de fonctionnement (courbes d'étalonnage visualisées en rouge sur les fiches d'enregistrements SD6 - SD9 - SD10 à SD13) ont été :

Machine	Sondages	VIA max	PO	CR
GEO 305	SD6 et SD9	≈ 450 m/h (limitation sur la machine)	55 à 60 bars	50 bars
CE 302	SD10 à SD13	≈ 1350 m/h	25 bars	65 à 70 bars

Sur les profils d'enregistrement de paramètres, l'avancement rapide de l'outil de forage associé à un faible couple de rotation (chute aux valeurs proches du paramètre de fonctionnement machine) souligne les horizons peu compacts, fracturés et/ou altérés à décomprimés.

Une pression d'injection élevée souligne généralement la présence de niveaux argileux à marneux ou massif rocheux non fracturé. A l'inverse, une faible pression d'injection montre la présence de terrains sableux ou sablo-graveleux, à rocheux fracturé.

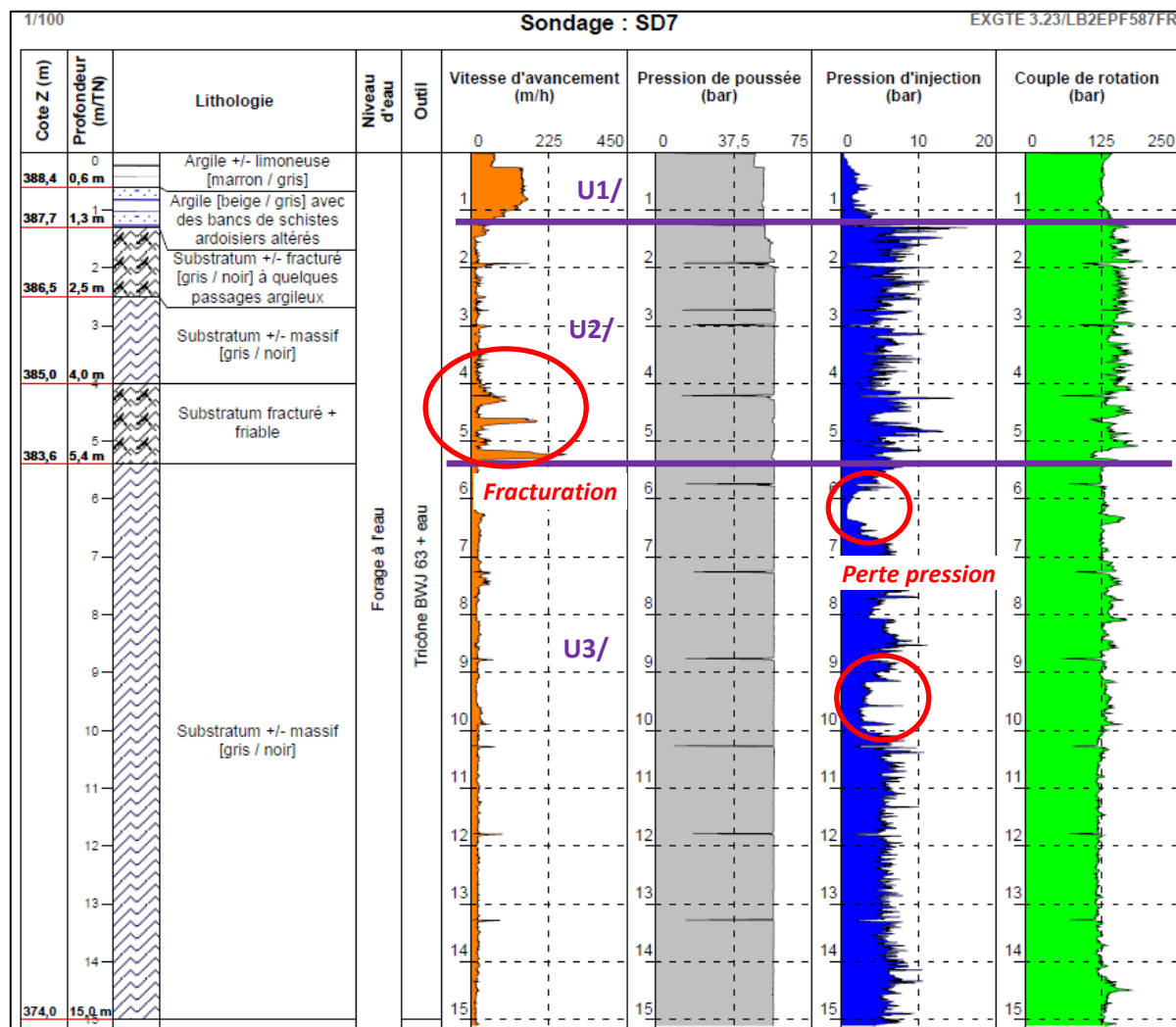
Un couple de rotation élevé correspond généralement à des terrains rugueux sableux à sablo-graveleux ou rocheux compacts. Un faible couple de rotation correspond généralement à des faciès tendres argilo-marneux à crayeux.

Les profils établis montrent :

- des terrains rapidement compacts toute hauteur avec une vitesse d'avancement très faible ;
- l'absence d'anomalie particulière sur la hauteur traversée, sauf quelques pics d'avancement rapide vers 4 à 6 m de profondeur en SD7 et SD13 traduisant un passage local fortement fracturé ;
- des couples de rotation relativement élevés sur les 3 à 5 premiers mètres correspondant aux substratum très fracturé U2/ ; puis globalement un peu plus faible et constant au-delà associé au substratum peu fracturé U3/ ;
- des chutes de pression d'injection à différentes profondeurs (notamment en SD3 - SD5 - SD11) suggérant une « perméabilité » / fracturation dissipant la pression d'eau à la sortie de l'outil (=> possibles horizons préférentiels de circulation d'eau).



À titre d'illustration, les profils de paramètres des forages en SD7 sont reportés ci-après :



2.3. Organisation structurale du substratum et tenue des terrains superficiels

2.3.1. Structure et fracturation du substratum

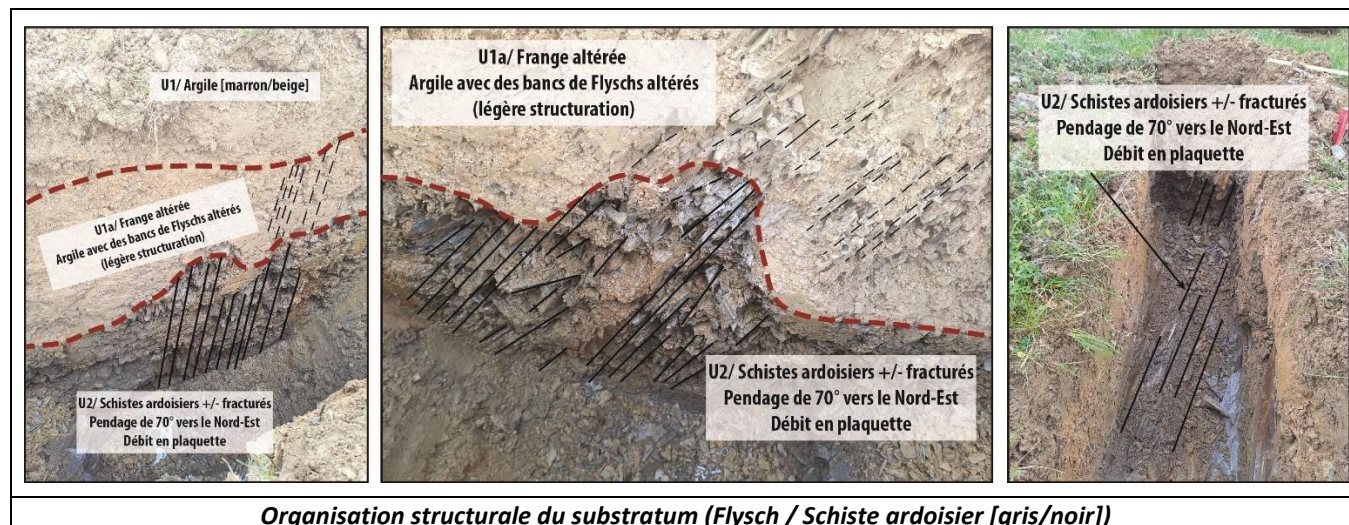
La réalisation de fouilles à la pelle mécanique ainsi que de 3 sondages carottés ont permis de mettre en évidence la structure fracturée / schisteuse du substratum.

Les Flyschs / schistes ardoisiers présentent ainsi une organisation en bancs +/- grossiers sub-verticaux principalement orientés N110 avec pendage de 70/80° vers le Nord-est.

Ils sont très fracturés sur les premiers mètres, se débittent en plaquettes (morceaux centimétriques à décimétriques) à la pelle mécanique et présentent un plaquage argileux (remplissage inter-bancs).



Des passages +/- fracturés sont également localement identifiés en profondeur (perte de pression sur sondages destructifs).



Une analyse de la qualité de la roche (RQD) a été conduite afin de donner une estimation quantitative de la fracturation de la masse rocheuse à partir de l'examen des carottes SC2 - SC6 - SC7 - SC11 - SC12.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

SC2					
Profondeurs (m)	RQD (%)	Qualité du massif	Profondeurs (m)	RQD (%)	Qualité du massif
1,5 – 3,5	0	Très mauvaise	7,5 – 8,5	91	Excellente
3,5 – 4,5	61	Passable	8,5 – 9,5	30	Mauvaise
4,5 – 5,5	32 ou 71	Mauvaise à passable	9,5 – 10,5	74	Passable
5,5 – 6,5	80	Bonne	10,5 – 11,5	56	
6,5 – 7,5	68	Passable	11,5 – 12,5	71	

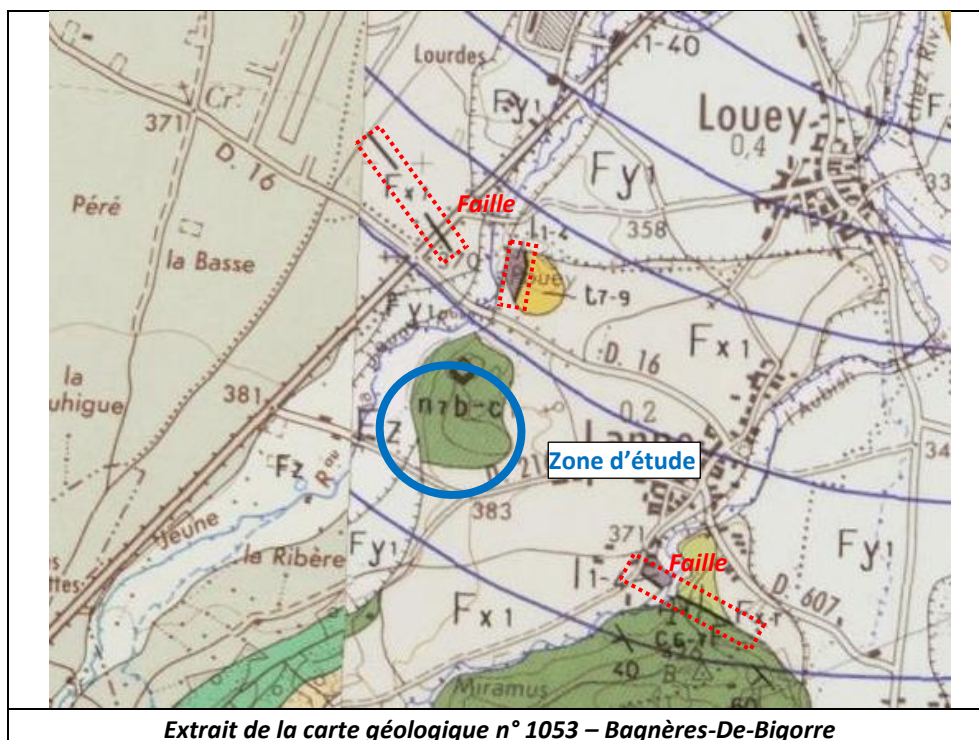
SC6			SC7		
Profondeurs (m)	RQD (%)	Qualité du massif	Profondeurs (m)	RQD (%)	Qualité du massif
1,8 – 2,8	13	Très mauvaise	1,3 – 2,3	17	Très mauvaise
2,8 – 3,6	52	Passable	2,3 – 3,0	30	Mauvaise
3,6 – 4,5	63		3,0 – 3,8	12	Très mauvaise
4,5 – 5,5	52		3,8 – 4,6	86	Bonne
5,5 – 6,5	57		4,6 – 5,6	78	
6,5 – 7,5	37	Mauvaise	5,6 – 6,6	79	
7,5 – 8,5	89	Excellente à bonne	6,6 – 7,6	14	Très mauvaise
8,5 – 9,5	93		7,6 – 8,0	39	Mauvaise
9,5 – 10,0	95		8,0 – 9,0	84	Bonne
			9,0 – 10,0	75	



SC11			SC12		
Profondeurs (m)	RQD (%)	Qualité du massif	Profondeurs (m)	RQD (%)	Qualité du massif
1,0 – 2,0	0	Très mauvaise	3,5 – 4,6	17	Très mauvaise à mauvaise
2,0 – 2,8	49	Passable	4,6 – 5,0	36	
2,8 – 3,5	0	Très mauvaise	5,0 – 6,0	0	
3,5 – 4,6	46	Passable	6,0 – 7,0	30	
4,6 – 5,1	90	Excellente à bonne	7,0 – 7,8	53	Passable
5,1 – 6,1	90		7,8 – 8,8	90	Bonne
6,1 – 6,6	100		8,8 – 9,2	90	Passable
6,6 – 7,4	90		9,2 – 10,0	75	
7,4 – 7,9	100		8,0 – 9,0	90	
7,9 – 8,9	87				
8,9 – 9,3	95				
9,3 – 10,0	50	Passable			

Remarque : la structuration et l'état de fracturation du substratum peut varier à l'échelle de la parcelle étudiée.

À plus grande échelle, il est également à noter **la présence de failles orientées globalement N110 – 120 et N180 pouvant localement impliquer une fracturation importante du substratum rocheux**. Ces dernières n'ont pas été identifiées lors de nos campagnes de reconnaissances (sondages + prospection géophysique), néanmoins leur présence locale reste un aléa que nous ne pouvons à ce jour pas écarter.



2.3.2. Tenue des terrains

Au cours de nos opérations de forages, la tenue en parois verticale des sondages s'est révélée bonne dans les sols de recouvrement à dominance argileuse ainsi que dans les Schistes ardoisiers / Flyschs (rotation rapide en petit diamètre et à court terme).

La tenue des fouilles effectuées à la pelle mécanique a été bonne au droit des sols superficiels argileux. Elle s'est dégradée au sein des schistes ardoisiers +/- fracturés avec la chute de débris rocheux au niveau du front de coupe. Cette mauvaise tenue globale est favorisée par la structuration quasi verticale des bancs et par des infiltrations locales d'eau (faible débit).

L'orientation des bancs N110, ainsi que le pendage sub-vertical à 70/80° vers le Nord-est va également influencer sur la tenue générale des fronts de coupes, pouvant induire des **problèmes de tenue des parois en fonction de l'angle d'attaque des excavations**.



2.4. Caractéristiques géomécaniques

2.4.1. Résultats pressiométriques

Le tableau ci-après synthétise les caractéristiques pressiométriques évaluées en SP1 à SP9 et en SP1_{G1} à SP3_{G1}, conformément à la norme NF P94-110.

Pour chacune des unités lithologiques identifiées, il précise :

- les valeurs minimales et maximales ainsi que les moyennes harmoniques des modules pressiométriques (E_M) et des pressions limites (pl^*) ;
- les classes de sols correspondantes selon l'Eurocode 7.

PARKING SILO (SP1 à SP3)											
Unité lithologique	Prof. Base (m/TA)			Nb val.	E_M (Mpa)			pl^* (Mpa)			Classe de sols EC7
	SP1	SP2	SP3		Min	Max	Moy. h	Min	Max	Moy. h	
U1/ Argiles [marron] et frange d'altération	1,1	0,8	1,8	2	7,3	14,6	9,7	0,64	1,28	0,85	Argile et limons fermes
U2/ Substratum fracturé / altéré	4,0	3,7	2,6	3	35,3	122,5	62,2	1,84	>3,98	2,81	Rocher altéré
U3/ Substratum +/- massif	20,0			24	119,3	288,3	200,1	>3,96	>4,45	>4,33	Rocher fragmenté

BATIMENT PRINCIPAL – BLOC NORD (SP4 à SP5)										
Unité lithologique	Prof. Base (m/TA)		Nb val.	E _M (Mpa)			pl* (Mpa)			Classe de sols EC7
	SP4	SP5		Min	Max	Moy. h	Min	Max	Moy. h	
U1/ Argiles [marron] et frange d'altération	/	0,9	0*	/			/			/
U2/ Substratum fracturé / altéré	2,1	3,1	3	46,4	79,8	61,3	2,47	3,98	2,86	Rocher altéré
U3/ Substratum +/- massif	15,0		11	216,4	427,4	290,5	>4,35			Rocher fragmenté

BATIMENT PRINCIPAL – BLOC SUD (SP6 à SP9)												
Unité lithologique	Prof. Base (m/TA)				Nb val.	E _M (Mpa)			pl* (Mpa)			Classe de sols EC7
	SP6	SP7	SP8	SP9		Min	Max	Moy. h	Min	Max	Moy. h	
U1/ Argiles [marron] et frange d’altération	1,8	1,3	1,4	1,1	4	2,4	30,8	7,3	0,39	1,38	0,87	Argile et limons fermes
U2/ Substratum fracturé / altéré	4,8	7,5	3,5	3,2	8	21,9	148,7	49,5	1,84	>4,46	2,91	Rocher altéré
U3/ Substratum +/- massif	15,0				20	142,3	334,0	212,1	3,85	>4,46	>4,33	Rocher fragmenté



PARKING SUD (SP2 _{G1} – SP3 _{G1})										
Unité lithologique	Prof. Base (m/TA)		Nb val.	E _m (Mpa)			pl* (Mpa)			Classe de sols EC7
	SP2 _{G1}	SP3 _{G1}		Min	Max	Moy. h	Min	Max	Moy. h	
U1/ Argiles [marron] et frange d'altération	1,8	5,5	6	2,9	59,7	8,4	0,24	2,83	0,75	Argile et limons fermes
U2/ Substratum fracturé / altéré	6,5	6,5	5	11,9	115,0	29,3	1,85	2,87	2,39	Rocher altéré
U3/ Substratum +/- massif	12,0	10,0	6	96,7	331,2	153,7	3,71	4,86	4,17	Rocher fragmenté

ZONE LOGISTIQUE (SP1 _{G1} – SP11)										
Unité lithologique	Prof. Base (m/TA)		Nb val.	E _m (Mpa)			pl* (Mpa)			Classe de sols EC7
	SP1 _{G1}	SP11		Min	Max	Moy. h	Min	Max	Moy. h	
U1/ Argiles [marron] et frange d'altération	1,8	1,4	2	3,2	6,3	4,2	0,34	0,47	0,39	Argile et limons mous
U2/ Substratum fracturé / altéré	9,0	4,0	8	15,6	190,1	44,5	1,77	3,36	2,55	Rocher altéré
U3/ Substratum +/- massif	15,0	15,0	9	180,5	345,9	226,1	>4,50			Rocher fragmenté

ZONE REMBLAIS (SP10 – SP12 – SP13)											
Unité lithologique	Prof. Base (m/TA)			Nb val.	E _M (Mpa)			pl* (Mpa)			Classe de sols EC7
	SP10	SP12	SP13		Min	Max	Moy. h	Min	Max	Moy. h	
U1/ Argiles [marron] et frange d'altération	4,2	3,7	1,0	6	2,0	5,3	3,1	0,25	0,50	0,37	Argile et limons mous
U1bis / Argile sablo-graveleuse	-	-	3,8	2	4,6	18,0	7,3	0,52	1,58	0,79	<u>Sols intermédiaires**</u> Argile et limons fermes
U2/ Substratum fracturé / altéré	6,8	7,0	5,2	4	40,6	263,4	62,9	1,89	4,94	2,79	Rocher altéré
U3/ Substratum +/- massif	15,0	15,0	15,0	11	188,3	382,2	262,5	>4,50			Rocher fragmenté

* faciès de trop faible épaisseur pour permettre la réalisation d'un essai

** selon la nature et la durée de sollicitation auxquelles ils sont soumis, le comportement des sols intermédiaires, constitués d'un mélange de matériaux fins et granulaires, est complexe à appréhender. Il se rapproche d'un sol soit cohérent, soit pulvérulent.



2.4.2. Résultats pénétrométriques

Les essais pénétrométriques P1 à P39 sont illustrés par des diagrammes mettant en évidence les variations de la résistance de pointe (q_d) en fonction de la profondeur.

L'ensemble des essais a mis en évidence une première couche de compacité globalement faible à moyenne ($1,5 \leq q_d \leq 5,0$ MPa) identifiée jusqu'à 1,0 – 2,0 m/TA sur la majorité des sondages et pouvant atteindre localement 4,0 à 6,0 m d'épaisseur en partie aval (P23, P25) et en bordure ouest du projet (P33 à P35, P37 et P38).

Une augmentation brutale des terrains sous-jacent a ensuite été identifiée, entraînant le refus des essais par battage aux profondeurs suivantes :

PARKING SILO		BATIMENT PRINCIPAL			
		BLOC NORD		BLOC SUD	
Sondage	Profondeur refus (m/TA)	Sondage	Profondeur refus (m/TA)	Sondage	Profondeur refus (m/TA)
P1	1,8	P5	3,0	P7	3,6
P2	1,4	P6	3,0	P8	3,0
P3	2,2	P8	3,0	P9	4,2
P4	2,2	P30	3,8	P10	2,0

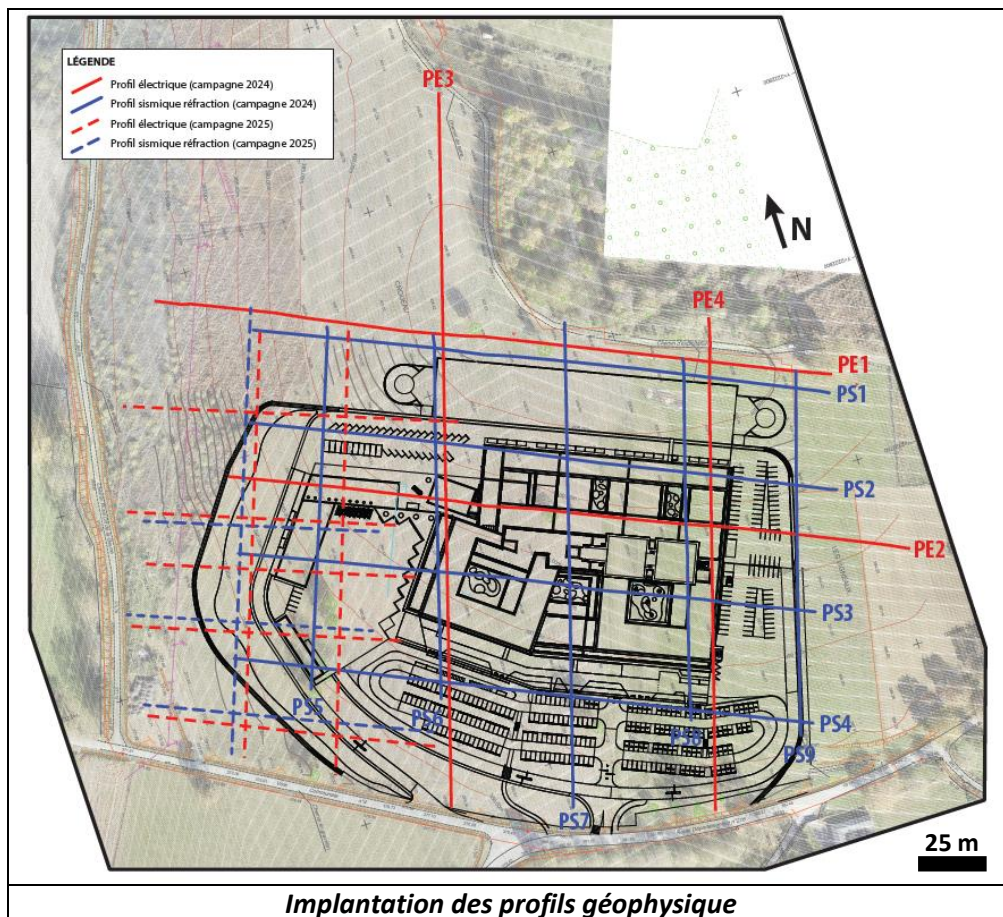
PARVIS + PARKING SUD		ZONE LOGISTIQUE		PARKING EST	
Sondage	Profondeur refus (m/TA)	Sondage	Profondeur refus (m/TA)	Sondage	Profondeur refus (m/TA)
P20	2,0	P11	3,0	P27	2,0
P21	3,4	P12	3,0	P28	3,4
P22	1,4	P13	1,8	P29	3,0
P23	4,8	P14	2,8		
P24	3,4	P15	3,0		
P25	5,8	P16	3,2		
P26	3,8	P17	2,8		
		P18	2,4		

ZONE DE REMBLAIS – Partie Ouest			
Sondage	Profondeur refus (m/TA)	Sondage	Profondeur refus (m/TA)
P31	2,8	P36	1,6
P32	2,6	P37	3,8
P33	5,8	P38	5,8
P34	3,8	P39	2,0
P35	4,8		



2.5. Résultats des mesures géophysiques

Des campagnes d'investigation géophysiques par méthode sismique réfraction et tomographie électrique ont été effectuées en juin 2024 et janvier 2025. Les différents profils réalisés sur site ont été disposés comme suit :



Implantation des profils géophysique

2.5.1. Reconnaissance géophysique en sismique réfraction

La sismique réfraction permet de caractériser le sous-sol en termes de couche définie par leur vitesse d'onde de compression (onde P) et leur épaisseur. Dans le cadre de cette étude, l'objectif était d'évaluer les variations de profondeur du substratum rocheux (fracturé ou non) et d'apporter des éléments de réponse sur sa rippabilité (aptitude au décrochage).

Lors de la première campagne d'investigation (ARKOGEOS, juin 2024 – Bâtiment principal) il a été réalisé 9 profils sismiques avec 5 à 7 tirs pour chaque dispositif de 12 et 24 géophones espacés tous les 5 m :

- 4 profils de 300 m de long orientés Ouest – Est, PS1 à PS4 ;
- 5 profils de 180 à 240 m de long orienté Nord – Sud, PS5 à PS9 ;

L'analyse des profils a permis de mettre en évidence 3 unités sismiques (associées à des vitesses de propagation) pouvant être rattachées aux lithologies préalablement définies lors de nos campagnes de sondages.

Celles-ci sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Vitesses sismiques	Lithologie	Epaisseur	Photographies
$350 \leq V_s \leq 600$ m/s	U1/ Couverture argileuse	≈ 1 à 4 m	
$1600 \leq V_s \leq 2400$ m/s	U2/ Substratum fracturé / altéré	$\approx 2,5$ à 8 m	
$2700 \leq V_s \leq 4100$ m/s	U3/ Substratum +/- massif	> 20 m	

En moyenne, **la couverture argileuse (U1) a une épaisseur de l'ordre de 1 à 2 m sur une grande majorité du site**. Un épaissement de cette dernière est à signaler en partie Sud et à l'extrémité Ouest du projet (épaisseur pouvant atteindre 4,0 m induite également par l'apparition des faciès alluvionnaires). D'après la table CATERPILLAR pour tracteur D96 avec défonceuse 9B permettant d'approximer la rippabilité des terrains en fonction des vitesses sismiques, **cette formation ne présentera pas de difficultés particulières pour le terrassement**.

Le substratum +/- massif est quant à lui reconnu à partir de 4 - 7 m de profondeur en moyenne. Des variations locales de l'épaisseur du substratum fracturé / altéré (U2/) ont été identifiées, notamment en partie nord-ouest du projet (zone logistique).

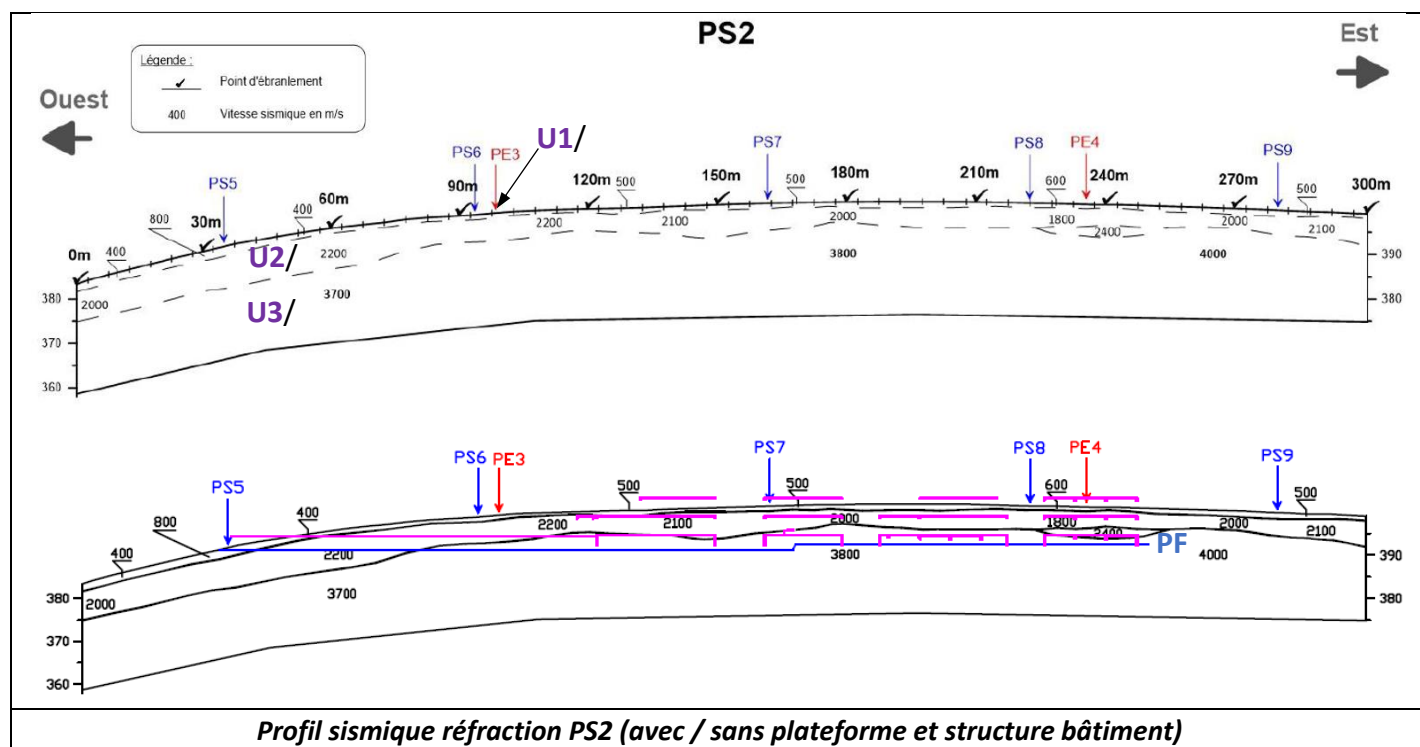
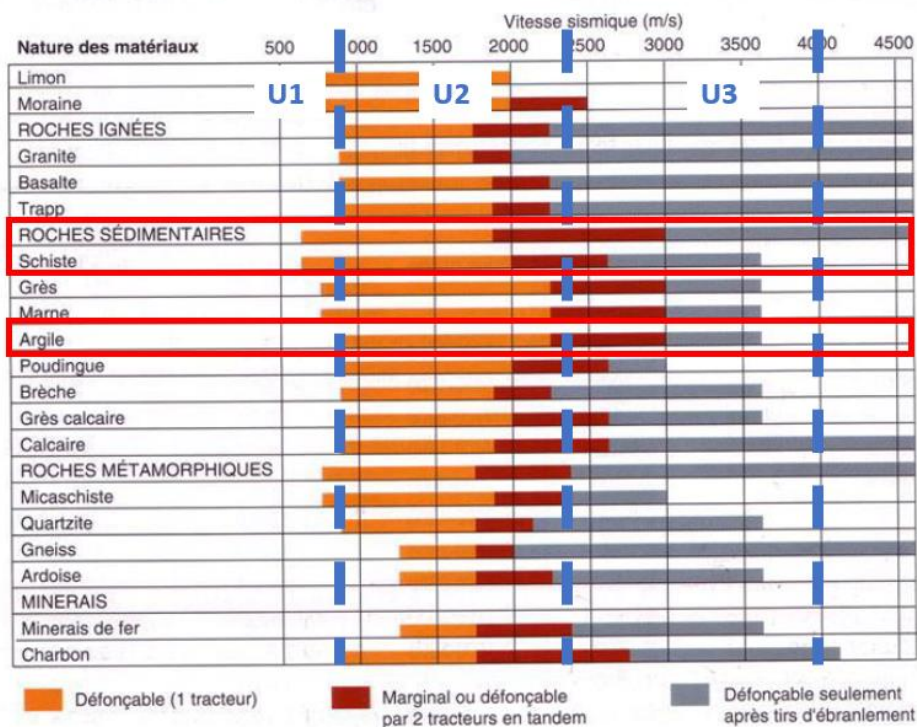
Il est aussi à noter que les profils mettent en évidence **une anisotropie de vitesse au sein de l'unité U3/** (substratum +/- massif) avec des vitesses sismiques plus importantes en Est - Ouest qu'en Nord - Sud ($3300 \leq V_s \leq 4100$ m/s en E-O ; $2700 \leq V_s \leq 3100$ m/s en N-S) traduisant ainsi une structuration préférentielle Est - Ouest du substratum +/- massif globalement (schistosité N90 – N110 observée au droit des pelles).

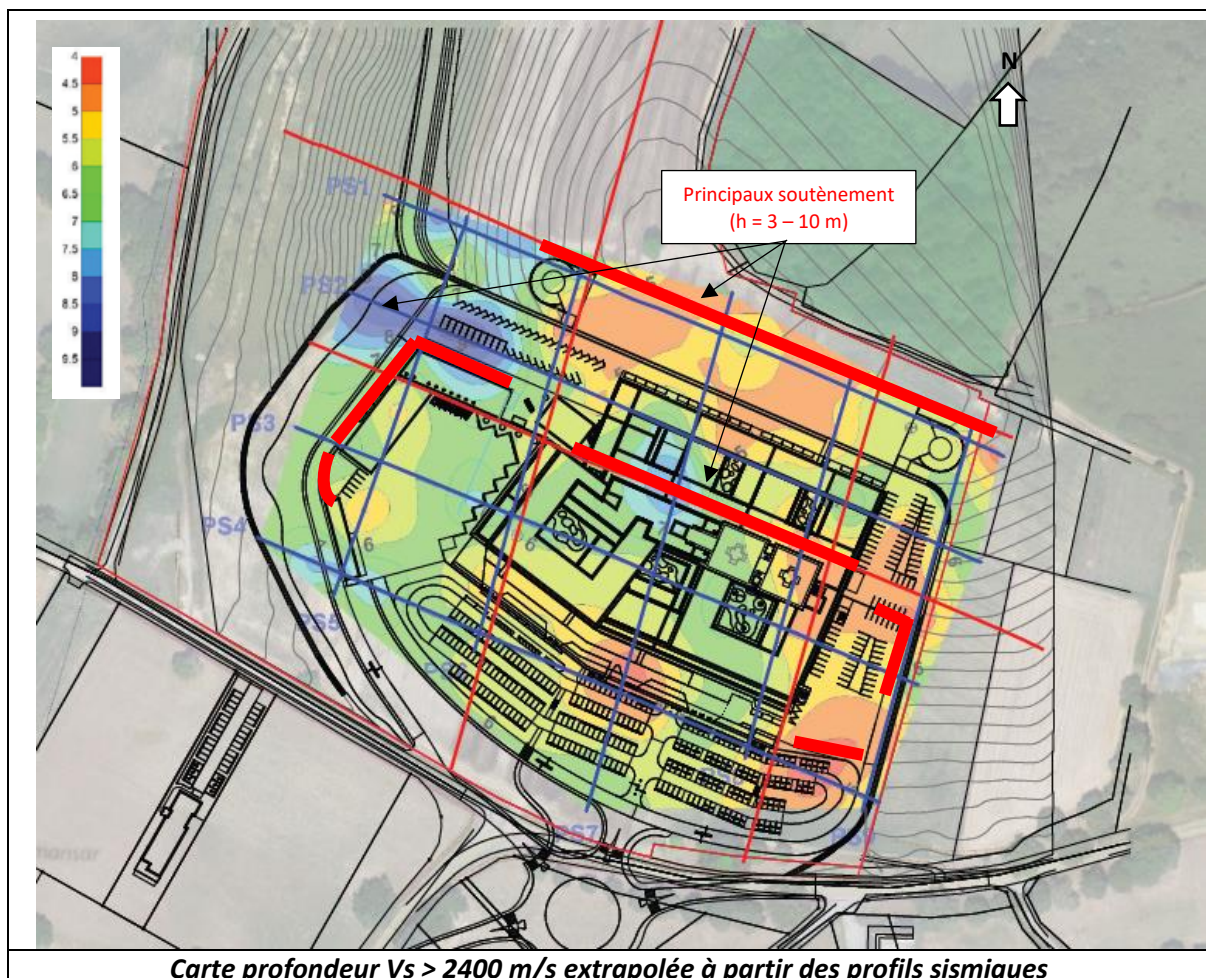
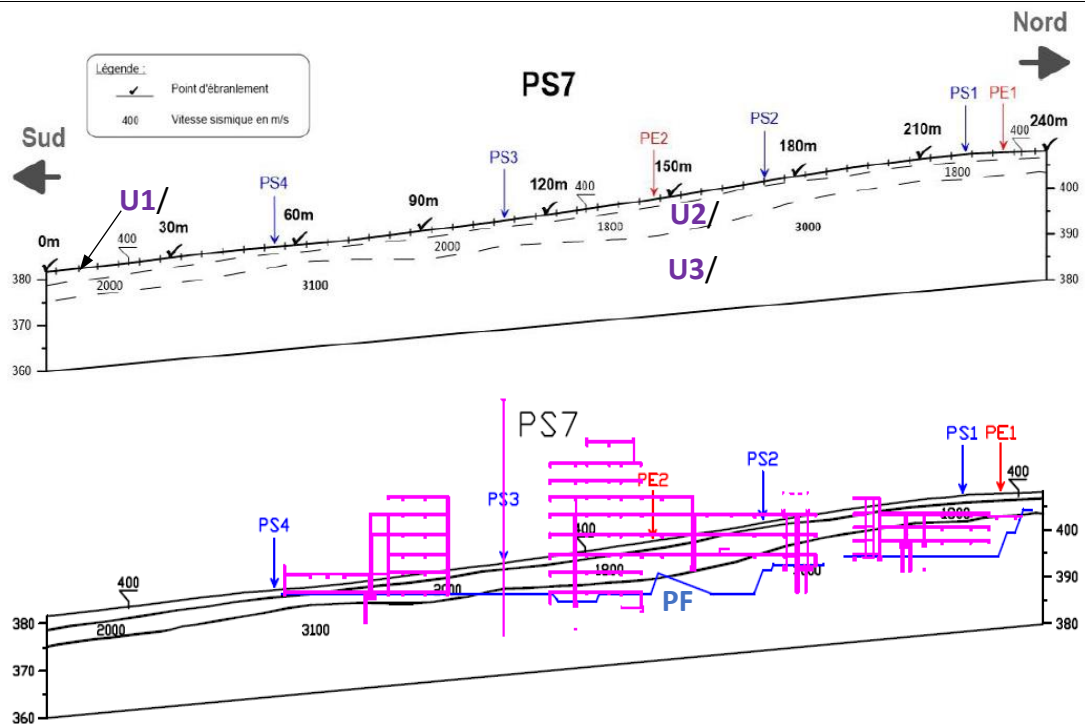
Le substratum fracturé / altéré (U2/) est classé dans la catégorie « défonçable » pour un à deux tracteurs avec défonceuse 2B à une dent travaillant en tandem (=> importants moyens à mettre en œuvre) tandis que **les terrassements au sein du substratum massif (U3/)** reconnu à partir de 4 – 7 m de profondeur **nécessiteront l'utilisation de tirs d'ébranlement**.



TABLE CATERPILLAR POUR TRACTEUR D 9G (390 CV) AVEC DÉFONCEUSE 9B UNE DENT.

TIRÉE DE L'OUVRAGE : RECONNAISSANCE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE DES TRACÉS DE ROUTES ET AUTOROUTES ÉDITÉ PAR LE LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES EN 1982.





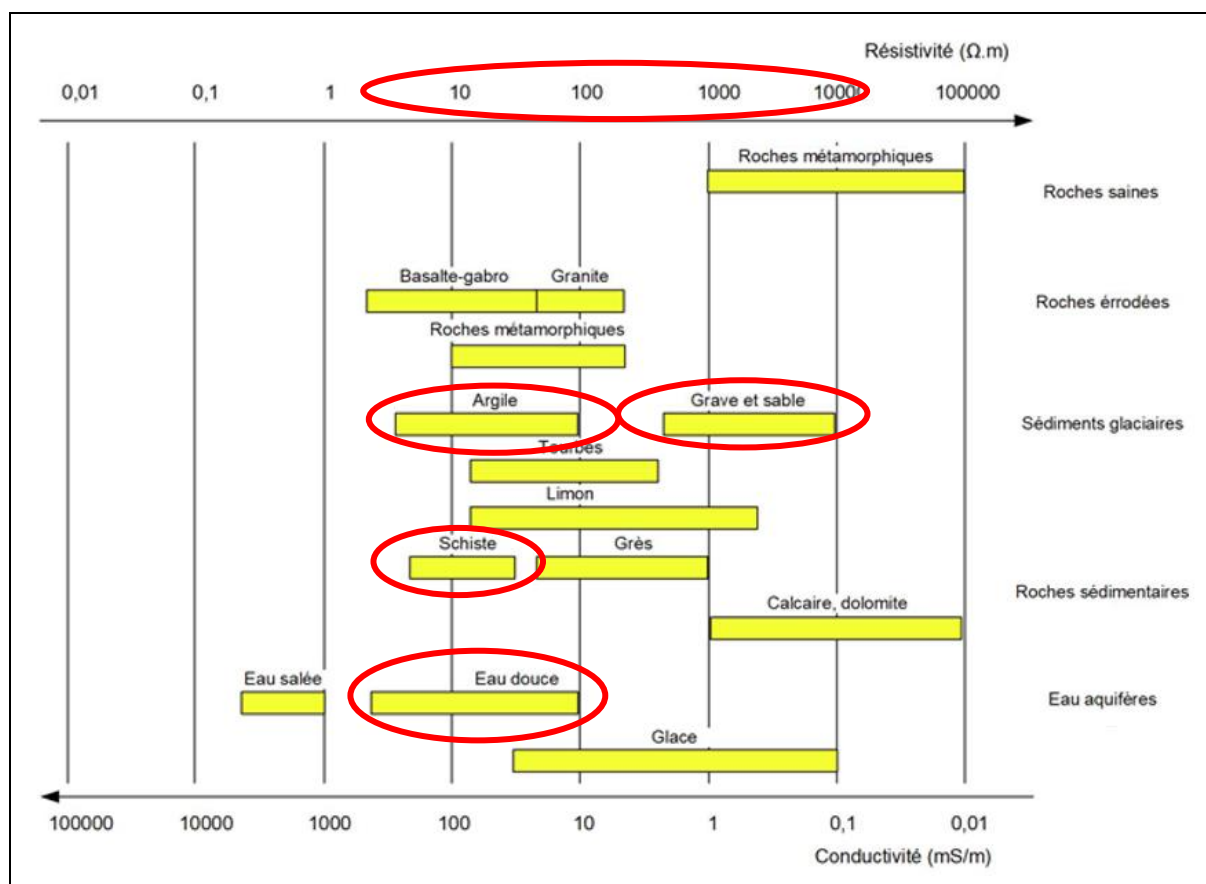
2.5.2. Reconnaissance géophysique en tomographie électrique

La tomographie électrique est une méthode de prospection visant à cartographier le sous-sol suivant les propriétés de résistivité / conductivité électriques des terrains le long d'un dispositif rectiligne d'électrodes. Celles-ci sont dépendantes de la nature des sols (argile, sable, roche, ...) mais également de leur état de saturation en eau.

Le procédé consiste à injecter un courant électrique dans le sol et enregistrer les différences de potentiels générés, par une série d'électrodes disposées en ligne acquérant les données par combinaisons successives / alternées et répétitives. Les profondeurs investiguées sont en fonction directe de l'écartement entre les électrodes / longueur du train du dispositif.

11 panneaux de tomographie électrique (PE1 à PE11), d'environ 100 à 350 m ont été réalisés sur le site (disposition - cf. §2.5 ; 50 à 72 électrodes espacées de 5 m).

À titre indicatif, les gammes de résistivité habituelle des terrain suivant la nature des matériaux est telle que :

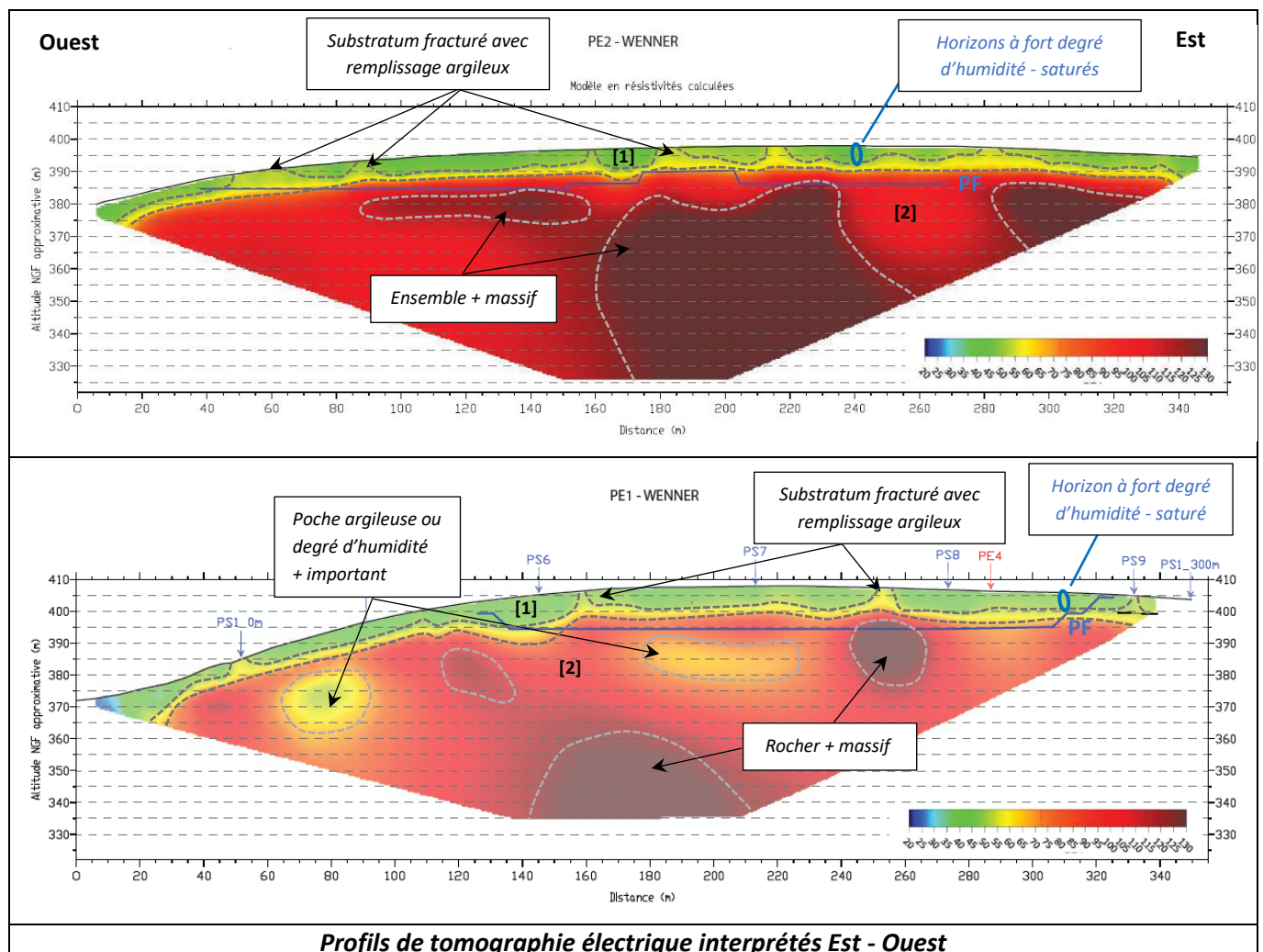


Rappel : la résistivité / conductivité des sols dépend de nombreux facteurs, dont notamment l'état de saturation.



La campagne de mesures géophysiques a permis d'établir les principales caractéristiques suivantes pour le site :

- Les résistivités mesurées s'échelonnent sur une gamme relativement restreinte de 15 à 165 $\Omega.m$;
- Les panneaux électriques orientés Est – Ouest (PE1 et PE2), mettent en évidence une démarcation nette entre 2 formations :
 - **Une couche superficielle [1]** dont la résistivité est faible (30 – 60 $\Omega.m$) et qui est relativement homogène latéralement (épaisseur moyenne comprise entre 5 et 10 m). Celle-ci correspond à la frange de recouvrement argileuse et au substratum fracturé / altéré (concordance avec les données de sismique réfraction). Les variations de conductivité visible au sein de cette unité suggèrent la présence de poches / zones plus humides ;
 - **Une unité plus résistante [2]** (60 à > 130 $\Omega.m$) correspondant au substratum +/- massif et présentant de légers contrastes latéraux potentiellement induit par la présence d'un rocher plus résistant, une variation locale du degré d'humidité / argilosité.

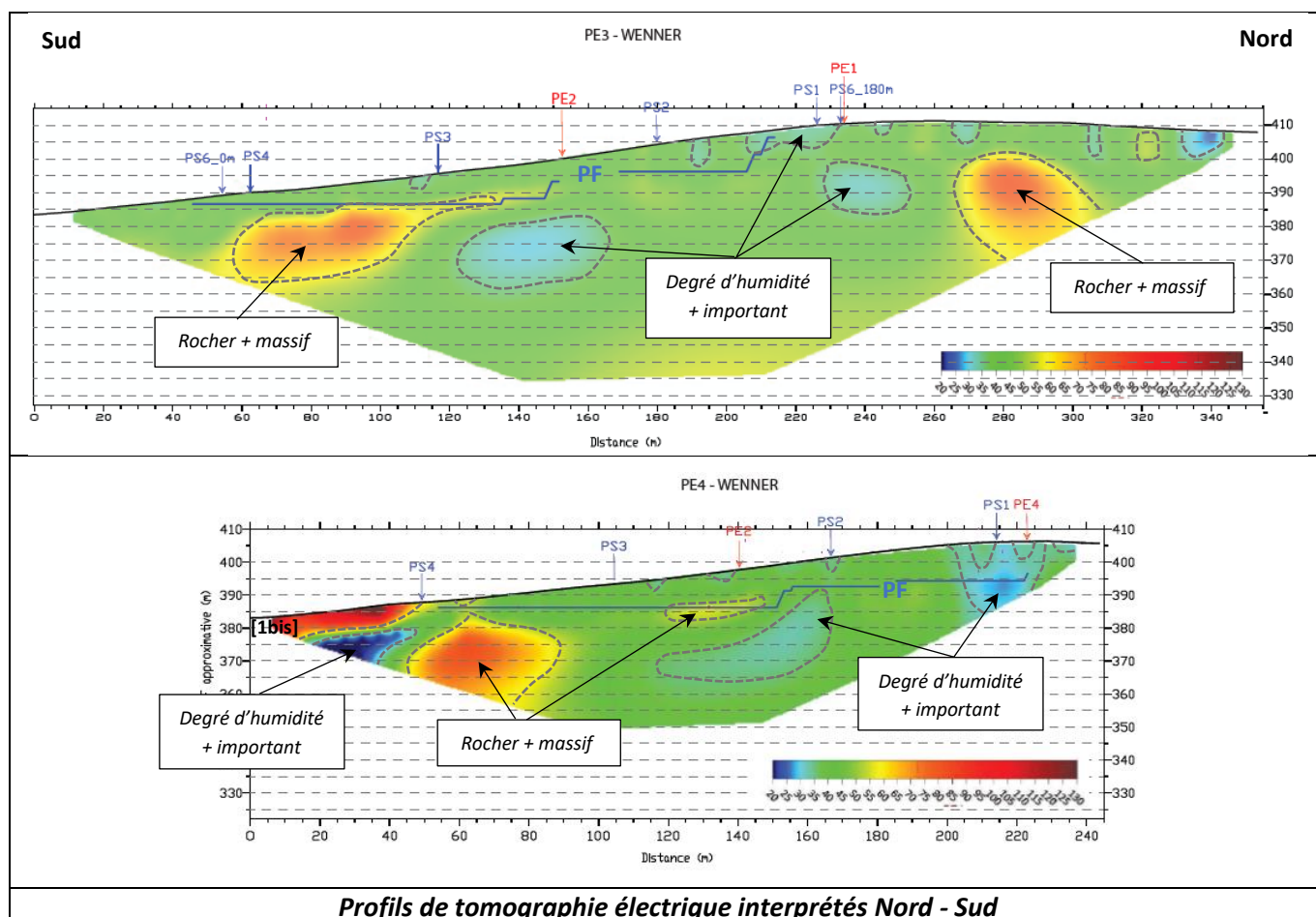


- Sur le panneau PE4 orienté Nord - Sud, un terrain résistant ($> 85 \Omega.m$) de 5 – 7 m d'épaisseur est identifié en partie aval pouvant être potentiellement rattaché aux terrains alluvionnaires argilo-sableux [1bis] décrits sur la carte géologique et observé sur certains de nos sondages.

Mis-à-part ce point particulier, ces profils Nord – Sud ne permettent pas de discriminer de couches géologiques en particulier avec une résistivité globale comprise entre 40 et 50 $\Omega.m$. Les variations locales de conductivité peuvent être rattaché à une augmentation du degré d'humidité au sein des terrains (résistance $\leq 35 \Omega.m$) ou à des passages plus massifs (résistance $\geq 60 \Omega.m$).

Les principales éléments visibles sur les panneaux électriques orientés Nord – Sud sont les suivants :

- la présence de nombreuses zones peu résistantes ($\leq 35 \Omega.m$) a priori non connectées les unes aux autres, visible dans les 5 à 10 premiers mètres d'épaisseur de terrain et pouvant être interprétées comme des zones potentiellement plus saturées en eau ;
- des poches / lentilles isolées peu résistantes (saturées en eau) sont également visible à plus grande profondeur (entre 15 – 20 m) en partie médiane du terrain ;
- des lentilles résistantes présentant une géométrie N – S (résistance $\geq 60 \Omega.m$) et interprétées comme représentant des passages plus massifs / moins saturés sont localement identifiés à partir de 5 – 10 m de profondeur.



2.6. Résultats des analyses en laboratoire

2.6.1. Identification GTR et essai d'aptitude

Des analyses en laboratoire ont été menées sur 4 échantillons de sols représentatifs des terrains en place pour les classer selon le GTR 92 du SETRA/LPC. Celles-ci viennent compléter les 6 identifications ainsi qu'un essai Proctor - Chaux réalisés par l'entreprise INGÉSOL lors de l'étude G1-PGC.

Les procès-verbaux sont disponibles en annexes et le tableau suivant récapitule les données principales :

Sondages		SC2	SC6	SC11	SC12
Profondeurs (m/TA)		0,5 – 0,85	0,7 – 0,9	0,7 – 1,0	1,2 – 1,8
Faciès		Argile marneuse	Argile	Limon argileux à nombreux débris de schisteux	Argile tachetée de noir
Caractéristiques granulométriques	Dmax (mm)	Entre 50 et 63	Entre 10 et 20	Entre 40 et 50	Entre 1 et 5
	< 2 mm	13,2 %	78,0	55,2	99,0
	< 80 µm	8,4 %	69,5	51,2	92,8
Teneur en eau (%)		7,2	28,1	19,8	30,0
VBS (g/100g)		0,21	/	1,57	3,69
Limites d'Atterberg	WL %	/	60	53	58
	IP %		28	21	32
Classification GTR 92		C₁B₄	A₃	A₂	A₃

Sondages		PM10 _{G1}	PM11 _{G1}	PM15 _{G1}	PM17 _{G1}	PM18 _{G1}	PM4 _{G1}
Profondeurs (m/TA)		0,0 – 0,6	0,0 – 0,7	0,0 – 0,4	0,0 – 0,8	0,0 – 1,1	0,5 – 1,0
Faciès		Argile	Argile limoneuse	Argile	Argile	Argile	Argile
Caractéristiques granulométriques	Dmax (mm)	5	5	10	5	10	/
	< 2 mm	/					98,7
	< 80 µm	93,1	93,1	84,0	94,3	92,3	92,8
Teneur en eau (%)		30,4	28,2	30,4	30,7	27,7	25,0
VBS (g/100g)		2,59	2,59	2,48	3,13	2,52	2,60
Limites d'Atterberg	WL %	/					
	IP						
Classification GTR 92		A₂	A₂	A₂	A₂	A₂	A₂



Selon le GTR 92, en fonction des horizons échantillonnés, nous sommes en présence de sols de catégories **A2** « limons et argiles peu plastiques », **A3** « Argiles très plastiques », **C1B4** « Argiles à matériaux anguleux et roulés », ce qui est l'équivalent, au GTR 2023 à des sols F2 et F3 (« sols fins ») et VC1F1 à VC1S3 (« sols comportant de gros éléments »).

Les sols de recouvrement analysés sont ainsi principalement composés de :

- **sols de types A2**, susceptibles de changer brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau (compacts / indurés à l'état hydrique sec ; boueux / très peu portants à l'état hydrique humide) ;
- **sols de types A3**, très cohérents à teneur en eau moyenne/faible et collants ou glissants à l'état humide. Bien que leurs variations de teneur en eau est très lente et qu'une augmentation de cette teneur en eau assez importante est nécessaire pour changer leur consistance, ils restent moyennement à fortement sensibles à l'eau ;
- **sols de type C₁B₄** dont la plasticité de leurs fines les rends sensibles à l'eau. Ils réagissent assez rapidement aux variations de l'environnement hydrique et climatique. La présence de particules grossières ($\varnothing > 50$ mm) peut impliquer des difficultés de mise en œuvre / compactage / malaxage pour traitement éventuel (tri et élimination préalable à prévoir) ;

Les terrains superficiels rencontrés présentent un risque au retrait gonflement des argiles évalué à moyen à fort dans les faciès de recouvrement et à faible dans la frange d'altération.

Dans le cadre de l'étude G1-PGC, un essai d'aptitude au traitement a été effectué sur l'échantillon prélevé en PM4_{G1} et des essais de portance ont été réalisés après traitement à la chaux (dosage de 2%).

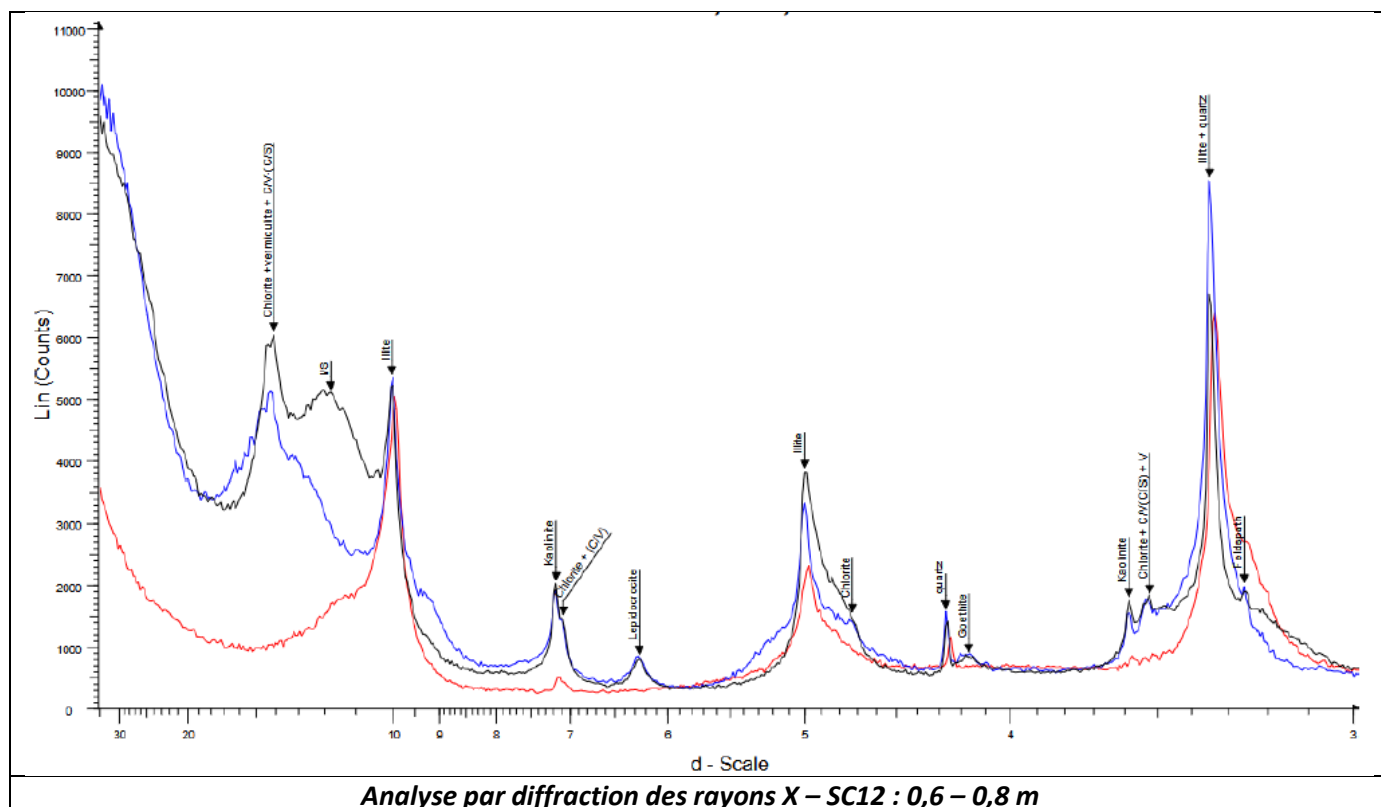
Après traitement, une valeur de portance immédiat (IPI) de 16 a été mesurée. Considérant des sols de classe A2, le traitement à la chaux seule (2%) est propice à la fois à un emploi en remblai ($7 > \text{IPI} < 15$) et en couche de forme (critère minimale d'IPI > 15).



2.6.2. Caractérisation DRX des argiles

Une analyse par diffraction des rayons X a été conduite sur l'échantillon SC12 afin de caractériser la composition minéralogique des argiles superficielles. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous (marge d'erreur de l'ordre de 5 %) :

Echantillon	Smectite et interstratifiés Illite / smectite	Illite	Kaolinite	Interstratifiés chlorite/vermiculite, chlorite et vermiculite	Autres minéraux présents dans la fraction <2µm
SC12 0,6 – 0,8 m/TA	43 %	43 %	7 %	7 %	Quartz ; Lépidocrocite ; Goethite ; Feldpaths



2.6.3. Détermination de la masse volumique des sols fins

Des déterminations de la masse volumique des sols de recouvrement argileux ont été effectuées sur deux échantillons. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Sondage	SC11	SC12
Profondeurs (m/TA)	0,7 – 1,0	1,2 – 1,8
Faciès	Limon argileux à nombreux débris de schisteux	Argile tachetée de noir
Teneur en eau naturelle Wnat %	21,9	28,4
Masse volumique humide (kN/m ³)	19,7	20,1
Masse volumique sèche (kN/m ³)	16,2	15,7

2.6.4. Essais de compressibilité à l'œdomètre

Deux essais de compressibilité à l'œdomètre ont été réalisés sur les argiles de recouvrement (SC12 : 0,8 – 1,0 et 2,5 – 2,7 m) afin de déterminer ses caractéristiques de compressibilité, de déformation et de consolidation.

Pour rappel, l'état de consolidation d'un sol se définit tel que :

- $\sigma'_p < \sigma'_{vo}$: échantillon sous-consolidé ;
- $\sigma'_p = \sigma'_{vo}$: échantillon normalement consolidé,
- $\sigma'_p > \sigma'_{vo}$: échantillon surconsolidé ;

La compressibilité des sols est estimée selon les appréciations suivantes :

- $C_c / (1+e_0) < 0,015$: sol incompressible ;
- $0,015 < C_c / (1+e_0) < 0,05$: sol peu compressible ;
- $0,05 < C_c / (1+e_0) < 0,2$: sol moyennement compressible ;
- $C_c / (1+e_0) > 0,2$: sol très compressible ;

Les résultats sont présentés ci-dessous :



SC12		
	0,8 – 1,0	2,5 – 2,7
	U1/ Recouvrement argilo-limoneux [marron foncé]	
	Contrainte au repos : $\sigma'_{vo} = 17 \text{ kPa}$	Contrainte au repos : $\sigma'_{vo} = 34 \text{ kPa}$
	Pression de préconsolidation : $\sigma'_p = 19 \text{ kPa}$	Pression de préconsolidation : $\sigma'_p = 173 \text{ kPa}$
	Pression de gonflement : $\sigma'_g = 7 \text{ kPa}$	Pression de gonflement : $\sigma'_g = 7 \text{ kPa}$
	Indice de compression : $C_c = 0,123$	Indice de compression : $C_c = 0,31$
	Indice de gonflement : $C_s = 0,025$	Indice de gonflement : $C_s = 0,02$
	Indice des vides : $e_0 = 0,781$	Indice des vides : $e_0 = 0,789$
	Coefficient de consolidation : $C_v = 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$	Coefficient de consolidation : $C_v = 3,1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
	Coefficient de perméabilité : $K_v = 2,9 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$	Coefficient de perméabilité : $K_v = 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$
Etat de consolidation	Sur consolidé	Sur consolidé
$C_c / (1+e_0)$	0,07	0,17
Compressibilité	Moyennement compressible	Moyennement compressible

Le coefficient de compressibilité moyen des argiles de recouvrement (U1/) est de l'ordre de $2,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

2.6.5. Essai de cisaillement

Un essai de cisaillement direct à la boîte de Casagrande a également été mené sur un échantillon prélevé en SC6 entre 0,7 et 0,9 m de profondeur (argile [marron/gris] à graves épars correspondant à l'altération du substratum rocheux) afin de déterminer ses paramètres intrinsèques.

Remarque : Plusieurs essais étaient envisagés mais la nature des sols ne permettait pas la réalisation des mesures.

Le détail des analyses est disponible en annexe et récapitulé dans le tableau suivant :

Echantillon Profondeurs (m/TA)	SC6 0,7 – 0,9 m
Angle de frottement φ'	27° au pic 23° au final
Cohésion C'	21 kPa au pic 19 kPa au final



La valeur de frottement interne est moyenne / peu élevée, en accord avec la nature argileuse, potentiellement légèrement limoneuse.

La cohésion drainée du matériau en place apparaît significative mais sans pour autant être particulièrement élevée, en concordance avec la nature argileuse de consistance ferme de l'horizon testé.

2.6.6. Identification des matériaux rocheux

Des essais de détermination de la résistance à l'usure (micro-Deval) et à la fragmentation (méthode Los Angeles) ont été effectuées sur 4 échantillons représentatifs des terrains rocheux présents sur site. Ils ont été complétés par 2 essais de fragmentabilité et de dégradabilité afin de pouvoir les classer selon le GTR 92 /2023.

Les procès-verbaux sont disponibles en annexes et le tableau suivant récapitule les données principales :

Sondage	Formation	Profondeur (m/TA)	Coefficient Los Angeles	Coefficient Micro deval	Coefficient de fragmentabilité	Coefficient de dégradabilité	Classe GTR
SC2	Substratum fracturé	1,5 - 3,5	23	98	-	-	
	Substratum massif	5,5 - 7,5	27	100	1,6	2	R ₃₃
SC6	Substratum massif	6,5 - 8,5	33	90	-	-	
SC7	Substratum fracturé	4,6 - 6,6	30	98	1,49	1,5	R ₃₃

Selon le GTR 92, le **substratum** peut quant à lui être considéré comme appartenant à des roches de type **R₃₃ « roches argileuses »** (équivalent R4Cl, GTR 2023) considérées comme **peu fragmentables et peu dégradables** (valeurs de seuils : FR ≤ 7, DG ≤ 5 et MDE > 45).

2.6.7. Analyses sur l'eau

Suite à des prélèvements d'un échantillon d'eau en Pz3, des analyses de l'agressivité de l'eau du site vis-à-vis du béton a été effectuée selon la NF EN 206.

Paramètres	Valeurs mesurées Pz3	Rappel seuils agressivité		
		Classe XA ₁ (faible)	Classe XA ₂ (modérée)	Classe XA ₃ (forte)
pH	7,2	6,5 ≤ XA ₁ ≤ 5,5	5,5 ≤ XA ₂ ≤ 4,5	4,5 ≤ XA ₃ ≤ 4,0
CO ₂ agressif (mg/l)	0,0	15 ≤ XA ₁ ≤ 40	40 ≤ XA ₂ ≤ 100	100 ≤ XA ₃
Ammonium NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,06	15 ≤ XA ₁ ≤ 30	30 ≤ XA ₂ ≤ 60	60 ≤ XA ₃ ≤ 100
Sulfates SO ₄ ²⁻ (mg/l)	18,2	200 ≤ XA ₁ ≤ 600	600 ≤ XA ₂ ≤ 3000	3000 ≤ XA ₃ ≤ 6000
Magnésium Mg ²⁺ (mg/l)	12,0	300 ≤ XA ₁ ≤ 1000	1000 ≤ XA ₂ ≤ 3000	3000 ≤ XA ₃
AGRESSIVITE	NON	Paramètres inférieurs aux seuils de classe XA₁		



Le détail des résultats est disponible en annexe et il en ressort que l'eau n'est pas agressive chimiquement (classe < XA1). Ceci vient confirmer les résultats obtenus par INGÉSOL.

2.7. Niveaux d'eau / Données piézométriques

Pour rappel, les mesures effectuées par INGÉSOL en Septembre / Décembre 2021 montraient un niveau d'eau vers 1,12 à 1,72 m/TA en SP3_{G1}-Pz3.

Lors de notre intervention (du 13/11 au 01/12/2023 – période très pluvieuse), nos observations ont mis en évidence des circulations d'eau ponctuelles et localisées à l'interface entre les faciès superficiels argileux et les schistes ardoisier +/- fracturés à quelques passages argileux (probable circulation d'eau collinaires). Ainsi, ces infiltrations de faibles débits ont pu être identifiées sur certaines de nos fouilles à la pelle :

Sondage	PM1	PM4	PM7	PM9	PM10	PM11
Prof. Venue d'eau locale (m/TA)	1,2	1,0	0,7	1,4	1,1	1,4

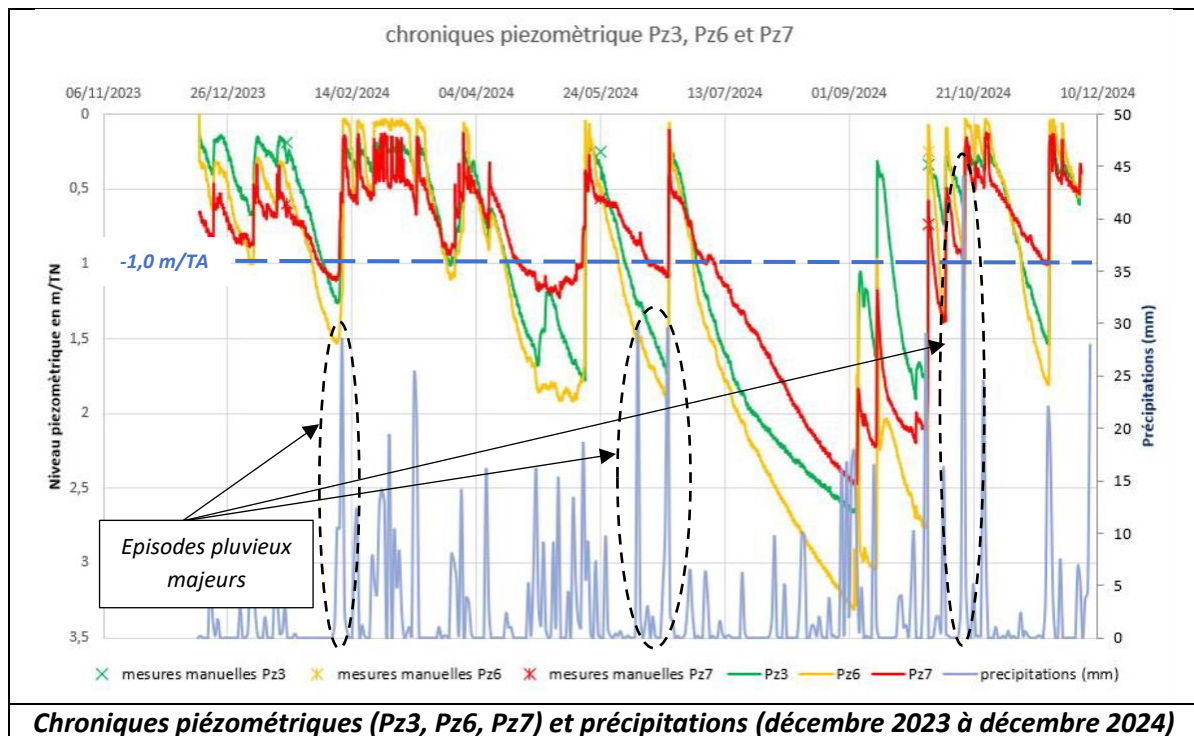
Les faciès sous-jacents constitués par les schistes / flyschs +/- massifs peuvent également être le siège de circulations d'eau +/- importantes au sein de zones fracturées.

Trois piézomètres équipés de sondes à enregistrement autonome ont été implantés sur site en décembre 2023 (Pz3 = Amont projet – Parking silo ; Pz6 = partie médiane – Blocs nord ; Pz7 = partie aval – Blocs sud) afin de caractériser les variations du / des niveaux d'eau au droit du projet sur une année.

Ce suivi piézométrique effectué en Pz3, Pz6, Pz7 de décembre 2023 à décembre 2024 a montré :

- des variations de niveaux d'eau similaires enregistrés au droit des 3 piézomètres indiquant une homogénéité de comportement sur ces secteurs ;
- des niveaux d'eau présents à très faible profondeur (- 0,5 à - 1,0 m/TA en moyenne) sur une majeure partie de l'année et dont les variations sont très réactives à la pluviométrie (mise en charge très rapide) ;
- un niveau de plus basse eau atteint durant la période estivale (Juin à Septembre) mesuré à - 3,0 m/TA ;





Ces mesures ont été complétées par la réalisation de panneaux électriques (cf. §2.5.2) qui ont mis en évidence la présence de nombreuses zones saturées en eau non connectées entre elles dans les premiers 5 – 10 premiers mètres d'épaisseur de terrain. Des lentilles / poches plus saturées sont également localement visible au sein du substratum +/- massif (zones fracturées?).

Ces différents relevés et observations effectués au droit du bâtiment suggèrent ainsi un régime hydrologique principalement contrôlé par les circulations superficielles suivant des évènements pluvieux à l'échelle du bassin versant. Cela se traduit par une mise en charge rapide suivi par une dissipation très lente des eaux accumulées à la faveur de zones plus perméables (fractures).

Ces circulations sont contrôlées par l'état de fracturation / argilosité des terrains induisant par conséquent des cheminements erratiques à l'échelle du site étudié et amenant parfois à la saturation locale en eau du sous-sol (poches connectées ou déconnectées entre elles), notamment au sein des horizons superficiels (recouvrement argileux et substratum fracturé). Cette saturation est particulièrement marquée au droit de l'actuel zone humide (partie sud-ouest du projet).

En l'état des données recueillies et sous réserve d'une étude hydrogéologique approfondie nous considérerons des niveaux d'eau majoritairement situés en subsurfaces avec un niveau de plus hautes eaux (EE) égal au terrain naturel actuel.

Compte tenu du contexte hydrogéologique et des observations faites, des niveaux d'eau seront recoupés lors des travaux de terrassement (potentiellement associé à des débits importants selon l'état de fracturation du substratum) et ce d'autant plus s'ils sont réalisés à la suite d'évènements pluvieux.



Remarque : Nous ne pouvons pas exclure la présence d'un système hydrologique distinct en partie basse du projet contrôlé par une nappe de grande étendue localisé au sein des terrains alluvionnaires (cours d'eau présent à proximité). Le suivi prévu en Pz13 permettra d'avoir des informations complémentaires au droit de cette zone.

2.8. Perméabilité des terrains

Cinq essais d'infiltration de type Porchet (K1 à K5) ont été réalisés au niveau des terrains superficiels dans 3 sondages à la tarière Ø 140 mm descendus à 0,7 – 0,8 m/TA (K1 à K3) et dans deux fouilles à la pelle (K4 – K5) descendus entre 1,5 et 2,0 m/TA.

Ces essais viennent compléter 3 essais d'infiltration réalisés lors de l'étude G1-PGC par INGÉSOL.

Les résultats de ces essais sont joints en annexes et récapitulés dans le tableau suivant :

Sondage	Profondeur (m/TA)	Nature du sol	Perméabilité K (m/s)	Perméabilité K (mm/h)
K1	0,0 – 1,0	Argile [marron/ocre]	$\approx 1,0 \cdot 10^{-6}$	< 5
K2	0,0 – 0,8	Argile [marron/ocre]	Arrêt essai – circulation hypodermique	
K3	0,0 – 0,70	Argile [marron/ocre]	$\approx 3,1 \cdot 10^{-6}$	≈ 10
K4	0,5 -1,5	Schiste ardoisier +/- fracturé à quelques passages argileux	≈ 0	
K5	0,8 – 2,0	Schiste ardoisier +/- fracturé à quelques passages argileux	≈ 0	
T13 _{G1}	0,5 – 2,0	Argile [beige/ocre]	$\approx 1,3 \cdot 10^{-6}$	< 5
T14 _{G1}	0,5 – 1,5	Argile [beige/ocre]	$\approx 2,6 \cdot 10^{-6}$	≈ 10
SP3 _{G1}	2,0 – 3,0	Argiles à lentilles de Flyschs	$\approx 7,7 \cdot 10^{-6}$	≈ 25

Dans le cadre de ces essais et des profondeurs d'investigations, on retiendra une perméabilité globalement faible au sein des argiles de surfaces et des valeurs nulles à médiocre au sein des schistes ardoisiers +/- fracturés à quelques passages argileux.

Compte tenu du caractère ponctuel de nos essais, il conviendra d'être prudent quant à l'extrapolation de ces valeurs à l'échelle du site/projet. Des variations de perméabilité pourront être rencontrées selon les variations de granulométrie et de fracturation.

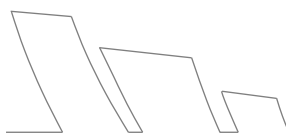
De par la nature du substratum, le **risque d'avoir une perméabilité de fissure induisant des débits d'écoulement élevés n'est pas à écarter.**



2.9. Composantes / risques anthropiques

Aucune trace d'apport anthropique (remblai, vestige enterré, ...) ou de pollution (indice organoleptique, ...) n'a été détecté aux droits de nos sondages. Cependant, en l'absence de données historiques précises sur l'occupation et les différentes opérations (arrachages / dessouchages possibles, ...) ayant eu lieu dans le cadre du nettoyage du site et de l'utilisation agricole supposée de ce dernier, ce risque éventuel ne peut être totalement écarté.

Le diagnostic pollution effectué par GÉOTEC Environnement (07/2021) n'a pas mis en évidence de traces de polluants sur le site étudié. Les terres excavées et amenées à être évacuées dans le projet répondent aux critères d'admissibilité en ISDI définis par l'AM de 12/12/2014.



3. RECOMMANDATIONS GEOTECHNIQUES : SOLUTIONS ENVISAGEABLES — PRINCIPES DE MISE EN ŒUVRE

3.1. Synthèse géotechnique

Les investigations réalisées ont permis de mettre en évidence les contraintes géotechniques suivantes :

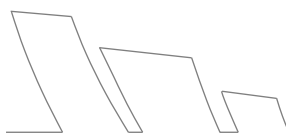
- un terrain présentant une pente importante vers le sud (10 – 15 %) ;
- des faciès homogènes à l'échelle du projet avec la présence d'un sol de recouvrement et d'une frange d'altération du substratum à dominance argileuse de faible à moyenne compacité, présents sur des épaisseurs moyennes de 1,0 à 2,0 m. Ces faciès recouvrent le substratum composé en tête de Schistes ardoisiers +/- fracturés à quelques passages argileux de bonnes compacités et d'épaisseurs variables (visibles entre 4 et 7 m de profondeur en moyenne) laissant place à un substratum rocheux +/- massifs de très bonnes compacités et identifiés jusqu'à 15 à 20 m/TA.

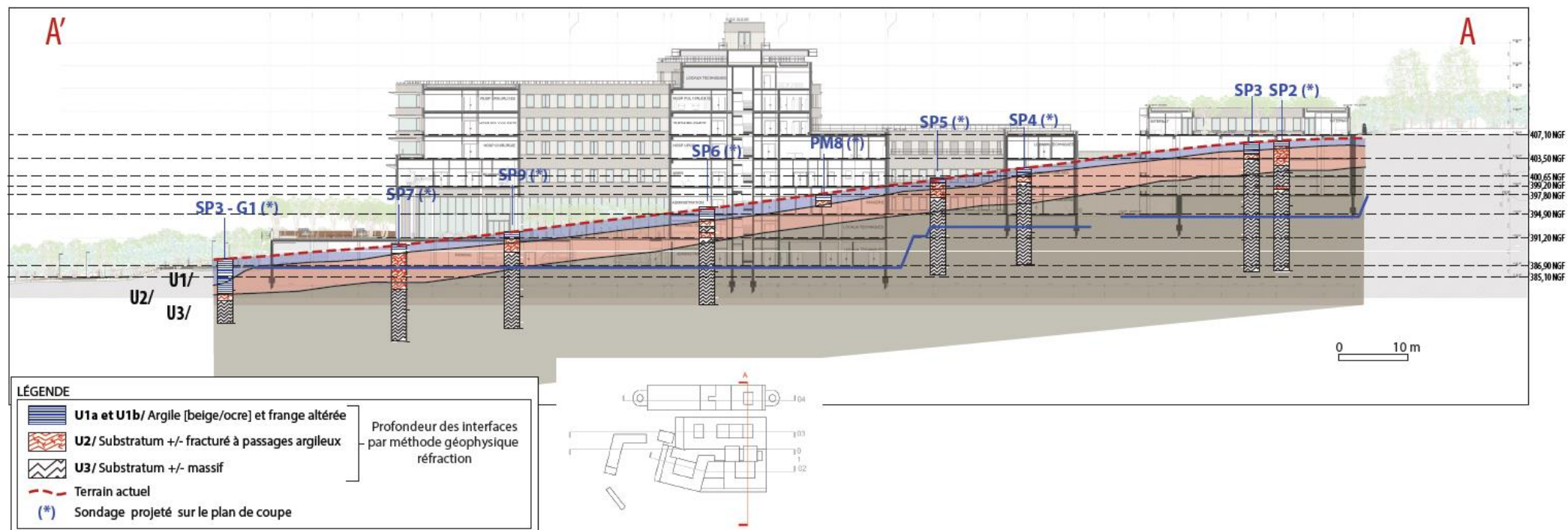
Il est à noter la présence locale de faciès alluvionnaires à galets polygéniques en partie aval du projet sur des épaisseurs pouvant atteindre 4 m environ.

- des terrains compacts avec des terrassements prévus sur de grandes hauteurs (≈ 10 m) ;
- la mise en place de remblais technique de grande hauteur (jusqu'à 10 m) en partie ouest de projet reposant, en extrémité basse, sur des sols compressibles de 3 – 4,5 m d'épaisseur ;
- un potentiel de retrait gonflement des argiles superficielles évalué à moyen en surface puis faible dans les schistes +/- altérés suite aux analyses en laboratoire (classe GTR 92 A2 à A3) ;
- des niveaux d'eaux locaux induits par des circulations superficielles relevés à très faible profondeurs sur une majorité de l'année ;
- des circulations d'eaux ponctuelles, de faibles débits, observées entre 0,7 et 1,4 m/TA à l'interface entre les faciès argileux et le substratum +/- fracturé à quelques passages argileux ;
- une classe d'agressivité des eaux vis-à-vis des bétons < XA1 ;
- une perméabilité très faible au sein des argiles de surfaces et des valeurs nulles à médiocre au sein des schistes ardoisiers +/- fracturés à quelques passages argileux.
- l'application obligatoire des recommandations constructives parasismiques particulières.

3.2. Coupe géologique schématique

Sur la base des résultats de sondages actuels, de la configuration topographique du site, nous proposons à ce stade la coupe géologique interprétative suivante à l'échelle du projet :





Remarque : les limites de couches ont été définies d'après les reconnaissances par géophysique réfraction (incertitude ± 1 m) et les sondages ont été projetés sur la coupe à titre indicatif.

3.3. Maquette de calculs géotechniques du site

Pour la justification des ouvrages géotechniques, nous retiendrons le modèle de terrain et les paramètres de sols suivants :

Unité litho.	Prof. moy (m/TA)	Mas. vol. γ (kN/m ³)	Mas vol. déjaugée γ' (kN/m ³)	PI* moyen (MPa)	E _M moyen (MPa)	Angle φ' (°)	Cohésion C' (kPa)	Coef. α
U1/ Argile [marron] et frange d'altération	0,0 – 1,5 (*)	19	9	0,7	8	25	5	2/3
U2/ Schiste ardoisier +/- fracturé à quelques passages argileux	1,5 – 5,5	24	14	2,6	45	35	5	1/2
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif	5,5 à > 15,0 / 20,0	27	17	4,0	200	45	40	1/2

(*) l'épaisseur des terrains de recouvrement peut atteindre localement 5,5 m en partie aval du projet (Parking Sud).

3.4. Sismicité

En application des normes parasismiques définissant les exigences sur le bâti neuf, l'Eurocode 8 s'applique et impose la prise en compte des paramètres suivants :

- **Zone de sismicité :**

- Zone de sismicité : **4** Accélération au rocher : **agr = 1,6 m/s²**

- **Catégorie d'importance :**

- Catégorie d'importance : **IV**
- Coefficient d'importance : **$\gamma_I = 1,4$**
- Coefficient sismique **r : 1,0** (voir tableau ci-dessous)

Tableau 7.1 — Valeurs du facteur r pour le calcul du coefficient sismique horizontal

Type d'ouvrage de soutènement	r
Murs-poids libres pouvant accepter un déplacement jusqu'à $d_r = 300 \alpha \cdot S$ (mm)	2
Murs-poids libres pouvant accepter un déplacement jusqu'à $d_r = 200 \alpha \cdot S$ (mm)	1,5
Murs fléchis en béton armé, murs ancrés ou contreventés, murs en béton renforcé fondés sur pieux verticaux, murs d'infrastructure encastrés et culées de ponts	1

- Classe de sol :

- Classe de sol : **A** Paramètre de sol **S : 1,0**

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT}	C_u (kN/m²)
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 mètres de matériau moins résistant	> 800	-	-
B	Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile sur-consolidées, d'au moins plusieurs dizaine de mètres d'épaisseur, caractérisé par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur	360 à 800	> 50	> 250
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide ayant des épaisseurs de quelques dizaines à quelques centaines de mètres	180 à 360	15 à 50	70 à 250
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité de sols cohérents mous à fermes	< 180	< 15	< 70
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de V_s de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5 et 20 mètres, reposant sur un matériau plus raide $V_s > 800$ m/s			

Bâtiment principal et Parking Silo :

➤ Nature du relief :

- Coefficient d'amplification topographique **S_T : 1,00**

➤ Représentation de l'action sismique :

- Accélération horizontale de calcul au rocher : ($a_g = a_{gr} \times \gamma_I$) => **$a_g = 2,24 \text{ m/s}^2$**
- Coefficient sismique horizontal, $k_h = a_g \times \frac{s}{R} \times \frac{S_T}{g}$ => **$k_h = 0,228$**
- Coefficient sismique vertical, $k_v = (0,5 \times k_h)$ => **$k_v = 0,114$**

Zone logistique :

➤ Nature du relief :

- Coefficient d'amplification topographique **S_T : 1,20**

➤ Représentation de l'action sismique :

- Accélération horizontale de calcul au rocher : ($a_g = a_{gr} \times \gamma_I$) => **$a_g = 2,24 \text{ m/s}^2$**
- Coefficient sismique horizontal, $k_h = a_g \times \frac{s}{R} \times \frac{S_T}{g}$ => **$k_h = 0,274$**
- Coefficient sismique vertical, $k_v = (0,5 \times k_h)$ => **$k_v = 0,137$**



3.5. Terrassements généraux

La réalisation du projet en adaptation avec la topographie du site est prévue avec un encastrement presque intégral du projet dans le relief et nécessitera par conséquent d'important travaux de terrassement.

Les niveaux bas des principales structures et hauteur de déblais/remblais sont prévus tels que :

Structure	Position niveau bas / niveau référence 00	Altimétrie NGF niveau bas	Cotes approx NGF terrain actuel	Hauteur de déblais/remblais
[BS] Bât. Principal Sud en R+6 à R+7 (dont 1 SS)	Niv. VS Niv. SS1	385,1 386,9	≈ 390 à 399	≈ -3 à -14 m
[BN] Bât. Principal Nord en R+2	Niv. 01	394,9	≈ 399 à 403	≈ -4 à -8 m
[PS] Parking silo en R-3 + Internat RDC	Niv. 01 Niv. 01M	394,9 397,8	≈ 405 à 408	≈ -10 m
[ZL] Zone logistique en R+1	Niv. VS Niv. SS1	385,1 386,9	≈ 383 à 395	≈ +2 à -10 m
[URG] Parvis urgences	Niv. 01	394,9	≈ 393 à 403	≈ +1 à -8 m
[DIA+UACA] Parvis dialyse + UACA	Niv. 00 Niv. 01	391,2 394,9	≈ 390 à 405	≈ ±0 à -10 m

Les excavations nécessiteront des moyens de très forte puissance (1 à 2 tracteurs D9D avec défonceuse 9B une dent) afin de pouvoir terrasser le substratum +/- fracturé présents à partir de 2 – 3 m de profondeur (Unité U2/).

Des méthodes pyrotechniques seront également à prévoir, notamment au sein du substratum +/- massif (U3/) reconnu à partir de 4 – 7 m de profondeur en moyenne sur la totalité du terrain. Il reviendra dans ce cas à l'entreprise choisie d'étudier la faisabilité de cette méthode et de prendre toutes les précautions nécessaires vis-à-vis des ouvrages environnants.

Il conviendra de prévoir des procédés d'exécution / dispositions constructives adaptées permettant d'assurer la stabilité et l'intégrité des terrains.

Il est recommandé de prévoir la réalisation des travaux de terrassements **en période favorable** (période sèche, basses eaux), et prévoir des dispositifs de récupération / drainage / évacuation des eaux pluviales dès l'entame de la phase travaux.

Par ailleurs, les travaux de terrassements étant tributaires des conditions météorologiques rencontrées en période d'exécution, une organisation des travaux permettant de réduire la durée de la situation provisoire est toujours un facteur de sécurité.

Tout chargement ou stockage de matériaux en crête de talus ou tête de paroi devra être prohibé pendant la phase travaux.

Nous rappelons que **les terrains superficiels du site sont sensibles à l'eau** et peuvent s'avérer difficilement traficables s'ils sont dans un état hydrique humide. Il est recommandé de mettre en place des pistes d'accès / plateformes de travail en matériaux d'apport granulaires sur au moins 30 – 40 cm en première approche pour les premières phases de terrassement.

Le risque de dégradation / altération des talus et parois de fouille, ainsi que des fonds de fouille, est à prendre en compte. Les dispositions adaptées devront être prévues pour protéger les talus, parois de fouilles et fonds de fouilles contre les intempéries/ sollicitations chantier (ex : mise en place de géotextiles, constitution d'une plateforme en matériaux d'apport granulaires ou traitement du fond de fouille aux liants hydrauliques, mise en œuvre de béton de propreté, drainage / gestion adaptée des eaux pluviales en phase chantier, ...).

Au vu des grandes hauteurs de terrassement, une instrumentation permettant le suivi des déplacements du front de coupe (+ messages d'alertes en temps réel) sera à prévoir.

3.6. Gestion des eaux

Les observations faites lors de notre intervention terrain ont mis en évidence des circulations d'eau ponctuelles localisées dans les schistes ardoisiers +/- fracturés de faibles débits (probable circulation d'eau collinaires). Les différents relevés effectués indiquent des niveaux d'eau à des cotes NGF très différentes mais toutes identifiées entre -0,3 et -1,7 m.

Malgré l'absence de nappe libre, une circulation d'eau abondante et à débit variable est à prévoir et pourra interférer avec le projet, plus particulièrement lors de périodes pluvieuses (ruissellement, circulation d'eau au sein des fractures, etc...).

D'une manière générale, il est recommandé de réaliser l'ensemble des opérations en période favorable (sans pluie) et de **mettre en place des systèmes de drainage périphérique pérenne** (tranchées de drainage entretenues pendant et après les travaux) **afin de récolter et évacuer toutes les eaux superficielles hors des plateformes de travail ou définitives vers un exutoire pérenne et suffisamment éloigné.**

En cas de venues d'eau dans les fouilles, ces dernières seront asséchées (pompage modéré et contrôlé, en évitant l'entraînement des particules fines) et les fonds de fouilles curés avant le coulage de béton.

En phase définitive, l'interception, la collecte, et l'évacuation efficace des eaux pluviales devra être assurée vis-à-vis des ouvrages géotechniques à réaliser (fondations, plateformes et talus, assises de voiries).

Les **ouvrages devront présenter une transparence hydraulique**. Des dispositions appropriées permettant aux écoulements naturels de se maintenir et **éviter l'accumulation d'eau / création de pressions interstitielles néfastes à l'arrière des soutènements / structures enterrées** devront ainsi être prévues (**dispositifs de drainage – drains en pieds de voiles + massifs drainants ou nappes de drainage type Enkadrain® côté terres, ou encore parement doté de barbacanes, avec récupération et évacuation vers un exutoire pérenne à définir.**



Les matériaux constituant les tranchées drainantes / massifs drainants seront composés d'une grave propre insensible à l'eau protégés par un géotextile anti-contaminant.

Nous rappelons que les matériaux devant jouer un rôle drainant devront être non dégradables / non friables / et non gélifs. Au sens du GTR, il conviendra de prévoir la mise en œuvre de matériaux siliceux de catégorie D3 (par exemple graves alluvionnaires ou diorites), ou alors de matériaux calcaires rocheux non dégradables de catégorie R21.

La mise en œuvre d'enduits hydrofuges (type enduits bitumineux) ou le choix d'une formulation adéquate du béton (ex. ajout d'adjuvants hydrofuges) permettra de protéger en supplément les structures enterrées définitives contre les remontées d'humidité.

3.7. Talutages

En l'absence d'eau sur la hauteur excavée et avec les reculs nécessaires disponibles, les terrassements pourront s'effectuer à l'abri de talus dont la pente n'excèdera pas :

- **2v/3h** pour des excavations au sein des unités argileuses superficielles. Avec des hauteurs d'excavation de l'ordre de 2 m au sein de ces formations, les reculs par rapports au pied de talus atteindront 3 m ;
- **5v/2h à sub-vertical** pour des excavations au droit du substratum rocheux +/- fracturé rencontré à partir de 2 m. Néanmoins, aux vues des fortes profondeurs à atteindre (- 10 à - 15 m/TA) et de l'état de fracturation du substratum il sera potentiellement nécessaire de **renforcer / sécuriser le front de coupe par du béton projeté et/ou des parois clouées**. De plus, nous recommandons, pour limiter la hauteur de talus à 5 m, **la création de risbermes** avec banquettes d'au moins 1,5 m de large.

Néanmoins, les reculs minimums nécessaire pour le talutage seront alors de l'ordre de 6 à 10 m (+ réservations nécessaires à prendre en compte), ce qui rend l'option de talutage très impactante en termes d'emprises / volume terrassés (=> envisager solution de terrassement en soutènement).

Nous rappelons que les talus provisoires devront impérativement être protégés des intempéries (par exemple à l'aide de polyane agrafés ou éventuellement de coulis de ciment / béton de propreté). Les dispositions en phase définitives devront permettre de pérenniser leur stabilité vis-à-vis de l'érosion (gestion des eaux pluviales, végétalisation, ...).

Il est recommandé d'interdire tout stockage ou circulation d'engins de chantier à moins de 2 m des crêtes de talus.

Une réflexion particulière devra être menée vis-à-vis des éventuels **comblements de talus / compactages par couches élémentaires à prévoir en périphérie après la réalisation des infrastructures** (notamment problématiques éventuelles de stockage / réutilisation des terres du site sensibles à l'eau, nécessité de préserver les terres stockées des intempéries et éviter qu'elles ne deviennent imbibées, nécessité éventuelle d'apport de matériaux, tranchées drainantes en amont jusqu'à 2,0 m de profondeur ainsi que des drains récupérateurs,...).



3.8. Soutènements

En l'absence de recul disponible vis-à-vis des avoisinants ou si on souhaite réduire les emprises de terrassements, les excavations en phase travaux pourront être réalisées à l'abri de soutènements provisoires ou définitifs.

Le choix de la technique la plus appropriée devra prendre en compte :

- la compacité des terrains : dans le cas présent un substratum de forte compacité, pouvant induire des difficultés et sujétions techniques notoires pour les mises en fiche,
- la hauteur et la poussée importante des terres + eaux, en fonction de la profondeur d'excavation, nécessitant potentiellement des éléments structuraux de forte inertie,
- la présence possible de circulations d'eau (besoin d'étanchéité du dispositif ou sujétions de pompes / rabattement préalables),
- la géométrie de l'ouvrage et les contraintes particulières d'accessibilité pour les travaux.

➤ **Solution 1 : technique des voiles par passes alternées associé à un butonnage à l'avancement** : hauteur maximale terrassée de 3 – 4 m et applicable uniquement en l'absence d'eau sur la hauteur excavée :

La réalisation de cette méthode est conditionnée par la tenue des terres et le temps de réalisation complète d'une passe donnée.

Il conviendra donc de réaliser, avant ouverture du chantier, des puits d'essais de stabilité in situ sur plusieurs heures, afin de vérifier en conditions réelles (longueur et hauteur) la tenue des talus taillés à la verticale pour les dimensions prévues des passes.

Si cette stabilité des terres n'était pas assurée, il y aurait lieu de procéder à des blindages ou de s'orienter vers d'autres solutions.

Dans un souci de sécurité, nous conseillons un pianotage d'une passe sur trois et de **limiter leurs dimensions à 1,5 m de hauteur pour 3,0 m de largeur.**

Toute passe ouverte devra être équipée dans la journée (excavation, ferrailage, bétonnage et butonnage).

Une importance toute particulière est à apporter à la mise en œuvre des butons dont les massifs seront ancrés dans les schistes ardoisiers +/- fracturés à quelques passages argileux (U2/) ou dans les schistes / flyschs +/- massifs (U3/) de bonnes caractéristiques mécaniques. Ils seront dimensionnés dans le cadre d'une mission géotechnique d'exécution (Mobilisation des butées + portance des semelles - Mission G3).

➤ **Solution 2 : dispositifs de soutènement à l'avancement de type parois berlinoises ou équivalent** : hauteur maximale terrassée de 4 – 5 m et applicable uniquement en l'absence d'eau sur la hauteur excavée :

Avec cette technique, il conviendra de prévoir une exécution par passes courtes (en première approche largeurs maximales de 2 à 3 m, et hauteurs maximales de 1,0 – 1,5 m).

Au regard des caractéristiques des terrains, les techniques de réalisation par battage ou fonçage / vibro-fonçage seront inappropriées. Il nous semble indispensable de prévoir des techniques de mise œuvre avec forages préalables.



➤ **Solution 3 : soutènement à l'avancement de type parois clouées** : pour des hauteurs de terrassements > 5 m :

De par la nature rocheuse du substratum (Schiste / Flysch) il sera possible de mettre en place une paroi en béton projeté armé associés à des ancrages passifs (tirants) et à la mise en place d'un réseau de barbacanes afin de dissiper les éventuelles pressions d'eau à l'arrière du mur.

Les tirants devront être suffisamment dimensionnés (diamètres, longueurs, scellement, etc... - au premier ordre, les tirants devront atteindre **10 à 15 m de long**) afin d'assurer la pérennité de l'ouvrage (stabilité générale + mixte ainsi que de la stabilité interne).

Des essais **d'arrachements qui permettront de déterminer la valeur de traction maximale des clous au sein du substratum +/- fracturé** devront être réalisés en phase EXE.

Au vu de la nature des terrains rencontrés, des techniques de mise en œuvre avec forages préalables + scellement béton sont à privilégier.

Il conviendra de prévoir une exécution par passes courtes alternées (en première approche largeurs maximales de 2 à 3 m, et hauteurs maximales de 1,0 – 1,5 m). Les dimensions de passes pourront être adaptées en fonction des conditions réelles de stabilité observée sur le chantier.

Le bétonnage de chaque passe devra être réalisé immédiatement après son excavation.

Les techniques et méthodes de réalisation appropriées devront être proposées par les entreprises de travaux spécialisées en la matière selon les moyens dont elles disposent et suivant les configurations particulières du projet et les contraintes du site.

La conception et les dimensionnements des soutènements seront notamment établis en référence à la norme NF P 94-282 « Ouvrages de soutènement - Ecrans » et NF P 94-270 « Remblais renforcés et massifs en sols cloués ».

Suivant les orientations qui auront été choisies pour la réalisation des terrassements / soutènements, une ébauche dimensionnelle pourra être effectuée dans le cadre de l'étude géotechnique de conception G2-PRO.

Une étude spécifique détaillée devra nécessairement ensuite être réalisée dans le cadre des études d'exécution G3.



3.9. Exemple de renforcement / soutènement par parois clouées

Les calculs de stabilité des pentes et talus pour le projet et les phases travaux nécessiteront de définir au cas par cas les profils définitifs souhaités par la MOA/MOE, tenant compte des sujétions d'emprises / impacts terrassements / phasage de réalisation / et interactions vis-à-vis des structures adjacentes / avoisinantes.

À titre indicatif et à titre d'exemple, des calculs de stabilité ont été menés pour un talus de grande hauteur (cas potentiel pour le parking silo en limite Nord du projet ; $h \approx 10\text{m}$), suivant une géométrie type considérée en réunion de travail avec pentes de talus à 5v/2h dans les flyschs plus ou moins fracturés et 2v/3h dans les faciès de recouvrement, avec 1 risberme intermédiaire.

Les paramètres géotechniques introduits pour les sols sont récapitulés ci-après :

Unité litho.	Prof. moy (m/TA)	Mas. vol. γ (kN/m ³)	Angle φ' (°)	Cohésion C' (kPa)	Cuu (kPa)	Coef. α
U1/ Argile [marron] et frange d'altération	0,0 – 1,5	19	25	5	8	2/3
U2/ Schiste ardoisier +/- fracturé à quelques passages argileux	1,5 – 5,0	24	35	5	8	1/2
U2 bis/* Dégradation de surface	1,5 – 5,0 (Épaisseur = 1m)	24	35	0	0	1/2
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif	5,0 à > 15,0 / 20,0	27	45	40	40	1/2

** cohésion nulle retenue pour les assises fracturées, se débitant en prismes, sur au moins 1 m d'épaisseur par rapport à la surface des talus et parois.*

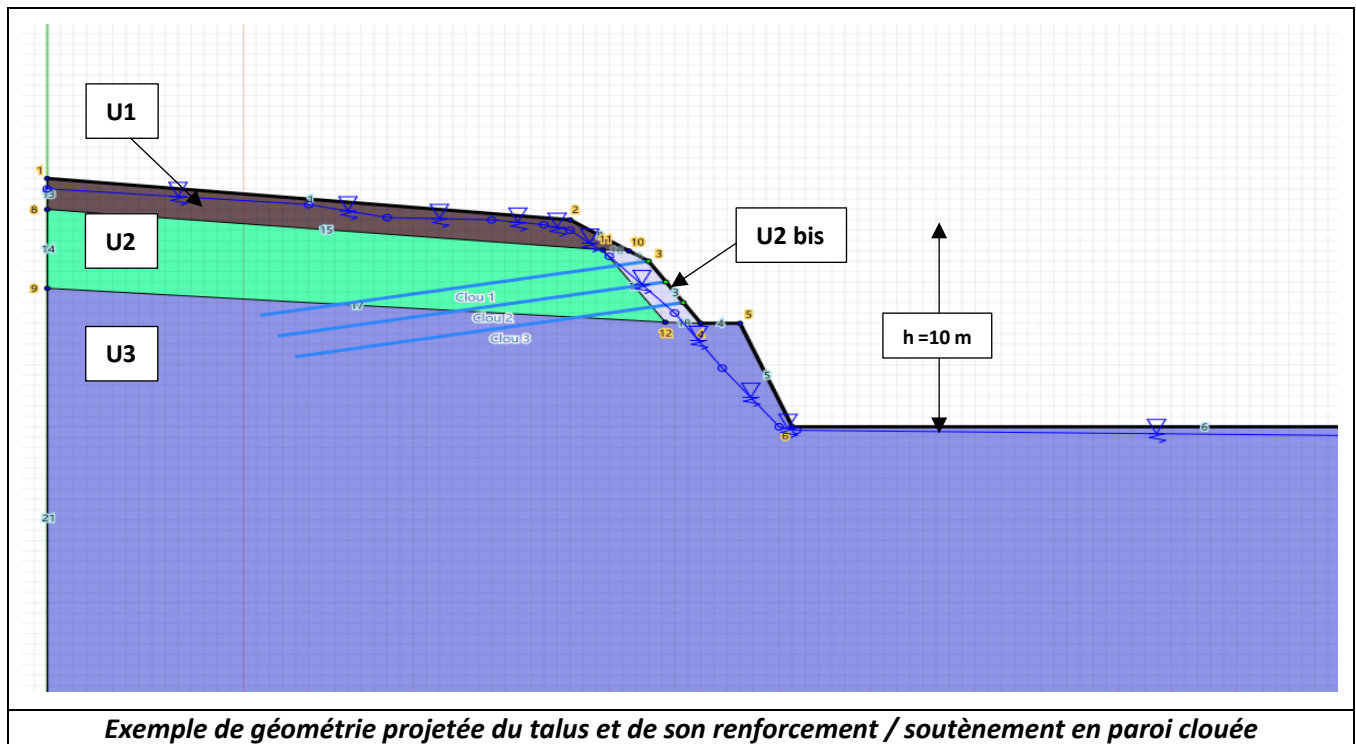
Les hypothèses de calculs géotechniques considèrent également :

- un niveau d'eau pratiquement au TN/TF (hypothèse défavorable – cas concrets à redéfinir en études conception / exécution sur la base des données piézométriques complémentaires acquises et les dispositions de drainage prises pour la gestion eaux souterraines – ex. drains subhorizontaux) ;
- l'absence de surcharges en tête ;

Avec la géométrie étudiée et les paramètres de sols retenus, **des renforcements intéressant notamment les unités de recouvrement argileux et le substratum fracturé / altéré seront à prévoir** pour vérifier la stabilité du profil avec les facteurs de sécurité requis à long terme.

dans le cas considéré, la solution de renforcement avec un dispositif en paroi clouée devra prévoir :

- **3 lits de clous traversants le substratum +/- fracturé (U2/) et ancrés dans le substratum massif (U3/)**, avec un espacement de vertical de 1,0 m entre chaque lit ;
- un **espacement horizontal de 1,0 m** des clous pour chaque lit (de préférence disposés en quinconce) ;
- une **inclinaison des clous de 10 °** par rapport à l'horizontale ;
- des clous en **barres aciers Ø 28 mm** – valeurs caractéristiques d'élasticité et rupture 500/550 MPa, de **15 m de longueur**, mis en place dans des **forages en Ø 90 mm** avec scellement béton par injection gravitaire.



Les dimensionnements définitifs seront à effectuer au cas par cas selon les géométries finales choisies par la MOA / MOE et les données géotechniques complémentaires qui auront été acquises en étude conception (géophysique, niveaux d'eau, etc...) et observées en cours de travaux sur l'état d'altération et de fracturation du substratum.

Il y a lieu de **prévoir la mise en place d'une méthode observationnelle en phase travaux avec tests préalables et instrumentation des talus / parois de grande hauteur.**

3.10. Réutilisation des terres - Mise en œuvre des remblais / couches de forme

En l'état des données disponibles, les matériaux superficiels du site seront globalement argileux avec localement des éléments plus grossiers ($\emptyset > 50$ mm, sols de classe GTR A2 / A3 / C1B4) tandis que les matériaux rocheux plus profonds seront de type schiste sédimentaires (classe GTR R33). Ils peuvent tous deux s'avérer délicats à réutiliser en remblais.

En vue de la réutilisation des matériaux du site, il sera sans doute nécessaire de prévoir un tri / criblage pour éliminer les fractions de grande taille, les lentilles argileuses, et les éventuels déchets.

Nous rappelons qu'il s'agit de **sols sensibles à l'eau**, changeant rapidement de consistance et de comportement pour de faibles variations de teneur en eau, et qui peuvent être difficiles à mettre œuvre s'ils sont humides (faible portance, matelassage) ou très secs (difficiles à compacter).



Les terrains superficiels du site pourront être réutilisés en remblais courants, en l'état moyennant **une teneur en eau adaptée** pour un compactage optimal, ou après traitement à la chaux s'ils apparaissent dans un état hydrique humide / très humide.

La réutilisation de ces sols en remblais nécessite habituellement une énergie de compactage moyenne à intense. Elle est déconseillée par temps de pluie. Lorsqu'ils sont très secs ou en conditions météorologiques évaporantes, un apport d'eau sera nécessaire pour se rapprocher de la teneur en eau optimale de compactage.

Les remblais devront être mis en œuvre par couches élémentaires de 20 à 40 cm d'épaisseur selon les moyens utilisés, et compactés à au moins 95% de l'optimum Proctor et atteignant **une qualité de compactage minimal q4** (suivant le guide LCPC-SETRA Remblaiements et Compactage des tranchées).

Il conviendra de prévoir le **contrôle de compactage à l'avancement** (Pénétréodensitographe PDG1000 ou essais PANDA, Gammadensimètre, ...).

Pour une réutilisation éventuelle en couche de forme, ces terrains nécessiteront un traitement à la chaux ou à la chaux + liant.

Le cas échéant, l'aptitude au traitement de ces terrains devra au préalable être vérifiée par les essais appropriés en laboratoire et des essais de formulation pour les traitements (en complément à l'étude G2-PRO, ou en étude EXE).

Autrement, il sera nécessaire de prévoir la mise en œuvre de matériaux d'apport granulaires insensibles à l'eau (type D2 / D3 ou R21 / R22 au sens du GTR), avec intercalation de géotextiles anti-contaminant entre le sol support et les matériaux d'apport.

Des argiles très plastiques de classe GTR **A3** ont été mises en évidence au sein des terrains de recouvrement.

Il s'agit de sols très sensibles à l'eau présentant un risque notoire de retrait-gonflement, très cohérents / très peu perméables et collants / glissants à l'état humide, pouvant induire des difficultés notoires de traficabilité / mise en œuvre.

Ces caractéristiques les rendent très difficiles à réutiliser en remblais, quel que soit leur état hydrique (sols cohérents, collant / glissant à l'état humide, difficiles à compacter y compris en état hydrique sec, et sujets au matelassage).

Ils peuvent théoriquement faire l'objet d'un traitement pour une réutilisation en remblai (chaux), voire en couche de forme (chaux + liant hydraulique), mais il peut s'avérer difficile d'obtenir un résultat satisfaisant (malaxage / homogénéisation du traitement difficile à réaliser, efficacité / gains limités, stabilité non garantie vis-à-vis de l'imbibition et du gel).

Le cas échéant, l'aptitude au traitement de ces terrains devra au préalable être vérifiée par les essais appropriés en laboratoire. En l'état, nous considérons qu'il convient d'éviter la réutilisation de ces terrains en remblais ou en couche de forme.

Le substratum est composé de roches sédimentaires de classe GTR **R33** « peu fragmentables et peu dégradables ». Celles-ci sont considérées évolutives et dont la mise en remblai comporte un risque qu'il convient d'apprécier avant chaque chantier.

Les conditions d'utilisation de ces matériaux doivent être accompagnées d'une réflexion approfondie sur les méthodes d'extraction les plus appropriées en particulier en vue de la fragmentation et sur la conception globale des remblais.



Ces matériaux présentent d'autant moins de risque d'évolution qu'ils sont mieux fractionnés (viser un matériau de granularité continue ou riche en fines), bien compactés et humides à la mise en œuvre.

Une étude spécifique préalable de ces roches est souvent nécessaire pour définir la conception du remblai, la granularité à obtenir et les moyens nécessaires correspondants, et le mode de compactage.

Ces matériaux pourront être réutilisés en remblais, notamment pour la mise en place de la voie d'accès Ouest.

Des performances techniques particulières sont attendues pour les remblais interagissant avec les ouvrages de soutènement et de fondations / structure de la zone logistique.

En première approche, les objectifs de **caractéristiques mécaniques minimales à atteindre pour les remblais techniques** seront :

Unité litho.	Pf* (MPa)	Pl* (MPa)	Em (MPa)	Coef. α	Es (MPa)
U0/ Remblais technique	0,6	1,0	15	1/3	50

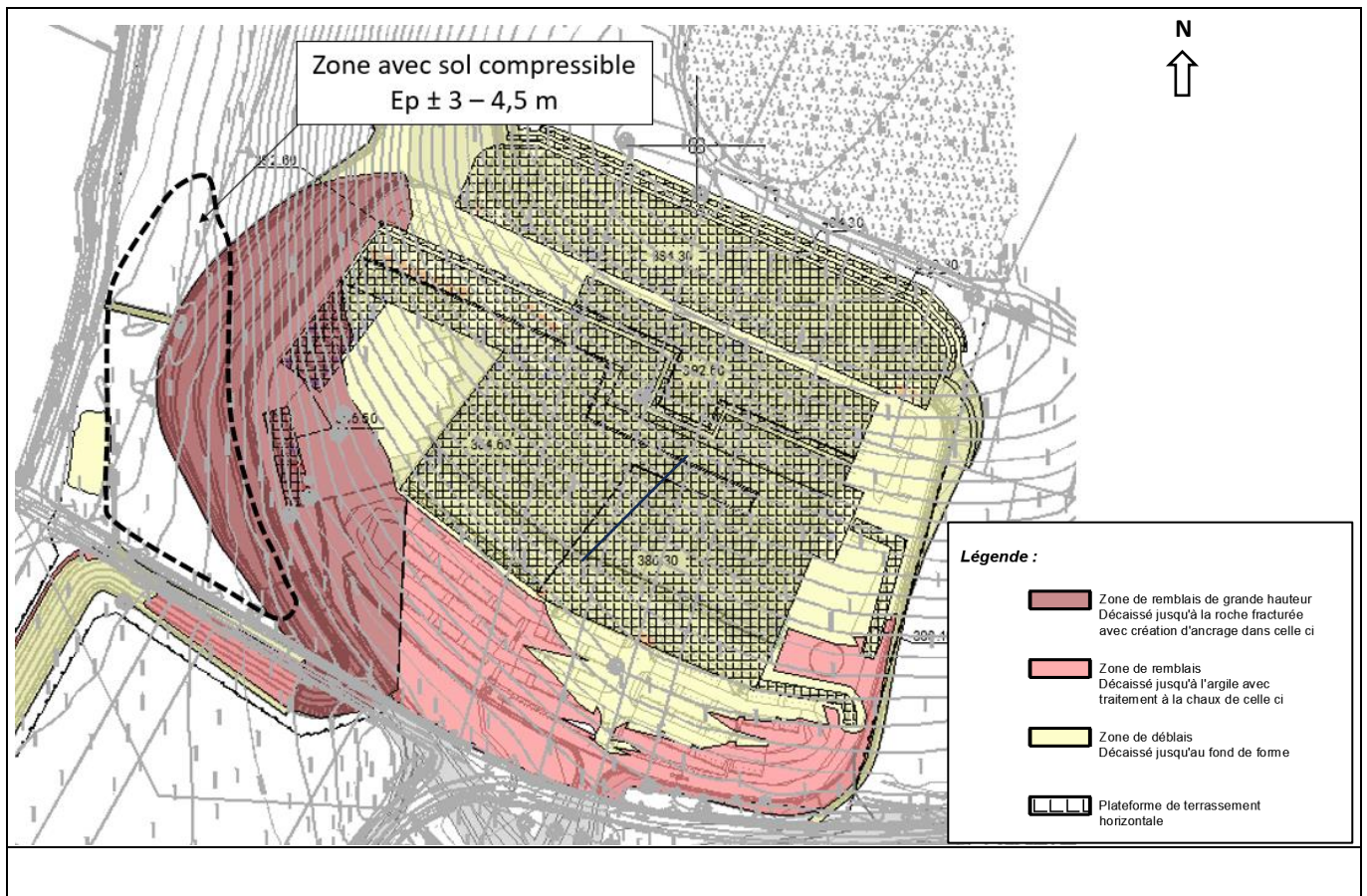
Il est attendu une **portance de plateforme minimale PF2 avec EV2 $\geq$ 50 MPa** au niveau de l'arase terrassement.

3.11. Impact des terres à apporter en remblais

Un reprofilage du terrain actuel est prévu en bordure ouest du projet (zone logistique) impliquant l'apport de matériau en remblais sur une hauteur de l'ordre de + 10 m/TA.

Ces remblais à créer dans un contexte de forte pente (10 -15 %), de terrains de recouvrement argileux (U1/) potentiellement compressibles (épaisseur de 2m en moyenne et pouvant atteindre localement 4,0 m) jusqu'au substratum +/- fracturé résistant (U2/ et U3/), vont induire des surcharges réparties très importantes (en première approximation de l'ordre de 20 t/m²) , de potentiels tassements et glissements sous remblais ainsi que des efforts parasites +/- significatifs sur les ouvrages environnants (frottement négatifs, efforts latéraux, ...).

Une attention toute particulière devra être apportée au droit de la zone humide (bordure ouest et sud-ouest du projet) où une épaisseur plus importante des terrains de recouvrement argileux compressibles a été reconnue (localement jusqu'à 4,5 m). Des terrains alluvionnaires comportant de nombreux galets ont également été identifiés en partie aval du projet jusqu'à 3,8 m/TA.



Pour des épaisseurs de recouvrement limitées ($\leq 2,0$ m), il conviendra de purger les sols superficiels compressibles et de préparer une plateforme plane (ou plateformes planes + risbermes) au sein du substratum +/- fracturé résistant avant la mise en place des remblais afin de limiter le risque de glissement et limiter les tassements.

Ces purges pourront s'avérer difficile à mettre en œuvre en partie aval du terrain où de plus importantes épaisseurs de sols argileux / alluvionnaires saturés ont été mis en évidence ($\pm 3,0$ à $4,5$ m induisant des reculs pour le talutage de l'ordre de $4,5$ à $7,0$ m). Dans ces zones, il pourra être envisagé la **faisabilité d'une solution en remblais de préchargement** (si compatible avec le planning d'opération).

Au besoin et en cas d'efforts parasites élevés induits, la mise en place de dispositifs antiadhérents à l'arrière des voiles enterrés, la mise en place de remblais allégés ou remblais en terre armé pour limiter les emprises / poussées, ou encore la réalisation d'améliorations de sols préalables par inclusions sous les remblais à créer visant à réduire les tassements prévisibles, pourra permettre de réduire les interactions sols / structurées et les efforts parasites.

3.12. Etude relative à la mise en place des remblais techniques

Le reprofilage du flanc ouest de la colline implique la mise en place d'un remblai de grande hauteur reposant en partie basse sur des sols compressibles. La réalisation de ce remblai va induire des surcharges réparties très importantes (de l'ordre de 4 à 20 t/m²), impliquant un risque localisé de tassement significatif sous remblais (pluri-centimétriques – Actuelle zone humide).

Les calculs de tassements théoriques prévisibles sous remblais en fonction de la hauteur de chargement sont donnés dans le tableau suivant (hors surcharge bâtiment) :

H remblai (m) - $\gamma_{RBL} = 20 \text{ kN/m}^3$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Contrainte surcharge (kPa)	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Tassement final attendu (cm)	4,2	6,3	8,4	10,5	12,6	14,7	16,8	18,9	21,0

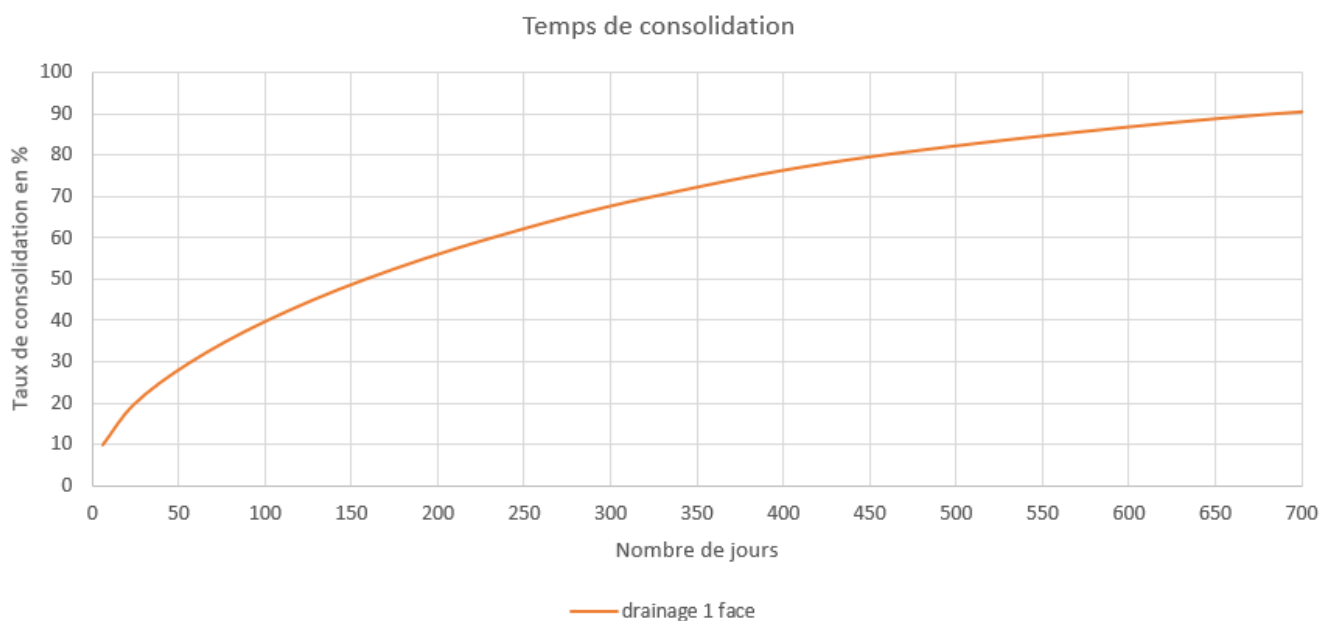
Le temps de consolidation est évalué par la relation suivante, dans le cas d'une couche compressible drainée par une face (argile +/- limoneuse U1/) :

$$t = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v}$$

Avec :

- T_v = facteur temps correspondant à un degré de consolidation U exprimé en % ;
- H = épaisseur de la couche compressible – considéré de 4 m (recouvrement argileux U1/) ;
- C_v = coefficient de consolidation – pris égal à $2,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$;

Avec les paramètres retenus, l'évolution du taux de consolidation en fonction du temps est figurée sur le graphique suivant :



Il en ressort **un temps de consolidation à 90 % évalué ≥ 2 ans (≥ 700 j)**. Il s'avère ainsi **nécessaire de mettre en place des drains verticaux afin de diminuer ce temps de consolidation**. Celui-ci peut se calculer de la manière suivante :

$$t = \frac{T' \cdot d^2}{4Cr}$$

Avec :

- T' = facteur temps correspondant à un degré de consolidation U exprimé en % pour un n donné (avec $n = \frac{D}{d}$) ;
- D = distance entre les drains ;
- d = diamètre efficace d'un drain ;
- Cr = Coefficient de consolidation radial ($Cr \approx 5.C_v$)

Ainsi pour des drains verticaux de 5 cm de diamètre espacés de 2,5 m les uns des autres le temps de consolidation à 90 % sera de l'ordre de 2 mois.

Pour ce degré de consolidation, les tassements résiduels à considérer vis-à-vis de l'aménagement de projet sont évalués de l'ordre de 1 à 2 cm.

Remarque : avec les caractéristiques mécaniques des terrains argileux rencontrés, nous déterminons **une hauteur de chargement maximal admissible de 5,0 m pour vérifier le poinçonnement**. La mise en place d'une hauteur de remblais > 5 m demandera un phasage (temps de consolidation à prévoir entre la mise en place des premiers matériaux et les couches suivantes) qui pourra être déterminé plus précisément en phase G2-PRO.

Il convient de rappeler que les valeurs théoriques indiquées resteront dans tous les cas et strictement des ordres de grandeur. Seul le comportement réel du terrain prévaudra, qui pourra par ailleurs se différencier sur l'emprise du chargement à cause des variabilités lithologiques et mécaniques qui existent.

Le suivi des déformations par des moyens appropriés au contexte du projet sont indispensables. Seules ces données permettront de statuer sur la consommation effective des déformations et l'acquisition de la stabilisation.

La confirmation de la stabilisation des déformations permettra de procéder à la justification des fondations des bâtiments logistiques (a priori fondés pour certains au sein des remblais).

3.13. Possibilité de fondations superficielles par semelles / massifs isolés

Le mode de fondation des bâtiments devra faire état de l'importance et de la géométrie des charges apportées ainsi que de la nécessité de mobiliser un horizon portant, homogène et qualité acceptable pour le projet.

Compte tenu des terrains rencontrés, il est possible de mettre en œuvre des fondations superficielles (semelles filantes ou isolées) ancrées de 0,2 m minimum au sein **des schistes / flyschs +/- massifs de très bonne compacité et non remaniés.**



Les surprofondeurs possibles liés à la présence de terrains fracturés ou localement altérés pourront être rattrapées à l'aide d'un béton maigre.

Le niveau d'assise sera adapté en fonction des variations altimétriques du terrain, des niveaux de plateformes définitives en déblais / remblais éventuels, et des possibles variations d'épaisseur des terrains de recouvrement peu compacts, +/- altérés et fracturés.

Dans le cas de différences d'altitude entre les assises des fondations, il sera de rigueur de respecter la règle des 3H/1V entre les arêtes basses.

Dans tous les cas, la mise hors gel du niveau d'assise des fondations devra être prévue, au minimum à 0,55 m / terrain extérieur fini.

Il y a lieu de rappeler que la réalisation des parties enterrées en talutage impactera significativement la faisabilité de fondations superficielles pour les structures attenantes situées en amont, nécessitant alors des approfondissements notoires de niveaux d'assise et rattrapages en redans (problématique majeure à la transition entre le bloc Nord et Sud du bâtiment principal, rendant inapplicable la solution superficielle pour les structures attenantes).

En ce sens, il y a intérêt à préserver les sols d'assise et envisager la réalisation des excavations à l'abri de soutènements.

Au vu des charges très importantes des différents ouvrages, la mise en place de massifs de fondation de très grandes tailles allant en première approche de 1,5 m x 1,5 m jusqu'à 3,5 m x 3,5 m (massif isolé carré + charges statiques à l'ELS) pour justifier la stabilité en portance. Ceci pourra induire des **difficultés de mise en œuvre ainsi que d'importants moyens** (terrassement des fouilles au sein d'un rocher fragmenté très compact, volume de béton à prévoir par massif de fondation).

3.14. Possibilité de fondations par radiers

Compte tenu des terrains rencontrés, la mise en œuvre d'une **solution superficielle de type radier** sollicitant majoritairement **le substratum +/- fracturé de bonne portance** et **localement des remblais techniques** (zone logistique) pourra être envisagée.

Dans tous les cas, il conviendra de limiter les remaniements des sols supports lors des terrassements / travaux préparatoires. Toute poche de terrain paraissant lâche ainsi que les éventuels blocs ou éléments grossiers pouvant constituer des points durs devront, être purgés et substitués.

En absence de terrains gélifs et sols supports sensibles à l'eau, la mise en œuvre de bèches périmétriques n'est pas indispensable.

Afin de faciliter la mise en place des ouvrages, il pourra être prévu une **couche de forme** soigneusement régagée et compactée par couches élémentaires de 20 à 40 cm selon la granulométrie et les moyens utilisés, réalisés en **matériaux d'apport granulaires insensibles à l'eau** (par exemple classe D2 / D3 ou R21 / R22 selon le GTR de



granulométrie 0-31,5 mm), avec **intercalation d'un géotextile anti-contaminant** entre la plateforme de terrassement et la couche de forme.

La couche de forme ou fond de fouille sera compactée et contrôlée afin de satisfaire les objectifs suivants :

- module EV2 supérieur ou égal à 50 MPa ;
- la vérification d'un rapport $EV2 / EV1 < 2,2$.

Le module de Westergaard déterminé en surface devra alors être au minimum : $K_w \geq 50$ à 60 MPa/m.

La plateforme ainsi réalisée devra présenter une surlargeur idéalement de 1 à 2 m de part et d'autre du radier afin de s'assurer de la qualité du compactage sous l'ouvrage.

Des hétérogénéités de formation d'assise seront rencontrées au droit de la zone logistique (une partie fondée dans des remblais, une autre dans le substratum +/- fracturé). Il conviendra alors de prévoir des joints de ruptures afin de pouvoir accommoder d'éventuels tassements différentiels.

Au premier ordre, la faisabilité des radiers avec déformations limitées à moins de 1,0 cm (pour une largeur d'application de 10 m) est vérifiée jusqu'à :

- $\approx 10 \text{ t/m}^2$ pour un ancrage au sein de remblais techniques avec modules de déformation $E_m = 15 \text{ MPa}$;
- $\approx 20 \text{ t/m}^2$ pour un ancrage dans le substratum +/- fracturé.

3.15. Mise en œuvre des dallages

Au vu des caractéristiques du projet, une solution de dallage sur terre-plein est envisageable.

Le terrain support aux différents fonds de fouilles (niveaux bas des ouvrages compris entre 385,10 et 397,80 m NGF) sera **constitué par le substratum (Schiste / Flysch) +/- fracturé de bonne portance**. Il sera néanmoins nécessaire de :

- s'assurer de l'homogénéité du fond de forme ;
- compacter le fond de forme à au moins 95% de l'OPN ;
- mettre en œuvre une couche de forme par couches régulières et successives de 0,2 m maximum, en matériaux insensibles à l'eau, de bonne qualité et soigneusement compactés (0 / 31,5 mm par exemple ;
- contrôler la qualité du compactage sur la totalité de l'emprise concernée au moyen d'essais de chargement à la plaque type LCPC). Nous préconisons une valeur du module EV2 supérieur ou égal à 50 MPa et la vérification d'un rapport $EV2 / EV1 < 2,2$.



Le module de Westergaard déterminé en surface devra alors être au minimum : $K_w \geq 50$ à 60 MPa/m .

Le drainage adapté des eaux pluviales devra être assuré tout au long des travaux et en phase définitive. Les dispositions adéquates devront permettre de maintenir les sols supports hors eaux (réalisation de fossés ou tranchées drainantes, interception / collecte / évacuation des eaux pluviales, ...).

En solution alternative, afin de s'affranchir des sujétions particulières de purges / substitution / mise en place de la couche de forme avec contrôles de réception, et dans le cas de déformations prévisibles trop importantes avec les sollicitations / tolérances projet, les niveaux bas pourront être conçus en **planchers portés par les fondations**.

Ce système de planchers portés permettra en outre de favoriser la rigidité des structures. Soulignons par ailleurs que ce principe de conception est favorisé pour les ouvrages devant intégrer une conception parasismique.

3.16. Possibilité de fondations profondes

Compte tenu du contexte, des exigences de conception parasismiques, de l'ampleur du projet (taille + charges importantes) et afin de s'affranchir des problématiques liées à la mise en place de solutions superficielles, il sera possible de s'orienter vers une **solution en fondation profonde de type pieux** fichés dans le substratum.

Nous attirons l'attention sur le fait que l'apport massif de remblais au voisinage des bâtiments logistiques (partie ouest du projet) est susceptible d'impliquer la prise en compte d'efforts parasites significatifs dans les dimensionnements (tassements de remblais et frottements négatifs, efforts latéraux, ...).



4. PARAMETRES DE JUSTIFICATION – FONDATIONS SUPERFICIELLES (SEMELLES FILANTES OU ISOLEES)

Les méthodes de calcul utilisées sont celles décrites par la norme française d'application de l'Eurocode 7 relative au calcul des fondations superficielles (norme NF P94-261).

4.1. Contraintes admissibles

Dans le cas d'une solution de fondations superficielles par **semelles filantes ou massifs isolés** assises au sein des schistes / flyschs +/- fracturés à massifs (rencontrés à partir de -1,0 à -2,0 m/TA en moyenne), nous retiendrons les valeurs de contraintes limites suivantes :

- **Substratum +/- fracturé :**

Etats limites	Contraintes de calculs
ELU durable – transitoire - accidentelle	$q_{ELU} \leq 0,65 \text{ MPa } (\approx 65 \text{ t/m}^2)^*$
ELS quasi-permanent et ELS caractéristique	$q_{ELS} \leq 0,40 \text{ MPa } (\approx 40 \text{ t/m}^2)^*$

- **Substratum +/- massif :**

Etats limites	Contraintes de calculs
ELU durable – transitoire - accidentelle	$q_{ELU} \leq 1,28 \text{ MPa } (\approx 128 \text{ t/m}^2)^*$
ELS quasi-permanent et ELS caractéristique	$q_{ELS} \leq 0,80 \text{ MPa } (\approx 80 \text{ t/m}^2)^*$

* En fonction de l'inclinaison des charges ou en présence de talus à proximité, le coefficient $i\delta\theta$ sera recalculé et intégré à la valeur de contrainte admissible retenue.

Dans tous les cas la largeur minimale des fondations ne sera pas inférieure à 0,5 m pour les semelles filantes et 0,8 m pour les appuis isolés, afin d'assurer un bon contact sol-fondation.

4.2. Ebauche dimensionnelle

Une ébauche dimensionnelle a été réalisée, à titre d'exemple, pour des fondations superficielles encastrées au sein du substratum +/- massif.

Celle-ci présente, au premier ordre, les largeurs de fondations à partir de différents cas de charges et de la contrainte admissible définie précédemment.

Fondations superficielles						
Charge linéaire - ELS (t/ml)	10	20	30	40	50	/
Largeur de semelle filante (m)	0,50 (*)	0,50 (*)	0,50 (*)	0,50	0,60	/
Charge ponctuelle – ELS (t)	100	200	300	400	500	600
Largeur massif carré (m)	1,20	1,60	2,00	2,30	2,50	2,80

(*) largeur minimale recommandée d'une semelle filante afin d'assurer un bon contact sol-fondation.

Remarque : ces largeurs données ne prennent pas en compte les efforts sismiques qui vont induire d'importantes forces horizontales et moments associés (=> surlargeur + surépaisseur à prévoir pour compenser ces phénomènes).

4.3. Estimation des tassements

Dans le cadre des hypothèses de descentes de charges statiques communiquées, du respect des préconisations décrites dans ce présent rapport et de la réalisation des fondations selon les règles de l'art (obtention d'un sol support homogène / plat / correctement curé, bétonnage à pleine fouille sitôt creusement) dans un sol d'assise homogène, les tassements absolus théoriques prévisibles sont estimés inférieurs ou de l'ordre du centimètre.

Rappelons que les tassements réels dépendront du soin porté à l'exécution des fondations qui doit être conforme aux règles de l'Art (obtention d'un sol support homogène / plat / correctement curé, ...) et aux prescriptions de la présente étude.

Les valeurs définitives de tassements seront à vérifier dès que les descentes de charges réelles (statiques et dynamiques) du projet seront connues.

5. PARAMETRES DE JUSTIFICATION – RADIER ET DALLAGES

Les méthodes de calcul utilisées seront celles décrites par la norme française d'application de l'Eurocode 7 relative au calcul des fondations superficielles (norme NF P94-261).

5.1. Contraintes de calcul

Dans le cas d'une solution de fondation par radier ancrée au sein de remblais techniques (objectifs module $E_m = 15$ MPa) ou au sein des schistes / flyschs +/- fracturés à massifs, nous retiendrons les valeurs de contraintes maximales suivantes :

- **Remblais techniques :**

Etats limites	Contraintes de calculs
ELU durable – transitoire - accidentelle	$q_{ELU} \leq 0,16 \text{ MPa } (\approx 16 \text{ t/m}^2)^*$
ELS quasi-permanent et ELS caractéristique	$q_{ELS} \leq 0,10 \text{ MPa } (\approx 10 \text{ t/m}^2)^*$

- **Substratum +/- fracturé :**

Etats limites	Contraintes de calculs
ELU durable – transitoire - accidentelle	$q_{ELU} \leq 0,65 \text{ MPa } (\approx 65 \text{ t/m}^2)^*$
ELS quasi-permanent et ELS caractéristique	$q_{ELS} \leq 0,40 \text{ MPa } (\approx 40 \text{ t/m}^2)^*$

- **Substratum +/- massif :**

Etats limites	Contraintes de calculs
ELU durable – transitoire - accidentelle	$q_{ELU} \leq 0,98 \text{ MPa } (\approx 98 \text{ t/m}^2)^*$
ELS quasi-permanent et ELS caractéristique	$q_{ELS} \leq 0,60 \text{ MPa } (\approx 60 \text{ t/m}^2)^*$

** En fonction de l'inclinaison des charges ou en présence de talus à proximité, le coefficient $i_{\delta\delta}$ sera recalculé et intégré à la valeur de contrainte admissible retenue.*

Il convient de souligner que la frange superficielle argileuse compressible devra être entièrement purgée avant la mise en place des remblais et radiers.

5.2. Paramètres de déformation des sols

Pour l'étude de ferrailage des radiers / dallages, et suivant les résultats moyennés des sondages, nous proposons de retenir les modules d'élasticité E_s suivant :

Couche	Profondeur moyenne (m/TA)	Module E_{moy} (MPa)	Coefficient rhéologique (α)	Module E_{smoy} (MPa)
U0/ Remblais technique	-	15	1/3	50
U1/ Argiles [marron] et frange d'altération (*)	0,0 - 1,5	8	2/3	12
U2/ Schiste ardoisier +/- fracturé à quelques passages argileux	1,5 – 5,5	45	1/2	90
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif	5,5 - 20	200	1/2	400 (**)

(*) à purger dans le cadre de la mise en place de radiers.

(**) la majorité des niveaux bas seront dans cet horizon.

5.3. Estimation des tassements (radiers)

A titre d'illustration, nous avons réalisé des calculs estimatifs de tassements à partir du logiciel FOXTA, pour différentes configurations de radiers (épaisseur = 0,35 m) ancrés soit au sein des remblais techniques ou au sein du substratum +/- fracturé et soumis à plusieurs cas de charges.

Les principaux résultats sont présentés dans le tableau suivant :

- Radier sur remblais technique :

Tassements Dallages / Radiers => ancrés dans U0/ Remblais techniques							
Largeur d'application	Charge exploitation (kPa)	10	20	30	40	50	100
20 m	Tassement S (cm)	0,07	0,18	0,29	0,40	0,51	1,06
	Raideur sol k (MPa/m)	14,2	11,1	10,3	10	9,8	9,4
10 m	Tassement S (cm)	0,06	0,16	0,25	0,35	0,44	0,93
	Raideur sol k (MPa/m)	16,6	12,5	12,0	11,4	11,4	10,7

- **Radier sur substratum +/- fracturé :**

Tassements Dallages / Radiers => ancrés dans U2/ Substratum +/- fracturé							
Largeur d'application	Charge exploitation (KPa)	10	20	30	40	50	100
20 m	Tassement S (cm)	0,03	0,08	0,13	0,18	0,23	0,47
	Raideur sol k (MPa/m)	33,3	25	23,1	22,2	21,7	21,2
10 m	Tassement S (cm)	0,03	0,07	0,12	0,16	0,20	0,43
	Raideur sol k (MPa/m)	33,3	28,5	25	25,0	25,0	23,2

Rappelons que les tassements réels dépendront pour partie du soin porté à l'exécution des fondations qui doit être conforme aux règles de l'Art (obtention d'un sol support homogène / plat / correctement curé, ...).

6. PARAMETRES DE JUSTIFICATION – FONDATIONS PROFONDES

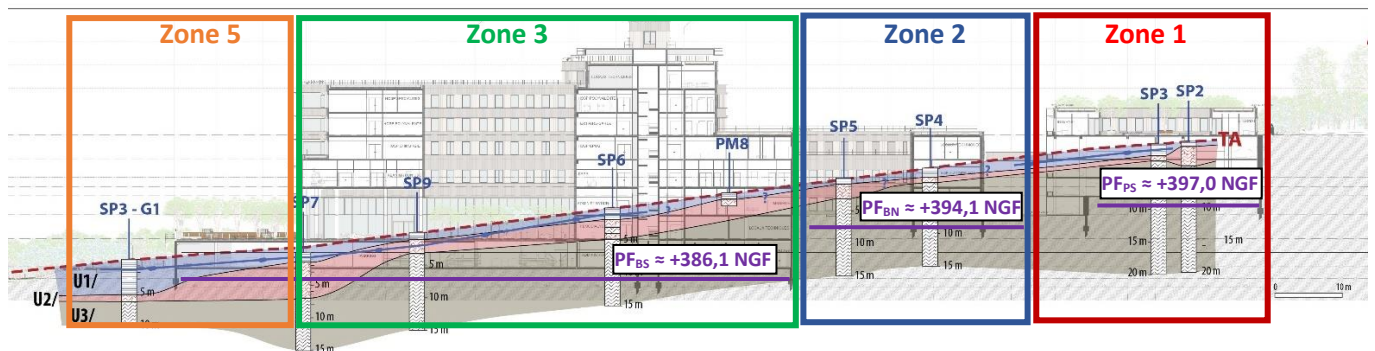
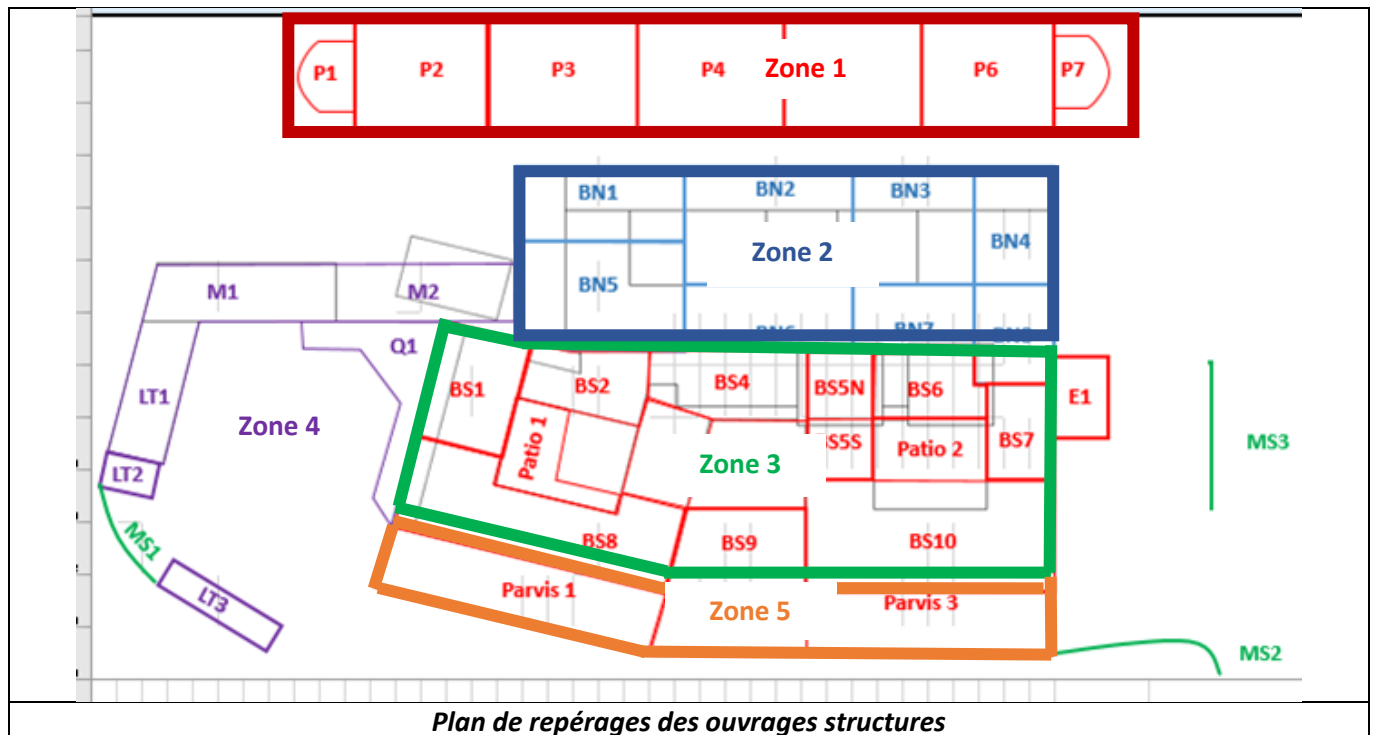
6.1. Hypothèse de calculs et principes de conception

La justification des fondations fait référence à l'Eurocode 7 et sa norme d'application nationale NF P 94-262 Fondations profondes (juillet 2012 + Amendement A1 de juillet 2018) en utilisant l'approche « modèle de terrain », et en considérant une condition de site simple et un ouvrage de catégorie géotechnique 2.

Dans le cadre des pré-dimensionnements, nous retiendrons comme hypothèses de calculs et principes de conception :

- Des **pieux forés simples (FS – Classe 1 et type 1)**, couplés à un enregistrement des paramètres de forages ;
- **5 coupes types géotechniques** établies au regard des variations topographiques, suivants les résultats des sondages SP1 à SP9 avec la profondeur moyenne des interfaces retenue (possibilité de variations d'épaisseurs sur l'emprise de la zone d'étude ; La profondeur des pieux devra obligatoirement être adaptée en tout point en cours d'exécution et approfondie autant que nécessaire pour obtenir l'encastrement minimum dans la couche porteuse définie en conception) ;
- Des niveaux de plateformes de travail PF en référence aux niveaux bas des différents ouvrages (fond de fouille de terrassement à -0,8 m/NB ; zonage présenté ci-après) :
 - Zone 1 (Parking silo) : **PF_{PS R-3} = 397,00 m NGF** ;
 - Zone 2 (Bâtiment – Zone Nord) : **PF_{BN} = 394,10 m NGF** ;
 - Zone 3 (Bâtiment – Zone Sud) & Zone 4 (Zone logistique) : **PF_{BS} & PF_{ZL} = 386,10 m NGF** ;
 - Zone 5 (Parvis) : **PF_{BS} = 386,10 m NGF**





- le frottement latéral sera négligé au moins sur le premier mètre de terrain depuis le niveau de plateforme de travail. Dans le cadre de nos pré-dimensionnements nous considérons un mort terrain jusqu'à 396,0 m NGF en zone 1, 393,1 m NGF en zone 2 et 385,1 m NGF en zones 3 à 5.
- les pieux devront nécessairement être ancrés dans la formation porteuse avec un ancrage effectif $De/B \geq 5$ dans l'horizon défini. Autrement, le facteur de portance en pointe k_p sera recalculé.
- les contraintes en tête des pieux devront être compatibles avec la résistance des bétons (*formulation adaptée à définir en étude EXE en fonction des cas de charges / contraintes / ferraillages induits*).

Dans le cadre de nos pré-dimensionnements, nous considérons une contrainte limite de **6,6 MPa à l'ELS_{CAR}**, et donc les charges admissibles maximales suivantes à l'ELS_{CAR} pour les différents diamètres de pieux envisagés :

Ø pieu (mm)	Charge max à l'ELS _{CAR} (t) pour $\sigma_{\text{béton}} = 6,6 \text{ MPa}$
300	46,7
400	82,9
500	129,6
600	186,6
700	254,0
800	331,8

- les pieux seront écartés d'au moins 3 diamètres. Dans le cas contraire, les effets de groupe lié au rapprochement des pieux et affectant le frottement axial R_s devront être pris en compte ;
- les pieux pourront éventuellement doublés ou triplés sous les appuis pour reprendre les charges les plus importantes, en respectant un écartement d'au moins 3 diamètres.

En pratique, il reviendra à l'entreprise de choisir la méthode de mise en œuvre la plus appropriée afin de traverser l'ensemble des terrains identifiés précédemment. Les fiches et les diamètres des fondations pourront éventuellement être optimisés en phase d'étude d'exécution, selon les techniques choisies par l'entreprise de travaux.

Les coefficients partiels de modèle, adaptés au type de pieux et au modèle de terrain, à considérer sont les suivants :

	$\gamma_{R;d1}$		$\gamma_{R;d2}$
	Compression	Traction	
Pieux FS (Classe 1 – Catégorie 1)	1,15	1,40	1,10

Nous considérerons les coefficients partiels suivants pour la justification aux combinaisons ELU durable/transitoire et ELU Accidentel (sismique) :

	Symbole	ELU durables, transitoires et sismiques	ELU accidentels
Frottement en compression	γ_s	1,10	1,00
Frottement en traction	$\gamma_{s;t}$	1,15	1,05

Et les coefficients partiels suivants pour la justification aux combinaisons ELS quasi-permanents et caractéristiques :

	Symbole	ELS caractéristiques	ELS quasi-permanentes
Frottement en compression	γ_{cr}	0,90	1,10
Frottement en traction	$\gamma_{s;cr}$	1,10	1,50

6.2. Maquettes géotechniques

Pour le dimensionnement des fondations profondes type **pieux FS**, nous proposons les modèles géotechniques suivants par rapports aux différentes zones et aux niveaux de plateformes (dimensionnements à adapter en fonction de l'altimétrie des niveaux bas des ouvrages) :

- **Zone 1 : Parking Silo (SP1 à SP3) – PF_{PS R-3} = 397,00 m NGF**

Couche	Prof. moy. (m/PF)	Cote aprox. (m NGF)	PI* moy. (MPa)	Em moy. (MPa)	kp _{max} (pieux FS)	Coéf. rhéo. α	Classe de sol	Courbes EC7	α _{pieu-sol}	F _{sol} (kPa)	q _s (kPa)
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif Mort terrain	0,0 à 1,0	+ 397,0 à + 396,0	4,3	200	-	1/2	Rocher fragmenté	Q5	1,6	81,6	0^(*)
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif	1,0 à ≥ 12,0	+ 396,0 à + 385,0	4,3	200	1,45	1/2	Rocher fragmenté	Q5	1,6	123	196,8

- **Zone 2 : Bâtiment – Zone Nord (SP4 – SP5) – PF_{BN} = 394,10 m NGF**

Couche	Prof. moy. (m/PF)	Cote aprox. (m NGF)	PI* moy. (MPa)	Em moy. (MPa)	kp _{max} (pieux FS)	Coéf. rhéo. α	Classe de sol	Courbes EC7	α _{pieu-sol}	F _{sol} (kPa)	q _s (kPa)
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif Mort terrain	0,0 à 1,0	+ 394,1 à + 393,1	4,3	200	-	1/2	Rocher fragmenté	Q5	1,6	81,6	0^(*)
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif	1,0 à ≥ 9,0	+ 393,1 à + 385,0	4,3	200	1,45	1/2	Rocher fragmenté	Q5	1,6	123,0	196,8

- **Zone 3 : Bâtiment – Zone Sud (SP6 à SP9) - PF_{BS} = 386,10 m NGF**

Couche	Prof. moy. (m/PF)	Cote aprox. (m NGF)	PI* moy. (MPa)	Em moy. (MPa)	kp _{max} (pieux FS)	Coéf. rhéo. α	Classe de sol	Courbes EC7	α _{pieu-sol}	F _{sol} (kPa)	q _s (kPa)
U2/ Schiste ardoisier +/- fracturé à quelques passages argileux Mort terrain	0,0 à 1,0	+ 386,1 à + 385,1	2,9	49	-	1/2	Rocher altéré	Q5	1,6	109,0	0^(*)
U2/ Schiste ardoisier +/- fracturé à quelques passages argileux	1,0 à 4,8	+ 385,1 à + 381,3	2,9	49	1,45	1/2	Rocher altéré	Q5	1,6	109,0	174,4
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif	4,8 à ≥ 12,0	+ 381,3 à + 374,0	4,3	200	1,45	1/2	Rocher fragmenté	Q5	1,6	123,0	196,8

- **Zone 4 : Zone logistique (SP1_{G1}) - PF_{ZL} = 386,10 m NGF**

Ne disposant pas de niveau altimétrique pour le sondage SP1_{G1}, nous allons le considérer à **± 383,0 m NGF** (calage altimétrique par recollement entre le plan d'implantation des sondages fourni par INGÉSOL et le plan topographique de la zone).

Couche	Prof. moy. (m/PF)	Cote aprox. (m NGF)	PI* moy. (MPa)	Em moy. (MPa)	kp _{max} (pieux FS)	Coéf. rhéo. α	Classe de sol	Courbes EC7	α _{pieu-sol}	F _{sol} (kPa)	q _s (kPa)
Plateforme PF	± 3,1 à 0,0	+ 386,1 à ± 383,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U1/ Argile et frange d'altération Mort Terrain	0,0 à 1,8	± 383,0 à ± 381,2	0,4	6	-	2/3	Argile ferme	Q1	1,1	31,0	0^(*)
U2/ Schiste ardoisier +/- fracturé à quelques passages argileux	1,8 à 9,0	± 381,2 à ± 372,2	2,3	45	1,45	1/2	Rocher altéré	Q5	1,6	102,9	164,6
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif	9,0 à ≥ 18,0	± 372,2 à ± 368,0	4,3	200	1,45	1/2	Rocher fragmenté	Q5	1,6	123,0	196,8

- **Zone 5 : Zone Parvis (SP3_{G1}) - PF_{BS} = 386,10 m NGF**

Ne disposant pas de niveau altimétrique pour le sondage SP3_{G1}, nous allons le considérer à **± 389,0 m NGF** (calage altimétrique par recollement entre le plan d'implantation des sondages fourni par INGÉSOL et le plan topographique de la zone).

Couche	Prof. moy. (m/PF)	Cote aprox. (m NGF)	PI* moy. (MPa)	Em moy. (MPa)	kp _{max} (pieux FS)	Coéf. rhéo. α	Classe de sol	Courbes EC7	α _{pieu-sol}	F _{sol} (kPa)	q _s (kPa)
U1/ Argile et frange d'altération Mort Terrain	0,0 à 1,0	± 386,1 à ± 385,1	0,7	8	-	2/3	Argile ferme	Q1	1,1	38,5	0^(*)
U1/ Argile et frange d'altération	1,0 à 2,6	± 385,1 à ± 383,5	0,7	8	-	2/3	Argile ferme	Q1	1,1	38,5	42,3
U2/ Schiste ardoisier +/- fracturé à quelques passages argileux	2,6 à 3,6	± 383,5 à ± 382,5	2,3	29	1,45	1/2	Rocher altéré	Q5	1,6	102,9	164,6
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif	3,6 à ≥ 7,0	± 382,5 à ± 379,0	4,3	200	1,45	1/2	Rocher fragmenté	Q5	1,6	123,0	196,8



6.3. Exemple de pré-dimensionnements

A titre d'exemples et suivant les hypothèses de conceptions retenues, nous déterminons les diamètres / profondeurs de fiches / charges admissibles suivants pour une mobilisation totale des efforts admissibles en compression avec $\sigma_{\text{béton}} = 6,6 \text{ MPa}$ à l'ELSCAR :

- Exemple : Bâtiment principal : Zone Sud : $\text{PF}_{\text{BS}} = 386,10 \text{ m NGF}$

	FTC Ø 300 mm	FTC Ø 400 mm	FTC Ø 500 mm
Cote base (m NGF)	382,4	381,8	381,5
Longueur fiche (m/ PF_{BS})	- 3,4	- 4,2	- 5,0
Q_{ELS} – Quasi-permanent	$\approx 382 \text{ kN}$	$\approx 678 \text{ kN}$	$\approx 1\,060 \text{ kN}$
Q_{ELS} – Caractéristique	$\approx 467 \text{ kN}$ (soit $\approx 46,7 \text{ t}$)	$\approx 829 \text{ kN}$ (soit $\approx 82,9 \text{ t}$)	$\approx 1\,296 \text{ kN}$ (soit $\approx 129,6 \text{ t}$)
Q_{ELU} – Durable et transitoire	$\approx 636 \text{ kN}$	$\approx 1\,129 \text{ kN}$	$\approx 1\,765 \text{ kN}$
Q_{ELU} – Accidentelles	$\approx 699 \text{ kN}$	$\approx 1\,242 \text{ kN}$	$\approx 1\,942 \text{ kN}$
Effort de traction – ELS Car	- 183 kN	- 326 kN	- 510 kN
Effort de traction – ELU DT	- 251 kN	- 447 kN	- 698 kN

	FTC Ø 600 mm
Cote base (m NGF)	381,2
Longueur fiche (m/ PF_{BS})	- 5,8
Q_{ELS} – Quasi-permanent	$\approx 1\,526 \text{ kN}$
Q_{ELS} – Caractéristique	$\approx 1\,866 \text{ kN}$ (soit $\approx 186,6 \text{ t}$)
Q_{ELU} – Durable et transitoire	$\approx 2\,541 \text{ kN}$
Q_{ELU} – Accidentelles	$\approx 2\,796 \text{ kN}$
Effort de traction – ELS Car	- 735 kN
Effort de traction – ELU DT	- 1\,005 kN

Rappelons qu'il s'agit de pré-dimensionnements donnés à titre indicatif, et que les fiches et les diamètres des pieux / micropieux devront être ajustés vis-à-vis des charges réelles à reprendre et des calages altimétriques sur chaque zone. Ils seront optimisés pour travailler en limite de la combinaison la plus défavorable (ELS ou ELU voire ELU-Acc et ELU-Sism).

De par la nature des terrains à traverser (substratum rocheux compact), la mise en œuvre de pieux de gros diamètres pourra s'avérer difficile. Au vu du projet, Il sera localement nécessaire de doubler, voire de tripler les pieux sous les appuis les plus chargés ($> 500 \text{ t}$ ELS).

Les sollicitations sismiques pourront également s'avérer dimensionnantes (en compression et traction).

6.4. Remarques importantes

A ce stade de notre analyse, nous soulignons que :

- Le type de fondations pris en compte dans cette étude est donné à titre indicatif. L'entreprise de fondation retenue s'engagera au vu de son expérience sur le choix des fondations en respectant l'ancrage suffisant dans horizons définis à l'issue du dimensionnement ;

Les types de fondation choisis dans ce rapport nous paraissent compatibles avec les unités lithologiques, les valeurs pressiométriques relevées, et la méthode de foration utilisée au droit de nos sondages (tarière mécanique Ø 63 mm et forages destructifs).

Nous attirons cependant l'attention sur le **caractère +/- massif et globalement très compacts du substratum rocheux pouvant induire des difficultés de forage.**

Par conséquent, il conviendra de prévoir des méthodes de forage adaptées. Dans tous les cas, l'entreprise sera considérée comme ayant connaissance de ces difficultés éventuelles et mettant en œuvre les moyens nécessaires pour atteindre les profondeurs données et les ancrages nécessaires ;

- Compte du contexte géologique il convient d'être prudent quant à l'extrapolation des différentes interfaces lithologiques et géomécaniques reconnues entre les points de sondages. Des variations d'épaisseur / de profondeurs / de nature / et de caractéristiques mécaniques peuvent être rencontrées (notamment dans l'horizon d'altération du substratum, état de fracturation, etc...).

La fiche des pieux / micropieux sera donc à adapter à l'avancement en tout point.

- En cas d'incertitude, des sondages destructifs avec enregistrement de paramètres permettront de définir au plus juste la profondeur des différents horizons.

Une cartographie du terrain par méthode géophysique permettrait également de venir préciser les variations de profondeur des différentes interfaces de sols et leurs caractéristiques géomécanique (vitesses de propagations des ondes, compacité / fracturation, modules de déformation, etc... => méthodes sismiques).

Le dimensionnement des fondations sera éventuellement à adapter en conséquence ;

- Du fait de l'apport de remblais sur de grandes hauteurs (≈ 10 m) en bordure ouest de la zone logistique, la justification des fondations pourra impliquer sans doute la prise en compte d'efforts parasites (frottements négatifs, efforts latéraux). Elles peuvent s'avérer très élevées à moins que des dispositifs particuliers et un phasage adapté aient été mis en place.
- La justification au flambement et le ferrailage pieux / micropieux seront étudiés par un bureau d'étude structure spécialisé en regard des éventuels efforts horizontaux, efforts de traction, et flexions à reprendre. La technique de forage utilisée devra permettre de descendre les longueurs d'armatures nécessaire en conservant leur intégrité et leur verticalité (descente gravitaire, fluide de forage, ...).



- Selon les préconisations en vigueur, les essais suivants seront à prévoir avant réception des travaux : enregistrement des paramètres de forage, contrôle sur les bétons, mesures de fiches par impédance, et éventuellement essais de contrôle d'exécution par essais de chargement et/ou traction.

6.5. Estimation des raideurs verticales

Nous avons estimé, à titre indicatif la raideur verticale d'un pieu isolé (Ø600 mm) ancré dans le substratum pour un chargement vertical en tête de 1 000 kN.

Les principaux résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

- Exemple : Bâtiment principal : Zone Sud : $PF_{BS} = 386,10 \text{ m NGF}$

Pieu isolé Ø 600 mm	
Charge verticale	1 000 kN
Tassement en base de pieu (cm)	0,023
Raideur globale « sols + pieux » (kN/m)	$9,39.10^5$

6.6. Prise en compte des efforts horizontaux et moments

La justification de ferrailage pieux sera établie en étude EXE par l'entreprise Travaux spéciaux - Pieux, en regard des efforts horizontaux / traction, et moments de flexions à reprendre.

Pour le calcul des sollicitations dans les pieux, les modules de réaction et différents paliers à prendre en considération seront calculés conformément à l'annexe I de la norme NF P 94-262, avec les relations :

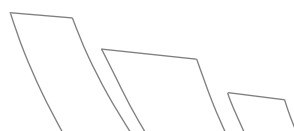
$K_f =$ formule 1 pour $B \geq B_0$

$$K_f = \frac{12 \cdot E_M}{\frac{4}{3} \cdot \frac{B_0}{B} \left(2,65 \cdot \frac{B}{B_0} \right)^\alpha + \alpha} \text{ pour : } B \geq B_0$$

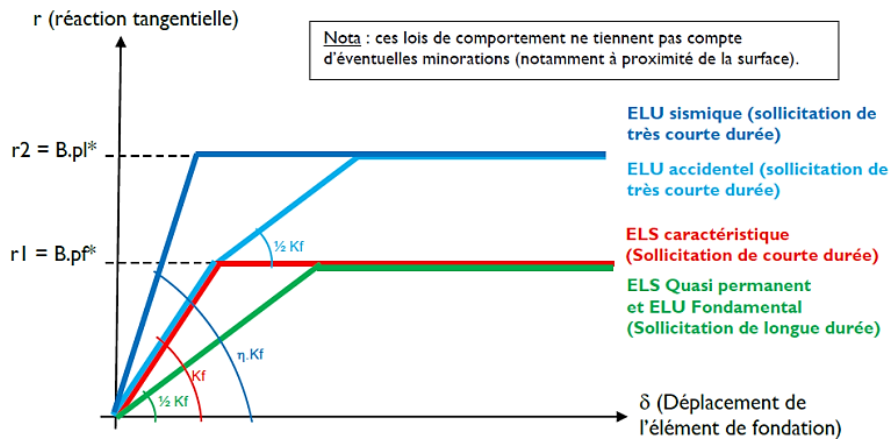
$K_f =$ formule 2 pour $B \leq B_0$ avec $B_0 = 0.60 \text{ m}$

$$K_f = \frac{12 \cdot E_M}{\frac{4}{3} \cdot (2,65 \cdot B)^\alpha + \alpha} \text{ pour : } B \leq B_0$$

- pour des sollicitations de courtes durées : la loi d'interaction frontale définie par le module **Kf** est bornée au palier r1 défini à partir de la pression de fluage **pf**.
- pour des sollicitations accidentelles très brèves : la loi d'interaction frontale est définie par le module **Kf** jusqu'au palier r1 défini à partir de la pression de fluage **pf**, puis définie par **Kf/2** jusqu'au palier r2 défini à partir de la pression limite **pl**.



- Pour des sollicitations de longue durée : la loi d'interaction frontale est définie par le module $K_f/2$ jusqu'au palier r_1 défini à partir de la pression de fluage p_f .
- pour des sollicitations sismiques : la loi d'interaction frontale est définie par le module $K_f \cdot \eta$ jusqu'au palier r_2 défini à partir de la pression limite p_l .



Pour les sollicitations sismiques (court terme) les modules de déformation E_m retenus pourront être multipliés par **1,5 en zone de sismicité 4**.

Pour $B = 0,60$ m

Le module linéique court-terme (K_{fCT}) est donné par :

$$K_I = \frac{12 \cdot E_M}{\frac{4}{3} \cdot (2,65 \cdot B)^{\alpha + \alpha}} \text{ pour } : B \leq B_0$$

Le module linéique long terme (K_{fLT}) est égale à :

$$K_{FLT} = \frac{K_{Fc}}{2}$$

Le module linéique sismique (K_{fSIS}) est égal (en zone sismique 4) à :

$$K_{fSIS} = 1,5 \cdot K_{Fc}$$

Ainsi les modules linéiques à prendre en compte pour chaque couche sont donnés dans le tableau ci-après :



Unité litho.	Pf* (MPa)	Pl* (MPa)	E _M moyen (MPa)	Coef. α	Kf _{CT} (MPa)	Kf _{LT} (MPa)	Kf _{SIS} (MPa)	r ₂ (MPa)
U1/ Argile [marron] et frange d'altération	0,4 (*)	0,7	8	2/3	29,8	14,9	44,7	0,42
U2/ Schiste ardoisier +/- fracturé à quelques passages argileux	1,5 (*)	2,6	45	1/2	202,2	101,1	303,3	1,56
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif	4,0 (**)	4,0	200	1/2	898,7	449,3	1348,0	2,58

(*) : on retiendra $pf^* = pl^*/1,7$

(**) : Dans rocher $pf = pl$

6.7. Estimation des déplacements sous efforts sismiques

Nous avons estimé, à titre indicatif, les valeurs de déplacement d'un pieu isolé (Ø600 mm) ancré dans le substratum, pour des efforts de court terme sismique en prenant des valeurs de charge horizontale de 500 et 1000 kN/pieu.

Les valeurs sont présentées dans les tableaux ci-dessous :

Pieu isolé Ø 600 mm			
Charge horizontale		500 kN	1000 kN
Déplacement pieux (cm)	Max	0,313	0,952
	Min	- 0,011	- 0,033

6.8. Estimation des raideurs horizontales moyennes

Des estimations de raideurs horizontales moyennes ont été effectuées pour chaque unité lithologiques rencontrée en modélisant, à l'aide du logiciel FOXTA, le déplacement d'un pieu isolé ou d'un groupe de pieu en réponse à l'application en tête, de différentes charges horizontales.

Les caractéristiques de sols utilisés pour chacune des unités sont :

Unité litho.	Pf* (MPa)	Pl* (MPa)	E _M moyen (MPa)	Coef. α	q _{sl} (kPa)	Q _{pl} (kPa)
U0/ Remblais technique (*)	0,6	1,0	15	1/3	/	/
U1/ Argile [marron] et frange d'altération	0,4	0,7	8	2/3	57,7	805
U2/ Schiste ardoisier +/- fracturé à quelques passages argileux	1,5	2,6	45	1/2	164,0	3 915
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif	4,0	4,0	200	1/2	196,8	6 235

*caractéristiques de remblais technique fixés avec un objectif PF2, EV2 = 50 MPa

Les raideurs horizontales moyennes associées à chaque unité lithologique (modélisation d'une unité homogène de 10 m d'épaisseur) peuvent être ainsi résumées de la façon suivante :

- **Pieu isolé** : Ø600 mm ; longueur = 10 m ; EI = 1,95.10⁵ kPa

Unité litho.	Raideur horizontale moyenne (kN/m)	Matrice de raideur tête de pieu K _{HH} (kN/m)	Seuil de charge latérale avant comportement plastique
U0/ Remblais technique	7,23.10 ⁴	7,34.10 ⁴	400 kN
U1/ Argile [marron] et frange d'altération	3,35.10 ⁴	4,84.10 ⁴	350 kN
U2/ Schiste ardoisier +/- fracturé à quelques passages argileux	1,41.10 ⁵	2,82.10 ⁵	1 000 kN
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif	4,32.10 ⁵	8,67.10 ⁵	>2 000 kN

- **Groupe de 2 pieux** : Ø600 mm ; longueur = 10 m ; écartement : 1,8 m ; EI_(x,y) = 1,95.10⁵ kPa ; ES = 8,48.10⁶ kPa

Unité litho.	Raideur horizontale moyenne (kN/m)	Seuil de charge latérale avant comportement plastique
U0/ Remblais technique	/	/
U1/ Argile [marron] et frange d'altération	5,60.10 ⁴	800 kN
U2/ Schiste ardoisier +/- fracturé à quelques passages argileux	2,41.10 ⁵	>1 000 kN
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif	7,79.10 ⁵	>2 000 kN

7. PRECONISATION DE VOIRIES / STATIONNEMENT

7.1. Travaux préparatoires

En l'absence d'informations précises transmises, nous prendrons l'hypothèse d'une classe de trafic T3 correspondant à un fort trafic (de 51 à 150 PL/j).

Il est recommandé de réaliser les travaux de terrassement et de voiries en période favorable. Le drainage adapté des eaux pluviales devra être assuré tout au long des travaux et en phase définitive. Les dispositions adéquates devront permettre de maintenir les sols support de voiries hors eaux (réalisation de fossés ou tranchées drainantes, interception / collecte / évacuation des eaux pluviales, ...).

Il conviendra de prévoir le décapage intégral de la frange végétale superficielle végétalisée.

Les responsables du projet s'assureront que **les sols lâches, enrichis en matières organiques / racines / débris végétaux, ou remaniés / déstructurés lors des travaux, soient intégralement évacués et substitués**, afin qu'il ne subsiste aucune zone de faiblesse ou point dur à l'aplomb des futures voiries.

Le cas échéant, ils seront substitués par des matériaux d'apport insensibles à l'eau, soigneusement compactés.

Nous sommes en présence de sols superficiels sensibles à l'eau, pouvant changer rapidement de consistance et de comportement pour de faibles variations de teneur en eau recouvrant un substratum rocheux +/- fracturé.

7.2. Plateforme supérieur des terrassements

Au regard de la nature des terrains rencontrés, selon le fascicule du SETRA et en fonction des conditions météorologiques lors du terrassement, la portance des terrains sera de type :

- **PST1 - AR1 à PST2 - AR1** (en fonction de l'état hydrique des matériaux au moment du terrassement) => pour les terrains superficiels ;
- **PST6 – AR3 à AR4** => pour le substratum rocheux (Schistes / Flyshs +/- fracturés à massifs).

Attention aux intempéries ou fortes pluies pouvant réduire la portance des sols en place. Le drainage adapté des eaux pluviales devra être assuré tout au long des travaux et en phase définitive. Les dispositions adéquates devront permettre de maintenir les sols support de voiries hors eaux (réalisation de fossés ou tranchées drainantes, interception / collecte / évacuation des eaux pluviales, ...).

Avant les travaux, la portance de la plateforme sera contrôlée à l'aide d'essais (IPI, essais à la plaque, ...).

7.3. Couche de forme

Le dimensionnement de la couche de forme pris en compte dans la présente étude est réalisé pour un objectif minimum de portance PF2 avec $EV2 > 50$ MPa. Afin de permettre une mise en œuvre optimale de cette dernière, l'arase de la PST sera compactée avec un objectif de compacité q_4 .

- **Terrains superficiels : PST1 – AR1 à PST2 – AR2 :**

La couche de forme sera d'au moins 40 cm d'épaisseur et constituée en **matériaux d'apport granulaires insensibles à l'eau soigneusement compactée** (par exemple graves D2 0/31,5 mm) avec **intercalation d'un géotextile anti-contaminant** entre la plateforme de terrassement et les matériaux d'apport.

Il pourra être envisagé la réutilisation des matériaux du site moyennant un traitement à la chaux seule ou à la chaux + liants hydrauliques (tris / criblage / élimination préalable des matériaux impropres sans doute nécessaire). Des essais d'aptitude complémentaire pourront être prévu avant mise en œuvre pour vérifier l'efficacité du traitement à la chaux seule (tenue mécanique, stabilité vis-à-vis de l'imbibition et du gel). Des essais de formulation pourront également être menés.

Ce pré-dimensionnement de la couche de forme est donné à titre indicatif. Il devra être ajusté au moment des travaux, selon l'état hydrique et la portance effective des matériaux.

- **Substratum : PST6 – AR3 / AR4 :**

La couche de forme ne s'impose que pour les exigences à court terme (nivellement et traficabilité) et peut donc se réduire à une couche de fin de réglage.

7.4. Exemple de structure de voiries

Il est prévu la création d'une voie de circulation fort trafic et de zones de stationnement pour véhicules légers / poids lourds : classes de trafic **T4** (jusqu'à 50 PL/jour) et **T3** (jusqu'à 150 PL/jour). => **classe de trafic TC2 à TC3**.

Au regard des informations sus mentionnées et à titre d'exemple, la structure de chaussée à adopter pourrait être la suivante, en référence au Guide de Conception SETRA / LCPC – Catalogue des structures de voiries neuves pour réseaux routier non structurant :

		Guide SETRA / LCPC	
Plate-forme (PF)		PF2	PF2
Classe de trafic		TC2 ₂₀	TC3 ₂₀
Structure chaussée	Couche de surface	5 cm de BBS	8 cm de BBS
	Couche de base	20 cm de GNT	25cm de GNT
	Couche de fondation	25 cm de GNT	25 cm de GNT

BBS : Béton Bitumineux pour chaussée souple à faible trafic

GNT : Graves Non Traitées

Ce pré-dimensionnement est donné à titre indicatif, il devra être ajusté au moment des travaux, selon l'état hydrique et la portance effective des matériaux. Moyennant le respect de la notion « d'épaisseur équivalente » et en fonction de la stratégie de dimensionnement retenue par les responsables du projet (durée et niveau de service souhaités / gestion des eaux pluviales / ...), d'autres structures pourront être proposées par les entreprises de voiries selon leurs expériences et les matériaux disponibles localement).

Remarque 1 : l'intercalation d'un géotextile entre le sol support et la structure de voirie pourra assurer la pérennité de l'ensemble, de même que la gestion durable des eaux météoriques. Les travaux seront entrepris en période climatique favorable tandis qu'en phase d'exploitation, des dispositions constructives prises selon les normes en vigueur assureront l'assainissement durable de la chaussée.

Remarque 2 : s'il est prévu d'utiliser la couche de forme en "voirie provisoire" lors de la phase chantier, des précautions particulières devront être prises : utilisation de matériaux résistants à la circulation des engins de chantier, entretien, reprofilage avant mise en œuvre définitive.

8. POURSUITES DE L'ETUDE DE CONCEPTION GEOTECHNIQUE

Le présent rapport conclut la mission d'étude géotechnique de conception G2-AVP qui nous a été confiée pour cette affaire.

Elle a permis de donner les hypothèses géotechniques à prendre en compte en fonction des données fournies et des résultats des investigations. Elle présente les principes envisagés d'adaptation au sol des ouvrages géotechniques et les sujétions techniques à considérer.

Elle sera suivie d'une étude de conception G2-PRO avec une ébauche dimensionnelle des ouvrages géotechniques.

Les pré-dimensionnements établis permettent une première évaluation qualitative pour les différents éléments d'infrastructure.

Les dimensionnements définitifs devront être effectués par l'entreprise de travaux en phase d'étude d'exécution (mission G3), considérant les descentes de charges réelles du projet et les altimétries définitives.

Les conclusions du présent rapport sont données sous réserve des conditions particulières jointes ci-après.



CONDITIONS PARTICULIERES

.....

Le présent rapport ou Procès-verbal ainsi que toutes annexes, constituent un ensemble indissociable.

La Société E.C.R. ENVIRONNEMENT serait dégagée de toute responsabilité dans le cas d'une mauvaise utilisation de toute communication ou reproduction partielle de ce document, sans accord écrit préalable. En particulier, il ne s'applique qu'aux ouvrages décrits et uniquement à ces derniers.

Si en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, nous avons été amenés dans le présent rapport à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient à notre client ou à son maître d'œuvre de communiquer par écrit à la société ECR ENVIRONNEMENT ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour aucune raison nous être reproché d'avoir établi notre étude pour le projet que nous avons décrit.

Cette étude est basée sur des reconnaissances dont le caractère ponctuel ne permet pas de s'affranchir des aléas des milieux naturels, et ne peut prétendre traduire le comportement du sol dans son intégralité.

Ainsi, tout élément nouveau mis en évidence lors de l'exécution des fondations ou de leurs travaux préparatoires et n'ayant pu être détecté lors de la reconnaissance des sols (ex. : remblais anciens ou nouveaux, cavités, hétérogénéités localisées, venue d'eau, etc.) doit être signalé à E.C.R. ENVIRONNEMENT qui pourra reconsidérer tout ou une partie du rapport. Pour ces raisons, et sauf stipulation contraire explicite de notre part, l'utilisation de nos résultats pour chiffrer à forfait le coût de tout ou une partie des ouvrages d'infrastructure ne saurait en aucun cas engager notre responsabilité.

De même, des changements concernant l'implantation, la conception ou l'importance des ouvrages par rapport aux hypothèses de base de cette étude, peuvent conduire à modifier les conclusions et prescriptions du Rapport et doivent être portés à la connaissance d'E.C.R. ENVIRONNEMENT.

La Société E.C.R. ENVIRONNEMENT ne saurait être rendue responsable des modifications apportées à son étude que dans le cas où elle aurait donné son accord écrit sur les dites modifications.

Les altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cote de références rattachées à un repère arbitraire ou de cotes NGF) ne sont données qu'à titre indicatif. Seules font foi les profondeurs mesurées depuis le sommet des sondages et comptées à partir du niveau du sol au moment de la réalisation des essais. Pour que ces altitudes soient garanties, il convient qu'elles soient relevées par un Géomètre-Expert. Il en va de même pour l'implantation des sondages sur le terrain.



Annexes

Plan d'implantation des sondages et des essais
Colline de Croueau, 65380 LANNE

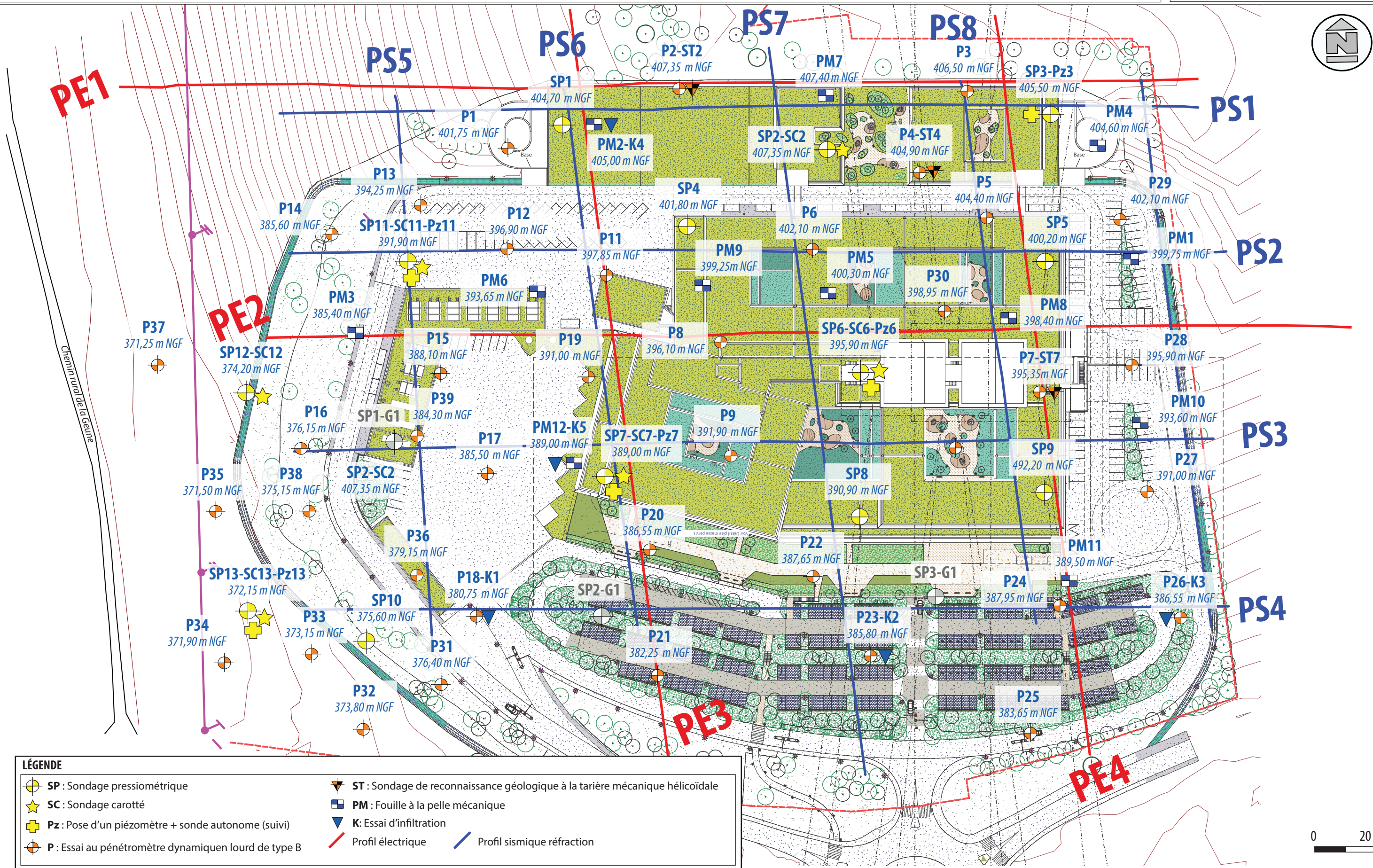
Février 2025



Dossiers n° 6411126

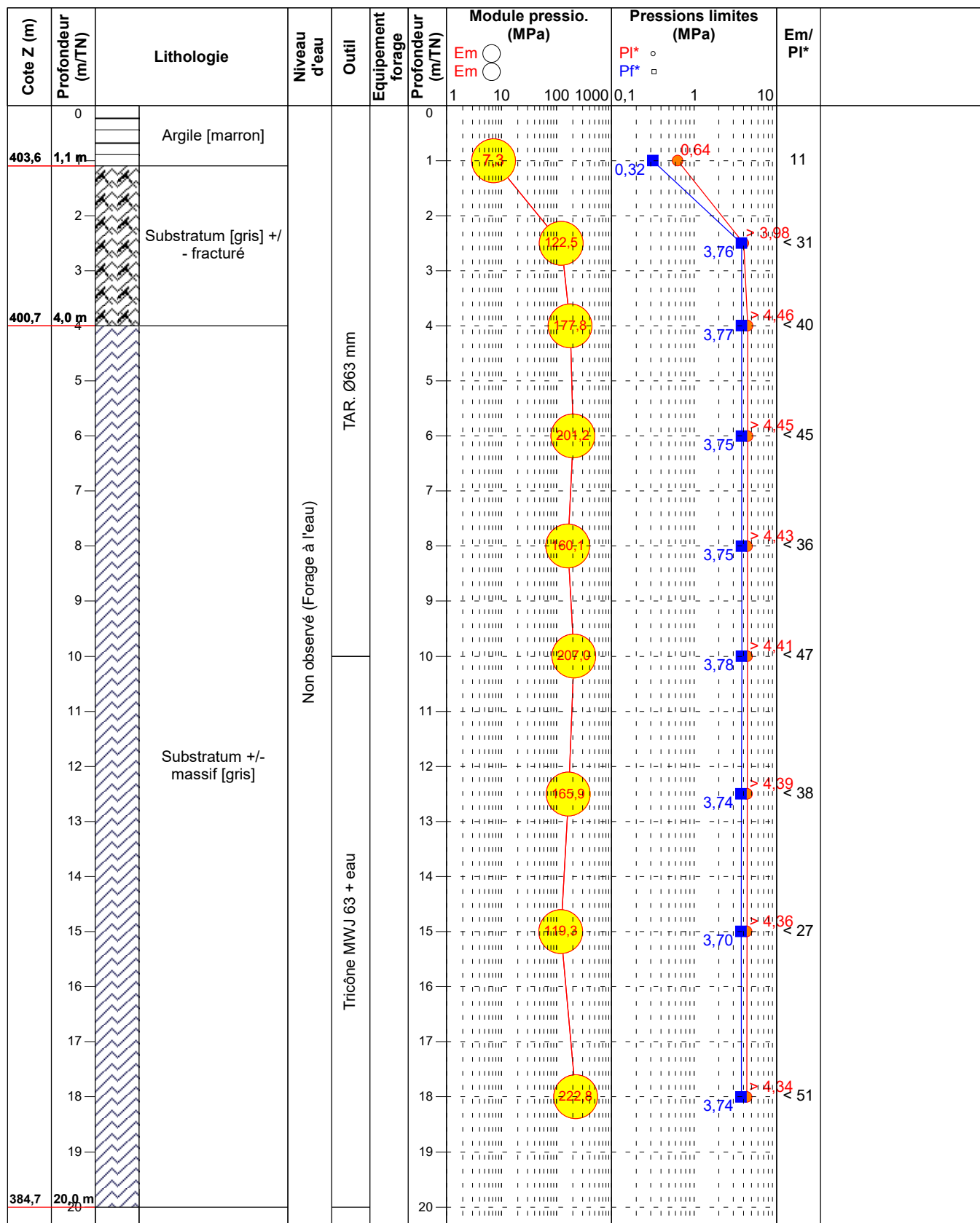
Projet : Reconstruction des hôpitaux de Tarbes-Lourdes

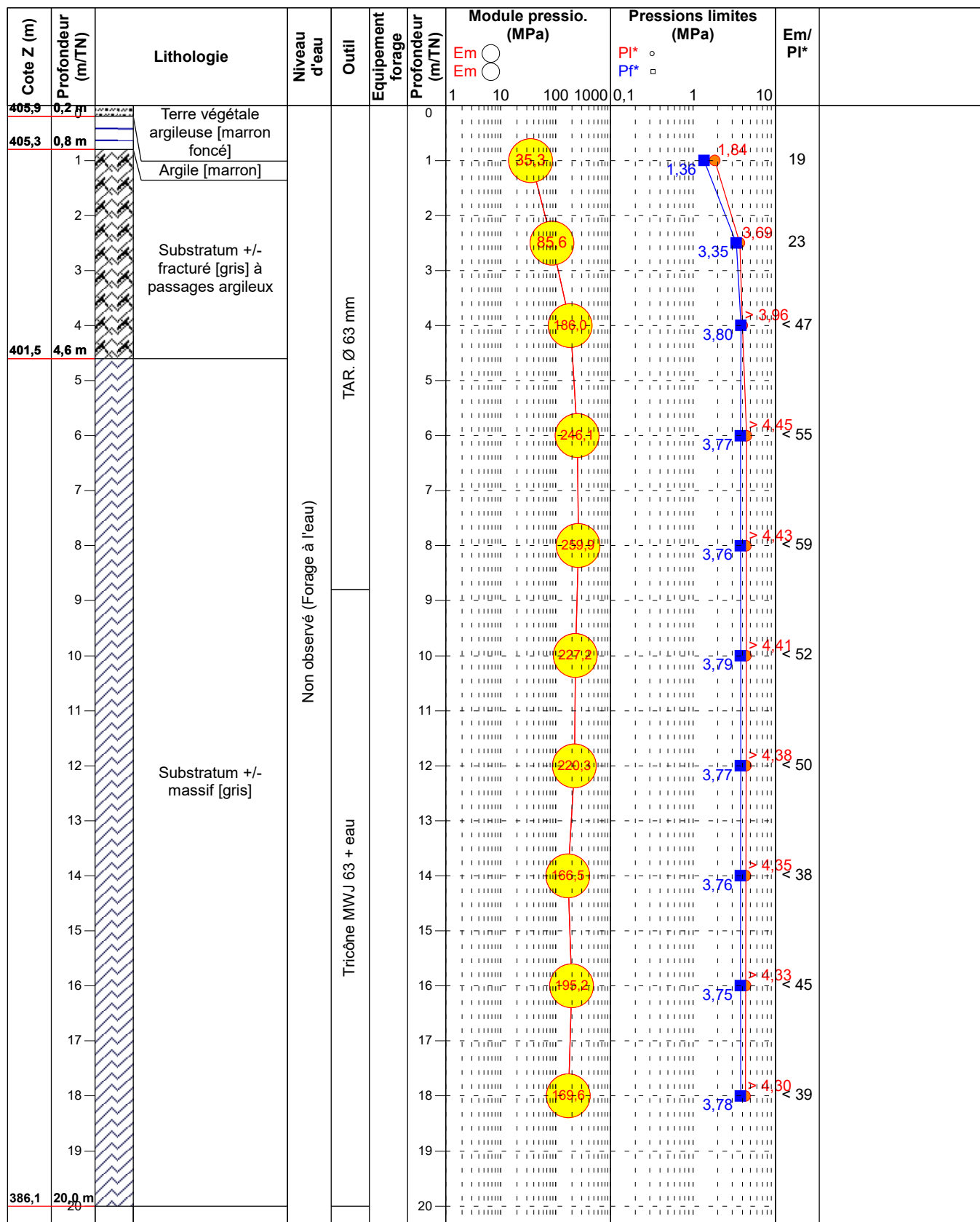
Client : CH de Tarbes-Lourdes

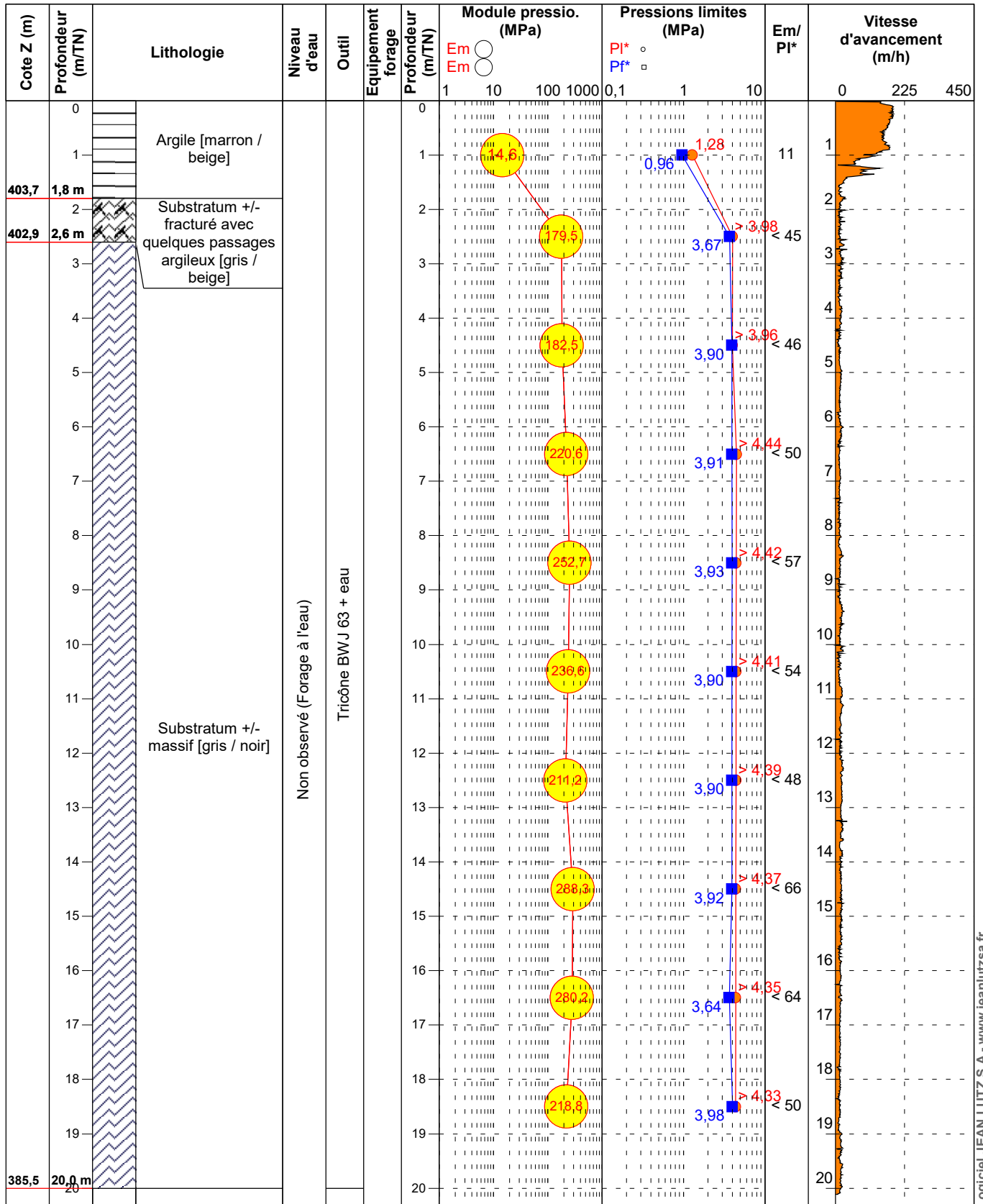


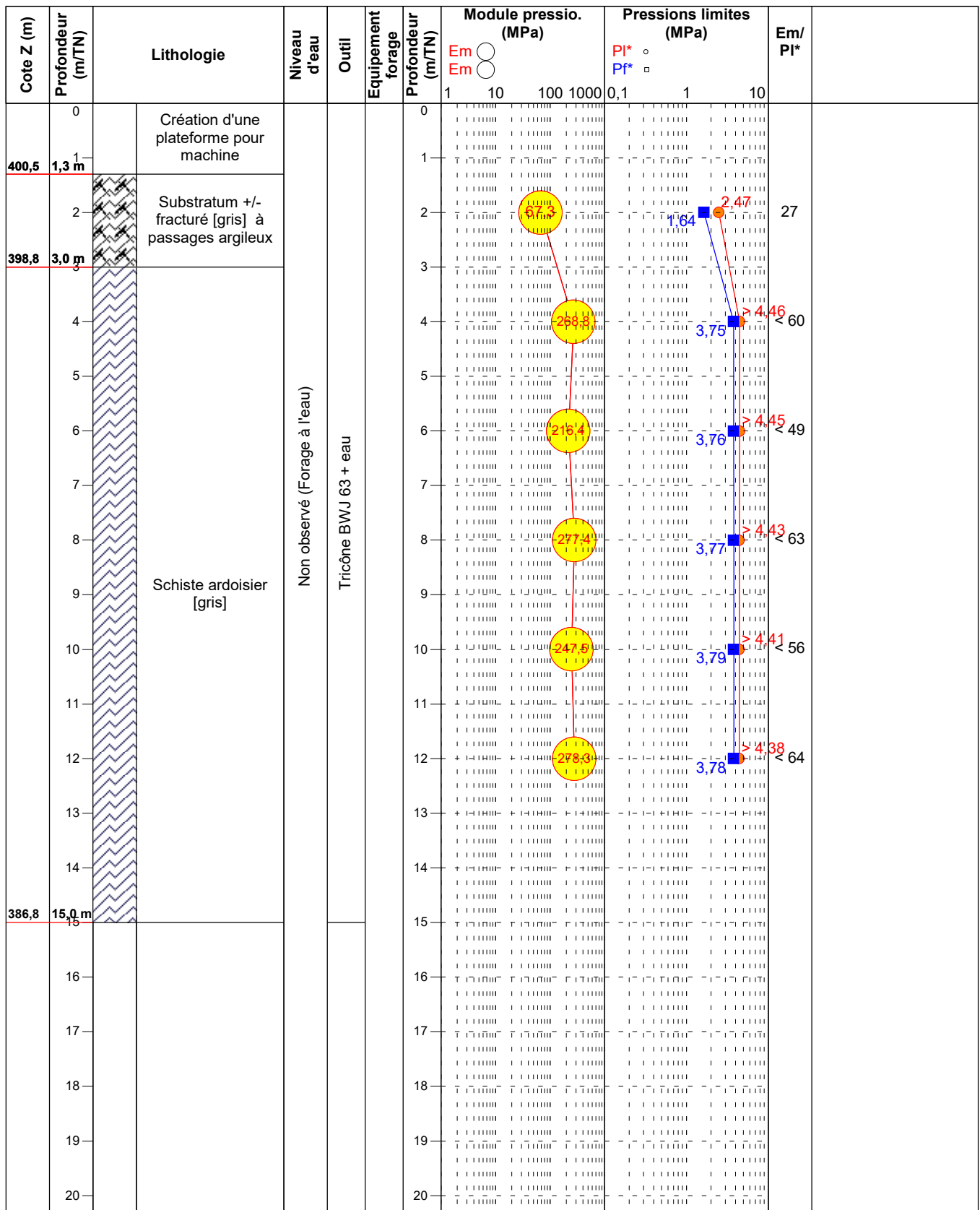
LÉGENDE

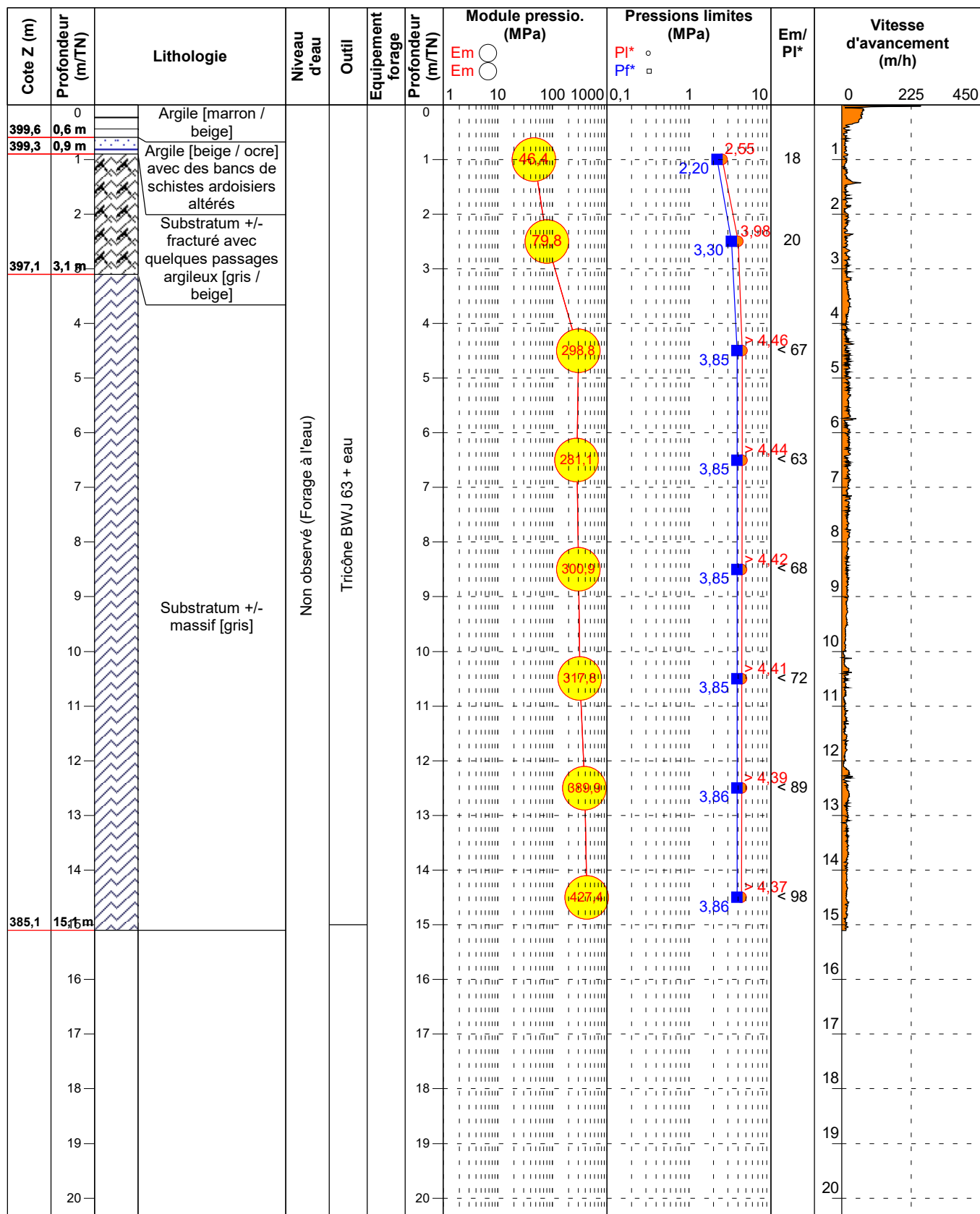
- SP : Sondage pressiométrique
- SC : Sondage carotté
- Pz : Pose d'un piézomètre + sonde autonome (suivi)
- P : Essai au pénétromètre dynamique lourd de type B
- ST : Sondage de reconnaissance géologique à la tarière mécanique hélicoïdale
- PM : Fouille à la pelle mécanique
- K : Essai d'infiltration
- Profil électrique
- Profil sismique réfraction

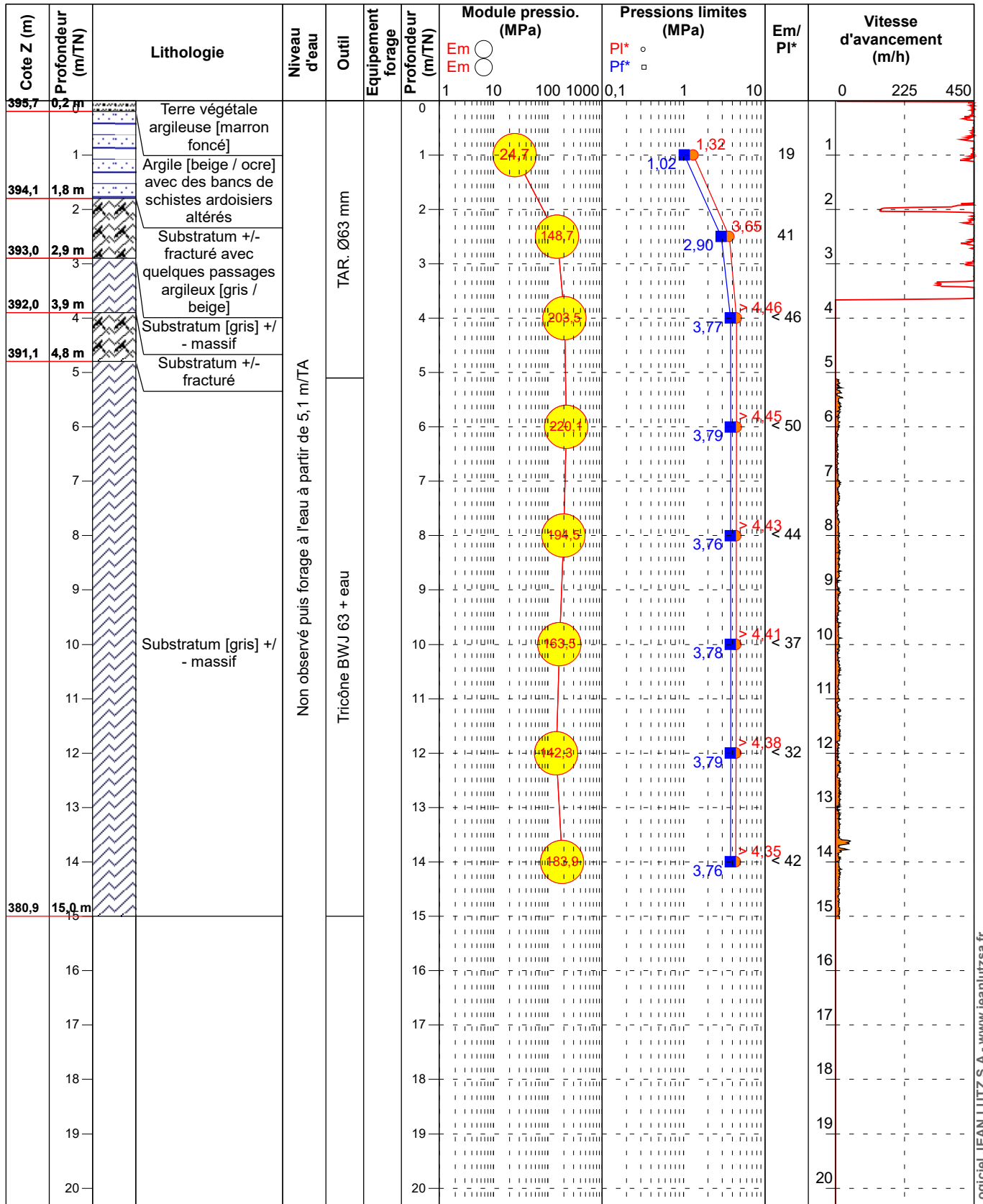


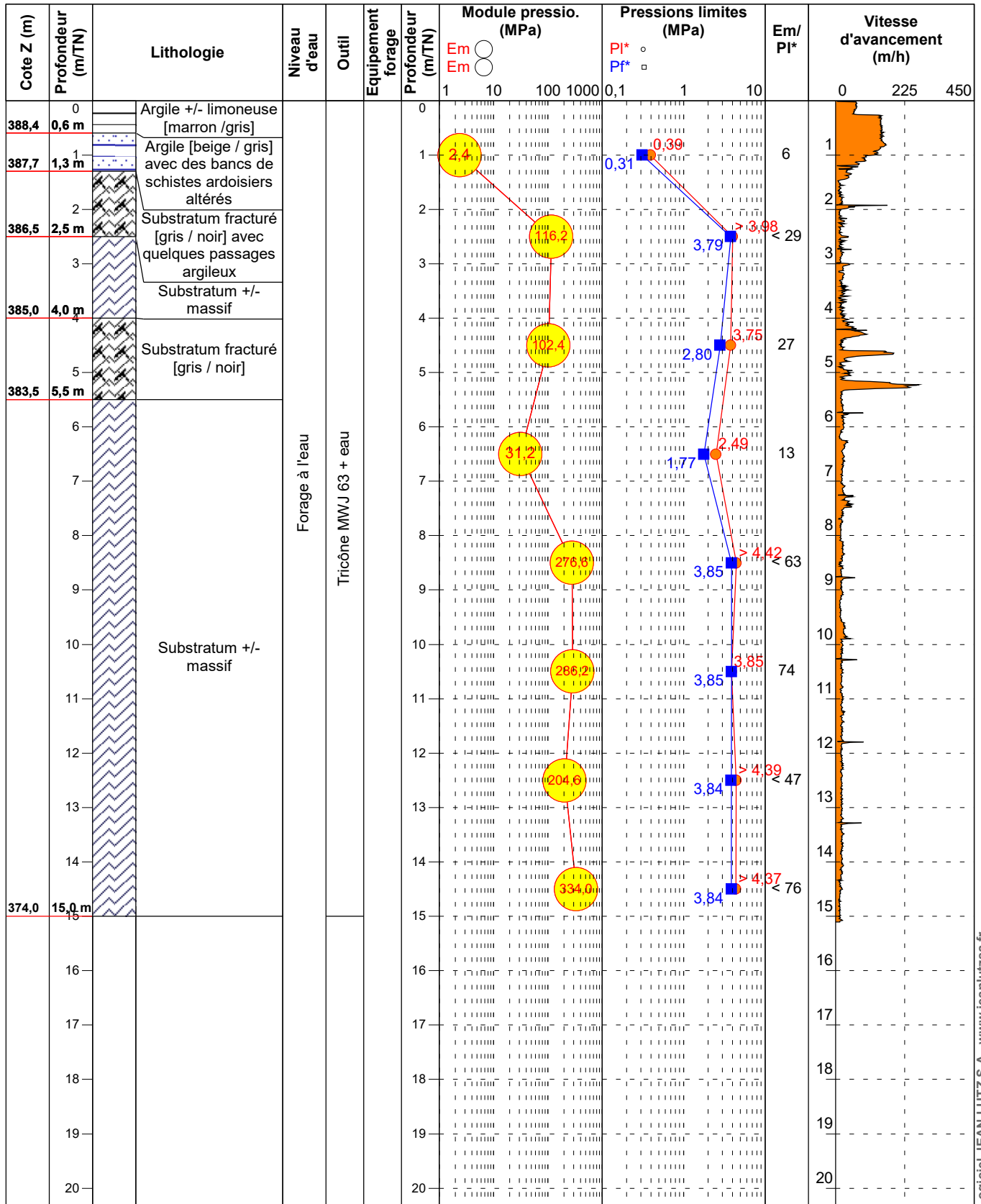


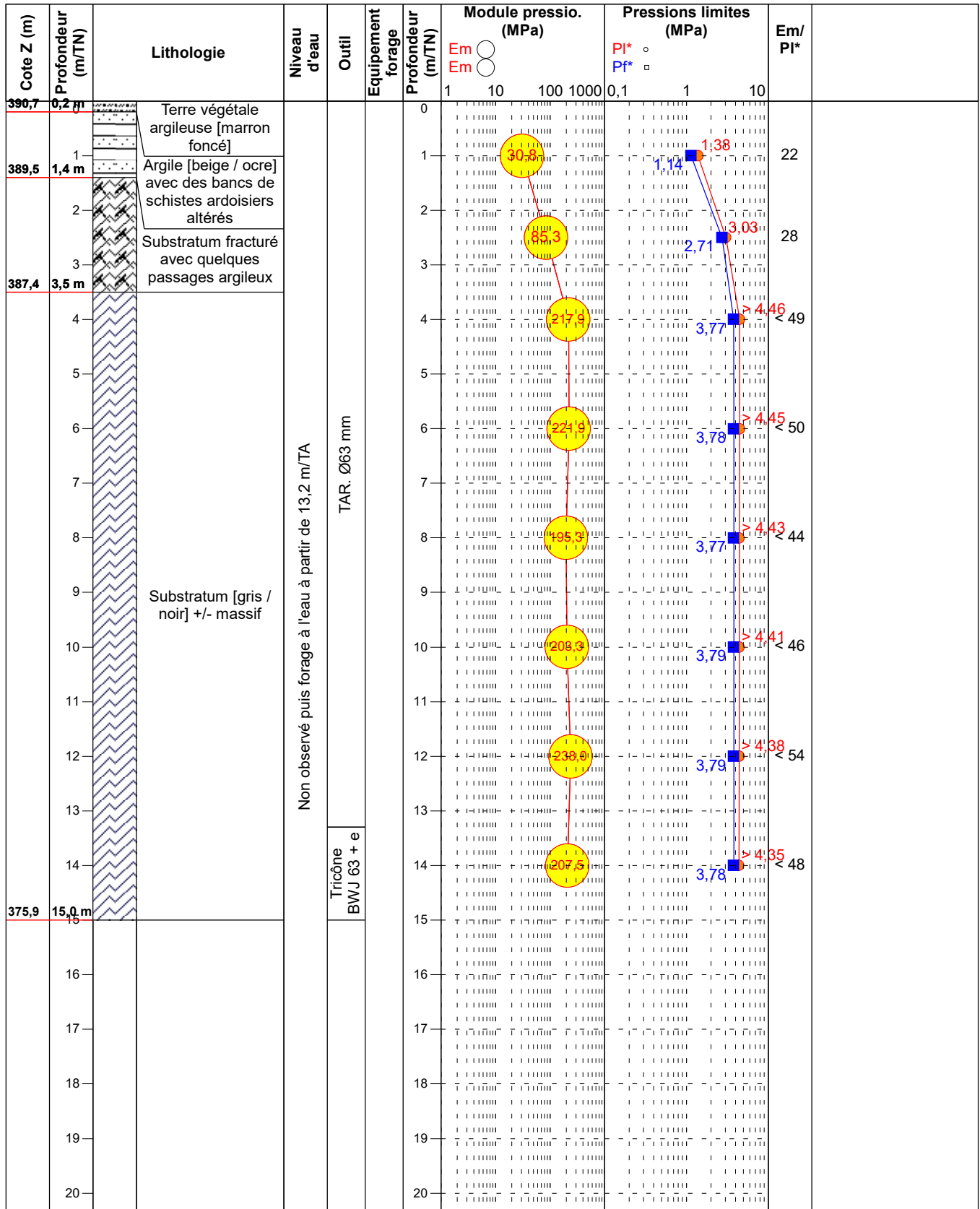


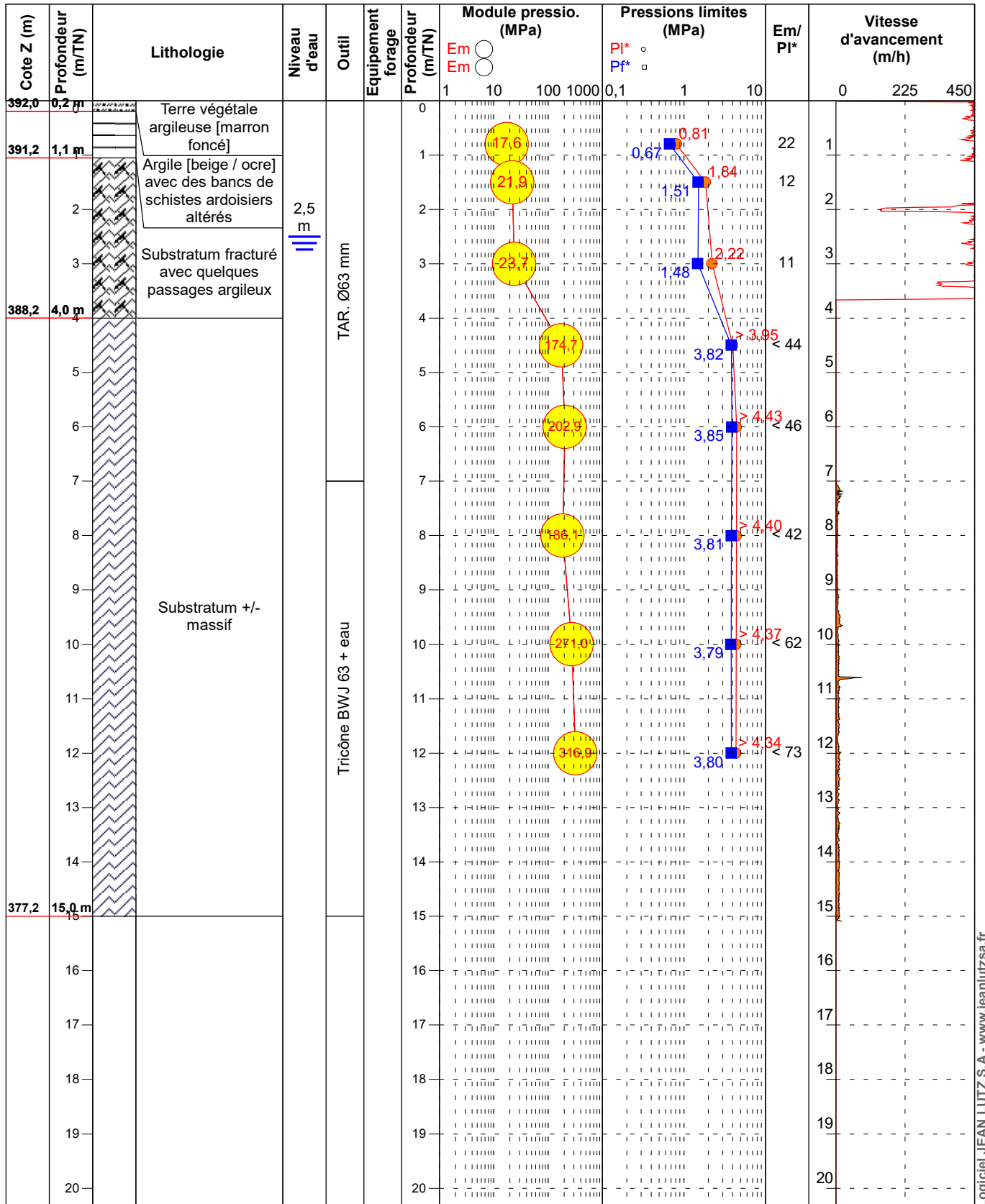


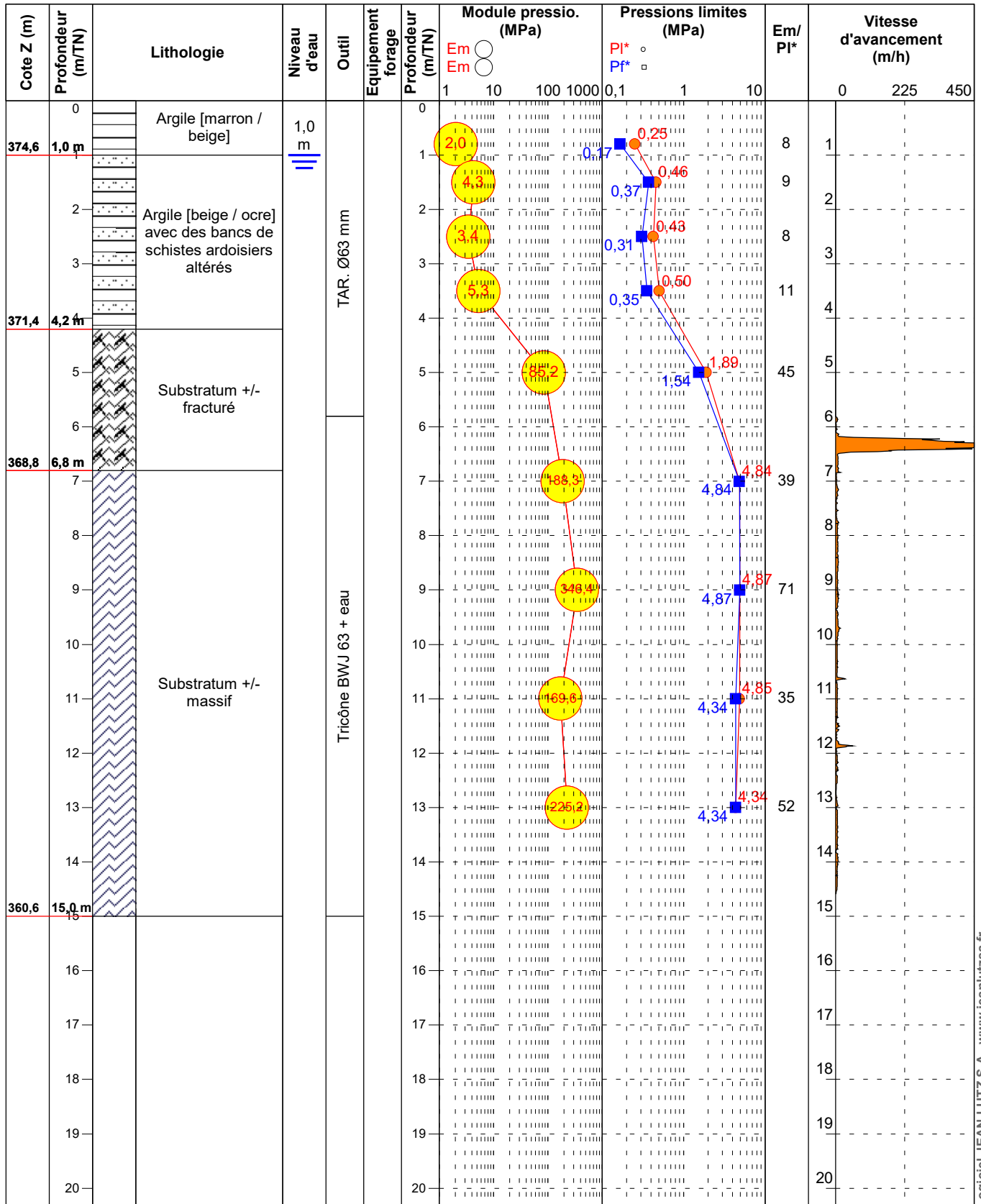


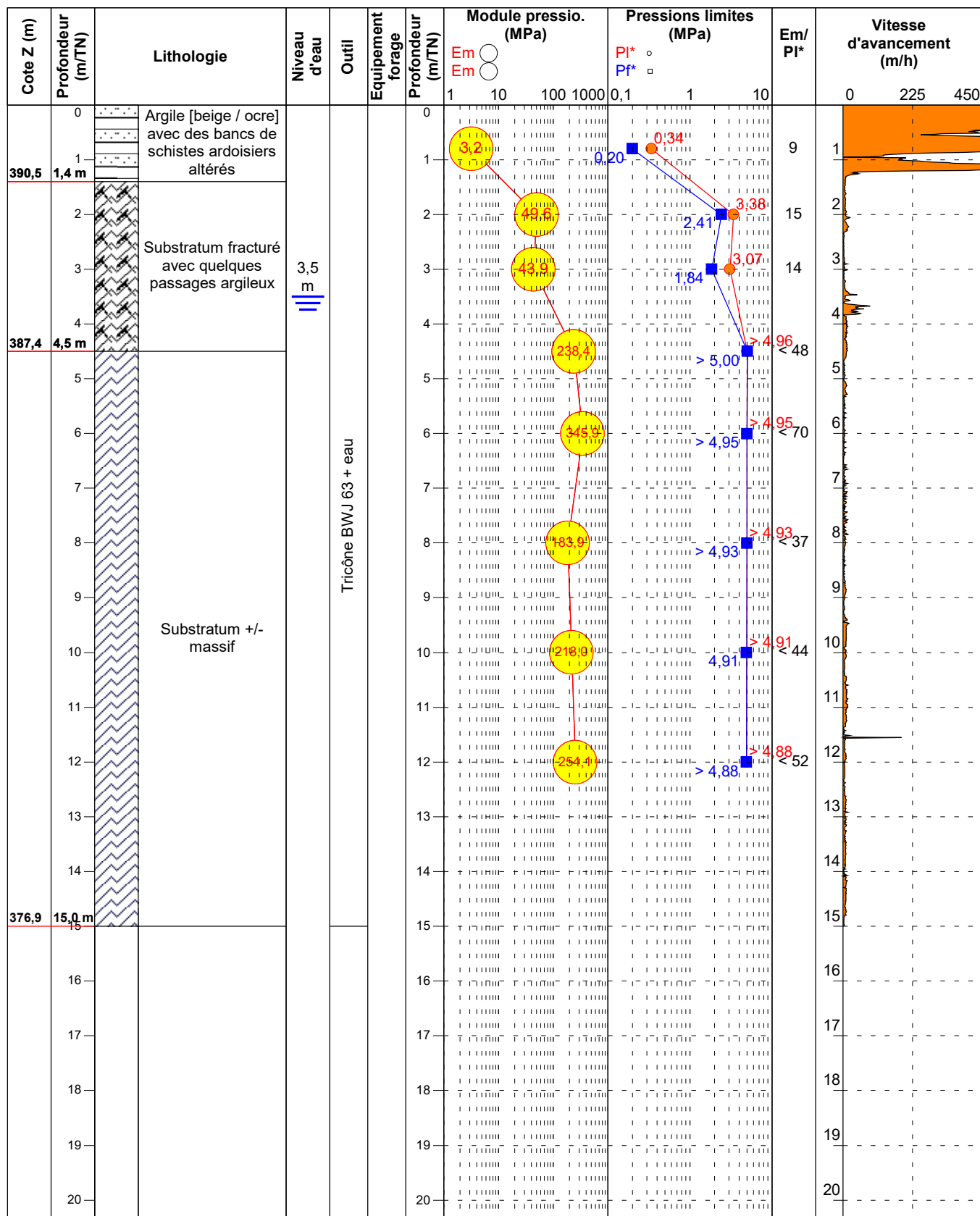


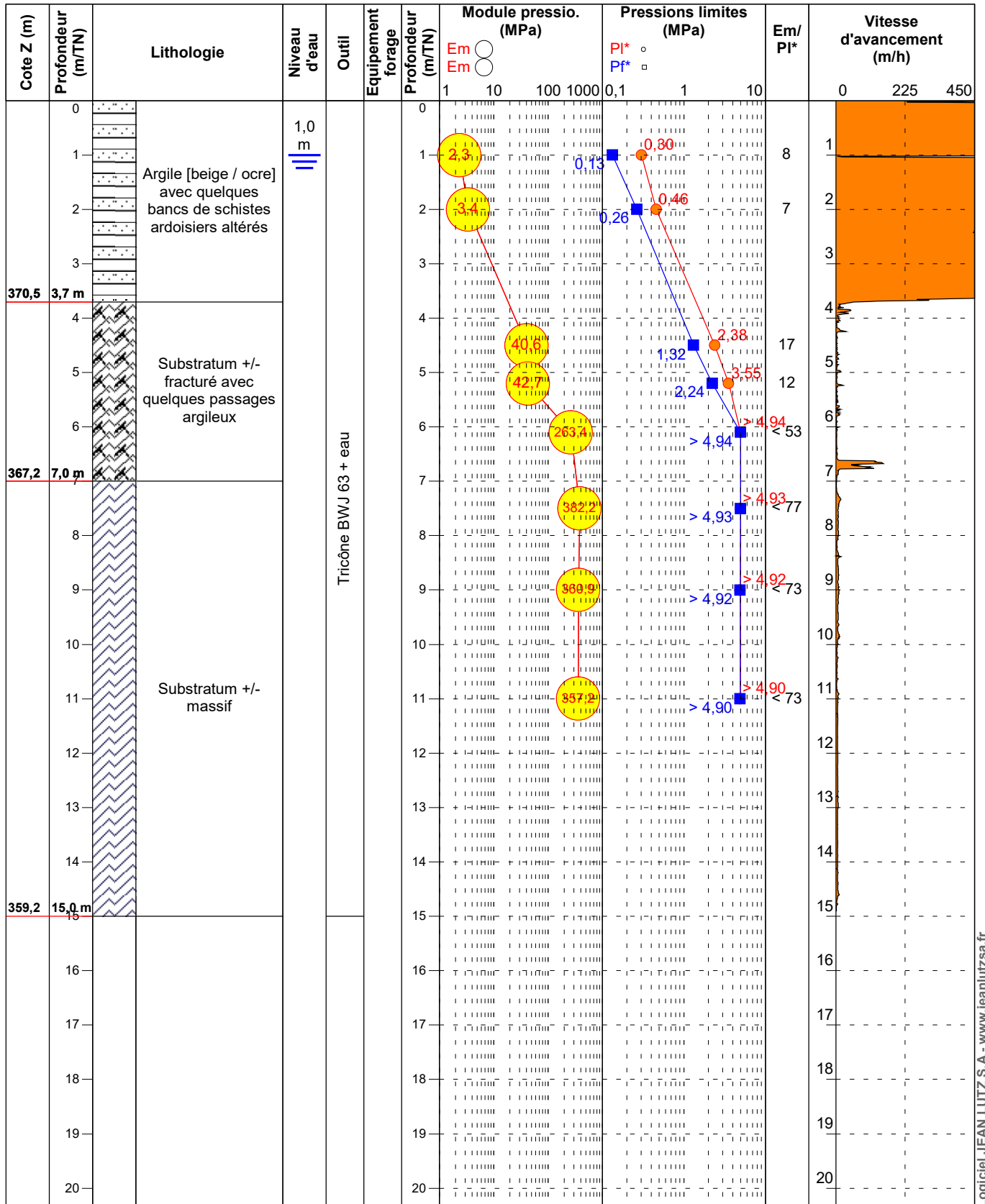


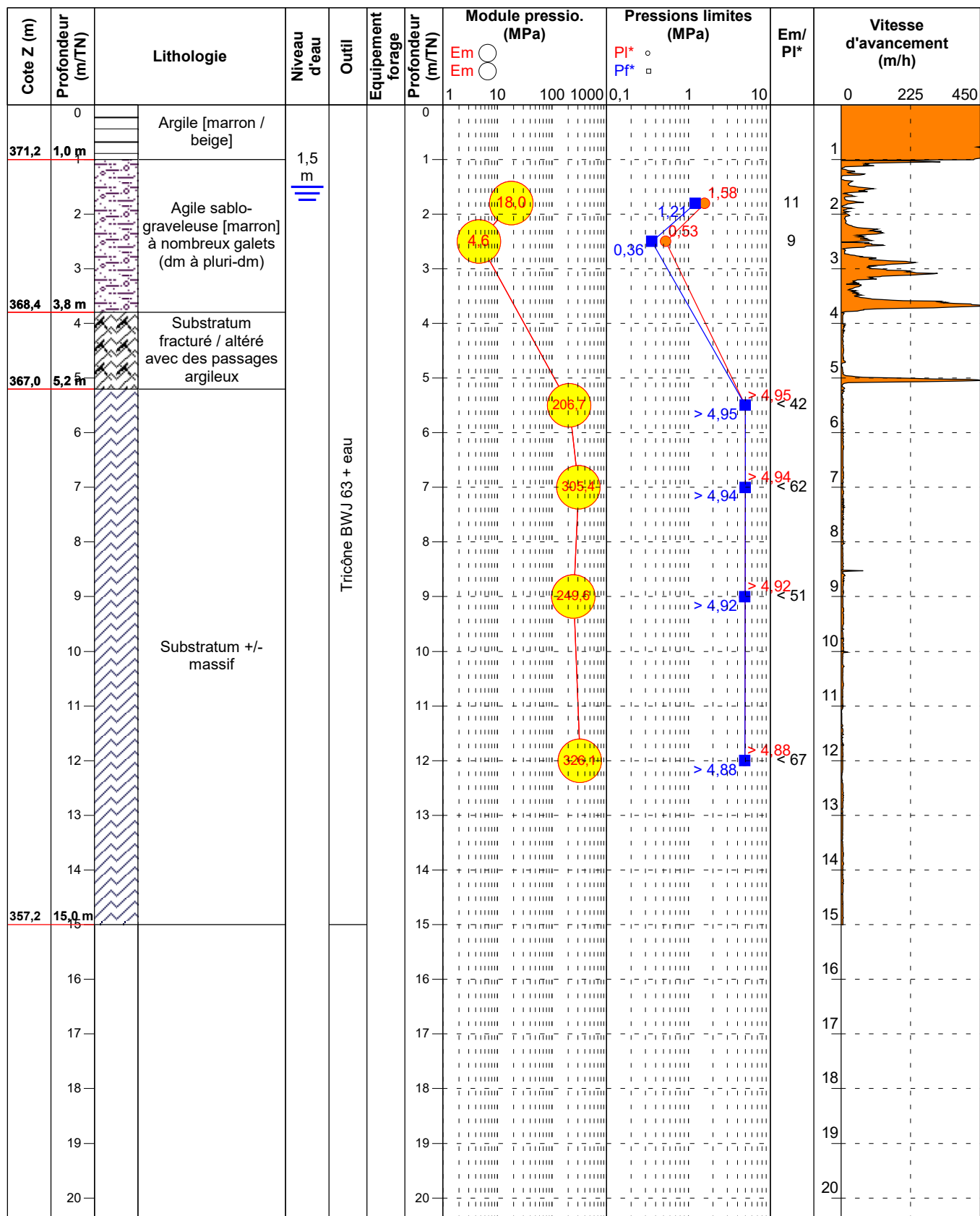


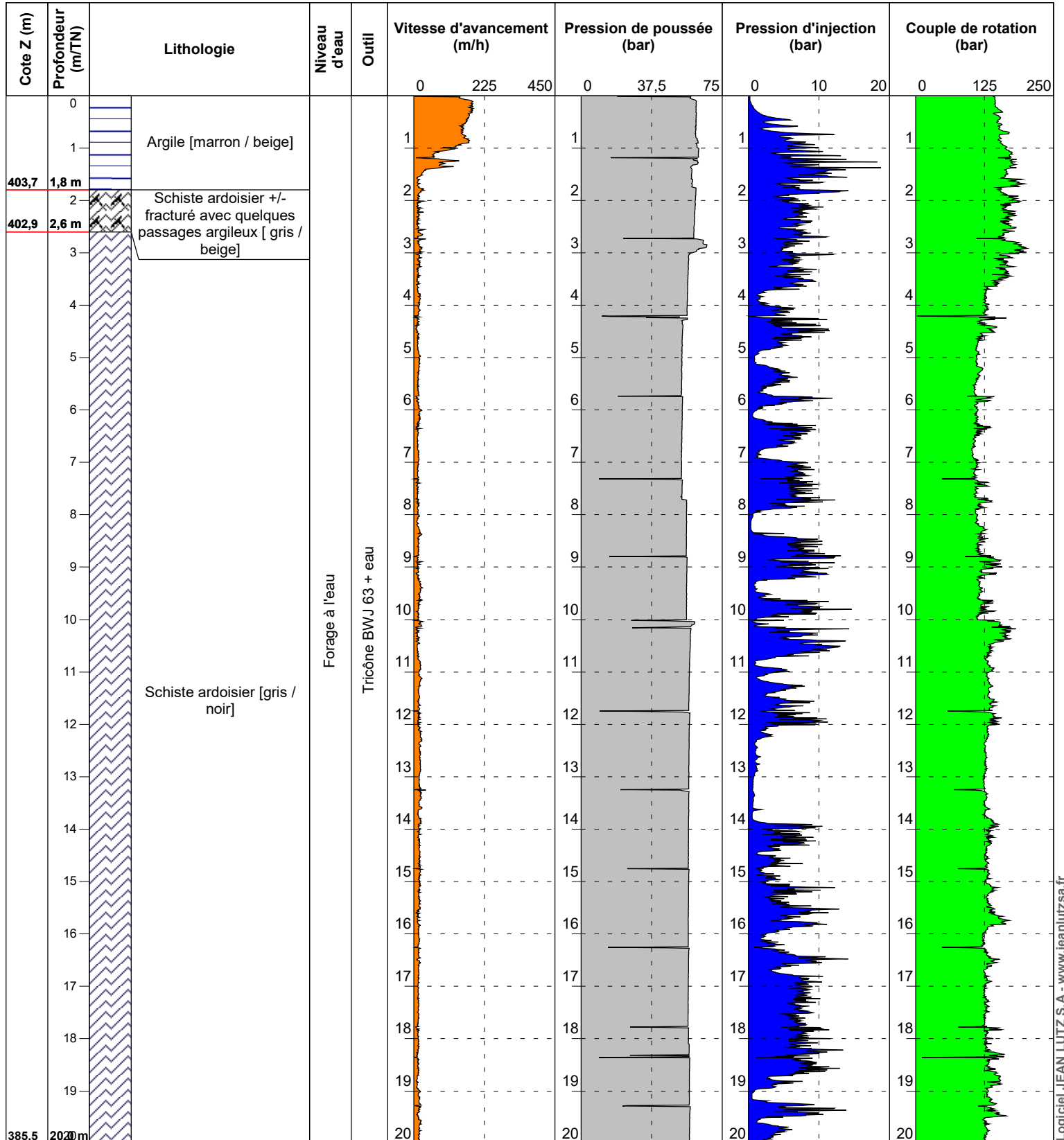


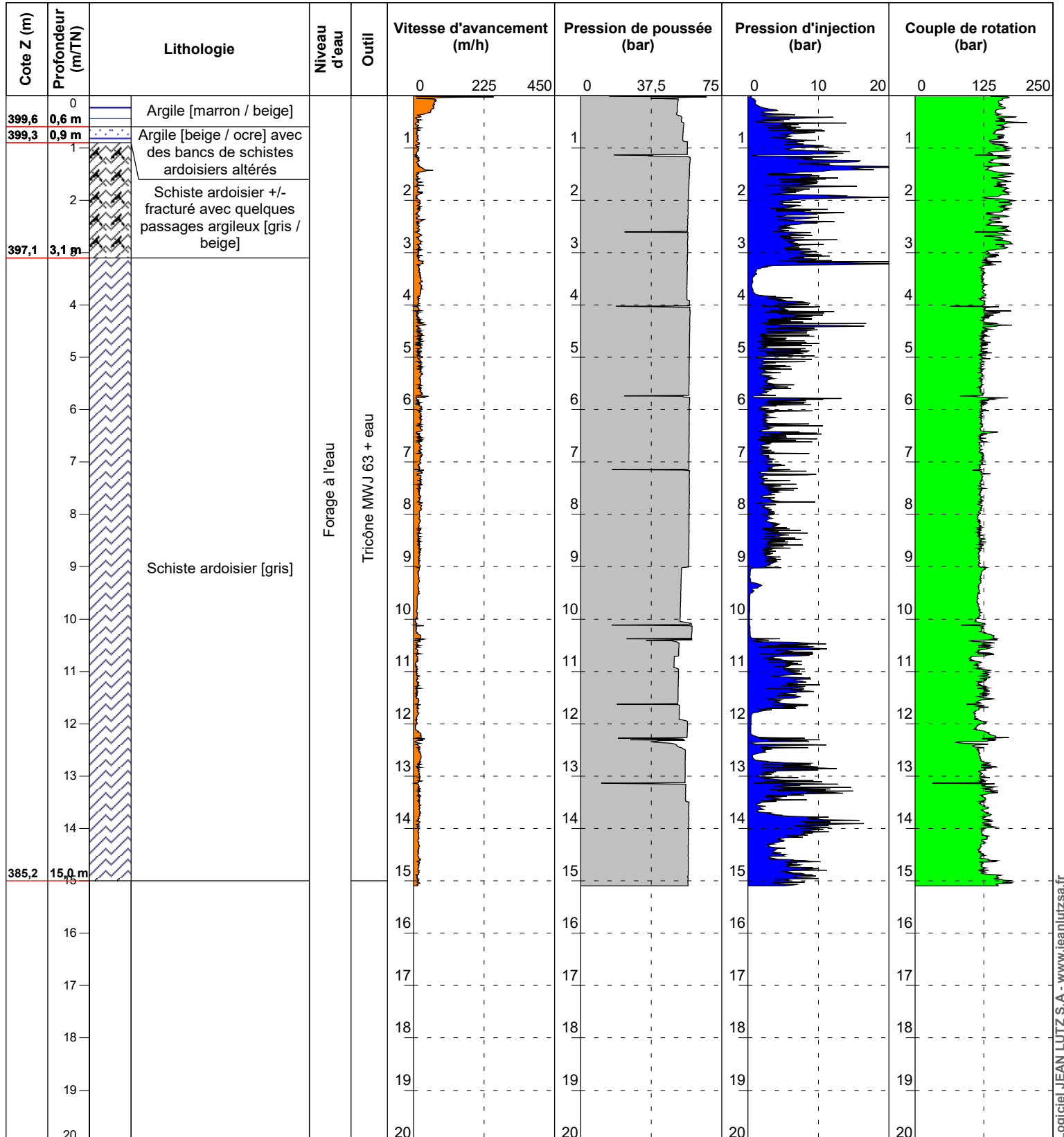


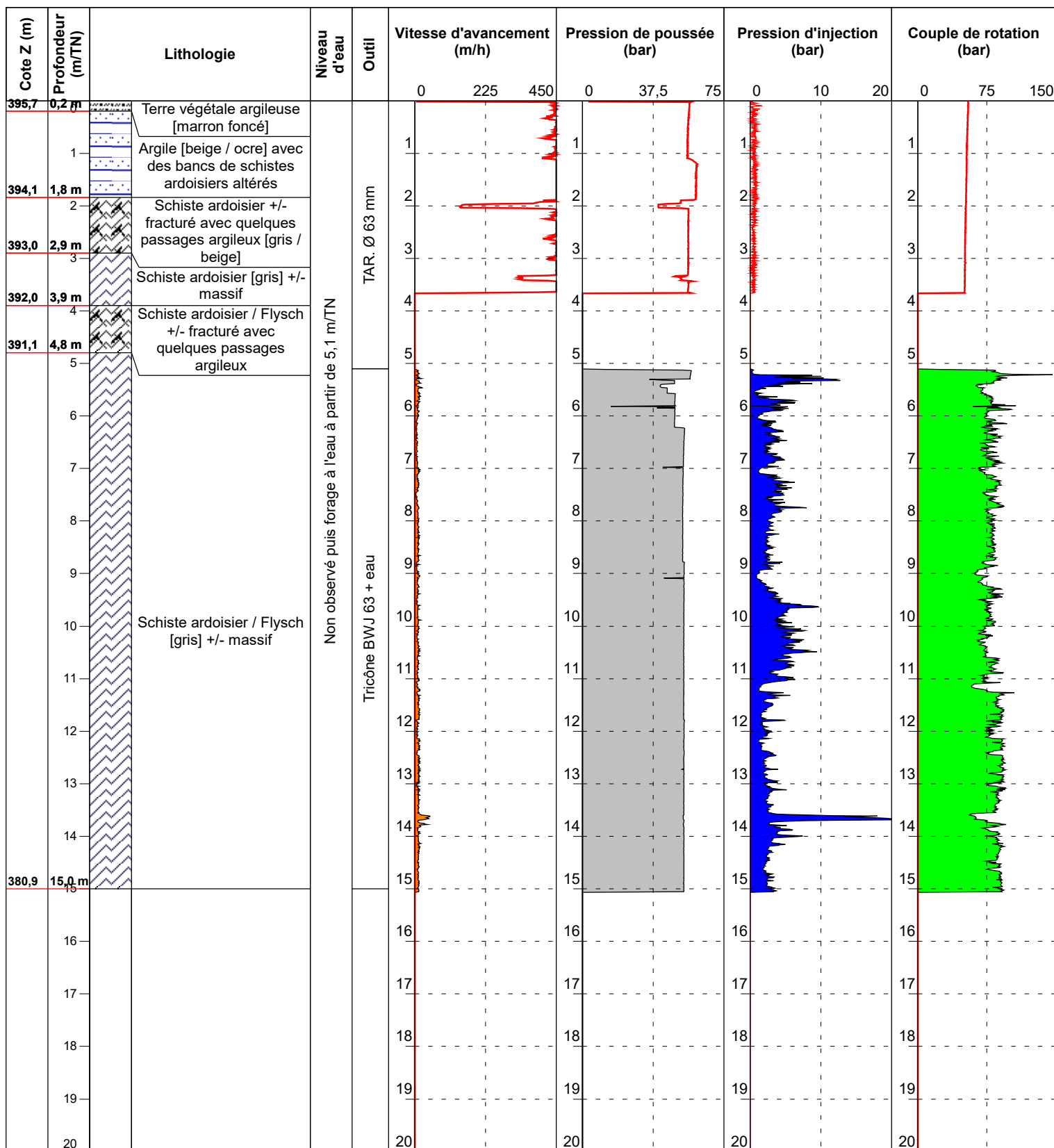


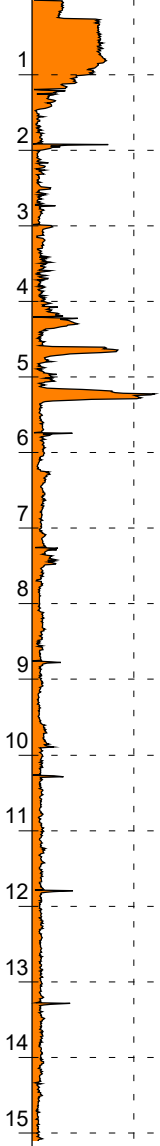
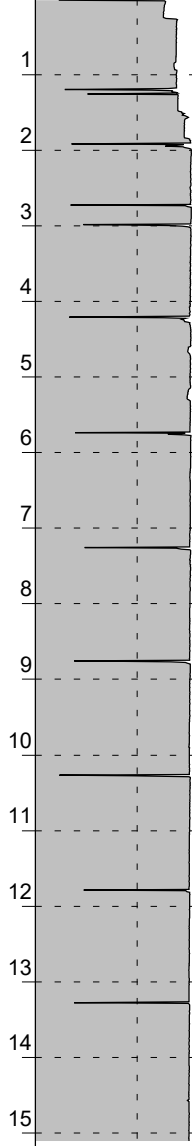
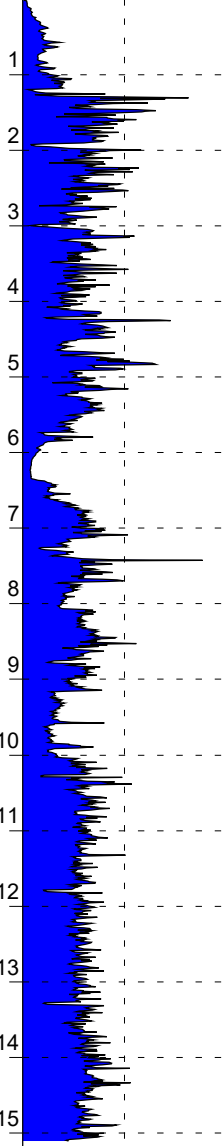
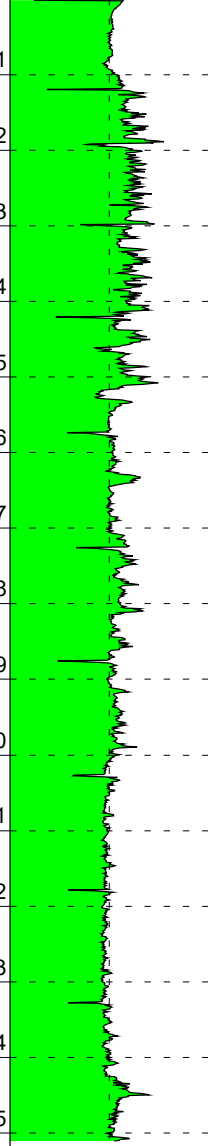


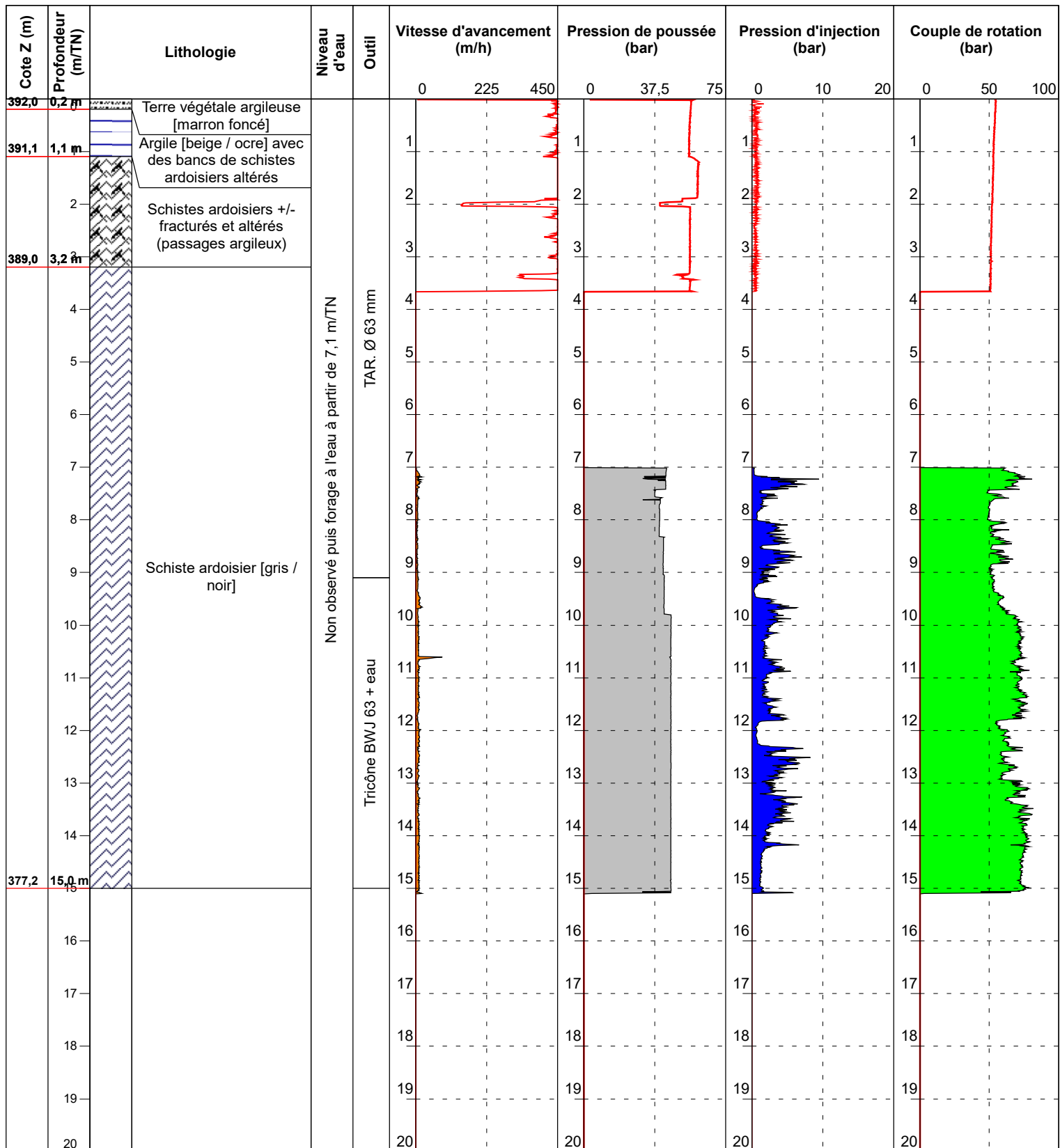








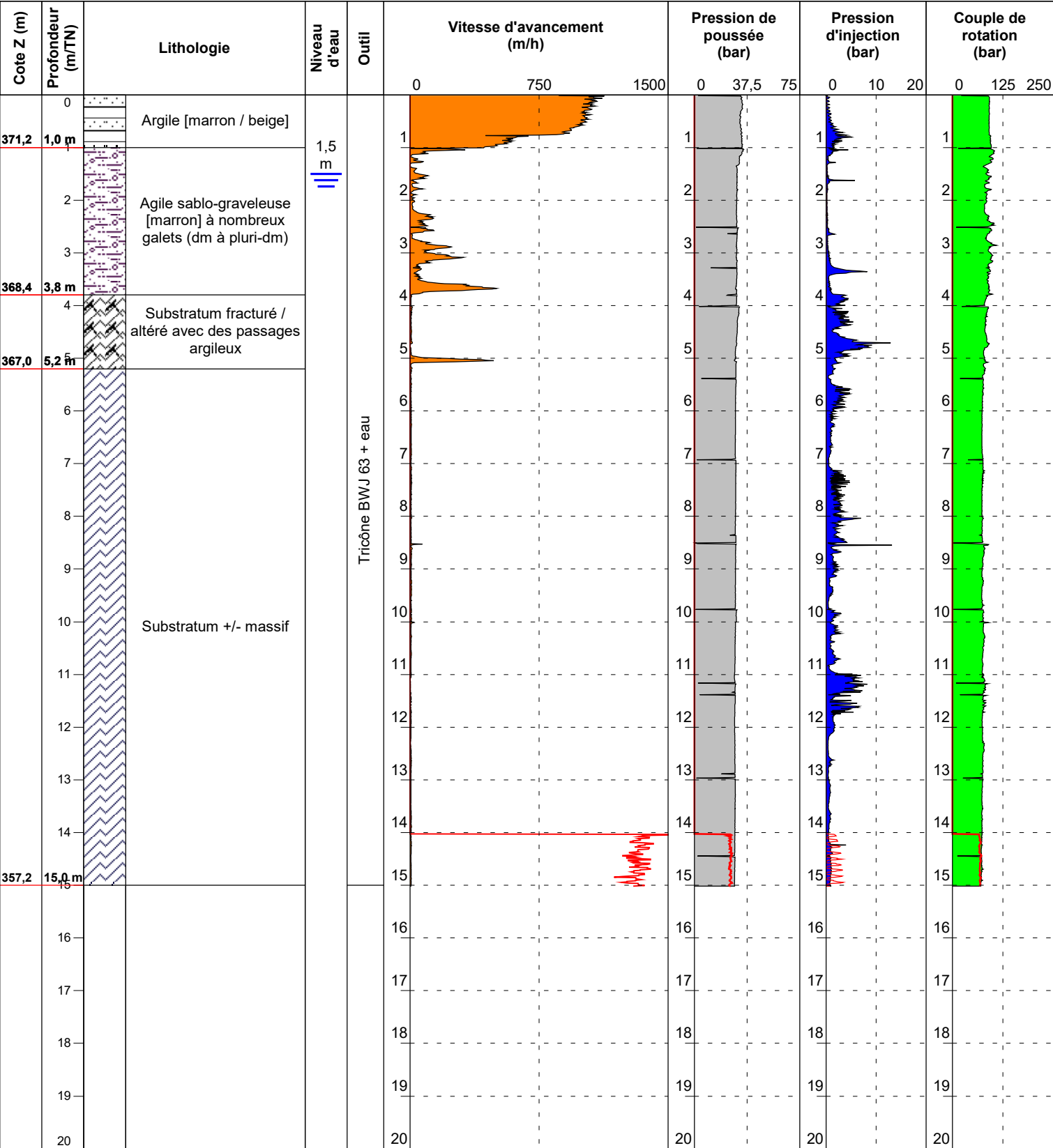
Cote Z (m)	Profondeur (m/TN)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Vitesse d'avancement (m/h)	Pression de poussée (bar)	Pression d'injection (bar)	Couple de rotation (bar)
					0 225 450	0 37,5 75	0 10 20	0 125 250
388,4	0,6 m	Argile +/- limoneuse [marron / gris]	Forage à l'eau	Tricône BWJ 63 + eau				
387,7	1,3 m	Argile [beige / gris] avec des bancs de schistes ardoisiers altérés			1	1	1	1
386,5	2,5 m	Substratum +/- fracturé [gris / noir] à quelques passages argileux			2	2	2	2
385,0	4,0 m	Substratum +/- massif [gris / noir]			3	3	3	3
383,6	5,4 m	Substratum fracturé + friable			4	4	4	4
					5	5	5	5
					6	6	6	6
					7	7	7	7
					8	8	8	8
					9	9	9	9
					10	10	10	10
					11	11	11	11
					12	12	12	12
					13	13	13	13
					14	14	14	14
374,0	15,0 m				15	15	15	15
					16	16	16	16
					17	17	17	17
					18	18	18	18
					19	19	19	19
					20	20	20	20



Cote Z (m)	Profondeur (m/TN)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Vitesse d'avancement (m/h)			Pression de poussée (bar)			Pression d'injection (bar)			Couple de rotation (bar)		
					0	750	1500	0	37,5	75	0	10	20	0	125	250
	0															
374,6	1,0 m	Argile [marron / beige]	1,0 m	TAR. Ø63 mm	1			1			1			1		
					2			2			2			2		
	2	Argile [beige / ocre] avec des bancs de schistes ardoisiers altérés			3			3			3			3		
	3				4			4			4			4		
371,4	4,2 m				5			5			5			5		
	5	Substratum fracturé avec quelques passages argileux		Tricône BWJ 63 + eau	6			6			6			6		
369,1	6,5 m				7			7			7			7		
	8	Substratum +/- massif			8			8			8			8		
	9				9			9			9			9		
	10				10			10			10			10		
	11				11			11			11			11		
	12				12			12			12			12		
	13				13			13			13			13		
	14				14			14			14			14		
360,6	15,0 m				15			15			15			15		
	16				16			16			16			16		
	17				17			17			17			17		
	18				18			18			18			18		
	19				19			19			19			19		
	20				20			20			20			20		

Cote Z (m)	Profondeur (m/TN)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Vitesse d'avancement (m/h)	Pression de poussée (bar)	Pression d'injection (bar)	Couple de rotation (bar)
					0 750 1500	0 37,5 75	0 10 20	0 125 250
390,5	0	Argile [beige / ocre] avec quelques bancs de schistes ardoisiers altérés	3,5 m	Tricône BWJ 63 + eau				
	1							
387,9	2				Substratum fracturé avec quelques passages argileux			
	3							
376,9	4	Substratum +/- massif						
	5							
	6							
	7							
	8							
	9							
	10							
	11							
	12							
	13							
	14							
	15							
	16							
	17							
	18							
	19							
20								

Cote Z (m)	Profondeur (m/TN)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Vitesse d'avancement (m/h)			Pression de poussée (bar)			Pression d'injection (bar)			Couple de rotation (bar)			
					0	750	1500	0	37,5	75	0	10	20	0	125	250	
	0	Argile [beige / ocre] avec quelques bancs de schistes ardoisiers altérés	1,0 m	Tricône BWJ 63 + eau													
	1				1			1			1			1			
	2				2			2			2			2			
	3				3			3			3			3			
370,5	3,7 m	Substratum fracturé avec quelques passages argileux			4			4			4			4			
	5				5			5			5			5			
	6				6			6			6			6			
367,4	6,8 m				7			7			7			7			
	8	8					8			8			8				
	9	9					9			9			9				
	10	Substratum +/- massif			10			10			10			10			
	11				11			11			11			11			
	12				12			12			12			12			
	13				13			13			13			13			
	14				14			14			14			14			
359,2	15,0 m				15			15			15			15			
	16						16			16			16				
	17						17			17			17				
	18						18			18			18				
	19						19			19			19				
	20						20			20			20				





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 401,75 m NGF

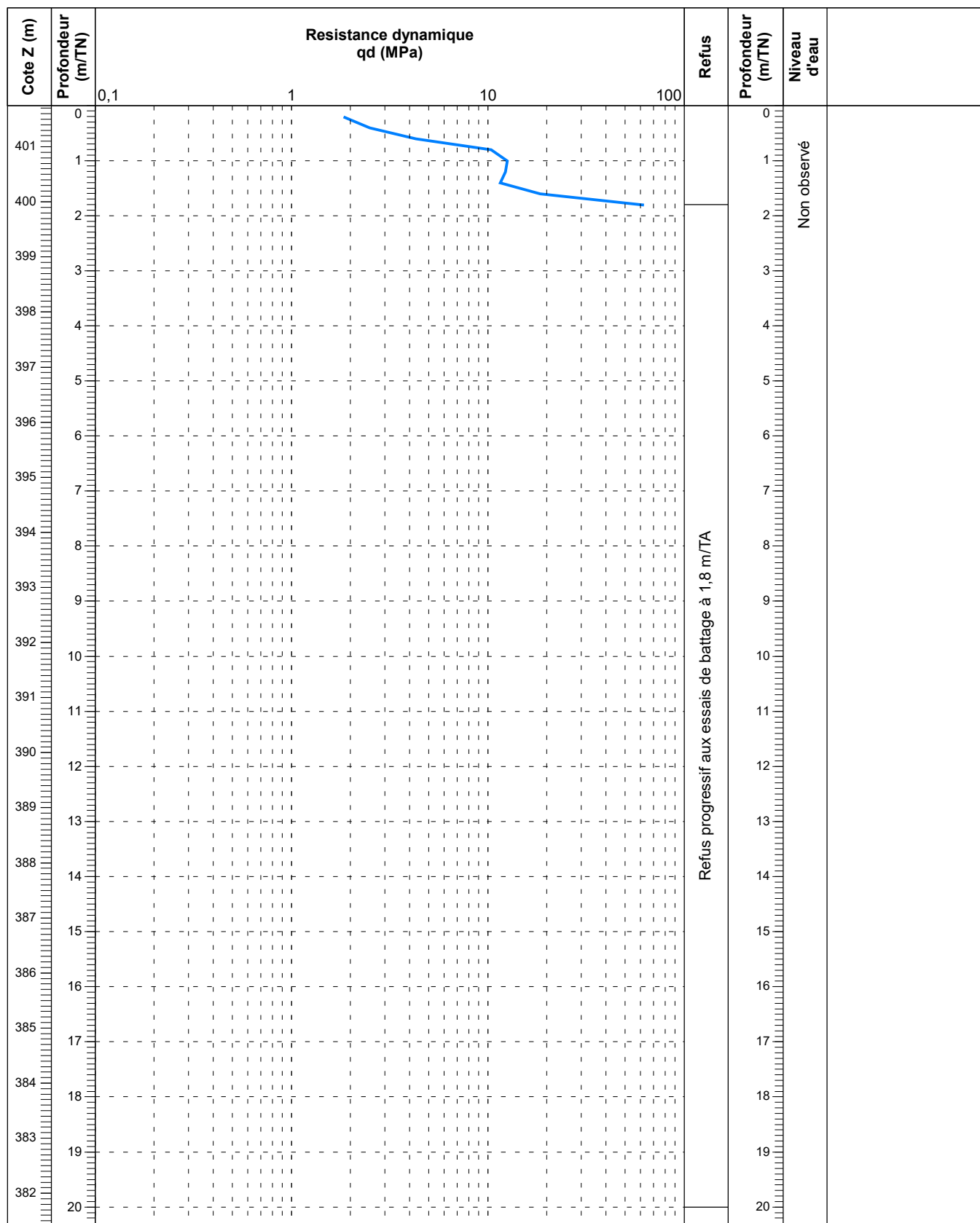
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P1

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 407,35 m NGF

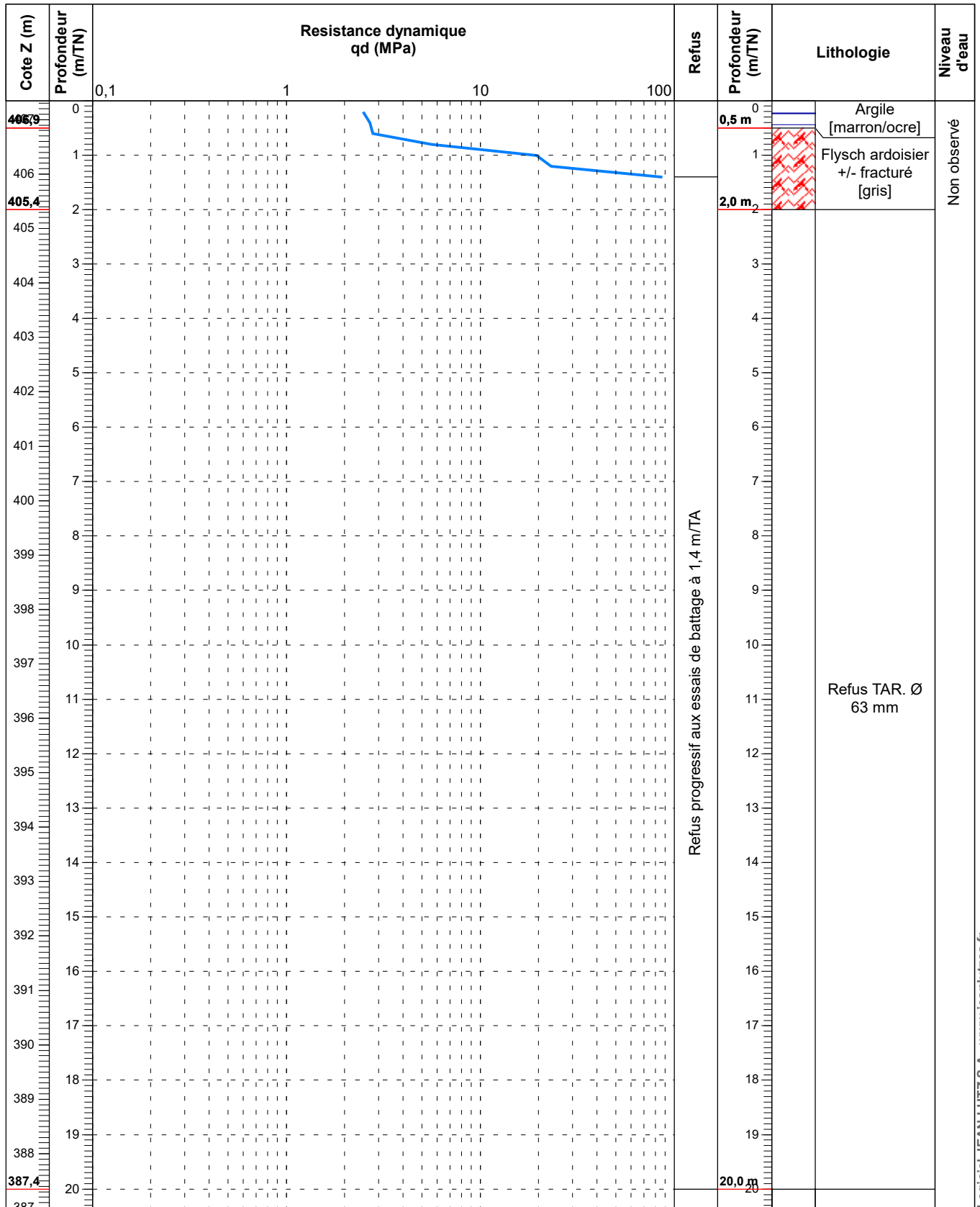
Type : Pénétromètre dynamique lourd + tarière

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P2 - ST2

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 14/11/2023

Cote Z : 406,50 m NGF

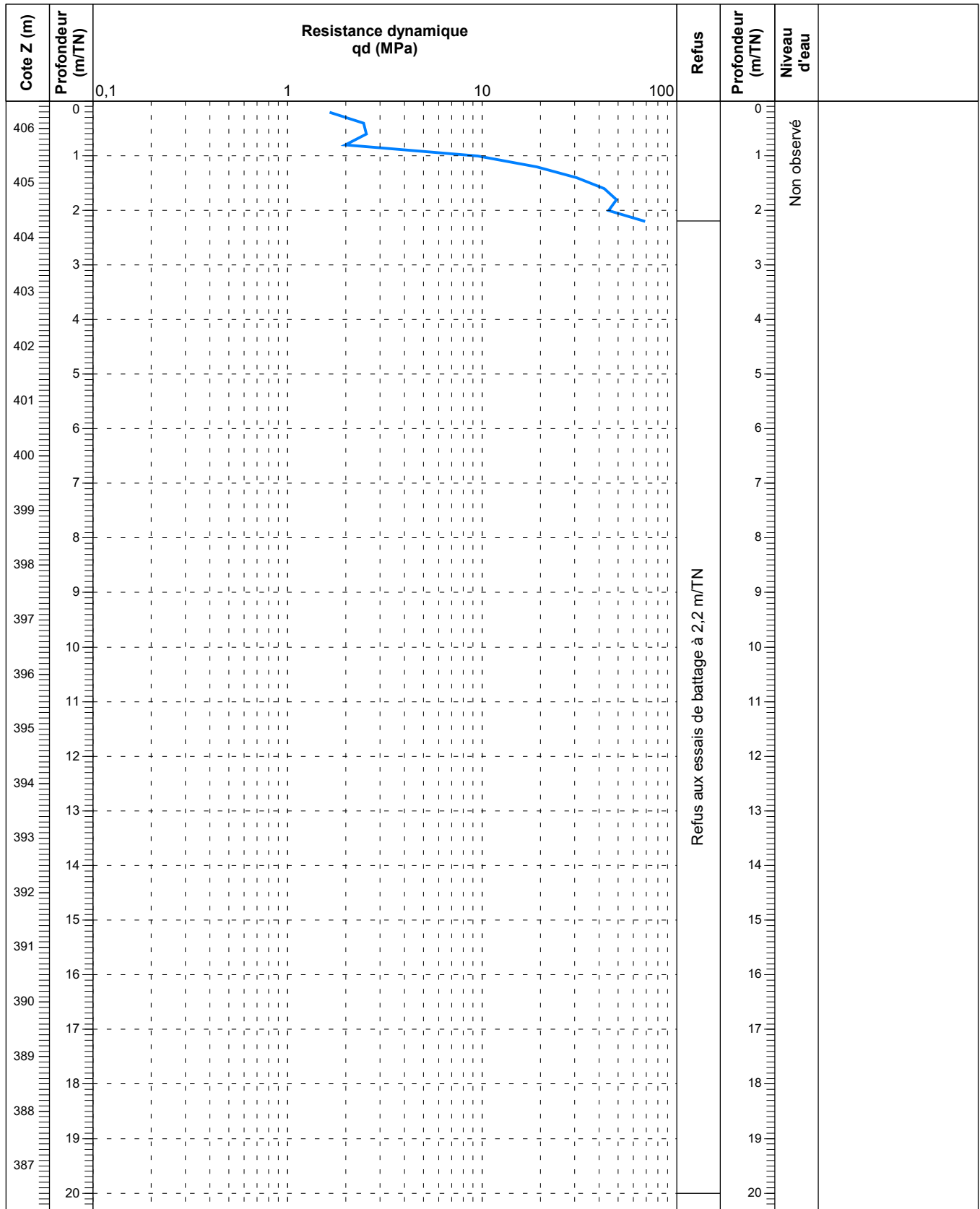
Type : Pénétromètre dynamique lourd

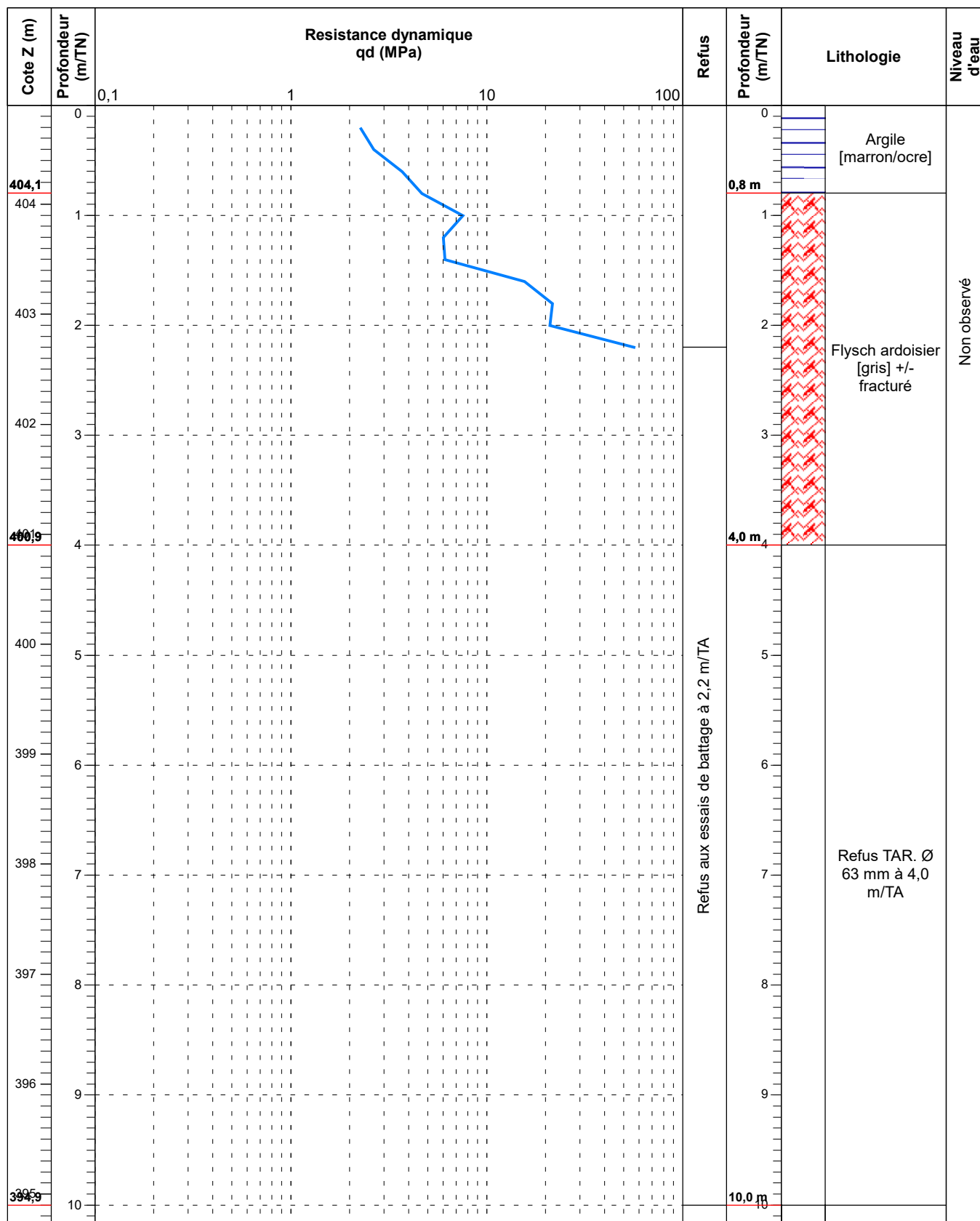
Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P3

EXGTE 3.23/GTE







Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 14/11/2023

Cote Z : 404,40 m NGF

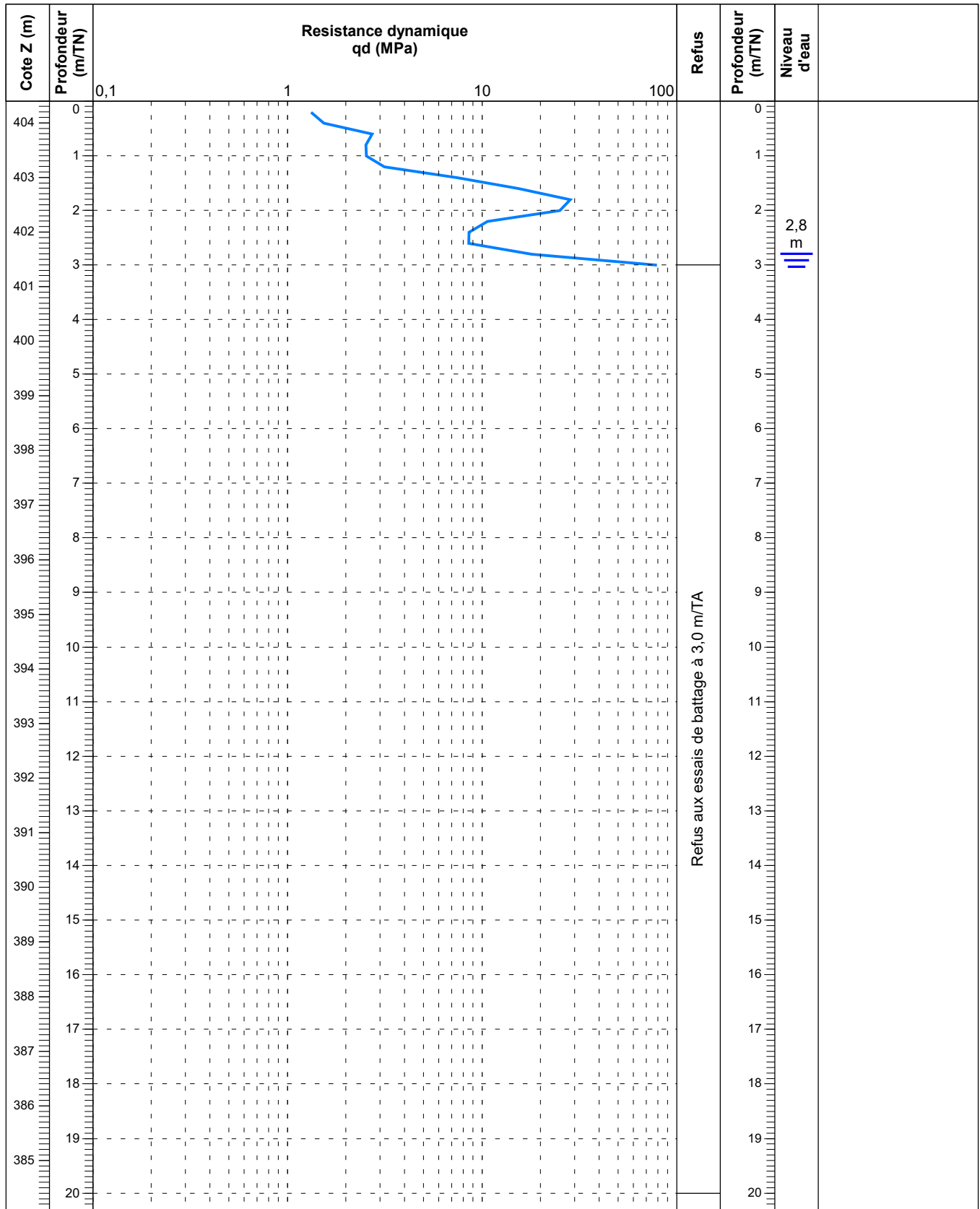
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P5

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 402,10 m NGF

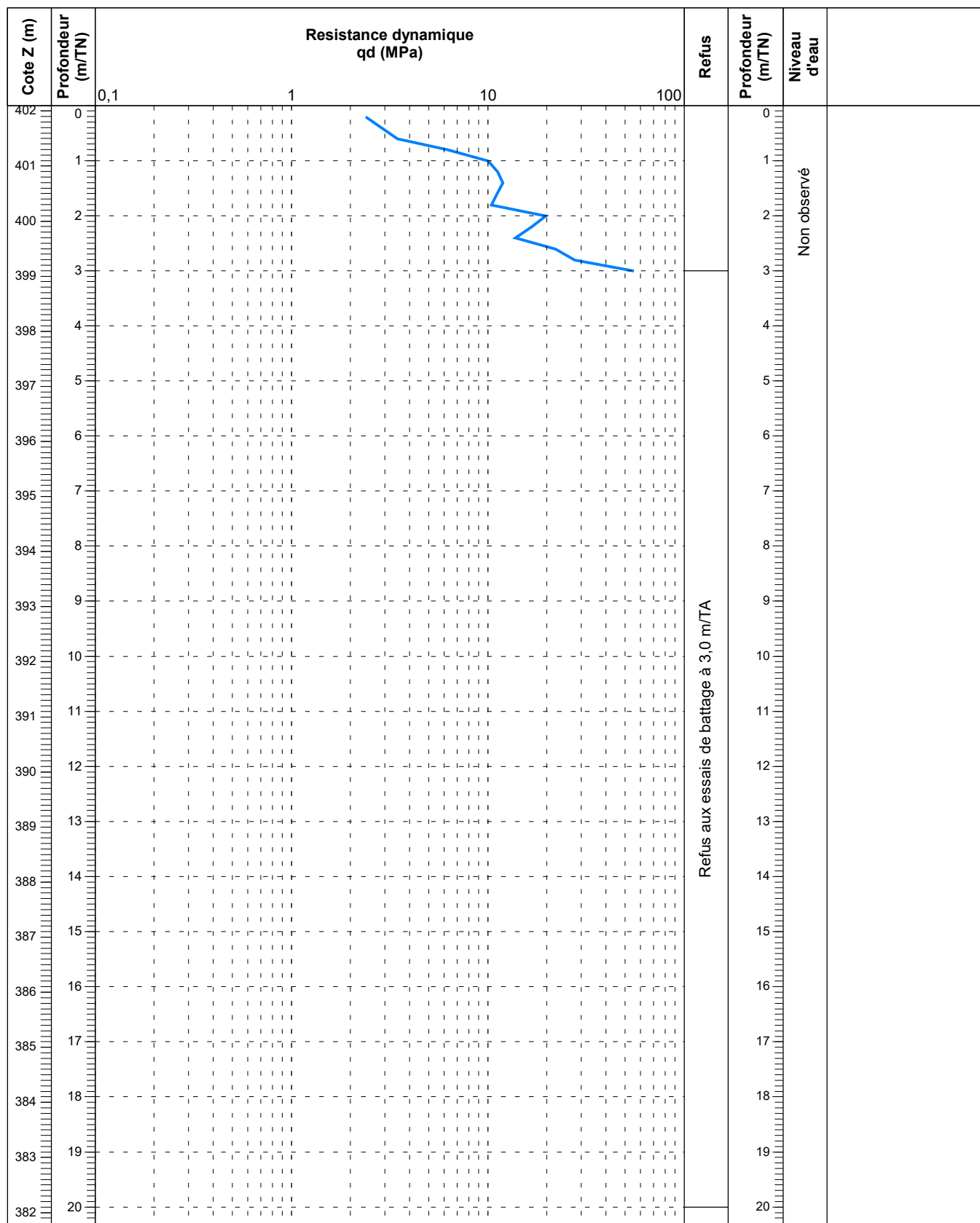
Type : Pénétromètre dynamique lourd

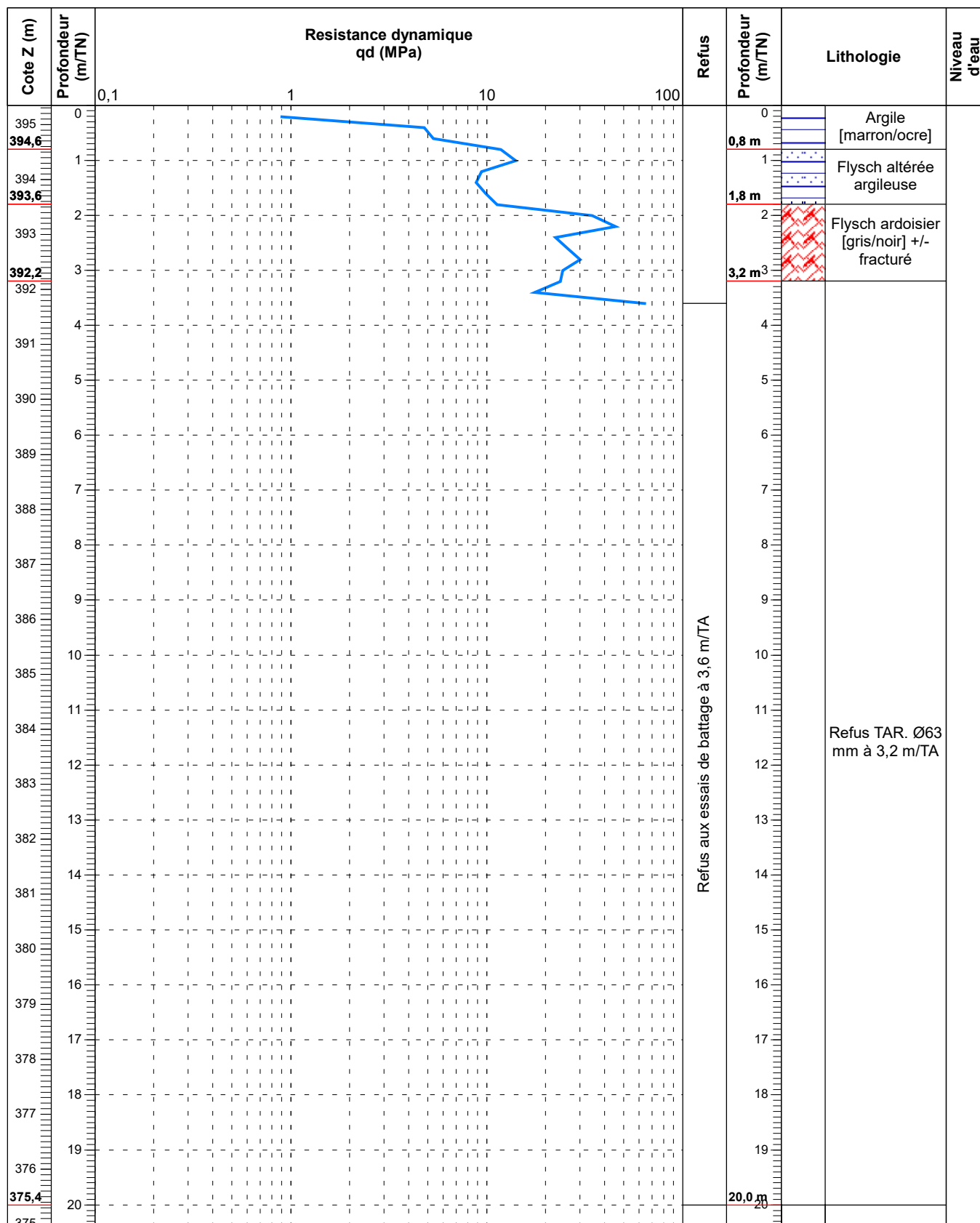
Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P6

EXGTE 3.23/GTE







Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 396,10 m NGF

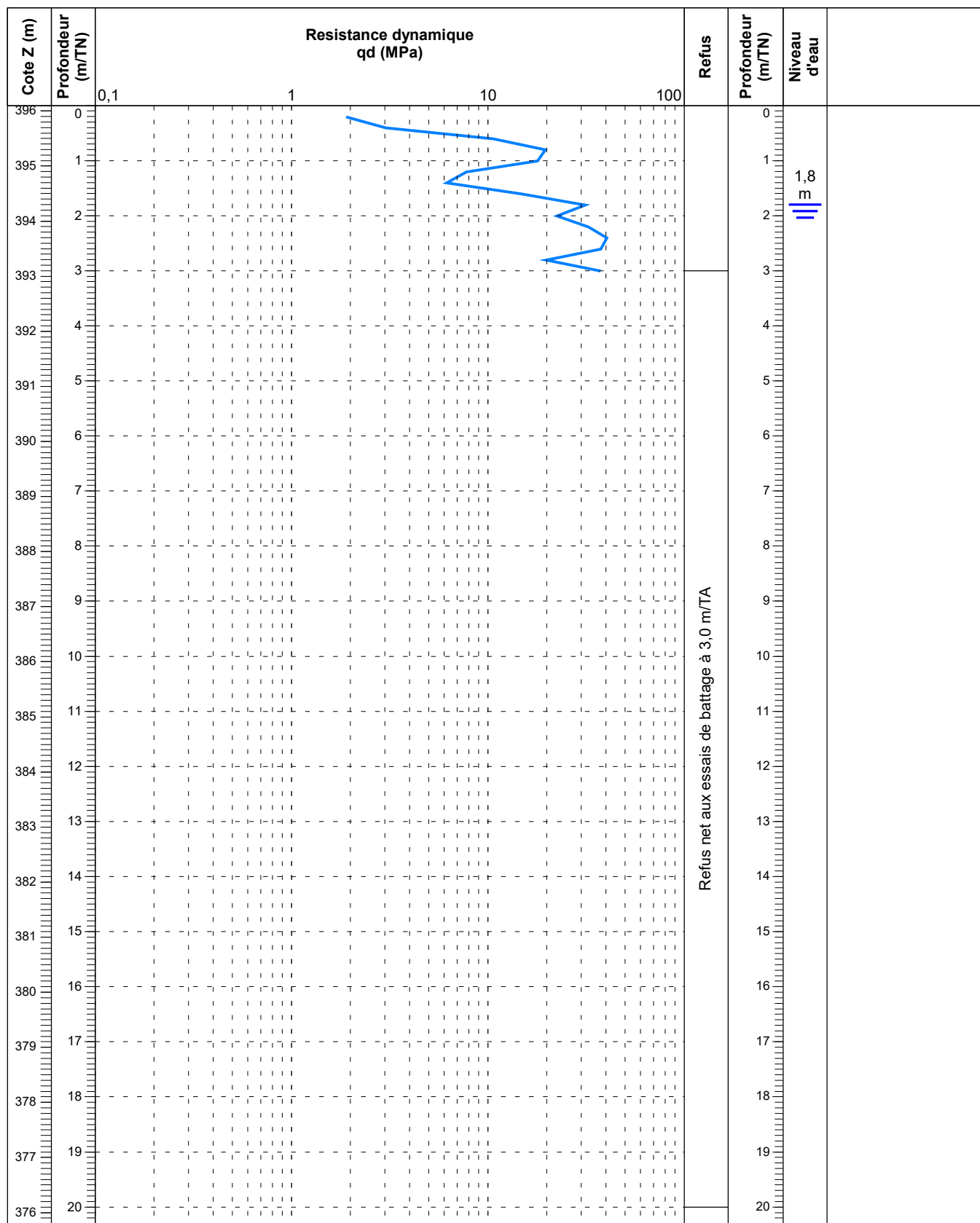
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P8

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 391,90 m NGF

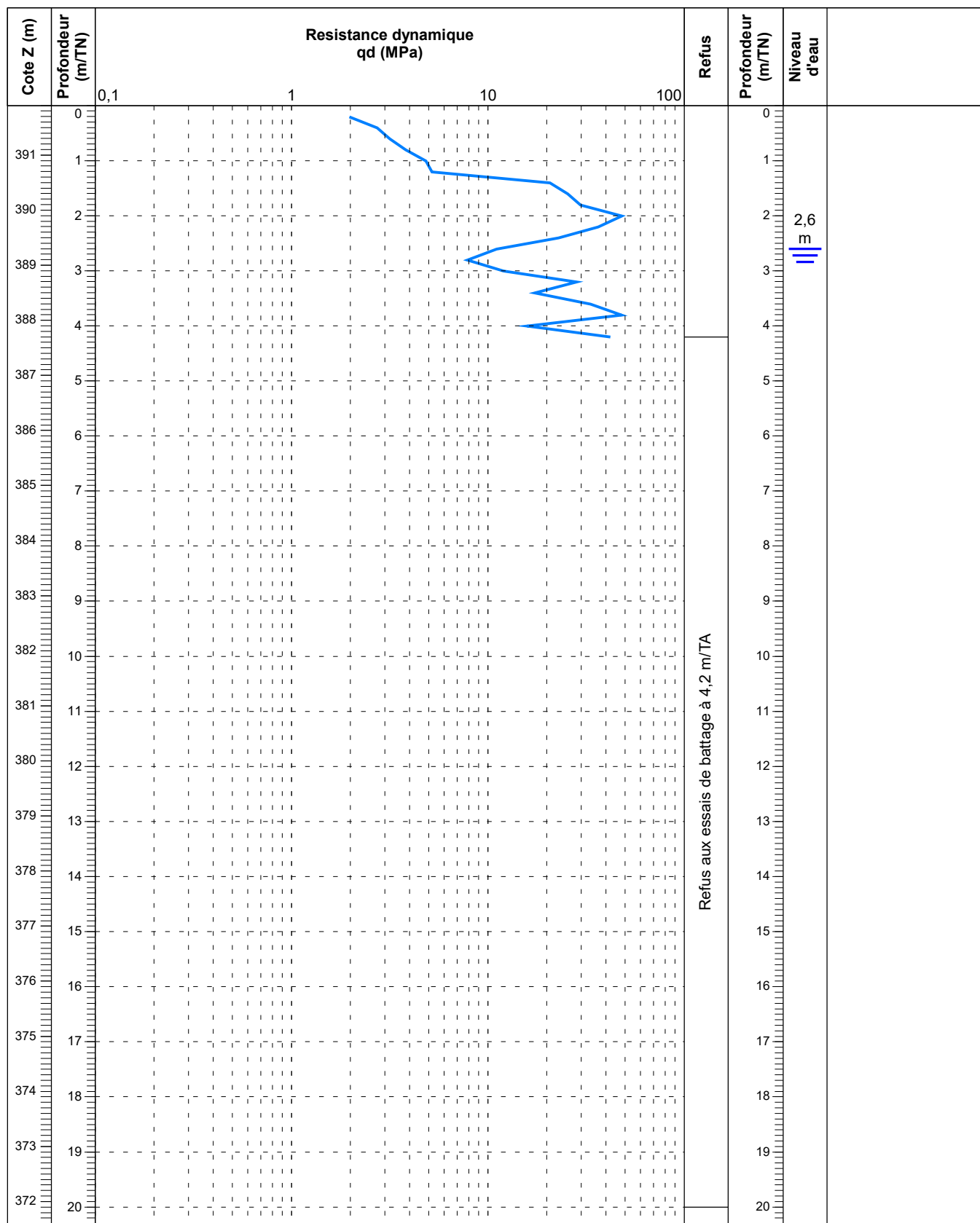
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P9

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 393,45 m NGF

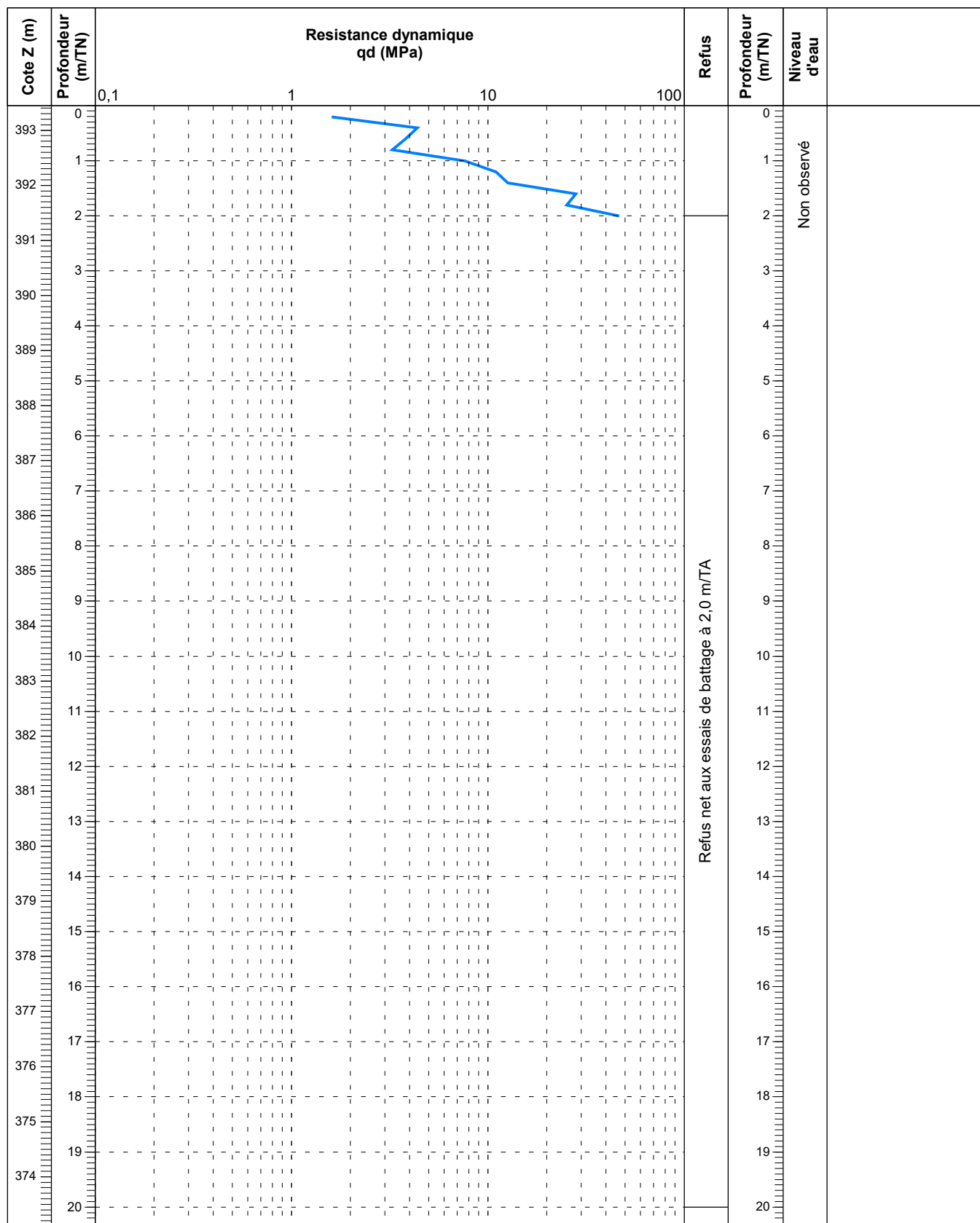
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P10

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 397,85 m NGF

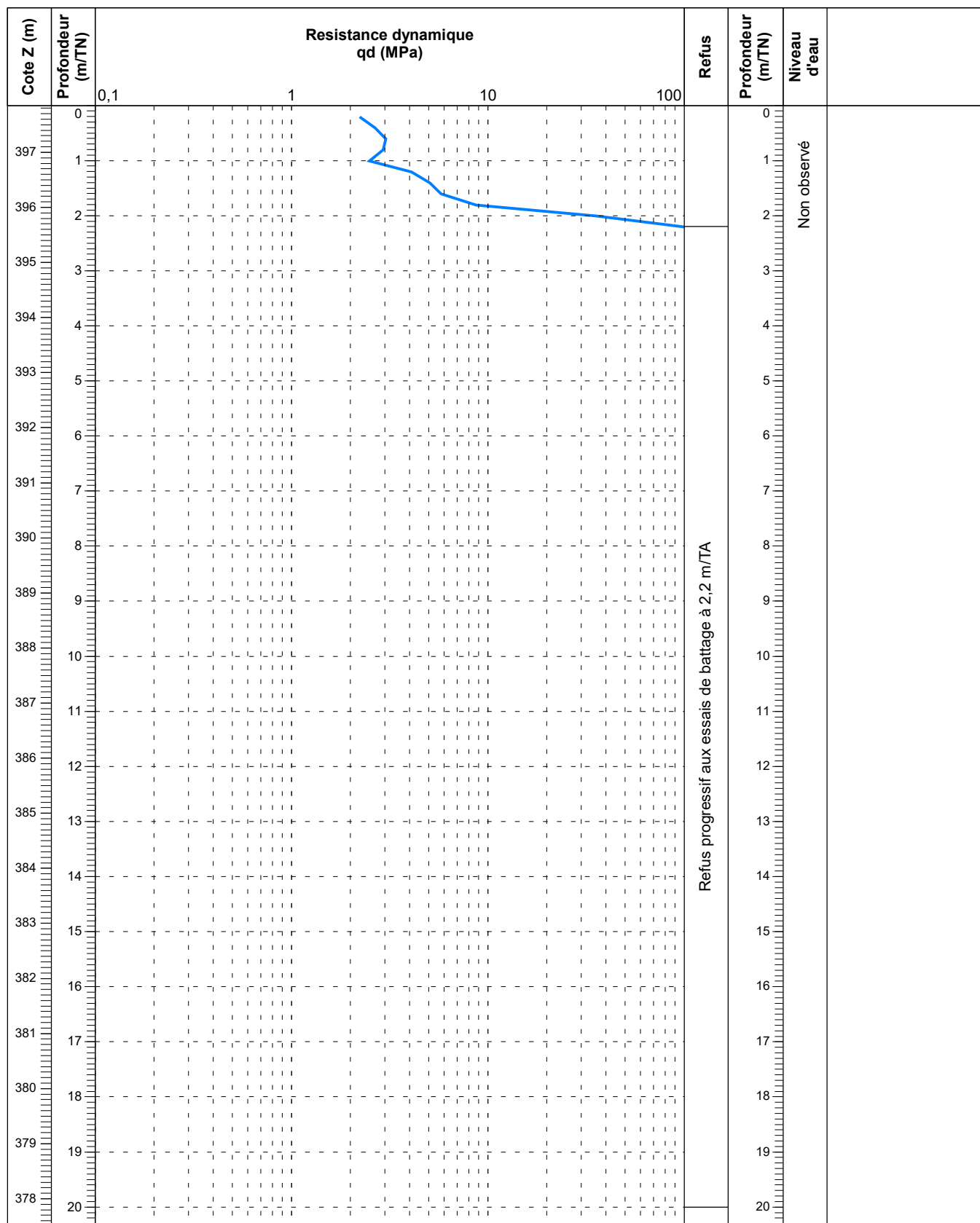
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P11

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 396,90 m NGF

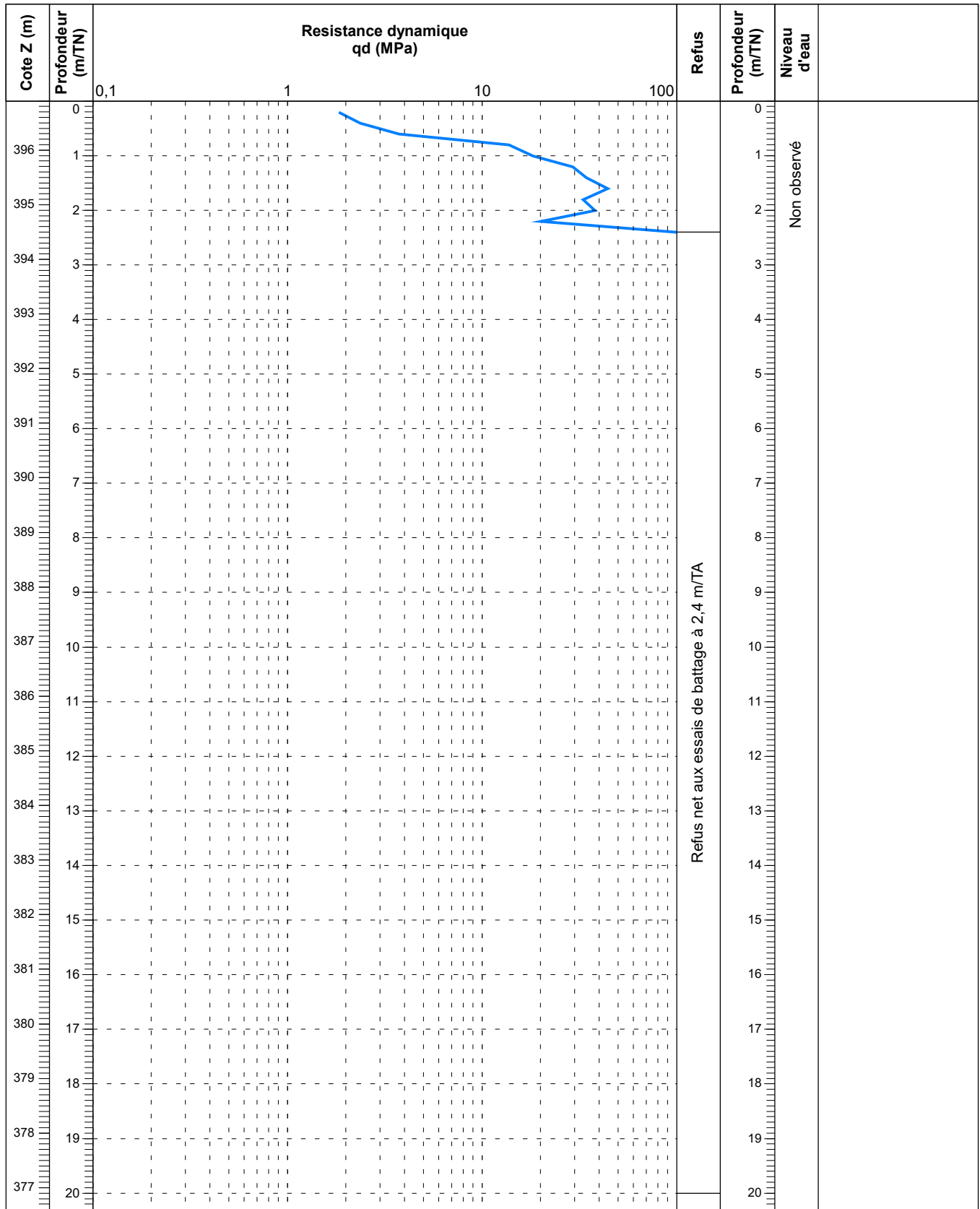
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P12

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 394,25 m NGF

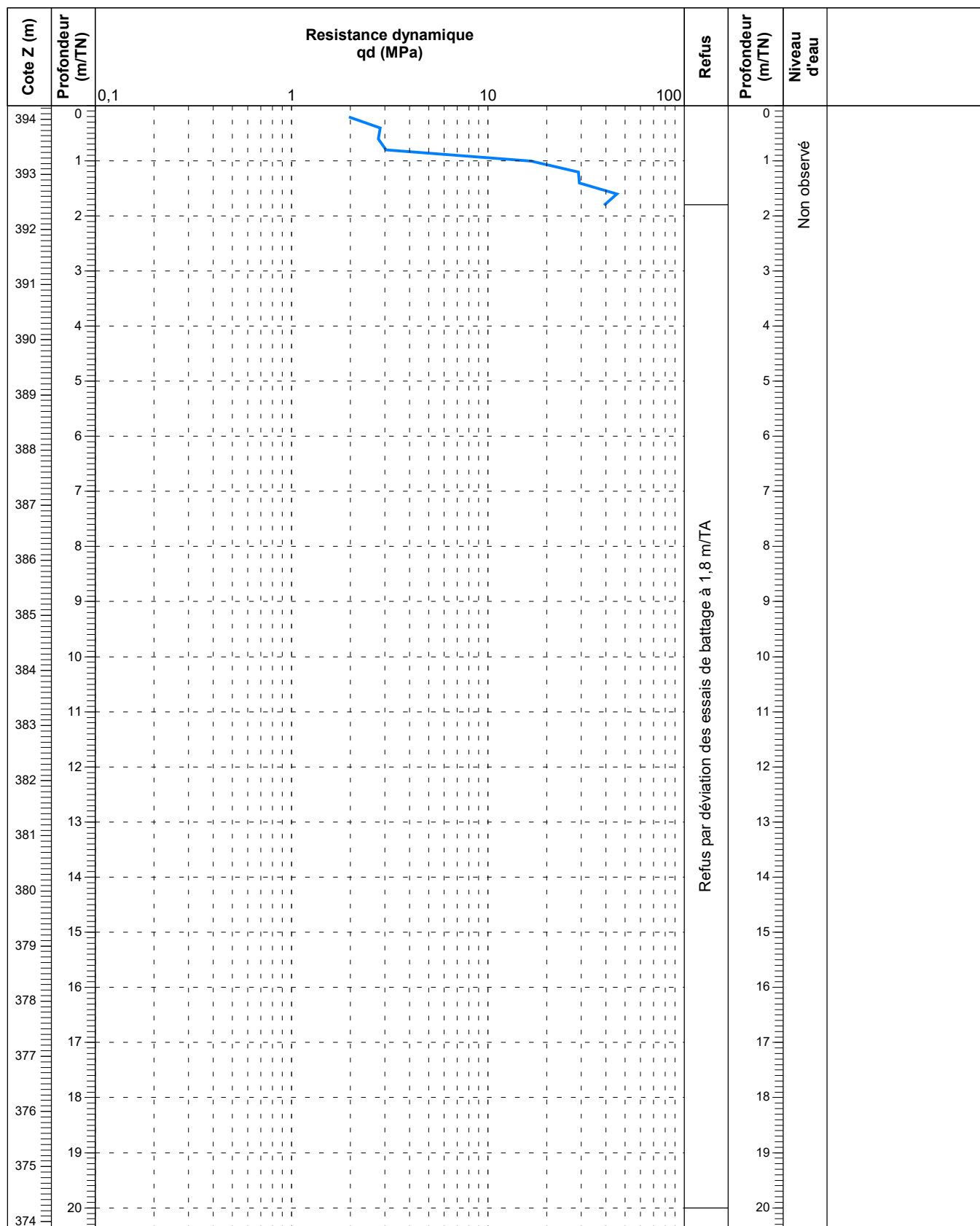
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P13

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 385,60 m NGF

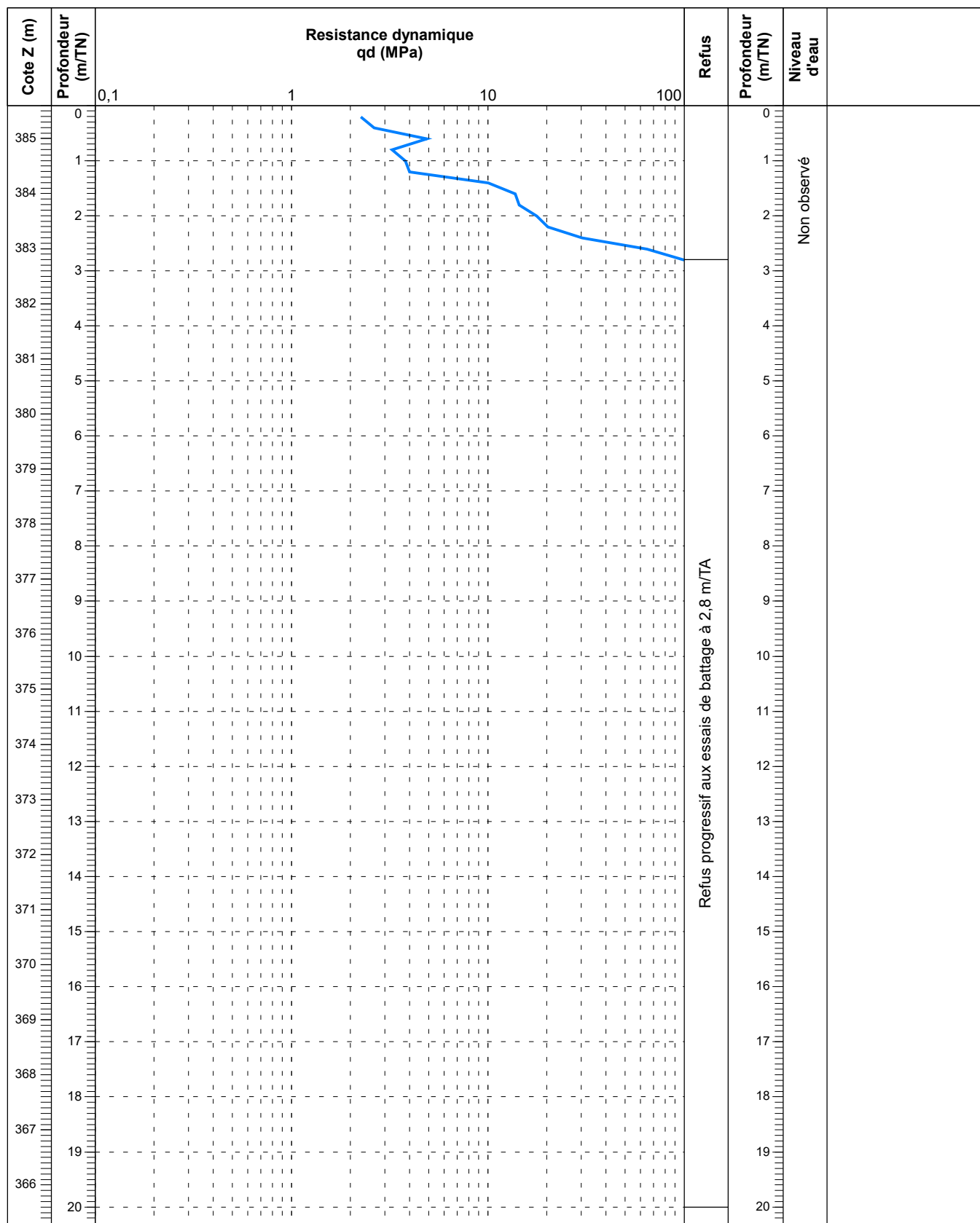
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P14

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 388,10 m NGF

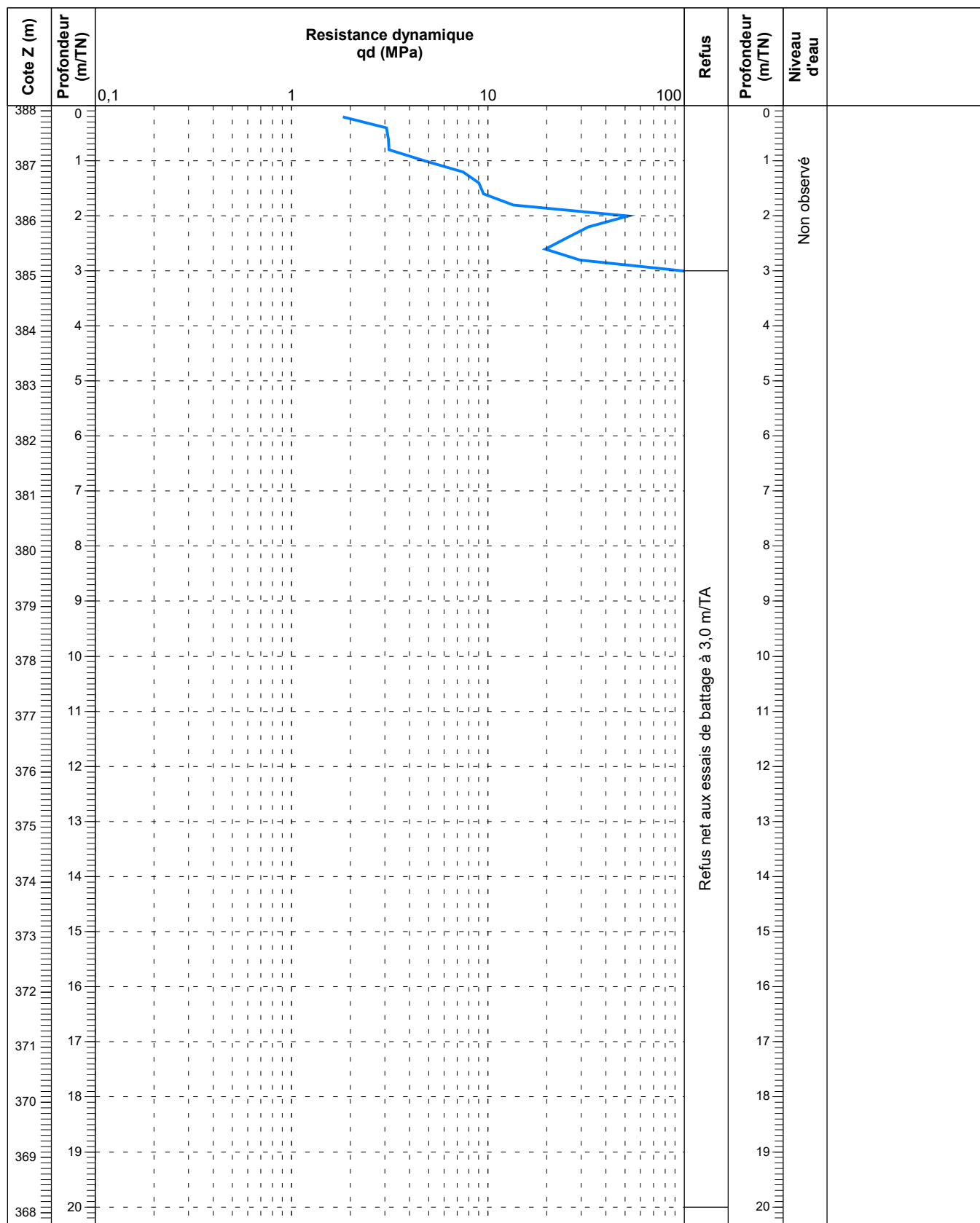
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P15

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 376,15 m NGF

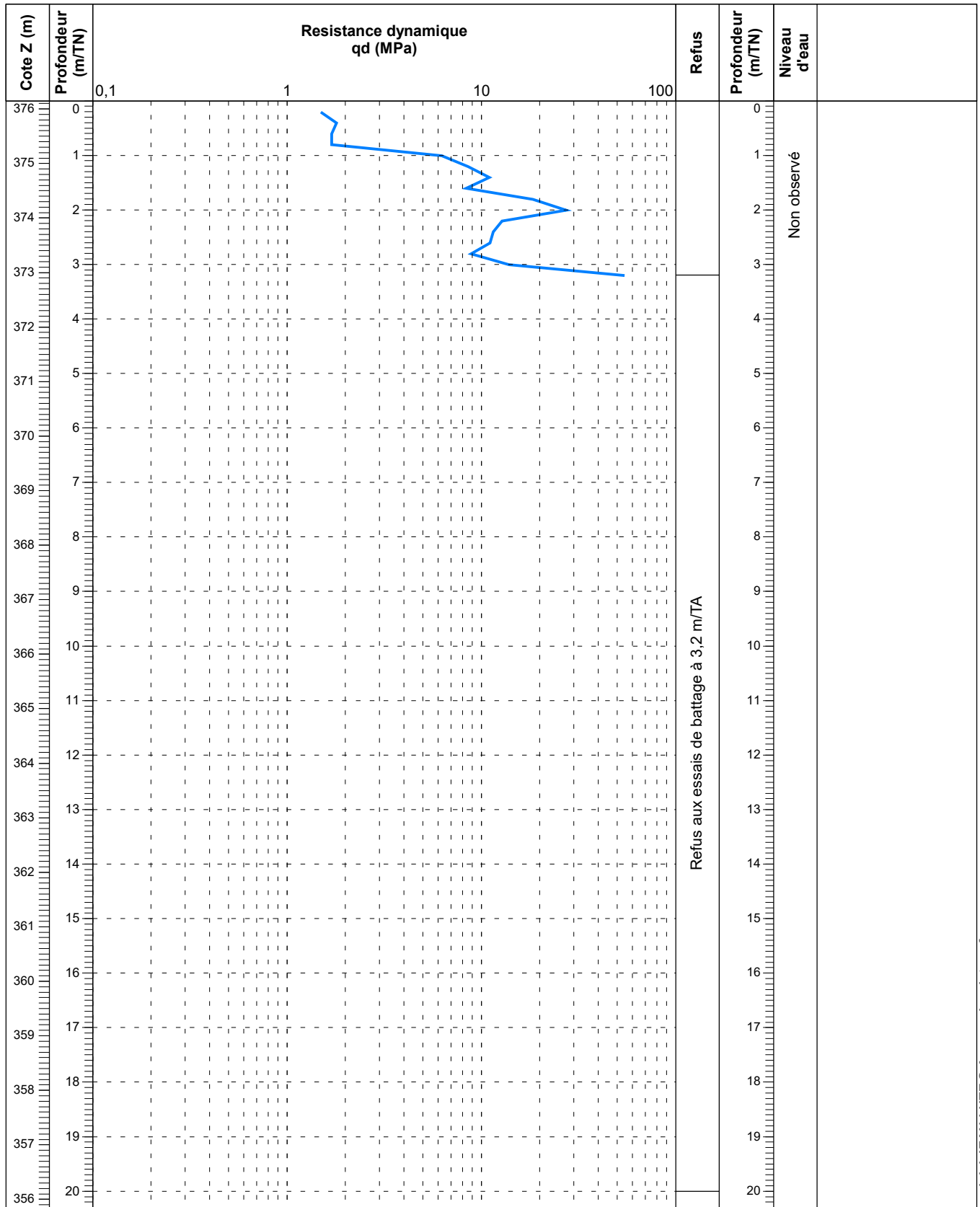
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P16

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 385,50 m NGF

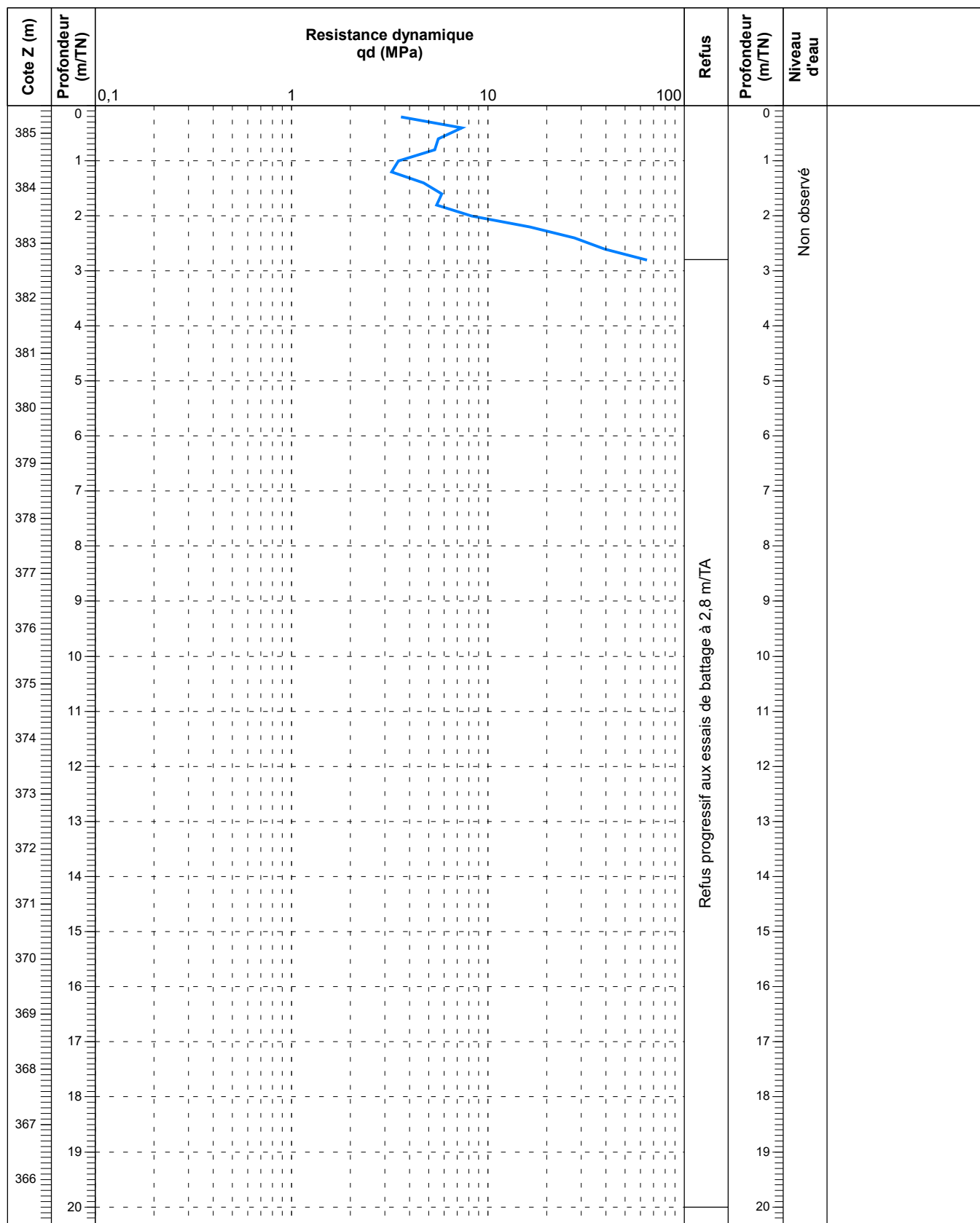
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P17

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 380,75 m NGF

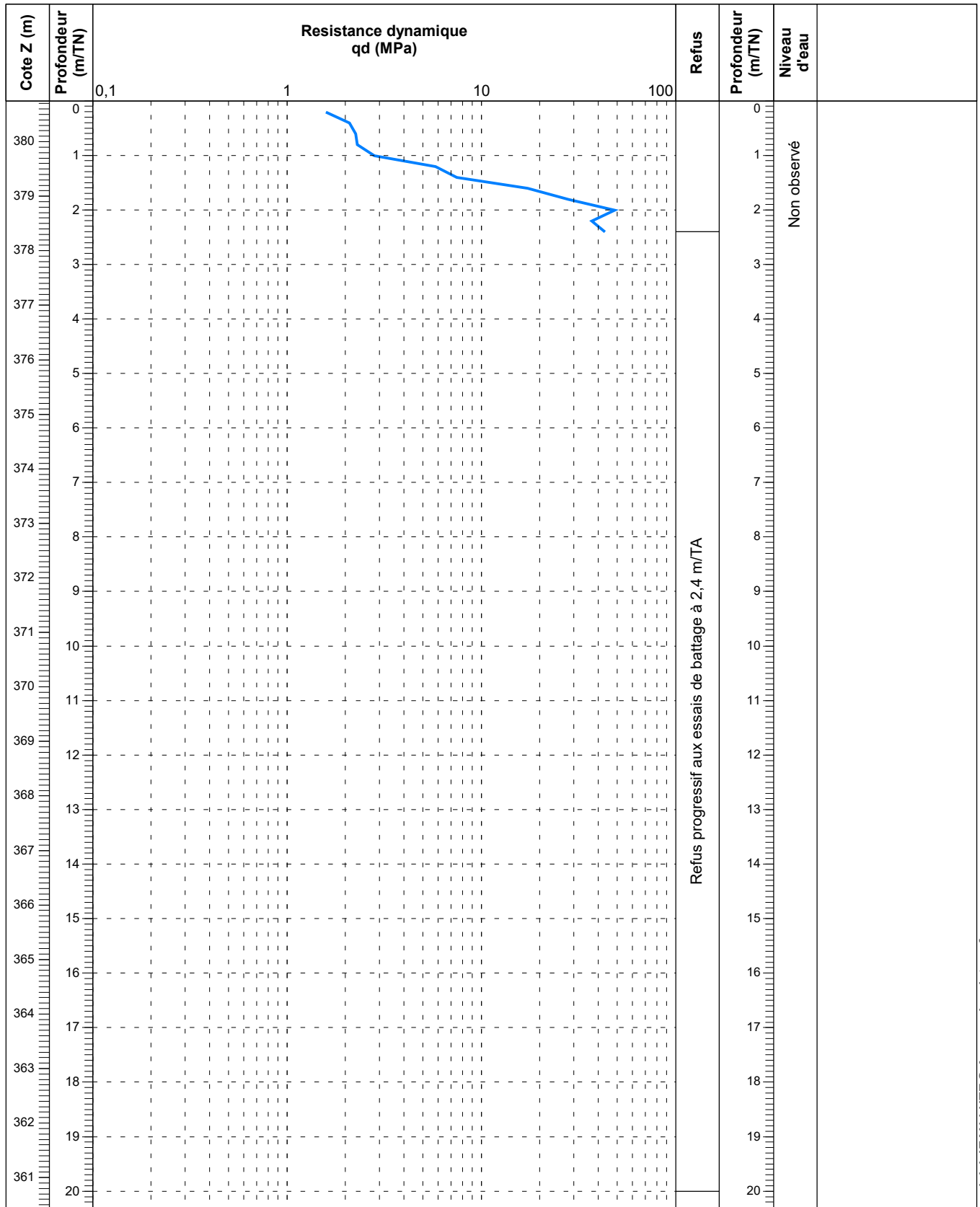
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P18

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 391,00 m NGF

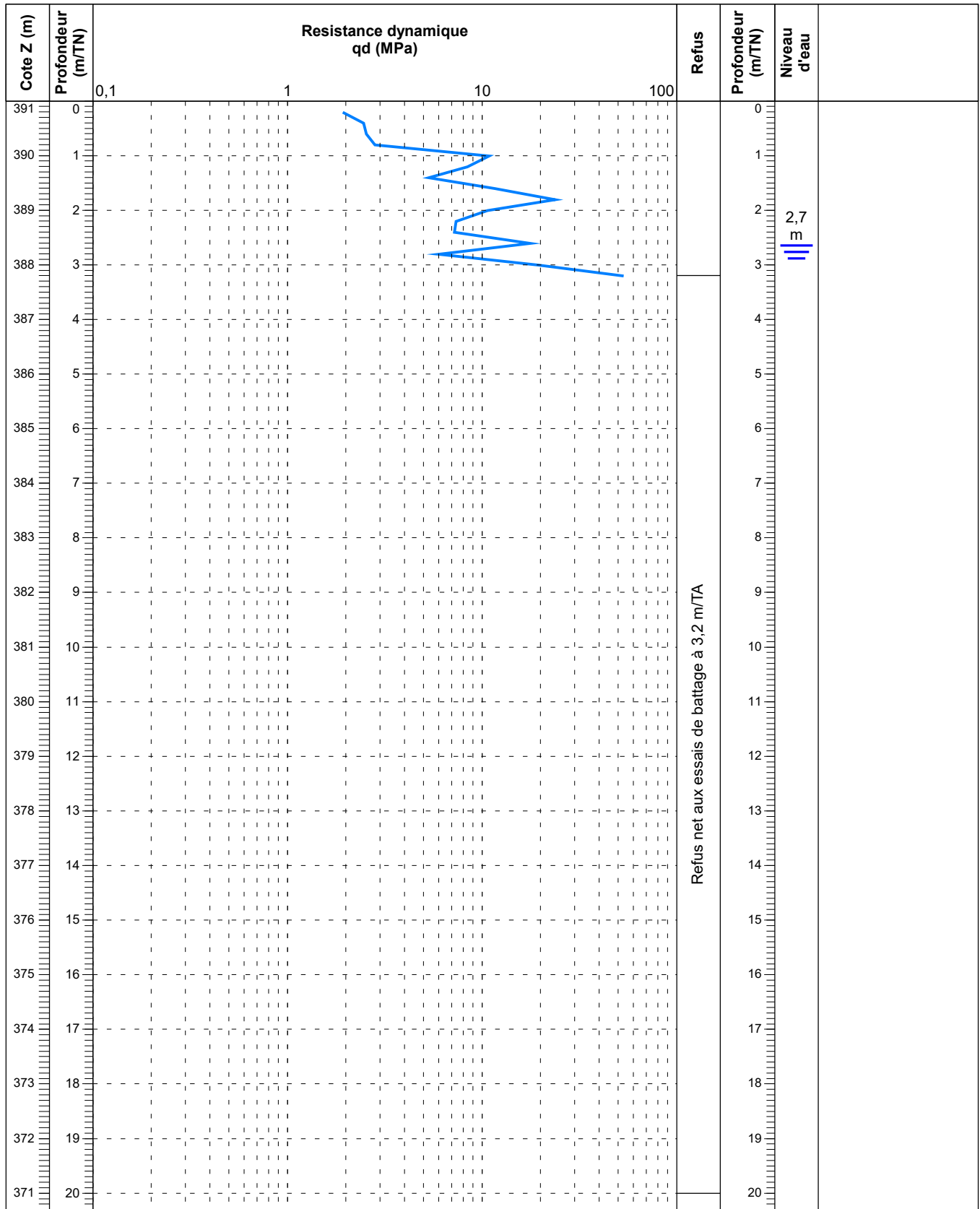
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P19

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 386,55 m NGF

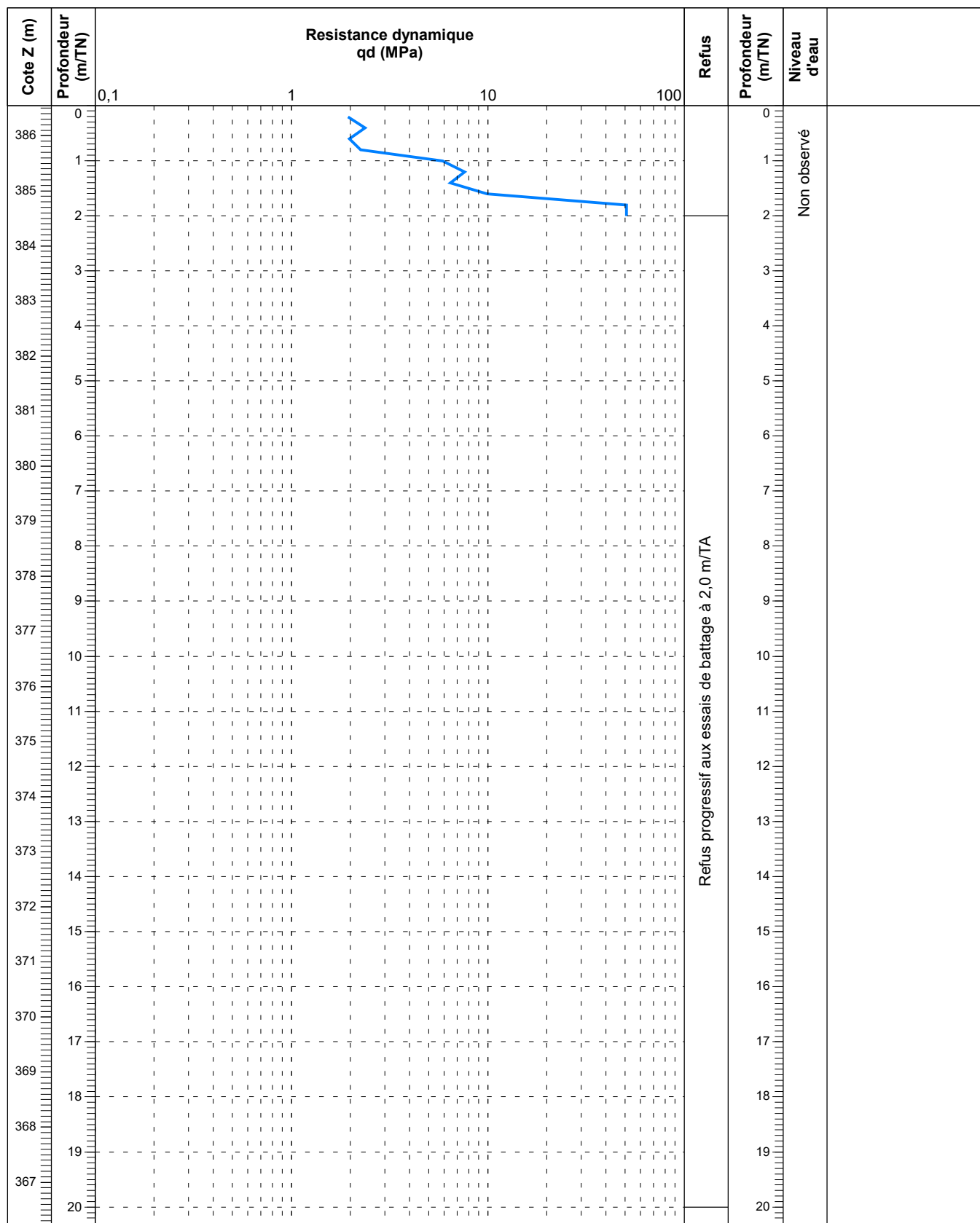
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P20

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 382,25 m NGF

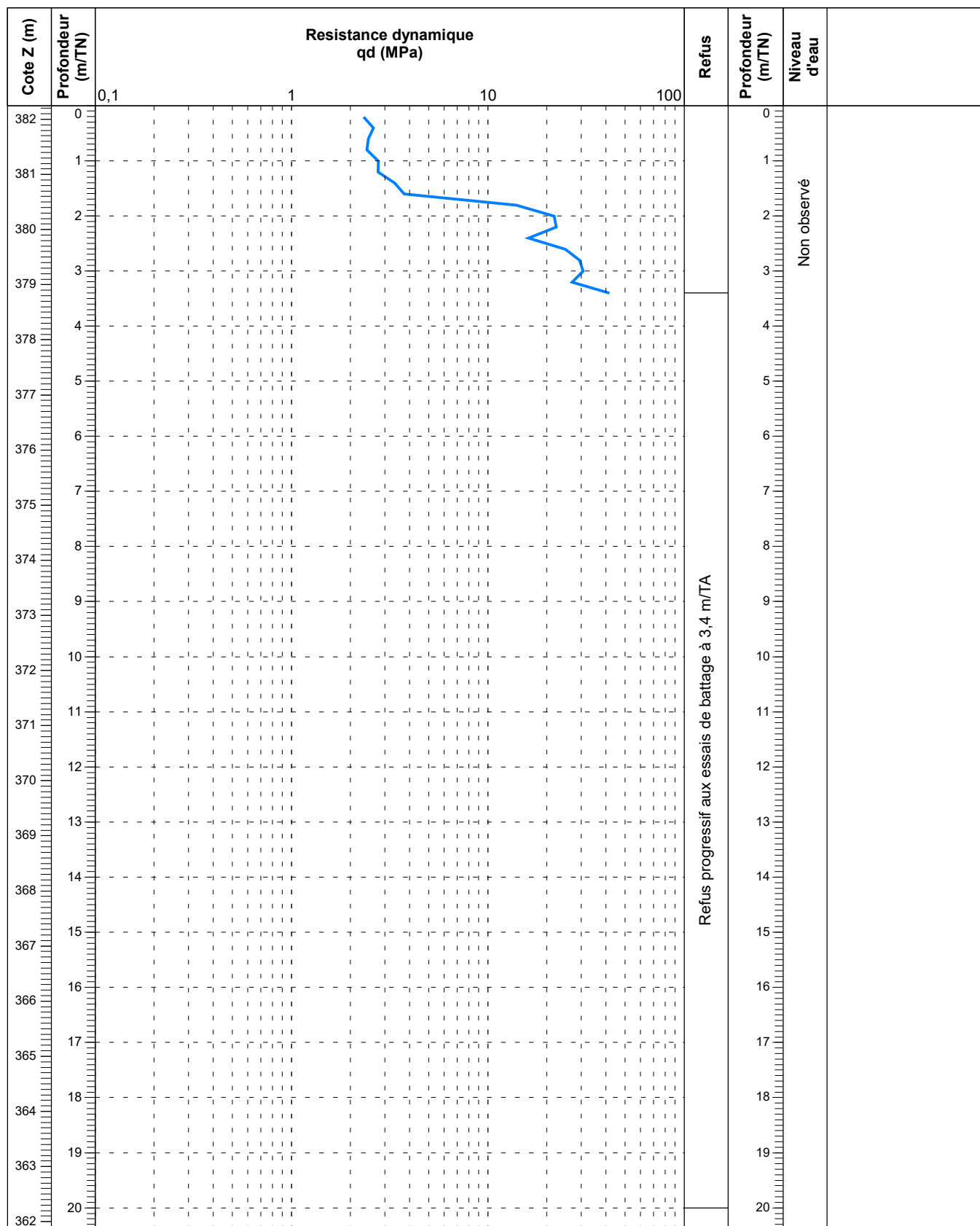
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P21

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 387,65 m NGF

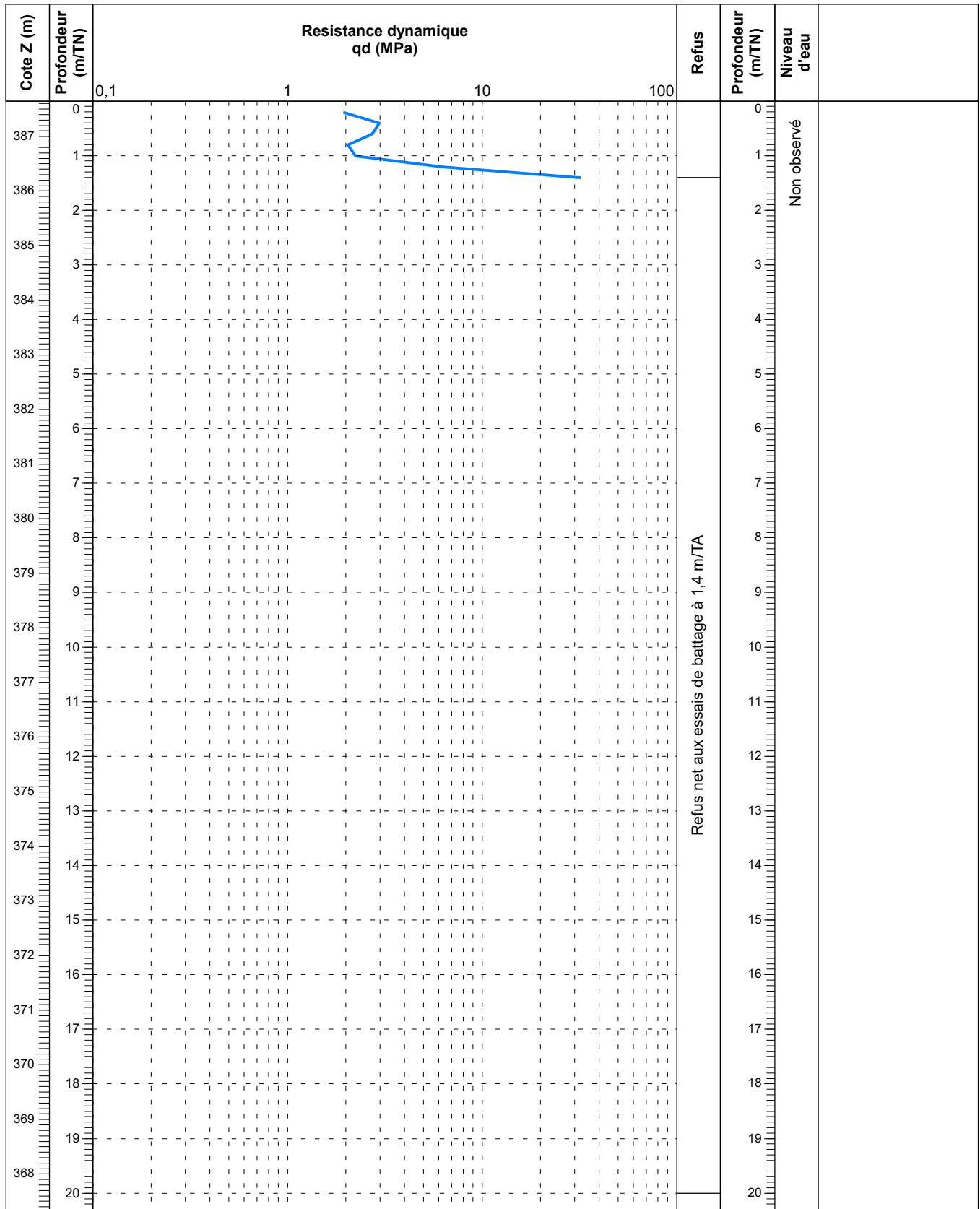
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P22

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 15/11/2023

Cote Z : 385,80 m NGF

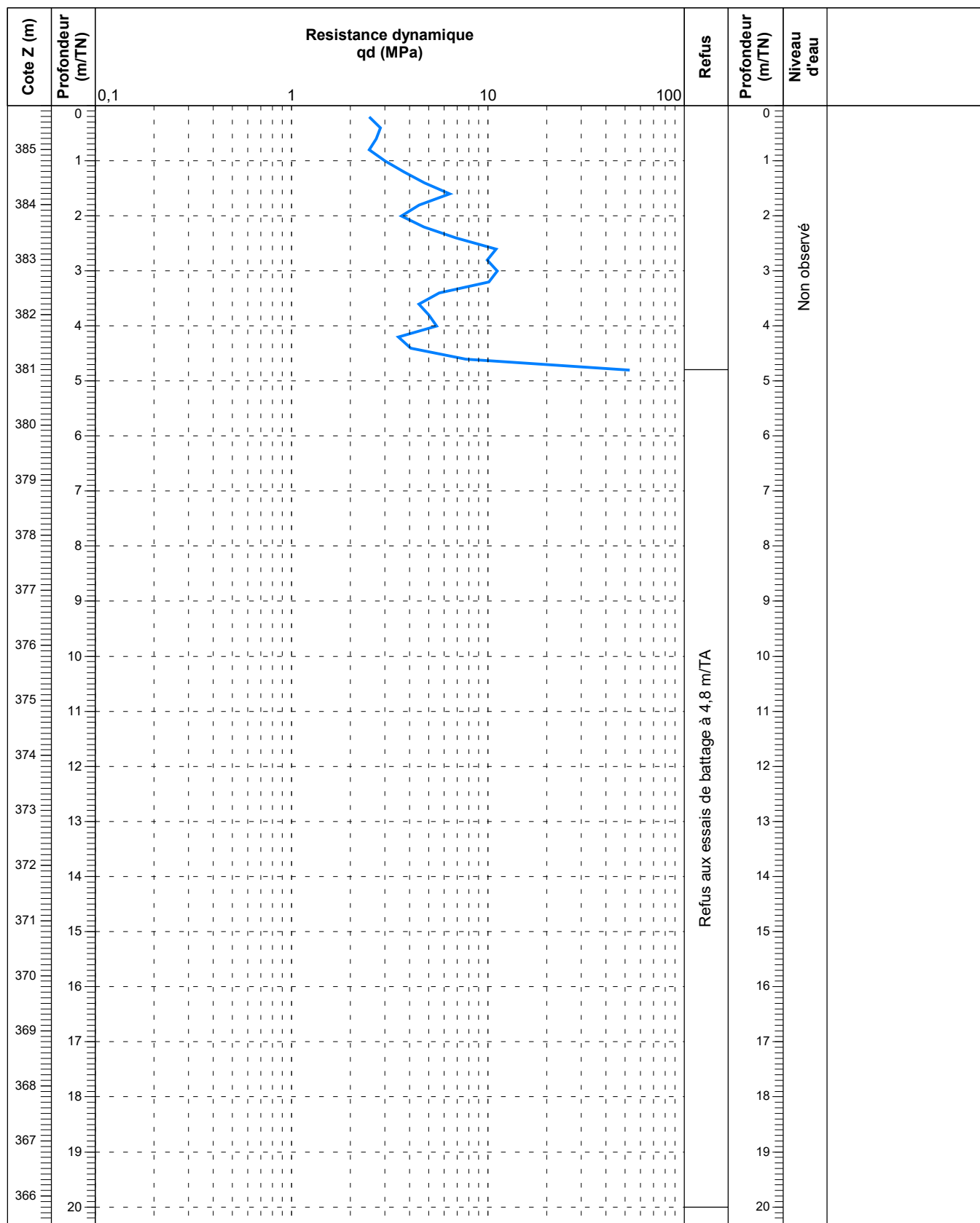
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P23

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 13/11/2023

Cote Z : 387,95 m NGF

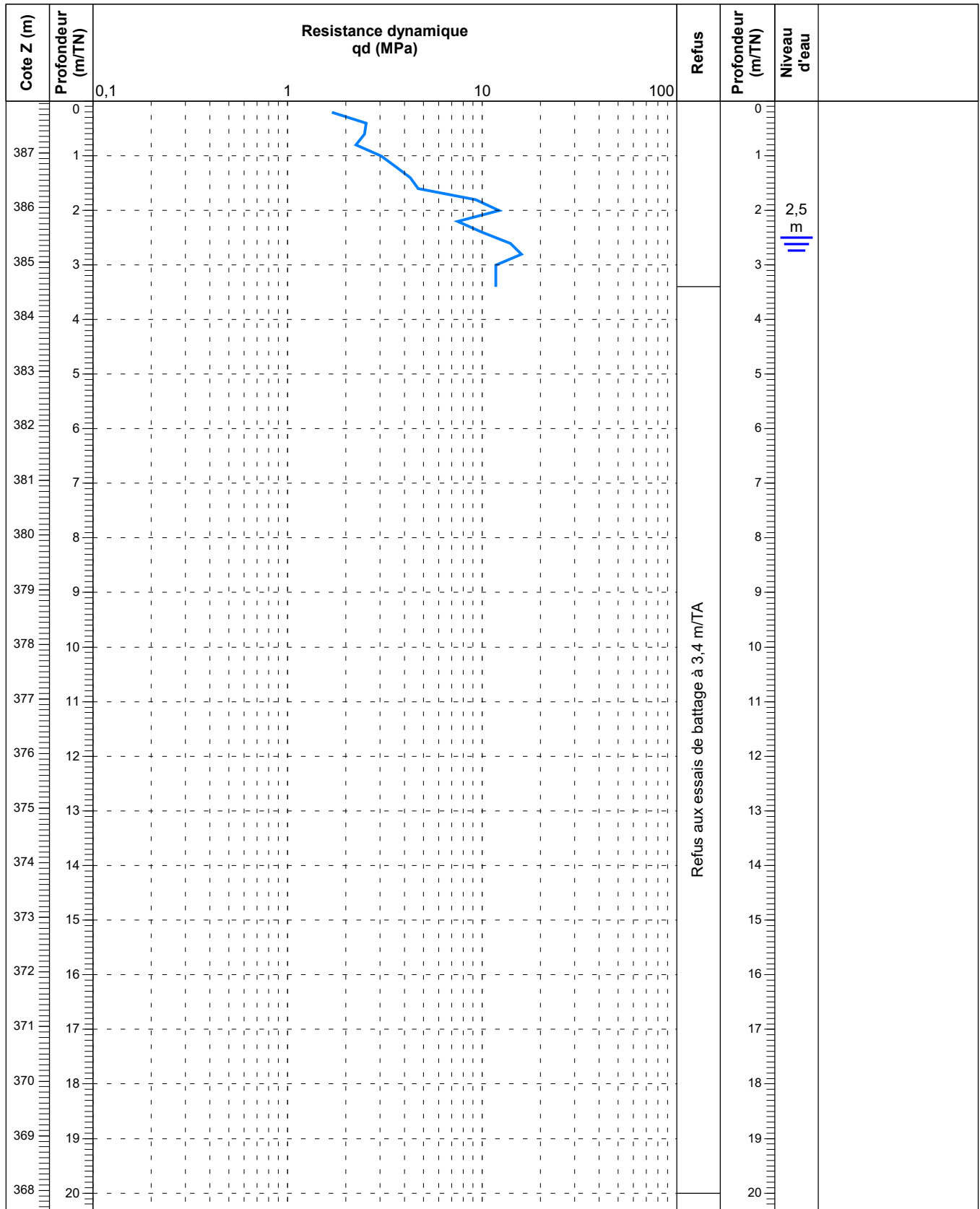
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P24

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 14/11/2023

Cote Z : 383,65 m NGF

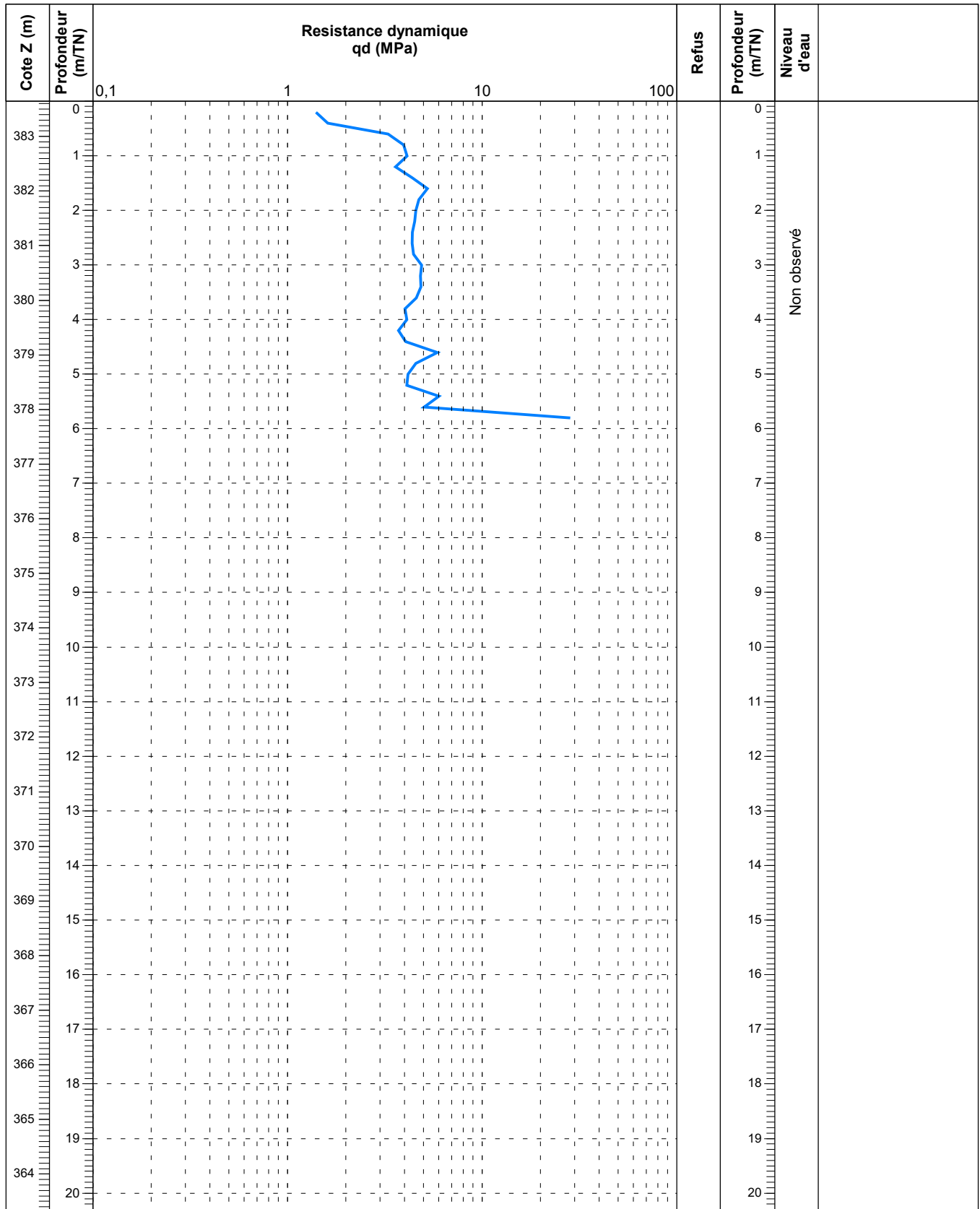
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P25

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 14/11/2023

Cote Z : 386,55 m NGF

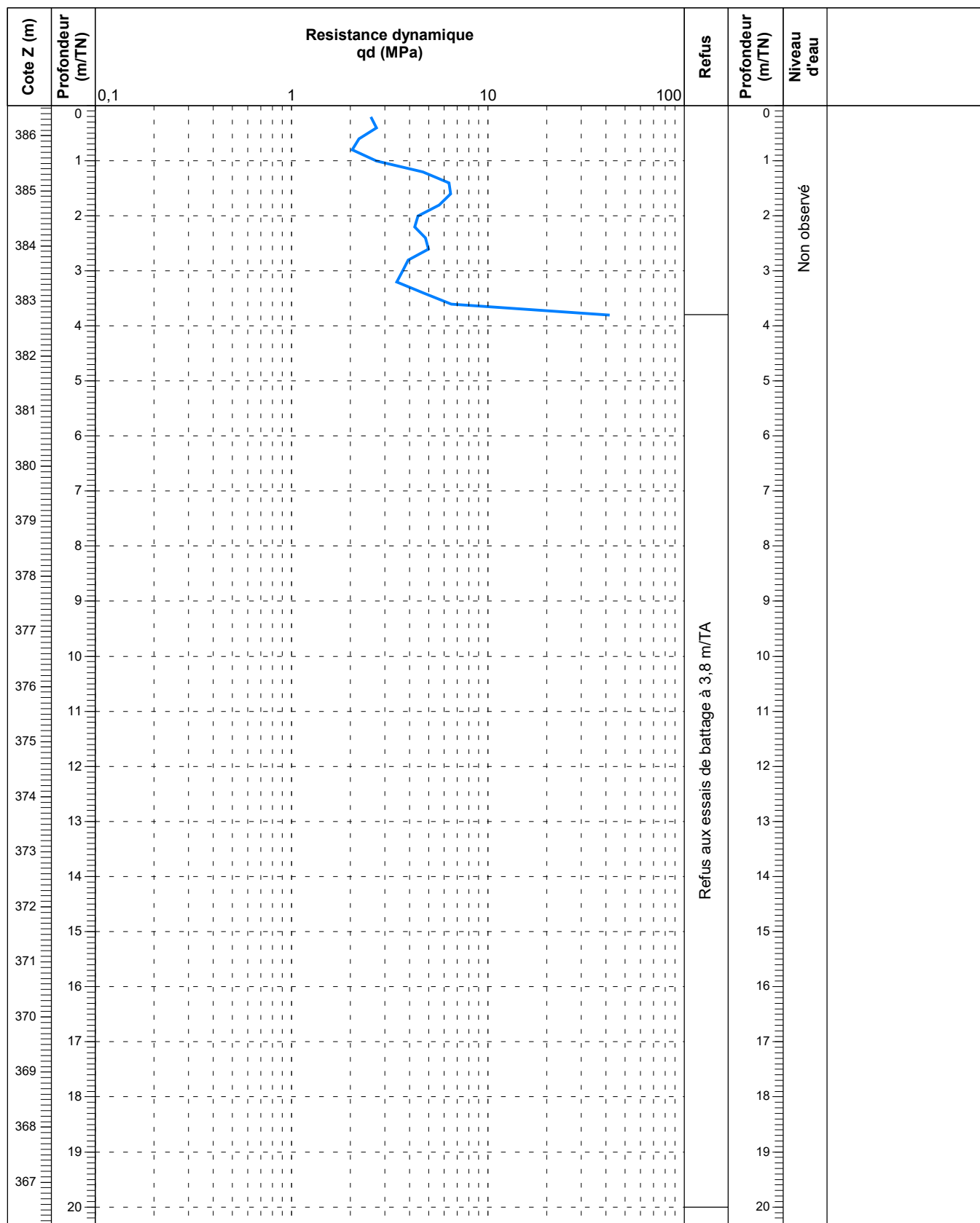
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P26

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 13/11/2023

Cote Z : 391,00 m NGF

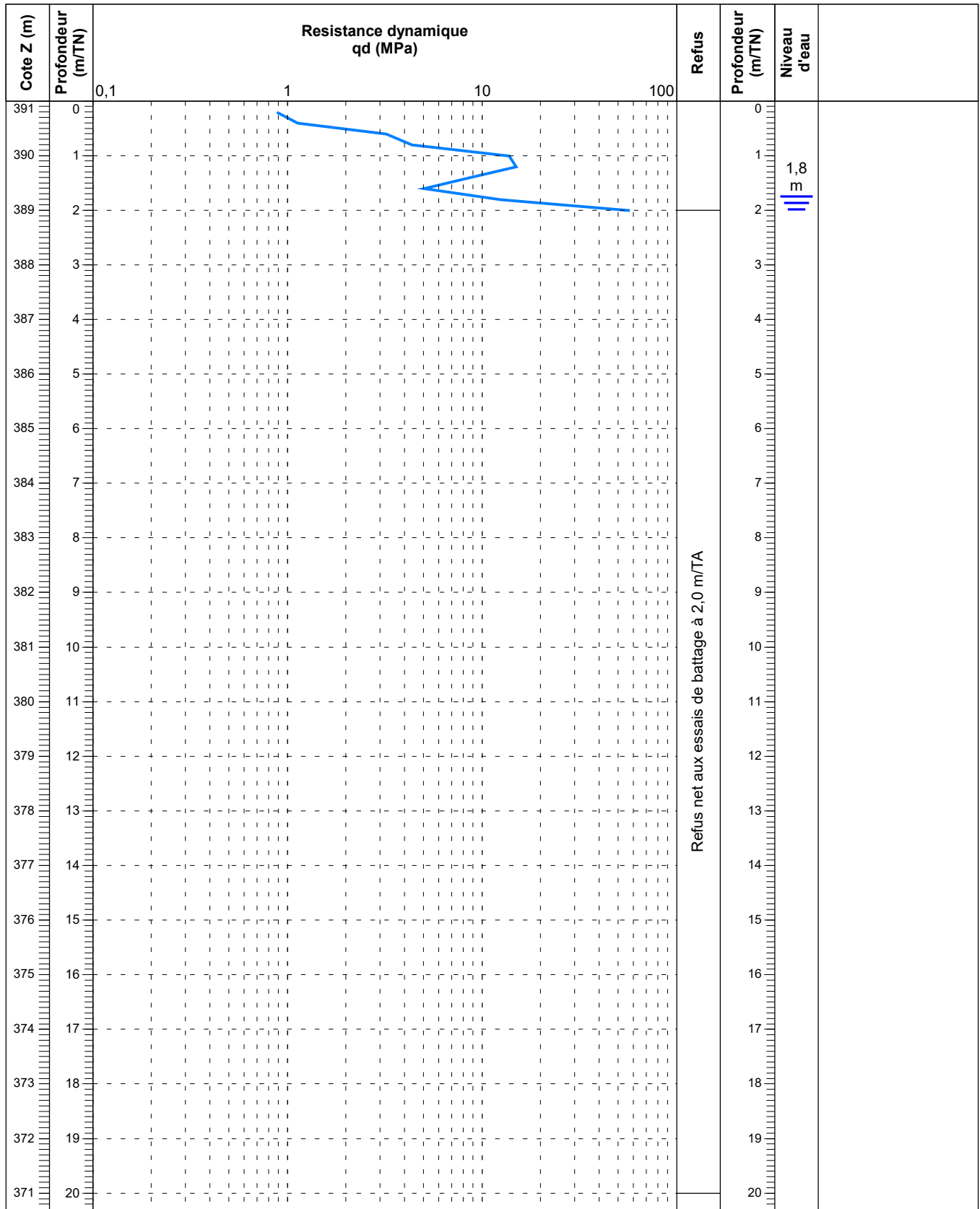
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P27

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 13/11/2023

Cote Z : 395,90 m NGF

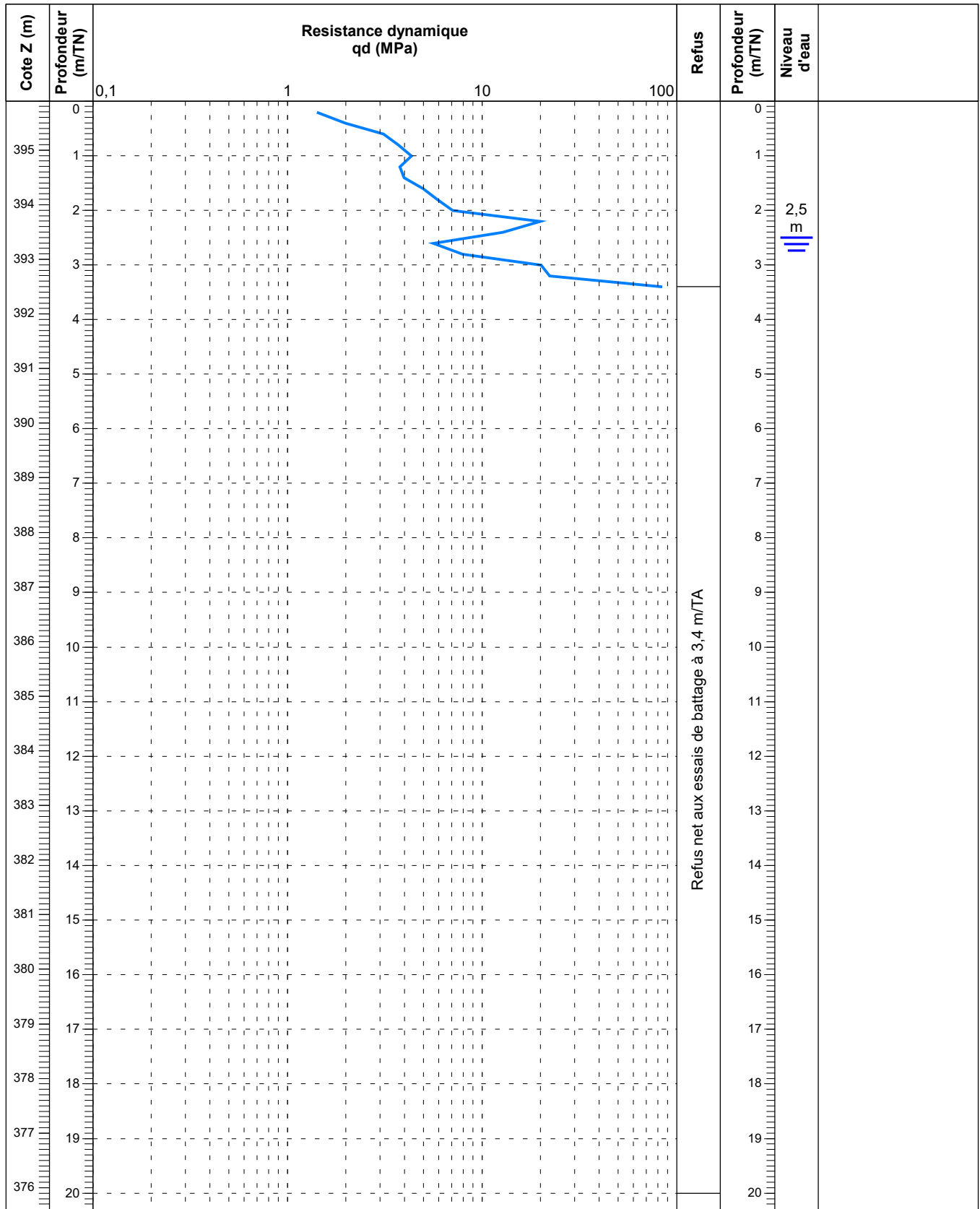
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P28

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 14/11/2023

Cote Z : 402,10 m NGF

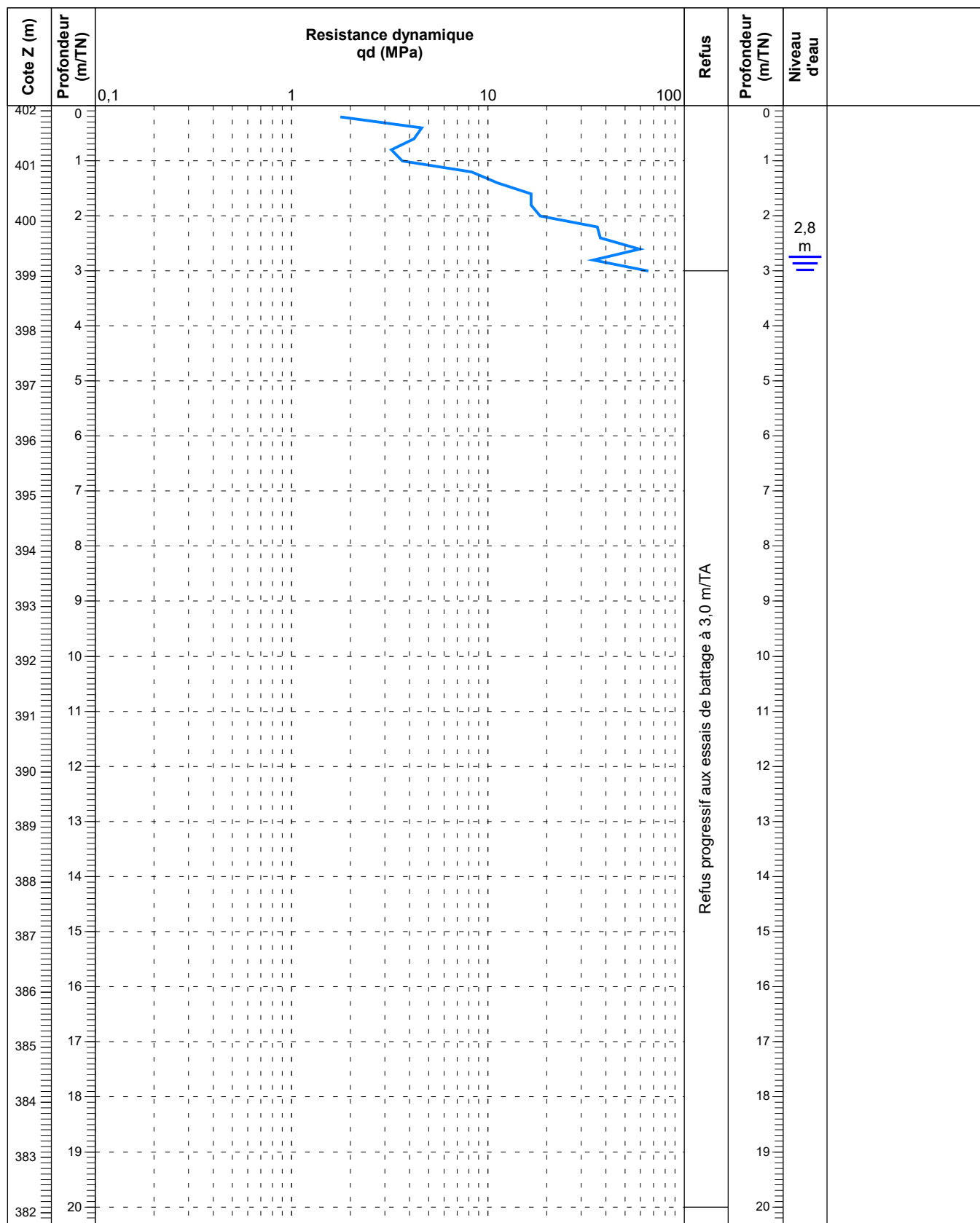
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P29

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 14/11/2023

Cote Z : 398,95 m NGF

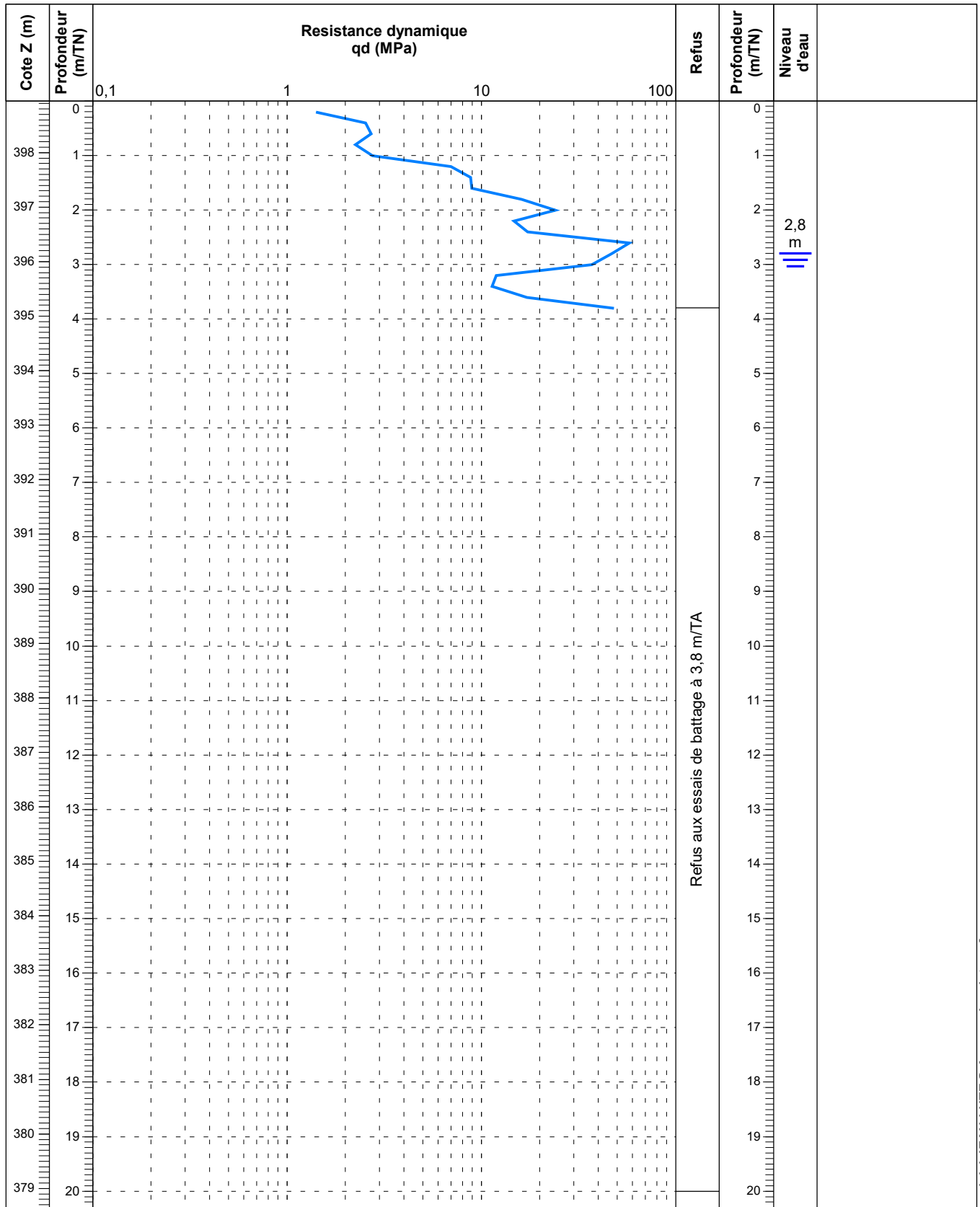
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P30

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 09/12/2024

Cote Z : 376,40 m NGF

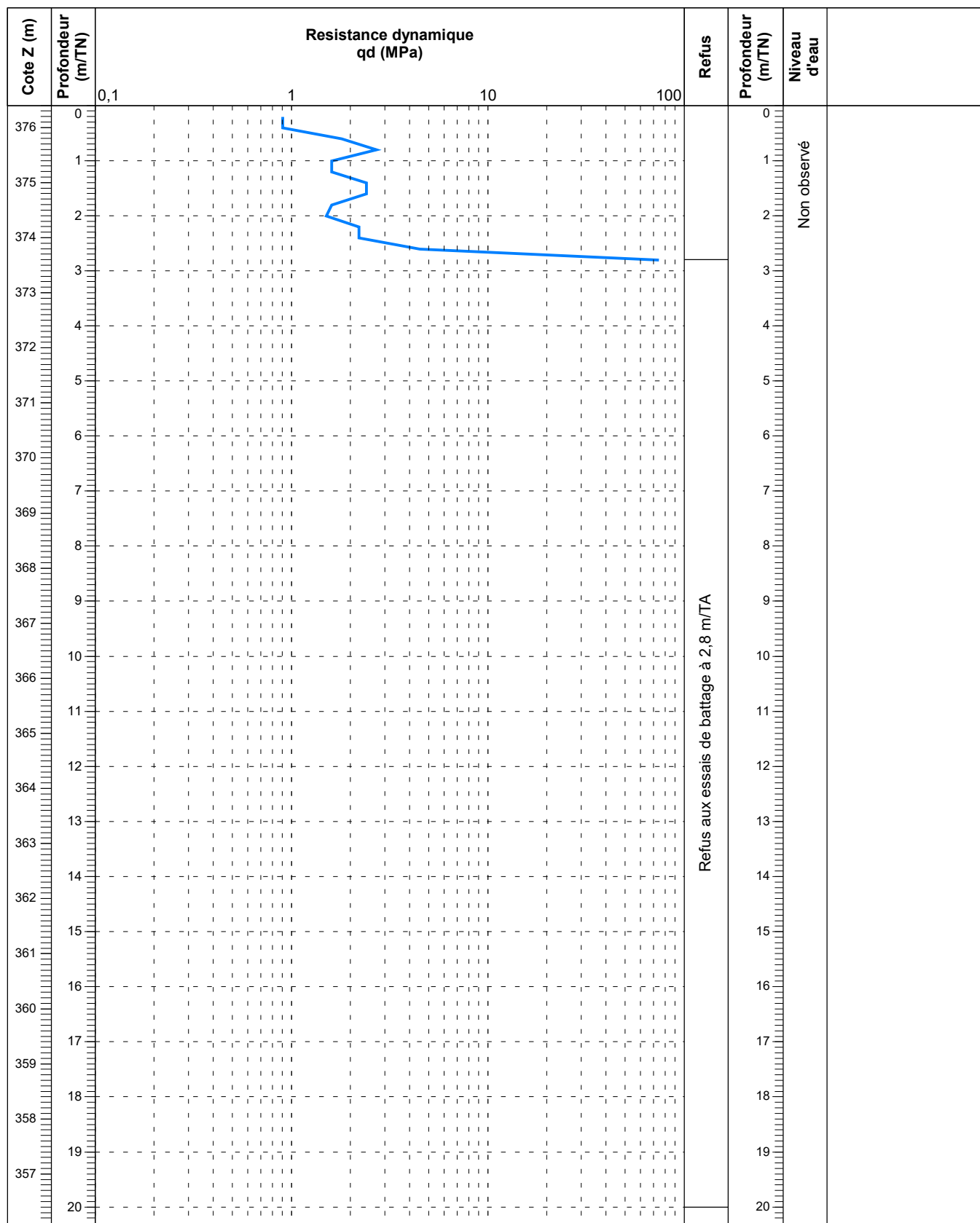
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P31

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 09/12/2024

Cote Z : 373,80 m NGF

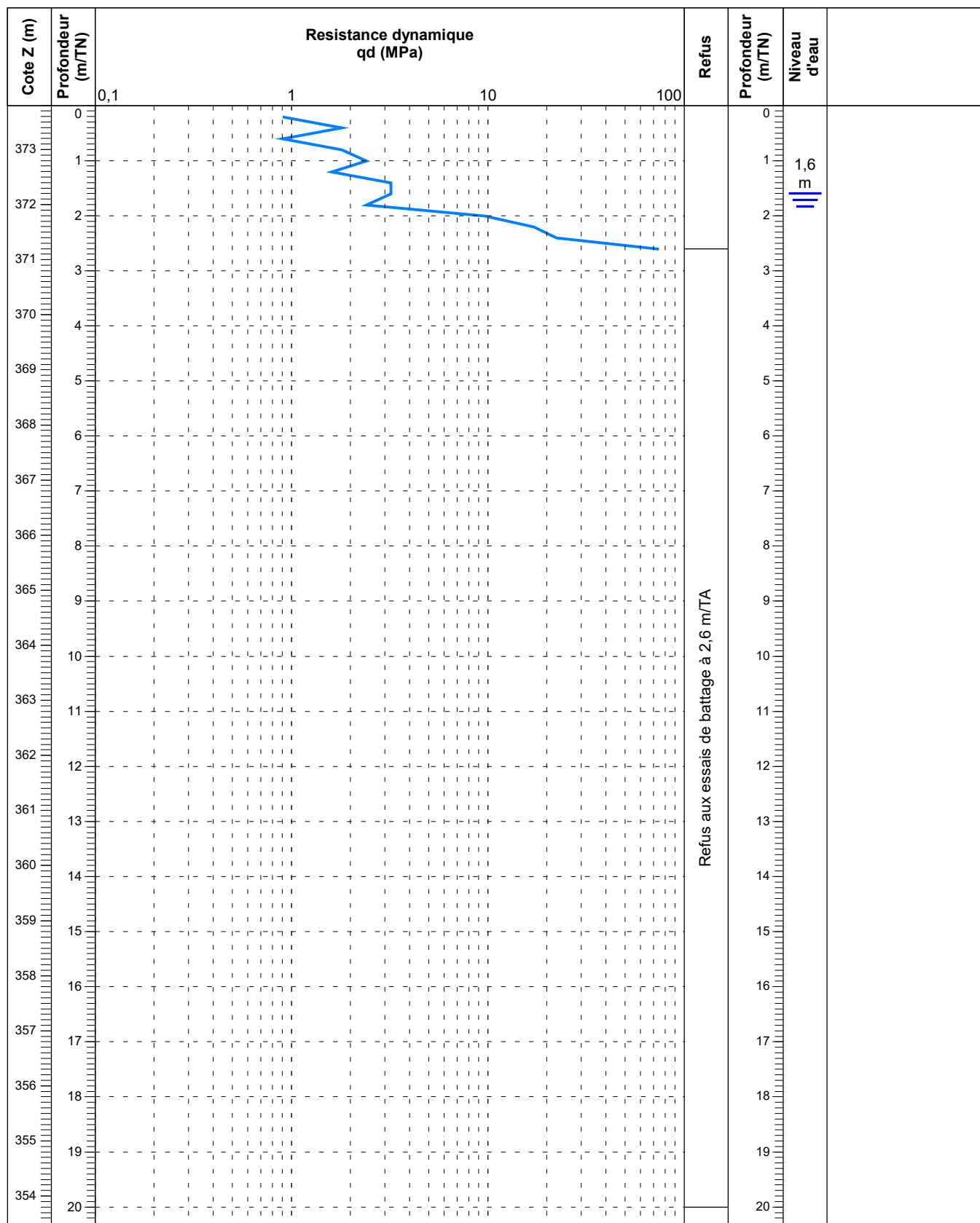
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P32

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 09/12/2024

Cote Z : 373,15 m NGF

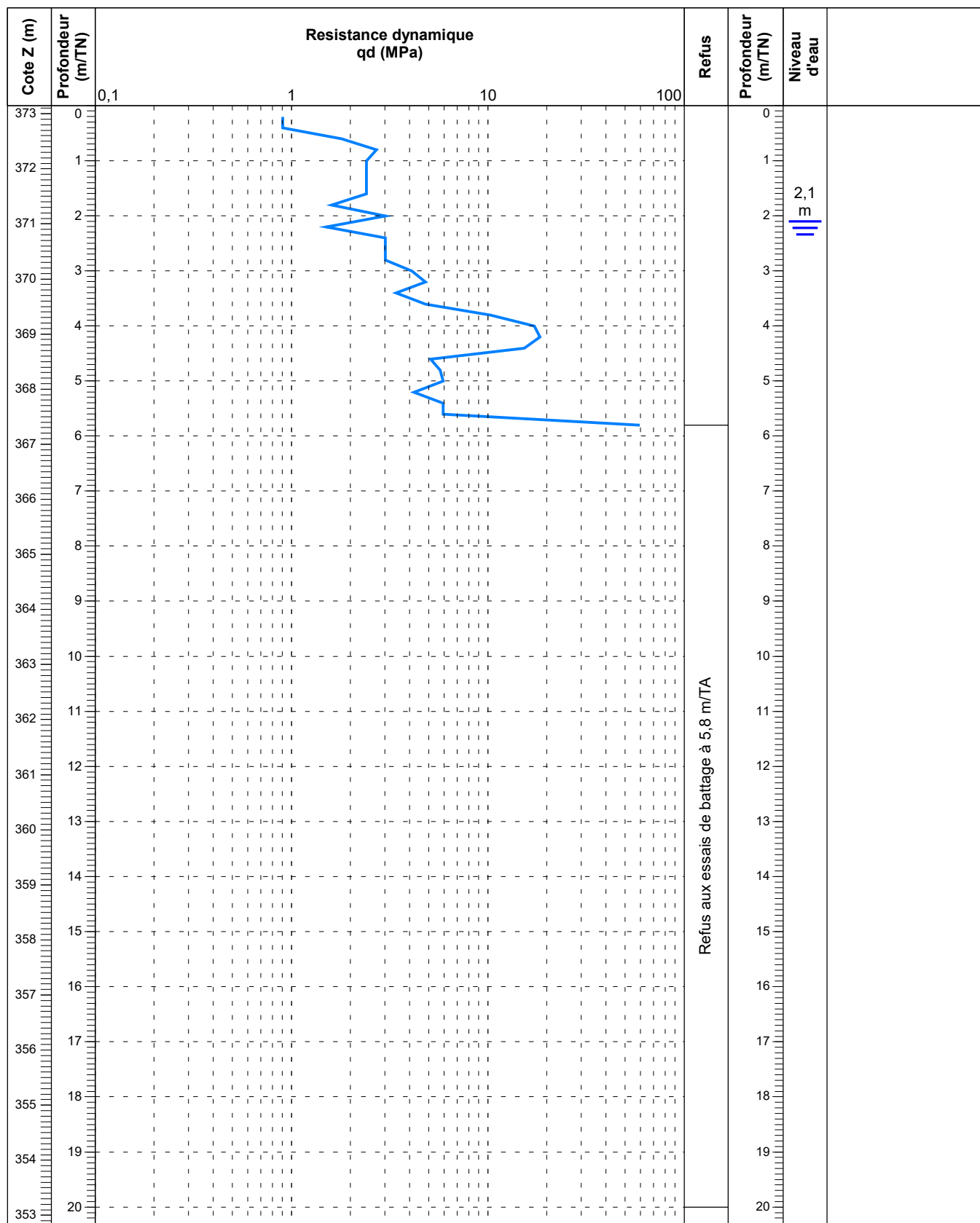
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P33

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 09/12/2024

Cote Z : 371,90 m NGF

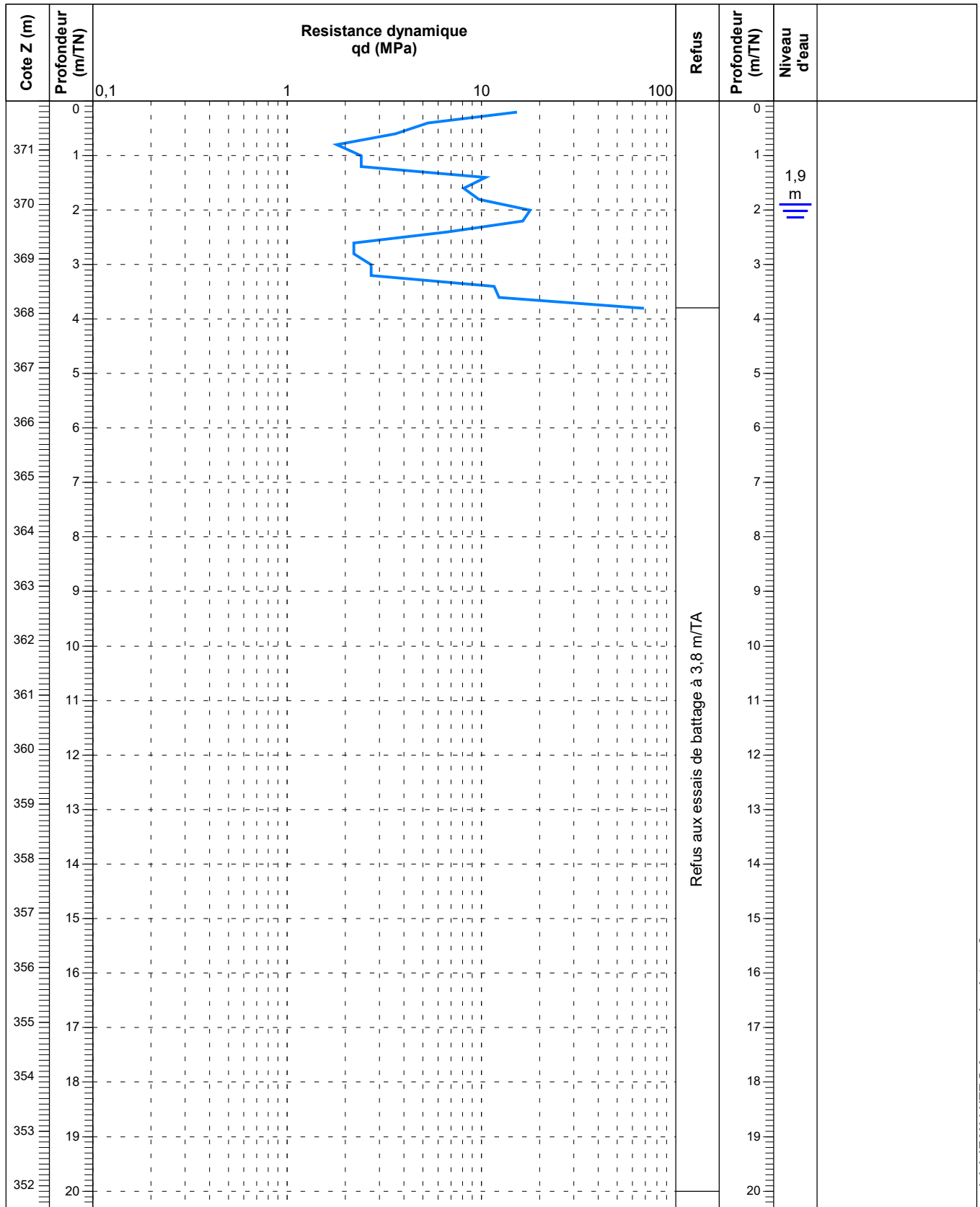
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P34

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 09/12/2024

Cote Z : 371,50 m NGF

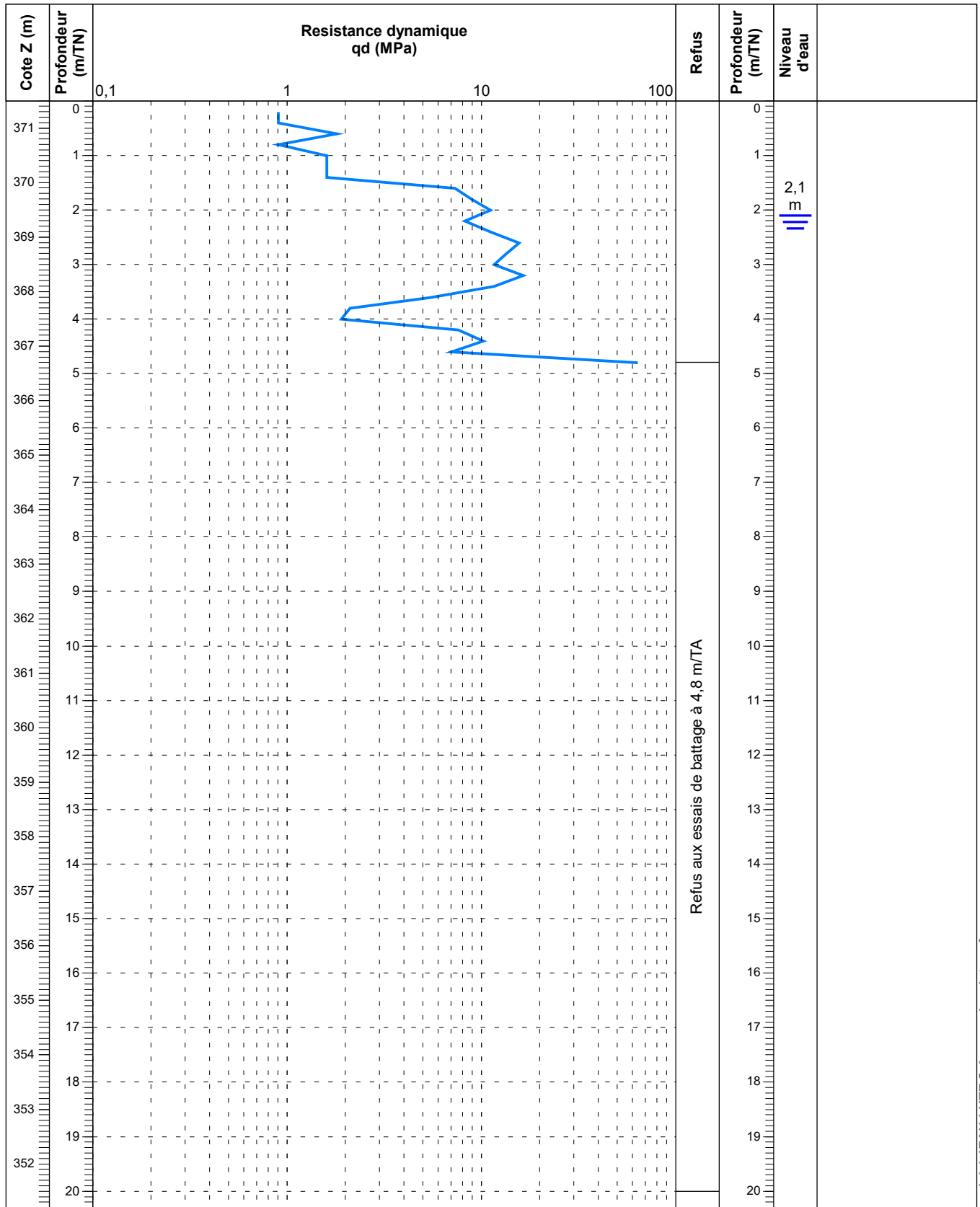
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P35

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 09/12/2024

Cote Z : 379,15 m NGF

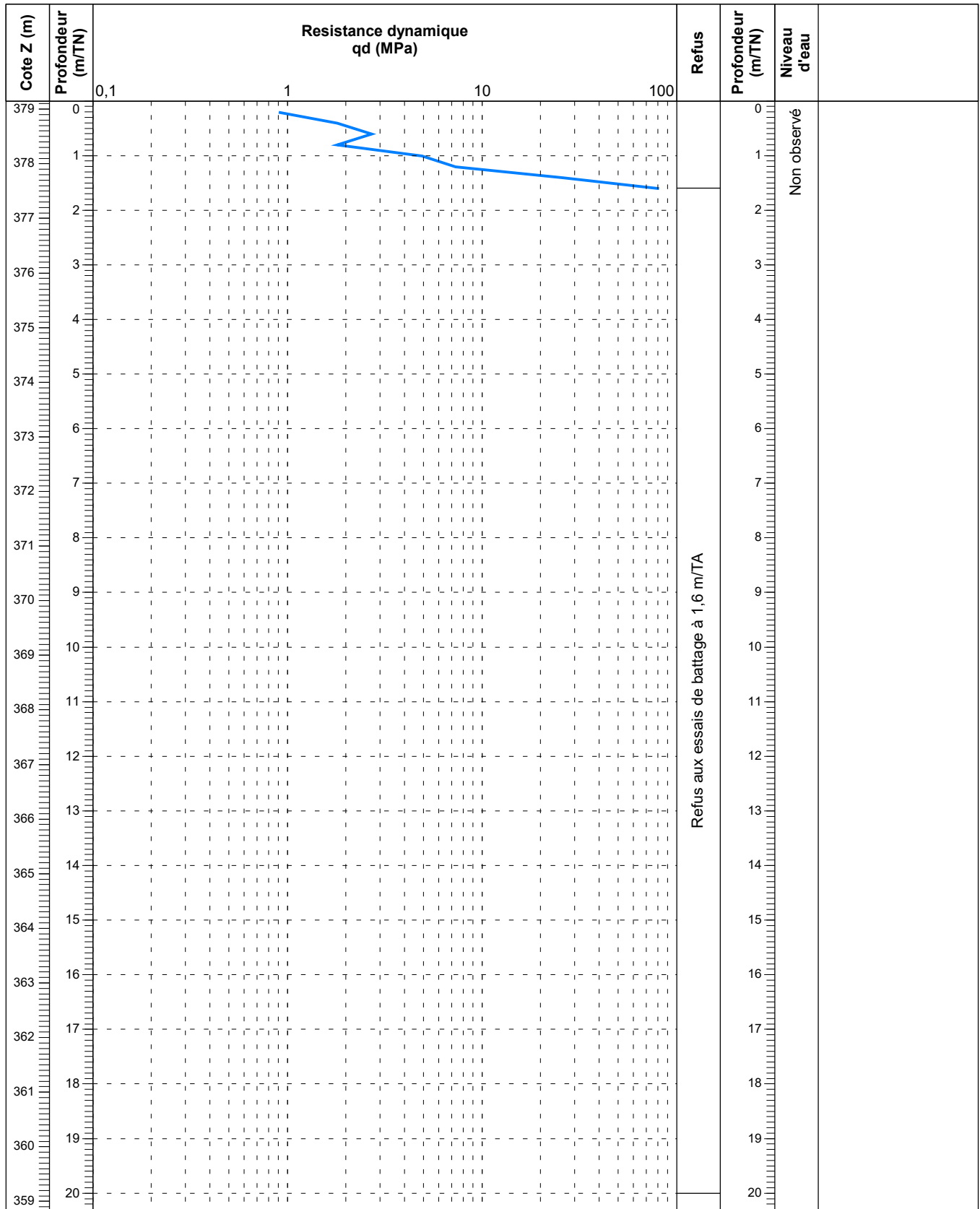
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P36

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 09/12/2024

Cote Z : 371,25 m NGF

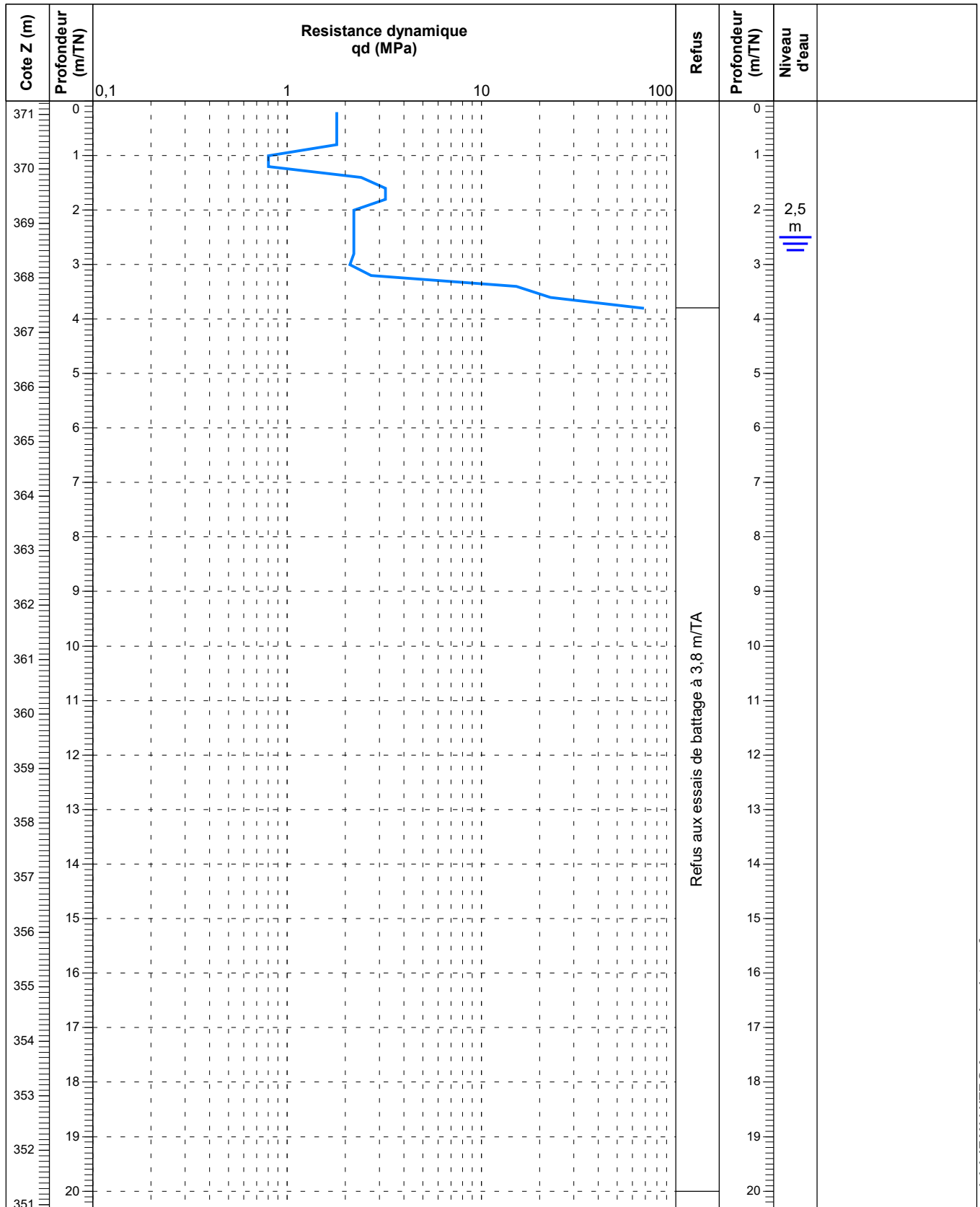
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P37

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 09/12/2024

Cote Z : 375,15 m NGF

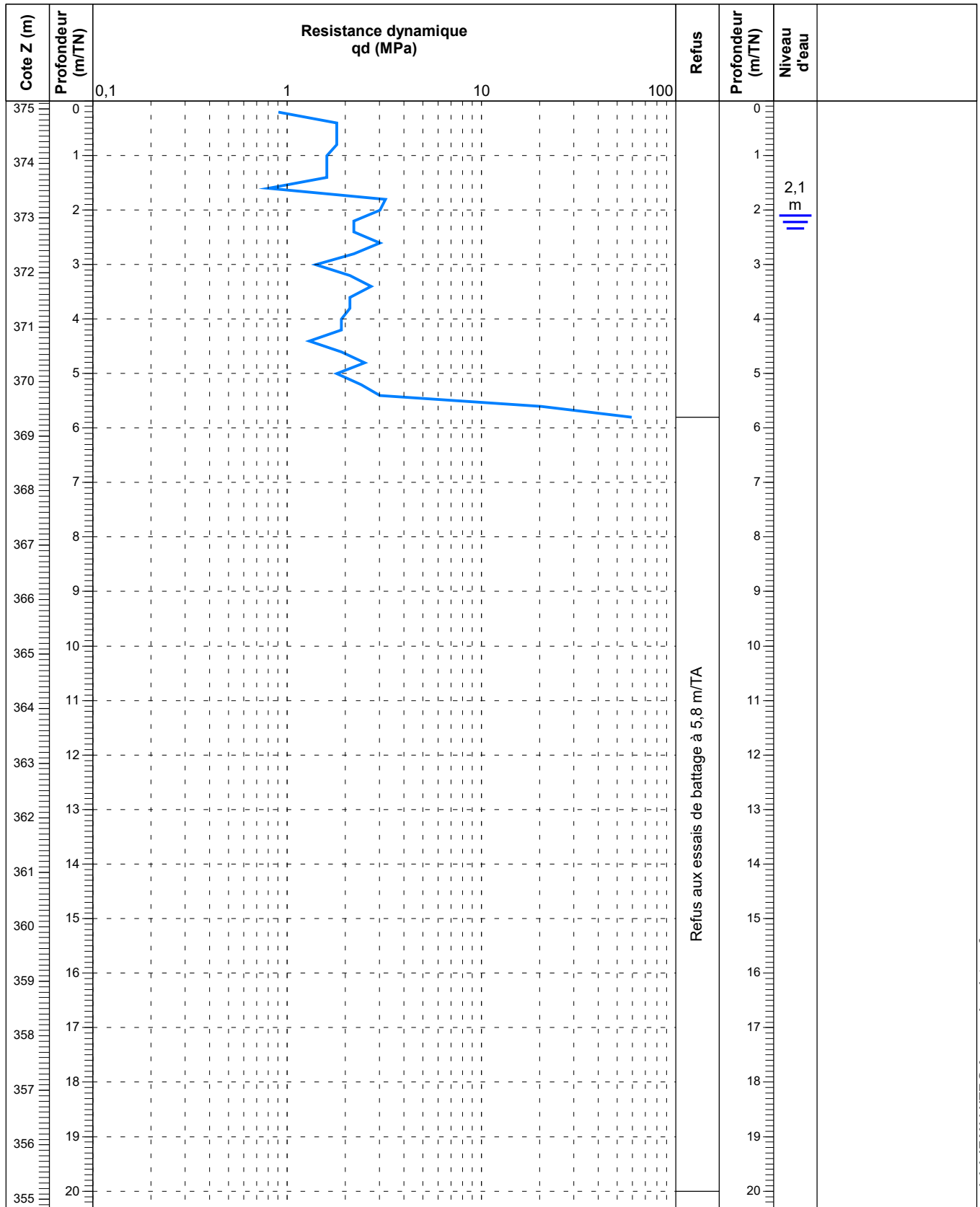
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P38

EXGTE 3.23/GTE





Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 09/12/2024

Cote Z : 384,30 m NGF

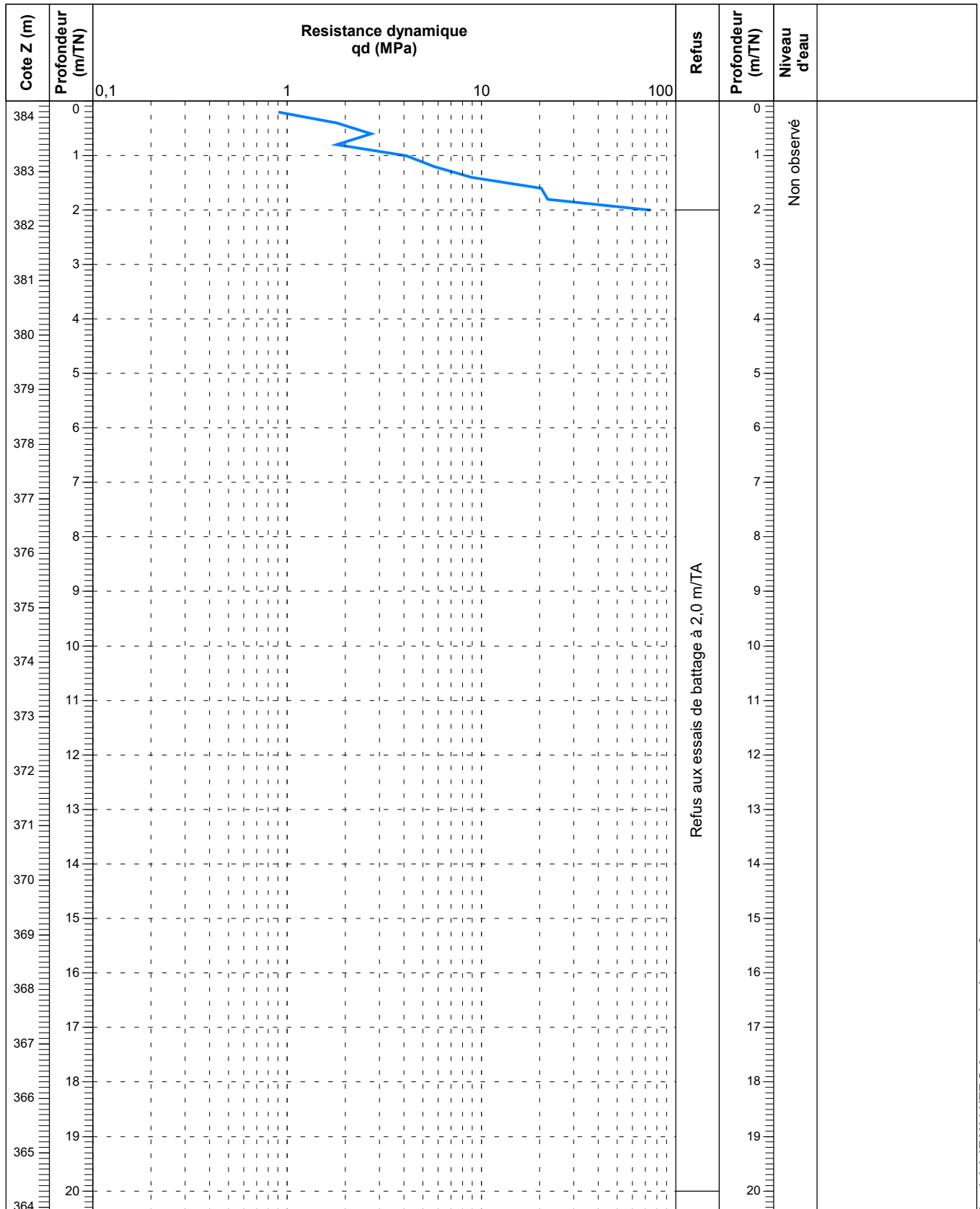
Type : Pénétromètre dynamique lourd

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/100

Sondage : P39

EXGTE 3.23/GTE



Cote Z (m)	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Equipement forage	Profondeur (m)	Observations
	0	Terre végétale argileuse [marron foncé]				0	
	0,1 m						
		Argile [marron] avec des bancs de flyschs altérés (Frange d'altération - Flysch)					Frange d'altération à profondeur variable
399							
	0,9 m						
	1					1	
		Schiste ardoisier +/- fracturé [gris/noir]	1,2 m				Bancs cm à pluri-cm - subvertical Débit en plaquette
398			Infiltration (débit faible)				
	2					2	Mauvaise tenue des fouilles
	2,7 m						
397							
	3					3	
		Refus net sur banc plus compact					
396							
	4,0 m					4	

Cote Z (m)	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Equipement forage	Profondeur (m)	Observations		
405	0	Argile [marron/beige]	Non observé			0			
	0,5 m								
404	1	Schiste ardoisier +/- fracturé [gris/noir] à quelques passages argileux				1	Bancs cm à pluri-cm - subvertical Débit en plaquette Mauvaise tenue des fouilles		
	1,5 m	Refus sur banc + massif							
403	2					2			
402	3					3			
401	4,0 m		4						

Cote Z (m)	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Equipement forage	Profondeur (m)	Observations
	0					0	
385		Argile [marron]					
	0,9 m						
	1	Argile [marron] avec des bancs de flyschs altérés (Frange d'altération - Flysch)				1	Frange d'altération à profondeur variable Débit en plaquette
384	1,4 m						
		Schiste ardoisier [gris/noir] +/- fracturé					Bancs cm à pluri-cm - subvertical Débit en plaquette/plaque Mauvaise tenue des fouilles
	2					2	
	2,1 m						
383							
	3	Refus net sur banc plus compact				3	
382							
	4					4	
	4,0 m						



Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 22/11/2023

Cote Z : 404,60 m NGF

Type : Pelle mécanique (10 t)

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/20

Sondage : PM4

EXGTE 3.23/GTE

Cote Z (m)	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Equipement forage	Profondeur (m)	Observations
	0	Terre végétale argileuse [marron foncé]				0	
	0,3 m	Argile [marron] avec des bancs de schistes ardoisiers altérés (Frange d'altération - Flysch)					
404	0,6 m		1 m				
	1	Schiste ardoisier [gris/noir] +/- fracturé	Infiltration (débit lent)			1	Bancs cm à dm - subvertical Débit en plaquette Mauvaise tenue des parois
403	2					2	
	2,4 m						
402	3	Refus net sur banc plus compact				3	
401	4					4	
	4,0 m						

Cote Z (m)	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Equipement forage	Profondeur (m)	Observations
	0	Terre végétale argileuse [marron foncé]	Non observé			0	
	0,2 m						
400		Alternance schiste ardoisier altéré et argile [marron]					Débit en plaquette
	0,8 m						
399	1	Schiste ardoisier [gris/noir] +/- fracturé	Non observé			1	Bancs sub-verticaux Débit en plaque Mauvaise tenue des parois
	2					2	
	2,1 m						
398			Non observé				
	3	Refus sur banc massif				3	
397							
	4,0 m					4	

Cote Z (m)	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Equipement forage	Profondeur (m)	Observations
	0					0	
	0,6 m	Argile [marron]					
393							
	1					1	
		Schiste ardoisier [gris/noir] +/- fracturé à bancs centimétriques - décimétriques	Non observé				Bancs sub-verticaux Débit en plaquette Mauvaise tenue des fouilles
392							
	2					2	
	2,2 m						
391							
	3					3	
		Refus sur banc + massif					
390							
	4,0 m					4	

Cote Z (m)	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Equipement forage	Profondeur (m)	Observations
	0	Terre végétale argileuse [marron foncé]				0	
	0,3 m						
407		Argile [marron] avec des bancs de schistes ardoisiers altérés (Frange d'altération - Flysch)					
	0,7 m		0,7 m				
1						1	
406		Schiste ardoisier [gris/noir] +/- fracturé	Infiltration d'eau (débit faible)				Bancs sub-verticaux Débit en plaquette Mauvaise tenue des fouilles
2						2	
	2,1 m						
405							
3		Refus sur banc + massif				3	
404							
	4,0 m					4	



Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

DOSSIER n° 6411126

Date : 22/11/2023

Cote Z : 398,40 m NGF

Type : Pelle mécanique (10 t)

Client : CH Tarbes-Lourdes

1/20

Sondage : PM8

EXGTE 3.23/GTE

Cote Z (m)	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Equipement forage	Profondeur (m)	Observations
	0	Terre végétale argileuse [marron foncé]	Non observé			0	
	0,3 m						
398		Argile [marron] avec des bancs de schistes ardoisiers altérés (Frange d'altération - Flysch)					
	0,8 m						
	1	Schiste ardoisier [gris/noir] +/- fracturé	Non observé			1	Bancs sub-verticaux Débit en plaquette Mauvaise tenue des fouilles
397							
	1,7 m						
	2					2	
396			Non observé				
	3	Refus sur banc + massif				3	
395							
	4,0 m					4	

Cote Z (m)	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Equipement forage	Profondeur (m)	Observations
	0	Terre végétale argileuse [marron foncé]				0	
	0,1 m						
399		Argile [beige/ocre] avec des bancs de schistes ardoisiers altérés (Frange d'altération - Flysch)					
	1					1	
	1,1 m						
398		Schiste ardoisier [gris/noir] +/- fracturé	1,4 m				Bancs sub-verticaux Débit en plaquette Mauvaise tenue des fouilles
	1,9 m						
2						2	
397							
	3	Refus sur banc + massif				3	
396							
	4,0 m					4	

infiltration eau (débit faible)

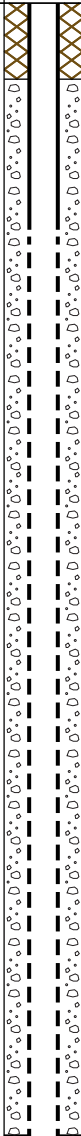
Cote Z (m)	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Equipement forage	Profondeur (m)	Observations
	0	Terre végétale argileuse [marron foncé]				0	
	0,2 m						
393		Argile [beige/ocre] avec des bancs de schistes ardoisiers altérés (Frange d'altération - Flysch)					
	0,9 m						
392	1	Schiste ardoisier [gris/noir] +/- fracturé	1,1 m infiltration eau (débit faible)			1	Bancs sub-verticaux Débit en plaquette Mauvaise tenue des fouilles
	2					2	
391	2,5 m						
	3	Refus sur banc + massif				3	
390							
	4,0 m					4	

Cote Z (m)	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Equipement forage	Profondeur (m)	Observations
	0	Terre végétale argileuse [marron foncé]				0	
	0,1 m						
389		Argile [beige/ocre]					
	0,9 m						
1		Argile [beige/ocre] avec des bancs de schistes ardoisiers altérés				1	
	1,2 m	(Frange d'altération - Flysch)					
388		Schiste ardoisier [gris/noir] +/- fracturé	1,4 m				Bancs sub-verticaux Débit en plaquette Mauvaise tenue des fouilles
	1,9 m						
2						2	
387							
3		Refus sur banc massif				3	
386							
	4,0 m					4	

Infiltration d'eau (débit faible)

Cote Z (m)	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Equipement forage	Profondeur (m)	Observations
389	0	Argile [marron/beige]	Non observé			0	
	0,5 m	Argile [beige/ocre] avec des bancs de schistes ardoisiers altérés (Frange d'altération - Flysch)					
388	1,0 m	Schiste ardoisier +/- fracturé [gris/noir] à quelques passages argileux				1	Bancs sub-verticaux Débit en plaquette
387	2,0 m					2	
386	3	Refus sur bancs + massifs				3	
385	4,0 m					4	

Sondage : Pz3

Cote Z (m)	Profondeur (m/TN)	Lithologie	OUTIL	EAU	PIEZO	EQUIPEMENT
403,7	1,8	Argile [marron / beige]	Tricône BWJ 63 + eau	0,3 m		PVC plein Ø45-50
402,9	2,6	Schiste ardoisier +/- fracturé avec quelques passages argileux [gris / beige]				
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
	12	Schiste ardoisier / Flysch [gris / noir] +/- massif				
	13					
	14					
	15					
	16					
	17					
	18					
	19					
385,5	20					

Sondage : Pz6

Cote Z (m)	Profondeur (m/TN)	Lithologie	OUTIL	EAU	PIEZO	EQUIPEMENT
	1					
394,1	1,8	Argile [beige / ocre] avec des bancs de schistes ardoisiers altérés	TAR. Ø 63 mm	0,5 m		PVC plein Ø45-50
393,0	2,9	Schiste ardoisier +/- fracturé avec quelques passages argileux [gris / beige]				
392,0	3,9					
391,1	4,8	Schiste ardoisier / Flysch [gris / noir] +/- massif				
	5	Schiste ardoisier +/- fracturé avec quelques passages argileux [gris / beige]	Tricône BWJ 63 + eau			PVC crépiné Ø45-50
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11	Schiste ardoisier / Flysch [gris / noir] +/- massif				
	12					
	13					
	14					
380,9	15,0					
	16					
	17					
	18					
	19					
	20					



Construction de l'Hôpital de Tarbes-Lourdes
Colline de Croueau
65380 LANNE

Dossier n° 6411126

Date : 30/11/2023

Cote Z : 389,00 m NGF

Machine : GEO 305

Client : CH Tarbes - Lourdes

1/100

Sondage : Pz7

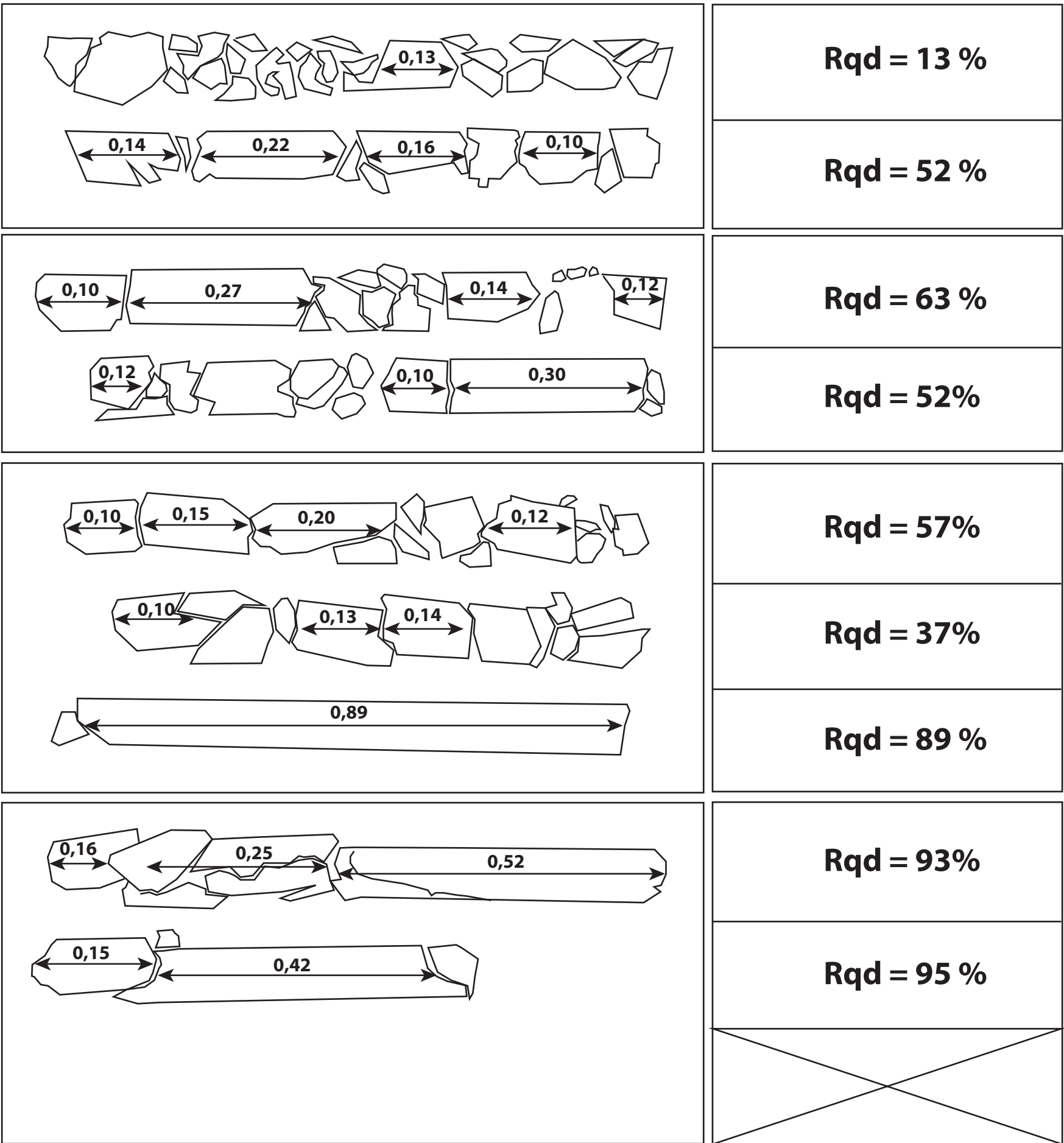
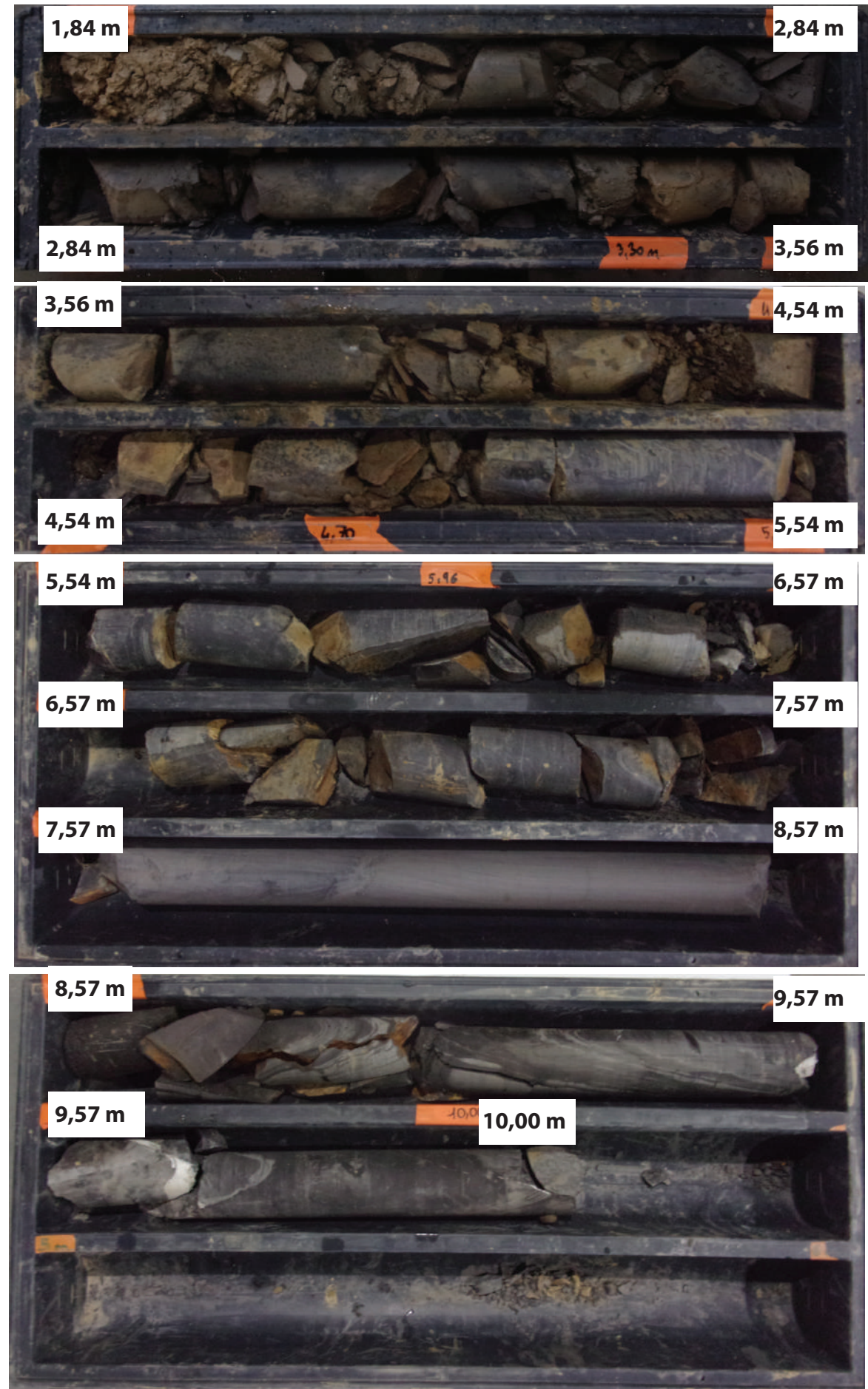
Cote Z (m)	Profondeur (m/TN)	Lithologie	OUTIL	EAU	PIEZO	EQUIPEMENT
388,4	0,6	Argile +/- limoneuse [marron / gris]	Tricône BWJ 63 + eau	0,7 m		PVC plein Ø45-50
387,7	1,3	Argile [beige / gris] avec des bancs de schistes ardoisiers altérés				
	2	Schiste ardoisier +/- fracturé avec quelques passages argileux [gris / beige]				
385,7	3,3					
	4	Schiste ardoisier / Flysch [gris / noir] +/- massif avec quelques passages + friables				
	5					
382,5	6,5					
	7	Schiste fracturé +/- friable [noir] avec quelques passages argileux				
381,3	7,7					
	8					
	9					
	10					
	11	Schiste ardoisier / Flysch [gris / noir] +/- massif				
	12					
	13					
	14					
374,0	15,0					
	16					
	17					
	18					
	19					
	20					

Analyse RQD : SC2 - 1,50 - 12,50 m

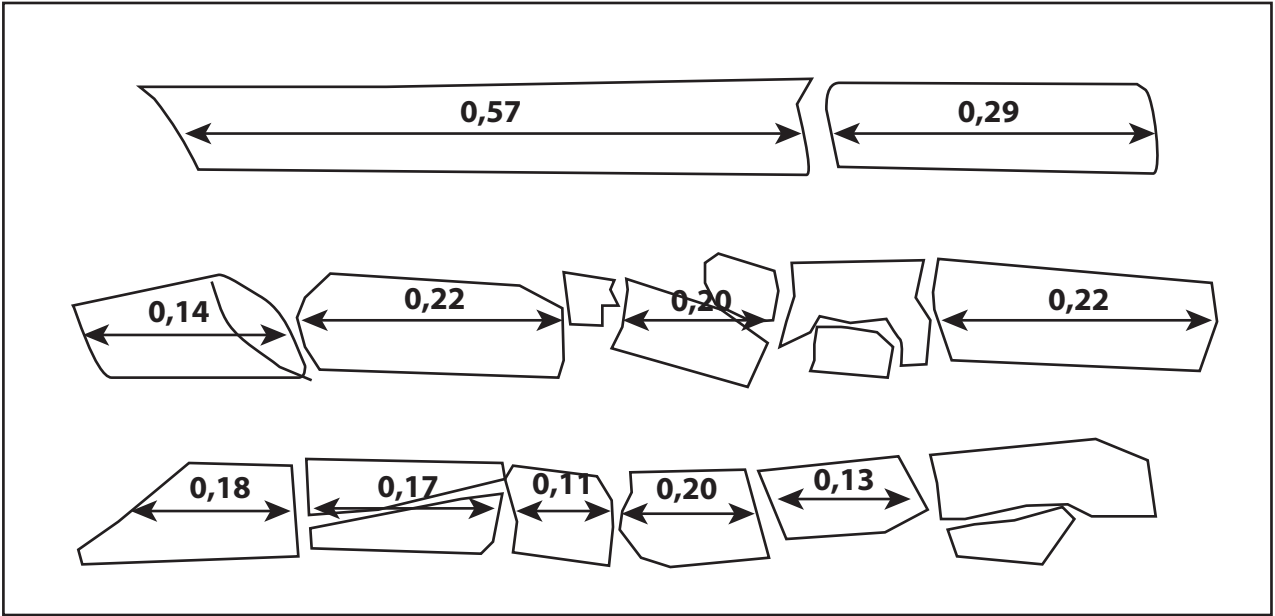


	Rqd = 0 %
	Rqd = 0 %
	Rqd = 61 %
	Rqd = 37 % ou 72 %
	Rqd = 80 %
	Rqd = 68 %
	Rqd = 91 %
	Rqd = 30 %
	Rqd = 74 %
	Rqd = 56 %
	Rqd = 71 %

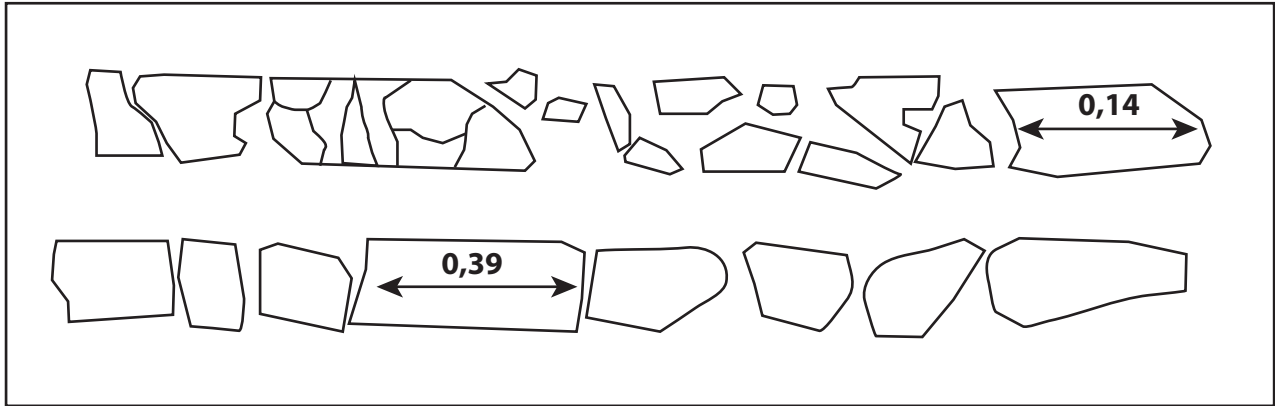
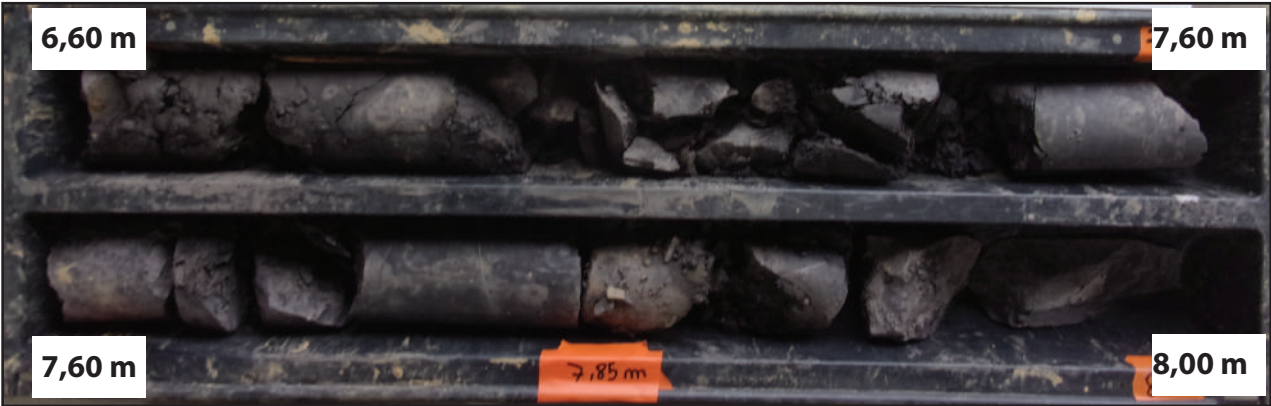
Analyse RQD : SC6 - 1,84 - 10,00 m



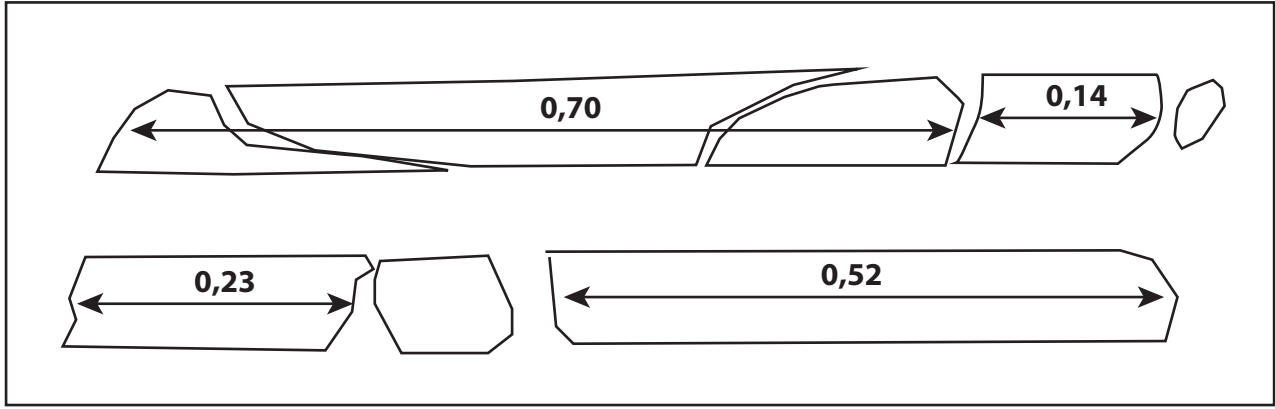
Analyse RQD : SC7 - 3,80- 10,00 m



Rqd = 86 %
Rqd = 78 %
Rqd = 79 %



Rqd = 14 %
Rqd = 39 %

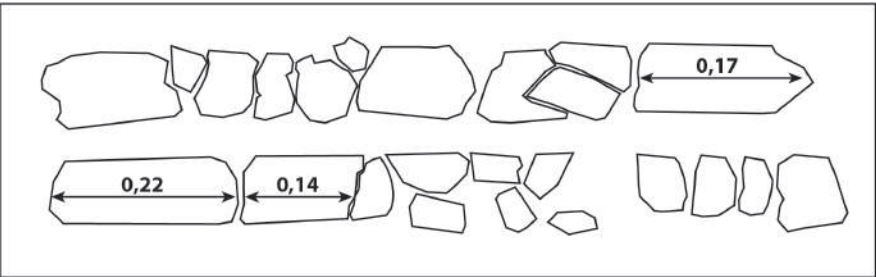


Rqd = 84 %
Rqd = 75 %

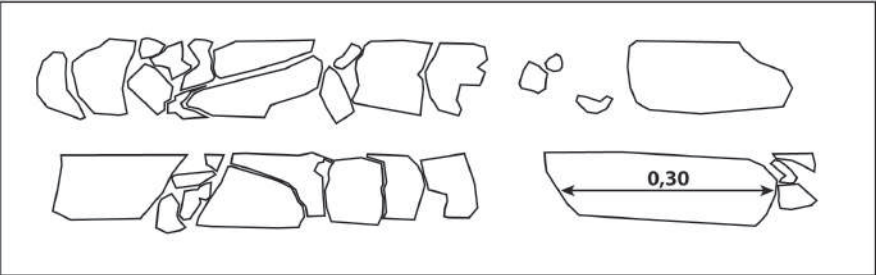
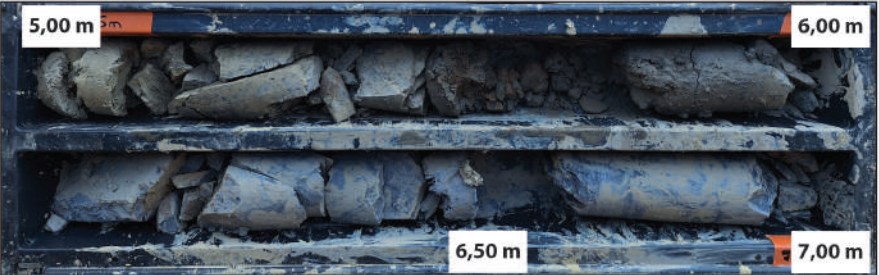
Analyse RQD : SC11 - 1,00 - 10,00 m

1,00 m 1,50 m 2,80 m	0,49	RQD = 0 %
2,80 m 3,80 m 4,60 m	0,10 0,12 0,24	RQD = 0 %
4,60 m 5,10 m 6,10 m	0,45 0,77	RQD = 90 %
6,10 m 6,60 m 7,40 m	0,50 0,75	RQD = 100 %
7,40 m 7,90 m 8,90 m	0,50 0,35 0,13 0,15 0,24	RQD = 100 %
8,90 m 9,30 m 10,00 m	0,35 0,25 Récupération	RQD = 95 %
		RQD = 50 %

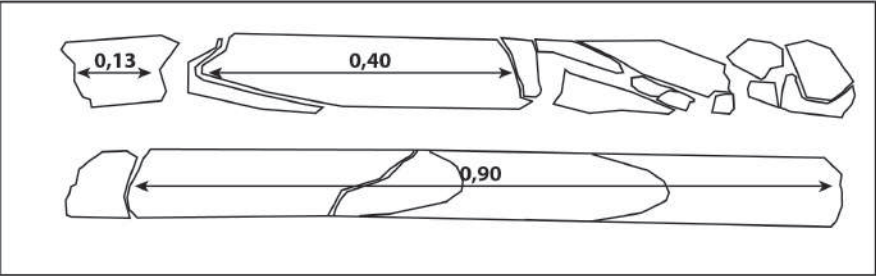
Analyse RQD : SC12 - 3,50- 10,00 m



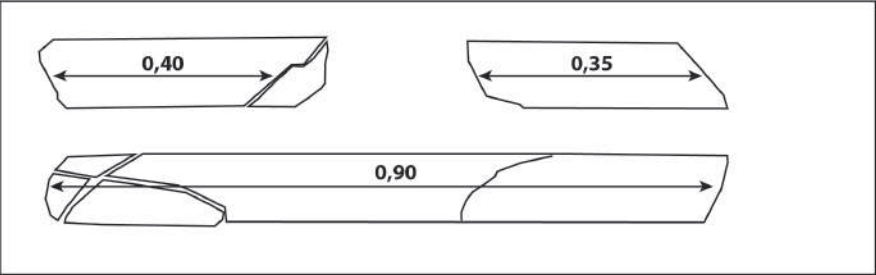
RQD= 17 %
RQD= 36 %



RQD = 0 %
RQD = 30 %



RQD = 53 %
RQD= 90 %



RQD = 75 %
RQD = 90 %

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 6410961

Chantier : LANNE (65)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : -

Sondage n° : SC2

Profondeur : 0,00-1,50 m

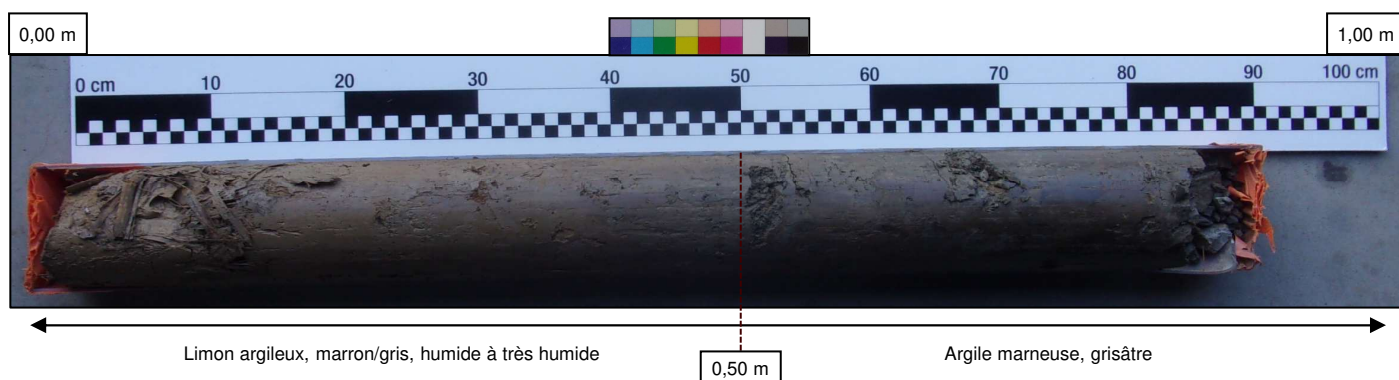
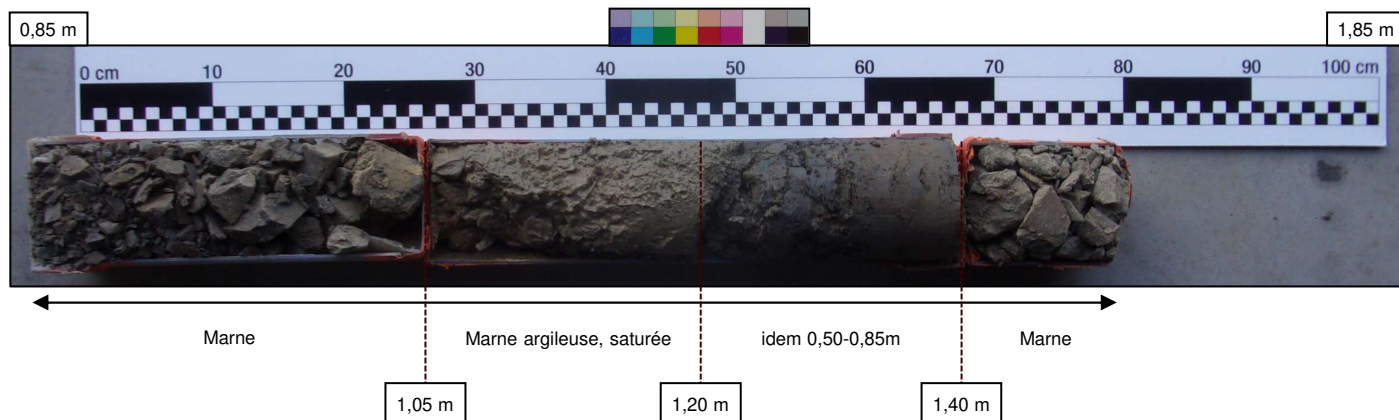
INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC

Date de prise de vue : 06/12/2023

Mode de prélèvement : Carottage

Mode de conservation : Gaine PVC

**PHOTOS ET DESCRIPTION
DE SONDAGES CAROTTÉS****SC2 (0,00-0,85 m)****SC2 (0,85-1,50 m)**

La responsable des essais
B. MECHAUSSIER



RÉFÉRENCES

Dossier n°: 6410961

Chantier : LANNE (65)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : -

Sondage n° : SC6

Profondeur : 0,00-1,84 m

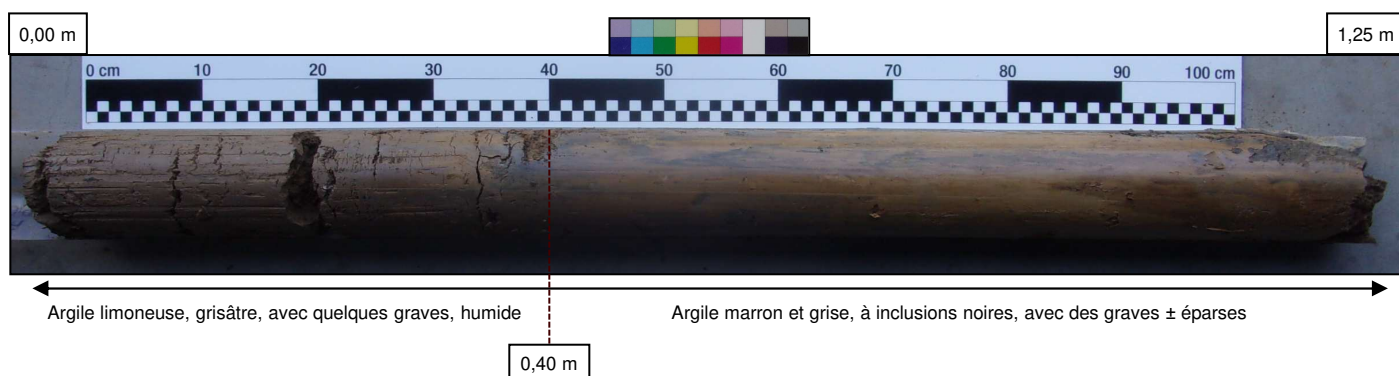
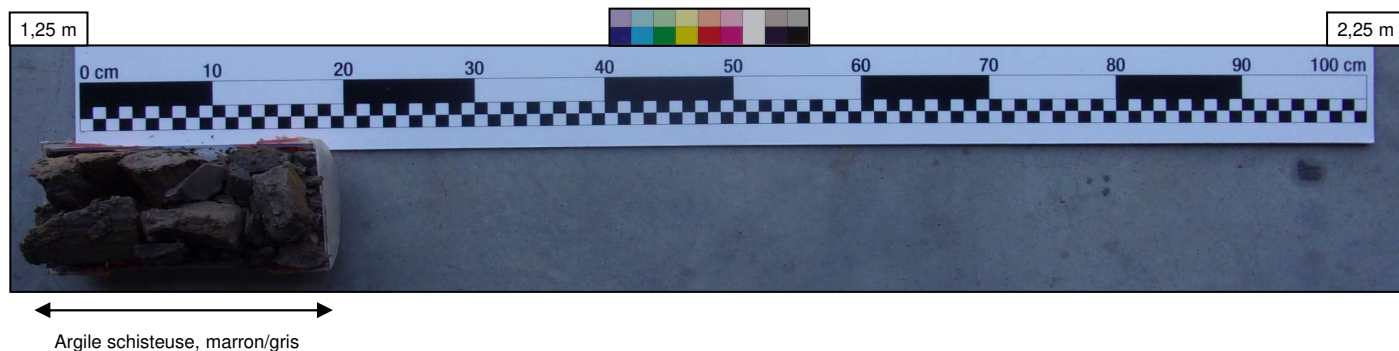
INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC

Date de prise de vue : 06/12/2023

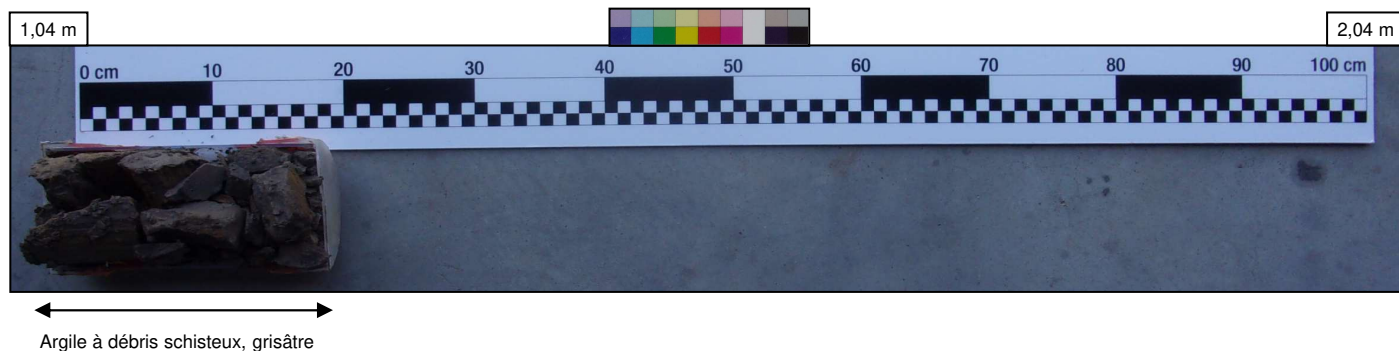
Mode de prélèvement : Carottage

Mode de conservation : Gaine PVC

**PHOTOS ET DESCRIPTION
DE SONDAGES CAROTTÉS****SC6 (0,00-1,25 m)****SC6 (1,25-1,50 m)****SC6 (1,50-1,84 m)**

La responsable des essais
B. MECHAUSIER



RÉFÉRENCES**Dossier n°:** 6410961**Chantier :** LANNE (65)**IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON****N° identification :** -**Sondage n° :** SC7**Profondeur :** 0,00-1,30 m**INFORMATIONS GÉNÉRALES****Date de prélèvement :** NC**Date de prise de vue :** 06/12/2023**Mode de prélèvement :** Carottage**Mode de conservation :** Gaine PVC**PHOTOS ET DESCRIPTION
DE SONDAGES CAROTTÉS****SC7 (0,00-1,04 m)****SC7 (1,04-1,30 m)**

La responsable des essais
B. MECHAUSIER



PROCES-VERBAL D'ESSAI
CLASSIFICATION D'UN SOL
NF P 11-300

Température étuve : 50°C ☐ 105°C ☒

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 6410941
Chantier : LANNE (65)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : 23-SOL0859
Sondage n° : SC6
Profondeur : 0,70-0,90 m
Description : Argile marron et grise, à inclusions noires indurées et à graves éparées

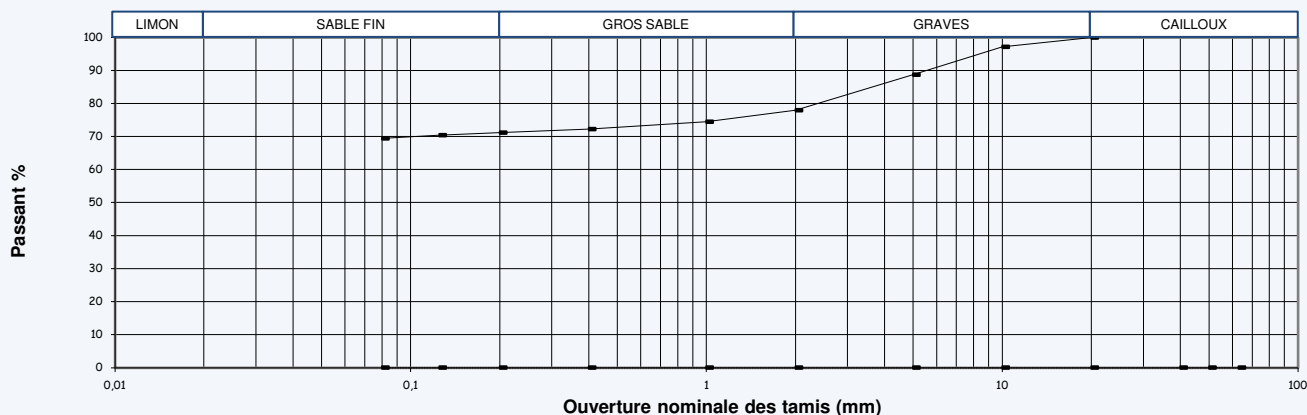
INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC
Date d'analyses : 19/12/2023
Mode de prélèvement : Carottage
Mode de conservation : Gaine PVC

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE suivant NF P 94-056

Ouverture tamis (mm)	100	80	63	50	40	20	10	5	2	1	0,400	0,200	0,125	0,080
% passant sur 0/D						100,0	97,2	88,7	78,0	74,4	72,3	71,2	70,4	69,5
% passant sur 0/50mm														

Courbe granulométrique



VALEUR AU BLEU suivant NF P 94-068

VBS = g de bleu/100g sol

TENEUR EN EAU suivant NF P 94-050

$W_{nat} = 28,1 \%$

LIMITES D'ATTERBERG
suivant NF P 94-051 et NF P 94-052-1

$W_L \% = 60$ $IP = 28$
 $W_p \% = 32$ $IC = 1,2$

OBSERVATIONS

La responsable des essais
B. MECHAUSIER

Classe du matériau

A₃

PROCES-VERBAL D'ESSAI

ESSAI DE CISAILLEMENT À LA BOÎTE

Cisaillement direct

NF P 94-071-1

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 6410941

Chantier : LANNE (65)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : 23-SOL0859

Sondage n° : SC6

Profondeur : 0,70-0,90 m

Description : Argile marron et grise, à inclusions noires indurées, à graves éparses

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC

Date d'analyses : 07-09/12/2023

Mode de prélèvement : Carottage

Mode de conservation : Gaine PVC

Caractéristiques des éprouvettes

Masse volumique des grains

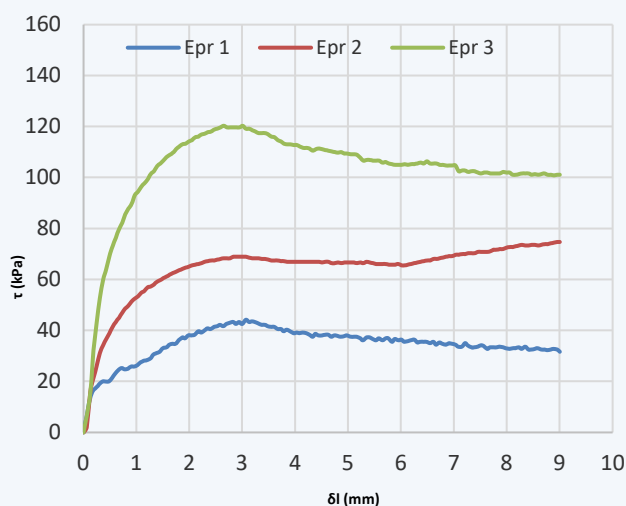
Caractéristique de l'essai

Hauteur (mm)	Côté (mm)	Etat	ρ_s (t/m ³)	Détermination	Vitesse de cisaillement (mm/mn)
20	60	Intactes	2,70	Estimée	0,0022

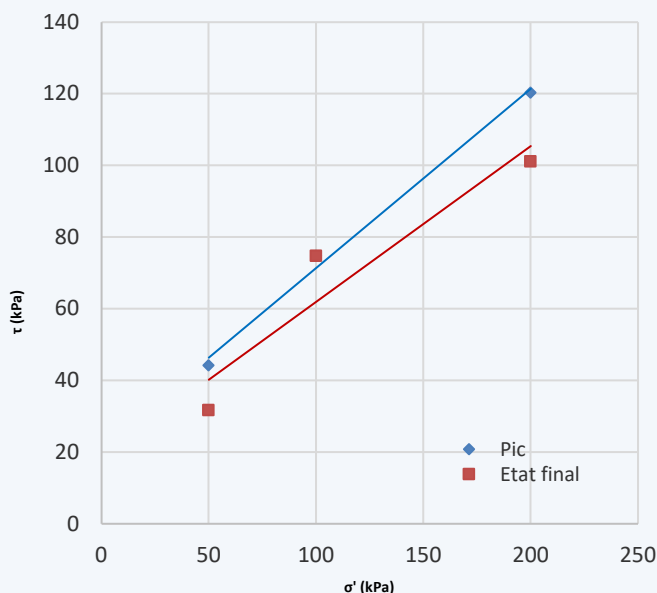
Identification des éprouvettes

N°	CONTRAINTE	AVANT ESSAI					APRES CONSOLI		APRES CISAI	RESISTANCES CISAILLEMENT				OBSERVATIONS :
	σ' kPa	W_i %	ρ_{hi} t/m ³	ρ_{di} t/m ³	e	S_{ri} %	ρ_d t/m ³	t_{100} min	W %	$\tau_{f,p}$ kPa	$\delta l_{f,p}$ mm	$\tau_{f,f}$ kPa	$\delta l_{f,f}$ mm	
1	50	27,5	1,87	1,46	0,84	88,0	1,49	29,2	33,3	44,2	3,1	31,7	9,0	Le matériau présente une foliation notamment très marquée sur l'éprouvette 3
2	100	27,3	1,88	1,48	0,83	88,9	1,55	55,7	31,1	74,7	9,0	74,7	9,0	
3	200	31,3	1,84	1,40	0,93	90,8	1,55	4,2	34,5	120,3	2,7	101,1	9,0	
4														

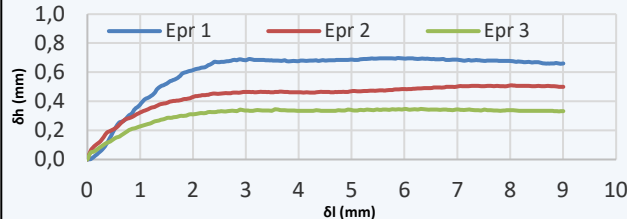
Contrainte cisaillement / Déplacement horizontal



Résistance cisaillement / Contrainte normale



Tassement / Déplacement horizontal



RÉSULTATS

Cohésion (kPa)		Angle de frottement (°)	
C'_p	C'_f	ϕ'_p	ϕ'_f
21	19	27	23

La responsable des essais
B. MECHAUSIER



PROCES-VERBAL D'ESSAI
CLASSIFICATION D'UN SOL
NF P 11-300

Température étuve : 50°C ☐ 105°C ☒

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 6410941
Chantier : LANNE (65)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : 23-SOL0858
Sondage n° : SC2
Profondeur : 0,50-0,85 m
Description : Marne argileuse, grisâtre

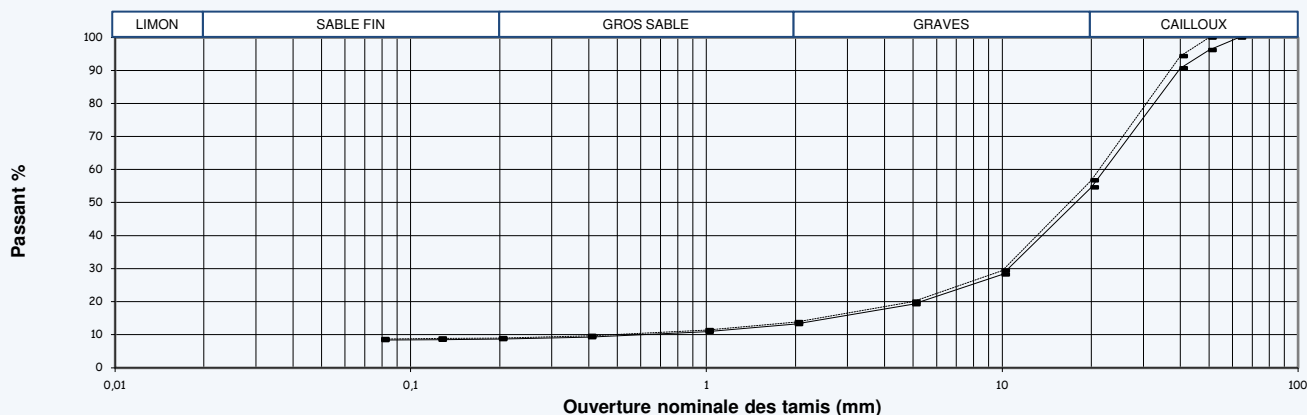
INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC
Date d'analyses : 21/12/2023
Mode de prélèvement : Carottage
Mode de conservation : Gaine PVC

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE suivant NF P 94-056

Ouverture tamis (mm)	100	80	63	50	40	20	10	5	2	1	0,400	0,200	0,125	0,080
% passant sur 0/D			100,0	96,2	90,7	54,6	28,3	19,2	13,2	10,9	9,2	8,6	8,5	8,4
% passant sur 0/50mm				100,0	94,3	56,8	29,4	20,0	13,8	11,3	9,6	9,0	8,8	8,7

Courbe granulométrique



VALEUR AU BLEU suivant NF P 94-068

VBS = 0,21 g de bleu/100g sol

TENEUR EN EAU suivant NF P 94-050

W_{nat} = 7,2 %

LIMITES D'ATTERBERG
suivant NF P 94-051 et NF P 94-052-1

W_L % =

IP =

W_p % =

IC =

OBSERVATIONS

Représentativité de l'échantillon non garantie en raison de la quantité de matériau analysée

La responsable des essais
B. MECHAUSIER

Classe du matériau

C₁B₄

PROCES-VERBAL D'ESSAI

TENEUR EN EAU PONDERALE DES MATÉRIAUX

Méthode par étuvage
NF P 94-050

DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE
Méthode de la trousse coupante, du moule et de
l'immersion dans l'eau
NF P 94-053

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 6411425
Chantier : LANNE (65)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : /
Sondage n° : /
Profondeur : /
Description : /

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC
Date d'analyses : 29/01/2025
Mode de prélèvement : Carottage
Mode de conservation : Gaine PVC

Température étuve : 105 °C

Résultats obtenus

N° Identification		25-SOL0095	25-SOL0097				
Sondage		SC11	SC12				
Profondeur	(m)	0,70-1,00	1,20-1,80				
Méthode utilisée		immersion	immersion				
Teneur en eau naturelle							
Wnat	%	21,9	28,4				
Masse volumique apparente							
ρ_h	(g/cm ³)	1,97	2,01				
Masse volumique sèche							
ρ_d	(g/cm ³)	1,62	1,57				

Observations

La responsable des essais
B. MECHAUSIER




PROCES-VERBAL D'ESSAI
CLASSIFICATION D'UN SOL
NF P 11-300

Température étuve : 50°C ☐ 105°C ☒

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 6411425
Chantier : LANNE (65)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

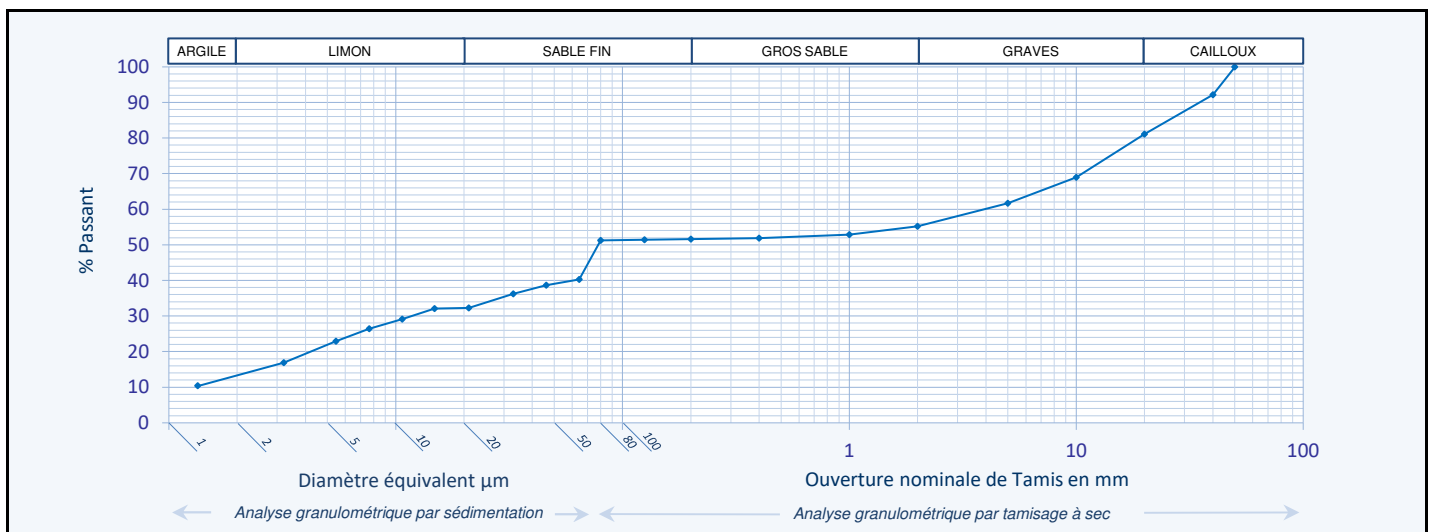
N° identification : 25-SOL0095
Sondage n° : SC11
Profondeur : 0,70-1,00 m
Description : Limon argileux, à nombreux débris schisteux, gris à marron/gris

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC
Date d'analyses : 13/02/2025
Mode de prélèvement : Carottage
Mode de conservation : Gaine PVC

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE suivant NF P 94-056 et NF P 94-057

Ouverture tamis (mm)	100	80	63	50	40	20	10	5	2	1	0,400	0,200	0,125	0,080
% passant				100,0	92,1	81,1	69,0	61,7	55,2	52,9	51,8	51,6	51,4	51,2
Diamètre équivalent (mm)	0,064	0,046	0,033	0,021	0,015	0,011	0,008	0,005	0,003	0,001	C ₂			
% passant	40,3	38,7	36,3	32,3	32,1	29,1	26,4	22,9	16,9	10,4	12,7			



VALEUR AU BLEU suivant NF P 94-068

VBS = 1,57 g de bleu/100g sol

TENEUR EN EAU suivant NF P 94-050

W_{nat} = 19,8 %

A_{CB}

12

LIMITES D'ATTERBERG
suivant NF P 94-051 et NF P 94-052-1

W_L % = 53 IP = 21
W_p % = 32 IC = 1,6

OBSERVATIONS

Représentativité de l'échantillon non garantie en raison de la quantité de matériau analysée

La responsable des essais
B. MECHAUSSIER

Classe du matériau

A₂

PROCES-VERBAL D'ESSAI

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Méthode par tamisage à sec après lavage et sédimentation

NF P 94-056 et NF P 94-057

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 6411425

Chantier : LANNE (65)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : 25-SOL0095

Sondage n° : SC11

Profondeur : 0,70-1,00 m

Description : Limon argileux, à nombreux débris schisteux, gris à marron/gris

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC

Date d'analyses : 13/02/2025

Mode de prélèvement : Carottage

Mode de conservation : Gaine PVC

Pourcentage de 0/80 µm dans la fraction 0/50mm :

51,2%

Éprouvette : A = 49,5 cm²

Observations :

Caractéristiques densimètre :

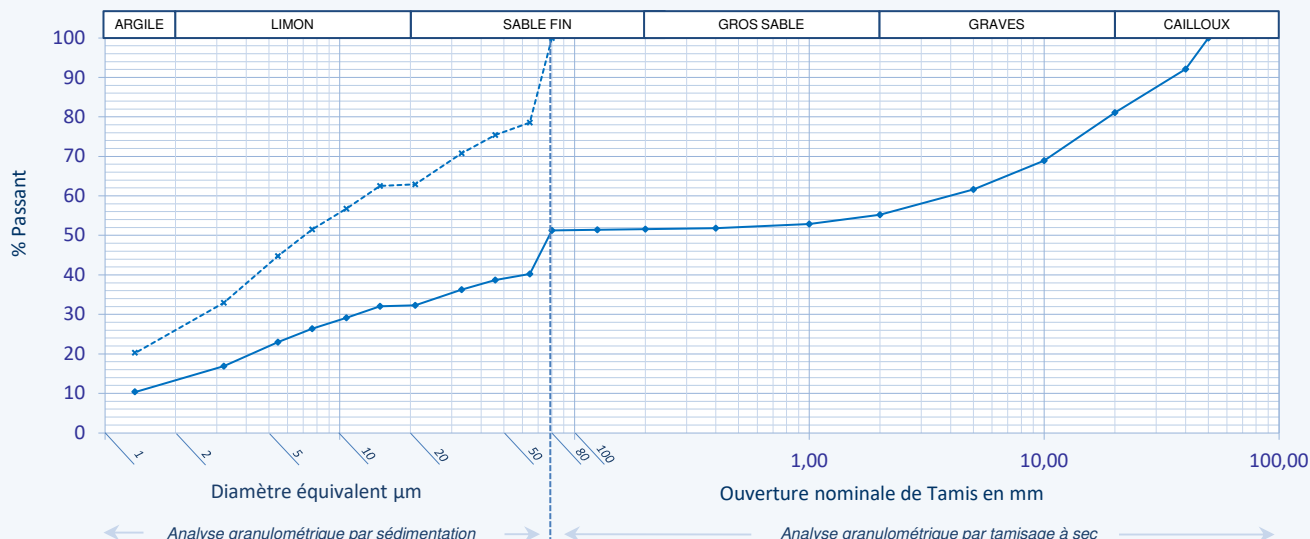
H₀ = 10,56 cm

h₁ = 13,74 cm

H₁ = 2,715 cm

V_d = 42,95 cm³

Facteurs correcteurs : C_m = -0,0003 C_d = -0,0023



RESULTATS SUIVANT NF P 94-057

Temps de lecture			Temps cumulés	R	Température	C _t	Diamètre équivalent	P %	P' %
h	min	s	s	Lecture densimètre	(°C)	Correction température C _t	µm	sur fraction 0/80µm	sur fraction 0/50mm
		30	30	1,0239	18,7	-0,001189	64,5	78,6	40,3
	1		60	1,0231	18,7	-0,001189	46,0	75,4	38,7
	2		120	1,0219	18,7	-0,001189	33,0	70,8	36,3
	5		300	1,0199	18,7	-0,001189	21,0	62,9	32,3
	10		600	1,0198	18,7	-0,001189	14,9	62,6	32,1
	20		1200	1,0183	18,8	-0,001167	10,7	56,8	29,1
	40		2400	1,0169	19,0	-0,001122	7,6	51,5	26,4
1	20		4800	1,0150	19,8	-0,000944	5,5	44,8	22,9
4			14400	1,0117	21,0	-0,000682	3,2	32,9	16,9
24			86400	1,0083	21,8	-0,000510	1,3	20,3	10,4

La responsable des essais

B. MECHAUSIER

Passant à 2 µm :

24,7%

12,7%



PROCES-VERBAL D'ESSAI
CLASSIFICATION D'UN SOL
NF P 11-300

Température étuve : 50°C ☐ 105°C ☒

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 6411425
Chantier : LANNE (65)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

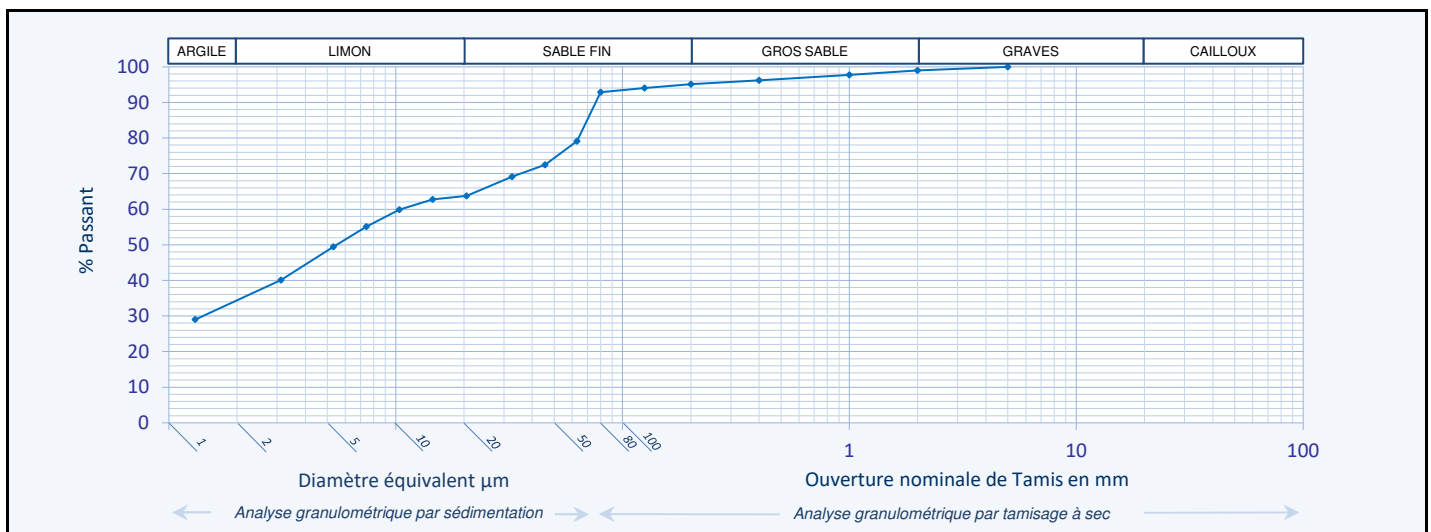
N° identification : 25-SOL0097
Sondage n° : SC12
Profondeur : 1,20-1,80 m
Description : Argile marron/gris et grise
tâchetée noir

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC
Date d'analyses : 11/02/2025
Mode de prélèvement : Carottage
Mode de conservation : Gaine PVC

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE suivant NF P 94-056 et NF P 94-057

Ouverture tamis (mm)	100	80	63	50	40	20	10	5	2	1	0,400	0,200	0,125	0,080
% passant								100,0	99,0	97,7	96,2	95,1	94,1	92,8
Diamètre équivalent (mm)	0,063	0,046	0,033	0,021	0,015	0,010	0,007	0,005	0,003	0,001	C ₂			
% passant	79,1	72,5	69,2	63,7	62,7	59,9	55,1	49,4	40,1	29,0	33,3			



VALEUR AU BLEU suivant NF P 94-068

VBS = 3,69 g de bleu/100g sol

TENEUR EN EAU suivant NF P 94-050

W_{nat} = 30,0 %

A_{CB}

11

LIMITES D'ATTERBERG
suivant NF P 94-051 et NF P 94-052-1

W_L % = 58 IP = 32
W_p % = 26 IC = 0,9

OBSERVATIONS

La responsable des essais
B. MECHAUSSIER

Classe du matériau

A₃

PROCES-VERBAL D'ESSAI

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Méthode par tamisage à sec après lavage et sédimentation

NF P 94-056 et NF P 94-057

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 6411425

Chantier : LANNE (65)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : 25-SOL0097

Sondage n° : SC12

Profondeur : 1,20-1,80 m

Description : Argile marron/gris et grise
tâchetée noir

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC

Date d'analyses : 11/02/2025

Mode de prélèvement : Carottage

Mode de conservation : Gaine PVC

Pourcentage de 0/80 µm dans la fraction 0/50mm :

92,8%

Éprouvette : A = 49,26 cm²

Observations :

Caractéristiques densimètre :

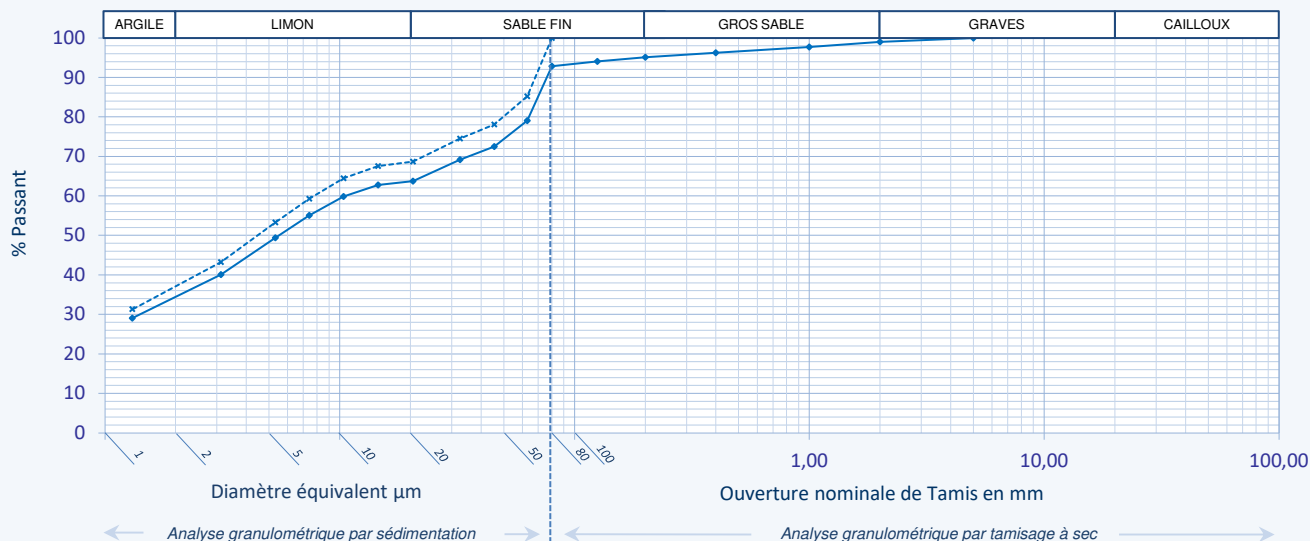
H₀ = 10,56 cm

h₁ = 13,74 cm

H₁ = 2,715 cm

V_d = 42,95 cm³

Facteurs correcteurs : C_m = -0,0003 C_d = -0,0023



RESULTATS SUIVANT NF P 94-057

Temps de lecture			Temps cumulés	R	Température	C _t	Diamètre équivalent	P %	P' %
h	min	s	s	Lecture densimètre	(°C)	Correction température Ct	µm	sur fraction 0/80µm	sur fraction 0/50mm
		30	30	1,0252	19,3	-0,001055	63,0	85,2	79,1
	1		60	1,0234	19,3	-0,001055	45,5	78,1	72,5
	2		120	1,0225	19,3	-0,001055	32,5	74,5	69,2
	5		300	1,0210	19,4	-0,001033	20,5	68,7	63,7
	10		600	1,0207	19,5	-0,001011	14,6	67,6	62,7
	20		1200	1,0199	19,6	-0,000988	10,4	64,5	59,9
	40		2400	1,0185	20,0	-0,000900	7,4	59,3	55,1
1	20		4800	1,0169	20,3	-0,000834	5,3	53,3	49,4
4			14400	1,0141	21,5	-0,000575	3,1	43,2	40,1
24			86400	1,0110	21,9	-0,000489	1,3	31,3	29,0

La responsable des essais

B. MECHAUSIER

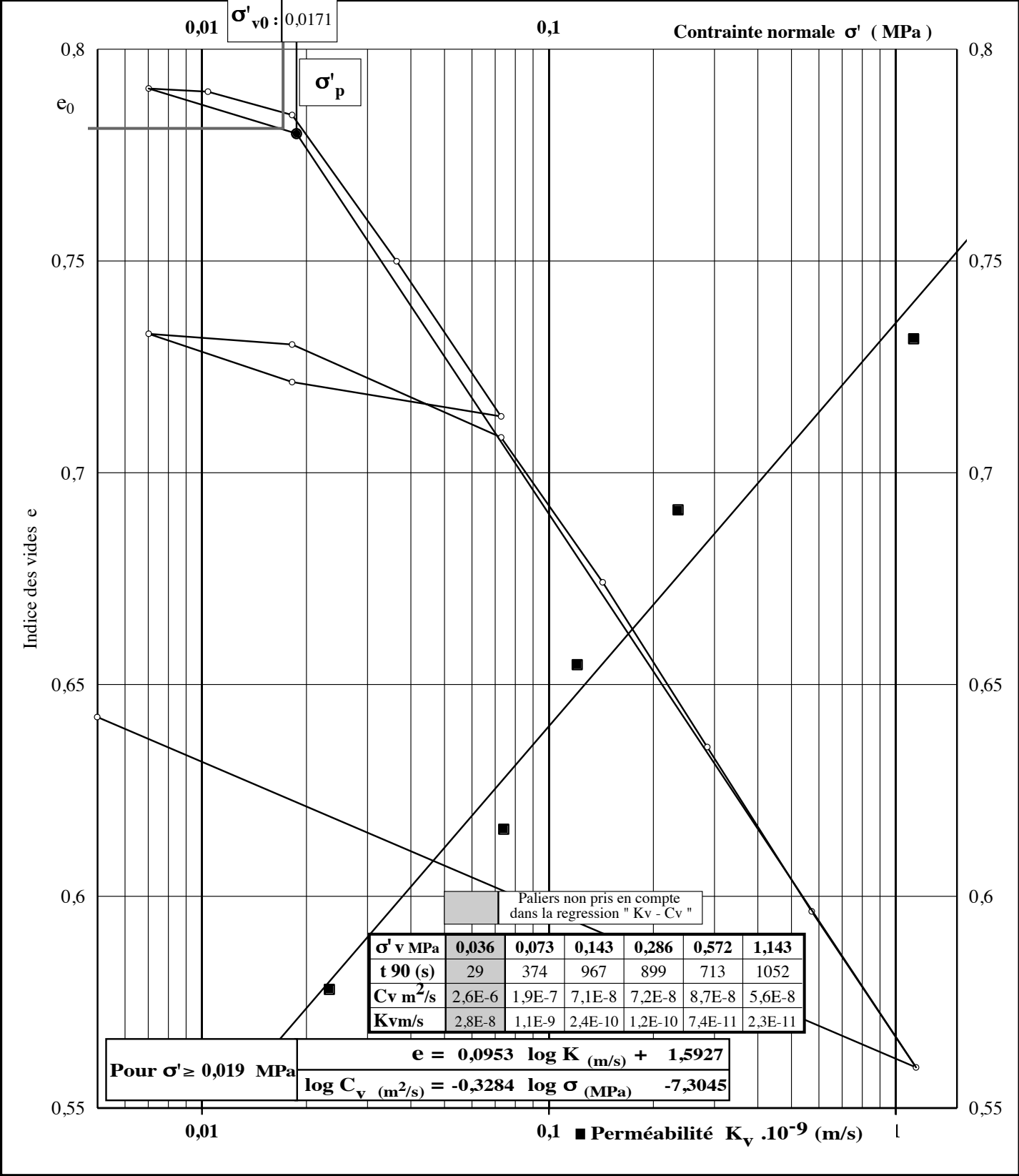
Passant à 2 µm :

35,9%

33,3%



ESSAI DE COMPRESSIBILITE		LANNE (65)	
COURT TERME (XP P 94-090-1)		ECR ENVIRONNEMENT 6411425	
Drainage Vertical			
		SEN°: SOLL-D25-80589	02-19/02/2025
SONDAGE: SC12	PROFONDEUR : 0,80 à 1,00 m	$\gamma_{s.est}$ 2,70	$e_i = 0,791$
Description géotechnique : Argile limoneuse marron bariolé marron foncé, consistante.		W_i % 28,8	W_{fi} % 23,8
		$\gamma_{d.i}$ 1,51	$\gamma_{d.fi}$ 1,64
		S_{ri} % 98,4	S_{rfi} % 99,9
		$e_0 = 0,781$	$C_c = 0,123$
		$\sigma'_{vg} = 0,007$ MPa	$C_s = 0,025$
		$\sigma'_{v0} = 0,017$ MPa	$C_v = 1,8E-7$ m ² /s
		$\sigma'_p = 0,019$ MPa	$K_v = 2,9E-9$ m/s



ESSAI DE COMPRESSIBILITE

COURT TERME (XP P 94-090-1)

Drainage Vertical

LANNE (65)

ECR ENVIRONNEMENT 6411425

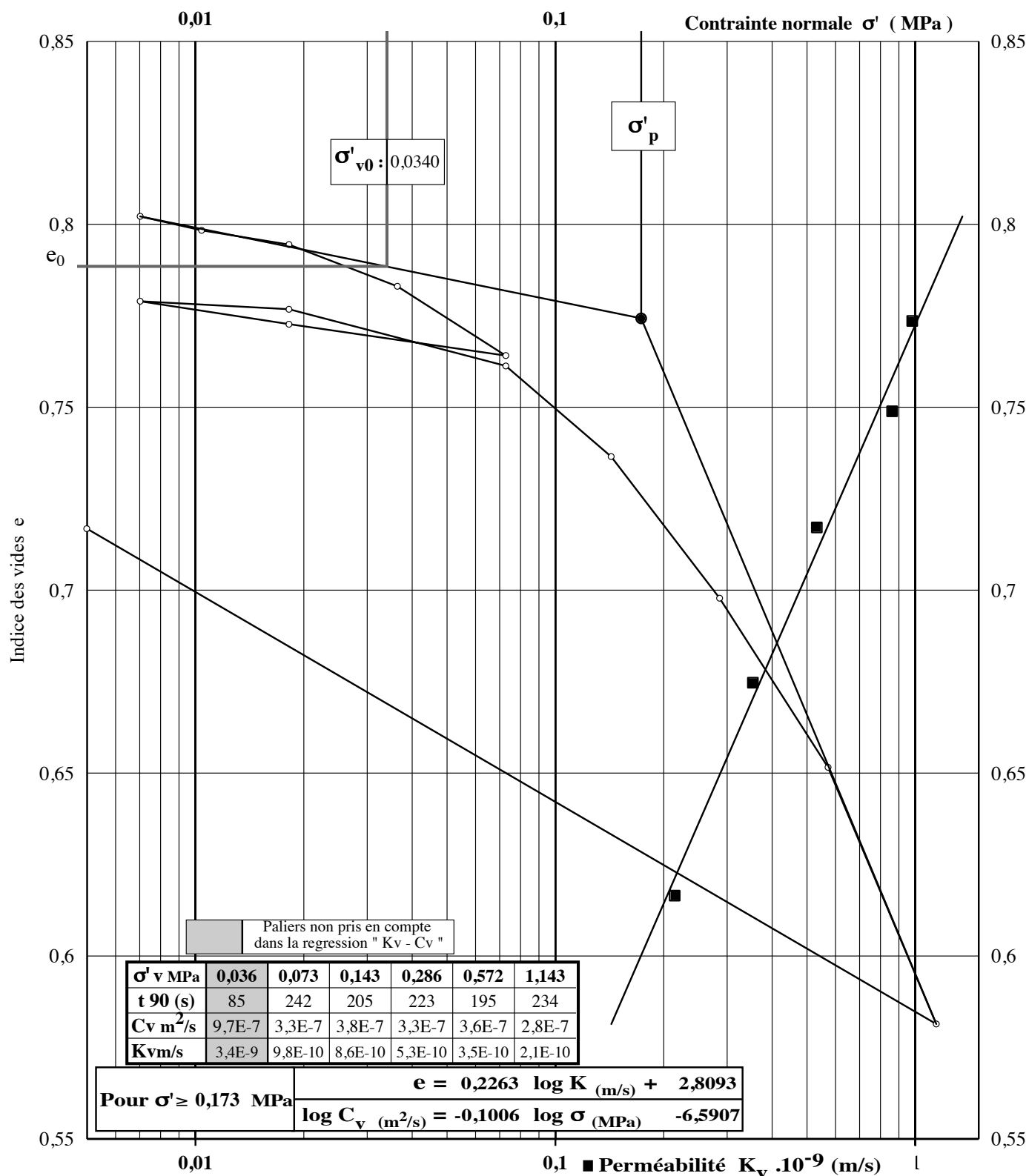
SEN°: SOLL-D25-8089

02-19/02/2025

SONDAGE: SC12 PROFONDEUR : 2,50 à 2,70 m

Description géotechnique :

Argile limoneuse bariolée marron à marron clair, consistante.

 $\gamma_{s.est}$ 2,70 $e_i = 0,803$ $e_0 = 0,789$ $C_c = 0,310$ W_i % 27,2 W_{fi} % 26,0 $\sigma'_g = 0,007$ MPa $C_s = 0,020$ $\gamma_{d.i}$ 1,50 $\gamma_{d.fi}$ 1,57 $\sigma'_{v0} = 0,034$ MPa $C_v = 3,1E-7$ m²/s S_{ri} % 91,6 S_{rfi} % 97,8 $\sigma'_p = 0,173$ MPa $K_v = 1,0E-9$ m/s

Analyse minéralogique par diffraction des rayons X

Ref commande : 6411429

ETUDE : 25.0066.A

FEVRIER 2025

Analyses réalisées par le laboratoire Biogéosciences

Préparation

L'analyse de la fraction argileuse a été effectuée par diffraction des rayons X selon les méthodes préconisées par Holtzapffel (1985) et Moore & Reynolds, (1997). Les diffractogrammes ont été obtenus en utilisant un diffractomètre Bruker D8 Endeavor avec un rayonnement $\text{CuK}\alpha$, un détecteur LynxEye XE-T, sous une tension de 40 kV et une intensité de 25 mA.

Après délitage dans l'eau distillée, les échantillons sont décalcifiés à l'aide d'acide chlorhydrique N/5. Les argiles sont ensuite défloculées par rinçage successifs à l'eau distillée jusqu'à obtention d'une suspension stable. Après décantation de la suspension pendant 1h40, la fraction argileuse est prélevée sur 2 cm à l'aide d'une seringue, puis centrifugée pendant 45 minutes à 3500 t/min. Le culot d'argile obtenu est ensuite étalé sur deux lames rainurées. Celles-ci sont ensuite séchées à température ambiante.

Trois essais sont alors réalisés: 1) sans traitement préalable (air ambiant), 2) après saturation par l'éthylène-glycol, 3) après chauffage à 490°C pendant deux heures.

Résultats

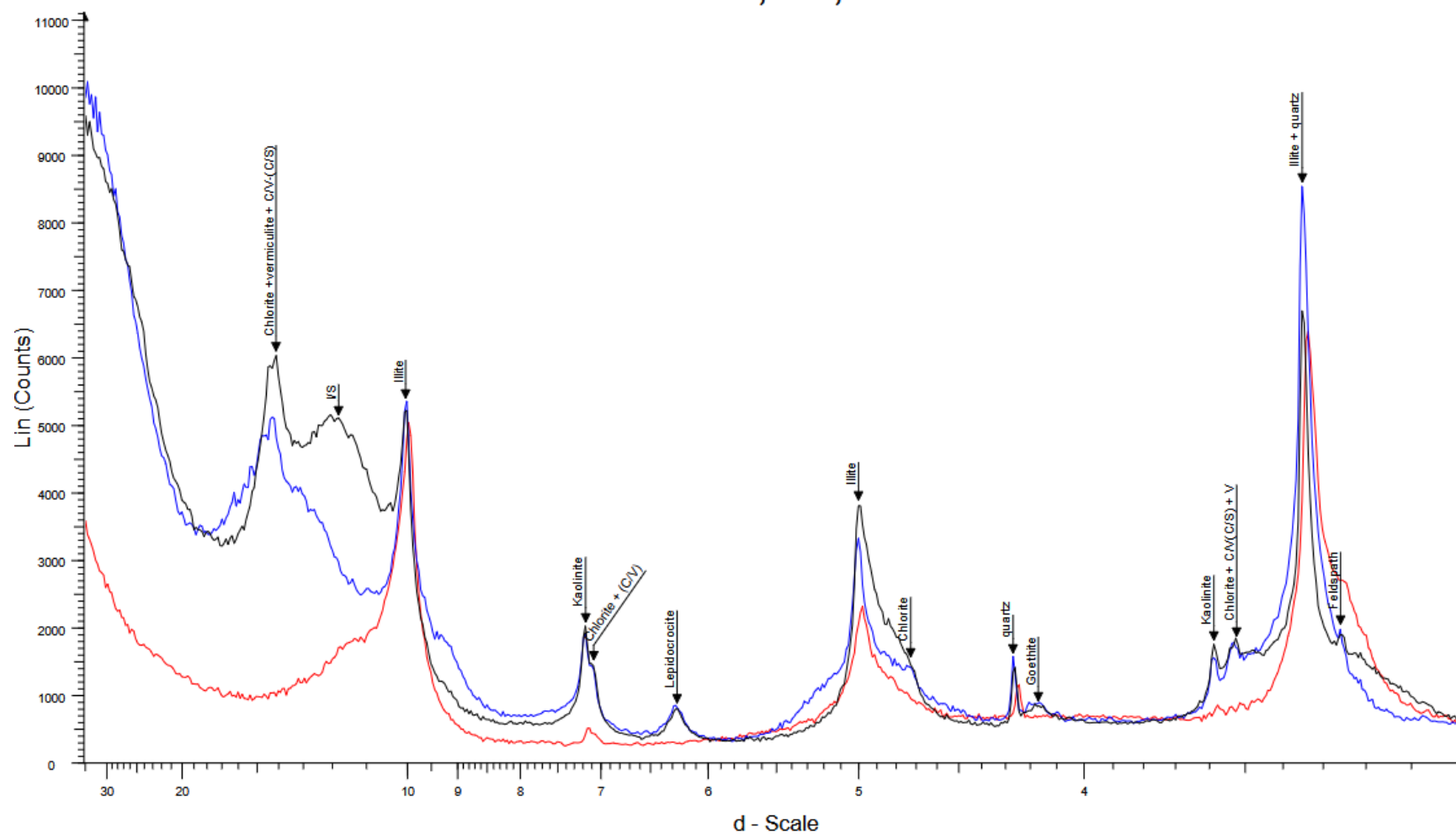
Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous en %. La marge d'erreur est de l'ordre de 5%.

Ech.	Smectite et interstratifiés Illite/smectite	Illite	Kaolinite	Interstratifiés chlorite/vermiculite, chlorite et vermiculite	Autres minéraux présents dans la fraction <2µm
SC12 0,60-0,80	43%	43%	7%	7%	Quartz ; Lépidocrocite ; Goethite ; Feldpaths

Holtzapffel T. (1985). -Les minéraux argileux : préparation, analyse diffractométrique et détermination. *Société Géologique du Nord* 12: 135 p.

Moore D.M. & Reynolds R.C. (1997). -*X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals*. 2nd edition, Oxford University Press. 378

SC12 0,6-0,8



SC12 0,6-0,8 - File: SC12 0,6-0,8 n.raw - Type: Locked Coupled - Start: 2.500 ° - End: 29.946 ° - Step : 0.040 ° - Step time: 47. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 2.500 ° - Theta: 1.250 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 59.07
Operations: Import

SC12 0,6-0,8 c - File: SC12 0,6-0,8 c.raw - Type: Locked Coupled - Start: 2.500 ° - End: 29.946 ° - Step: 0.040 ° - Step time: 47. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 2.500 ° - Theta: 1.250 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 58.7
Operations: Import

SC12 0,6-0,8 gl - File: SC12 0,6-0,8 gl.raw - Type: Locked Coupled - Start: 2.500 ° - End: 29.946 ° - Step: 0.040 ° - Step time: 47. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 2.500 ° - Theta: 1.250 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 189
Operations: Import

**DETERMINATION DE LA RESISTANCE A LA FRAGMENTATION
- METHODE ESSAI LOS ANGELES**

NF EN 1097-2 Avril 2020

Nature	: 1,50 à 3,50m SC2	Client	: ECR
Provenance	: Lanne	Dossier N°	: E24-164
N° enregistrement	: ECR 241021/1	Affaire	:
Date de prélèvement	: NR	Date de l'essai	: 23/10/2024
Prélevé par	: Client	Technicien	: MM/PG

OBJET

Cet essai permet de mesurer la résistance à la fragmentation d'un échantillon de granulat, d'origine naturelle ou artificielle, utilisé dans le domaine du bâtiment et du génie civil.

La fragmentation des granulats est produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets dans un cylindre en rotation dans des conditions bien définies.

La granularité du matériau soumis à l'essai est de classe granulaire :

- 10 / 14 mm

Mais les écarts suivants par rapport à la méthode de référence peuvent fournir des informations complémentaires (voir annexe B)

- 4 / 6,3 mm

- 4 / 8 mm

- 6,3 / 10 mm

- 8 / 11,2 mm

- 11,2 / 16 mm

La masse de la charge de boulets varie suivant les classes granulaires.

RESULTAT

Classe granulaire :	10/14
----------------------------	--------------

L_A :	23
------------------------	-----------

Observation :

Le 24/10/2024
à ANSE

Le responsable des essais.
A-C COLLET

- PROCES VERBAL D'ESSAI N° G1-241025/14

Détermination à la résistance à l'usure

- ESSAI micro- DEVAL

EN 1097-1 - Décembre 2023

Nature	: 1,50 à 3,50 SC2	Client	: ECR
Provenance	: Lanne	Dossier N°	: E24-164
Prélevé par	: Client	Affaire	: Suivi
N° enregistrement	: ECR241021/1	Date de l'essai	: 25/10/2024
Date de prélèvement	: NR	Technicien	: PG
		Adresse demandeur	:

OBJET

Cet essai permet de mesurer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulat de classe granulaire 10 - 14 mm, d'origine naturelle ou artificielle.

L'usure des granulats est produite par frottements réciproques et chocs modérés des éléments de l'échantillon.

RESULTATSClasse granulaire : **10/14**Charge abrasive : **5001** g**Coefficient micro-Deval :**

Il existe deux types d'essai, à sec (M_{DS}) ou en présence d'eau (M_{DE}).

Eprouvette n° 1

Eprouvette n° 2

Coefficient Deval - M_{DS} :*Essai réalisé à sec. (annexe B)*

Eprouvette n° 1

97,9

Eprouvette n° 2

98,3

Coefficient Deval - M_{DE} : 98*Essai réalisé en présence d'eau.***Observation :**

Le 25/10/2024

à ANSE

Le responsable des essais.

A-C COLLET

**DETERMINATION DE LA RESISTANCE A LA FRAGMENTATION
- METHODE ESSAI LOS ANGELES**

NF EN 1097-2 Avril 2020

Nature : 5,50 à 7,50m SC2
Provenance : Lanne
N° enregistrement : ECR 241021/3
Date de prélèvement : NR
Prélevé par : Client

Client : ECR
Dossier N° : E24/164
Affaire :
Date de l'essai : 23/10/2024
Technicien : PG

OBJET

Cet essai permet de mesurer la résistance à la fragmentation d'un échantillon de granulat, d'origine naturelle ou artificielle, utilisé dans le domaine du bâtiment et du génie civil.

La fragmentation des granulats est produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets dans un cylindre en rotation dans des conditions bien définies.

La granularité du matériau soumis à l'essai est de classe granulaire :

- 10 / 14 mm

Mais les écarts suivants par rapport à la méthode de référence peuvent fournir des informations complémentaires (voir annexe B)

- 4 / 6,3 mm

- 4 / 8 mm

- 6,3 / 10 mm

- 8 / 11,2 mm

- 11,2 / 16 mm

La masse de la charge de boulets varie suivant les classes granulaires.

RESULTAT

Classe granulaire : 10/14

L_A : 27

Observation :

Le 24/10/2024
à ANSE

Le responsable des essais.
A-C COLLET

**DETERMINATION DE LA RESISTANCE A LA FRAGMENTATION
- METHODE ESSAI LOS ANGELES**

NF EN 1097-2 Avril 2020

Nature : 6,5 à 8,5m SC6
Provenance : Lanne
N° enregistrement : ECR 241021/4
Date de prélèvement : NR
Prélevé par : Client

Client : ECR
Dossier N° : E24-164
Affaire :
Date de l'essai : 23/10/2024
Technicien : MM/PG

OBJET

Cet essai permet de mesurer la résistance à la fragmentation d'un échantillon de granulat, d'origine naturelle ou artificielle, utilisé dans le domaine du bâtiment et du génie civil.

La fragmentation des granulats est produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets dans un cylindre en rotation dans des conditions bien définies.

La granularité du matériau soumis à l'essai est de classe granulaire :

- 10 / 14 mm

Mais les écarts suivants par rapport à la méthode de référence peuvent fournir des informations complémentaires (voir annexe B)

- 4 / 6,3 mm

- 4 / 8 mm

- 6,3 / 10 mm

- 8 / 11,2 mm

- 11,2 / 16 mm

La masse de la charge de boulets varie suivant les classes granulaires.

RESULTAT

Classe granulaire : 10/14

L_A : 33

Observation :

Le 24/10/2024
à ANSE

Le responsable des essais.
A-C COLLET

**DETERMINATION DE LA RESISTANCE A LA FRAGMENTATION
- METHODE ESSAI LOS ANGELES**

NF EN 1097-2 Avril 2020

Nature : 4,6 à 6,6m SC7
Provenance : Lanne
N° enregistrement : ECR 241021/2
Date de prélèvement : NR
Prélevé par : Client

Client : ECR
Dossier N° : E24-164
Affaire :
Date de l'essai : 23/10/2024
Technicien : MM/PG

OBJET

Cet essai permet de mesurer la résistance à la fragmentation d'un échantillon de granulat, d'origine naturelle ou artificielle, utilisé dans le domaine du bâtiment et du génie civil.

La fragmentation des granulats est produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets dans un cylindre en rotation dans des conditions bien définies.

La granularité du matériau soumis à l'essai est de classe granulaire :

- 10 / 14 mm

Mais les écarts suivants par rapport à la méthode de référence peuvent fournir des informations complémentaires (voir annexe B)

- 4 / 6,3 mm

- 4 / 8 mm

- 6,3 / 10 mm

- 8 / 11,2 mm

- 11,2 / 16 mm

La masse de la charge de boulets varie suivant les classes granulaires.

RESULTAT

Classe granulaire : 10/14

L_A : 30

Observation :

Le 24/10/2024
à ANSE

Le responsable des essais.
A-C COLLET

- PROCES VERBAL D'ESSAI N° G1-241025/15

Détermination à la résistance à l'usure

- ESSAI micro- DEVAL

EN 1097-1 - Décembre 2023

Nature	: 1,50 à 3,50 SC2	Client	: ECR
Provenance	: Lanne	Dossier N°	: E24-164
Prélevé par	: Client	Affaire	: Suivi
N° enregistrement	: ECR241021/1	Date de l'essai	: 25/10/2024
Date de prélèvement	: NR	Technicien	: PG
		Adresse demandeur	:

OBJET

Cet essai permet de mesurer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulat de classe granulaire 10 - 14 mm, d'origine naturelle ou artificielle.

L'usure des granulats est produite par frottements réciproques et chocs modérés des éléments de l'échantillon.

RESULTATSClasse granulaire : **10/14**Charge abrasive : **5000** g**Coefficient micro-Deval :**

Il existe deux types d'essai, à sec (M_{DS}) ou en présence d'eau (M_{DE}).

Eprouvette n° 1

Eprouvette n° 2

Coefficient Deval - M_{DS} :*Essai réalisé à sec. (annexe B)*

Eprouvette n° 1

98,9

Eprouvette n° 2

98,4

Coefficient Deval - M_{DE} : 99*Essai réalisé en présence d'eau.***Observation :**

Le 25/10/2024

à ANSE

Le responsable des essais.

A-C COLLET

- PROCES VERBAL D'ESSAI N° G1-241029/30

Détermination à la résistance à l'usure

- ESSAI micro- DEVAL

EN 1097-1 - Décembre 2023

Nature	: 5,50 à 7,50 SC2	Client	: ECR
Provenance	: Lanne	Dossier N°	: E24-164
Prélevé par	: Client	Affaire	: Suivi
N° enregistrement	: ECR241021/3	Date de l'essai	: 28/10/2024
Date de prélèvement	: NR	Technicien	: MM/PG
		Adresse demandeur	:

OBJET

Cet essai permet de mesurer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulat de classe granulaire 10 - 14 mm, d'origine naturelle ou artificielle.

L'usure des granulats est produite par frottements réciproques et chocs modérés des éléments de l'échantillon.

RESULTATSClasse granulaire : **10/14**Charge abrasive : **4999** g**Coefficient micro-Deval :**

Il existe deux types d'essai, à sec (M_{DS}) ou en présence d'eau (M_{DE}).

Eprouvette n° 1

Eprouvette n° 2

Coefficient Deval - M_{DS} :*Essai réalisé à sec. (annexe B)*

Eprouvette n° 1

99,9

Eprouvette n° 2

99,8

Coefficient Deval - M_{DE} : 100*Essai réalisé en présence d'eau.***Observation :**

Le 29/10/2024

à ANSE

Le responsable des essais.

A-C COLLET

- PROCES VERBAL D'ESSAI N° G1-241025/17

Détermination à la résistance à l'usure

- ESSAI micro- DEVAL

EN 1097-1 - Décembre 2023

Nature	: 6,50 à 8,50 SC6	Client	: ECR
Provenance	: Lanne	Dossier N°	: E24-164
Prélevé par	: Client	Affaire	: Suivi
N° enregistrement	: ECR241021/4	Date de l'essai	: 25/10/2024
Date de prélèvement	: NR	Technicien	: PG
		Adresse demandeur	:

OBJET

Cet essai permet de mesurer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulat de classe granulaire 10 - 14 mm, d'origine naturelle ou artificielle.

L'usure des granulats est produite par frottements réciproques et chocs modérés des éléments de l'échantillon.

RESULTATSClasse granulaire : **10/14**Charge abrasive : **4999** g**Coefficient micro-Deval :**

Il existe deux types d'essai, à sec (M_{DS}) ou en présence d'eau (M_{DE}).

Eprouvette n° 1

Eprouvette n° 2

Coefficient Deval - M_{DS} :*Essai réalisé à sec. (annexe B)*

Eprouvette n° 1

90,4

Eprouvette n° 2

90**Coefficient Deval - M_{DE} : 90***Essai réalisé en présence d'eau.***Observation :**Le **25/10/2024**

à ANSE

Le responsable des essais.

A-C COLLET

- PROCES VERBAL D'ESSAI N° G1-241025/16

Détermination à la résistance à l'usure

- ESSAI micro- DEVAL

EN 1097-1 - Décembre 2023

Nature	: 4,60 à 6,60 SC7	Client	: ECR
Provenance	: Lanne	Dossier N°	: E24-164
Prélevé par	: Client	Affaire	: Suivi
N° enregistrement	: ECR241021/2	Date de l'essai	: 25/10/2024
Date de prélèvement	: NR	Technicien	: PG
		Adresse demandeur	:

OBJET

Cet essai permet de mesurer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulat de classe granulaire 10 - 14 mm, d'origine naturelle ou artificielle.

L'usure des granulats est produite par frottements réciproques et chocs modérés des éléments de l'échantillon.

RESULTATSClasse granulaire : **10/14**Charge abrasive : **5001** g**Coefficient micro-Deval :**

Il existe deux types d'essai, à sec (M_{DS}) ou en présence d'eau (M_{DE}).

Eprouvette n° 1

Eprouvette n° 2

Coefficient Deval - M_{DS} :*Essai réalisé à sec. (annexe B)*

Eprouvette n° 1

98,3

Eprouvette n° 2

98,4

Coefficient Deval - M_{DE} : 98*Essai réalisé en présence d'eau.***Observation :**

Le 25/10/2024

à ANSE

Le responsable des essais.

A-C COLLET

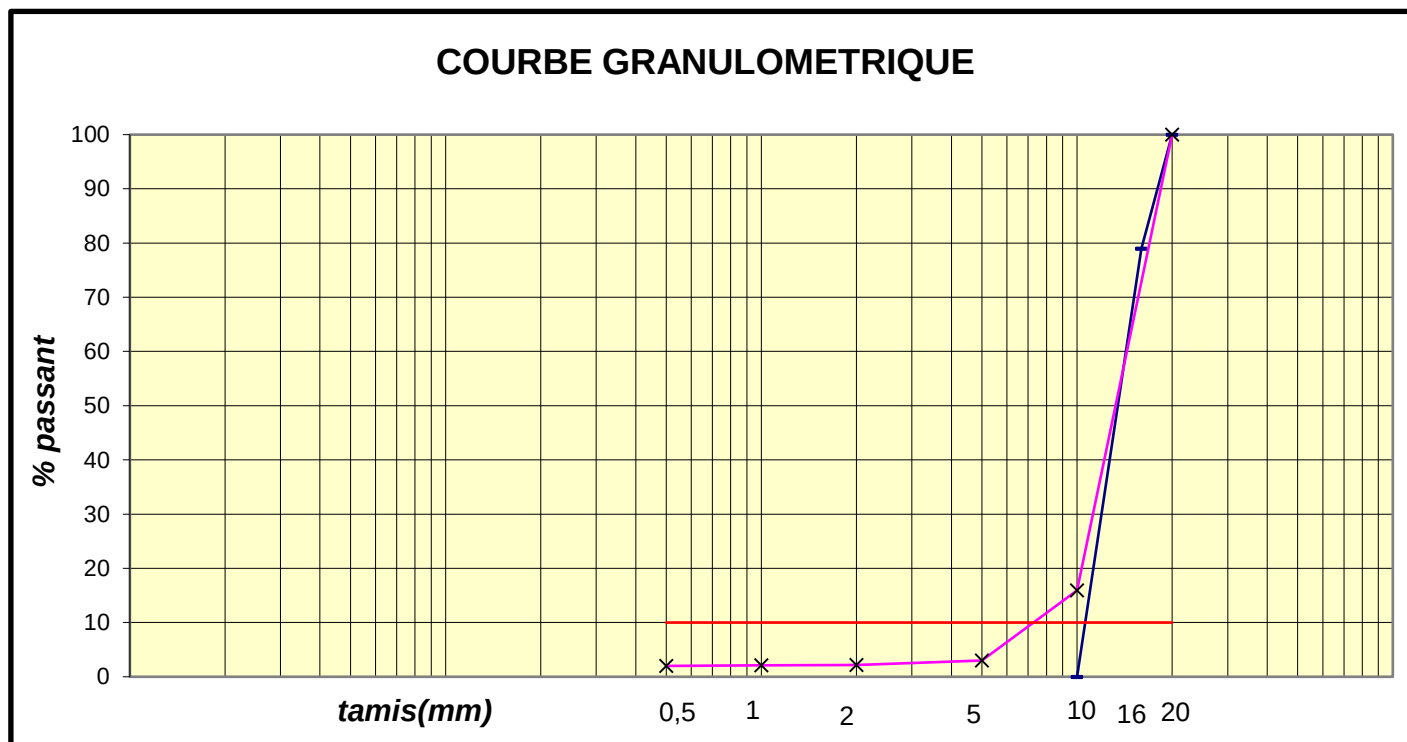
- PROCES VERBAL D'ESSAI N° S7-241120/10**Sols : Reconnaissance et essais
COEFFICIENT DE DEGRADABILITE
DES MATERIAUX ROCHEUX**

NF P 94-067 dec 1992

Nature	: SC7 4.60 à 6.60m	Client	: ECR
Provenance	: Lanne	Adresse client	:
N° enregistrement	: ECR 241021/2	Dossier N°	: E24-164
Date de prélèvement	: NR	Affaire	: Lanne
Technicien	: TJ/ACC	Date de l'essai	: 12/11/2024
Prélevé par	: Client		

RESULTATS :

Avant 1er cycle immersion-séchage	Tamis en mm	1	2	5	10	16	20
	Tamisat cumulé (%)				0	79	100
Avant 4ème cycle immersion-séchage	Tamis en mm	1	2	5	10	16	20
	Tamisat cumulé (%)	2.1	2.2	3	15.9		100

REPRESENTATION GRAPHIQUE :

$$\text{Coefficient de dégradabilité } G = \frac{D_{10} \text{ avant 1er cycle}}{D_{10} \text{ après 4ème cycle}} = \frac{11}{7.4} = 1.49$$

Observation :Le 20/11/2024
à ANSELe responsable des essais.
AC COLLET

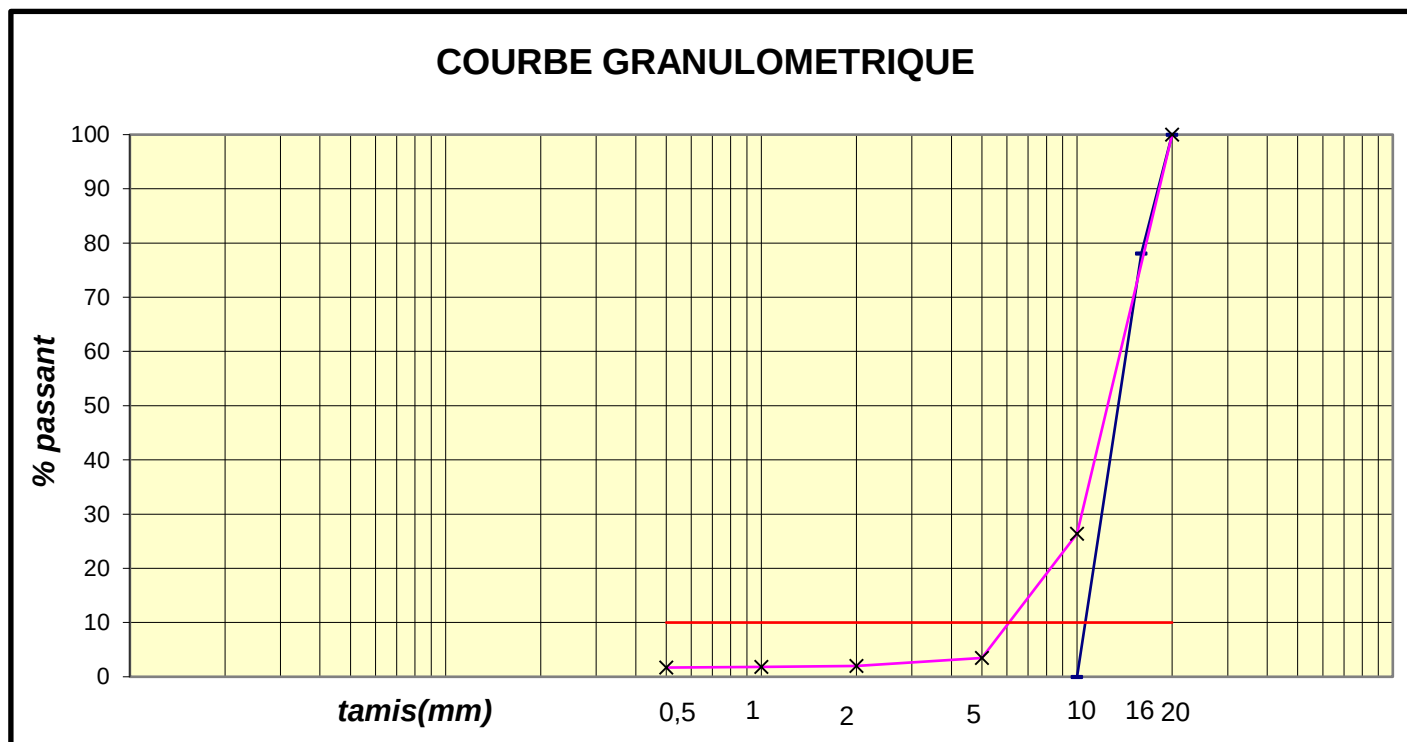
- PROCES VERBAL D'ESSAI N° S7-241120/9**Sols : Reconnaissance et essais
COEFFICIENT DE DEGRADABILITE
DES MATERIAUX ROCHEUX**

NF P 94-067 dec 1992

Nature	: SC2 5.50 à 7.50m	Client	: ECR
Provenance	: Lanne	Adresse client	:
N° enregistrement	: ECR 241021/3	Dossier N°	: E24-164
Date de prélèvement	: NR	Affaire	: Lanne
Technicien	: TJ/ACC	Date de l'essai	: 12/11/2024
Prélevé par	: Client		

RESULTATS :

Avant 1er cycle immersion-séchage	Tamis en mm	1	2	5	10	16	20
	Tamisat cumulé (%)				0	78.1	100
Avant 4ème cycle immersion-séchage	Tamis en mm	1	2	5	10	16	20
	Tamisat cumulé (%)	1.8	2	3.5	26.4		100

REPRESENTATION GRAPHIQUE :

$$\text{Coefficient de dégradabilité } \frac{D}{G} = \frac{D_{10} \text{ avant 1er cycle}}{D_{10} \text{ après 4ème cycle}} = \frac{12}{6} = 2.00$$

Observation :Le 20/11/2024
à ANSELe responsable des essais.
AC COLLET

- PROCES VERBAL D'ESSAI N° S6-241112/7**Sols : Reconnaissance et essais
COEFFICIENT DE FRAGMENTABILITE
DES MATERIAUX ROCHEUX**

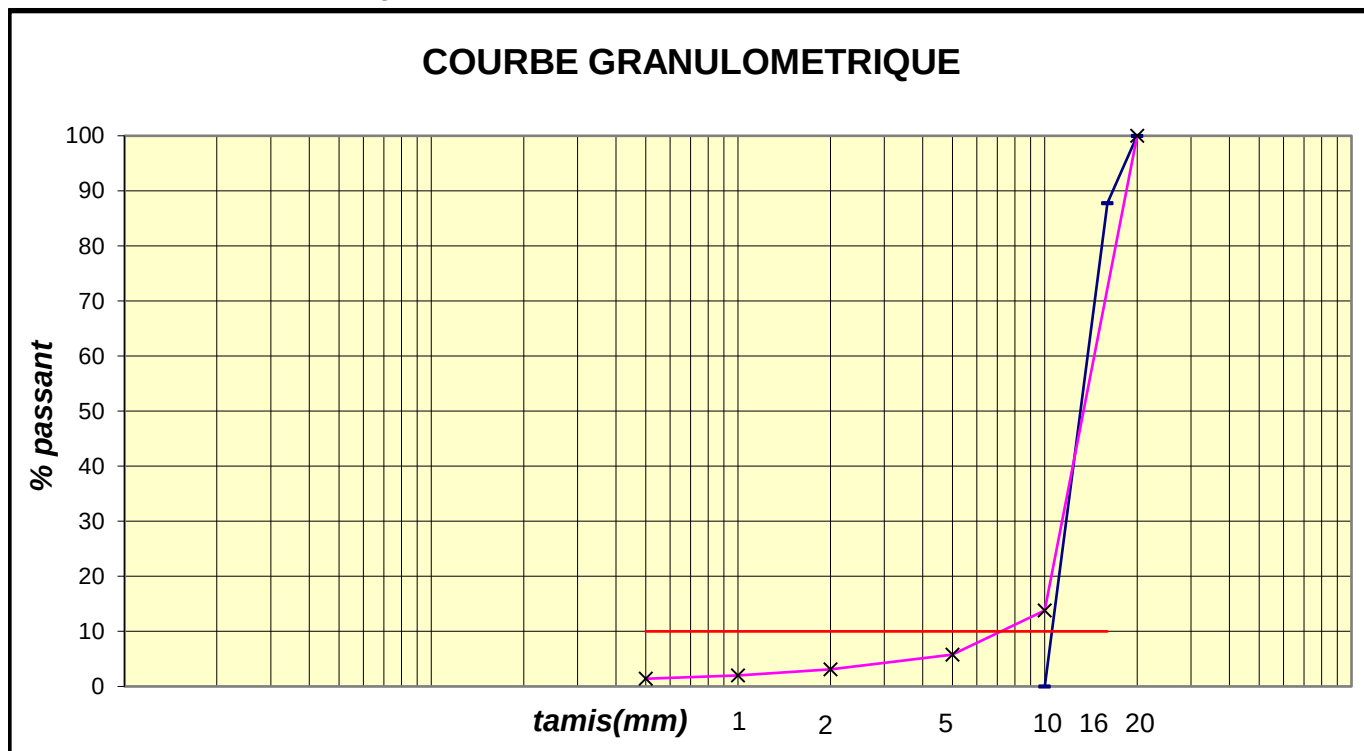
NF P 94-066 dec 1992

Nature	: 4,60 à 6,60 SC7	Client	: ECR
Provenance	: Lanne	Adresse client	:
N° enregistrement	: ECR241021/2	Dossier N°	: E24-164
Date de prélèvement	: NR	Affaire	: Suivi
Technicien	: TJ/ACC	Date de l'essai	: 12/11/2024
Prélevé par	: Client		

RESULTATS :

Avant pilonnage	Tamis en mm	1	2	5	10	16	20
	Tamiséat cumulé (%)				0	87,8	100

Après pilonnage	Tamis en mm	1	2	5	10	16	20
	Tamiséat cumulé (%)	2	3,1	5,8	13,8		100

REPRESENTATION GRAPHIQUE :

Coefficient de fragmentabilité $R = \frac{F}{R} = \frac{D_{10} \text{ avant pilonnage}}{D_{10} \text{ après pilonnage}} = \frac{11}{7,2} = 1,5$

Conditions d'exécution de la désagrégation après pilonnage :



aisées



moyennes



difficiles

Observation :Le 12/11/2024
à ANSELe responsable des essais.
AC COLLET

- PROCES VERBAL D'ESSAI N° S6-241112/8**Sols : Reconnaissance et essais
COEFFICIENT DE FRAGMENTABILITE
DES MATERIAUX ROCHEUX**

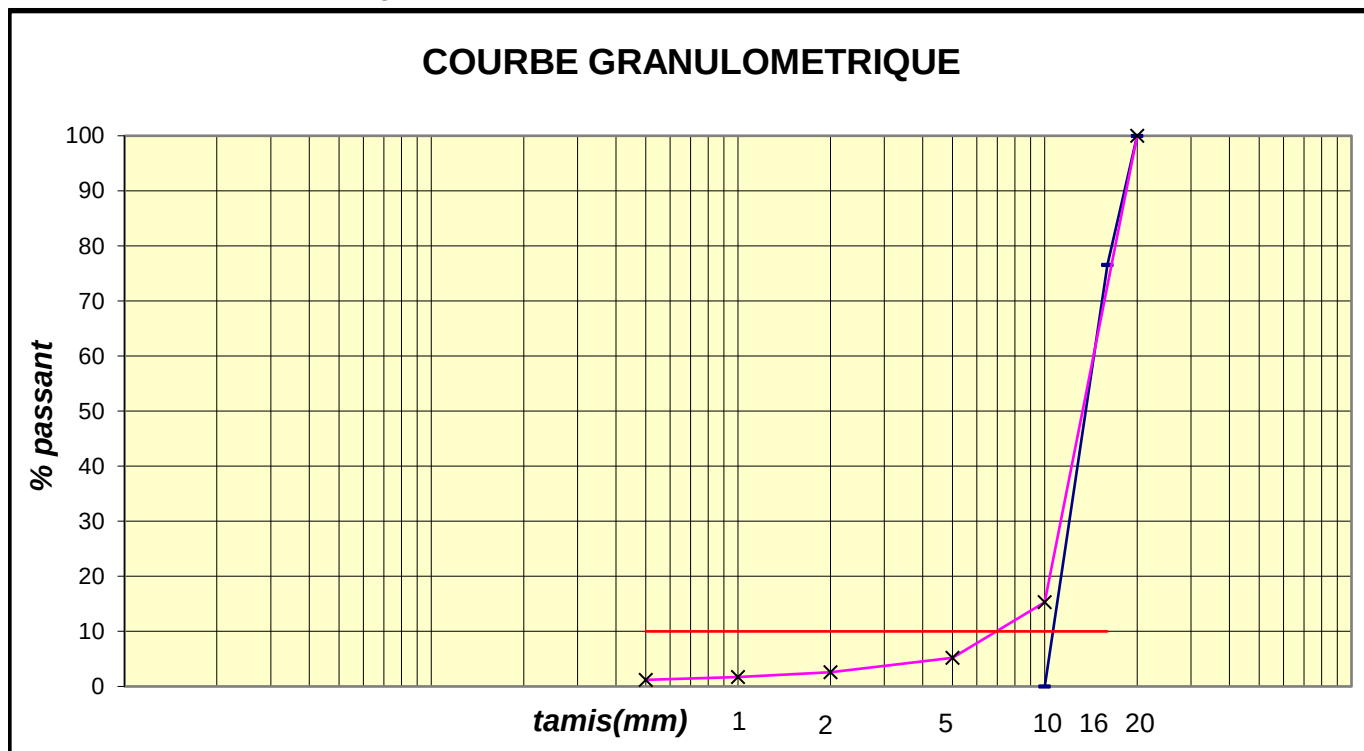
NF P 94-066 dec 1992

Nature	: 5,50 à 7,50m SC2	Client	: ECR
Provenance	: Lanne	Adresse client	:
N° enregistrement	: ECR241021/3	Dossier N°	: E24-164
Date de prélèvement	: NR	Affaire	:
Technicien	: MM/ ACC	Date de l'essai	: 12/11/2024
Prélevé par	: Client		

RESULTATS :

Avant pilonnage	Tamis en mm	1	2	5	10	16	20
	Tamiséat cumulé (%)				0	76,6	100

Après pilonnage	Tamis en mm	1	2	5	10	16	20
	Tamiséat cumulé (%)	1,7	2,6	5,2	15,3		100

REPRESENTATION GRAPHIQUE :

Coefficient de fragmentabilité $R = \frac{F}{R} = \frac{D_{10} \text{ avant pilonnage}}{D_{10} \text{ après pilonnage}} = \frac{11}{7,0} = 1,6$

Conditions d'exécution de la désagrégation après pilonnage :



aisées



moyennes



difficiles

Observation :

Le 12/11/2024
à ANSELe responsable des essais.
AC COLLET

ECR ENVIRONNEMENT SUD OUEST

Monsieur Julien MORIN

Rue Charles Moureu

64230 LESCAR

RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 23E237633

Version du : 27/12/2023

N° de rapport d'analyse : AR-23-LK-272423-01

Date de réception technique : 19/12/2023

Première date de réception physique : 19/12/2023

Référence Dossier : N° Projet : 6410941

Nom Projet : Lanne - Hôpital

Nom Commande : Hôpital_Lanne

Référence Commande :

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

N° Ech	Matrice	Référence échantillon
001	Eau souterraine (ESO)	PZ3

RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 23E237633

Version du : 27/12/2023

N° de rapport d'analyse : AR-23-LK-272423-01

Date de réception technique : 19/12/2023

Première date de réception physique : 19/12/2023

Référence Dossier : N° Projet : 6410941

Nom Projet : Lanne - Hôpital

Nom Commande : Hôpital_Lanne

Référence Commande :

N° Echantillon

001

Référence client :

PZ3

Matrice :

ESO

Date de prélèvement :

14/12/2023

Date de début d'analyse :

20/12/2023

Température de l'air de l'enceinte :

5.4°C

Préparation Physico-Chimique

LS025 : Filtration 0.45 µm

Effectuée

Analyses immédiates

LS001 : Mesure du pH

pH ▲ # 7.2

Température °C 19.9

JI020 : Titre Alcalimétrique ° f * 30.1

Complet (TAC)

LS028 : Anhydride carbonique mg/l 0.00

(CO2) agressif

Indices de pollution

LS02L : Azote Nitrique / Nitrates (NO3)

Nitrates mg NO3/l ▲ # <1.00

Azote nitrique mg N-NO3/l ▲ # <0.20

LS02I : Chlorures (Cl) mg/l * 36.2

LS02R : Ammonium mg NH4/l ▲ # 0.06

LS02Z : Sulfates (SO4) mg/l * 18.2

LSRDB : Classe d'agressivité <XA1

selon NF EN 206

Métaux

LS206 : Magnésium (Mg) mg/l * 12.0

dissous

LS204 : Calcium (Ca) dissous mg/l * 137

LS207 : Potassium (K) dissous mg/l * 0.97

LS208 : Sodium (Na) dissous mg/l * 4.81

RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 23E237633

Version du : 27/12/2023

N° de rapport d'analyse : AR-23-LK-272423-01

Date de réception technique : 19/12/2023

Première date de réception physique : 19/12/2023

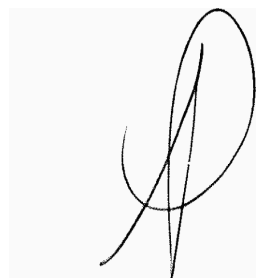
Référence Dossier : N° Projet : 6410941

Nom Projet : Lanne - Hôpital

Nom Commande : Hôpital_Lanne

Référence Commande :

Observations	N° d'échantillon	Référence client
L'accréditation a été retirée pour l'analyse identifiée par le symbole ▲. Par conséquent, celle-ci n'est ni présumée conforme au référentiel d'accréditation ni couverte par les accords de reconnaissance internationaux.	(001)	PZ3
Les délais de mise en analyse sont supérieurs à ceux indiqués dans notre dernière étude de stabilité ou aux délais normatifs pour les paramètres identifiés par '#' et donnent lieu à des réserves sur les résultats, avec retrait de l'accréditation. L'échantillon a néanmoins été conservé dans les meilleures conditions de stockage.	(001)	PZ3
Spectrophotométrie visible automatisée : l'analyse a été réalisée sur l'échantillon filtré à 0.45µm.	(001)	PZ3


Jean-Paul Klaser

Chef d'Equip. Coord. Proj Clts

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

Les résultats précédés du signe < correspondent aux limites de quantification, elles sont la responsabilité du laboratoire et fonction de la matrice.

Tous les éléments de traçabilité et incertitude (déterminée avec $k = 2$) sont disponibles sur demande.

Laboratoire agréé par le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg pour l'accomplissement de tâches techniques d'étude et de vérification dans le domaine de l'environnement – Détail disponible sur demande

Annexe technique

Dossier N° :23E237633

N° de rapport d'analyse : AR-23-LK-272423-01

Emetteur : J Morin

Commande EOL : 006-10514-1090554

Nom projet : N° Projet : 6410941

Référence commande :

Lanne - Hôpital

Nom Commande : Hôpital_Lanne

Eau souterraine

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

Annexe de traçabilité des échantillons

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

Dossier N° : 23E237633

N° de rapport d'analyse : AR-23-LK-272423-01

Emetteur :

Commande EOL : 006-10514-1090554

Nom projet : N° Projet : 6410941

Référence commande :

Lanne - Hôpital

Nom Commande : Hôpital_Lanne

Eau souterraine

N° Ech	Référence Client	Date & Heure Prélèvement	Date de Réception Physique ⁽¹⁾	Date de Réception Technique ⁽²⁾	Code-Barre	Nom Flacon
001	PZ3	14/12/2023 14:49:00	19/12/2023	19/12/2023		

(1) : Date à laquelle l'échantillon a été réceptionné au laboratoire.

Lorsque l'information n'a pas pu être récupérée, cela est signalé par la mention N/A (non applicable).

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