

ETUDE DE SOL

MISSION GEOTECHNIQUE G2 PRO

Ensemble immobilier mixte
« Les Cascades »

CAEN (14)



Dossier n° 1404050 - Rapport G2 PRO Ind.0 - Septembre 2024

Normandie Aménagement
1 Avenue du Pays de Caen 14460 COLOMBELLES

La Caennaise
66 Avenue de Thiès 14000 CAEN

CLIENT

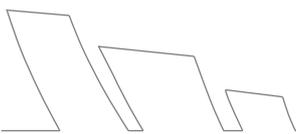
NOM		
ADRESSE	1, Avenue du Pays de Caen 14460 COLOMBELLES	66, Avenue de Thiès 14000 CAEN
INTERLOCUTRICE	Mme DELIQUAIRE (La Caennaise)	

ECR ENVIRONNEMENT

AGENCE DE	Caen
ADRESSE	PA des Rives de l'Odon 130 Avenue du Parc 14790 Verson
TELEPHONE	02 31 39 94 79
MAIL	caen@ecr-environnement.com

DATE	INDICE	OBSERVATIONS / MODIFICATIONS	REDACTEUR	VERIFICATEUR
26/09/2024	0	Rapport d'étude géotechnique G2 PRO	AL. LEPAUVRE	F. HERMAN

Rédacteur	Contrôle interne
 Anne-Lise LEPAUVRE Chargée d'affaires	 Frédéric HERMAN Chargé d'affaires



SOMMAIRE

1. CONTEXTE DE LA RECONNAISSANCE	5
2. MISSION / PROGRAMME DE RECONNAISSANCE	8
2.1. MISSION	8
2.2. OBJECTIFS.....	8
2.3. PROGRAMME DE RECONNAISSANCE	9
3. RAPPEL DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS	11
3.1. CONTEXTES GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET PARASISMIQUE	11
3.1.1. <i>Géologie du site</i>	11
3.1.2. <i>Sensibilité au retrait-gonflement</i>	12
3.1.3. <i>Hydrogéologie</i>	12
3.1.4. <i>Présence de cavité</i>	13
3.1.5. <i>Potentiel radon</i>	13
3.1.6. <i>Risque sismique</i>	14
3.2. NIVELLEMENT	15
3.3. SYNTHÈSE GEOMÉCANIQUE	16
3.4. HYDROGÉOLOGIE	17
3.4.1. <i>Mesures hydrogéologiques en cours de chantier</i>	17
3.4.2. <i>Suivis piézométriques</i>	18
3.5. ESSAIS DE LABORATOIRE	18
3.6. ESSAIS DE PERMEABILITÉ	23
3.6.1. <i>Essais de type Porchet</i>	23
3.6.2. <i>Essais de perméabilité à tube ouvert</i>	24
4. PRINCIPES DE CONSTRUCTION ENVISAGEABLES.....	24
4.1. ANALYSE DES RESULTATS.....	24
4.2. PRINCIPES DE FONDATIONS ENVISAGEABLES AU STADE PROJET	25
4.3. MODÈLE GEOTECHNIQUE	26
4.4. NIVEAUX BAS	27
5. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES PRINCIPAUX	27
5.1. DIMENSIONNEMENT DES FONDATIONS PROFONDES AUX SOLlicitATIONS MINIMALES	27
5.1.1. <i>Rappel des descentes de charge</i>	27
5.1.2. <i>Ébauche de dimensionnement de pieu</i>	27
5.1.3. <i>Justification aux efforts horizontaux</i>	30
5.2. DIMENSIONNEMENT DES FONDATIONS PROFONDES AUX SOLlicitATIONS MAXIMALES	31
5.2.1. <i>Rappel des descentes de charge</i>	31
5.2.2. <i>Ébauche de dimensionnement de pieu</i>	32
5.2.3. <i>Justification aux efforts horizontaux</i>	35



6.	PRECAUTIONS PARTICULIERES DE CONCEPTION ET D'EXECUTION	36
6.1.	TERRASSEMENTS ET BLINDAGE	36
6.2.	PENTE DE TALUS ET SOUTÈNEMENTS.....	38
6.3.	REUTILISATION DES MATERIAUX	39
6.4.	MATERIAUX D'APPORT	42
6.5.	FONDATEIONS PROFONDES.....	42
6.6.	DRAINAGE	43
7.	OBSERVATIONS	44
8.	CONDITIONS PARTICULIERES	45

ANNEXES

Annexe 1 : Extrait de la norme NF P 94-500 de novembre 2013 (2 pages)

Annexe 2 : Plan d'implantation des sondages (1 page)

Annexe 3 : Résultats des investigations in situ réalisées lors de la mission G2 AVP n°1404050 (34 pages)

Annexe 4 : Résultats des investigations in situ réalisées lors de la mission G2 AVP complémentaire n°1405127
(24 pages)

Annexe 5 : Suivis piézométriques (2 pages)

Annexe 6 : Résultats des essais en laboratoire réalisés lors de la mission G2 AVP n°1404050 (30 pages)

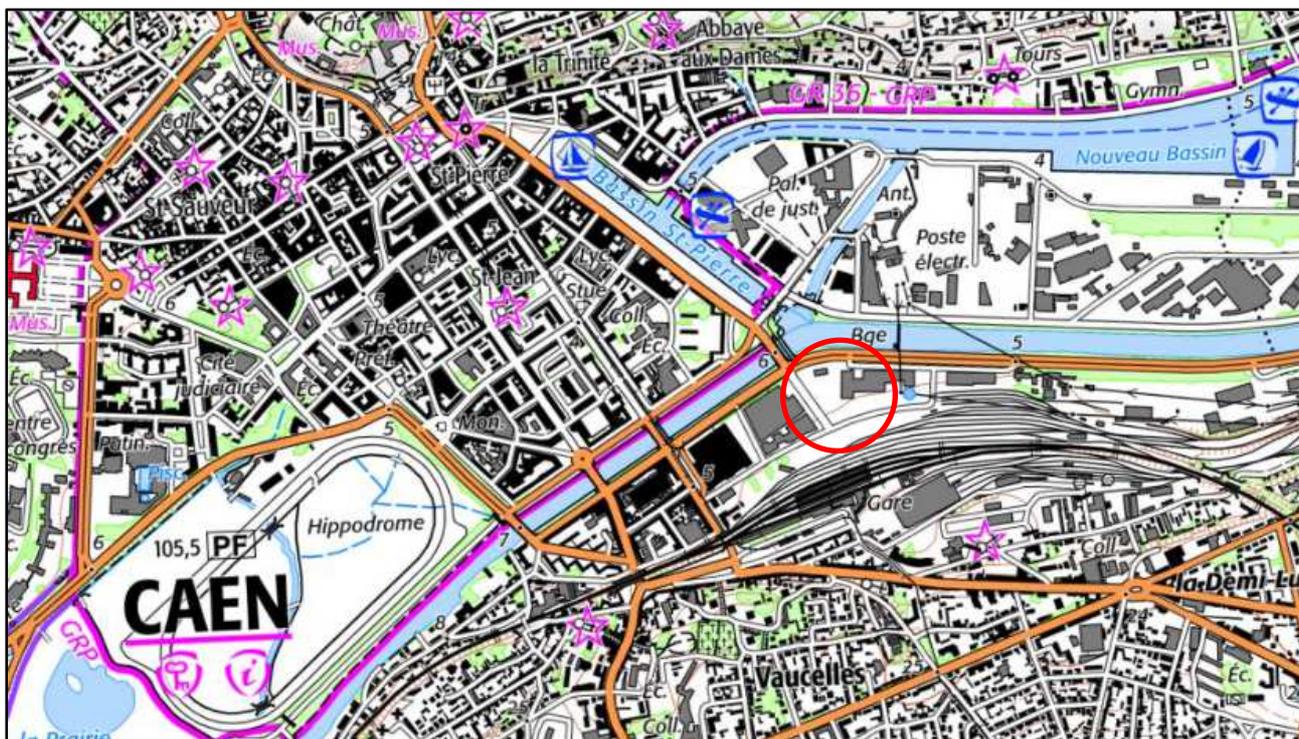
Annexe 7 : Résultats des essais en laboratoire réalisés lors de la mission G2 AVP complémentaire n°1405127
(2 pages)

Annexe 8 : Résultats des calculs de fondations profondes sur pieux au moyen du logiciel GEOFOND (11 pages)



1. CONTEXTE DE LA RECONNAISSANCE

Le projet concerne la construction d'un ensemble immobilier mixte « Les Cascades », sur un terrain de 11000 m² environ situé entre la rue Rosa Parks, le cours Montalivet et l'avenue Pierre Mendès France, à Caen (14).



Localisation du site

Le site est actuellement occupé par des plates-formes et parkings en enrobé. Un bâtiment existant de type R+1 en partie Nord (la Maison du Vélo) ainsi qu'un ancien entrepôt de 1800 m² ont déjà fait l'objet d'une démolition.

L'opération consiste en la construction des ouvrages suivants :

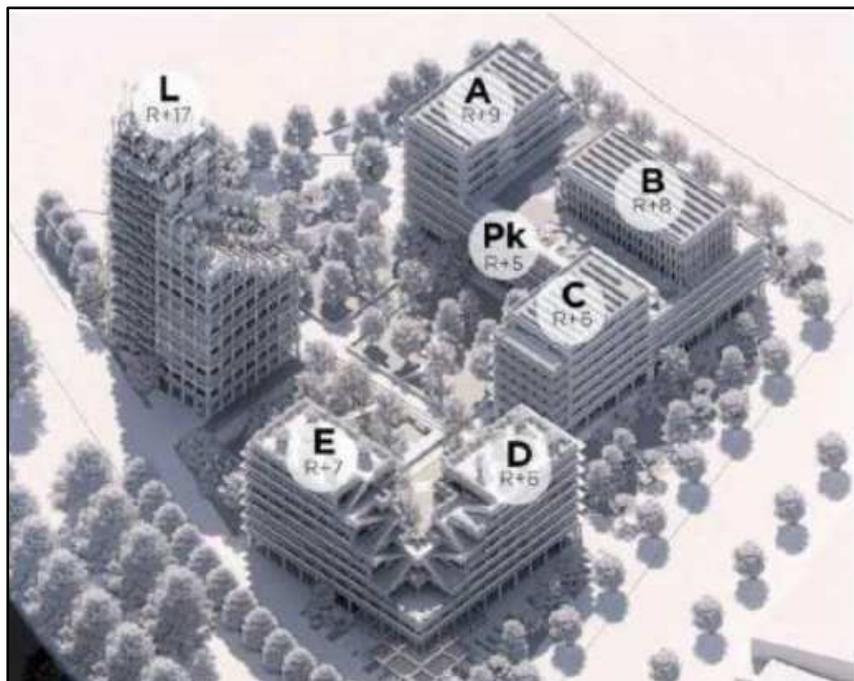
- Un bâtiment de parking en R+3 avec 3 émergences à usage mixte bureaux-logements :
 - o En R+5 (noté PK),
 - o En R+9 (noté A), les étages R+6 à R+9 étant partiels,
 - o en R+8 (noté B), les niveaux R+6 à R+8 étant partiels,
 - o en R+6 (noté C), le dernier étage étant partiel,
- Un bâtiment mixte bureaux-logements en R+6, noté D, et en R+7 noté E ; les étages RDC à R+2 étant communs aux deux ouvrages,
- Un bâtiment de logements en R+19+toiture, noté L, les niveaux supérieurs à R+11 étant partiels.



Selon les dispositions constructives décrites dans la notice structure en phase APD établie par le bureau d'études structure BOLLINGER+GROHMANN, il est prévu de mettre en place un joint de dilatation entre le bâtiment PK et les façades internes des émergences A et C ainsi qu'entre les niveaux inférieurs des îlots d'ensemble D et E.

Au stade actuel du projet, il n'est pas prévu de niveaux de sous-sol ; cette éventualité pourrait être à étudier par la suite. Il serait également envisagé l'emploi de pieux géothermiques dans les infrastructures des bâtiments.

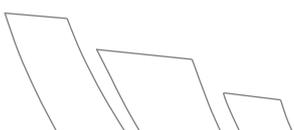
Une esquisse du projet est présentée ci-dessous :



Repérage et nomenclature des bâtiments

D'après les documents transmis (phase PC), les niveaux bas des ouvrages seront les suivants :

- Bâtiments ABPK : +6,20 NGF,
- Bâtiment C : +6,55 NGF,
- Bâtiment D : +6,20 NGF,
- Bâtiment E : +5,65 NGF,
- Bâtiment L : + 5,30 NGF.



Selon les éléments transmis par BOLLINGER+GROHMANN le 18/01/2024, les descentes de charges minimales et maximales s'appliquant au droit des différents ouvrages sont les suivantes :

	Pieu	Charges non pondérées (G + Q)	ELS caractéristique (G+Q)	ELS quasi- permanent (G+ Ψ_2 Q)	ELU fondamental (1,35 G + 1,5 Q)
Bâtiments ABPK	Pi-	120 t + 40 t	160 t	132 t	222,0 t
	Pi+	250 t + 70 t	320 t	271 t	442,5 t
Bâtiment C	Pi-	65 t + 20 t	85 t	77 t	117,8 t
	Pi+	230 t + 80 t	310 t	278 t	430,5 t
Bâtiments D/E	Pi-	65 t + 20 t	85 t	77 t	117,8 t
	Pi+	230 t + 80 t	310 t	278 t	430,5 t
Bâtiment L	Pi-	130 t + 20 t	150 t	136 t	205,5 t
	Pi+	290 t + 30 t	320 t	299 t	436,5 t

Avec $\Psi_2 = 0,3$ pour les bâtiments ABPK et L (ouvrages à destination d'habitation et de bureaux)

$\Psi_2 = 0,6$ pour les bâtiments C et D/E (ouvrages à destination de commerces et de bureaux)

En l'absence de précisions sur les descentes de charges au droit des appuis, elles seront considérées uniquement verticales à l'ELS.

Il conviendra donc de s'assurer que les fondations préconisées et les dispositions retenues sont en accord avec les caractéristiques réelles des ouvrages.

Documents fournis/utilisés pour cette étude :

Au stade de la consultation

- Cahier des charges, photographies,

Au stade APD

- Notice structure,
- Synthèse des descentes de charges,
- Ensemble de plans (comprenant la page de garde, les planchers bas ou hauts des différents étages et les coupes) pour les bâtiments A, B et PK ; C et PK ; D et E ; L,
- Rapport d'étude G2 AVP n°1404050 établi par ECR Environnement en juillet 2022.

Au stade PRO

- Rapport d'étude G2 AVP complémentaire n°1405127 établi par ECR Environnement en avril 2024.



2. MISSION / PROGRAMME DE RECONNAISSANCE

2.1. Mission

Selon la norme portant sur les missions d'ingénierie géotechnique – Classification et spécifications (NF P 94-500 de novembre 2013) – et conformément à notre mémoire technique de mai 2022, le présent rapport intervient dans le cadre d'une étude géotechnique de conception G2 phase Projet (PRO).

2.2. Objectifs

Dans le cadre de la mission G2 PRO, nos objectifs sont les suivants :

- Analyser et adapter les préconisations établies dans le cadre de la phase G2 AVP en fonction des nouveaux éléments fournis au stade du projet,
- Fournir une synthèse actualisée du site, des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet et des méthodes d'exécution des fondations envisageables pour les ouvrages géotechniques du projet avec certains calculs de dimensionnement pour les ouvrages types au niveau projet.

En l'absence d'investigations complémentaires, la présente mission G2 PRO sera basée uniquement sur les sondages réalisés lors des missions G2 AVP.

Nous rappelons que cette étude ne concerne pas (liste non exhaustive) :

- l'analyse hydrologique du site,
- la recherche de cavités,
- la recherche de pollution des sols,
- l'étude des ouvrages existants situés dans la Zone d'Influence Géotechnique (ZIG) du projet.



2.3. Programme de reconnaissance

Dans le cadre des missions précédentes, le programme d'intervention avait été le suivant :

Mission G2 AVP (juillet 2022)

- **9 sondages de reconnaissance géologique**, notés SP1 à SP9, descendus entre 25 et 39,7 m de profondeur, réalisés à la tarière hélicoïdale continue \varnothing 63 mm et/ou poursuivis par rotation au tricône \varnothing 63 mm ou par rotopercussion au taillant \varnothing 57 mm, permettant de mettre en évidence les différentes successions géologiques et les éventuelles venues d'eau au droit du projet.
- **168 essais pressiométriques** répartis tous les 1,0 à 1,5 m environ à raison de 16 essais dans les forages à 25 m, de 23 essais dans les sondages à 35 m et de 26 essais dans le forage à 40 m, réalisés selon la norme NF EN ISO 22476-4. Ces essais ont permis de déterminer les caractéristiques mécaniques des sols rencontrés (module pressiométrique, pression de fluage et pression limite nette).
- **3 sondages carottés**, notés SC1 à SC3, descendus entre 15,0 et 20,5 m de profondeur, réalisés au carottier LS \varnothing 114 mm. Ces sondages ont permis de prélever des matériaux intacts pour caractérisation en laboratoire.
- **3 essais de perméabilité dans un forage à tube ouvert** (EP1 à EP3) selon la norme NF EN ISO 22282-2, respectivement réalisés lors de la mise en œuvre des sondages carottés SC1 à SC3 (entre 19,0 et 20,0 m, 14,0 et 15,0 m, 4,5 et 6,0 m) permettant de mesurer les perméabilités des formations dans lesquels seront réalisés les pompages ou injections.
- La fourniture et la pose de **3 piézomètres à 15 m de profondeur**, notés PZ1 à PZ3 dans les sondages respectifs. Ils sont constitués d'un tube PVC \varnothing 51/60 mm crépiné tout hauteur sauf le dernier mètre, avec massif filtrant gravillonnaire, bouchon de sobranite et protection par bouche à clé cimentée en tête.

Ces ouvrages ont été équipés de dispositifs permettant un suivi automatisé du niveau de la nappe (pour la détermination du NPHE) dans chacun des piézomètres précédents pendant une période de 1 an.
- **3 essais de perméabilité de type Porchet** à niveau constant, notés EPP1 à EPP3, descendus entre 0,55 et 0,65 m permettant de déterminer les coefficients de perméabilité des terrains superficiels.
- **16 sondages à la tarière**, notés T1 à T16, descendus entre 1,8 et 2,0 m de profondeur ou au refus atteint entre 0,55 et 1,2 m/TN, réalisés par rotation à la tarière \varnothing 63 mm. Ils ont permis de prélever des échantillons pour caractérisation en laboratoire de la pollution.
- **Des analyses en laboratoire** sur les principales formations rencontrées comportant :
 - **3 identifications GTR + IPI** comprenant chacune une mesure de teneur en eau, une analyse granulométrique par tamisage et sédimentométrique, une mesure de la valeur au bleu VBS et une mesure de l'indice portant immédiat IPI,



- **3 essais de cisaillement triaxial de type CU+u (Consolidé non drainé avec mesure de la pression interstitielle)**, permettant de déterminer les caractéristiques mécaniques intrinsèques des terrains qui seront concernés par les futurs terrassements de façon à évaluer leur stabilité en talus ou leur poussée sur les ouvrages de soutènement,
- **3 mesures des limites des limites d'Atterberg,**
- **1 mesure de l'agressivité des sols vis-à-vis du béton,**
- **1 mesure de l'agressivité de l'eau vis-à-vis du béton,**
- **3 mesures de teneur en sulfate,**
- **3 mesures de teneur en carbonate,**
- **3 mesures de teneur en matières organiques.**

Les sondages de reconnaissance géologique SP1, SP2 et SP5 à SP9 avaient été réalisés lors d'une première phase du 9 au 20 mai 2022 par des foreuses de type COMACCHIO GEO 305 et de type ECOFORE CE 403, montées sur chenilles en caoutchouc. La seconde phase s'était déroulée du 20 juin au 1^{er} juillet 2022, par l'intermédiaire d'une foreuse de type COMACCHIO GEO 305 montée sur chenilles en caoutchouc et d'une sondeuse de type ECOFORE SL 160 montée sur un véhicule de type 4x4. Elle avait consisté à réaliser les sondages pressiométriques, carottés et à la tarière ainsi que les essais de perméabilité et à mettre en place les piézomètres.

Les essais pressiométriques ont été effectués conformément à la norme NF EN ISO 22476-4 au moyen d'une sonde nue de diamètre 60 mm et d'une sonde nue de diamètre 44 mm insérée dans un tube fendu de diamètre 55 mm.

Ils ont permis de mesurer les caractéristiques suivantes :

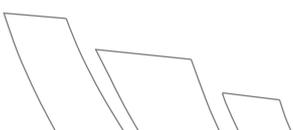
- Le module pressiométrique : E_m (MPa) ;
- La pression de fluage nette : P_f^* (MPa) ;
- La pression limite nette : P_l^* (MPa).

Mission G2 AVP complémentaire (mars et avril 2024)

- **5 sondages carottés**, notés SC4 à SC8, descendus entre 34,5 et 35,5 m de profondeur, réalisés en méthode destructive jusqu'à 15,0/15,5 m de profondeur et poursuivis au carottier rotatif \varnothing 116 mm. Ces sondages ont permis de prélever des matériaux intacts pour caractérisation en laboratoire.
- **25 mesures de teneur en carbonate de calcium**, réalisées à raison de 5 analyses par sondage carotté et répartis entre 15 et 35 m de profondeur.

Les sondages carottés avaient été réalisés du 12 mars au 2 avril 2024 par une foreuse de type COMACCHIO GEO 305, montée sur chenilles en caoutchouc.

L'implantation des points de sondage a été réalisée en fonction des accès possibles pour notre matériel et des réseaux présents sur le site.



3. RAPPEL DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS

3.1. Contextes géologique, hydrogéologique et parasismique

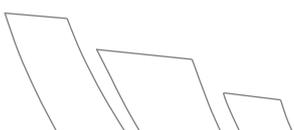
3.1.1. Géologie du site

D'après les cartes géologiques du secteur au 1/50 000 (**Bayeux – Courseulles-sur-Mer et Caen**), les horizons présents au droit de la zone d'étude sont les suivants :

- des terrains de couverture (terre végétale, remblais),
- des remblais anthropiques,
- des dépôts fluviaux-marins limoneux à argileux,
- des alluvions fluviales (argile, sable),
- le substratum calcaire d'âge Jurassique, plus ou moins altéré en tête.

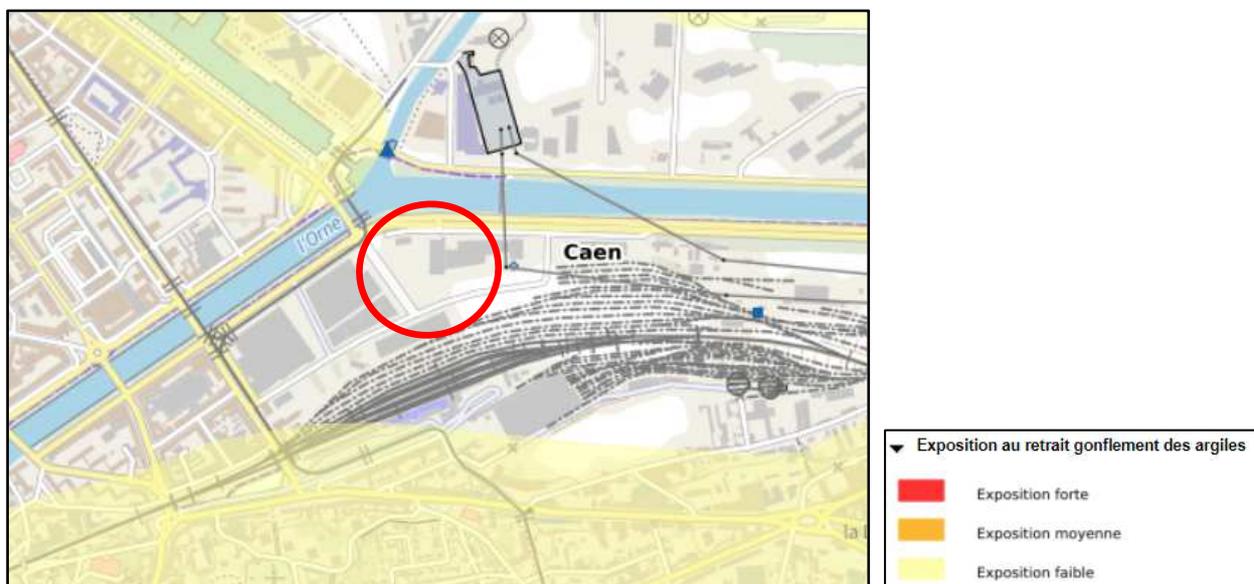


Extrait des cartes géologiques de Bayeux – Courseulles-sur-Mer et Caen au 1/50 000, source BRGM



3.1.2. Sensibilité au retrait-gonflement

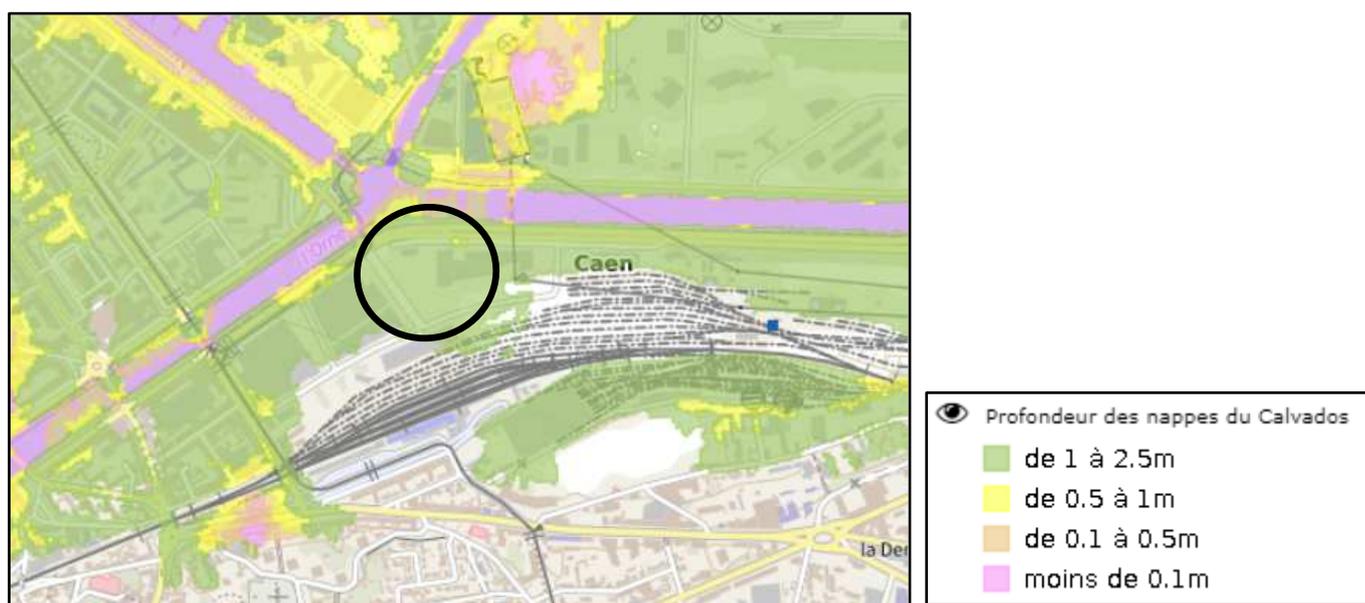
D'après la carte d'exposition au retrait-gonflement des argiles établie par le BRGM (mise à jour en juin 2023), le terrain étudié n'est a priori pas concerné par le phénomène de retrait-gonflement des argiles.



Carte d'exposition au retrait-gonflement des argiles – Extrait du site www.normandie.developpement-durable.gouv.fr

3.1.3. Hydrogéologie

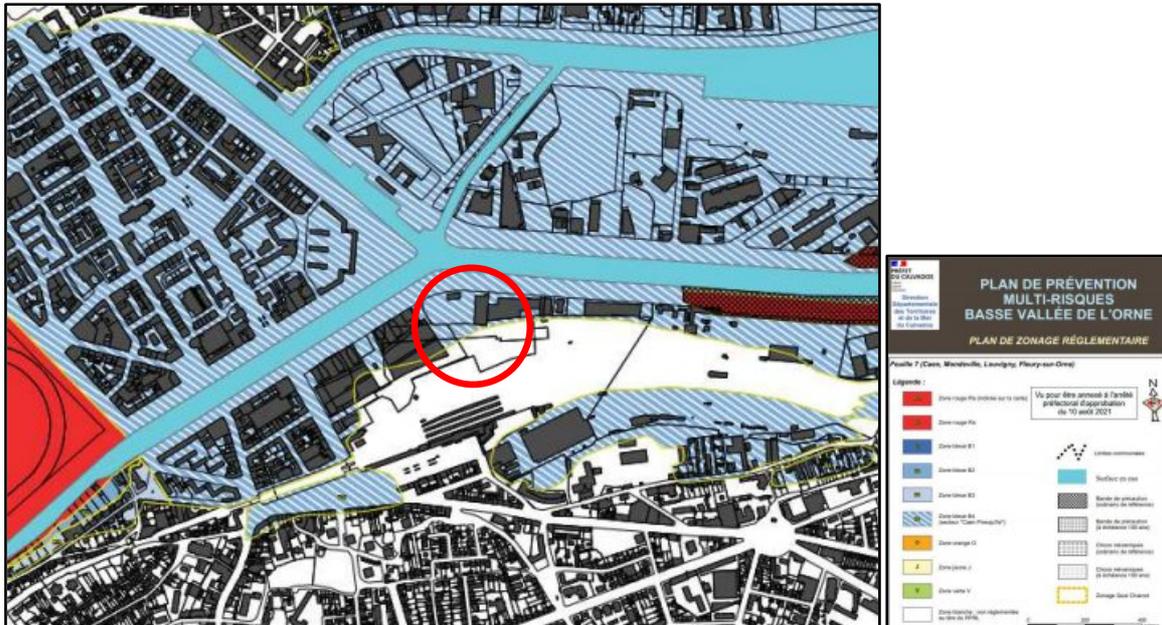
Le risque de remontées de nappe est identifié sur la carte des risques établie par la DREAL de Normandie (mise à jour en septembre 2024). Le terrain est situé dans une zone où la profondeur de remontées de nappe est comprise entre 1 et 2,5 m/TN et à proximité d'une zone inondable. Une partie du site est incluse dans une zone inondable bénéficiant d'une protection particulière.



Carte de prédispositions aux risques naturels - Extrait du site www.normandie.developpement-durable.gouv.fr



La commune de Caen est concernée par le Plan de Prévention multi-risques (PPRM) de la Basse Vallée de l'Orne. La partie nord du site est incluse dans une zone bleue B4 autorisant la construction d'ERP sous réserve du respect des dispositions constructives (implantation à 0,2 m au-dessus de la cote de référence du site comprise entre +4,96 et +5,03 NGF, consignes spécifiques aux sous-sols...).



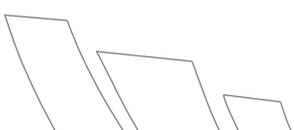
Carte de zonage réglementaire du PPRM de la Basse Vallée de l'Orne – Extrait du site <http://www.calvados.gouv.fr>

3.1.4. Présence de cavité

D'après la carte de Prédispositions aux risques naturels en Normandie établie par la DREAL, il n'existe pas d'indices de cavités recensés à proximité du site. La commune de Caen comporte des cavités non localisées.

3.1.5. Potentiel radon

Selon la carte de potentiel radon par commune dans le Calvados établie par l'Agence Régionale de Santé de Normandie, la commune de Caen est classée en zone 1 selon l'arrêté du 27 juin 2018.



3.1.6. Risque sismique

- Catégorie de bâtiment

Les bâtiments à risque normal sont classés en 4 catégories d'importance croissante, de la catégorie I, à faible enjeu, à la catégorie IV qui regroupe les structures stratégiques et indispensables à la gestion de crise.

Le tableau ci-après définit les catégories d'importance des bâtiments :

Catégorie d'importance	Description
I	 <ul style="list-style-type: none"> Bâtiments dans lesquels il n'y a aucune activité humaine nécessitant un séjour de longue durée.
II	 <ul style="list-style-type: none"> Habitations individuelles. Établissements recevant du public (ERP) de catégories 4 et 5. Habitations collectives de hauteur inférieure à 28 m. Bureaux ou établissements commerciaux non ERP, h ≤ 28 m, max. 300 pers. Bâtiments industriels pouvant accueillir au plus 300 personnes. Parcs de stationnement ouverts au public.
III	 <ul style="list-style-type: none"> ERP de catégories 1, 2 et 3. Habitations collectives et bureaux, h > 28 m. Bâtiments pouvant accueillir plus de 300 personnes. Établissements sanitaires et sociaux. Centres de production collective d'énergie. Établissements scolaires.
IV	 <ul style="list-style-type: none"> Bâtiments indispensables à la sécurité civile, la défense nationale et le maintien de l'ordre public. Bâtiments assurant le maintien des communications, la production et le stockage d'eau potable, la distribution publique de l'énergie. Bâtiments assurant le contrôle de la sécurité aérienne. Établissements de santé nécessaires à la gestion de crise. Centres météorologiques.

Tableau des catégories d'importance des bâtiments - Extrait de "la nouvelle réglementation parasismique applicable aux bâtiments" disponible sur le site developpement-durable.gov.fr

Les ouvrages concernés par la présente étude sont des bâtiments de catégorie d'importance II (ouvrages A, B, C, PK, D et E) et III (bâtiment L).

- Exigence sur le bâti neuf

Les exigences sur le bâti neuf dépendent de la catégorie d'importance du bâtiment et de la zone de sismicité. Le nouveau zonage sismique de la France (décret d'octobre 2010 entré en vigueur le 1er mai 2011) classe la commune de Caen en zone d'aléa sismique 2 (aléa faible).

Le tableau suivant récapitule les exigences à prendre en compte en fonction de la catégorie des bâtiments :

	I	II	III	IV
Zone 1	aucune exigence			
Zone 2	aucune exigence			Eurocode 8 ² a _p =0,7 m/s ²
Zone 3		PS-MI ¹ a _p =1,1 m/s ²	Eurocode 8 ² a _p =1,1 m/s ²	Eurocode 8 ² a _p =1,1 m/s ²
Zone 4		PS-MI ¹ a _p =1,6 m/s ²	Eurocode 8 ² a _p =1,6 m/s ²	Eurocode 8 ² a _p =1,6 m/s ²
Zone 5		CP-MI ² a _p =3 m/s ²	Eurocode 8 ² a _p =3 m/s ²	Eurocode 8 ² a _p =3 m/s ²

¹ Application possible (en dispense de l'Eurocode 8) des PS-MI sous réserve du respect des conditions de la norme PS-MI
² Application possible du guide CP-MI sous réserve du respect des conditions du guide
³ Application obligatoire des règles Eurocode 8

Exigences sur le bâti neuf – Extrait du site developpement-durable.gov.fr

Concernant la présente étude (bâtiments de catégorie II situés en zone d'aléa sismique 2), l'application des prescriptions parasismiques particulières de l'Eurocode 8 n'est pas obligatoire.



Concernant le bâtiment L de catégorie III, l'application des prescriptions parasismiques particulières de l'Eurocode 8 est obligatoire.

Par conséquent, en application des normes parasismiques définissant les exigences sur le bâti neuf, les prescriptions parasismiques particulières de l'Eurocode 8 s'appliquent et imposent la prise en compte des paramètres suivants :

- Valeurs d'accélération : $a_{gr} = 0,7 \text{ m/s}^2$ (pour une zone de sismicité 2) ;
- Classe de sol : C ;
- Coefficient de sol : $S = 1,5$ (pour un sol de classe C et une zone de sismicité 2) ;
- Coefficient d'importance : $\gamma_i = 1,2$ (pour un ouvrage de catégorie d'importance III).

3.2. Nivellement

Lors de la mission G2 AVP, chaque point de sondage a été relevé en coordonnées Lambert 1 et nivelé selon le référentiel NGF par nos soins.

Les résultats sont présentés ci-dessous :

Point de sondage	Relevé X (m)	Relevé Y (m)	Relevé Z (m NGF)
SP1	404390,931	167823,254	5,27
SP2	404412,174	167808,251	5,61
SP3	404329,177	167809,128	6,02
SP4	404339,527	167829,763	5,59
SP5	404327,899	167782,787	5,87
SP6	404393,751	167744,789	6,12
SP7	404356,092	167769,362	5,96
SP8	404369,389	167725,105	5,84
SP9	404419,335	167736,400	6,04
SC1 + EP1 + PZ1	404401,551	167815,789	5,43
SC2 + EP2 + PZ2	404313,694	167812,198	5,98
SC3 + EP3 + PZ3	404365,677	167744,203	5,78
EPP1	404353,013	167798,810	6,01
EPP2	404425,154	167822,350	5,25
EPP3	404381,616	167767,341	6,01



3.3. Synthèse géomécanique

Les résultats des investigations réalisées lors des missions G2 AVP sont rappelés en annexe. Les profondeurs citées dans le présent rapport ont été mesurées par rapport au terrain naturel tel qu'il était lors de nos interventions en phase AVP (mai à juillet 2022) puis en phase AVP complémentaire (mars et avril 2024). En l'absence d'investigations complémentaires, les caractéristiques mécaniques mesurées lors de cette étude restent valables.

Dans les sondages, nous avons mis en évidence la succession lithologique suivante :

- **Formation 0.TV : Terre végétale**, uniquement présente sur 0,12 m d'épaisseur en tête du sondage SC2.
- **Formation 0.E : Enrobé, remblai de chaussée et dalle béton**, identifiés sur 0,05 à 0,5 m d'épaisseur en tête des sondages SP1 à SP9, SC1, SC3 et EPP1 à EPP3.
- **Formation 0.R : Remblai graveleux calcaire et remblai limoneux à sableux noir à beige comprenant ponctuellement des éléments de briques**, reconnus jusqu'à 0,8/3,7 m/TN dans l'ensemble des sondages ainsi qu'à la fin des essais de perméabilité EPP1 à EPP3 entre 0,55 et 0,65 m de profondeur. Une odeur d'hydrocarbure a été remarquée lors de la réalisation des forages SP4 et SP8.
- **Formation 1 : Argile vasarde grise à passages tourbeux**, identifiée jusqu'à 9,5/12,8 m de profondeur au droit des sondages pressiométriques et carottés.
- **Formation 2 : Alluvions argilo-sableuses à graveleuses jaunes à beiges**, reconnues jusqu'à la fin de SC2 et SC3 à 15,0 m/TN ainsi qu'entre 9,5/12,8 m et 14,7/16,2 m de profondeur dans les sondages SP1 à SP9, SC1 et SC4 à SC8.
- **Formation 3 : Argile marneuse à passages calcaires marneux beige à grise**, présente jusqu'à la fin des investigations entre 20,5 et 39,7 m/TN de profondeur.



Le tableau suivant présente les caractéristiques mécaniques à retenir au stade du projet dans les différentes formations rencontrées, en fonction des investigations réalisées :

Formation	Nature	Nombre d'essais pressio. réalisés	Pression limite pl* (MPa)			Module pressiométrique Em (MPa)		
			Min	Max	Retenue	Min	Max	Retenu
0.TV + 0.E	Terre végétale, enrobé, remblai de chaussée et dalle béton	0	-			-		
0.R	Remblai graveleux calcaire et remblai limoneux à sableux	11	0,01	2,06	-(1)	0,1	23,1	-(1)
1	Argile vasarde à passages tourbeux	51	0,06	0,87	0,15	0,1	9,1	0,8
2	Alluvions argilo-sableuses à graveleuses	29	1,14	4,68	2,60	8,7	120,9	30,5
3	Argile marneuse à passages calcaires marneux	77	2,11	4,76	3,70	17,7	> 200,0	87,5

Pas de valeurs retenues compte tenu de l'hétérogénéité de nature et de résistance de cette formation.

3.4. Hydrogéologie

3.4.1. Mesures hydrogéologiques en cours de chantier

Dans le cadre des missions G2 AVP puis G2 AVP complémentaire, des venues d'eau ont été constatées au droit des investigations lors de nos interventions (mai à juillet 2022 puis mars et avril 2024).

Les résultats sont présentés ci-dessous :

Sondages	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6
Profondeur des niveaux d'eau (m/TN)	1,3 ⁽¹⁾ en mai 2022	1,4 ⁽¹⁾ en mai 2022	3,1 ⁽¹⁾ en juin 2022	1,7 ⁽¹⁾ en juin 2022	1,6 ⁽¹⁾ en mai 2022	1,5 ⁽¹⁾ en mai 2022

SP7	SP8	SP9	SC1 + EP1 + PZ1	SC2 + EP2 + PZ2	SC3 + EP3 + PZ3
1,5 ⁽¹⁾ en mai 2022	1,3 ⁽¹⁾ en mai 2022	1,2 ⁽¹⁾ en mai 2022	1,3 ⁽¹⁾ en juin 2022 2,52 le 21/07/2022	0,6 ⁽¹⁾ en juin 2022 2,71 le 21/07/2022	1,3 ⁽¹⁾ en juin 2022 2,71 le 21/07/2022



SC4	SC5	SC6	SC7	SC8
2,2 ⁽¹⁾ en mars 2024	1,3 ⁽¹⁾ en mars 2024	1,3 ⁽¹⁾ en mars 2024	0,9 ⁽¹⁾ en mars 2024	1,0 ⁽¹⁾ en mars 2024

(1) Niveau d'eau influencé par la technique de forage utilisée (rotation au tricône, rotoperçussion au taillant ou carottage avec injection d'eau).

Les sondages à la tarière (T) n'ont pas observé d'arrivées d'eau lors de leur réalisation.

Ce constat est en accord avec la carte de prédispositions aux risques naturels (établie par la DREAL de Normandie) qui fait état d'une profondeur de remontée de nappe comprise entre 1,0 et 5,0 m/TN.

Toutefois, en fonction des conditions météorologiques au moment des travaux, des circulations d'eau ponctuelles ne sont pas à exclure, en particulier au sein des terrains superficiels (remblai, argile).

D'un point de vue général, il est rappelé que le régime hydrogéologique peut varier en fonction de la saison et de la pluviosité, et que des circulations d'eau localisées et anarchiques au sein des terrains de surface sont toujours possibles, même si elles n'ont pas été observées systématiquement lors de nos interventions.

Il conviendra donc de rester vigilant pendant les travaux afin de prendre les dispositions adaptées pour travailler hors d'eau et sécuriser le chantier (pompage, drainage provisoire voire même évacuation des engins en fonction du niveau atteint).

3.4.2. Suivis piézométriques

Dans le cadre de la mission G2 AVP, les piézomètres PZ1, PZ2 et PZ3 ont été équipés du 21/07/2022 au 02/08/2023 de dispositifs permettant un suivi automatisé du niveau de la nappe (pour la détermination du NPHE). Les données sont présentées en annexe.

3.5. Essais de laboratoire

Lors des missions G2 AVP (mai à juillet 2022) et G2 AVP complémentaire (mars et avril 2024), des essais de laboratoire ont été réalisés dans les formations O.R, 1, 2 et 3 prélevées au droit des sondages SC1 à SC8 ainsi que dans l'eau prélevée dans le piézomètre PZ1.

Il s'agit de 3 identifications GTR + IPI, 3 essais de cisaillement triaxial de type CU+u, 3 mesures des limites d'Atterberg, 1 mesure de l'agressivité des sols vis-à-vis du béton, 1 mesure de l'agressivité de l'eau vis-à-vis du béton, 3 mesures de teneur en sulfate, 3 mesures de teneur en carbonate et de 3 mesures de teneur en matières organiques ainsi que de 25 mesures de teneur en carbonates de calcium.



Les résultats des analyses en laboratoire sont présentés dans le tableau ci-dessous (les procès-verbaux des essais sont fournis en annexe) :

Caractéristiques physiques : Identification GTR, VBS, IPI

Sondage	Profondeur (m)	Nature	Formation	Wnat (%)	Dmax (mm)	Passant (%)				Coefficient d'uniformité C_u				VBS g/100g	Limites d'Atterberg				ρ_d (t/m3)	IPI	Classe GTR
						2 mm	80 μ m	20 μ m	2 μ m	D ₆₀ (mm)	D ₁₅ (mm)	D ₁₀ (mm)	C_u		W _L (%)	W _P (%)	I _P	I _C			
SC1	4,2 à 4,5	Argile vasarde à passages tourbeux	1	30,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	24	15	0,59	-	-	-
SC1	15,6 à 16,0	Alluvions argilo-sableuses à graveleuses	2	24,0	20	85,6	67,9	46,9	19,2	-	0,001	-	-	6,86	-	-	-	-	1,42	3	A3 h
SC2	4,2 à 4,5	Argile vasarde à passages tourbeux	1	39,3	5	99,9	93,8	29,2	9,2	-	0,005	-	-	4,89	-	-	-	-	1,31	1	A2 th
SC2	6,0 à 7,5	Argile vasarde à passages tourbeux	1	47,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	23	21	0,00	-	-	-
SC3	12,0 à 12,1	Alluvions argilo-sableuses à graveleuses	2	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	18	25	1,03	-	-	-
SC3	13,5 à 13,9	Alluvions argilo-sableuses à graveleuses	2	6,2	40	33,4	7,1	4,9	2,0	0,228	-	5,662	24,8	0,24	-	-	-	-	1,99	78	B4

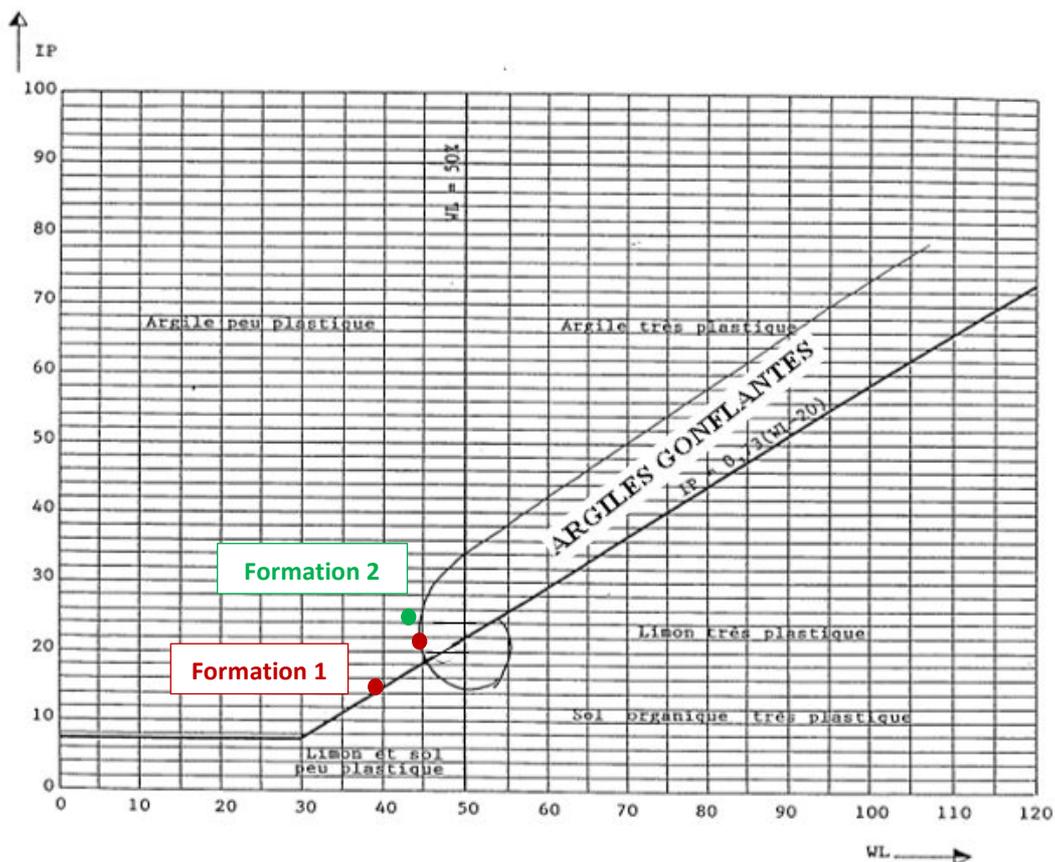
D60, D15 et D10 sont les diamètres de tamis correspondant à 60 %, 15 % et 10 % du tamisat cumulé sur la courbe granulométrique.

Le coefficient d'uniformité (ou coefficient de Hazen) $C_u = D_{60}/D_{10}$ permet de caractériser la répartition en taille des éléments qui composent un sol. La granulométrie est uniforme ($C_u < 6$) si la majorité des grains d'un échantillon a une taille similaire, qu'elle soit grande ou petite. Elle est étalée si $C_u \geq 6$.

Les formations 1 et 2 testées en SC1 et SC2 ont un D15 inférieur ou égal à 0,005 mm (ou 5 μ m) : ils ne sont donc pas liquéfiables. Le coefficient d'uniformité de la formation 2 prélevée en SC3 est supérieur à 15, cet horizon est donc considéré comme étant potentiellement liquéfiable.

Au vu des résultats, la formation 1 est de classe GTR A2 th correspondant à des limons ou des argiles peu plastiques. La formation 2 est de classe GTR A3 h à B4, c'est-à-dire qu'il s'agit d'argiles marneuses, de limons très plastiques ou de graves argileuses. Les teneurs en eau mesurées sont faibles à élevées au moment des investigations. Le report des critères W_L et I_P déterminés par l'intermédiaire des limites d'Atterberg dans le diagramme de Casagrande ci-dessous indique qu'ils s'agissent d'argiles peu plastiques proches de l'interface des argiles gonflantes et des sols peu plastiques.





Selon les différents tableaux de classification géotechnique établis vis-à-vis des sols gonflants, les formations 1 et 2 présentent un gonflement moyen à élevé :

TABEAU IVa, IVb Potentiel de gonflement établi à partir de la limite de liquidité (d'après a) Dakshanamurthy et Raman, 1973 ; b) Chen 1975).
Liquid limit as an indicator of swelling potential (after a) Dakshanamurthy and Raman, 1973; b) Chen 1975).

w_L (%)	Potentiel de gonflement
> 60	très élevé
40 à 60	élevé
30 à 40	moyen
< 30	faible

w_L (%)	Classification
0 à 20	non gonflant
20 à 35	gonflement faible
35 à 50	gonflement moyen
50 à 70	gonflement élevé
70 à 90	gonflement très élevé
> 90	gonflement critique



TABLEAU IVc Sensibilité d'une argile au retrait-gonflement déterminée à partir de l'indice de plasticité (d'après Prian *et al.*, 2000)
Plasticity index as an indicator of clay sensitivity to shrinkage-swelling (after Prian *et al.*, 2000).

I_p (%)	Sensibilité
< 12	Faible
12 à 25	Moyenne
25 à 40	Forte
≥ 40	Très forte

TABLEAU IVd Potentiel de gonflement établi à partir de l'indice de retrait (d'après Ranganathan et Satyanarayana, 1965).
Shrinkage index as an indicator of swelling potential (after Ranganathan and Satyanarayana, 1965).

I_r (%)	Potentiel de gonflement
0 à 20	Faible
20 à 30	Moyen
30 à 60	Fort
> 60	Très fort

TABLEAU IVe Sensibilité d'une argile au retrait-gonflement déterminée à partir de la valeur de bleu (d'après Chassagneux *et al.*, 1996).
Methylene blue value as an indicator of clay sensitivity to shrinkage-swelling (after Chassagneux *et al.*, 1996).

VBS	Sensibilité
< 2,5	Faible
2,5 à 6	Moyenne
6 à 8	Forte
> 8	Très forte

Caractéristiques mécaniques : essais de cisaillement triaxial de type CU+u

Sondage	Profondeur (m)	Nature	Formation	W (%)	Masse volumique sèche (kN/m ³)	Masse volumique humide (kN/m ³)	Cohésion C' (kPa)	Angle de frottement ϕ' (°)
SC1	16,2 à 16,35	Argile marneuse à passages calcaires marneux	3	22,5	14,5	32,6	73,2	12,4
SC2	5,1 à 5,25	Argile vasarde à passages tourbeux	1	44,2	11,7	51,7	41,5	12,2
SC3	10,7 à 11,0	Argile vasarde à passages tourbeux	1	17,2	17,4	29,9	20,2	19,9



Mesures de dosage de sulfate, de teneur en matières organiques, de teneur en carbonate sur échantillons de sol :

Sondage	Profondeur (m)	Formation	Sulfate soluble (mg/kg MS)	Matières organiques à 500°C (%MS)	Carbonates (%)
SC1	10,7/10,9	2		4,5	
SC1	18,7/19,0	3			6,1
SC1	19,1/19,4	3	85,2		
SC2	7,7/8,2	1		4,9	
SC2	11,7/12,0	2			18,3
SC2	13,1/13,5	2	90,5		
SC3	3,0/3,3	0.R		2,4	
SC3	4,25/4,5	1			18,0
SC3	5,75/6,0	1	79,8		
SC4	19,5	3			81,5
SC4	23,5	3			82,6
SC4	27,5	3			94,7
SC4	31,5	3			86,0
SC4	35,5	3			77,2
SC5	19,5	3			83,3
SC5	23,5	3			92,9
SC5	27,5	3			87,3
SC5	31,5	3			88,5
SC5	35,5	3			88,0
SC6	19,5	3			84,9
SC6	23,5	3			83,3
SC6	27,5	3			75,1
SC6	31,5	3			78,1
SC6	35,5	3			72,8
SC7	19,5	3			85,8
SC7	23,5	3			79,6



SC7	27,5	3			72,3
SC7	31,5	3			82,2
SC7	34,5	3			79,7
SC8	17,0	3			73,5
SC8	21,0	3			78,0
SC8	25,0	3			68,6
SC8	29,0	3			75,5
SC8	34,0	3			80,3

Caractéristiques chimiques : agressivités vis-à-vis du béton

Sondage	Profondeur (m/TN)	Formation	Agressivité des sols vis-à-vis du béton	Agressivité de l'eau vis-à-vis du béton
			Classe selon la norme NF EN 206	Classe selon la norme NF EN 206
PZ1	-	-	-	< XA1
SC3	6,0 à 6,2 m	1	< XA1	-

3.6. Essais de perméabilité

3.6.1. Essais de type Porchet

Les résultats des essais de perméabilité réalisés dans la formation O.R (remblai graveleux calcaire, remblai limoneux à sableux) sont présentés dans le tableau suivant :

Essai	EPP1	EPP2	EPP3
Profondeur de l'essai, entre : (en m/TN)	0,45 à 0,60	0,50 à 0,65	0,40 à 0,55
Perméabilité K (m/s)	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$

Les valeurs de perméabilité mesurées dans la formation O.R sont comprises entre $3,9 \cdot 10^{-5}$ et $2,3 \cdot 10^{-8}$ m/s. Des variations de perméabilité au sein des remblais sont toujours possibles en raison de leur hétérogénéité de nature.



3.6.2. Essais de perméabilité à tube ouvert

Les essais de perméabilité ont été effectués au droit des sondages SC1 à SC3. Ils ont été mis en œuvre au sein des principales formations lithologiques rencontrées dans cette zone (argile vasarde, alluvions et argile marneuse à passages calcaires marneux).

Les principaux résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Essai	EP1	EP2	EP3
Sondage	SC1	SC2	SC3
Formation	3	2	1
Profondeur de l'essai, entre : (en m/TN)	19,0 à 20,0	14,0 à 15,0	4,5 à 6,0
Perméabilité K (m/s)	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$< 10^{-8}$

Ces valeurs traduisent une perméabilité très faible en tête dans les argiles vasardes à passages tourbeux, puis des perméabilités respectivement fortes à moyennes dans les horizons alluvionnaires à argilo-marneux en profondeur.

4. PRINCIPES DE CONSTRUCTION ENVISAGEABLES

4.1. Analyse des résultats

En l'absence d'investigations complémentaires, nous rappelons le contexte géotechnique établi dans les rapports G2 AVP, à savoir :

- Sous 0,05 à 0,5 m d'horizons superficiels (terre végétale [formation 0.TV] ou d'enrobé, remblai de chaussée et dalle béton [formation 0.E]), les sondages ont mis en évidence des remblais graveleux calcaires ainsi que des remblais limoneux à sableux noirs à beiges comprenant ponctuellement des éléments de briques (formation 0.R) jusqu'à 0,8/3,7 m de profondeur, surmontant une argile vasarde grise à passages tourbeux (formation 1) jusqu'à 9,5/12,8 m. Des alluvions argilo-sableuses à graveleuses jaunes à beiges (formation 2) ont ensuite été identifiées jusqu'à 14,7 et 16,2 m/TN. L'horizon argilo-marneux à passages calcaires marneux beiges à gris (formation 3) a été reconnu jusqu'à la fin des investigations entre 20,5 et 39,7 m de profondeur/TN.
- Compte tenu des mesures en teneur en carbonate réalisées dans cette formation dans le cadre de la mission G2 AVP complémentaire (pourcentage en CaCO_3 nettement supérieur à 30 %), l'échantillon dans lequel cette teneur avait été mesurée à 6,1% en SC1 entre 18,7 et 19,0 m de profondeur correspond donc à un passage très localisé non représentatif de l'ensemble de cet horizon qui peut donc être requalifié **en marne argileuse à passages calcaires marneux**.



- Lors de la réalisation des sondages SC4 à SC8, il est à noter que nous avons rencontré de grandes difficultés de forage dans les alluvions argilo-sableuses à graveleuses de la formation 2, liées aux passages très graveleux à très résistants présents dans cette couche vers 14/15,5 m de profondeur. La présence de ce passage de blocs graveleux compacts devra être prise en compte dans le choix des méthodes de forage des futurs pieux.
- Les essais en laboratoire ont permis de reconnaître que la formation 2 était potentiellement liquéfiable et que le potentiel de gonflement des formations 1 et 2 était moyen à élevé.
- Des venues d'eau ont été observées au droit des sondages entre 0,6 et 2,7 m de profondeur lors de nos interventions (mai à juillet 2022), puis entre 0,9 et 2,2 m de profondeur (mars et avril 2024). Il est rappelé qu'en fonction de la saison et de la pluviométrie, des circulations d'eau localisées et anarchiques sont toujours possibles dans les terrains superficiels.

4.2. Principes de fondations envisageables au stade Projet

Le mode de fondation des ouvrages devra tenir compte de l'importance et de la géométrie des charges apportées et de la nécessité de mobiliser un horizon portant, homogène et de compacité correcte.

Compte tenu du contexte géotechnique mis en évidence par les investigations (épaisseur importante de remblai, faible compacité des argiles vasardes de la formation 1) et des descentes de charges fournies, on pourra envisager une solution de type fondations profondes sur pieux ancrés de 1,5 m minimum ou de l'ordre de trois diamètres de pieu dans la formation 3 rencontrée à partir de 14,7/16,2 m de profondeur au droit de nos sondages.

Les investigations ont été descendues jusqu'à 40,0 m de profondeur au maximum. Si le dimensionnement des pieux conduit à une profondeur supérieure à 35,0 m, de nouvelles reconnaissances devront être entreprises pour atteindre une profondeur minimale de 5 m sous la pointe estimée des pieux tel que le stipule la norme NF EN 1997-2.

On évitera le rechargement du terrain actuel, par exemple par un apport de remblai, de façon à ne pas entraîner l'apparition de tassements importants dans les terrains potentiellement compressibles de la formation 1 (consolidation primaire) et, par conséquent, de frottements négatifs sur les pieux si ces derniers sont réalisés rapidement après la mise en œuvre du remblai de mise à niveau.

Néanmoins, si un tel apport de remblai est considéré nécessaire pour le projet et si le phasage des travaux ne permet pas d'attendre la fin de la consolidation primaire des terrains d'assise (généralement 3 à 4 mois), un frottement négatif devra être pris en compte dans le dimensionnement des fondations profondes :

- soit en prévoyant un double chemisage des pieux sur la hauteur des terrains compressibles de façon à éviter toute transmission de frottement négatif sur les fondations,
- soit en intégrant ce frottement négatif dans le dimensionnement des pieux (en l'ajoutant à la charge appliquée en tête des fondations).



Remarques :

- *Compte tenu de la classe de sol C retenue au § 3.1.6., on recommandera la mise en œuvre de longrines permettant de relier en tête les pieux afin de répartir les effets induits dans la structure par les déplacements relatifs horizontaux au niveau de la fondation (cf. 5.4.1.2. NF EN 1998-5).*
- *Les dimensionnements de fondations profondes fournis dans les rapports des précédentes missions G2 AVP ont été réalisés pour des pieux de type foré boue (FB). Les valeurs de teneurs en carbonates mesurées en laboratoire ont permis de valider une technique de forage par pieu de type FTC (foré tarière creuse). On rappelle néanmoins la difficulté de foration à travers la formation 2 liée à des passages très graveleux à très résistants.*

4.3. Modèle géotechnique

La coupe géotechnique retenue pour les calculs (au stade du projet), sur la base des investigations réalisées, est la suivante :

Profondeur	Formation	Nature	pl* (MPa)	Em (MPa)	α	γ (kN/m ³)
De 0 à 0,5 m	0.TV + 0.E	Terre végétale, enrobé, remblai de chaussée et dalle béton	-	-	1/2	18 ⁽¹⁾
De 0,5 à 3,7 m	0.R	Remblai graveleux calcaire et remblai limoneux à sableux	-	-	1/2	18 ⁽¹⁾
De 3,7 à 12,8 m	1	Argile vasarde à passages tourbeux	0,15	0,8	2/3	18 ⁽¹⁾
De 12,8 à 16,2 m	2	Alluvions argilo-sableuses à graveleuses	2,60	30,5	1/2	18 ⁽¹⁾
De 16,2 à 39,7 m	3	Marne argileuse à passages calcaires marneux	3,70	87,5	1/2	18 ⁽¹⁾

(1) Valeurs non mesurées mais estimées d'après notre connaissance de ces types de sol.

On rappelle que les épaisseurs données dans le tableau ci-dessus sont déduites de nos reconnaissances et ne préjugent pas des variations locales pouvant nécessiter une adaptation des niveaux d'ancrage réels au moment du chantier.



4.4. Niveaux bas

Les cotes de niveau bas des ouvrages projetés définies à ce stade de l'étude sont comprises entre +5,30 et +6,55 NGF.

Du fait de la présence de remblais sur des épaisseurs importantes et variables ainsi que la faible portance de la formation 1 sous-jacente, il faudra s'orienter vers la réalisation d'un plancher porté par les fondations. Cette solution permet de s'affranchir de tout problème de consolidation et de tassement sous ce niveau bas.

On conseillera la mise en œuvre d'un joint de structure entre les différentes parties des bâtiments en mitoyenneté afin de s'affranchir de tout problème de comportements différentiels de celles-ci.

5. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES PRINCIPAUX

La justification des fondations fait référence à l'Eurocode 7 et à sa norme d'application nationale NF P 94-262 de juillet 2012 (Fondations profondes), en considérant un ouvrage de catégorie géotechnique 2.

5.1. Dimensionnement des fondations profondes aux sollicitations minimales

5.1.1. Rappel des descentes de charge

Les descentes de charges transmises sont rappelées au § 1, à savoir 85 à 160 t à l'ELS caractéristique et 77 à 136 t à l'ELS quasi-permanent.

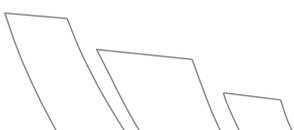
Les exemples de fondation sont donnés à titre indicatif sur la base des hypothèses fournies ou retenues à ce stade du projet. Le dimensionnement définitif des fondations devra tenir compte de l'ensemble des paramètres pouvant l'influencer : efforts verticaux et horizontaux appliqués, combinaisons d'actions à l'ELU et à l'ELS, phasage de construction, tassements au voisinage des fondations, prise en compte de frottements négatifs (entraînant un chemisage ou un surdimensionnement des pieux), impact financier des solutions retenues.

Compte tenu du profil géotechnique du site, nous proposons un exemple de dimensionnement de fondations profondes pour un pieu ancré dans la formation 3.

5.1.2. Ébauche de dimensionnement de pieu

Un exemple de dimensionnement est réalisé selon la procédure du "modèle de terrain" de la norme NF P 94-262 de juillet 2012 pour un pieu de type foré tarière creuse (FTC – classe 2 catégorie 6) de 0,72 m de diamètre, descendu à 18,0 m de profondeur au droit du projet sur la base du modèle géotechnique retenu.

On suppose que le pieu n'est pas soumis au phénomène de frottement négatif.



Les résultats de ces calculs, limités à l'ELU en combinaisons fondamentales et sismiques et à l'ELS en combinaisons caractéristiques et quasi-permanentes, sont donnés ci-après, à titre indicatif :

• Valeur caractéristique de la résistance de pointe de la fondation profonde $R_{b;k}$

$$q_b = k_p \cdot p_{le}^* \text{ (NF P 94-262)}$$

Avec $k_p = 1,60$

$$p_{le}^* = 3,70 \text{ MPa}$$

on obtient $q_b = 5,920 \text{ MPa}$

$$q_{b;k} = q_b / (\gamma_{R;d1} \times \gamma_{R;d2}) = 5920 / (1,15 \times 1,1) = 4679,8 \text{ kPa} \quad (\gamma_{R;d1} = 1,15 \text{ et } \gamma_{R;d2} = 1,1)$$

et donc

$$R_{b;k} = \pi \cdot D^2 / 4 \cdot q_{b;k} = \pi \times 0,72^2 \times 4679,8 / 4 = 1905,4 \text{ kN} \quad (D = \text{diamètre du pieu} = B = 0,72 \text{ m})$$

• Valeur caractéristique de la résistance de frottement axial de la fondation profonde $R_{s;k}$

Les valeurs de frottement axial unitaire limite q_s pour les différentes formations identifiées et pour un mode de mise en place du pieu de type foré tarière creuse, sont données dans le tableau suivant :

Formation	Epaisseur h_s (m)	Courbe f_{sol}	a	b	c	P_i^* (MPa)	f_{sol} (kPa)	$\alpha_{\text{pieu-sol}}$	q_s (kPa)	$q_{s;k}$ (kPa) comp.	$q_{s;k}$ (kPa) trac.
0.TV + 0.E + 0.R	3,7	Frottements négligés dans ces formations									
1	9,1	Q1	0,003	0,04	3,5	0,15	16,5	1,5	24,8	19,6	16,1
2	3,4	Q2	0,01	0,06	1,2	2,60	82,2	1,8	148,0	117,0	96,1
3	23,5	Q4	0,008	0,08	3,0	3,70	109,6	1,6	175,4	138,6	113,9

Avec $q_{s;k} = q_s / (\gamma_{R;d1} \times \gamma_{R;d2})$ où $\gamma_{R;d1} = 1,15$ et $\gamma_{R;d2} = 1,1$ en compression

$\gamma_{R;d1} = 1,40$ et $\gamma_{R;d2} = 1,1$ en traction

d'où

En compression :

$$R_{s;k} = \pi \cdot D \cdot [\sum h_s \cdot q_{s;k}] = 1867,2 \text{ kN}$$



En traction :

$$R_{t;k} = \pi.D.[\sum h_s.q_{s;k}] = 1533,8 \text{ kN}$$

Les valeurs caractéristiques des charges de fluage de compression et de traction s'établissent à :

En compression :

$$R_{c;cr;k} = 0,5 \times R_{b;k} + 0,7 \times R_{s;k} = 2259,7 \text{ kN}$$

En traction :

$$R_{t;cr;k} = 0,7 \times R_{t;k} = 1073,6 \text{ kN}$$

Par conséquent, on en déduit les valeurs de calcul de la portance en compression et en traction suivantes :

A l'ELU en combinaisons fondamentales et sismiques :

En compression :

$$R_{c;d} = R_{s;k} / \gamma_s = 3429,6 \text{ kN}$$

En traction :

$$R_{t;d} = R_{t;k} / \gamma_{s;t} = 1333,7 \text{ kN}$$

A l'ELS en combinaisons caractéristiques :

En compression :

$$R_{c;cr;d} = R_{c;cr;k} / \gamma_{cr} = 2510,8 \text{ kN}$$

En traction :

$$R_{t;cr;d} = R_{t;cr;k} / \gamma_{s;cr} = 976,0 \text{ kN}$$

A l'ELS en combinaisons quasi-permanentes :

En compression :

$$R_{c;cr;d} = R_{c;cr;k} / \gamma_{cr} = 2054,3 \text{ kN}$$

En traction :

$$R_{t;cr;d} = R_{t;cr;k} / \gamma_{s;cr} = 715,8 \text{ kN}$$



Ainsi, à titre indicatif, un pieu de type foré tarière creuse (FTC) de 0,72 m de diamètre, ancré à 18,0 m de profondeur par rapport au terrain actuel, présente une capacité portante en compression d'environ 2511 kN (251,1 t) à l'ELS caractéristique et environ 2054 kN (205,4 t) à l'ELS quasi-permanent ainsi qu'une résistance de traction d'environ 976,0 kN (97,6 t) à l'ELS carac. et environ 715,8 kN (71,6 t) à l'ELS qp.

Ces valeurs sont donc supérieures aux sollicitations minimales fournies (85 à 160 t/appui à l'ELS en combinaisons caractéristiques et 77 à 136 t/appui à l'ELS en combinaisons quasi-permanentes).

Remarque : Pour le dimensionnement donné ci-dessus, la valeur moyenne de la contrainte de compression du béton calculée à l'ELS caractéristique, est comprise entre 5,5 et 6,5 MPa, ce qui nécessite un contrôle renforcé pour un pieu de type FTC (cf. norme NF P 94-262 § 6.4.1).

Les calculs détaillés des pieux Ø 720 mm descendus à 18,0 m sont fournis en annexe 8 sous la forme de feuilles établies avec le logiciel GEOFOND. En complément et de façon indicative, des tableaux sont également fournis pour différents diamètres de pieux forés tarière creuse qui seraient implantés au droit du projet.

5.1.3. Justification aux efforts horizontaux

Pour les fondations soumises à des efforts horizontaux et des moments en tête, il conviendra de considérer une réaction frontale du sol sur les pieux. La loi de mobilisation de la réaction frontale d'un pieu est définie par un segment de droite de pente K_f et présentant un palier r_1 .

Les modules linéiques de mobilisation de la pression frontale pour un élément de fondation profonde sont déterminés selon les formules suivantes :

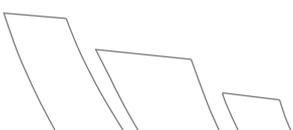
Pour des sollicitations de courte durée :

$$K_{fc} = \frac{12.E_M}{\frac{4}{3} \cdot \frac{B_0}{B} \cdot (2,65 \cdot \frac{B_0}{B})^\alpha + \alpha} \text{ pour } B \geq B_0 \text{ avec } B_0 = 0,6 \text{ m}$$

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

Pour des sollicitations de longue durée : $K_{fi} = K_{fc} / 2$

Seuil de plasticité : $r_1 = B \cdot p_f^*$



Dans notre cas, pour un diamètre de pieu $B = 0,72$ m, c'est-à-dire supérieur à $B_0 = 0,6$ m, les modules linéiques des différentes formations rencontrées sont les suivants :

Formation	Nature	Em (MPa)	α	K_{fc} (MPa)	K_{fi} (MPa)
0.TV + 0.E	Terre végétale, enrobé, remblai de chaussée et dalle béton	1,0 ⁽¹⁾	1/2	5,6	2,8
0.R	Remblai graveleux calcaire et remblai limoneux à sableux	0,4	1/2	2,2	1,1
1	Argile vasarde à passages tourbeux	0,8	2/3	3,8	1,9
2	Alluvions argilo-sableuses à graveleuses	30,5	1/2	170,1	85,05
3	Marne argileuse à passages calcaires marneux	87,5	1/2	488,1	244,05

(1) Valeurs non mesurées mais estimées d'après notre connaissance de ces types de sol pour les besoins des calculs.

Remarques :

- K_f est lié au module surfacique appelé coefficient de réaction k_f par l'expression $K_f = B \cdot k_f$,
- La pression limite de fluage p_r^* est définie par les essais pressiométriques. Elle peut être estimée en première approche par la relation $p_r^* = p_l^*/1,7$.

5.2. Dimensionnement des fondations profondes aux sollicitations maximales

5.2.1. Rappel des descentes de charge

Les descentes de charges transmises sont rappelées au § 1, à savoir 310 à 320 t à l'ELS caractéristique et 271 à 299 t à l'ELS quasi-permanent.

Les exemples de fondation sont donnés à titre indicatif sur la base des hypothèses fournies ou retenues à ce stade du projet. Le dimensionnement définitif des fondations devra tenir compte de l'ensemble des paramètres pouvant l'influencer : efforts verticaux et horizontaux appliqués, combinaisons d'actions à l'ELU et à l'ELS, phasage de construction, tassements au voisinage des fondations, prise en compte de frottements négatifs (entraînant un chemisage ou un surdimensionnement des pieux), impact financier des solutions retenues.

Compte tenu du profil géotechnique du site, nous proposons un exemple de dimensionnement de fondations profondes pour un pieu ancré dans la formation 3.



5.2.2. Ébauche de dimensionnement de pieu

Un exemple de dimensionnement est réalisé selon la procédure du "modèle de terrain" de la norme NF P 94-262 de juillet 2012 pour un pieu de type foré tarière creuse (FTC – classe 2 catégorie 6) de 0,92 m de diamètre, descendu à 18,0 m de profondeur au droit du projet sur la base du modèle géotechnique retenu.

On suppose que le pieu n'est pas soumis au phénomène de frottement négatif.

Les résultats de ces calculs, limités à l'ELU en combinaisons fondamentales et sismiques et à l'ELS en combinaisons quasi-permanentes, sont donnés ci-après, à titre indicatif :

- Valeur caractéristique de la résistance de pointe de la fondation profonde $R_{b;k}$

$$q_b = k_p \cdot p_{le}^* \text{ (NF P 94-262)}$$

Avec $k_p = 1,57$

$$p_{le}^* = 3,70 \text{ MPa}$$

on obtient $q_b = 5,800 \text{ MPa}$

$$q_{b;k} = q_b / (\gamma_{R;d1} \times \gamma_{R;d2}) = 5800 / (1,15 \times 1,1) = 4585,0 \text{ kPa} \quad (\gamma_{R;d1} = 1,15 \text{ et } \gamma_{R;d2} = 1,1)$$

et donc

$$R_{b;k} = \pi \cdot D^2 / 4 \cdot q_{b;k} = \pi \times 0,92^2 \times 4585,0 / 4 = 3047,9 \text{ kN} \quad (D = \text{diamètre du pieu} = B = 0,92 \text{ m})$$

- Valeur caractéristique de la résistance de frottement axial de la fondation profonde $R_{s;k}$

Les valeurs de frottement axial unitaire limite q_s pour les différentes formations identifiées et pour un mode de mise en place du pieu de type foré tarière creuse, sont données dans le tableau suivant :

Formation	Épaisseur h_s (m)	Courbe f_{sol}	a	b	c	P_l^* (MPa)	f_{sol} (kPa)	$\alpha_{\text{pieu-sol}}$	q_s (kPa)	$q_{s;k}$ (kPa) comp.	$q_{s;k}$ (kPa) trac.
0.TV + 0.E + 0.R	3,7	Frottements négligés dans ces formations									
1	9,1	Q1	0,003	0,04	3,5	0,15	16,5	1,5	24,8	19,6	16,1
2	3,4	Q2	0,01	0,06	1,2	2,60	82,2	1,8	148,0	117,0	96,1
3	23,5	Q4	0,008	0,08	3,0	3,70	109,6	1,6	175,4	138,6	113,9

Avec $q_{s;k} = q_s / (\gamma_{R;d1} \times \gamma_{R;d2})$ où $\gamma_{R;d1} = 1,15$ et $\gamma_{R;d2} = 1,1$ en compression

$$\gamma_{R;d1} = 1,40 \text{ et } \gamma_{R;d2} = 1,1 \text{ en traction}$$



d'où

En compression :

$$R_{s;k} = \pi.D. [\Sigma h_s.q_{s;k}] = 2385,9 \text{ kN}$$

En traction :

$$R_{t;k} = \pi.D. [\Sigma h_s.q_{s;k}] = 1959,8 \text{ kN}$$

Les valeurs caractéristiques des charges de fluage de compression et de traction s'établissent à :

En compression :

$$R_{c;cr;k} = 0,5 \times R_{b;k} + 0,7 \times R_{s;k} = 3194,1 \text{ kN}$$

En traction :

$$R_{t;cr;k} = 0,7 \times R_{t;k} = 1371,9 \text{ kN}$$

Par conséquent, on en déduit les valeurs de calcul de la portance en compression et en traction suivantes :

A l'ELU en combinaisons fondamentales et sismiques :

En compression :

$$R_{c;d} = R_{s;k} / \gamma_s = 4939,8 \text{ kN}$$

En traction :

$$R_{t;d} = R_{t;k} / \gamma_{s;t} = 1704,2 \text{ kN}$$

A l'ELS en combinaisons caractéristiques :

En compression :

$$R_{c;cr;d} = R_{c;cr;k} / \gamma_{cr} = 3549,0 \text{ kN}$$

En traction :

$$R_{t;cr;d} = R_{t;cr;k} / \gamma_{s;cr} = 1247,2 \text{ kN}$$

A l'ELS en combinaisons quasi-permanentes :

En compression :

$$R_{c;cr;d} = R_{c;cr;k} / \gamma_{cr} = 2903,7 \text{ kN}$$

En traction :

$$R_{t;cr;d} = R_{t;cr;k} / \gamma_{s;cr} = 914,6 \text{ kN}$$



Ainsi, à titre indicatif, un pieu de type foré tarière creuse (FTC) de 0,92 m de diamètre, ancré à 18,0 m de profondeur par rapport au terrain actuel, présente une capacité portante en compression d'environ 3549 kN (354,9 t) à l'ELS caractéristique et environ 2904 kN (290,4 t) à l'ELS quasi-permanent ainsi qu'une résistance de traction d'environ 1247,2 kN (124,7 t) à l'ELS carac. et environ 914,6 kN (91,5 t) à l'ELS qp.

Ces valeurs sont donc supérieures aux sollicitations maximales fournies pour les bâtiments C, D/E et ABPK (310 à 320 t/appui à l'ELS en combinaisons caractéristiques).

De la même manière, pour les sollicitations maximales transmises au droit du bâtiment L, les valeurs de calcul de la portance en compression et en traction sont données ci-dessous pour un pieu de type foré tarière creuse (FTC – classe 2 catégorie 6) de 0,92 m de diamètre, descendu à 18,5 m de profondeur au droit du projet sur la base du modèle géotechnique retenu.

A l'ELU en combinaisons fondamentales et sismiques :

En compression :

$$R_{c;d} = R_{s;k} / \gamma_s = 5179,3 \text{ kN}$$

En traction :

$$R_{t;d} = R_{t;k} / \gamma_{s;t} = 1847,3 \text{ kN}$$

A l'ELS en combinaisons caractéristiques :

En compression :

$$R_{c;cr;d} = R_{c;cr;k} / \gamma_{cr} = 3739,8 \text{ kN}$$

En traction :

$$R_{t;cr;d} = R_{t;cr;k} / \gamma_{s;cr} = 1351,9 \text{ kN}$$

A l'ELS en combinaisons quasi-permanentes :

En compression :

$$R_{c;cr;d} = R_{c;cr;k} / \gamma_{cr} = 3059,8 \text{ kN}$$

En traction :

$$R_{t;cr;d} = R_{t;cr;k} / \gamma_{s;cr} = 991,4 \text{ kN}$$

Ainsi, à titre indicatif, un pieu de type foré tarière creuse (FTC) de 0,92 m de diamètre, ancré à 18,5 m de profondeur par rapport au terrain actuel, présente une capacité portante en compression d'environ 3740 kN (374,0 t) à l'ELS caractéristique et environ 3060 kN (306,0 t) à l'ELS quasi-permanent ainsi qu'une résistance de traction d'environ 1352 kN (135,2 t) à l'ELS carac. et environ 991 kN (99,1 t) à l'ELS qp.



Ces valeurs sont donc supérieures aux sollicitations minimales fournies pour le bâtiment L (320 t/appui à l'ELS en combinaisons caractéristiques et 299 t/appui à l'ELS en combinaisons quasi-permanentes).

Les calculs détaillés du pieu Ø 920 mm descendu à 18,0 et 18,5 m sont fournis en annexe 8 sous la forme de feuilles établies avec le logiciel GEOFOND.

Si l'on souhaite reprendre des charges à l'ELS supérieures, il faudra envisager l'une ou plusieurs des solutions suivantes :

- Augmenter le diamètre des pieux ;
- Reporter les charges sur plusieurs pieux,
- Approfondir l'ancrage des pieux (si les pieux sont supérieurs à 35 m, une reconnaissance complémentaire sera nécessaire pour caractériser les sols 5 m sous la pointe des pieux conformément à la norme NF EN 1997-2).

5.2.3. Justification aux efforts horizontaux

Pour les fondations soumises à des efforts horizontaux et des moments en tête, il conviendra de considérer une réaction frontale du sol sur les pieux. La loi de mobilisation de la réaction frontale d'un pieu est définie par un segment de droite de pente K_f et présentant un palier r_1 .

Les modules linéiques de mobilisation de la pression frontale pour un élément de fondation profonde sont déterminés selon les formules suivantes :

Pour des sollicitations de courte durée :

$$K_{fc} = \frac{12.E_M}{\frac{4}{3} \cdot \frac{B_0}{B} \cdot (2,65 \cdot \frac{B_0}{B})^\alpha + \alpha} \text{ pour } B \geq B_0 \text{ avec } B_0 = 0,6 \text{ m}$$

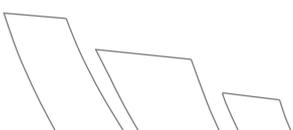
$$K_{fc} = \frac{12.E_M}{\frac{4}{3} \cdot (2,65)^\alpha + \alpha} \text{ pour } B \leq B_0$$

Pour des sollicitations de longue durée :

$$K_{fl} = K_{fc} / 2$$

Seuil de plasticité :

$$r_1 = B \cdot p_f^*$$



Dans notre cas, pour un diamètre de pieu $B = 0,92$ m, c'est-à-dire supérieur à $B_0 = 0,6$ m, les modules linéiques des différentes formations rencontrées sont les suivants :

Formation	Nature	Em (MPa)	α	K_{fc} (MPa)	K_{fi} (MPa)
0.TV + 0.E	Terre végétale, enrobé, remblai de chaussée et dalle béton	1,0 ⁽¹⁾	1/2	7,3	3,65
0.R	Remblai graveleux calcaire et remblai limoneux à sableux	0,4	1/2	2,9	1,45
1	Argile vasarde à passages tourbeux	0,8	2/3	5,0	2,5
2	Alluvions argilo-sableuses à graveleuses	30,5	1/2	222,7	111,35
3	Marne argileuse à passages calcaires marneux	87,5	1/2	639,0	319,5

(1) Valeurs non mesurées mais estimées d'après notre connaissance de ces types de sol pour les besoins des calculs.

Remarques :

- K_f est lié au module surfacique appelé coefficient de réaction k_f par l'expression $K_f = B \cdot k_f$,
- La pression limite de fluage p_f^* est définie par les essais pressiométriques. Elle peut être estimée en première approche par la relation $p_f^* = p_l^*/1,7$.

6. PRECAUTIONS PARTICULIERES DE CONCEPTION ET D'EXECUTION

Les recommandations fournies lors de la mission G2 AVP restent valables et sont rappelées ci-dessous.

6.1. Terrassements et blindage

Les terrassements pourront a priori être réalisés sans difficultés particulières au moyen d'engins mécaniques courants dans les formations 0.TV, 0.E, 0.R et 1 (terre végétale, enrobé et remblai de chaussée, remblais, argile vasarde). **Les terrassements traversant une dalle béton (formation 0.E) ou des passages graveleux composant les remblais de la formation 0.R pourront nécessiter l'emploi d'engins de moyenne à forte puissance (pelle puissante, dérocteur, BRH, ...).**

Il est à noter qu'en raison de la démolition de plusieurs bâtiments sur le site, d'anciennes structures ou fondations résiduelles pourront être rencontrées au sein des terrains superficiels et nécessiteront la mise en œuvre de terrassements appropriés pour les purger.

La nature hétérogène des remblais pourra poser des problèmes de stabilité des parois entraînant un abaissement des pentes de talus ou l'utilisation d'un blindage en tête.



La formation 1, si elle est atteinte par les terrassements, est composée d'une matrice argileuse susceptible de présenter une assez bonne cohésion à l'ouverture. Les parois des fouilles pourraient malgré tout poser des problèmes de stabilité à court terme dans ces terrains et nécessiter un blindage ou un talutage avec des pentes de talus faibles.

Dans le cas où la profondeur des tranchées serait supérieure à 1,30 m, et conformément à la partie réglementaire, quatrième partie, livre V, titre III, chapitre IV, section 4 : travaux de terrassement à ciel ouvert du code du travail, il conviendra de procéder à un blindage traditionnel des fouilles.

Un tel blindage sera d'autant plus nécessaire si les fouilles devaient être ouvertes pendant une période assez longue (plusieurs jours) au cours de laquelle l'état hydrique des sols serait modifié et aurait une incidence sur la tenue des parois.

Le blindage pourra être réalisé par un dispositif traditionnel pour des hauteurs de tranchées courantes.

Une solution plus lourde (type palplanches, palfeuilles avec butonnage, havage) devra être envisagée lorsque la hauteur des terrains à soutenir sera plus importante ou s'il y a des risques de venues d'eau dans la fouille (potentiellement envisageables selon le contexte hydrogéologique du site), ce qui est le cas pour la tranchée drainante.

Le dimensionnement des soutènements (estimations des poussées, butées) en phase provisoire (chantier) et en phase définitive pourra être réalisé en tenant compte des paramètres géotechniques suivants, retenus au stade du projet sur la base des essais de laboratoire effectués :

Nature des sols	Formation	Cohésion C' (kPa)		Angle de frottement (°)		Poids volumique γ (kN/m ³)
		C _{uu}	C'	ϕ_{uu}	ϕ'	
Terre végétale, enrobé, remblai de chaussée et dalle béton	0.TV + 0.E	0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	18 ⁽¹⁾
Remblai graveleux calcaire et remblai limoneux à sableux	0.R	0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	18 ⁽¹⁾
Argile vasarde à passages tourbeux	1	15 ⁽¹⁾	30,0	5 ⁽¹⁾	15,0	18 ⁽¹⁾
Alluvions argilo-sableuses à graveleuses	2	0 ⁽¹⁾	30,0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	30,0 ⁽¹⁾	18 ⁽¹⁾
Argile marneuse à passages calcaires marneux	3	30 ⁽¹⁾	50,0	0 ⁽¹⁾	10,0	18 ⁽¹⁾

(1) : valeurs non mesurées mais estimées d'après notre connaissance de ces types de sol.

Les caractéristiques mécaniques intrinsèques ont été mesurées dans les matériaux des formations 1 et 3. Les valeurs retenues dans les remblais et les alluvions sont évaluées en première approche et pourront faire l'objet d'une confirmation par des sondages et essais complémentaires dans le cadre d'une mission G3.



Nous attirons l'attention sur le fait que les terrains superficiels renferment une proportion importante de sols fins qui sont sensibles à l'eau, créant des difficultés de circulation des engins en période pluvieuse. Une réalisation de la plate-forme en période favorable non pluvieuse est vivement recommandée.

Il est impératif d'accomplir une mise en hors d'eau (pompage...) avant de réaliser les terrassements en profondeur.

On proscrit, autant que faire se peut, de faire manœuvrer des engins sur la plate-forme décapée et l'on privilégiera un remblaiement immédiat de la première couche à l'avancement.

Toute poche décomprimée de matériau évolutif ou de moindre consistance rencontrée en fond de fouille sera purgée. Pour le rattrapage des éventuels hors profils après purge, on prévoira la réalisation d'une couche de forme en classe D2 ou D3 selon le GTR, comportant moins de 5 % de fines.

En particulier, tout point dur ou passage de sols moins résistants rencontré au droit des fouilles devra faire l'objet d'un approfondissement local des terrassements puis d'une substitution par des matériaux d'apport de préférence granulaires ou sableux (ou par un gros béton) avant le coulage des fondations.

Après mise à niveau du fond de forme, ce dernier sera compacté. Son compactage sera adapté aux conditions climatiques au moment des travaux.

NOTA : Si les travaux ont lieu en période défavorable ou si le fond de forme présente une teneur en eau trop importante, le cloutage du fond de forme et la pose d'un géotextile pourront s'avérer nécessaires.

6.2. Pente de talus et soutènements

Dans les sols des formations 1 et 2 qui sont de classe A2, A3 ou B4, et non saturés, une certaine cohésion peut être constatée à l'ouverture, ce qui peut être suffisant pour autoriser un talutage avec des pentes à court terme de l'ordre de 1V (vertical)/1H (horizontal) à 2V/1H par exemple.

Ces pentes seront à adapter par l'entreprise au moment des terrassements selon les matériaux observés et les conditions atmosphériques rencontrées.

En effet, en cas de conditions atmosphériques marquées (précipitations importantes ou périodes sèches pouvant modifier l'état hydrique et donc la stabilité des talus) ou de présence de passages plus graveleux, une diminution notable de la pente devra être envisagée.

Concernant les pentes de talus à long terme, la faible perméabilité des matériaux de classe A3 aux variations climatiques induit une variation très lente de leur teneur en eau, s'accompagnant d'importants retraits ou gonflements. De plus, une augmentation ou une diminution relativement importante de leur teneur en eau est nécessaire pour conduire à une réduction de leur cohésion.

Les talus devront donc être terrassés avec des pentes plus faibles, de l'ordre de 1V/2H à 1V/3H.



La définition des pentes définitives (à long terme) pourra être précisée en s'appuyant sur des valeurs de caractéristiques mécaniques intrinsèques (cohésion, angle de frottement, poids volumique) qui pourraient être déterminées par des essais de cisaillement rectiligne si nécessaire (dans le cadre d'une mission G3 par exemple).

Dans le cas où un talutage ne serait pas envisageable, il faudrait s'orienter vers un système de soutènement provisoire des terrains.

6.3. Réutilisation des matériaux

Les essais de laboratoire réalisés indiquent qu'il s'agit de matériaux de classe A2 pour la formation 1 et A3 à B4 pour la formation 2 selon le GTR 92, donc sensibles à l'eau (c'est-à-dire que leurs caractéristiques mécaniques intrinsèques – notamment la cohésion – peuvent varier sensiblement en fonction de l'état hydrique).

Leur teneur en eau est faible à élevée sur les échantillons testés (W_{nat} de 6,2 et 47,4 %).

D'un point de vue général, en supposant que les matériaux seront dans un état hydrique « m » à « th » au moment de l'ouverture des fouilles, leur réutilisation en remblai devra respecter les préconisations suivantes (issues du GTR) :

Matériaux de classe A2

Dans un état hydrique « th », ils seront inutilisables.

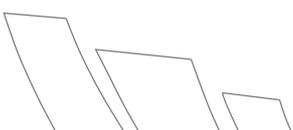
Dans un état hydrique « h », ils restent délicats à mettre en œuvre en raison de leur faible portance. Néanmoins, hors période de pluie, ils peuvent être réutilisés en effectuant un compactage moyen associé à un réactif adapté ou à une réduction de la teneur en eau par aération.

S'ils sont dans un état hydrique « m », ils ne posent pas de problème de réutilisation hors période de pluie moyenne ou forte. Ils peuvent être mis en œuvre par un compactage moyen avec un arrosage en cas d'évaporation importante ou en l'état par compactage intense.

Remarque :

S'ils sont ponctuellement dans un état hydrique « s », ces sols seront difficiles à compacter.

Il faudra au moins éviter de réduire encore leur teneur en eau et même prévoir un arrosage pour changer leur état hydrique (par exemple en « m »), notamment si l'on souhaite les réutiliser pour des remblais de grande hauteur (peu probable dans le cadre de ce projet).



Le réemploi des matériaux de classe A2 en couche de forme sera possible dans certaines conditions également écrites dans le GTR, à savoir :

- Un état hydrique « h », « m » ou « s »,
- Une absence de pluie même faible,
- Un traitement aux liants hydrauliques, éventuellement associé à la chaux en fonction de leur état hydrique,
- L'application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté.

Matériaux de classe GTR A3

Dans un état hydrique « th », ils seront inutilisables.

Dans un état hydrique « h », ils restent délicats à mettre en œuvre en raison de leur caractère collant ou glissant et de leur faible portance. Néanmoins, hors période de pluie, ils peuvent être réutilisés en effectuant un compactage moyen associé à un réactif adapté ou à une réduction de la teneur en eau par aération.

S'ils sont dans un état hydrique « m », le risque de glissement est d'autant plus grand que les remblais sont élevés. Hors période de pluie forte, ils peuvent être mis en œuvre par un compactage moyen avec un arrosage en cas d'évaporation importante ou en l'état par compactage intense.

Remarque :

S'ils sont ponctuellement dans un état hydrique « s », ces sols seront très difficiles à compacter en raison de leur forte cohésion.

Il faudra par conséquent les compacter intensément par couches minces éventuellement associées à un arrosage pour le maintien de l'état hydrique hors période de pluie.

Le réemploi des matériaux de classe A3 en couche de forme sera possible dans certaines conditions également écrites dans le GTR 92, à savoir :

- Un état hydrique « h » ou « m »,
- Une absence de pluie (ou d'évaporation) même faible pour un état hydrique « h » et de pluie (ou d'évaporation) forte pour un état hydrique « m »,
- Un traitement à la chaux éventuellement associé aux liants hydrauliques en fonction de leur argilosité et de leur état hydrique,
- Une application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté.

Matériaux de classe B4

Dans un état hydrique « th », ils seront inutilisables et devront faire l'objet d'un drainage ou d'une mise en dépôt provisoire pour les ramener à un état « h » au minimum.



Dans un état hydrique « h », ils restent délicats à mettre en œuvre et sont sujets au matelassage. Néanmoins, hors période de pluie, ils peuvent être réutilisés en effectuant un compactage moyen associé à un réactif adapté ou à une réduction de la teneur en eau par aération en cas d'évaporation importante.

S'ils sont dans un état hydrique « m », ces sols restent très sensibles aux conditions météorologiques. Ils seront mis en œuvre, hors période de pluie forte, par un compactage moyen avec un arrosage en cas d'évaporation importante ou en l'état par compactage intense.

Remarque :

S'ils sont ponctuellement dans un état hydrique « s », il faudra compenser l'effet néfaste de la faible teneur en eau.

Il faudra par conséquent, hors période de pluie forte, les compacter intensément avec un arrosage superficiel en cas d'évaporation intense, ou bien les mettre en œuvre par un compactage moyen associé à une humidification dans leur masse afin de les ramener dans un état hydrique « m ».

Le réemploi des matériaux de classe B4 en couche de forme sera possible dans certaines conditions également décrites dans le GTR 92, à savoir :

- Pour des matériaux ayant un coefficient de Los Angeles (LA) ≤ 45 et un coefficient micro-Deval en présence d'eau (MDE) ≤ 45 :
 - o Un état hydrique « th » à « ts »,
 - o Une absence d'évaporation même faible pour des états hydriques « h » à « s »,
 - o L'élimination de la fraction o/d,
 - o La mise en œuvre d'une couche de fin réglage,
 - o Un traitement aux liants hydrauliques associé à l'application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné.
- Pour des matériaux ayant LA > 45 ou MDE > 45 :
 - o Un état hydrique « h », « m » ou « s »,
 - o Une absence de pluie, même faible,
 - o Un traitement aux liants hydrauliques associé à l'application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné.



6.4. Matériaux d'apport

Si des matériaux d'apport doivent être employés pour la réalisation des remblais, ils devront être à granulométrie continue, préférentiellement granulaires et insensibles à l'eau pour faciliter leur mise en œuvre.

Des sols de classe D2 ou D3 constituent des matériaux privilégiés pour cet usage mais des sols de classe B3, C1B1, C1B3, C2B1 ou C2B3 par exemple peuvent également convenir.

Les conditions de mise en œuvre (pente de talus, compactage) seront définies en fonction des matériaux effectivement retenus.

Dans tous les cas, la mise en œuvre des remblais devra respecter les recommandations du Guide Technique pour le Remblayage des Tranchées et Réfection des Chaussées (Guide LCPC-SETRA de mai 1994).

6.5. Fondations profondes

Les fondations profondes seront réalisées selon les Règles de l'Art par une entreprise spécialisée et qualifiée en fondations profondes et dans le respect de l'ensemble des prescriptions des textes de l'EUROCODE 7 et des normes d'application nationales (sauf si le corpus réglementaire du projet est défini différemment : Fascicule 62-V, DTU 13.2).

L'outil et la technique employés devront permettre :

- Le forage de l'ensemble des couches de sols, y compris les éventuels résidus de fondations pouvant contenir de gros éléments, blocs, débris de briques, ...
- La méthode devra permettre de soutenir les terrains au cours du forage et au cours du bétonnage, sans chute de matériaux ni éboulement de parois qui entraînerait une réduction du fût ;
- Les armatures devront être conformes aux prescriptions parasismiques (Eurocode 8) ;
- La méthode devra être accompagnée d'un enregistrement des paramètres de forage permettant d'attester du bon ancrage dans la formation d'assise retenue.

L'entreprise devra justifier de l'armement de ces pieux au vu des efforts horizontaux à reprendre.

La machine de forage devra être suffisamment puissante pour ancrer les pieux dans l'horizon porteur.

Au minimum, l'encastrement effectif dans la couche porteuse devra être pris égal à 3 diamètres ou 1,50 m pour des pieux de diamètres supérieurs à 0,5 m. Si l'entreprise de fondations spéciales peut garantir la bonne exécution de l'encastrement de la pointe des pieux dans la couche porteuse soit par des prélèvements d'échantillons, soit par l'emploi de trépan, soit encore par l'utilisation de carottier, alors cet ancrage peut être réduit à une valeur minimale de 0,50 m (cf. norme NF P 94-262 de juillet 2012).



Lors de la réalisation des pieux, il conviendra de respecter les dispositions suivantes :

- veiller à une implantation précise et à une bonne verticalité des pieux ;
- vérifier soigneusement les matériaux extraits lors de forage pour s'assurer du bon ancrage dans l'horizon porteur ;
- curer soigneusement la base des pieux ;
- bétonner aussitôt le curage terminé à l'aide d'un tube plongeur ou d'une tarière creuse pour éviter le délavage et la ségrégation du béton ;
- limiter la contrainte dans le béton conformément aux prescriptions des EUROCODES.

L'entreprise s'assurera que le type de pieux et la technique utilisés permettront la mise en place des armatures sur la hauteur nécessaire (permettant de reprendre les efforts horizontaux en cas de séisme).

Ces moyens seront tels qu'ils ne provoquent pas de désordres aux avoisinants (attention aux vibrations).

En cas de présence de blocs et d'éléments hétérogènes dans les terrains superficiels, on prévoira la réalisation possible d'avant-trous (à la pelle mécanique munie d'un brise-roche hydraulique par exemple).

Il conviendra de ne pas circuler à proximité des pieux fraîchement bétonnés. Selon les préconisations en vigueur, les essais suivants seront à prévoir avant réception des travaux :

- mesures soniques par transparence (réservations à prévoir),
- mesures par impédance,
- carottage de fond de pieux.

Il est rappelé que les résultats fournis précédemment ne sont donnés qu'à titre indicatif et qu'une note de calcul détaillée devra être établie par l'Entreprise de pieux, en fonction des descentes de charges du projet et des caractéristiques réelles des pieux retenus (diamètres, classe de béton...).

Enfin, nous rappelons que le béton employé devra être conforme au degré d'agressivité de l'environnement influencé notamment par les terrains superficiels.

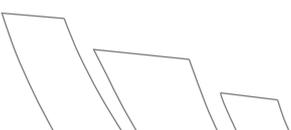
6.6. Drainage

Phase provisoire :

Un drainage de la plateforme et un pompage des eaux seront nécessaires en cours de terrassement afin d'évacuer les éventuelles venues d'eaux souterraines et de ruissellement apparues en cours de chantier.

Phase définitive :

Il sera nécessaire de protéger les ouvrages et toutes leurs parties enterrées contre les infiltrations d'eau au moyen d'un dispositif drainant soit extérieur (drains périphériques), soit intérieur (traitement spécifique du béton, cunettes, pompage) réalisés selon les règles de l'art.



7. OBSERVATIONS

Les conclusions du présent rapport sont données sous réserve des conditions particulières jointes en annexe.

Nous rappelons que ce rapport correspond à une étude géotechnique de conception G2 phase Projet (PRO) et que, conformément à la norme NF P 94-500 de novembre 2013, la phase DCE/ACT de cette étude de conception doit être envisagée en collaboration avec l'équipe de conception pour permettre :

- l'optimisation du projet et la prise en compte des interactions sol/structure en fonction des niveaux finis, descentes de charges et contraintes de mise en œuvre affinées au stade du projet,
- la vérification des paramètres retenus et la bonne transcription de toutes les préconisations dans les pièces techniques du marché.



8. 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 E.C.R. 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.

.....



Annexe 1

Extrait de la norme NF P 94-500 de novembre 2013



CLASSIFICATION DES MISSIONS TYPES D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE

Extrait de la norme AFNOR sur les MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NF P 94-500 - version de Novembre 2013)

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)

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

Phase Étude de Site (ES)

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

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisnants avec visite du site et des alentours.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :

Phase Avant-projet (AVP)

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

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisnants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisnants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE / ACT

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.



ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT.

Elle comprend deux phases interactives :

Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- Donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

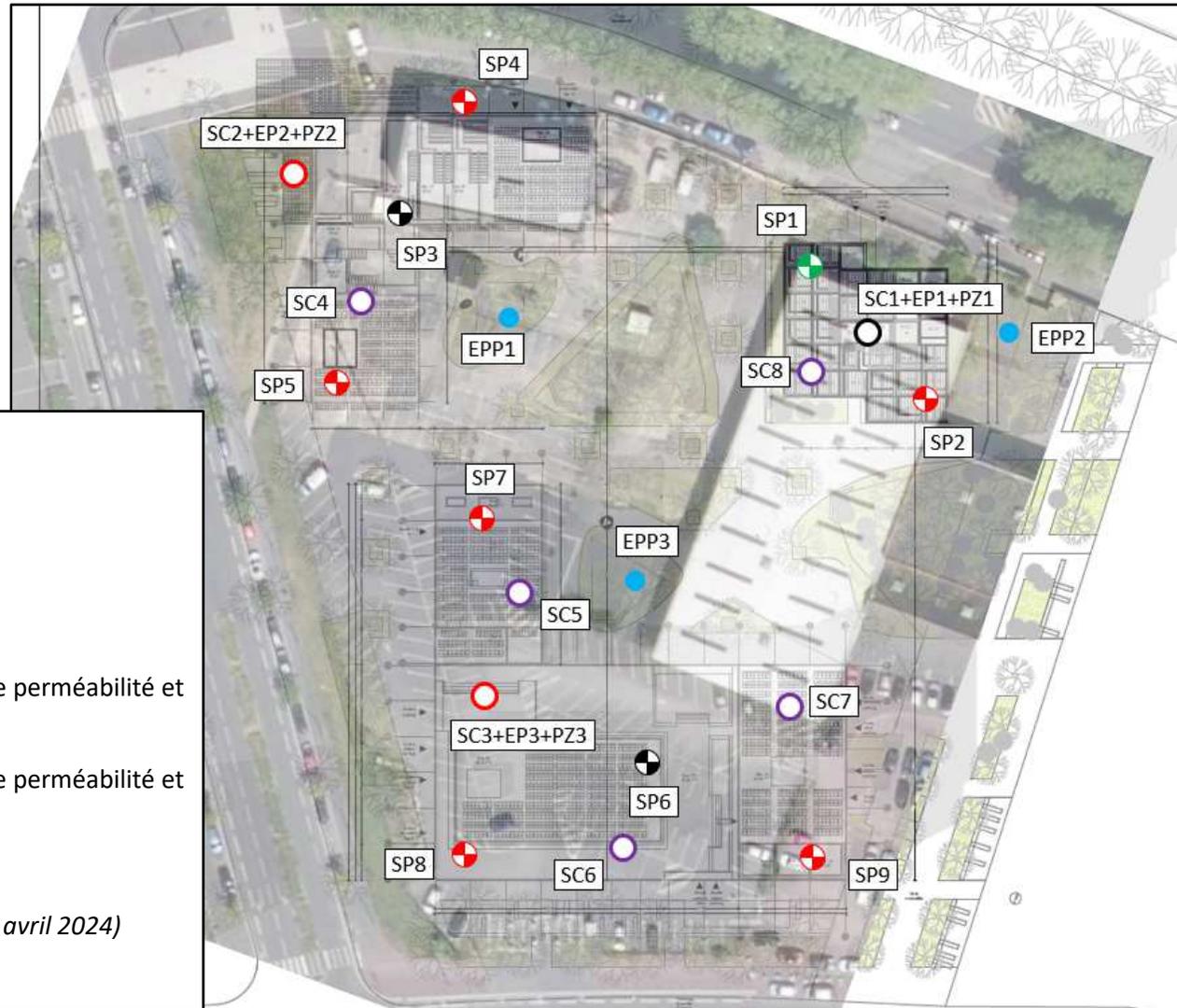
- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).



Annexe 2

Plan d'implantation des sondages





LEGENDE :

Mission G2 AVP (mai à juillet 2022)

-  Sondage pressiométrique à 25 m
-  Sondage pressiométrique à 35 m
-  Sondage pressiométrique à 40 m
-  Sondage carotté à 15 m avec essai de perméabilité et mise en place de piézomètre
-  Sondage carotté à 20 m avec essai de perméabilité et mise en place de piézomètre

 Essai Porchet

Mission G2 AVP complémentaire (mars et avril 2024)

-  Sondage carotté à 35 m

Annexe 3

Résultats des investigations in situ réalisées lors de la mission G2 AVP n°1404050





Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **17/05/2022**

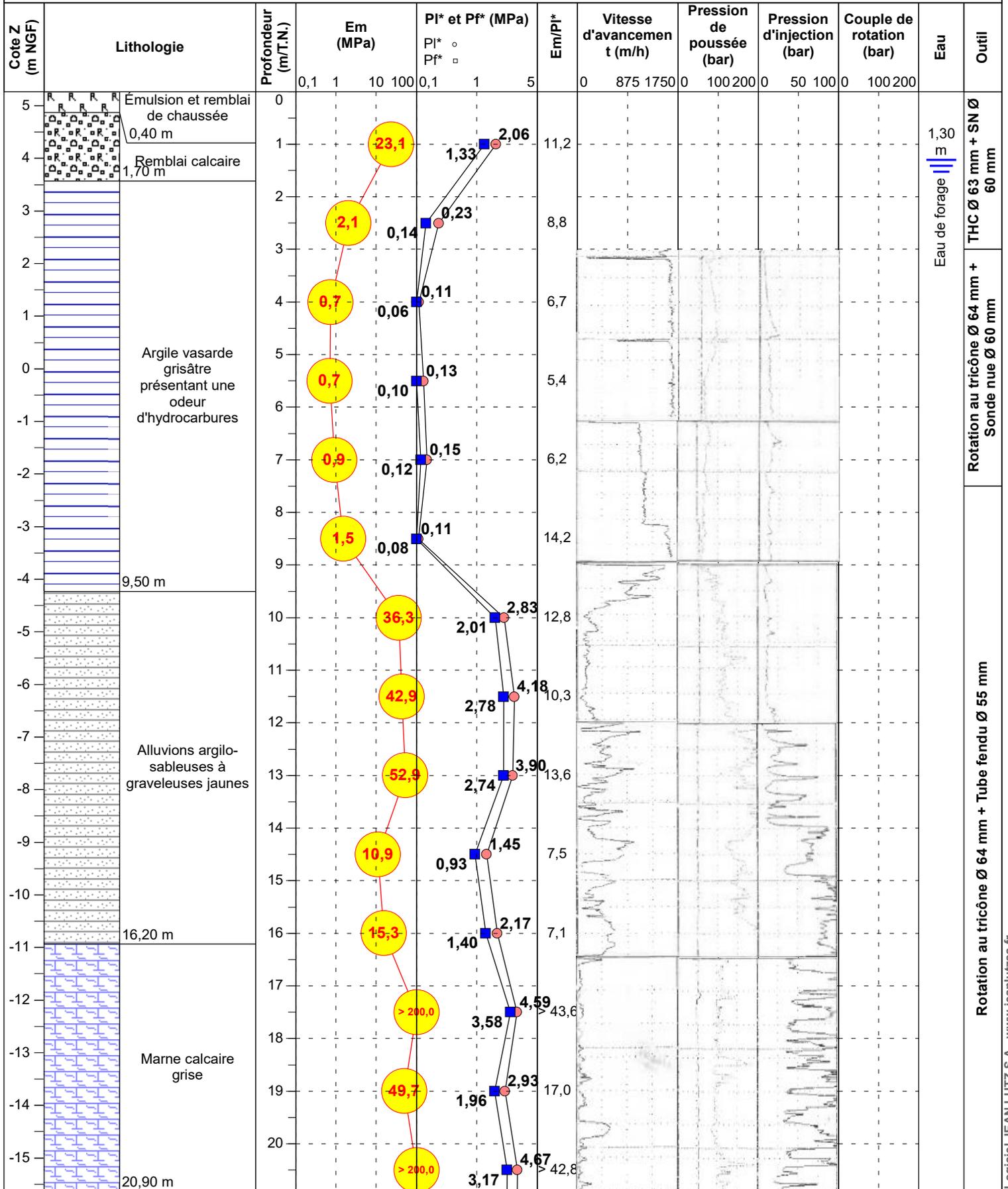
Sondage pressiométrique : SP1

X : 404390,931 m

Y : 167823,254 m

Cote z : 5,27 m

Echelle : 1/95



Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeantutza.fr

EXGTE 3.23



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

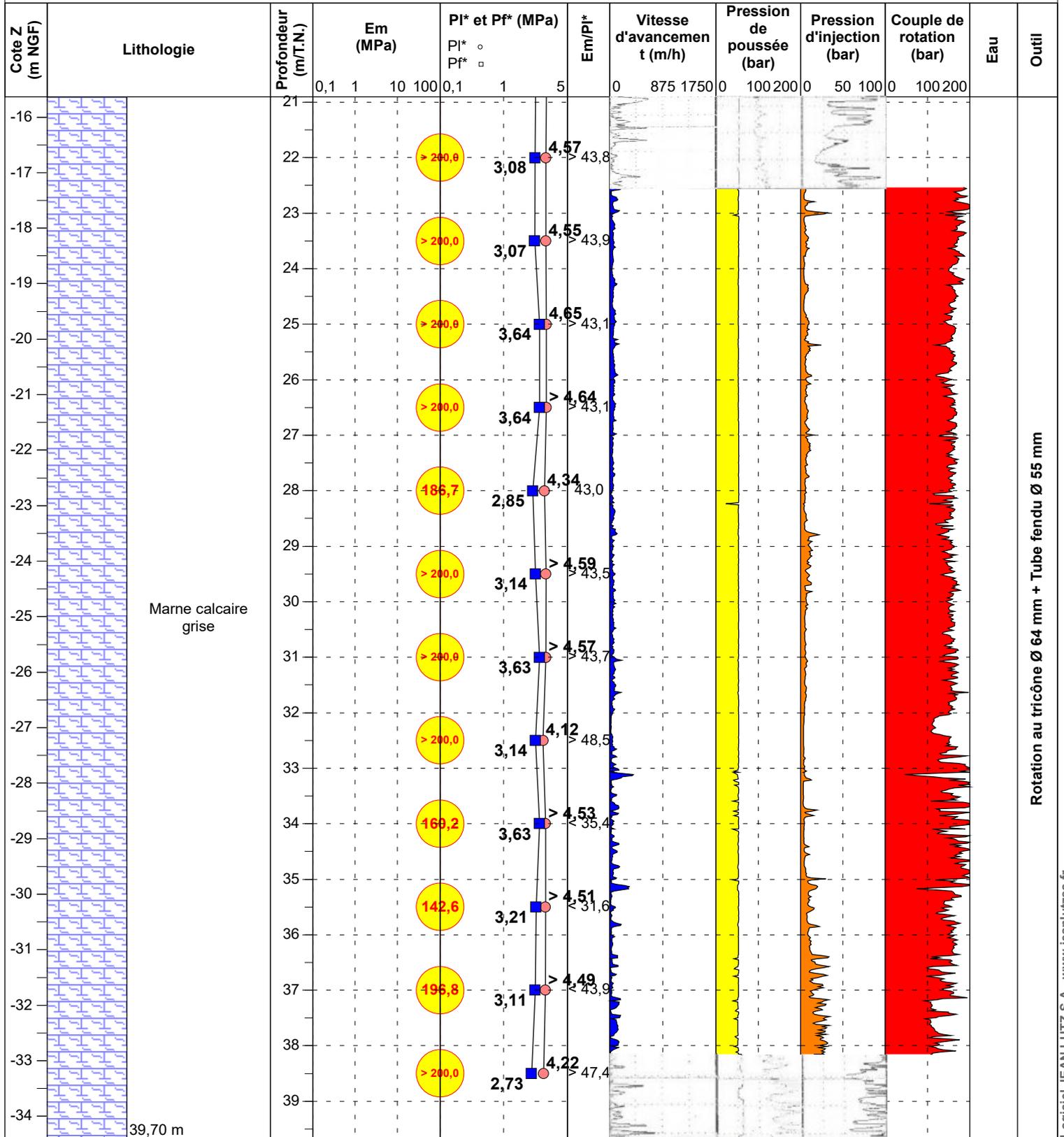
Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **17/05/2022**

Sondage pressiométrique : SP1

Echelle : 1/95



Rotation au tricône Ø 64 mm + Tube fendu Ø 55 mm

Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

EXGTE 3.23



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **17/05/2022**

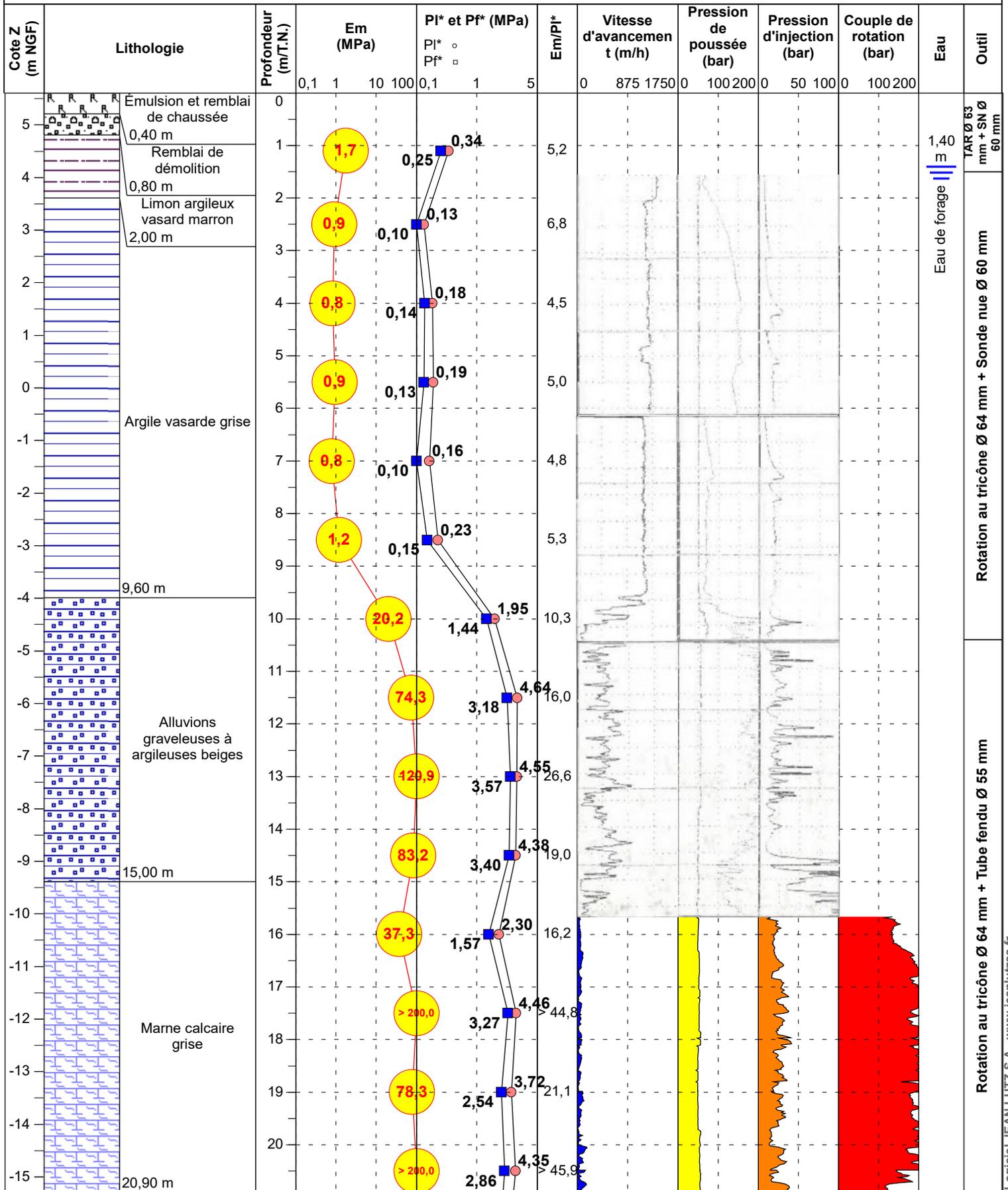
Sondage pressiométrique : SP2

X : 404412,174 m

Y : 167808,251 m

Cote z : 5,61 m

Echelle : 1/95



Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeantutza.fr

EXGTE 3.23



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

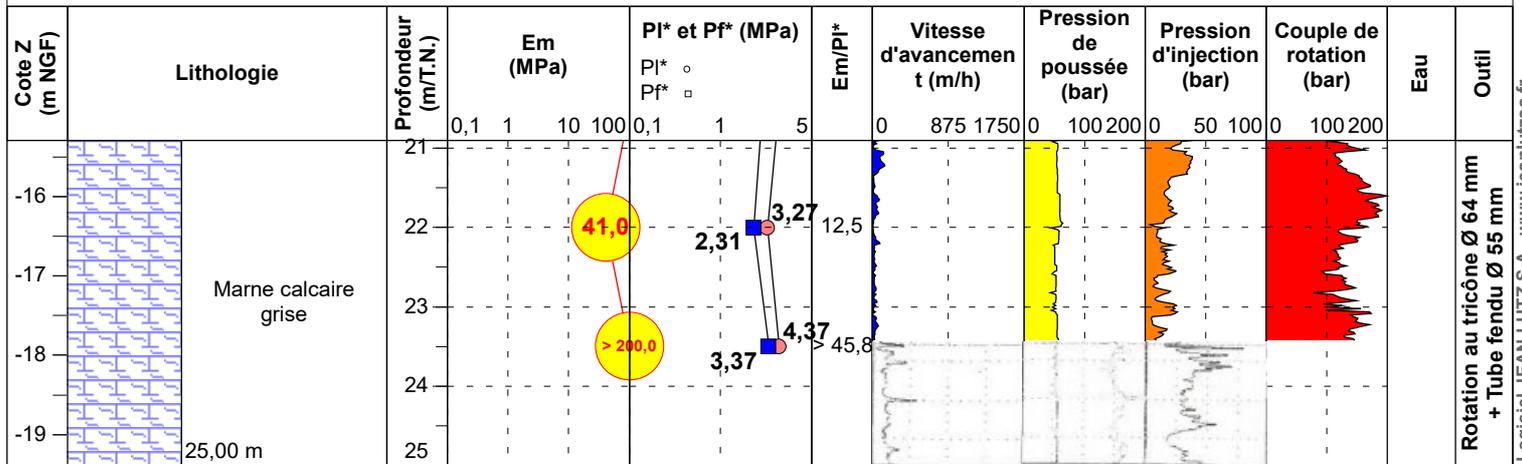
Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **17/05/2022**

Sondage pressiométrique : SP2

Echelle : 1/95



EXGTE 3.23

Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeanlutzsa.fr



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

Site : **CAEN (14)**

N° d'affaire : **1404050**

Mission : **G2 AVP**

Date : **29/06/2022**

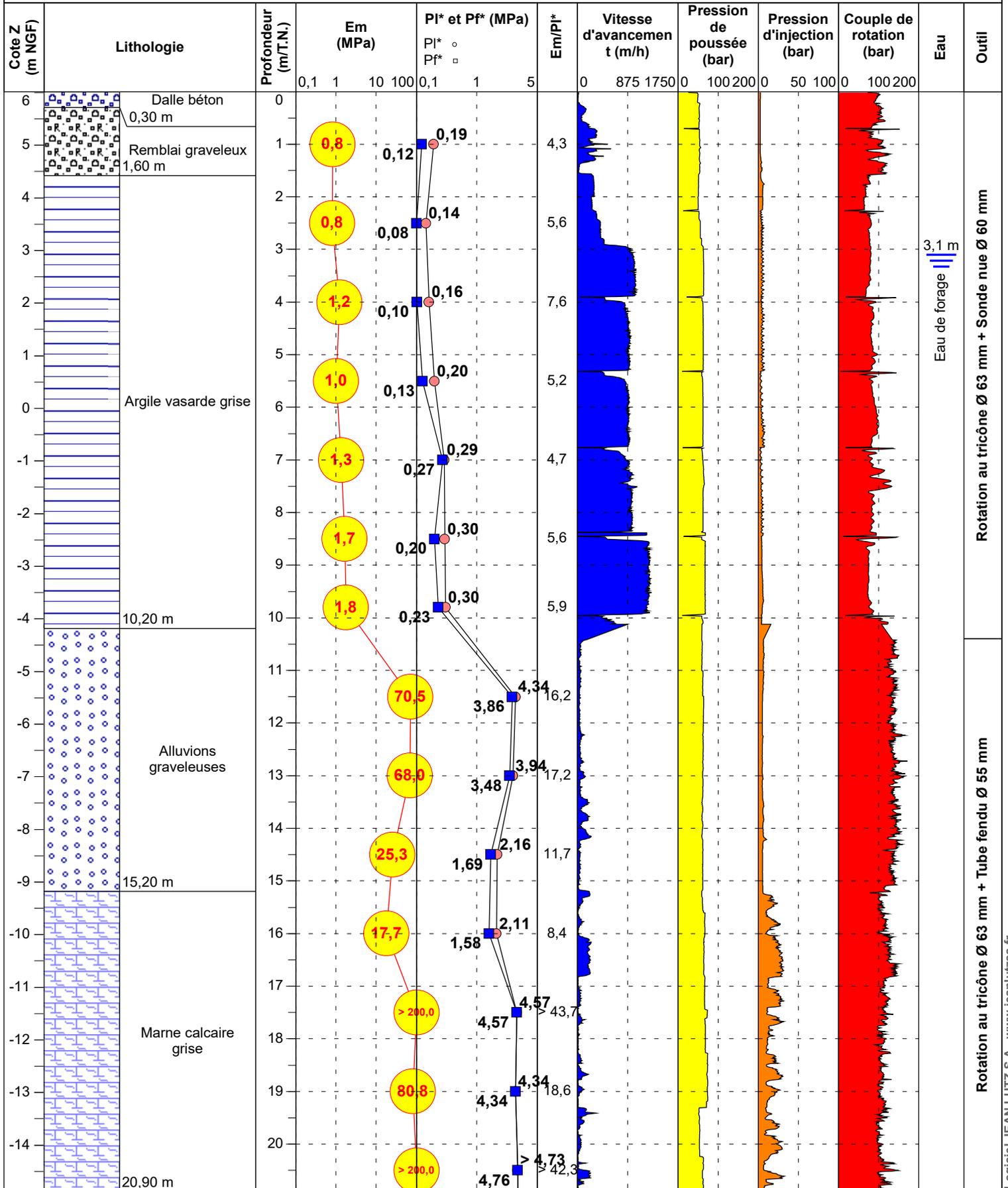
Sondage pressiométrique : SP3

X : 404329,177 m

Y : 167809,128 m

Cote z : 6,02 m

Echelle : 1/95



Eau de forage 3,1 m

Rotation au tricône Ø 63 mm + Sonde nue Ø 60 mm

Rotation au tricône Ø 63 mm + Tube fendu Ø 55 mm

Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeanlutzsa.fr

EXGTE 3.23



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

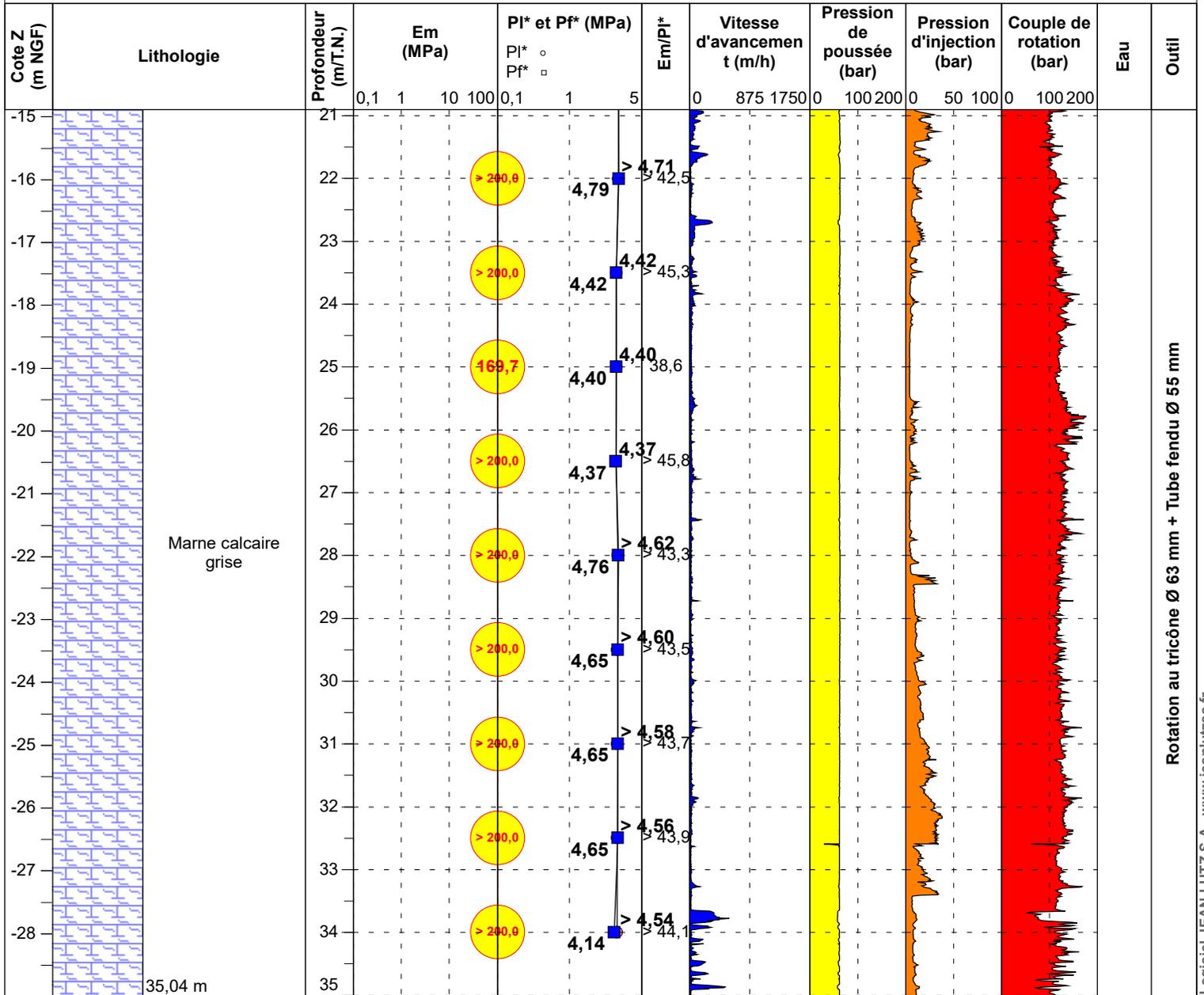
Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **29/06/2022**

Sondage pressiométrique : SP3

Echelle : 1/95



Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeantutzsa.fr

EXGTE 3.23



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **27/06/2022**

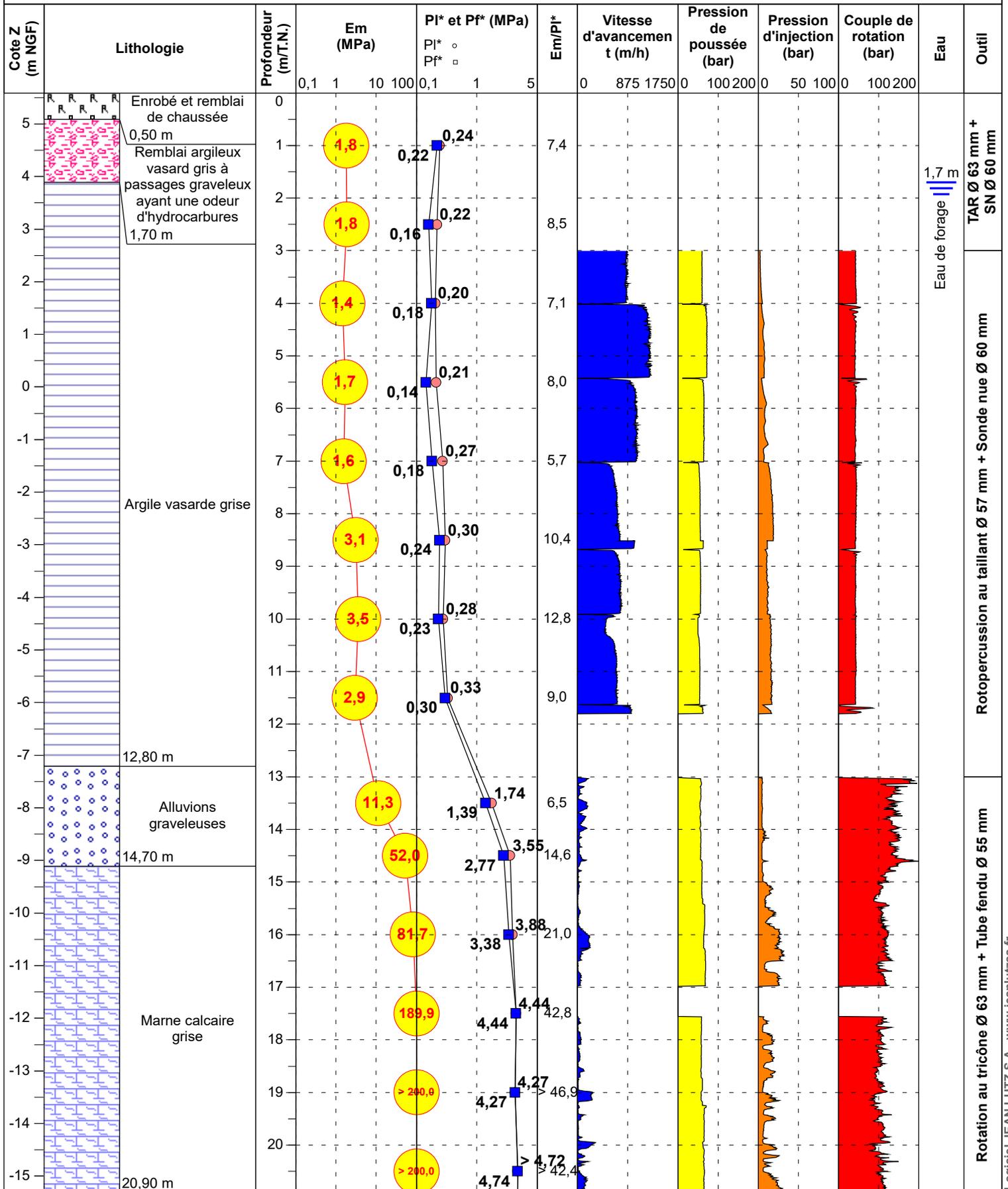
Sondage pressiométrique : SP4

X : 404339,527 m

Y : 167829,763 m

Cote z : 5,59 m

Echelle : 1/95



Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeantutza.fr

EXGTE 3.23



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

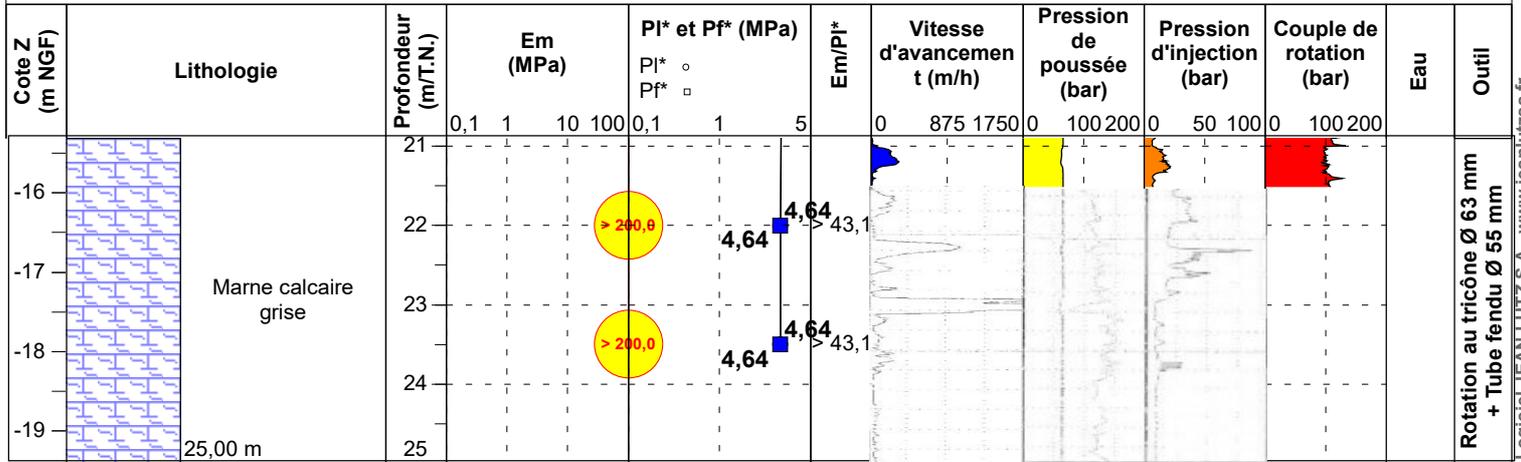
Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **27/06/2022**

Sondage pressiométrique : **SP4**

Echelle : 1/95



EXGTE 3.23

Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeanlutzsa.fr



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **17/05/2022**

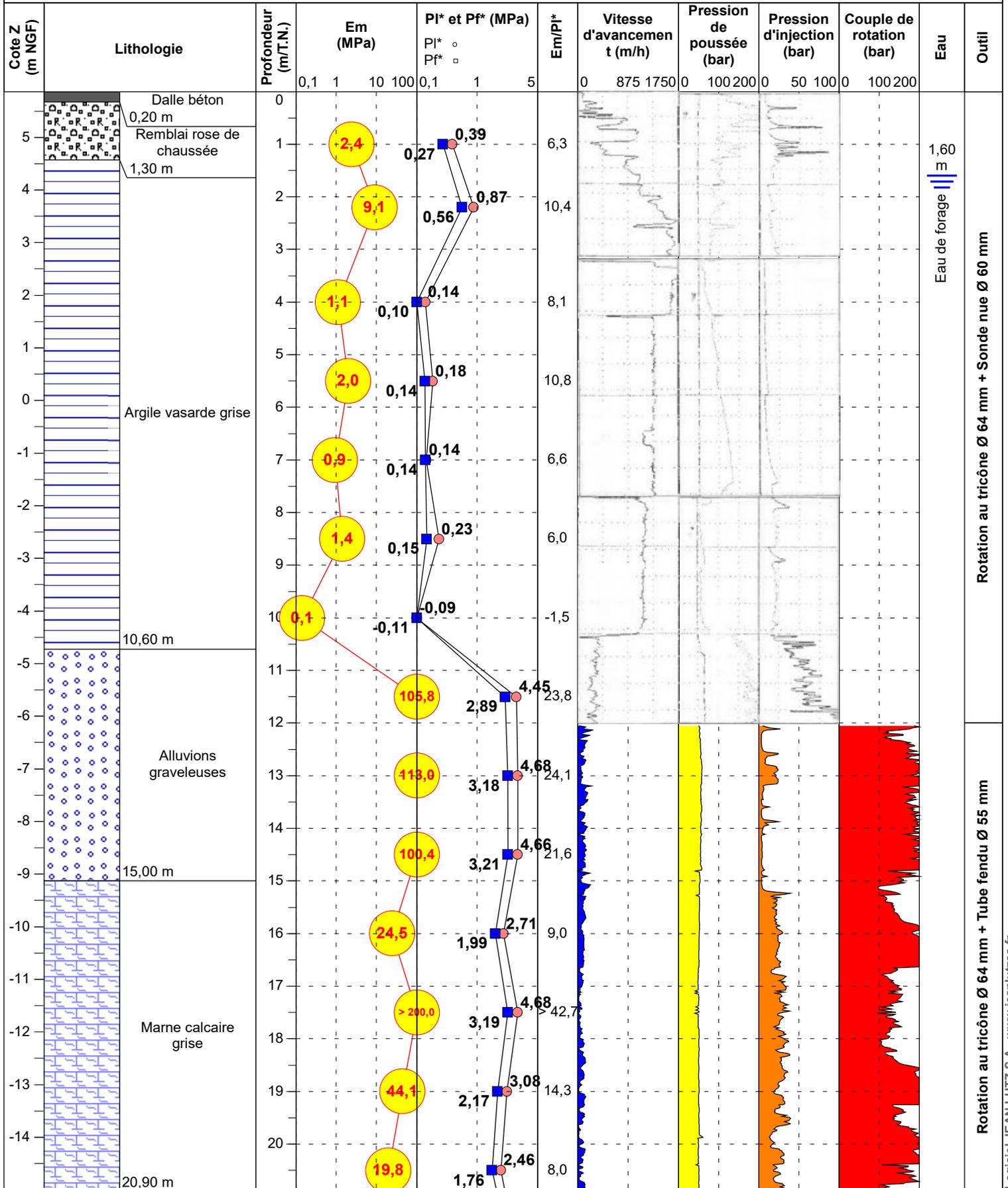
Sondage pressiométrique : SP5

X : 404327,899 m

Y : 167782,787 m

Cote z : 5,87 m

Echelle : 1/95



Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeantutzsa.fr

EXGTE 3.23



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

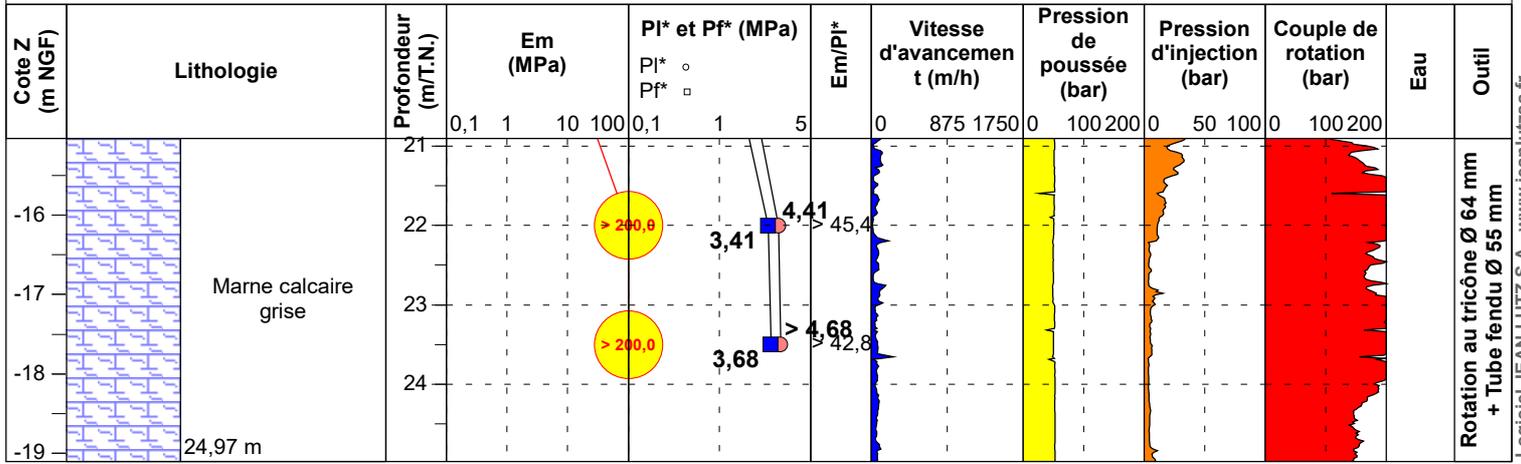
Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **17/05/2022**

Sondage pressiométrique : **SP5**

Echelle : 1/95



Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

EXGTE 3.23



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **17/05/2022**

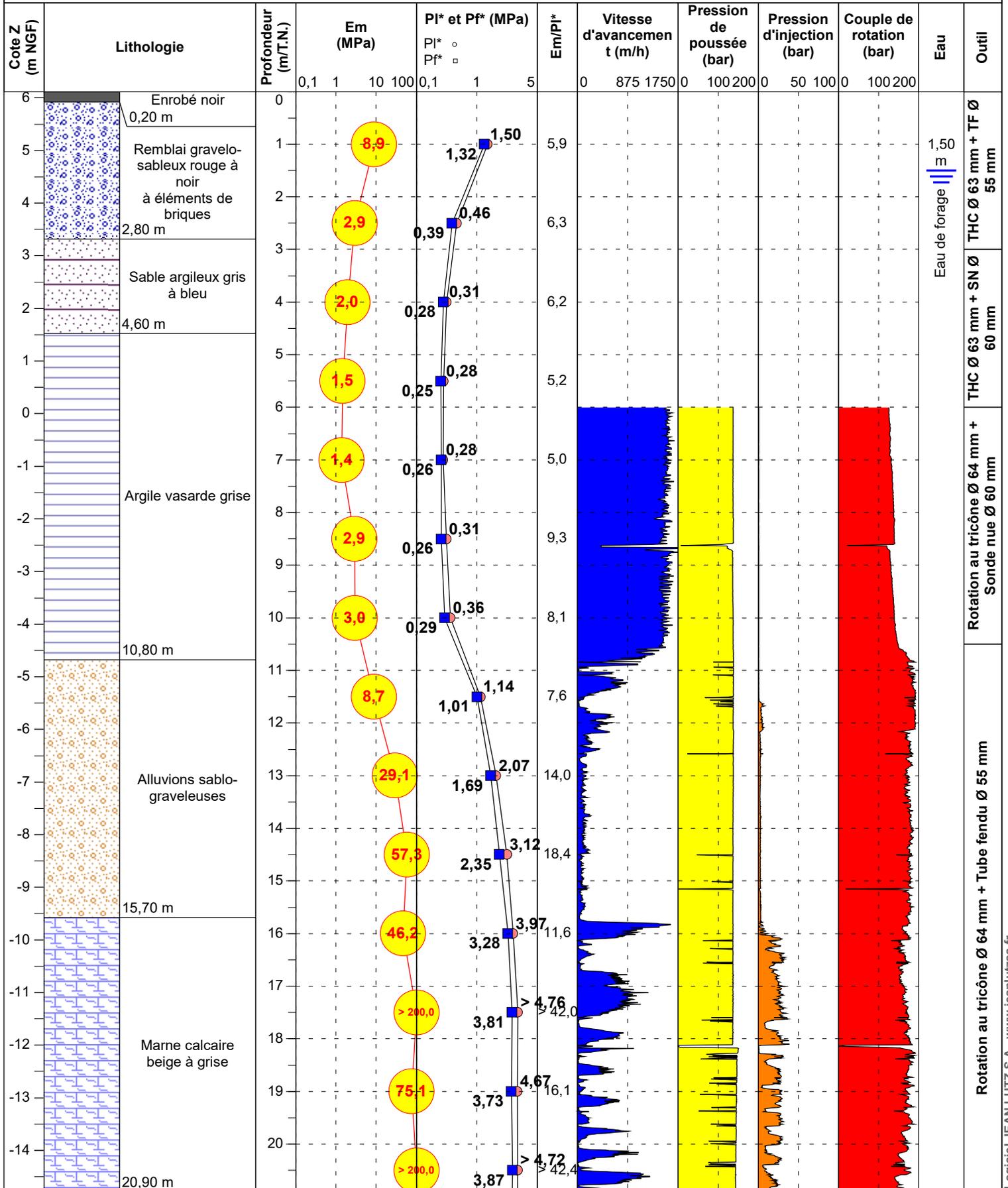
Sondage pressiométrique : SP6

X : 404393,751 m

Y : 167744,789 m

Cote z : 6,12 m

Echelle : 1/95

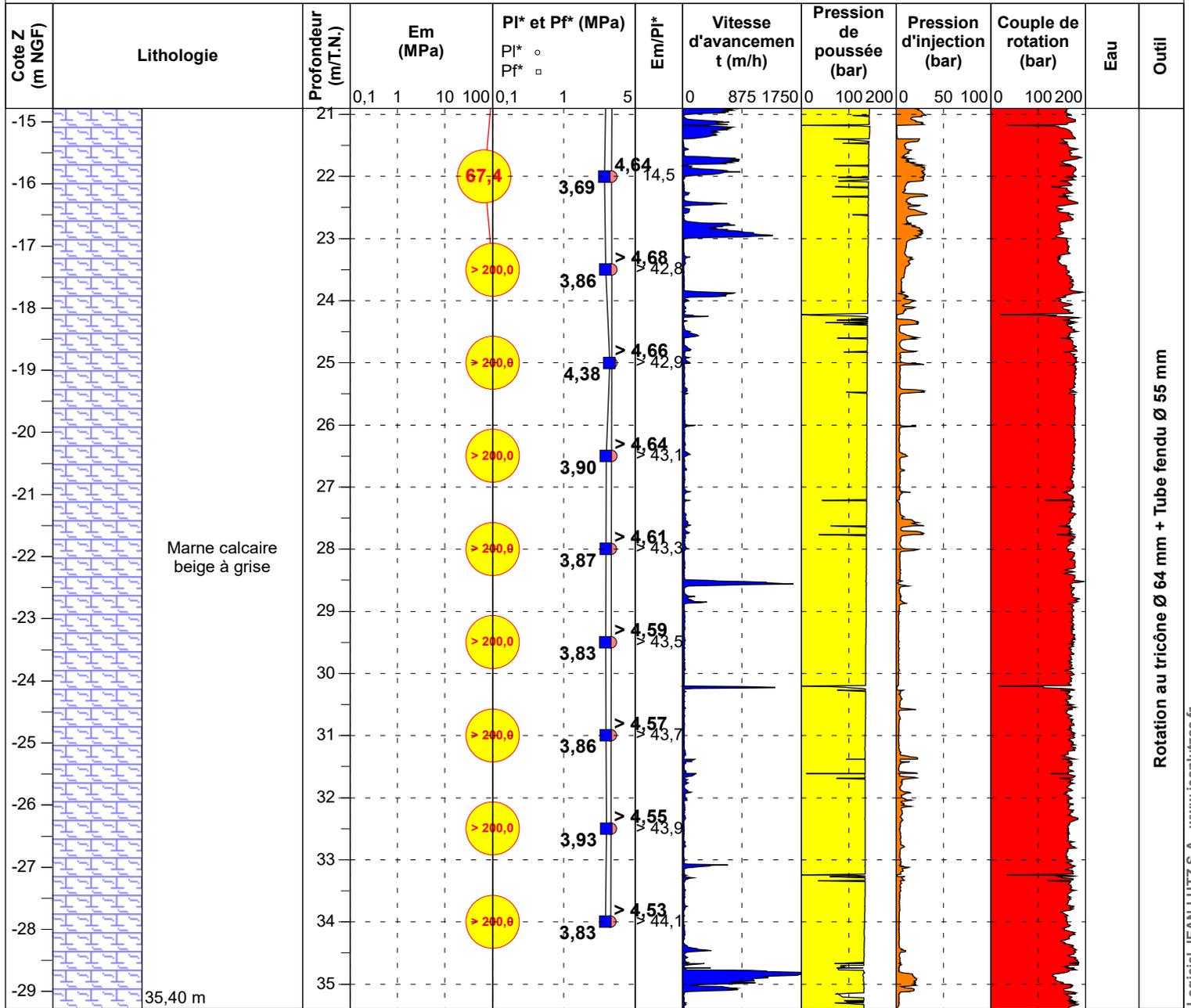


Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeantutzsa.fr

EXGTE 3.23

Sondage pressiométrique : SP6

Echelle : 1/95



EXGTE 3.23



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **17/05/2022**

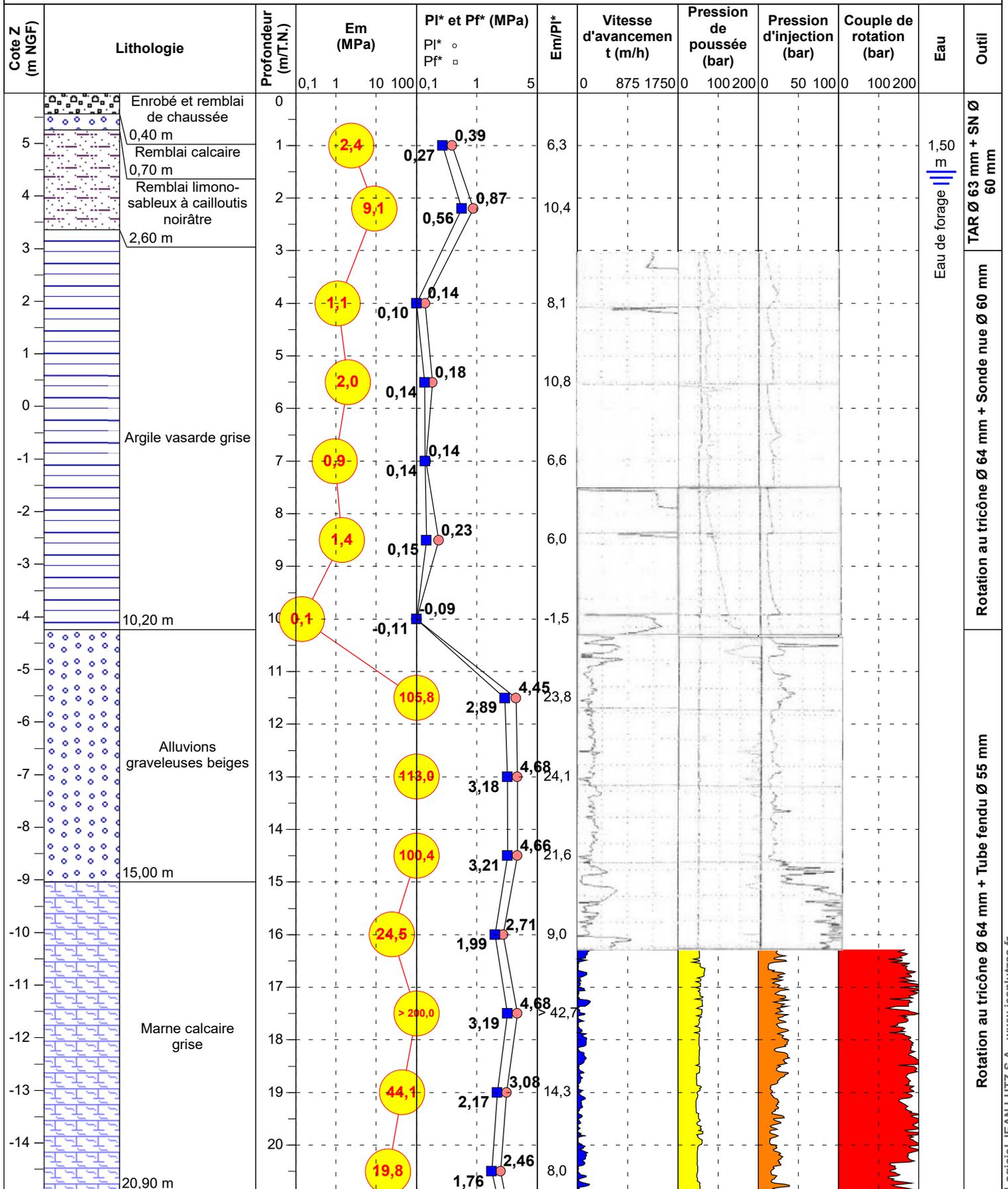
Sondage pressiométrique : SP7

X : 404356,092 m

Y : 167769,362 m

Cote z : 5,96 m

Echelle : 1/95



Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeantutza.fr

EXGTE 3.23



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

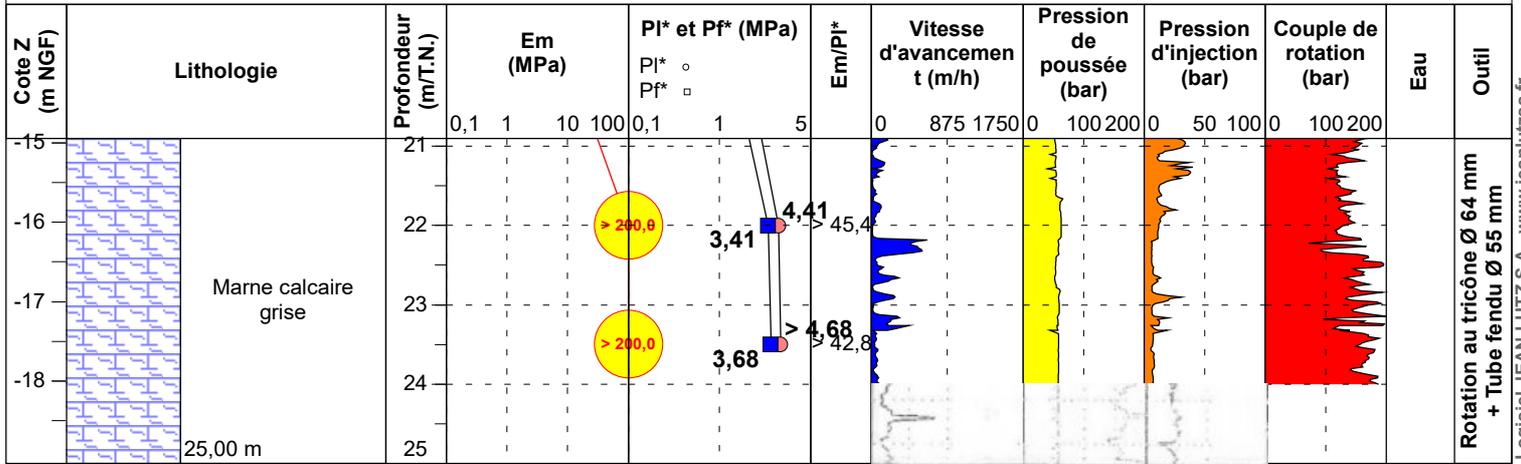
Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **17/05/2022**

Sondage pressiométrique : **SP7**

Echelle : 1/95



Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeanlutzsa.fr

EXGTE 3.23



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **17/05/2022**

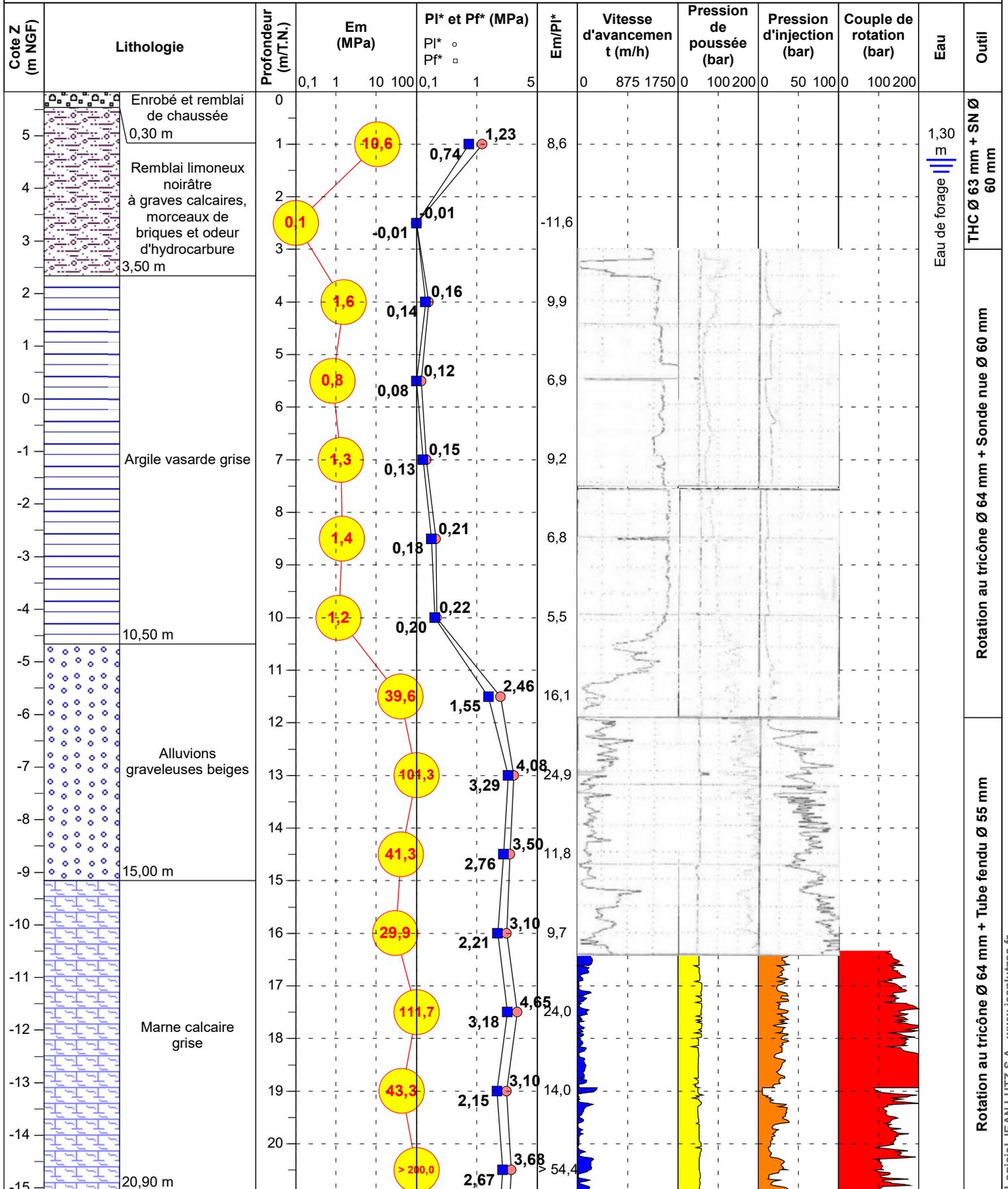
Sondage pressiométrique : SP8

X : 404369,389 m

Y : 167725,105 m

Cote z : 5,84 m

Echelle : 1/95



Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeantutza.fr

EXGTE 3.23



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

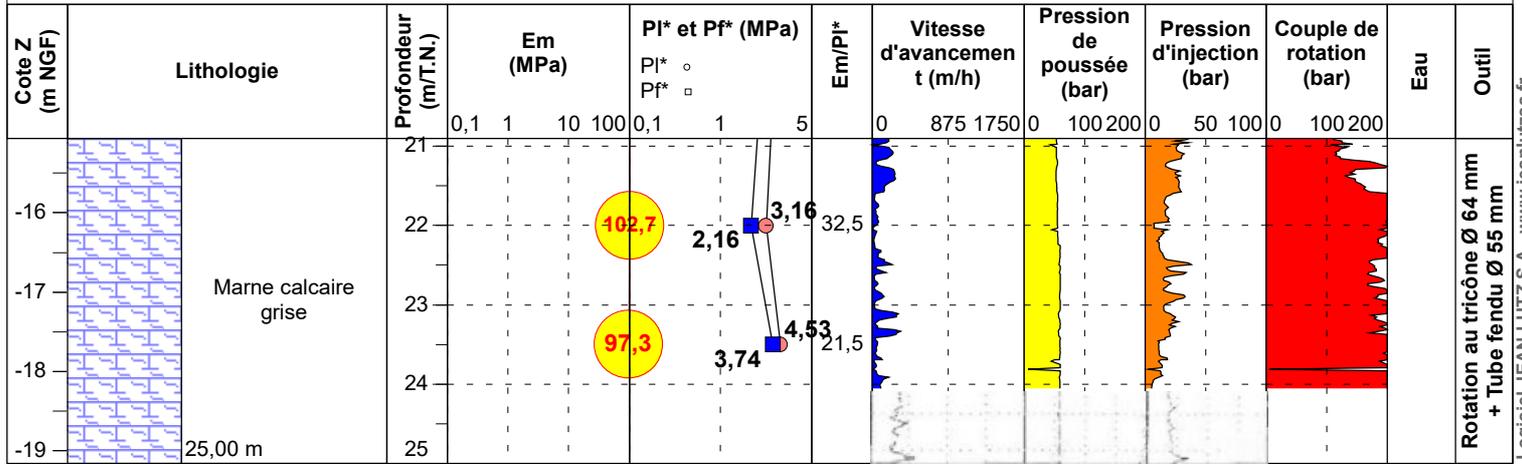
Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **17/05/2022**

Sondage pressiométrique : **SP8**

Echelle : 1/95



EXGTE 3.23

Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeanlutzsa.fr



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **17/05/2022**

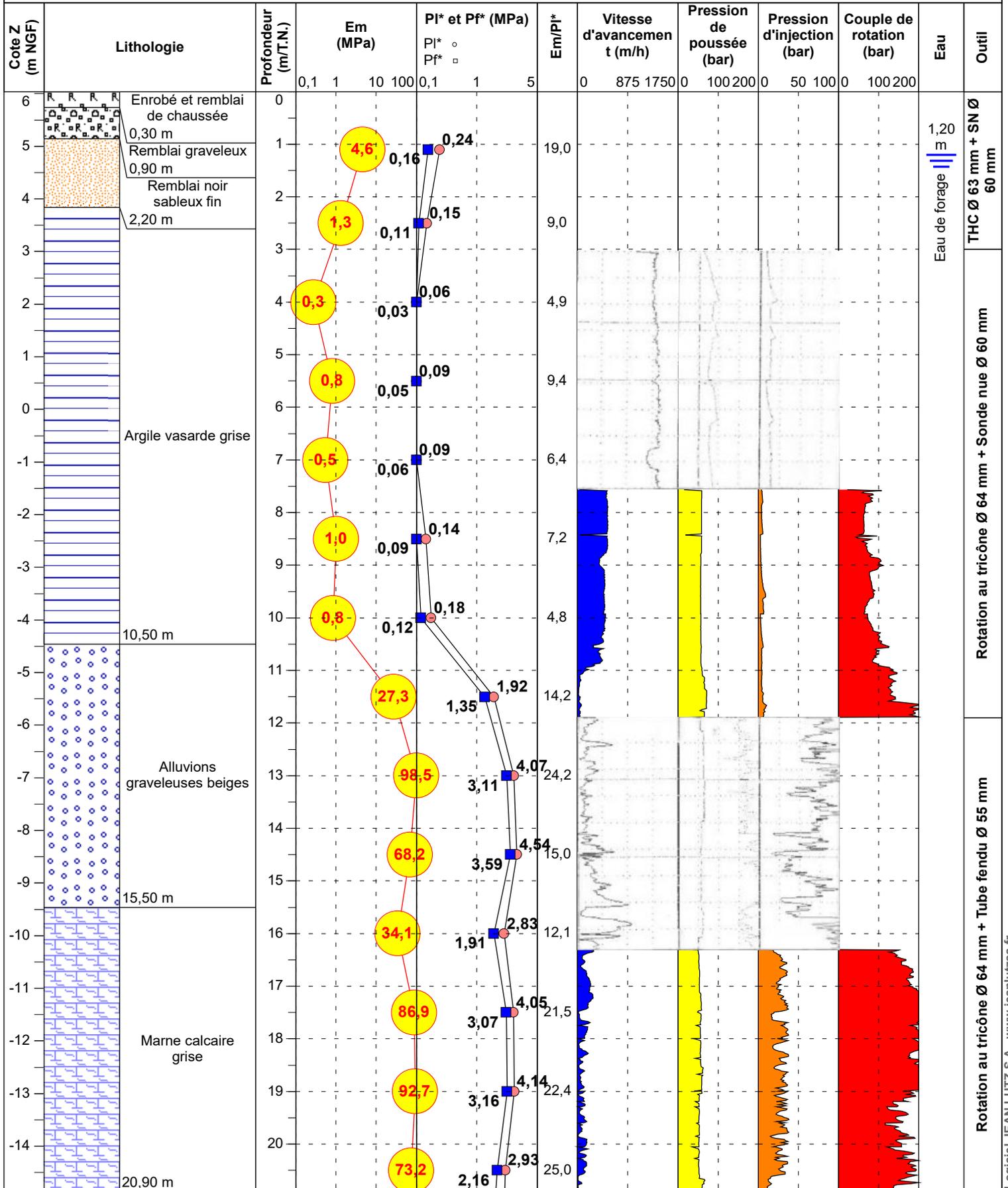
Sondage pressiométrique : SP9

X : 404419,335 m

Y : 167736,400 m

Cote z : 6,04 m

Echelle : 1/95



Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeantutza.fr

EXGTE 3.23



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

N° d'affaire : **1404050**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

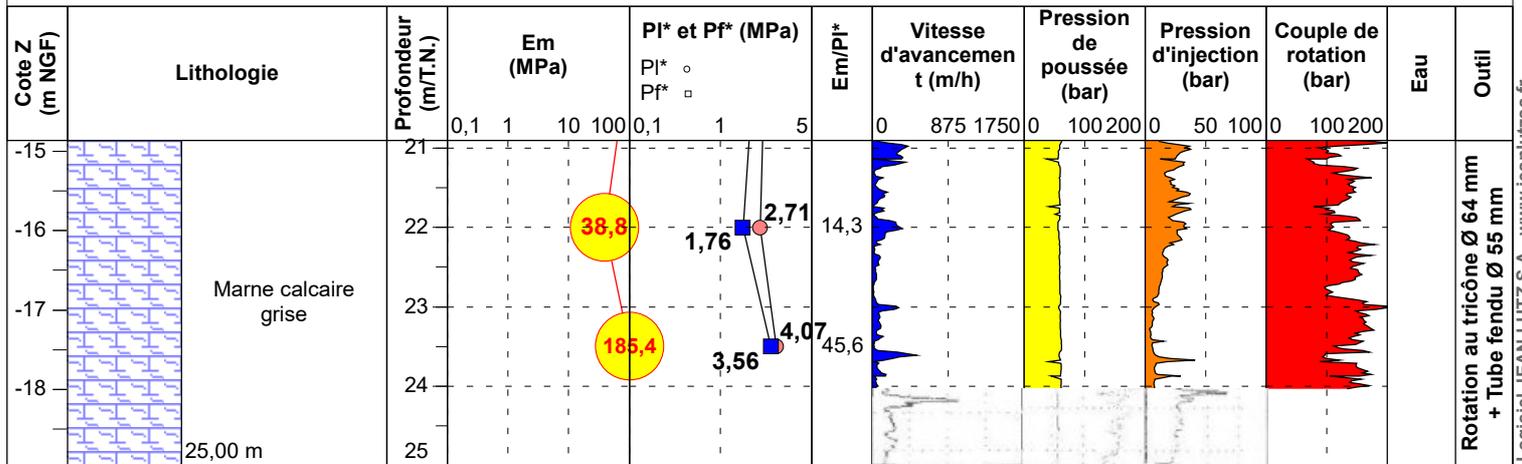
Mission : **G2 AVP**

Site : **CAEN (14)**

Date : **17/05/2022**

Sondage pressiométrique : **SP9**

Echelle : 1/95



Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeanlutzsa.fr

EXGTE 3.23



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

Site : **CAEN (14)**

N° d'affaire : **1404050**

Mission : **G2 AVP**

Date : **20/06/2022**

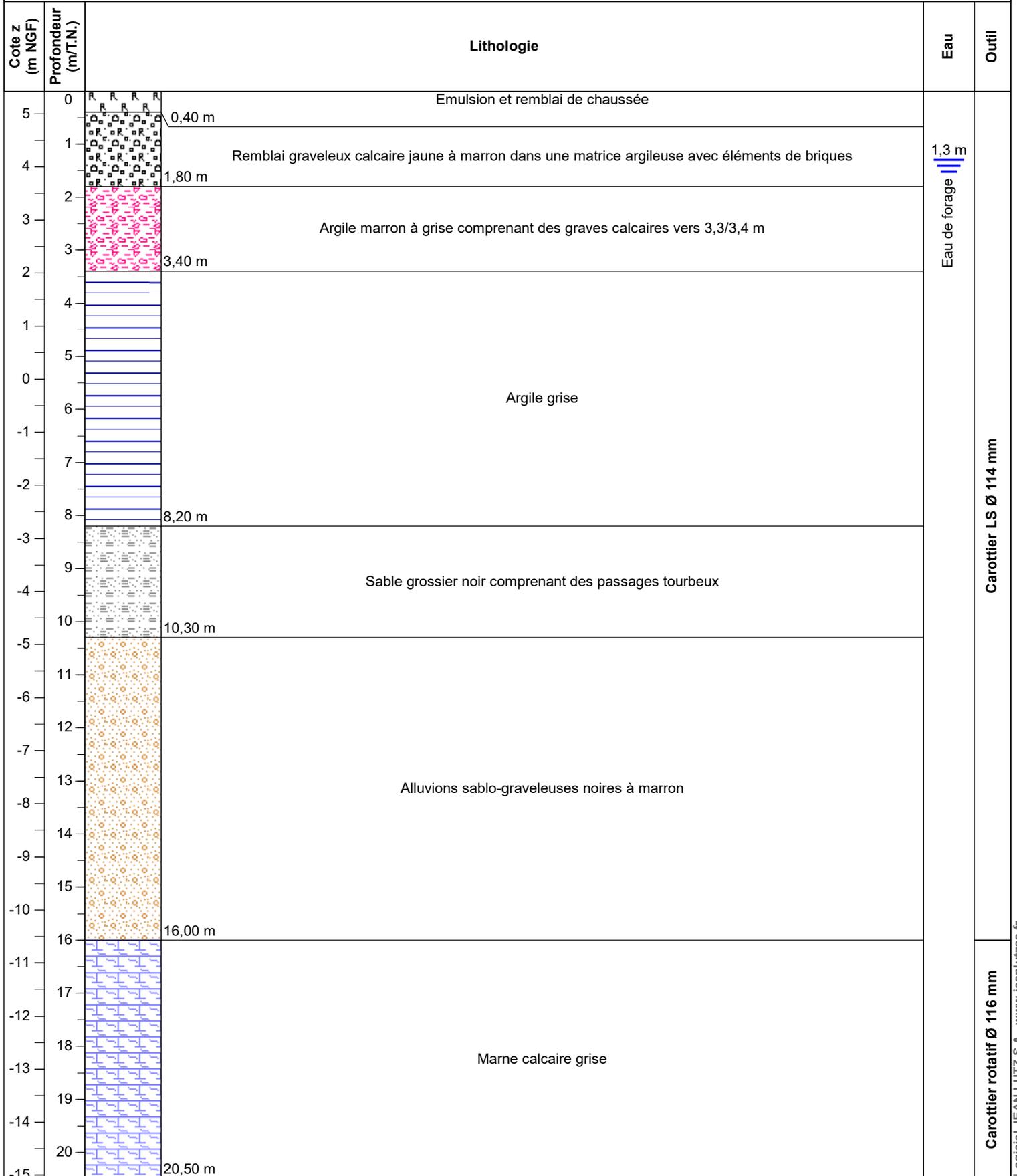
Sondage carotté : SC1 + PZ1

X : 404401,551 m

Y : 167815,789 m

Cote z : 5,43 m NGF

Echelle : 1/95



Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeanelutzsa.fr

EXGTE 3.23



N° photo	Localisation	Observations
1	CAEN (14)	SC1 - 0,0 à 1,5 m SC1 - 1,5 à 3,0 m SC1 - 3,0 à 4,5 m SC1 - 4,5 à 6,0 m



N° photo	Localisation	Observations
2	CAEN (14)	SC1 - 6,0 à 7,5 m SC1 - 7,5 à 9,0 m SC1 - 9,0 à 10,5 m SC1 - 10,5 à 12,0 m SC1 - 12,0 à 13,5 m



N° photo	Localisation	Observations
3	CAEN (14)	SC1 - 13,5 à 15,0 m



N° photo	Localisation	Observations
4	CAEN (14)	SC1 - 15,0 à 16,0 m



N° photo	Localisation	Observations
5	CAEN (14)	SC1 - 16,0 à 17,5 m



N° photo	Localisation	Observations
6	CAEN (14)	SC1 - 17,5 à 19,0 m SC1 - 19,0 à 20,5 m



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

Site : **CAEN (14)**

N° d'affaire : **1404050**

Mission : **G2 AVP**

Date : **23/06/2022**

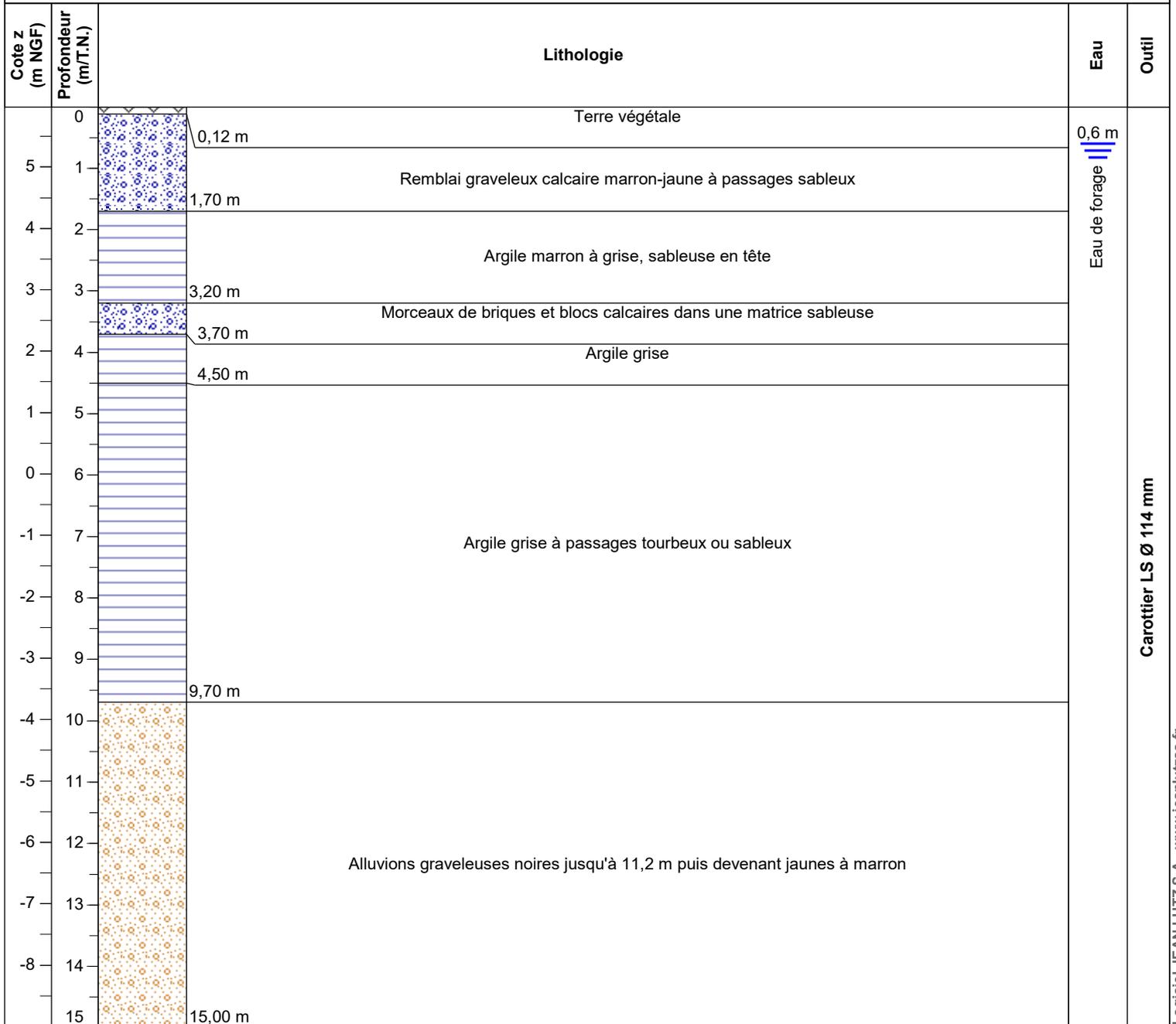
Sondage carotté : SC2 + PZ2

X : 404313,694 m

Y : 167812,198 m

Cote z : 5,98 m NGF

Echelle : 1/95



Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

EXGTE 3.23



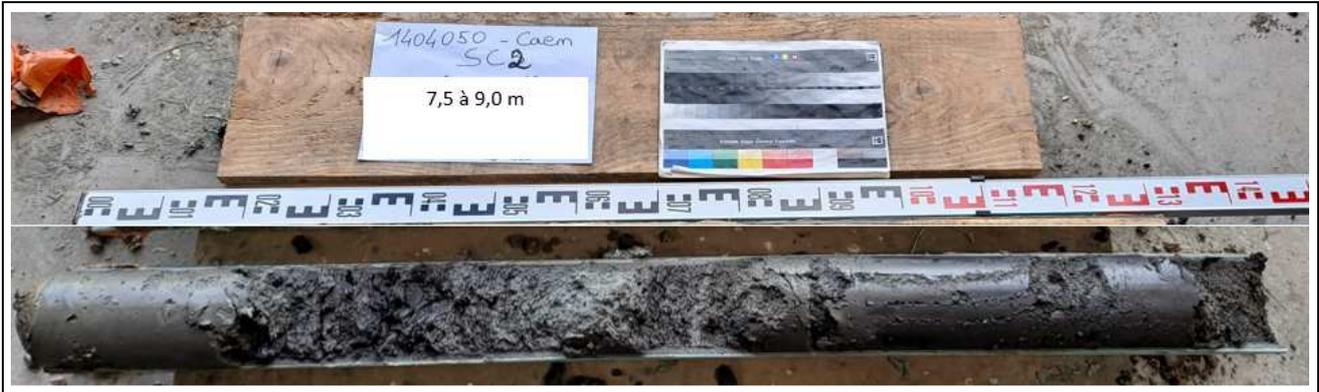
N° photo	Localisation	Observations
7	CAEN (14)	SC2 - 0,0 à 1,5 m SC2 - 1,5 à 3,0 m SC2 - 3,0 à 4,5 m



N° photo	Localisation	Observations
8	CAEN (14)	SC2 - 4,5 à 6,0 m



N° photo	Localisation	Observations
9	CAEN (14)	SC2 - 6,0 à 7,5 m



N° photo	Localisation	Observations
10	CAEN (14)	SC2 - 7,5 à 9,0 m



N° photo	Localisation	Observations
11	CAEN (14)	SC2 - 9,0 à 10,5 m SC2 - 10,5 à 12,0 m SC2 - 12,0 à 13,5 m SC2 - 13,5 à 15,0 m



Client : **Normandie Aménagement / La Caennaise**

Etude : **Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"**

Site : **CAEN (14)**

N° d'affaire : **1404050**

Mission : **G2 AVP**

Date : **22/06/2022**

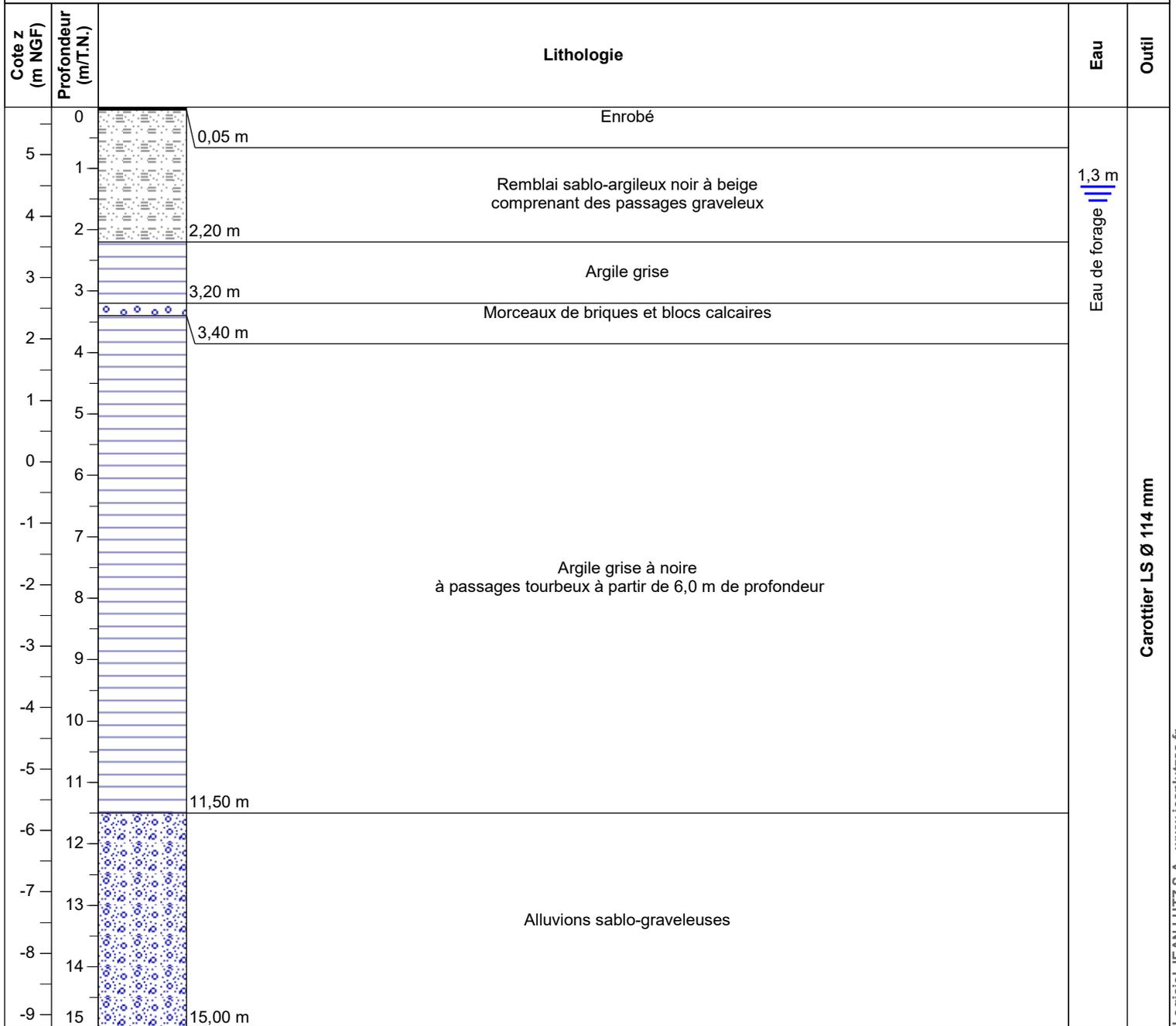
Sondage carotté : SC3 + PZ3

X : 404365,677 m

Y : 167744,203 m

Cote z : 5,78 m NGF

Echelle : 1/95

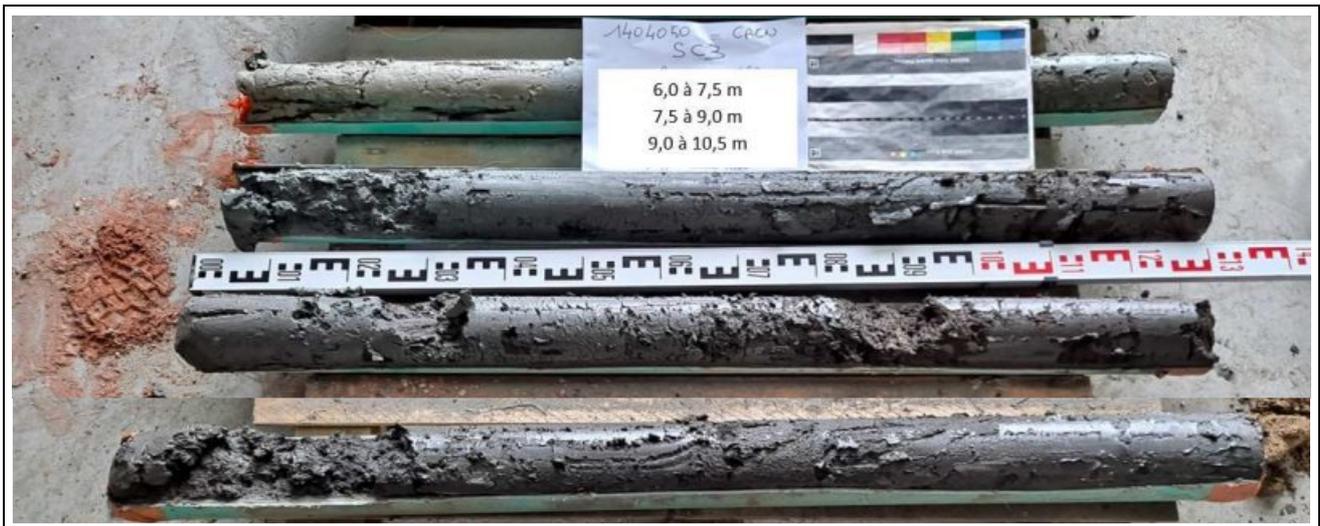


Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

EXGTE 3.23



N° photo	Localisation	Observations
12	CAEN (14)	SC3 - 0,0 à 1,5 m SC3 - 1,5 à 3,0 m SC3 - 3,0 à 4,5 m SC3 - 4,5 à 6,0 m



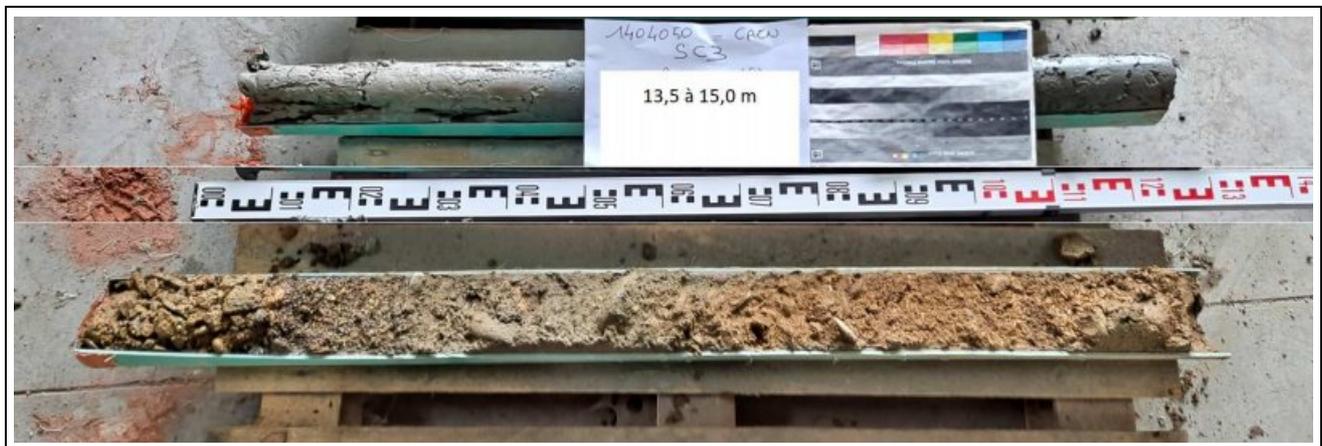
N° photo	Localisation	Observations
13	CAEN (14)	SC3 - 6,0 à 7,5 m SC3 - 7,5 à 9,0 m SC3 - 9,0 à 10,5 m



N° photo	Localisation	Observations
14	CAEN (14)	SC3 - 10,5 à 12,0 m



N° photo	Localisation	Observations
15	CAEN (14)	SC3 - 12,0 à 13,5 m



N° photo	Localisation	Observations
16	CAEN (14)	SC3 - 13,5 à 15,0 m

Agence de : Caen
 N° Affaire : 1404050
 Etude : Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"
 Lieu : CAEN (14)
 Client : Normandie Aménagement / La Caennaise
 Date : 21/06/2022

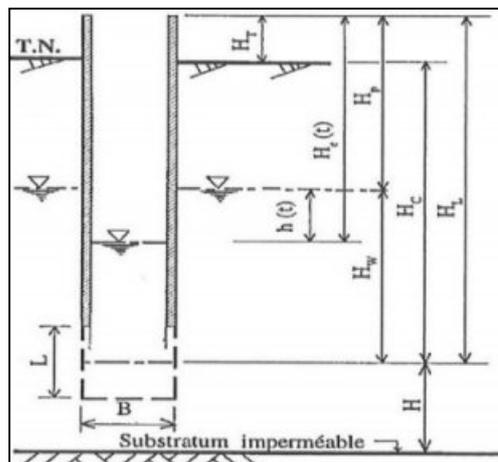


ESSAI DE PERMEABILITE EP1 entre 19 et 20 m/TN

cf. norme NF EN ISO 22282-2

● Paramètres de l'essai :

Nom : EP1 Nature : Marne calcaire grise
 Diamètre de la cavité B = 0,116 m
 Longueur de la cavité L = 1,00 m
 Profondeur de la cavité/TN Hc = 19,50 m
 Hauteur tube hors sol Ht = 0,50 m
 Niveau de la nappe/TN Hp-Ht = 2,52 m
 Prof. eau/haut du tube début essai He(t0) = 0,00 m
 Prof. substratum imperméable/TN 50,00 m
 Section cavité S = 0,011 m²
 Elancement cavité L/B = 8,62
 Facteur de forme F = 2,20
 Charge initiale h0 = 3,02 m



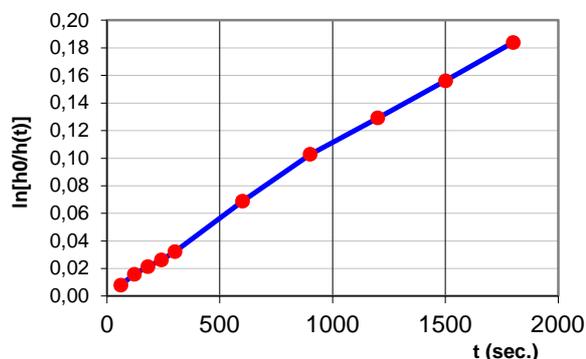
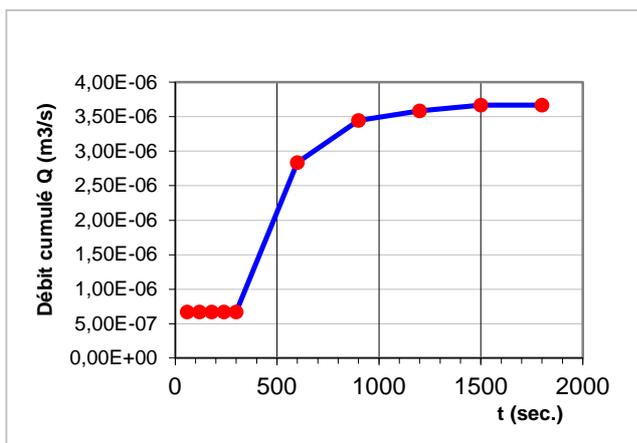
● Suivi :

1) Méthode d'essai à débit constant - Pompage

Temps cumulé (sec)	Volume cumulé (l)	Débit cumulé Q (m ³ /s)
0	0,00	0
60	0,04	6,67E-07
120	0,08	6,67E-07
180	0,12	6,67E-07
240	0,16	6,67E-07
300	0,20	6,67E-07
600	1,70	2,83E-06
900	3,10	3,44E-06
1200	4,30	3,58E-06
1500	5,50	3,67E-06
1800	6,60	3,67E-06

2) Méthode d'essai à charge variable - Descente

Temps cumulé (sec)	He (m)
0	0,46
60	0,48
120	0,50
180	0,51
240	0,53
300	0,54
600	0,63
900	0,71
1200	0,77
1500	0,83
1800	0,89



● Résultats :

Q ≈	2,4E-06	m ³ /s
K ≈	1,2E-07	m/s

Pente α ≈	0,00010	
K ≈	4,9E-07	m/s

K ≈	2,5E-07	m/s
-----	---------	-----

Agence de : Caen
 N° Affaire : 1404050
 Etude : Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"
 Lieu : CAEN (14)
 Client : Normandie Aménagement / La Caennaise
 Date : 21/06/2022

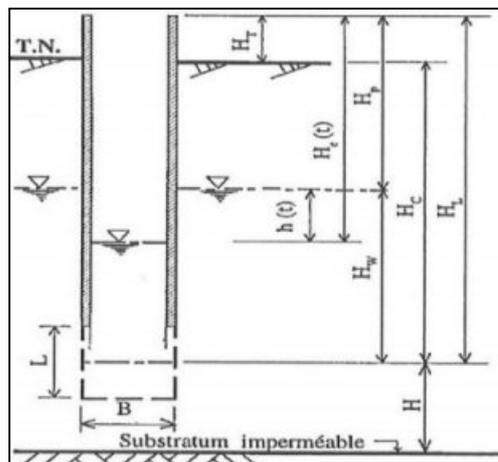


ESSAI DE PERMEABILITE EP2 entre 14 et 15 m/TN

cf. norme NF EN ISO 22282-2

● Paramètres de l'essai :

Nom : EP2 Nature : Alluvions graveleuses
 Diamètre de la cavité B = 0,114 m
 Longueur de la cavité L = 1,00 m
 Profondeur de la cavité/TN Hc = 14,50 m
 Hauteur tube hors sol Ht = 0,50 m
 Niveau de la nappe/TN Hp-Ht = 2,71 m
 Prof. eau/haut du tube début essai He(t0) = 0,00 m
 Prof. substratum imperméable/TN 50,00 m
 Section cavité S = 0,010 m²
 Elancement cavité L/B = 8,77
 Facteur de forme F = 2,19
 Charge initiale h0 = 3,21 m



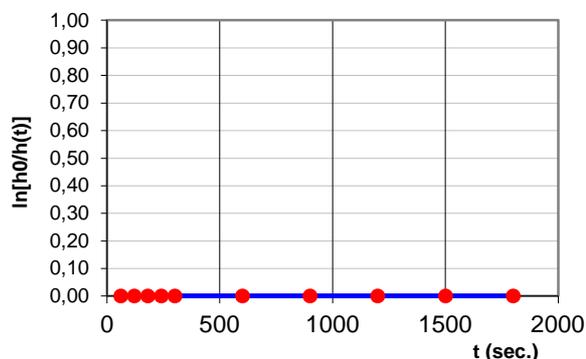
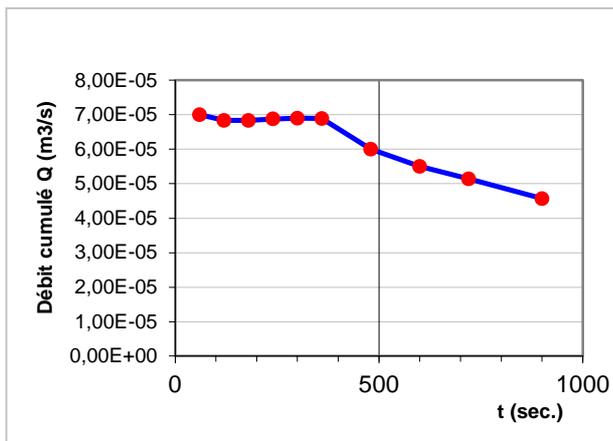
● Suivi :

1) Méthode d'essai à débit constant - Pompage

Temps cumulé (sec)	Volume cumulé (l)	Débit cumulé Q (m ³ /s)
0	0,00	0
60	4,20	7,00E-05
120	8,20	6,83E-05
180	12,30	6,83E-05
240	16,50	6,88E-05
300	20,70	6,90E-05
360	24,80	6,89E-05
480	28,80	6,00E-05
600	33,00	5,50E-05
720	37,00	5,14E-05
900	41,10	4,57E-05

2) Méthode d'essai à charge variable - Descente

Temps cumulé (sec)	He (m)
0	0,00
60	0,00
120	0,00
180	0,00
240	0,00
300	0,00
600	0,00
900	0,00
1200	0,00
1500	0,00
1800	0,00



● Résultats :

Q ≈	5,6E-05	m ³ /s
K ≈	8,8E-05	m/s

Pente α ≈	-	
K ≈	-	m/s

K ≈ 8,8E-05 m/s

Agence de : Caen
 N° Affaire : 1404050
 Etude : Ensemble immobilier mixte "Les Cascades"
 Lieu : CAEN (14)
 Client : Normandie Aménagement / La Caennaise
 Date : 21/06/2022

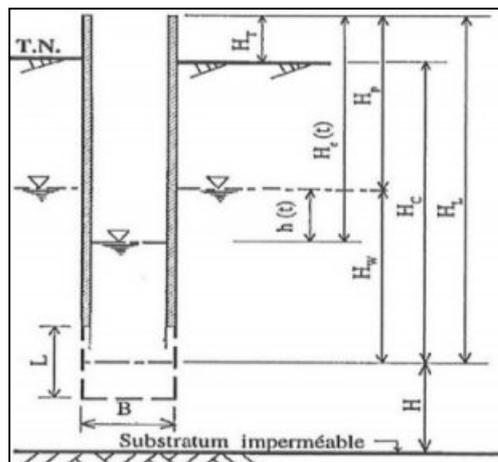


ESSAI DE PERMEABILITE EP3 entre 4,5 et 6 m/TN

cf. norme NF EN ISO 22282-2

● Paramètres de l'essai :

Nom : EP3 Nature : Argile grise à noire
 Diamètre de la cavité B = 0,114 m
 Longueur de la cavité L = 1,50 m
 Profondeur de la cavité/TN Hc = 5,25 m
 Hauteur tube hors sol Ht = 0,00 m
 Niveau de la nappe/TN Hp-Ht = 2,71 m
 Prof. eau/haut du tube début essai He(t0) = 0,15 m
 Prof. substratum imperméable/TN 50,00 m
 Section cavité S = 0,010 m²
 Elancement cavité L/B = 13,16
 Facteur de forme F = 2,88
 Charge initiale h0 = 2,56 m



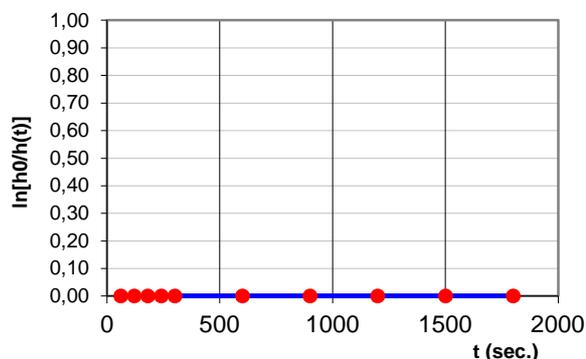
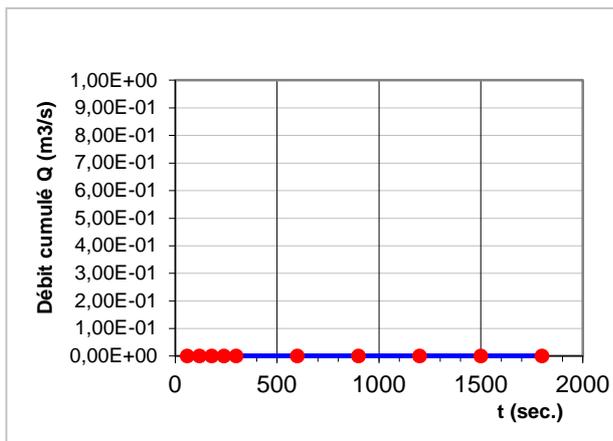
● Suivi :

1) Méthode d'essai à débit constant - Pompage

Temps cumulé (sec)	Volume cumulé (l)	Débit cumulé Q (m ³ /s)
0	0,00	0
60	0,00	0,00E+00
120	0,00	0,00E+00
180	0,00	0,00E+00
240	0,00	0,00E+00
300	0,00	0,00E+00
600	0,00	0,00E+00
900	0,00	0,00E+00
1200	0,00	0,00E+00
1500	0,00	0,00E+00
1800	0,00	0,00E+00

2) Méthode d'essai à charge variable - Descente

Temps cumulé (sec)	He (m)
0	0,15
60	0,15
120	0,15
180	0,15
240	0,15
300	0,15
600	0,15
900	0,15
1200	0,15
1500	0,15
1800	0,15



● Résultats :

Non mesurable

Q ≈	-	m ³ /s
K ≈	-	m/s

Pente α ≈	0,00000
K ≈	0,0E+00 m/s

K ≈ < E-08 m/s

ESSAI DE PERMEABILITE IN SITU ESSAI PORCHET - EPP1

● Lithologie :

De		à
0	0,15 m	Dalle béton
0,15 m	0,60 m	Remblai sablo-graveleux noir compact

● Paramètres de l'essai :

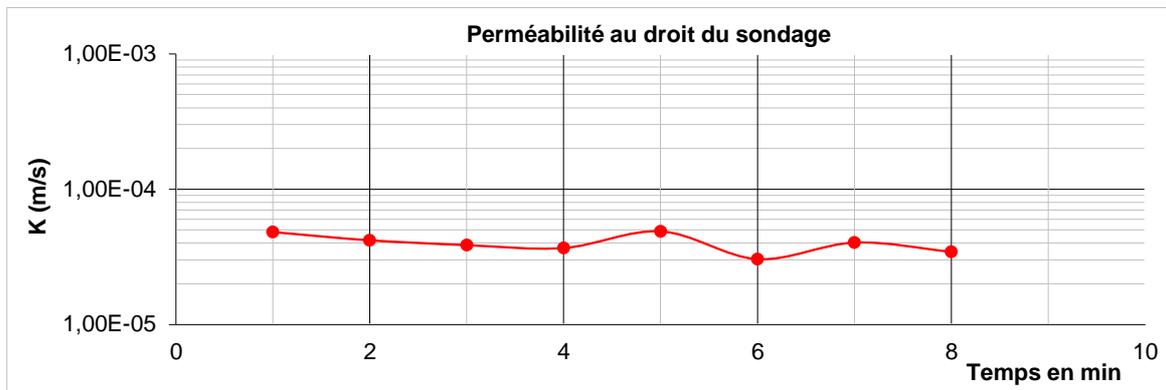
Diamètre du trou :	0,114 m
Profondeur du trou :	0,600 m
Hauteur mouillée :	0,150 m
Période de saturation :	60 min

Surface latérale :	0,054 m ²
Surface du fond :	0,010 m ²
Surface totale d'infiltration :	0,064 m ²

● Suivi :

Temps (min)	H / Repère (cm)	Vol écoulé (L)	Perméabilité K par intervalle (m/s)	Perméabilité K cumulée (m/s)
0	136,7	0	-	-
1	122,0	0,185	4,82E-05	4,82E-05
2	109,2	0,346	4,19E-05	4,50E-05
3	97,4	0,494	3,87E-05	4,29E-05
4	86,2	0,635	3,67E-05	4,14E-05
5	71,3	0,822	4,88E-05	4,29E-05
6	62,0	0,939	3,05E-05	4,08E-05
7	49,7	1,093	4,03E-05	4,07E-05
8	39,2	1,225	3,44E-05	3,99E-05

● Courbe caractéristique :



● Résultats :

La perméabilité retenue correspond à la moyenne des perméabilités par intervalle mesurées entre 2 et 8 min :

$K \approx 3,9E-05 \text{ m/s}$

ESSAI DE PERMEABILITE IN SITU ESSAI PORCHET - EPP2

● Lithologie :

De		à
0	0,30 m	Emulsion et remblai de chaussée
0,30 m	0,65 m	Remblai sablo-graveleux

● Paramètres de l'essai :

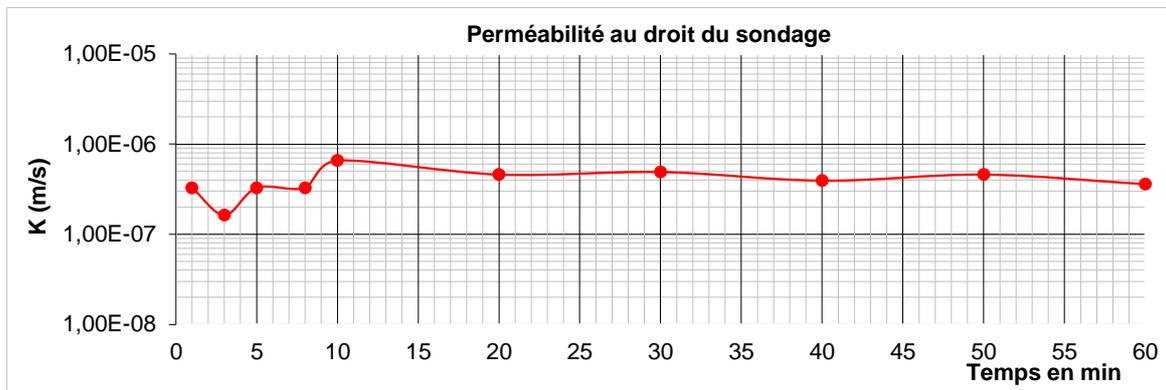
Diamètre du trou :	0,114 m
Profondeur du trou :	0,650 m
Hauteur mouillée :	0,150 m
Période de saturation :	60 min

Surface latérale :	0,054 m ²
Surface du fond :	0,010 m ²
Surface totale d'infiltration :	0,064 m ²

● Suivi :

Temps (min)	H / Repère (cm)	Vol écoulé (L)	Perméabilité K par intervalle (m/s)	Perméabilité K cumulée (m/s)
0	129,9	0	-	-
1	129,8	0,001	3,28E-07	3,28E-07
3	129,7	0,003	1,64E-07	2,18E-07
5	129,5	0,005	3,28E-07	2,62E-07
8	129,2	0,009	3,28E-07	2,87E-07
10	128,8	0,014	6,55E-07	3,60E-07
20	127,4	0,031	4,59E-07	4,10E-07
30	125,9	0,050	4,91E-07	4,37E-07
40	124,7	0,065	3,93E-07	4,26E-07
50	123,3	0,083	4,59E-07	4,32E-07
60	122,2	0,097	3,60E-07	4,20E-07

● Courbe caractéristique :



● Résultats :

La perméabilité retenue correspond à la moyenne des perméabilités par intervalle mesurées entre 10 et 60 min :

$K \approx 4,7E-07 \text{ m/s}$

ESSAI DE PERMEABILITE IN SITU ESSAI PORCHET - EPP3

● Lithologie :

De		à
0	0,20 m	Remblai limono-graveleux
0,20 m	0,55 m	Remblai sablo-graveleux gris à marron

● Paramètres de l'essai :

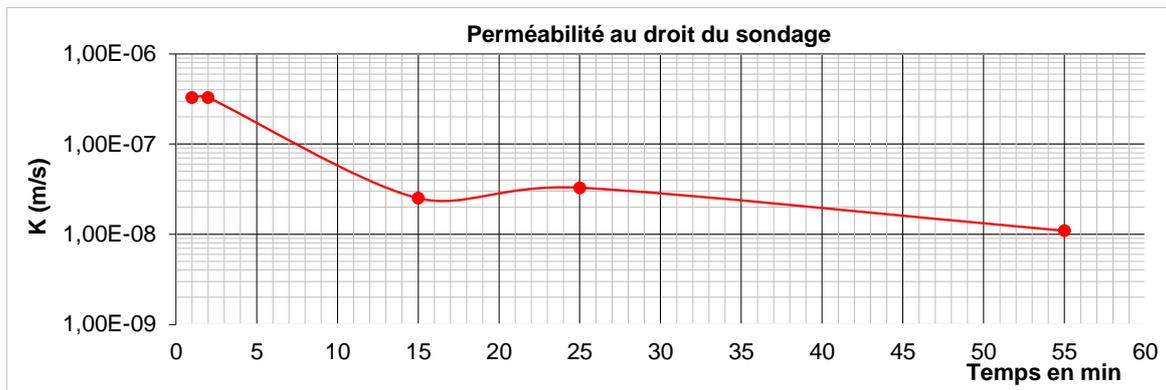
Diamètre du trou :	0,114 m
Profondeur du trou :	0,550 m
Hauteur mouillée :	0,150 m
Période de saturation :	60 min

Surface latérale :	0,054 m ²
Surface du fond :	0,010 m ²
Surface totale d'infiltration :	0,064 m ²

● Suivi :

Temps (min)	H / Repère (cm)	Vol écoulé (L)	Perméabilité K par intervalle (m/s)	Perméabilité K cumulée (m/s)
0	135,1	0	-	-
1	135,0	0,001	3,28E-07	3,28E-07
2	134,9	0,003	3,28E-07	3,28E-07
15	134,8	0,004	2,52E-08	6,55E-08
25	134,7	0,005	3,28E-08	5,24E-08
55	134,6	0,006	1,09E-08	2,98E-08
60	134,6	0,006	0,00E+00	2,73E-08

● Courbe caractéristique :



● Résultats :

La perméabilité retenue correspond à la moyenne des perméabilités par intervalle mesurées entre 15 et 55 min :

$K \approx 2,3E-08 \text{ m/s}$

Annexe 4

Résultats des investigations in situ réalisées lors de la mission G2 AVP complémentaire n°1405127





N° photo	Localisation	Observations
1	CAEN (14)	SC4 - 15,5 à 16,5 m



N° photo	Localisation	Observations
2	CAEN (14)	SC4 - 16,5 à 18,0 m



N° photo	Localisation	Observations
3	CAEN (14)	SC4 - 18,0 à 19,0 m



N° photo	Localisation	Observations
4	CAEN (14)	SC4 - 19,0 à 20,5 m



N° photo	Localisation	Observations
5	CAEN (14)	SC4 - 20,5 à 22,0 m



N° photo	Localisation	Observations
6	CAEN (14)	SC4 - 22,0 à 23,5 m



N° photo	Localisation	Observations
7	CAEN (14)	SC4 - 23,5 à 25,0 m



N° photo	Localisation	Observations
8	CAEN (14)	SC4 - 25,0 à 26,5 m



N° photo	Localisation	Observations
9	CAEN (14)	SC4 - 26,5 à 28,0 m



N° photo	Localisation	Observations
10	CAEN (14)	SC4 - 28,0 à 29,5 m



N° photo	Localisation	Observations
11	CAEN (14)	SC4 - 29,5 à 31,0 m



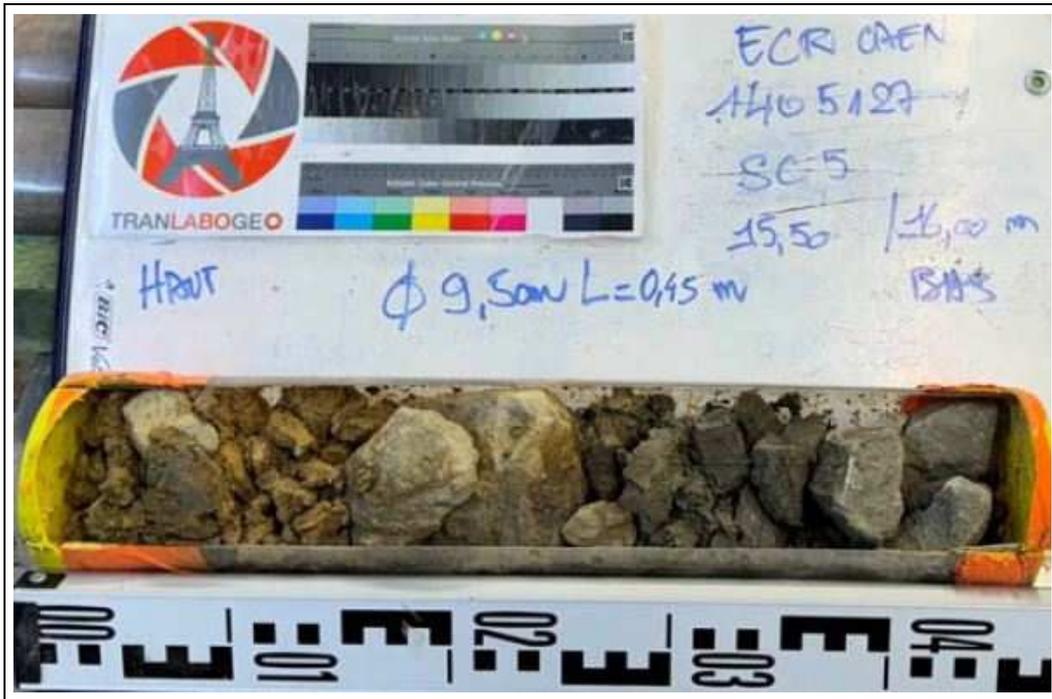
N° photo	Localisation	Observations
12	CAEN (14)	SC4 - 31,0 à 32,5 m



N° photo	Localisation	Observations
13	CAEN (14)	SC4 - 32,5 à 34,0 m



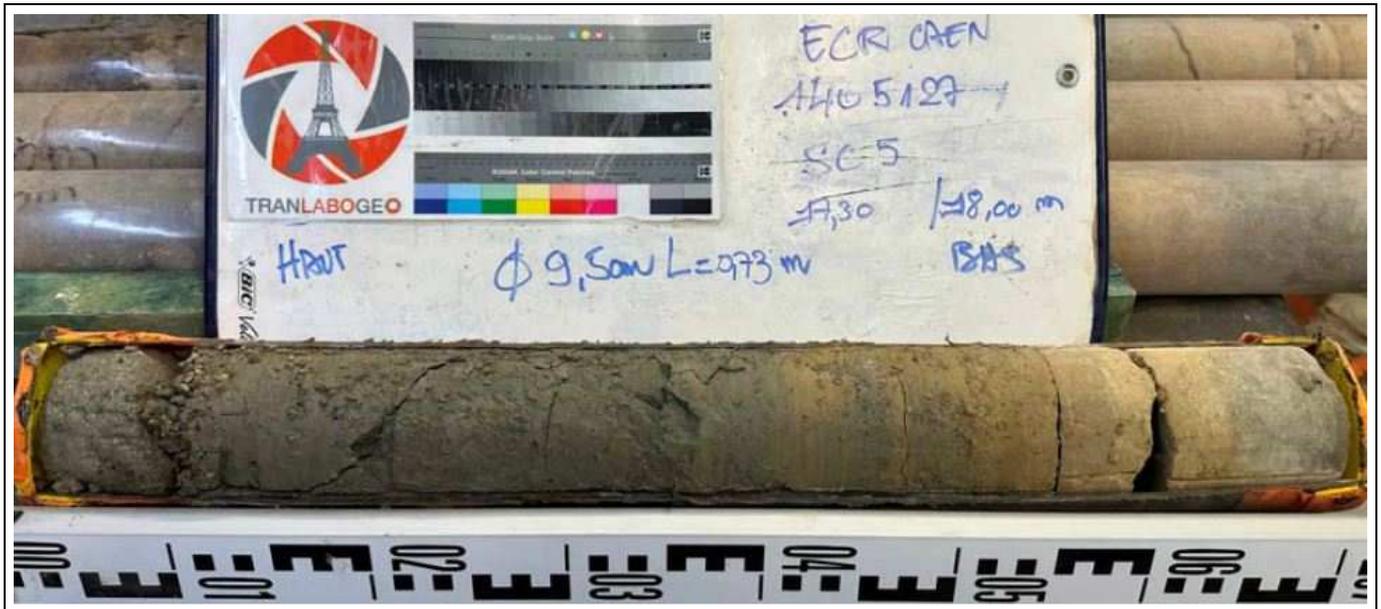
N° photo	Localisation	Observations
14	CAEN (14)	SC4 - 34,0 à 35,5 m



N° photo	Localisation	Observations
15	CAEN (14)	SC5 - 15,5 à 16,0 m



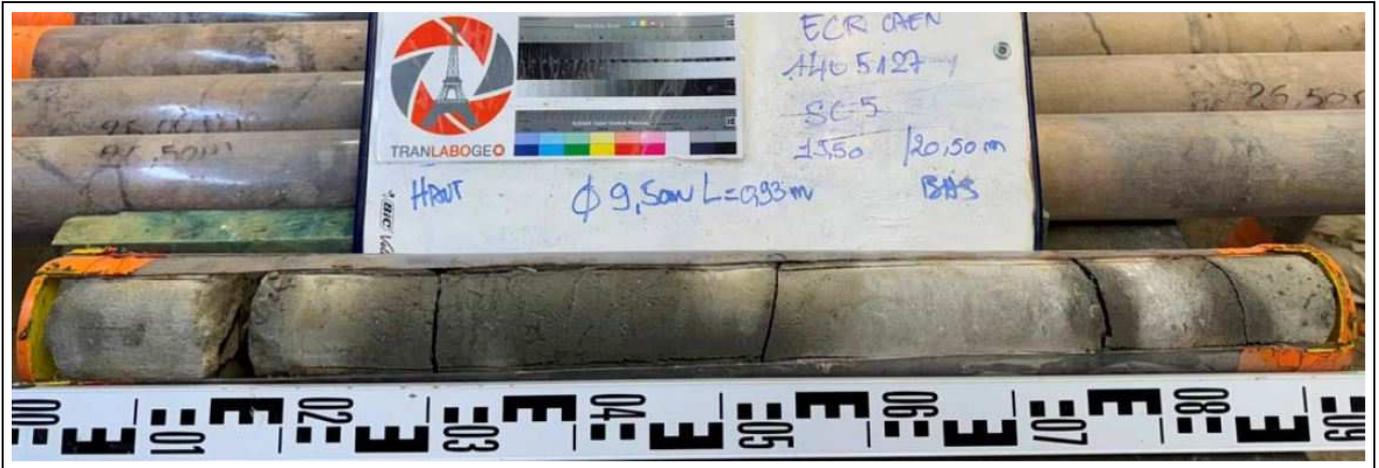
N° photo	Localisation	Observations
16	CAEN (14)	SC5 - 16,0 à 17,3 m



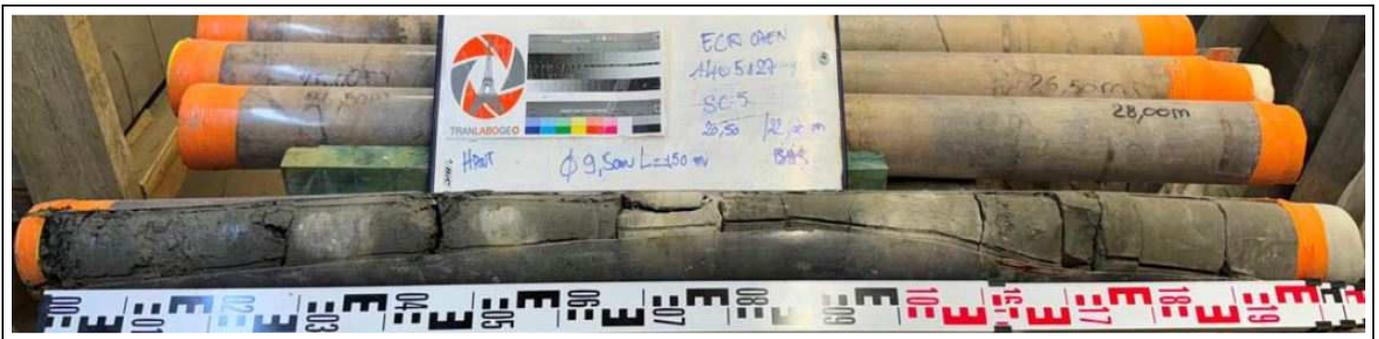
N° photo	Localisation	Observations
17	CAEN (14)	SC5 - 17,3 à 18,0 m



N° photo	Localisation	Observations
18	CAEN (14)	SC5 - 18,0 à 19,5 m



N° photo	Localisation	Observations
19	CAEN (14)	SC5 - 19,5 à 20,5 m



N° photo	Localisation	Observations
20	CAEN (14)	SC5 - 20,5 à 22,0 m



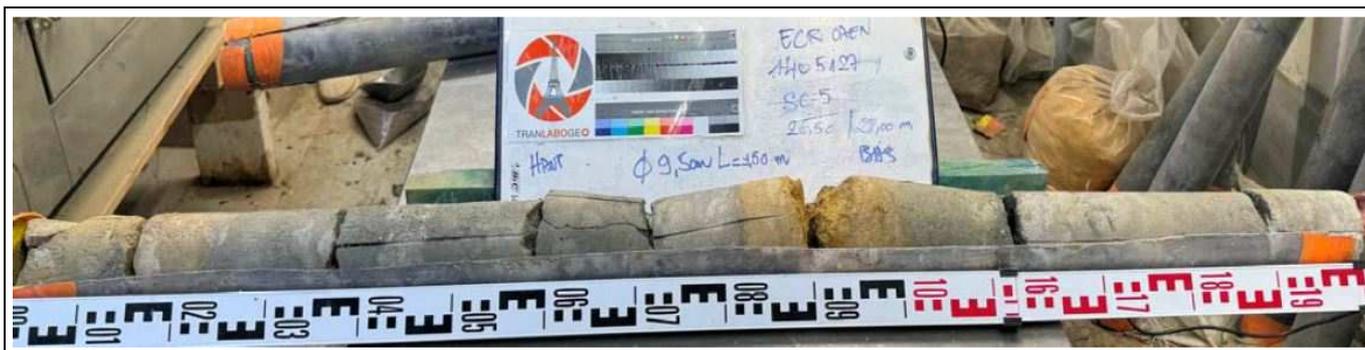
N° photo	Localisation	Observations
21	CAEN (14)	SC5 - 22,0 à 23,5 m



N° photo	Localisation	Observations
22	CAEN (14)	SC5 - 23,5 à 25,0 m



N° photo	Localisation	Observations
23	CAEN (14)	SC5 - 25,0 à 26,5 m



N° photo	Localisation	Observations
24	CAEN (14)	SC5 - 26,5 à 28,0 m



N° photo	Localisation	Observations
25	CAEN (14)	SC5 - 28,0 à 29,5 m



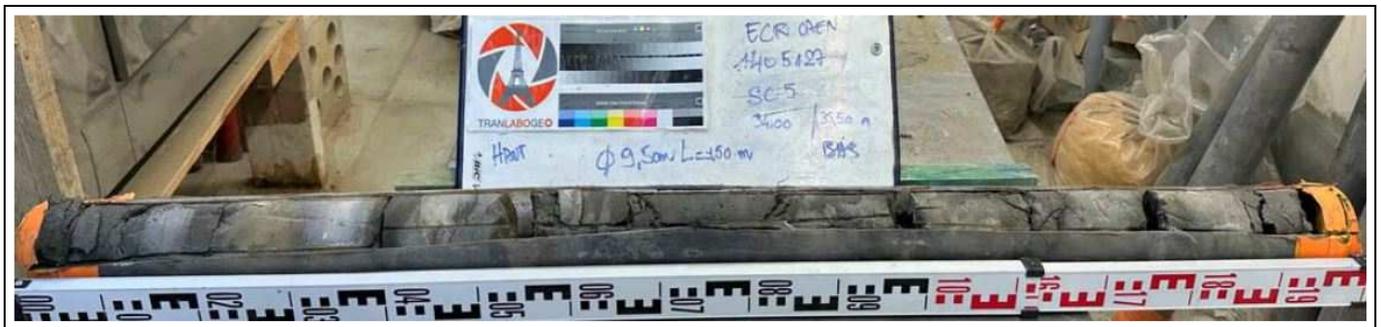
N° photo	Localisation	Observations
26	CAEN (14)	SC5 - 29,5 à 31,0 m



N° photo	Localisation	Observations
27	CAEN (14)	SC5 - 31,0 à 32,5 m



N° photo	Localisation	Observations
28	CAEN (14)	SC5 - 32,5 à 34,0 m



N° photo	Localisation	Observations
29	CAEN (14)	SC5 - 34,0 à 35,5 m



N° photo	Localisation	Observations
1	CAEN (14)	SC6 - 15,5 à 16,0 m



N° photo	Localisation	Observations
2	CAEN (14)	SC6 - 16,0 à 17,5 m



N° photo	Localisation	Observations
3	CAEN (14)	SC6 - 17,5 à 19,0 m



N° photo	Localisation	Observations
4	CAEN (14)	SC6 - 19,0 à 20,5 m



N° photo	Localisation	Observations
5	CAEN (14)	SC6 - 20,5 à 22,0 m



N° photo	Localisation	Observations
6	CAEN (14)	SC6 - 22,0 à 23,5 m



N° photo	Localisation	Observations
7	CAEN (14)	SC6 - 23,5 à 25,0 m



N° photo	Localisation	Observations
8	CAEN (14)	SC6 - 25,0 à 26,5 m



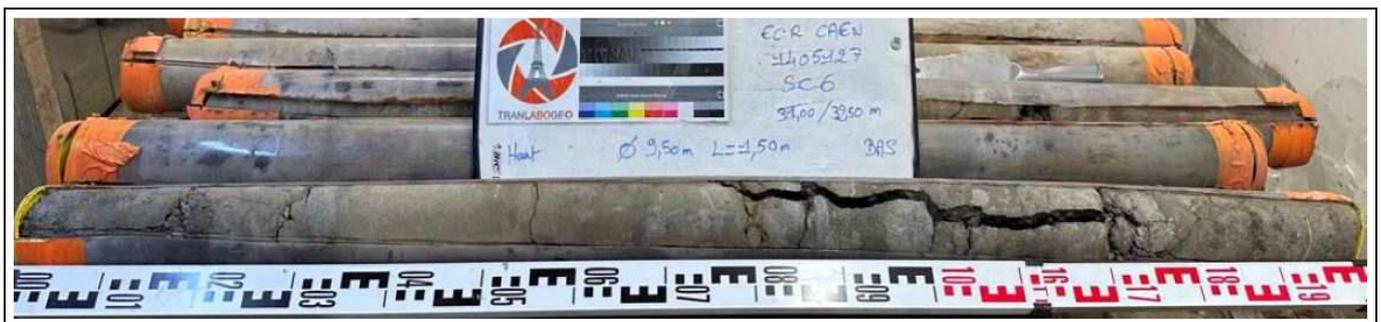
N° photo	Localisation	Observations
9	CAEN (14)	SC6 - 26,5 à 28,0 m



N° photo	Localisation	Observations
10	CAEN (14)	SC6 - 28,0 à 29,5 m



N° photo	Localisation	Observations
11	CAEN (14)	SC6 - 29,5 à 31,0 m



N° photo	Localisation	Observations
12	CAEN (14)	SC6 - 31,0 à 32,5 m



N° photo	Localisation	Observations
13	CAEN (14)	SC6 - 32,5 à 34,0 m



N° photo	Localisation	Observations
14	CAEN (14)	SC6 - 34,0 à 35,5 m



N° photo	Localisation	Observations
15	CAEN (14)	SC7 - 15,5 à 17,0 m



N° photo	Localisation	Observations
16	CAEN (14)	SC7 - 17,0 à 18,5 m



N° photo	Localisation	Observations
17	CAEN (14)	SC7 - 18,5 à 20,0 m



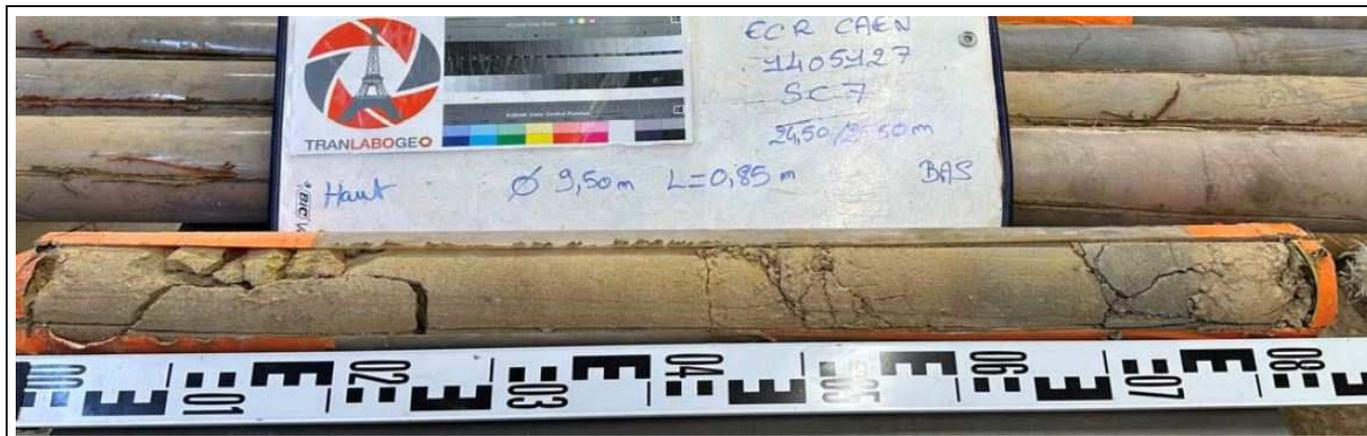
N° photo	Localisation	Observations
18	CAEN (14)	SC7 - 20,0 à 21,5 m



N° photo	Localisation	Observations
19	CAEN (14)	SC7 - 21,5 à 23,0 m



N° photo	Localisation	Observations
20	CAEN (14)	SC7 - 23,0 à 24,5 m



N° photo	Localisation	Observations
21	CAEN (14)	SC7 - 24,5 à 25,5 m



N° photo	Localisation	Observations
22	CAEN (14)	SC7 - 25,5 à 27,0 m



N° photo	Localisation	Observations
23	CAEN (14)	SC7 - 27,0 à 28,5 m



N° photo	Localisation	Observations
24	CAEN (14)	SC7 - 28,5 à 30,0 m



N° photo	Localisation	Observations
25	CAEN (14)	SC7 - 30,0 à 31,5 m



N° photo	Localisation	Observations
26	CAEN (14)	SC7 - 31,5 à 33,0 m



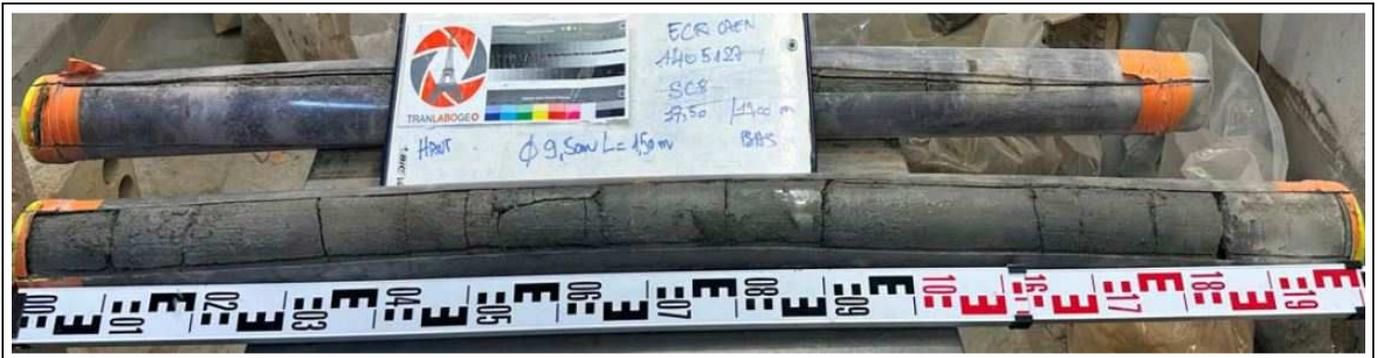
N° photo	Localisation	Observations
27	CAEN (14)	SC7 - 33,0 à 34,5 m



N° photo	Localisation	Observations
28	CAEN (14)	SC8 - 15,0 à 16,2 m



N° photo	Localisation	Observations
29	CAEN (14)	SC8 - 16,2 à 17,5 m



N° photo	Localisation	Observations
30	CAEN (14)	SC8 - 17,5 à 19,0 m



N° photo	Localisation	Observations
31	CAEN (14)	SC8 - 19,0 à 20,5 m



N° photo	Localisation	Observations
32	CAEN (14)	SC8 - 20,5 à 22,0 m



N° photo	Localisation	Observations
33	CAEN (14)	SC8 - 22,0 à 23,5 m



N° photo	Localisation	Observations
34	CAEN (14)	SC8 - 23,5 à 25,0 m



N° photo	Localisation	Observations
35	CAEN (14)	SC8 - 25,0 à 26,3 m



N° photo	Localisation	Observations
36	CAEN (14)	SC8 - 26,3 à 27,8 m



N° photo	Localisation	Observations
37	CAEN (14)	SC8 - 27,8 à 29,3 m



N° photo	Localisation	Observations
38	CAEN (14)	SC8 - 29,3 à 30,8 m



N° photo	Localisation	Observations
39	CAEN (14)	SC8 - 30,8 à 32,3 m



N° photo	Localisation	Observations
40	CAEN (14)	SC8 - 32,3 à 33,8 m



N° photo	Localisation	Observations
41	CAEN (14)	SC8 - 33,8 à 35,3 m

Annexe 5

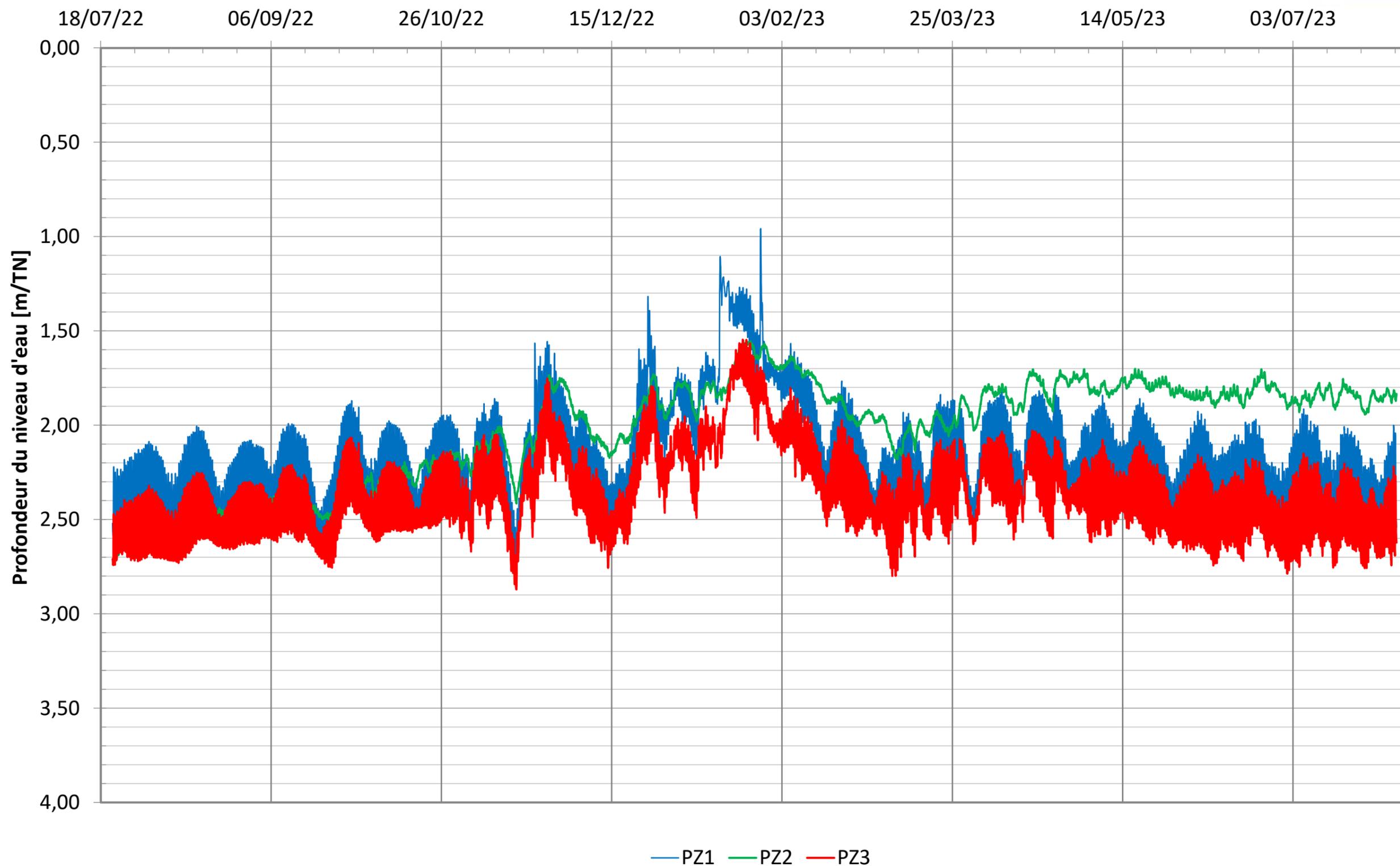
Suivis piézométriques





Suivi piézométrique - "les Cascades" - Caen (14)

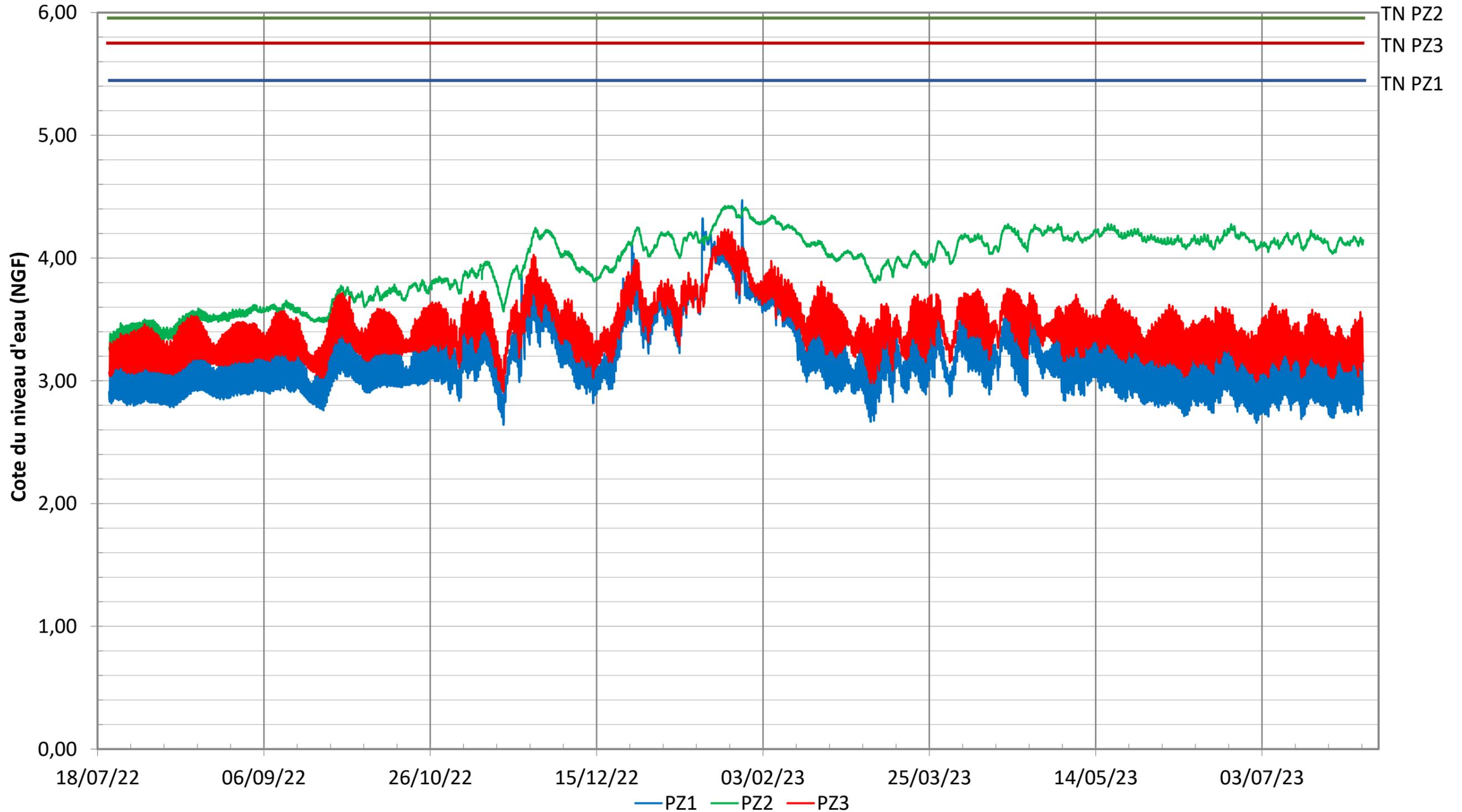
Variation du niveau de la nappe en profondeur/TN





Suivi piézométrique - "les Cascades" - Caen (14)

Variation du niveau de la nappe en cotes NGF



Annexe 6

Résultats des essais en laboratoire réalisés lors de la mission G2 AVP n°1404050



PROCES-VERBAL D'ESSAI

ANALYSE TENEUR EN SULFATE												
N° du dossier : 22.2457	Réception :	01/07/2022										
Client : ECR CAEN	Prog. d'essai :	28/06/2022										
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN												
Nature :	Minéralisation à HCL :	19/07/2022										
Désignation	Résultat	Unité										
N° Sondage : SC1 19.10/19.40 m												
MATIERES SECHES	85.2	mg/kg MS										
SULFATES (SO ₄)	4100	mg/kg										
ou	0.410	%										
N° Sondage : SC2 13.10/13.50 m												
MATIERES SECHES	90.5	mg/kg MS										
SULFATES (SO ₄)	480	mg/kg										
ou	0.048	%										
N° Sondage : SC3 5.75/6.00 m												
MATIERES SECHES	79.8	mg/kg MS										
SULFATES (SO ₄)	500	mg/kg										
ou	0.050	%										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Paramètre</th> <th style="width: 50%;">Norme</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sulfates, HCl extr. B</td> <td>DIN 4030-2 mod. (2008-06)(A)</td> </tr> <tr> <td>Nitrate sur solide</td> <td>DIN 4030-2 mod. (2008-06)(A)</td> </tr> <tr> <td>Matières sèches</td> <td>DIN ISO 11465 (1996-12)(A)</td> </tr> <tr> <td>Degré d'acidité Baumann-Gully</td> <td>DIN 4030-2 (2008-06)(A)</td> </tr> </tbody> </table>			Paramètre	Norme	Sulfates, HCl extr. B	DIN 4030-2 mod. (2008-06)(A)	Nitrate sur solide	DIN 4030-2 mod. (2008-06)(A)	Matières sèches	DIN ISO 11465 (1996-12)(A)	Degré d'acidité Baumann-Gully	DIN 4030-2 (2008-06)(A)
Paramètre	Norme											
Sulfates, HCl extr. B	DIN 4030-2 mod. (2008-06)(A)											
Nitrate sur solide	DIN 4030-2 mod. (2008-06)(A)											
Matières sèches	DIN ISO 11465 (1996-12)(A)											
Degré d'acidité Baumann-Gully	DIN 4030-2 (2008-06)(A)											

PROCES-VERBAL D'ESSAI

TENEUR EN CARBONATE NFP 94.048

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) :

Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) :

Nature :

Programme : 28/06/2022

Sondage et Profondeur	Masse d'échantillon		Volume gaz CO2		% Ca CO3		% Ca CO3 moyenne
	m1 (g)	m2 (g)	VB1 (cm3)	VB2 (cm3)			
SC1 18.70/19.00 m	1.01	1.02	14.5	15.5	5.9	6.2	6.1
SC2 11.70/12.00 m	1.01	1.00	44.5	45.5	18.0	18.6	18.3
SC3 4.25/4.50 m	1.02	1.01	45.5	43.5	18.3	17.6	18.0

Pression atmosphérique : 100 KPa

Température ambiante : 20.2°C



PROCES VERBAL D'ESSAI

Teneur en eau NFP 94.050 et Matières Organiques XP 94.047

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) :

Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Apporté au labo : 10/01/2022

Sondage	SC1	SC2	SC3
Profondeur (m)	10.70/10.90	7.70/8.20	3.00/3.30
Teneur en eau à 50°C	25.7	56.5	21.3
Pth = Masse du sol humide+tare (g)	526.35	623.35	546.26
Pts = Masse du sol sec+tare (g)	471.12	454.69	488.15
T = Masse de la tare (g)	256.23	156.26	215.26
Ph = Masse du sol humide (g)	270.12	467.09	331.00
Pw = Masse d'eau (g)	55.23	168.66	58.11
Ps = Masse du sol sec (g)	214.89	298.43	272.89
Teneur en Matières Organiques	4.5	4.9	2.4
Pts = Masse sèche totale (g)	569.58	606.22	573.79
T = Masse de la tare (g)	514.91	546.11	513.61
Mts = Masse sèche totale après 450 ° (g)	567.12	603.29	572.35
Prise d'essai sec 50°C	54.67	60.11	60.18
Matières minérales sur sec	52.21	57.18	58.74
Perte Feu sur sec après calcination à 450°C	2.46	2.93	1.44
Nature	Argile marneuse brun-gris	Argile marneuse beige-gris	Argile marneuse beige-gris

PROCES-VERBAL D'ESSAI

LIMITES D'ATTERBERG NFP 94-051

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC1**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) : **4.20/4.50**

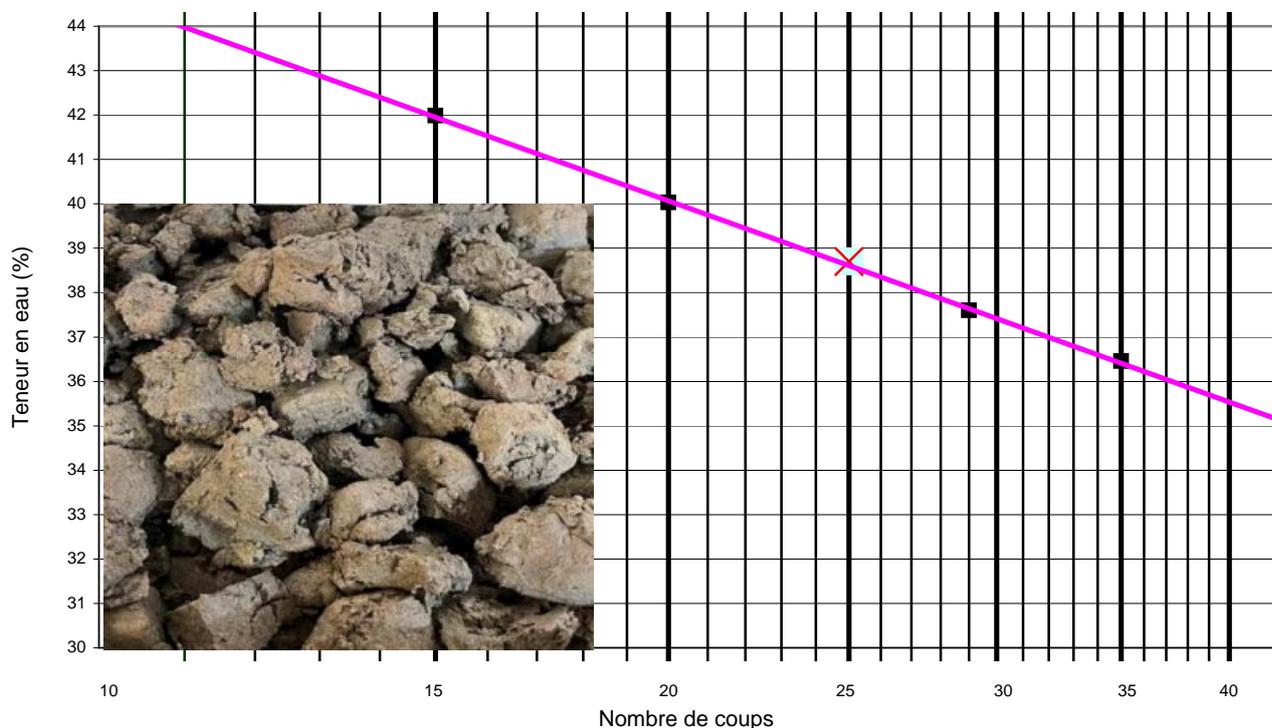
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 4.20/4.50

Nature : Argile sablo marneuse beige-gris

Programme Labo : 28/06/2022

	LIQUIDITE				PLASTICITE	
Nombre de coups	15	20	29	35		
N° de la tare	A	B	C	D	1	2
Poids total humide	59.21	58.85	60.11	51.62	42.07	40.96
Poids total sec	41.89	42.21	43.86	38.00	36.15	35.62
Poids de la tare	0.64	0.64	0.64	0.64	11.91	13.26
Poids net de l'eau	17.32	16.64	16.25	13.62	5.92	5.34
Poids net matériau sec	41.25	41.57	43.22	37.36	24.24	22.36
Teneur en eau (%)	42.0	40.0	37.6	36.5	24.4	23.9



Limite de Liquidité	Wl = 39 %	W naturelle = 30.1 %
Limite de Plasticité	Wp = 24 %	Pth (g) = 738.32
Indice de Plasticité	Ip = 15	Pts (g) = 610.92
Indice de consistance	Ic = 0.59	Tare (g) = 187.40

LIMITES D'ATTERBERG NFP 94-051

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC2**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) : **6.00/7.50**

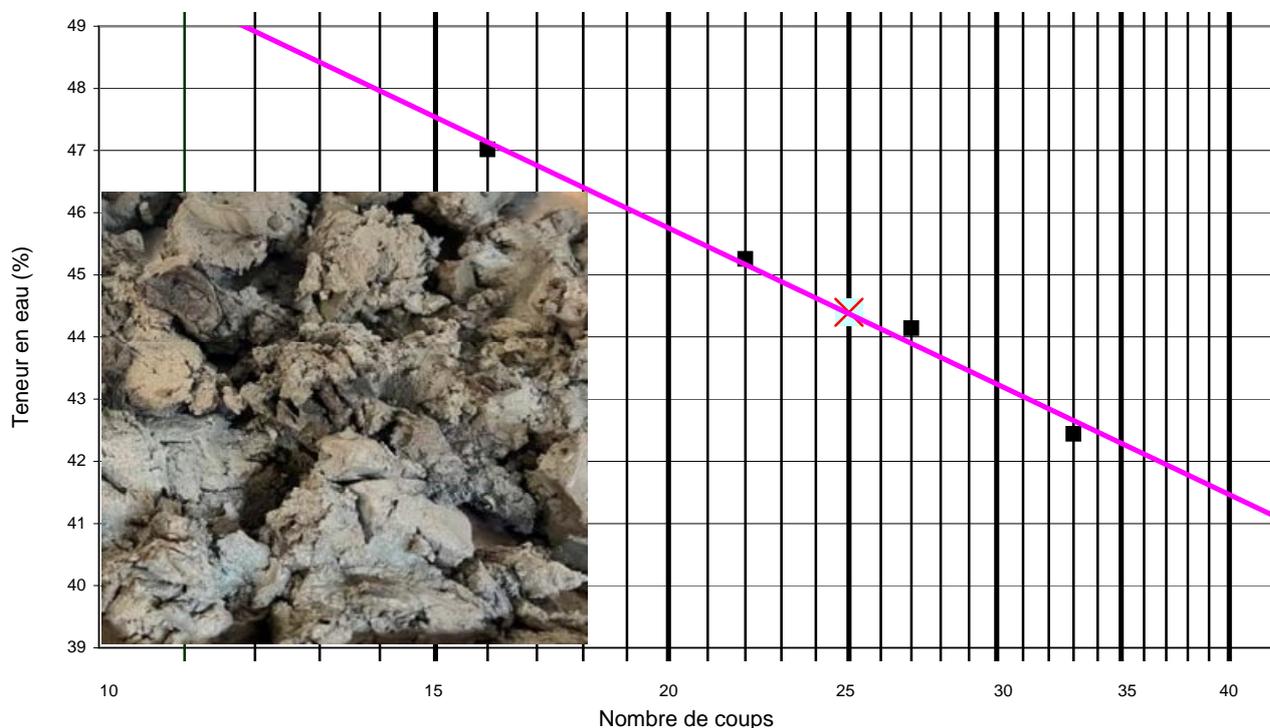
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 6.00/7.50

Nature : Argile marneuse beige-gris-noir, MO

Programme Labo : 28/06/2022

	LIQUIDITE				PLASTICITE	
Nombre de coups	16	22	27	33		
N° de la tare	A	B	C	D	1	2
Poids total humide	59.15	57.94	60.34	55.81	44.11	45.61
Poids total sec	40.46	40.11	42.08	39.39	38.28	39.48
Poids de la tare	0.71	0.71	0.71	0.71	13.11	12.96
Poids net de l'eau	18.69	17.83	18.26	16.42	5.83	6.13
Poids net matériau sec	39.75	39.40	41.37	38.68	25.17	26.52
Teneur en eau (%)	47.0	45.3	44.1	42.4	23.2	23.1



Limite de Liquidité	Wl = 44 %	W naturelle = 47.4 %
Limite de Plasticité	Wp = 23 %	Pth (g) = 437.31
Indice de Plasticité	Ip = 21	Pts (g) = 327.41
Indice de consistance	Ic = 0.00	Tare (g) = 95.69

LIMITES D'ATTERBERG NFP 94-051

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC3**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) : **12.00/13.50**

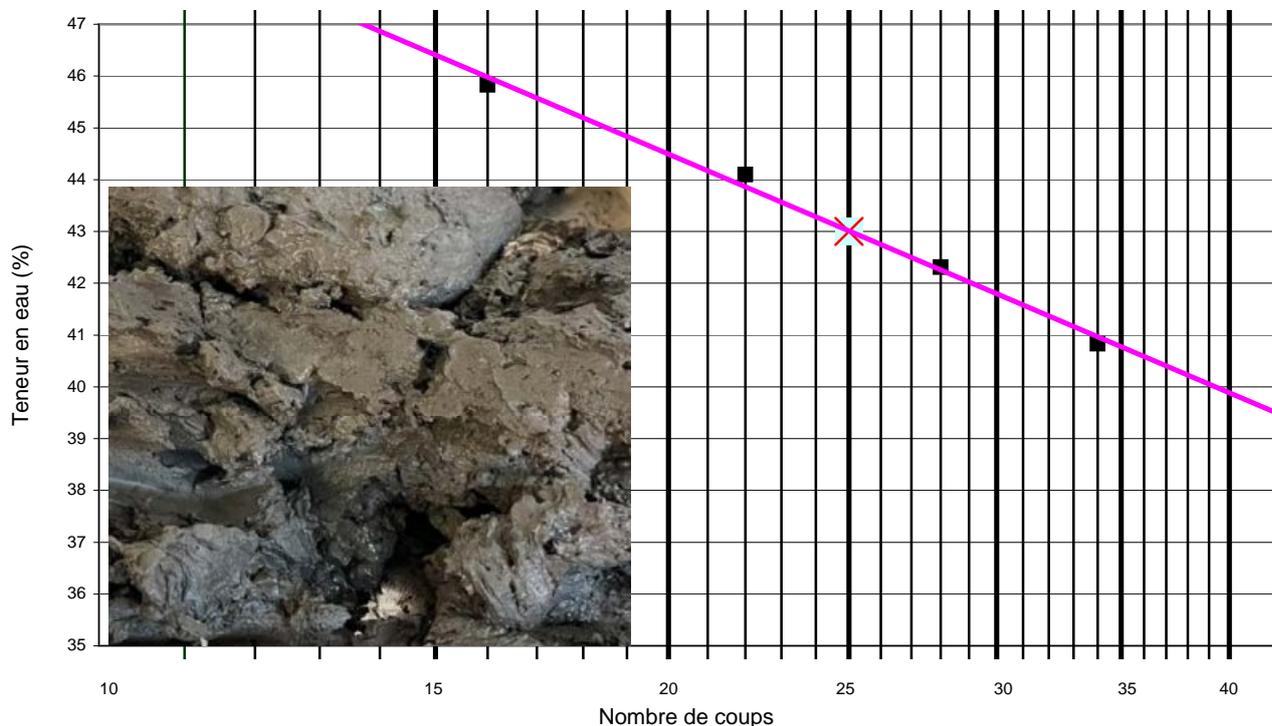
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 12.00/12.10

Nature : Argile sableuse à silex brun-gris

Programme Labo : 28/06/2022

	LIQUIDITE				PLASTICITE	
Nombre de coups	16	22	28	34		
N° de la tare	A	B	C	D	1	2
Poids total humide	40.15	39.26	38.31	39.26	41.56	43.26
Poids total sec	27.73	27.44	27.11	28.06	37.15	38.59
Poids de la tare	0.64	0.64	0.64	0.64	13.26	13.31
Poids net de l'eau	12.42	11.82	11.20	11.20	4.41	4.67
Poids net matériau sec	27.09	26.80	26.47	27.42	23.89	25.28
Teneur en eau (%)	45.8	44.1	42.3	40.8	18.5	18.5



Limite de Liquidité	WI =	43	%	W naturelle =	17.8	%
Limite de Plasticité	Wp =	18	%	Pth (g) =	562.26	
Indice de Plasticité	Ip =	25		Pts (g) =	495.22	
Indice de consistance	Ic =	1.03		Tare (g) =	119.63	

PROCES VERBAL D'ESSAI

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC1**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) : **15.00/16.00**

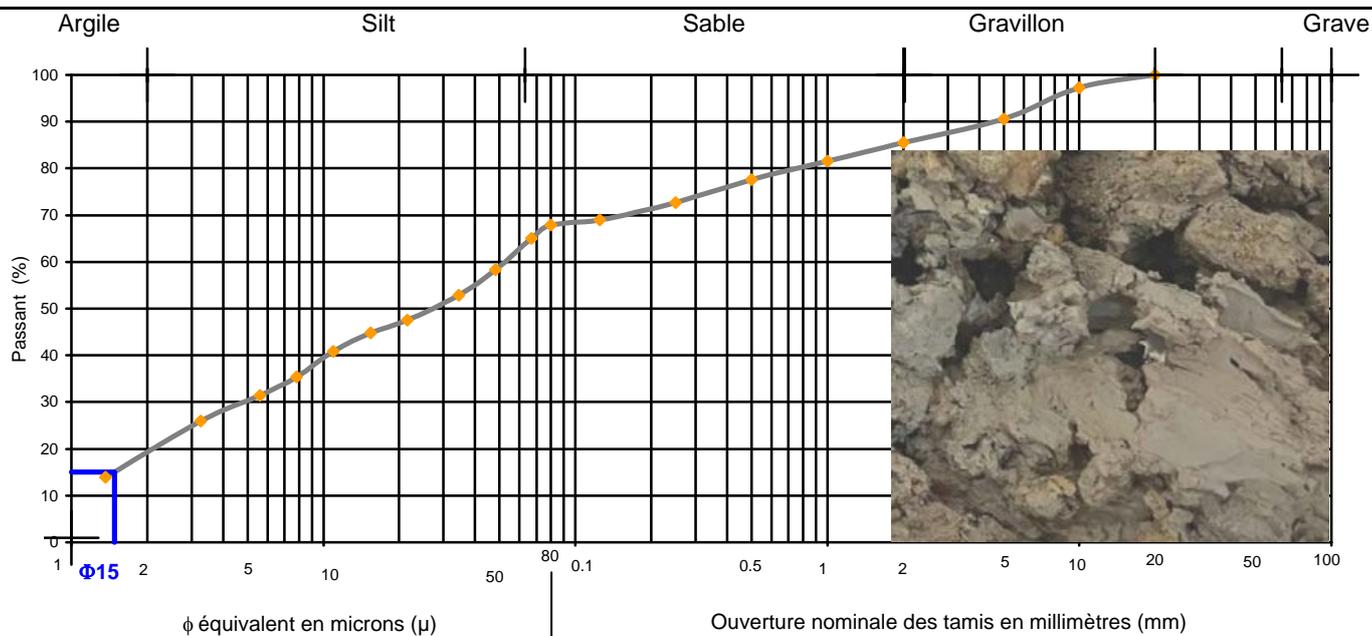
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement / LeCaennaise

Prélevé (m) : 15.60/16.00

Nature : Argile sablo marneuse à silex beige-gris

Programme : 28/06/2022

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE ET PAR SEDIMENTOMETRIE NFP 94-056 et NFP 94-057



ϕ des tamis (mm)	100	80	63	50	40	31.5	20	10	5	2	1	0.5	0.25	0.125
Passant (%)							100.0	97.3	90.6	85.6	81.6	77.6	72.7	68.9

$\phi_{10} = 0.001$ mm < 0.005 mm non liquéfiabile

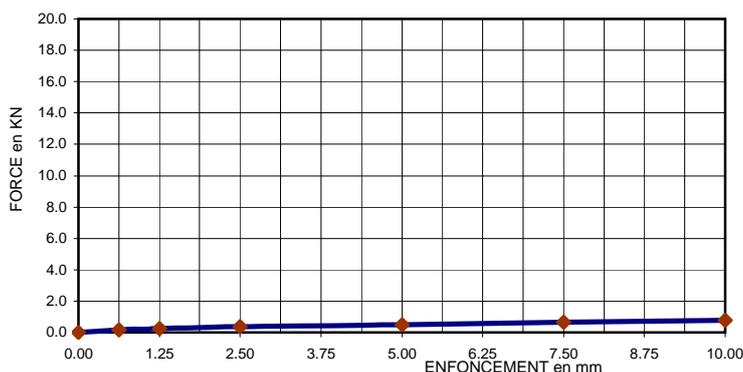
ϕ équivalent (μ)	80.0	67.1	48.2	34.5	21.6	15.4	11.0	7.8	5.6	3.3	1.4		20 μ	2 μ
Passant (%)	67.9	65.0	58.3	52.9	47.5	44.8	40.8	35.4	31.4	26.0	13.9		46.9	19.2

ESSAI AU BLEU DE METHYLENE NF P 94-068

W 0/5 mm	Masse éch (g)	Masse sans bleu M1(g)	Masse avec bleu M2(g)	Valeur bleu Vb(g/100g)	Valeur bleu Vbs (g/100g)
24.2	35.26	800.33	1015.26	7.57	6.86

INDICE PORTANT IMMEDIAT NF P 94.078

W naturelle (%)	24.0	
Masse volumique sèche compactée ρ_d (t/m ³)	1.42	
INDICE PORTANT IMMEDIAT	à 2.5 mm = $\frac{F}{100}$ en KN	3
	à 5 mm = $\frac{F}{100}$ en KN	2
Indice portant immédiat à w naturelle	3	



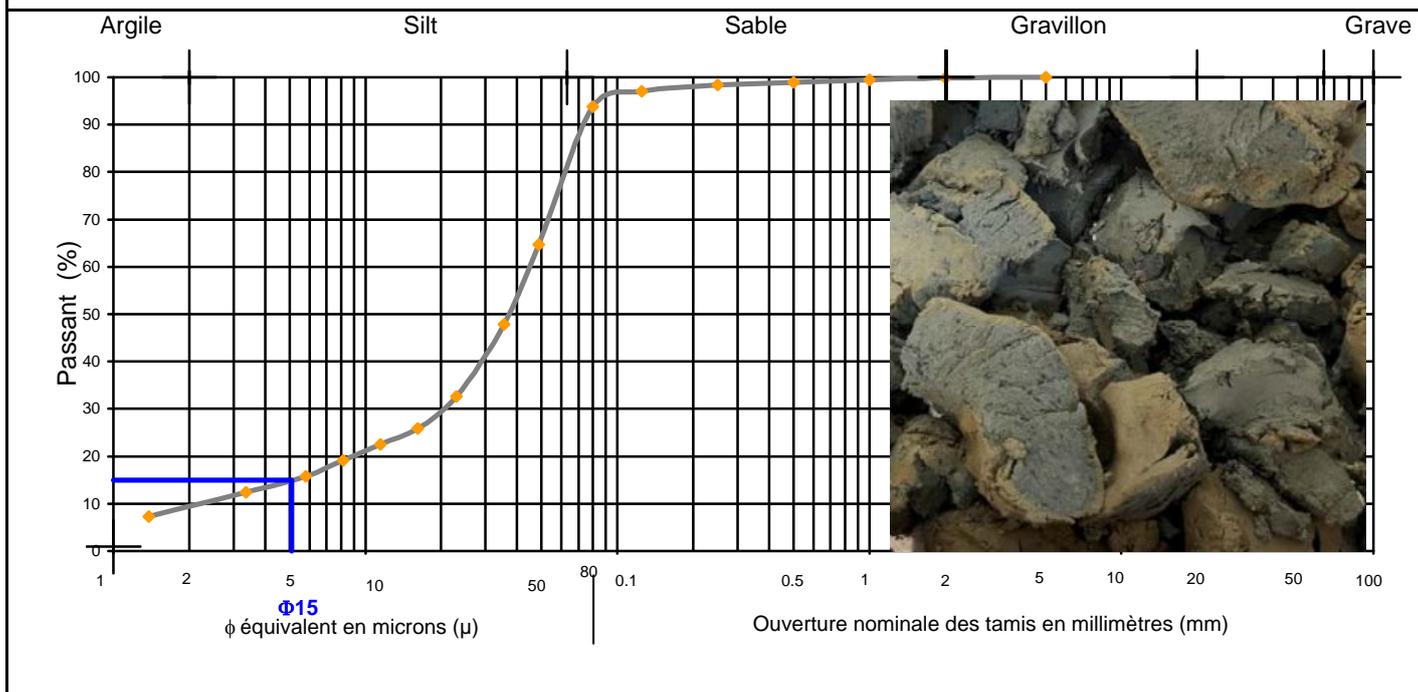
Classification GTR NFP 11.300

A3 h

PROCES VERBAL D'ESSAI

N° du dossier : 22.2457	N° Sondage : SC2
Client : ECR CAEN	Profondeur (m) : 4.20/40.50
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement / LeCaennaise	Prélevé (m) : 4.20/40.50
Nature : Argile sablo marneuse beige-gris	Programme : 28/06/2022

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE ET PAR SEDIMENTOMETRIE NFP 94-056 et NFP 94-057



ϕ des tamis (mm)	80	63	50	40	31.5	20	10	5	2	1	0.5	0.25	0.125	0.08
Passant (%)								100.0	99.9	99.5	98.9	98.4	97.0	93.8

$\phi_{15} = 0.005 \text{ mm}$ < 0.005 mm : sol argileux non liquéfiable

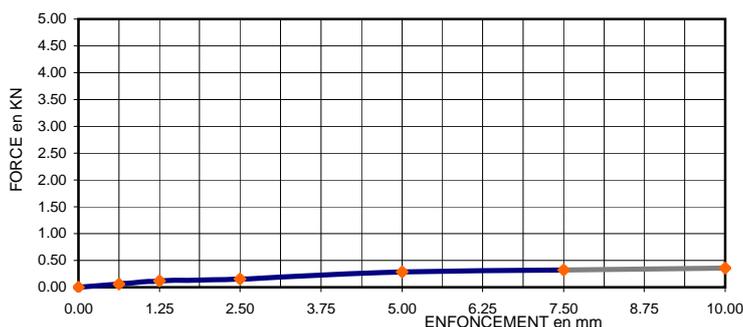
ϕ équivalent (μ)	80.0	48.7	35.5	23.0	16.1	11.4	8.1	5.8	3.4	1.4			20 μ	2 μ
Passant (%)	88.0	64.7	47.8	32.7	25.9	22.5	19.2	15.8	12.4	7.3				

ESSAI AU BLEU DE METHYLENE NF P 94-0.68

W 0/5 mm	Masse éch (g)	Masse sans bleu M1(g)	Masse avec bleu M2(g)	Valeur bleu Vb(g/100g)	Valeur bleu Vbs (g/100g)
39.3	36.95	802.47	932.15	4.89	4.89

INDICE PORTANT IMMEDIAT NF P 94.078

W naturelle (%)		39.3
Masse volumique sèche compactée ρ_d (t/m ³)		1.31
INDICE PORTANT IMMEDIAT	à 2.5 mm = F en KN \times 100	1
	13.35	
INDICE PORTANT IMMEDIAT	à 5 mm = F en KN \times 100	1
	19.93	
Indice portant immédiat à w naturelle		1



Classification GTR NFP 11.300

A2 th

PROCES VERBAL D'ESSAI

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC3**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) : **13.50/13.90**

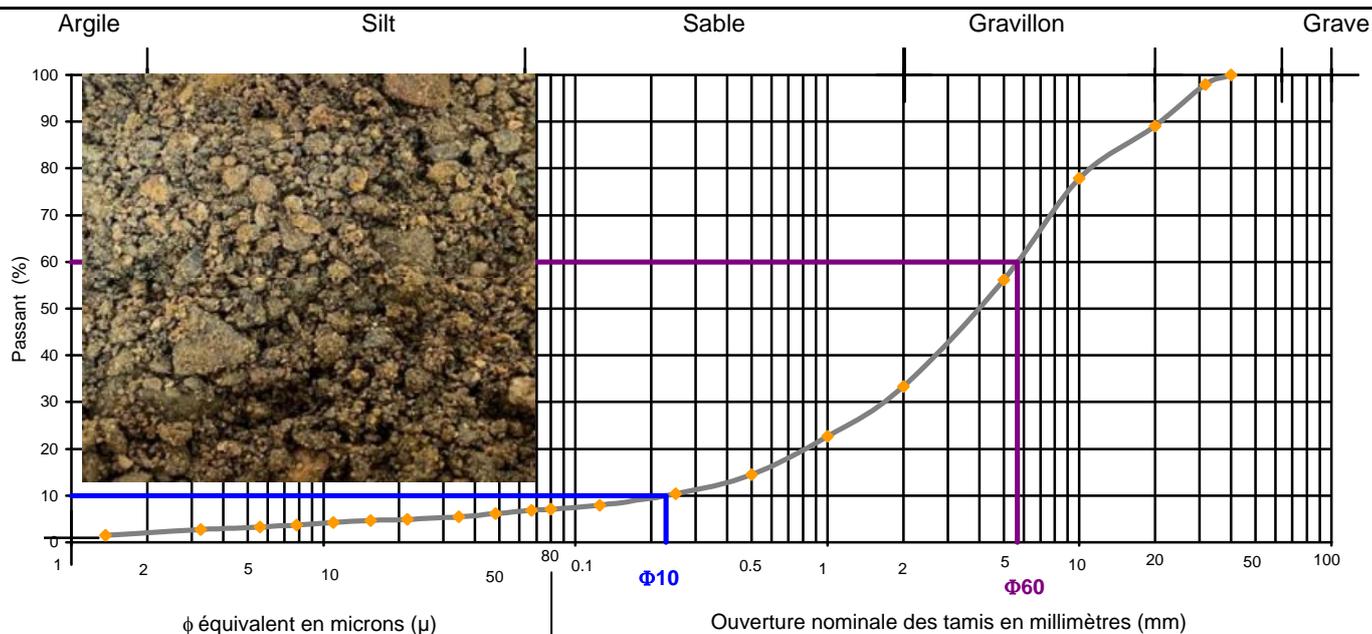
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement / Le Caennaise

Prélevé (m) : 13.50/13.90

Nature : Grave à silex calcaire beige gris

Programme : 28/06/2022

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE ET PAR SEDIMENTOMETRIE NFP 94-056 et NFP 94-057



φ des tamis (mm)	100	80	63	50	40	31.5	20	10	5	2	1	0.5	0.25	0.125
Passant (%)				100.0	98.0	89.0	77.9	56.1	33.4	22.7	14.5	10.3	8.0	

Φ10 = 0.228 mm Φ60 = 5.662 mm Uniformité Cu = Φ60/Φ10 = 24.8 potentiellement liquéfiable

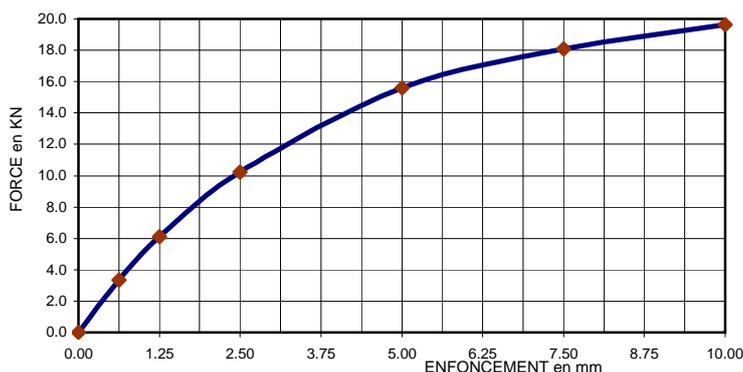
φ équivalent (μ)	80.0	67.1	48.2	34.5	21.6	15.4	11.0	7.8	5.6	3.3	1.4	20μ	2μ
Passant (%)	7.1	6.8	6.1	5.5	5.0	4.7	4.3	3.7	3.3	2.7	1.5	4.9	2.0

ESSAI AU BLEU DE METHYLENE NF P 94-068

W 0/5 mm	Masse éch (g)	Masse sans bleu M1(g)	Masse avec bleu M2(g)	Valeur bleu Vb(g/100g)	Valeur bleu Vbs (g/100g)
7.9	128.26	800.25	851.15	0.43	0.24

INDICE PORTANT IMMEDIAT NF P 94.078

W naturelle (%)	6.2	
Masse volumique sèche compactée ρd (t/m ³)	1.99	
INDICE PORTANT IMMEDIAT	à 2.5 mm = F en KN×100 13.35	77
	à 5 mm = F en KN×100 19.93	78
	Indice portant immédiat à w naturelle	78



Classification GTR NFP 11.300

B4

PROCES VERBAL D'ESSAI

ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u				NFP 94-074
N° du dossier : 22.2457		N° Sondage : SC1		
Client : ECR CAEN		Profondeur (m) : 16.00/17.50		
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN		Prélevé (m) : 16.20/16.35		
Nature : Argile sablo marneuse grise		$\sigma'_{v0} = 350$ KPa		
Valeurs à l'état initial	1	2	3	Nappe (m) =
Hauteur (mm)	70.0	70.0	70.0	
Diamètre (mm)	35.0	35.0	35.0	
Teneur en eau (%)	22.2	22.5	21.7	
Masse volumique sèche (g/cm ³)	1.45	1.47	1.47	
Masse volumique des particules solides estimée (g/cm ³)	2.70	2.70	2.70	
Degré de saturation (%)	69.6	72.1	70.2	
Contre pression (MPa)	0.400	0.400	0.400	
Facteur de Skempton : B			0.92	
Contrainte effective de consolidation (MPa)	0.233	0.333	0.433	
Durée de consolidation : t100 (min)			37.3	
Valeurs à l'état consolidé				
Masse volumique sèche (g/cm ³)	1.50	1.52	1.55	
Hauteur (mm)	67.5	67.4	66.6	
Volume (cm ³)	64.9	64.8	64.0	
Teneur en eau (%)	29.4	28.7	27.7	
Degré de saturation (%)	100.0	100.0	100.0	



ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u NFP 94-074

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC1**

Client : ECR CAEN

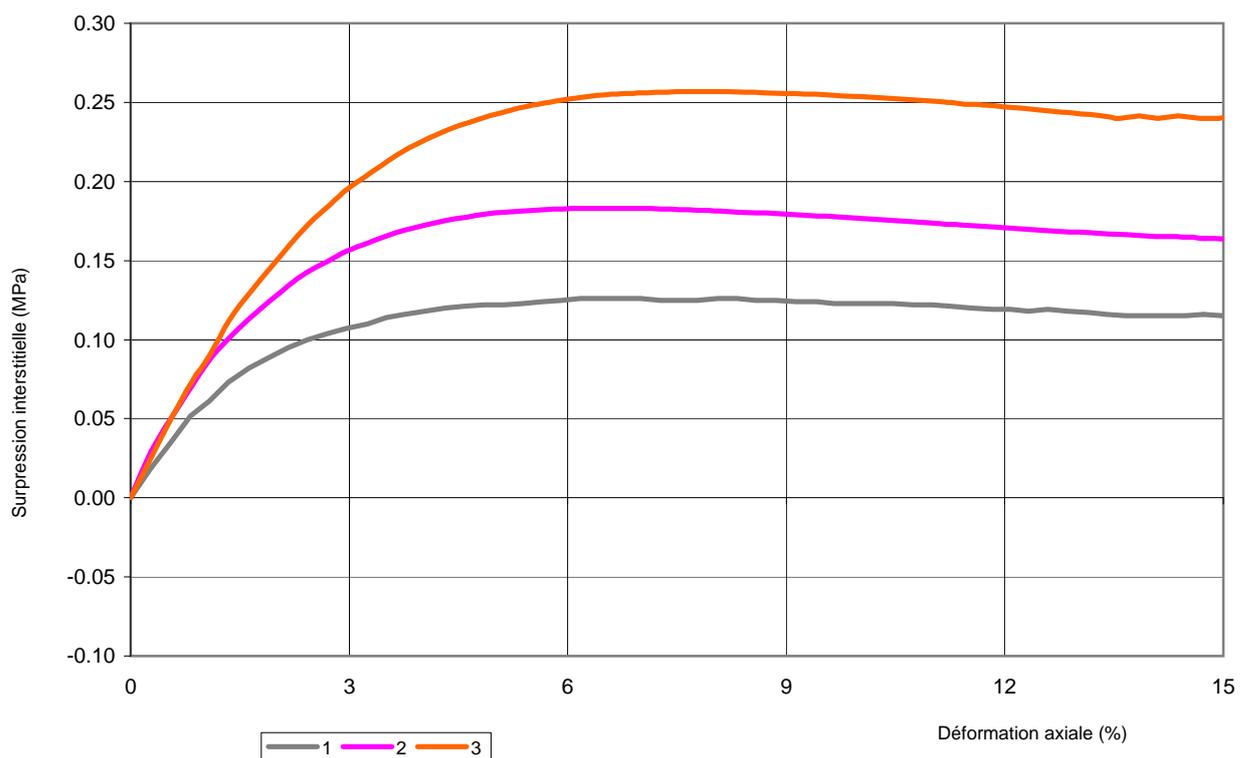
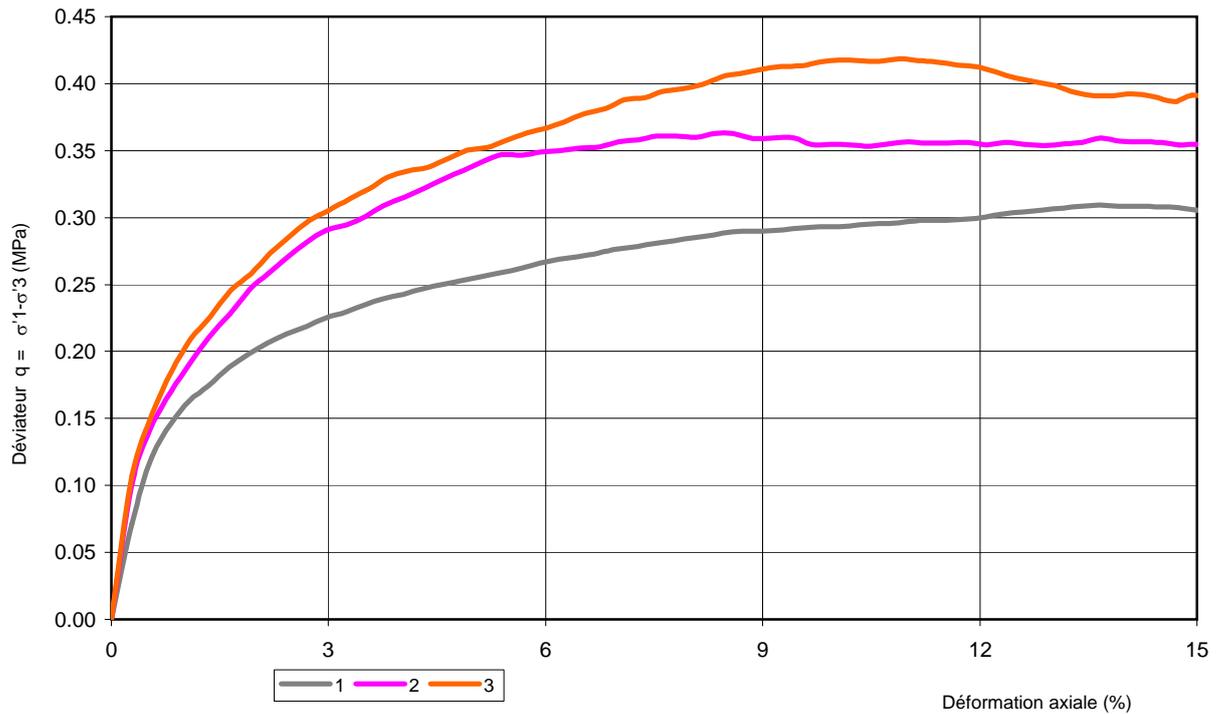
Profondeur (m) : **16.00/17.50**

Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 16.20/16.35

Nature : Argile sablo marneuse grise

$\sigma'v0 = 350$ KPa



PROCES VERBAL D'ESSAI

ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u NFP 94-074

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC1**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) : **16.00/17.50**

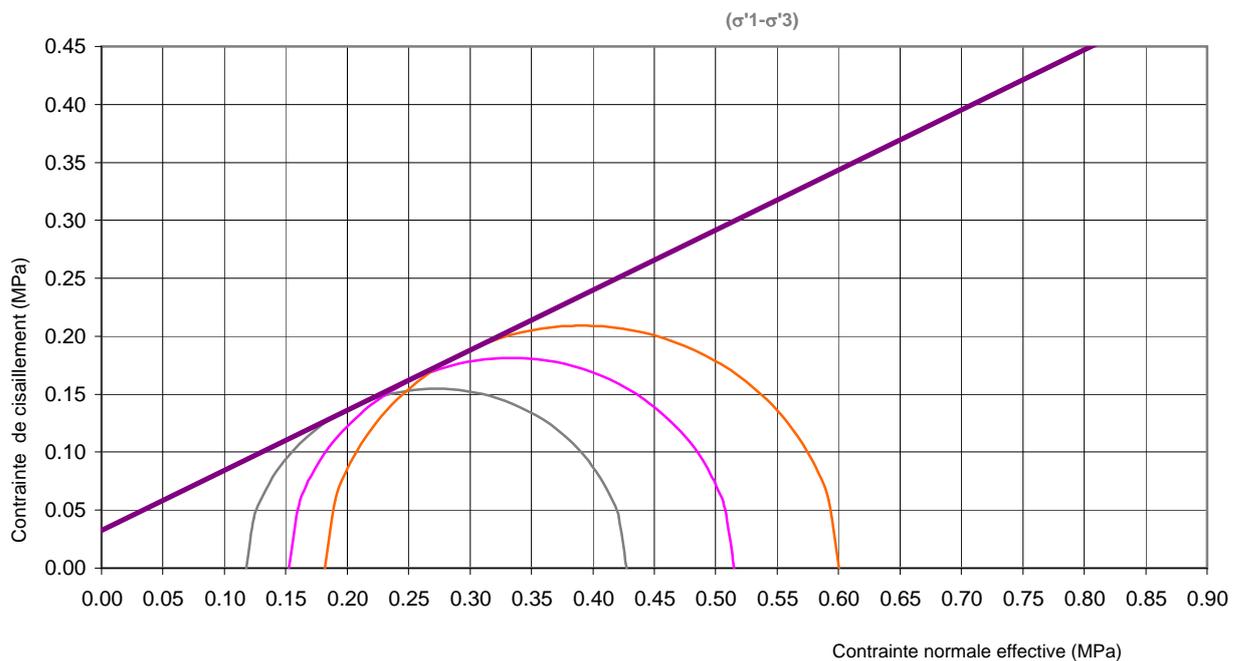
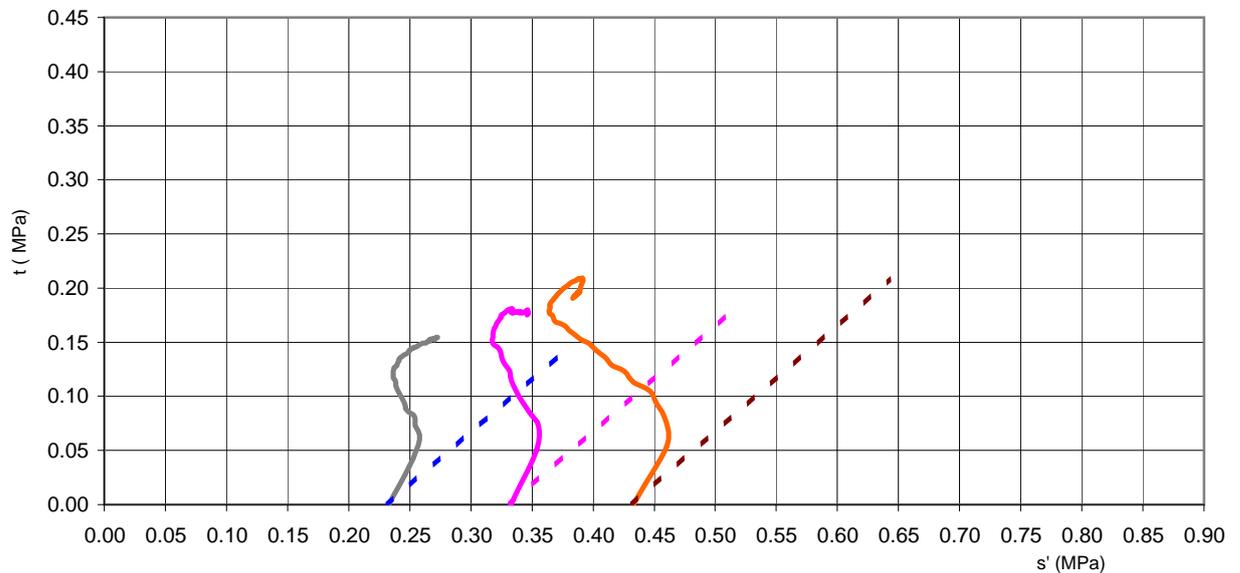
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 16.20/16.35

Nature : Argile sablo marneuse grise

σ'_{v0} = 350 KPa

Critère de rupture LAMBE					
q=	($\sigma'_1 - \sigma'_3$) max	$s' = (\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	0.273	0.334	0.391
	MPa	$t = (\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	0.155	0.181	0.209
Déformation axiale à la rupture (%)			13.66	8.34	10.89
Surpression interstitielle à la rupture (MPa)			0.115	0.181	0.251
Cohésion (KPa)			32.3		
Angle de frottement (°)			27.4		



ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u NFP 94-074

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC1**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) : **16.00/17.50**

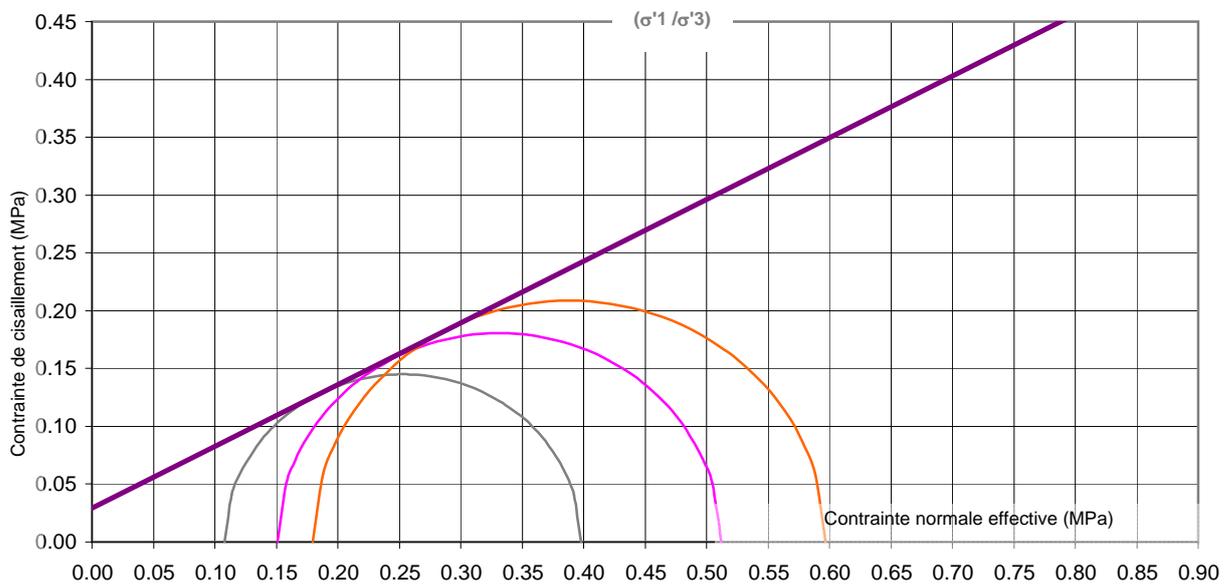
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 16.20/16.35

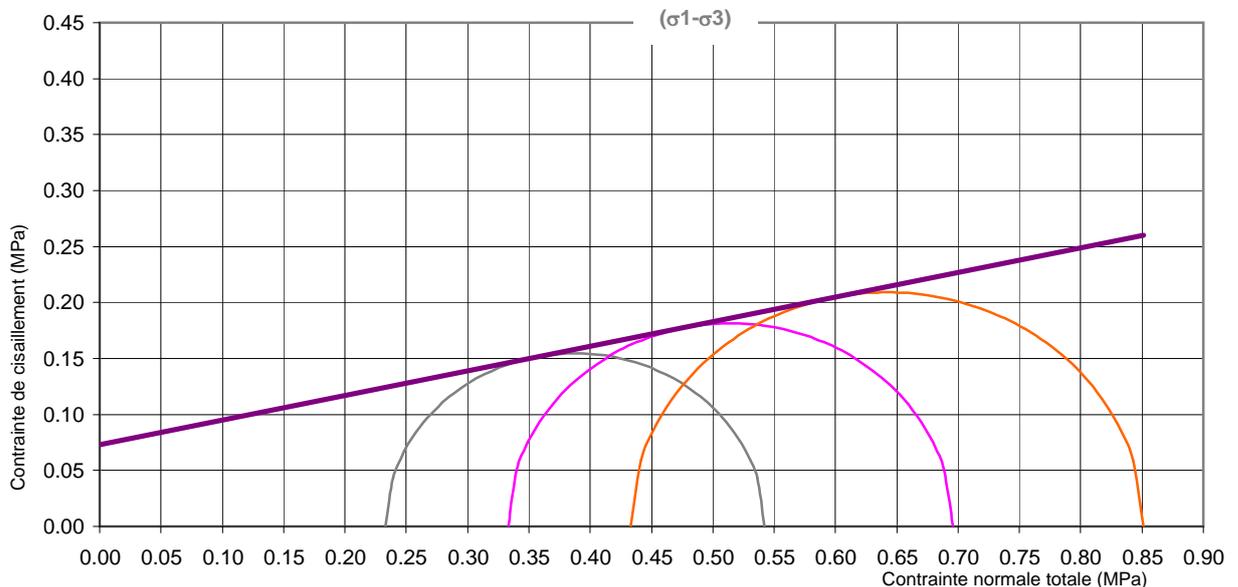
Nature : Argile sablo marneuse grise

$\sigma'v0 = 350$ KPa

Critère de rupture CAMBRIDGE					
à	$(\sigma'1 / \sigma'3)$ max MPa	$s'=(\sigma'1+\sigma'3)/2$	0.253	0.331	0.388
		$t=(\sigma'1-\sigma'3)/2$	0.145	0.181	0.209
Déformation axiale à la rupture (%)			8.85	7.53	10.06
Surpression interstitielle à la rupture (MPa)			0.125	0.182	0.254
Cohésion (KPa)			29.0		
Angle de frottement (°)			28.1		



q=	$(\sigma1 - \sigma3)$ max MPa	$s'=(\sigma1+\sigma3)/2$	0.388	0.514	0.642
		$t=(\sigma1-\sigma3)/2$	0.155	0.181	0.209
Déformation axiale à la rupture (%)			13.66	8.34	10.89
Cohésion Ccu (KPa)			73.2		
Angle de frottement Φ cu (°)			12.4		



ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u NFP 94-074

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC1**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) : **16.00/17.50**

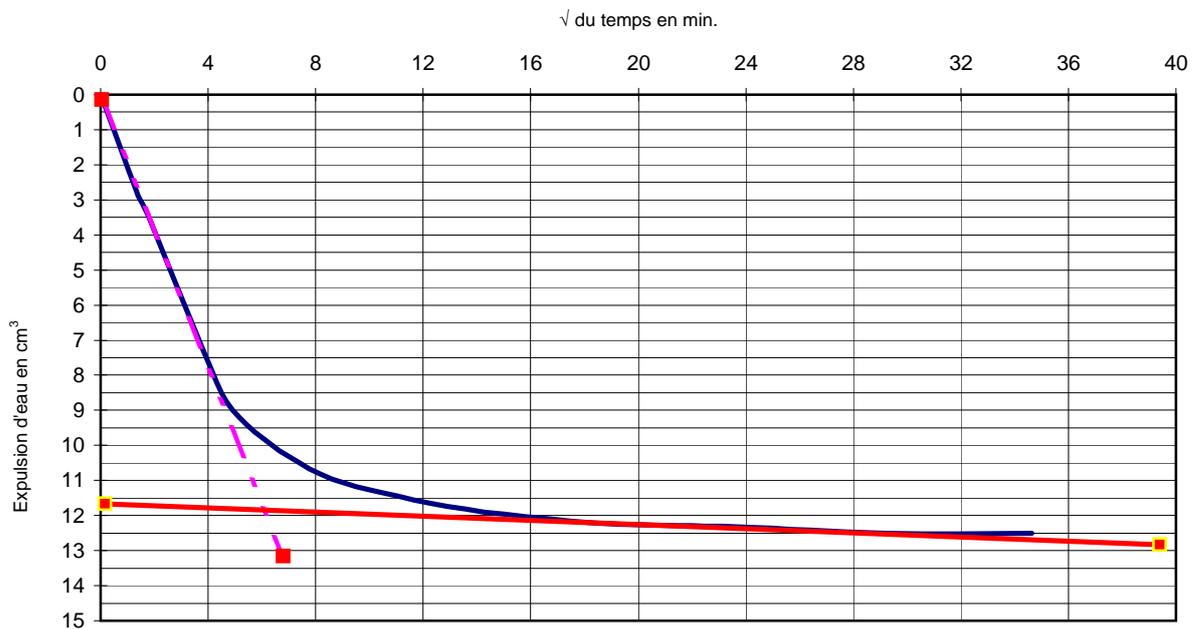
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 16.20/16.35

Nature : Argile sablo marneuse grise

$\sigma'v0 = 350$ KPa

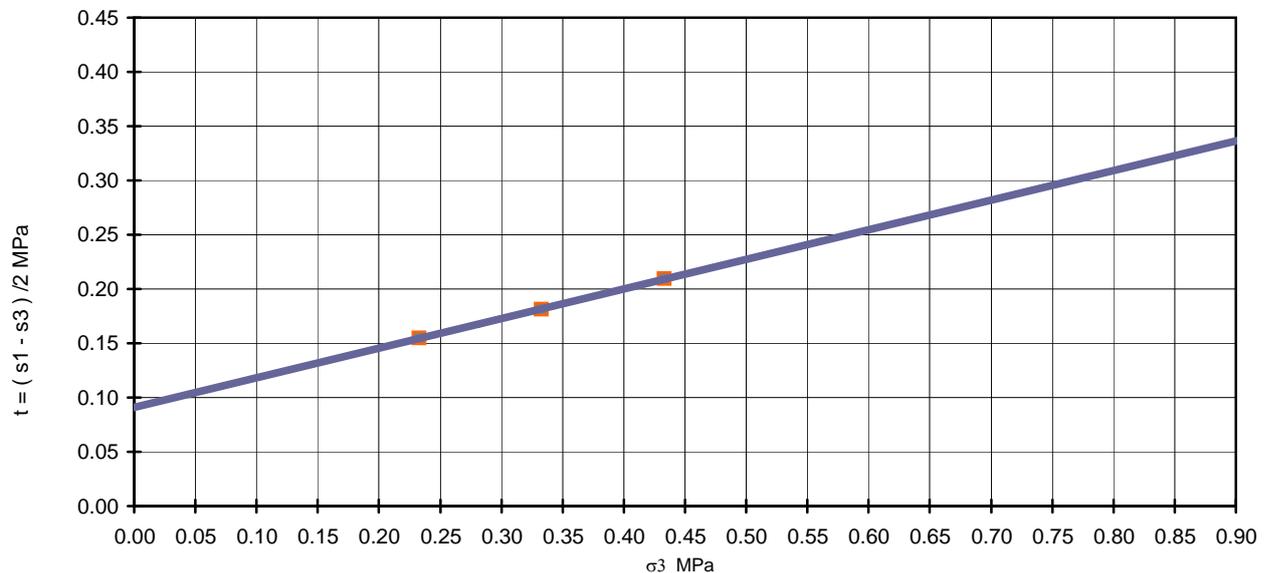
ΔH à la rupture présumé (%)	5	Mode de rupture		
T_{100} (min.) de la plus forte contrainte	37.3	Cisaillement	Cisaillement	Cisaillement
Vitesse maximale calculée (μ/min)	40.8	Vitesse d'écrasement (μ/min)		40



λ_{cu} : Augmentation de cohésion non drainé en fonction de contraintes consolidation

0.27

$y = 0.2726x + 0.0909$



PROCES VERBAL D'ESSAI

ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u				NFP 94-074
N° du dossier : 22.2457		N° Sondage : SC2		
Client : ECR CAEN		Profondeur (m) : 4.50/6.00		
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN		Prélevé (m) : 5.10/5.25		
Nature : Argile marneuse gris-noir , matières organiques		$\sigma'v0 = 120$ KPa		
Valeurs à l'état initial	1	2	3	Nappe (m) =
Hauteur (mm)	70.0	70.0	70.0	
Diamètre (mm)	35.0	35.0	35.0	
Teneur en eau (%)	44.2	42.1	43.9	
Masse volumique sèche (g/cm³)	1.17	1.18	1.19	
Masse volumique des particules solides estimée (g/cm³)	2.70	2.70	2.70	
Degré de saturation (%)	91.7	88.8	94.0	
Contre pression (MPa)	0.400	0.400	0.400	
Facteur de Skempton : B			0.93	
Contrainte effective de consolidation (MPa)	0.080	0.180	0.280	
Durée de consolidation : t100 (min)			22.0	
Valeurs à l'état consolidé				
Masse volumique sèche (g/cm³)	1.20	1.22	1.24	
Hauteur (mm)	68.3	68.0	67.3	
Volume (cm³)	65.7	65.4	64.7	
Teneur en eau (%)	46.1	45.1	43.5	
Degré de saturation (%)	100.0	100.0	100.0	



ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u NFP 94-074

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC2**

Client : ECR CAEN

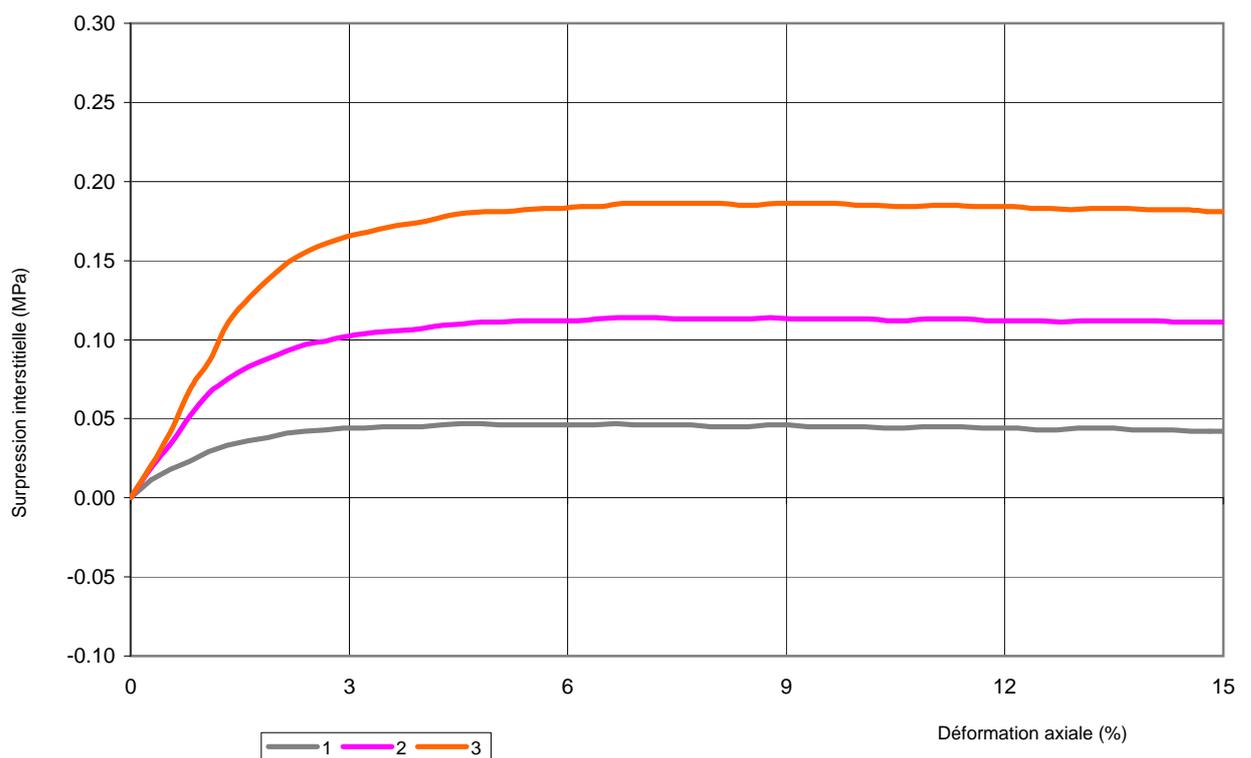
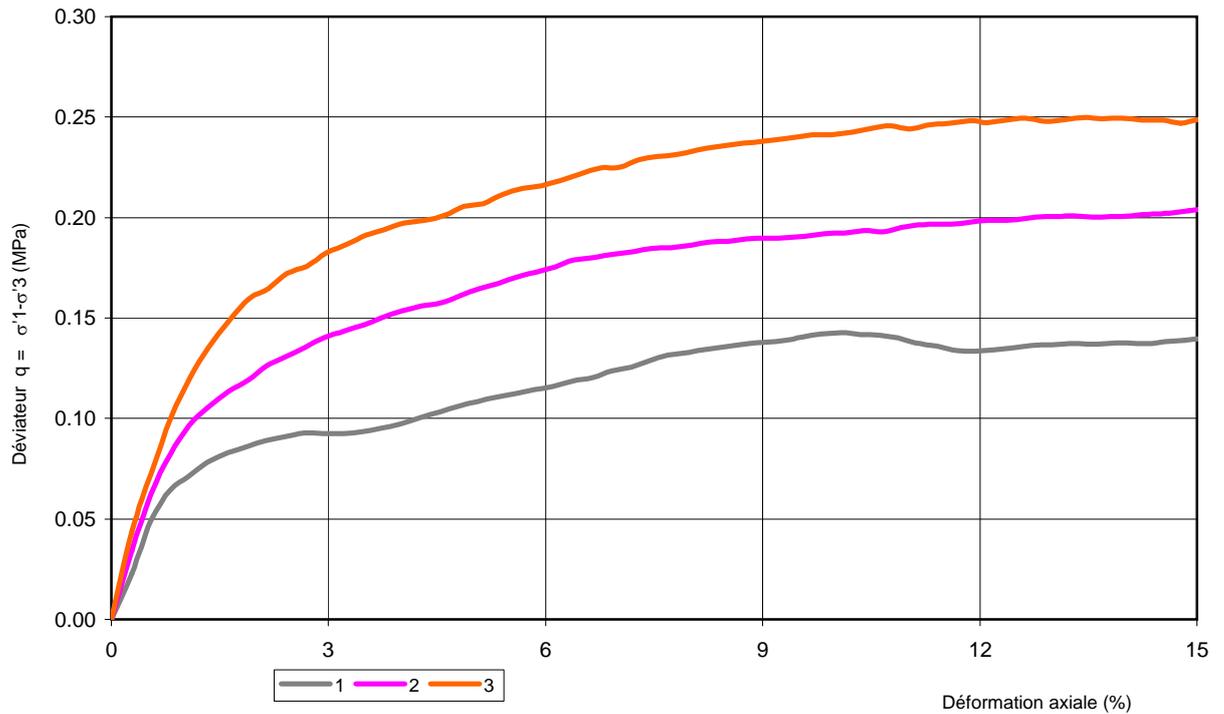
Profondeur (m) : **4.50/6.00**

Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 5.10/5.25

Nature : Argile marneuse gris-noir , matières organiques

$\sigma'v0 = 120$ KPa



PROCES VERBAL D'ESSAI

ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u NFP 94-074

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC2**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) : **4.50/6.00**

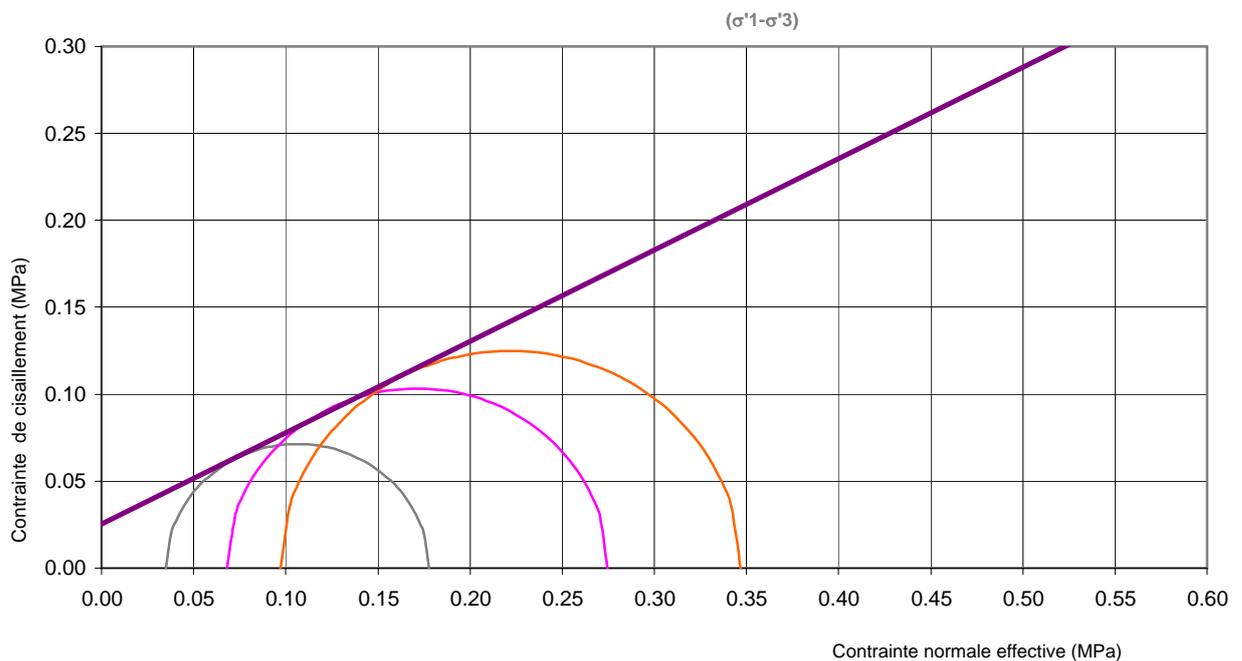
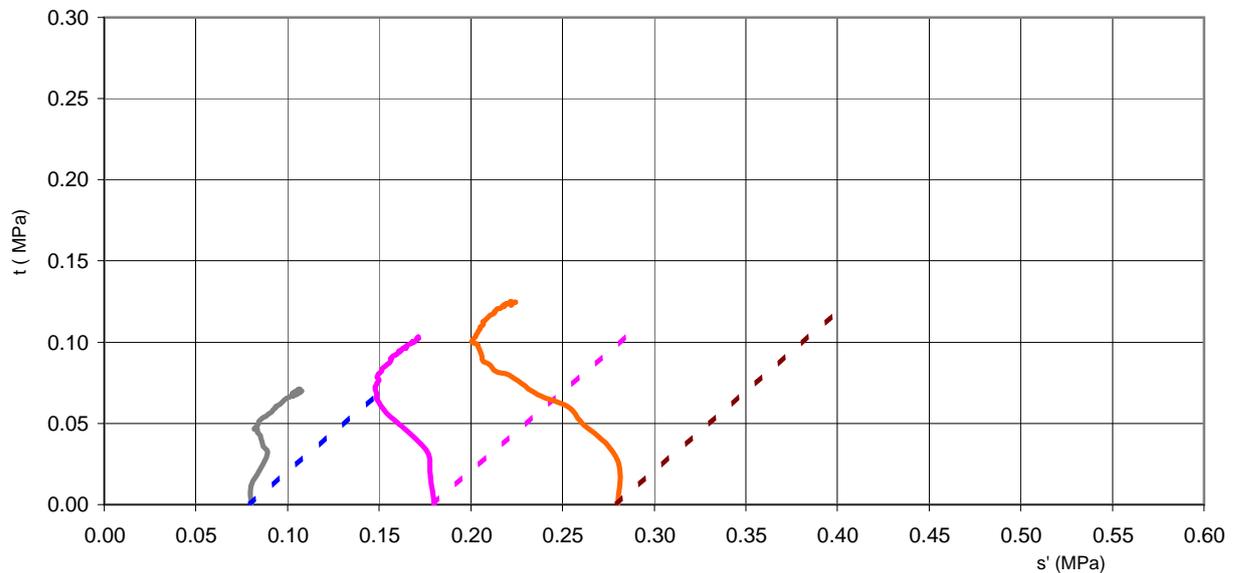
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 5.10/5.25

Nature : Argile marneuse gris-noir , matières organiques

σ'_{v0} = 120 KPa

Critère de rupture LAMBE					
q=	($\sigma'_1 - \sigma'_3$) max	$s' = (\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	0.106	0.171	0.222
	MPa	$t = (\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	0.071	0.103	0.125
Déformation axiale à la rupture (%)			10.08	15.70	13.44
Surpression interstitielle à la rupture (MPa)			0.045	0.112	0.183
Cohésion (KPa)			25.3		
Angle de frottement (°)			27.7		



ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u NFP 94-074

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC2**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) : **4.50/6.00**

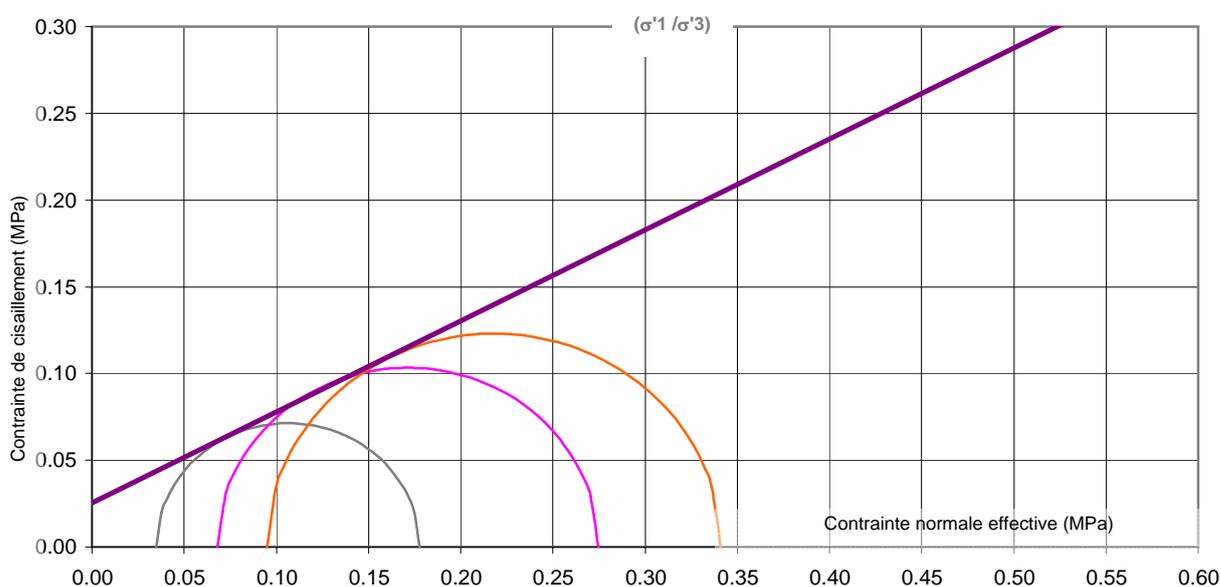
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 5.10/5.25

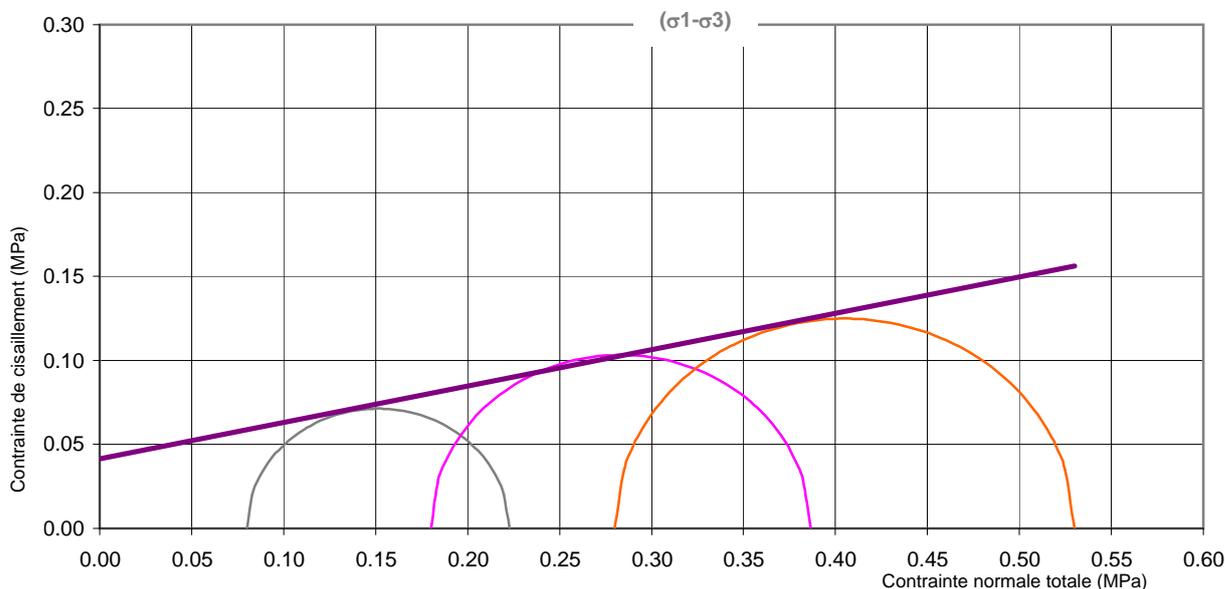
Nature : Argile marneuse gris-noir , matières organiques

$\sigma'v0 = 120$ KPa

Critère de rupture CAMBRIDGE					
à	$(\sigma' 1 / \sigma' 3)$ max MPa	$s'=(\sigma'1+\sigma'3)/2$	0.106	0.171	0.218
		$t=(\sigma'1-\sigma'3)/2$	0.071	0.103	0.123
Déformation axiale à la rupture (%)			10.08	15.70	11.27
Surpression interstitielle à la rupture (MPa)			0.045	0.112	0.185
Cohésion (KPa)			25.4		
Angle de frottement (°)			27.7		



q=	$(\sigma 1 - \sigma 3)$ max MPa	$s'=(\sigma1+\sigma3)/2$	0.151	0.283	0.405
		$t=(\sigma1-\sigma3)/2$	0.071	0.103	0.125
Déformation axiale à la rupture (%)			10.08	15.70	13.44
Cohésion Ccu (KPa)			41.5		
Angle de frottement Φ cu (°)			12.2		



ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u NFP 94-074

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC1**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) : **16.00/17.50**

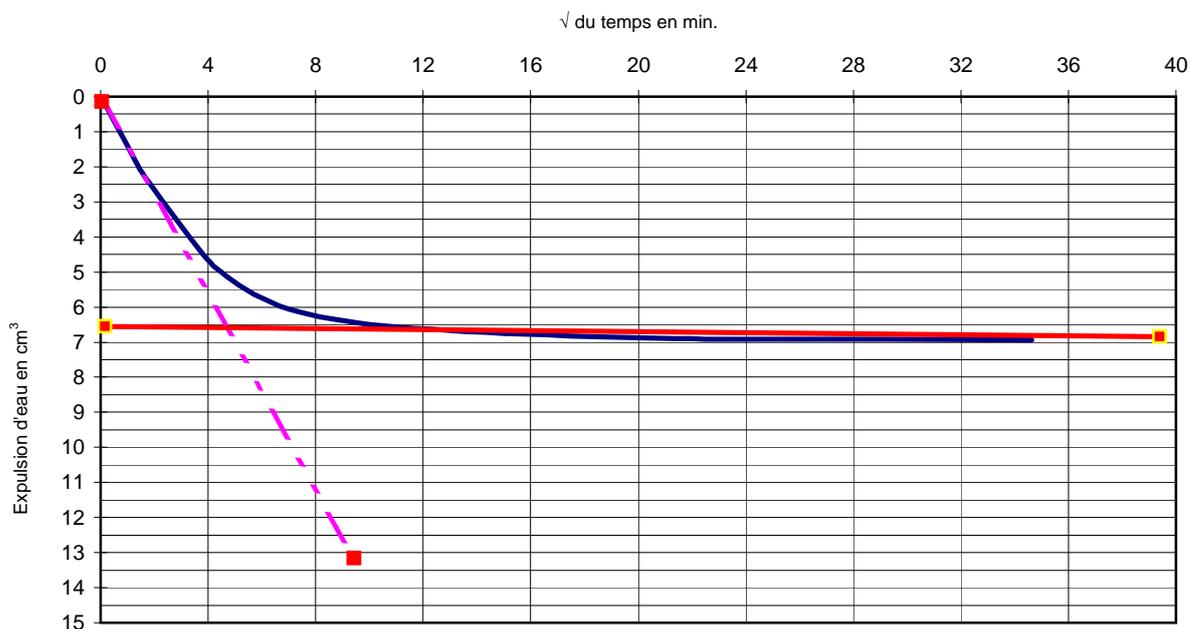
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 16.20/16.35

Nature : Argile sablo marneuse grise

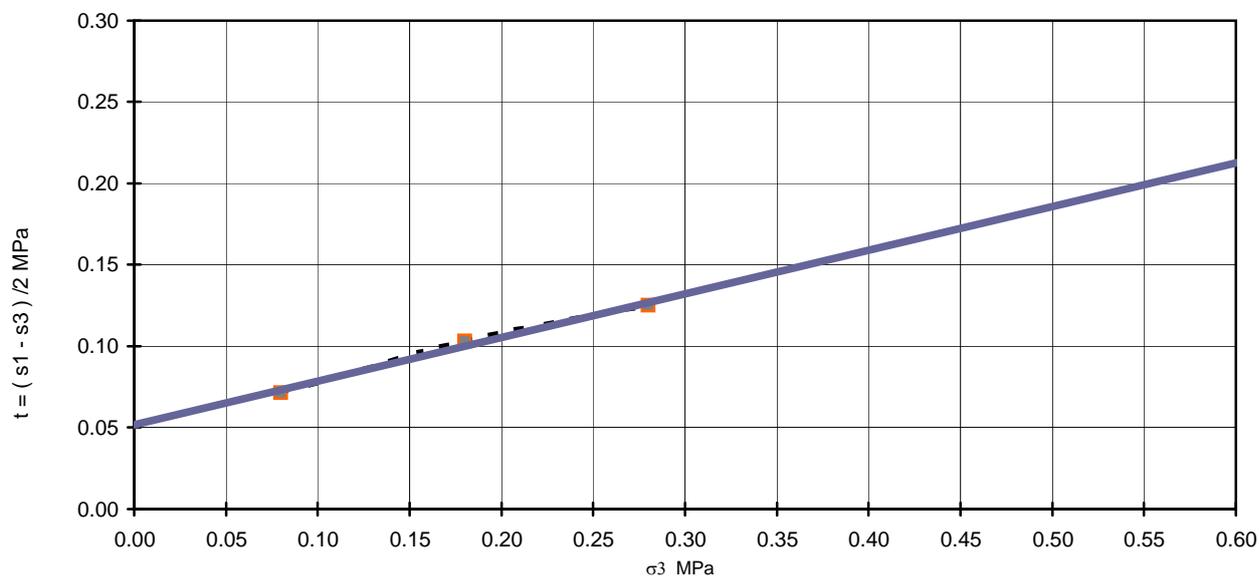
$\sigma'v0 = 350$ KPa

ΔH à la rupture présumé (%)	5	Mode de rupture		
T_{100} (min.) de la plus forte contrainte	22.0	Cisaillement	Cisaillement	Cisaillement
Vitesse maximale calculée (μ /min)	69.1	Vitesse d'écrasement (μ /min)		40



λ_{cu} : Augmentation de cohésion non drainé en fonction de contraintes consolidation	0.27
---	------

$y = 0.2681x + 0.0516$



PROCES VERBAL D'ESSAI

ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u				NFP 94-074
N° du dossier : 22.2457		N° Sondage : SC3		
Client : ECR CAEN		Profondeur (m) : 10.50/12.00		
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN		Prélevé (m) : 10.70/11.00		
Nature : Argile sableuse à élément calcaire grise		$\sigma'v0 = 240$ KPa		
Valeurs à l'état initial	1	2	3	Nappe (m) =
Hauteur (mm)	70.0	70.0	70.0	
Diamètre (mm)	35.0	35.0	35.0	
Teneur en eau (%)	17.2	17.0	17.9	
Masse volumique sèche (g/cm ³)	1.74	1.75	1.76	
Masse volumique des particules solides estimée (g/cm ³)	2.70	2.70	2.70	
Degré de saturation (%)	84.3	84.5	90.4	
Contre pression (MPa)	0.400	0.400	0.400	
Facteur de Skempton : B			0.92	
Contrainte effective de consolidation (MPa)	0.160	0.260	0.360	
Durée de consolidation : t100 (min)			19.8	
Valeurs à l'état consolidé				
Masse volumique sèche (g/cm ³)	1.77	1.79	1.81	
Hauteur (mm)	68.9	68.2	67.9	
Volume (cm ³)	66.3	65.6	65.3	
Teneur en eau (%)	19.5	18.7	18.1	
Degré de saturation (%)	100.0	100.0	100.0	



ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u NFP 94-074

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC3**

Client : ECR CAEN

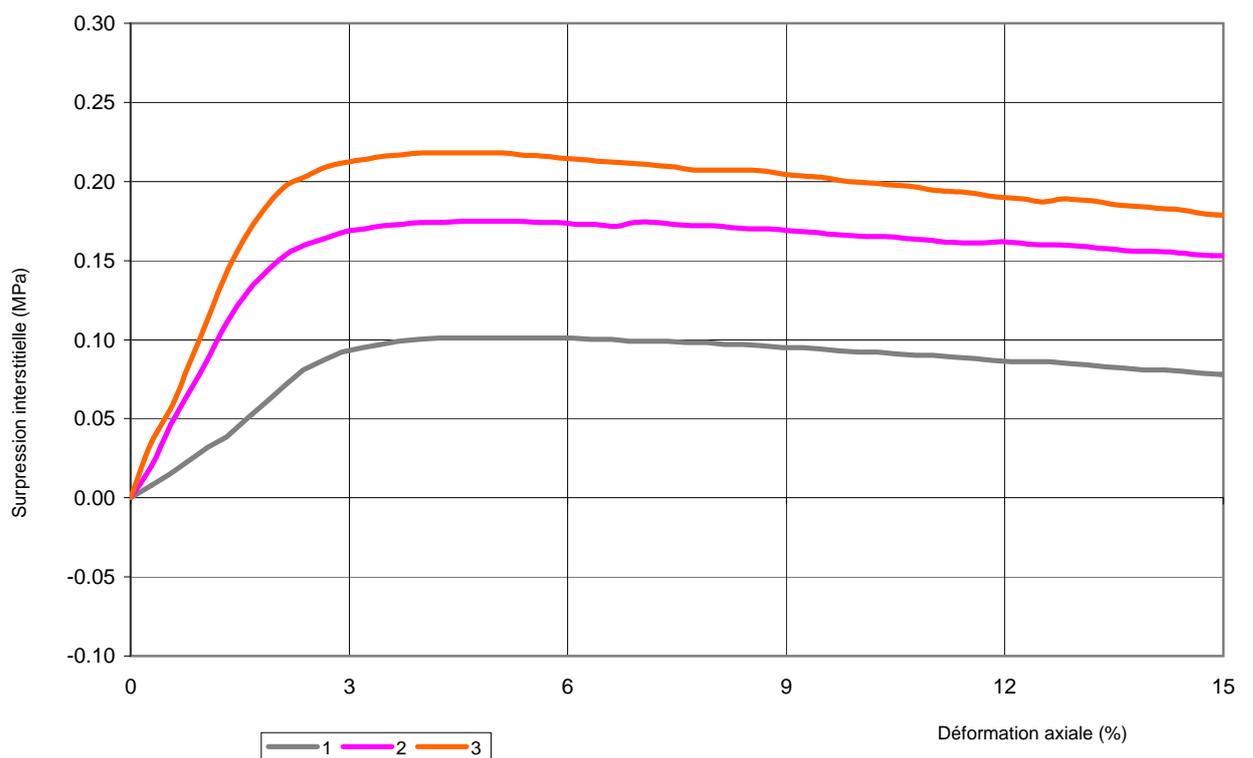
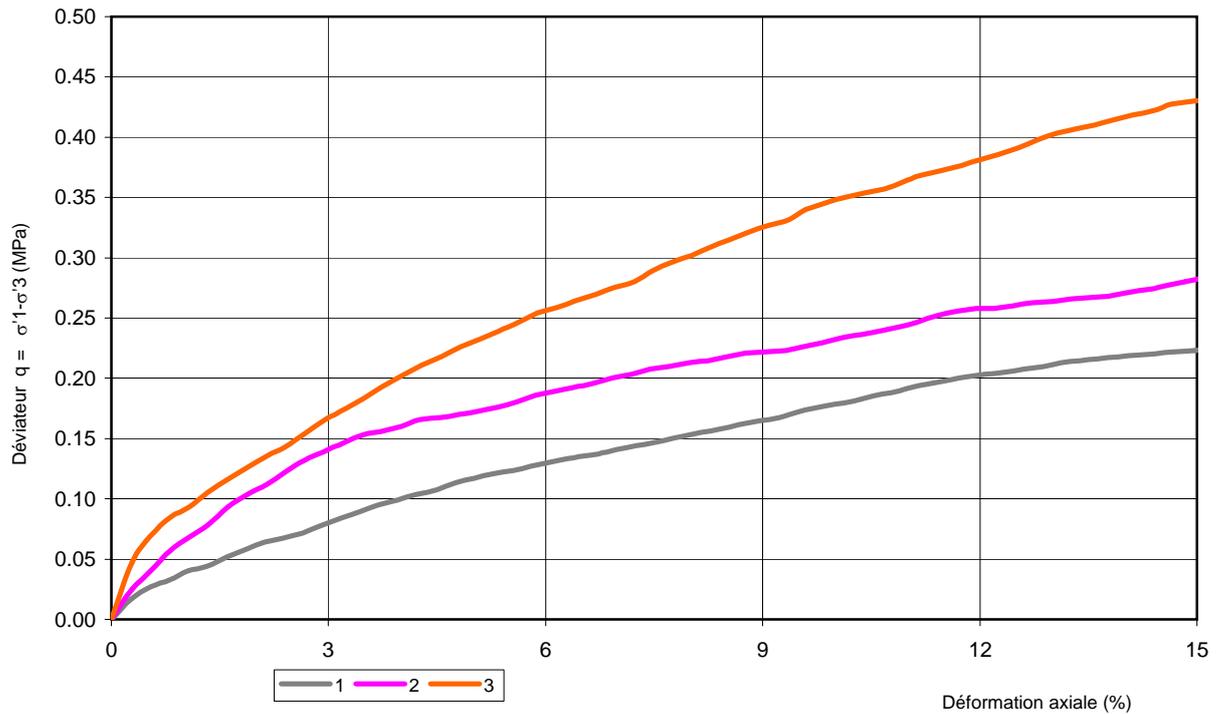
Profondeur (m) : **10.50/12.00**

Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 10.70/11.00

Nature : Argile sableuse à élément calcaire grise

$\sigma'v0 = 240$ KPa



PROCES VERBAL D'ESSAI

ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u NFP 94-074

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC3**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) : **10.50/12.00**

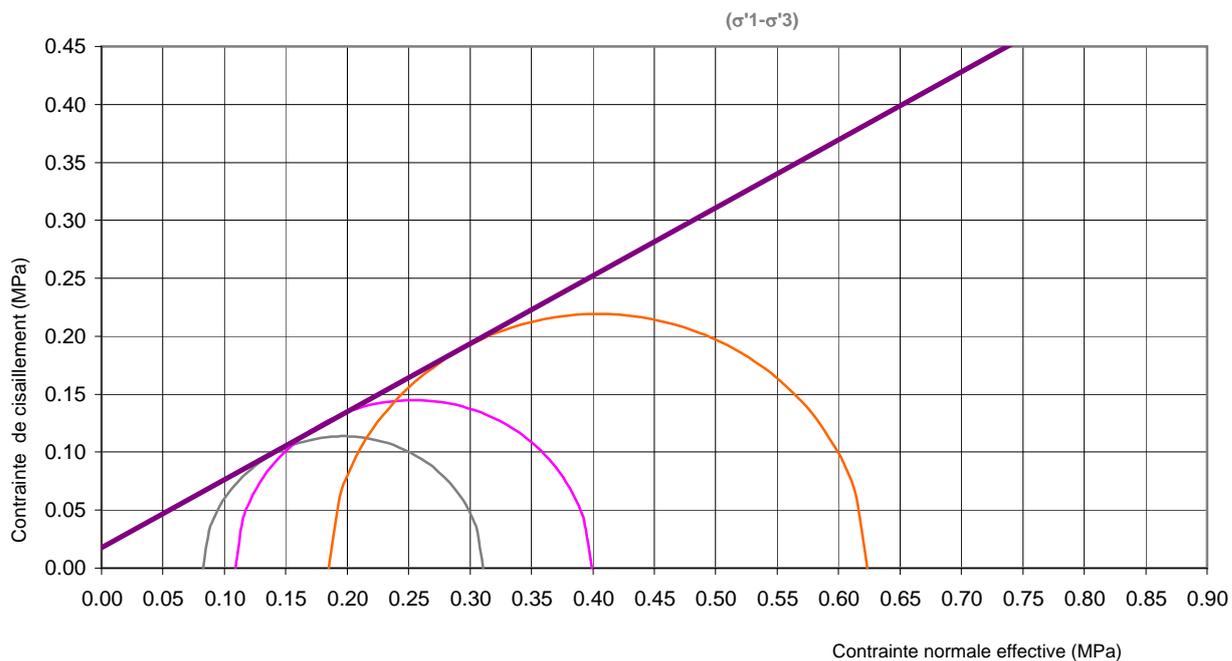
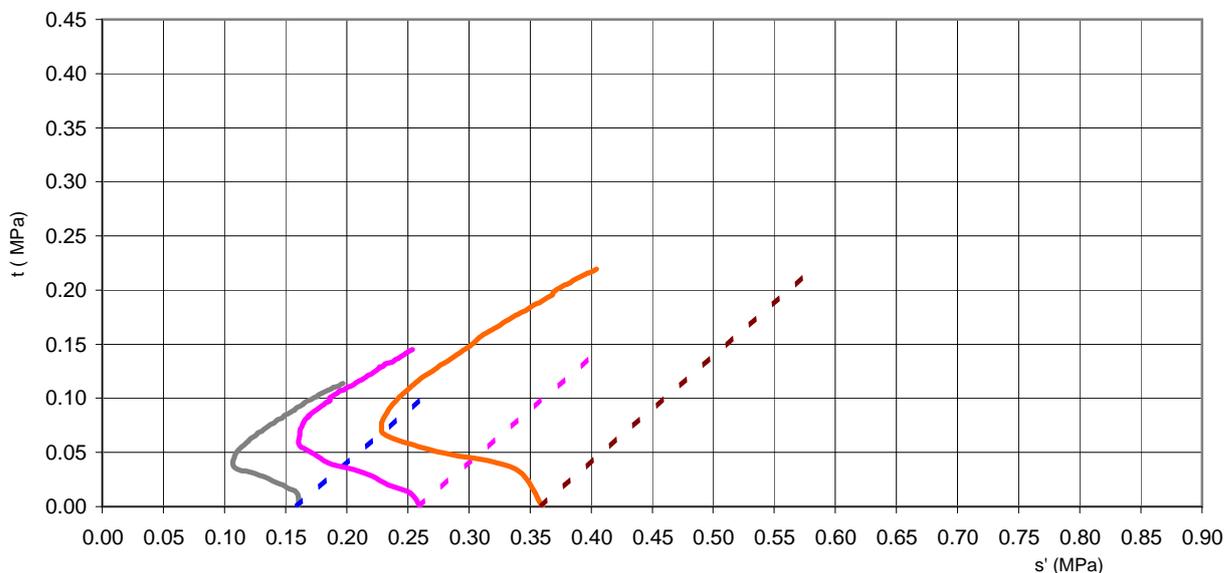
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 10.70/11.00

Nature : Argile sableuse à élément calcaire grise

σ'_{v0} = 240 KPa

Critère de rupture LAMBE					
q=	($\sigma'_1 - \sigma'_3$) max	$s' = (\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	0.197	0.254	0.404
	MPa	$t = (\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	0.114	0.145	0.219
Déformation axiale à la rupture (%)			15.49	15.65	15.72
Surpression interstitielle à la rupture (MPa)			0.077	0.151	0.175
Cohésion (KPa)			17.6		
Angle de frottement (°)			30.4		



ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u NFP 94-074

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC3**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) : **10.50/12.00**

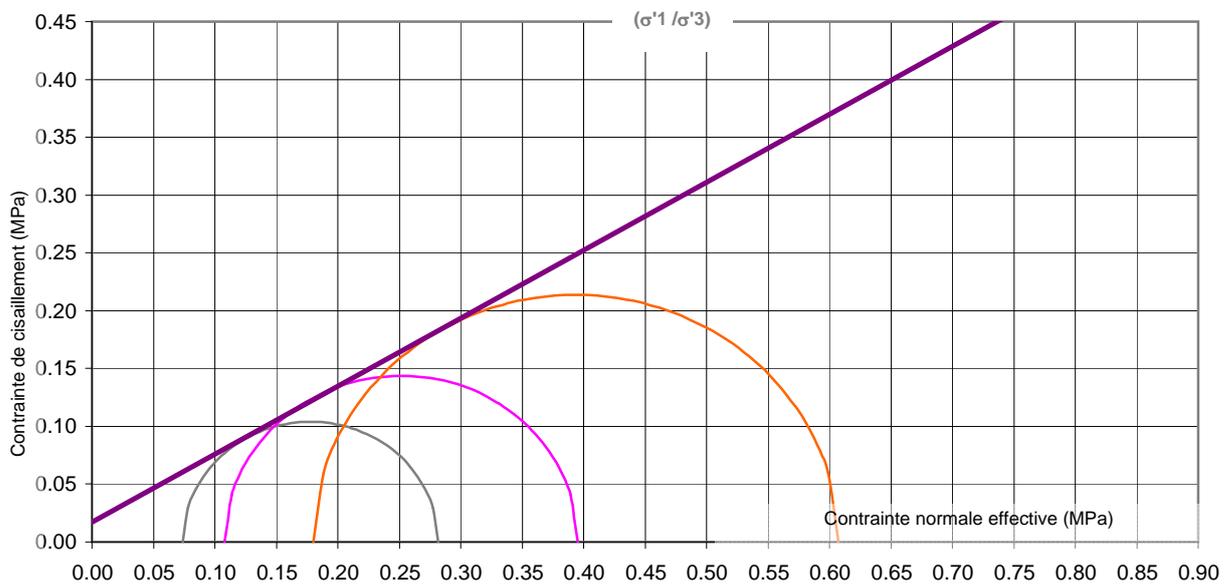
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 10.70/11.00

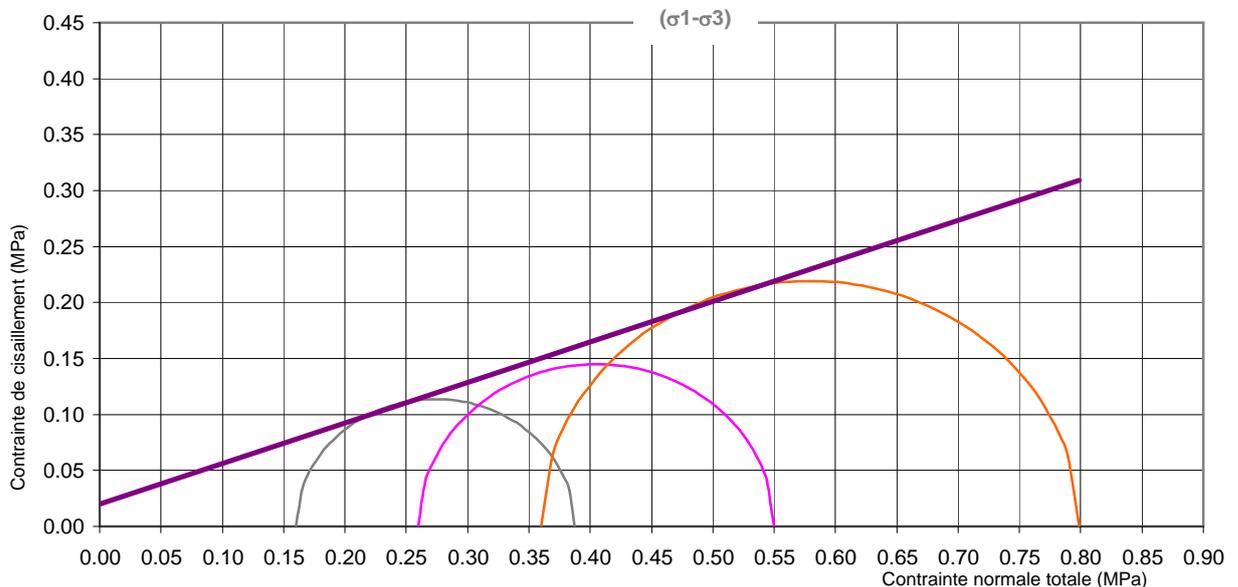
Nature : Argile sableuse à élément calcaire grise

$\sigma'v0 = 240$ KPa

Critère de rupture CAMBRIDGE					
à	$(\sigma'1 / \sigma'3) \text{ max}$ MPa	$s'=(\sigma'1+\sigma'3)/2$	0.178	0.252	0.394
		$t=(\sigma'1-\sigma'3)/2$	0.104	0.144	0.214
Déformation axiale à la rupture (%)			12.61	15.37	14.64
Surpression interstitielle à la rupture (MPa)			0.086	0.152	0.180
Cohésion (KPa)			17.0		
Angle de frottement (°)			30.4		



q=	$(\sigma1 - \sigma3) \text{ max}$ MPa	$s'=(\sigma1+\sigma3)/2$	0.274	0.405	0.579
		$t=(\sigma1-\sigma3)/2$	0.114	0.145	0.219
Déformation axiale à la rupture (%)			15.49	15.65	15.72
Cohésion Ccu (KPa)			20.2		
Angle de frottement Φ cu (°)			19.9		



ESSAI TRIAXIAL CONSOLIDE NON DRAINE CU + u NFP 94-074

N° du dossier : 22.2457

N° Sondage : **SC3**

Client : ECR CAEN

Profondeur (m) : **10.50/12.00**

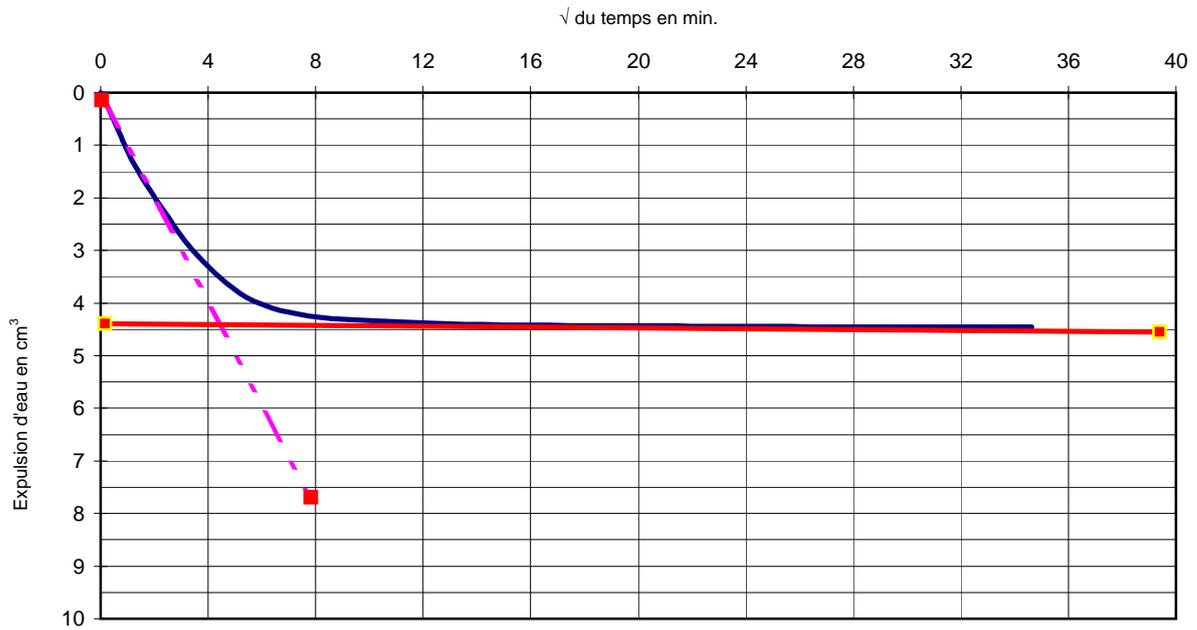
Nom du chantier : 1404050 Normandie Aménagement CAEN

Prélevé (m) : 10.70/11.00

Nature : Argile sableuse à élément calcaire grise

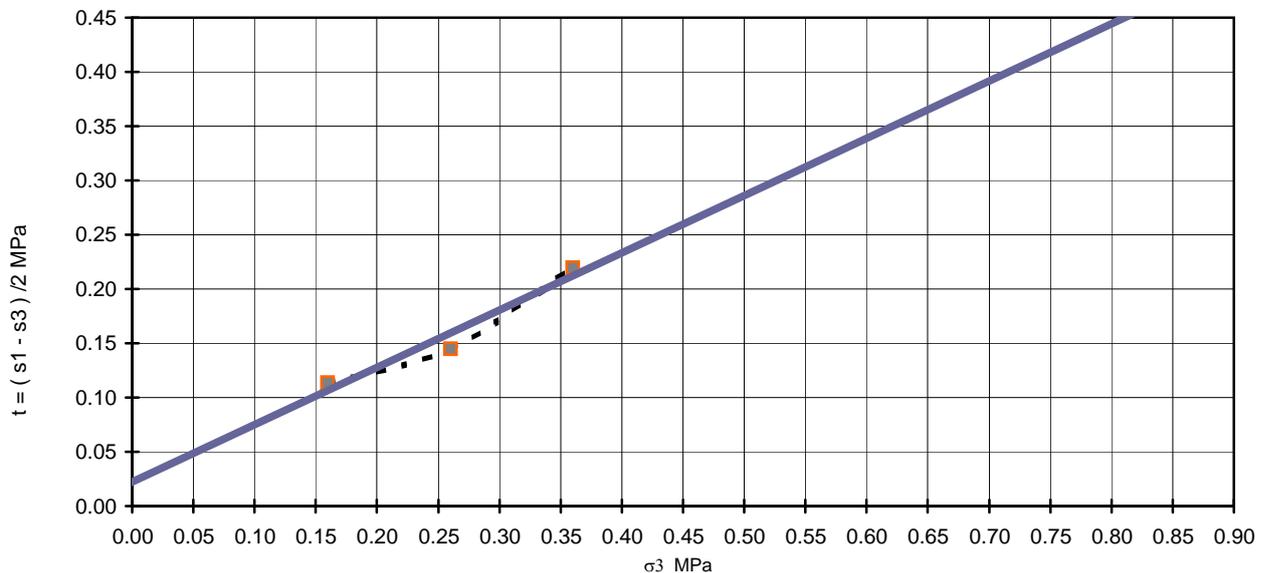
$\sigma'v0 = 240$ KPa

ΔH à la rupture présumé (%)	5	Mode de rupture		
T_{100} (min.) de la plus forte contrainte	19.8	Cisaillement	Cisaillement	Cisaillement
Vitesse maximale calculée (μ/min)	76.9	Vitesse d'écrasement (μ/min)		40



λ_{cu} : Augmentation de cohésion non drainé en fonction de contraintes consolidation **0.53**

$y = 0.5276x + 0.0222$





SGS Environmental Analytics B.V.

Adresse de correspondance

99-101 avenue Louis Roche · F-92230 Gennevilliers

Tel.: +33 (0)155 90 52 50 · Fax: +33 (0)155 90 52 51

www.sgs.com/analytics-fr

Rapport d'analyse

ECR Environnement Caen
Anne-Lise LEPAUVRE
130 avenue Parc PA des Rives de L'O
F-14790 VERNON

Page 1 sur 6

Votre nom de Projet : Caen Cascades
Votre référence de Projet : 1404050
Référence du rapport SGS : 13696134, version: 1.

Rotterdam, 25-07-2022

Cher(e) Madame/ Monsieur,

Ce rapport contient les résultats des analyses effectuées pour votre projet 1404050.

Les analyses ont été réalisées en accord avec votre commande. Les résultats ne se rapportent qu' aux échantillons analysés et tels qu' ils ont été reçus par SGS. Le rapport reprend les descriptions des échantillons, la date de prélèvement (si fournie), le nom de projet et les analyses que vous avez indiqués sur le bon de commande. SGS n'est pas responsable des données fournies par le client.

Ce rapport est constitué de 6 pages dont chromatogrammes si prévus, références normatives, informations sur les échantillons. Dans le cas d'une version 2 ou plus élevée, toute version antérieure n'est pas valable. Toutes les pages font partie intégrante de ce rapport, et seule une reproduction de l'ensemble du rapport est autorisée.

En cas de questions et/ou remarques concernant ce rapport, nous vous prions de contacter notre Service Client.

Toutes les analyses sont réalisées par SGS Environmental Analytics B.V., Steenhouwerstraat 15, Rotterdam, Pays Bas. Les analyses sous-traitées sont indiquées sur le rapport.

Veuillez recevoir, Madame/ Monsieur, l'expression de nos cordiales salutations.

Jaap-Willem Hutter
Technical Director



Rapport d'analyse

ECR Environnement Caen

Anne-Lise LEPAUVRE

Projet Caen Cascades

Référence du projet 1404050

Réf. du rapport 13696134 - 1

Date de commande 28-06-2022

Date de début 29-06-2022

Rapport du 25-07-2022

Code	Matrice	Réf. échantillon
001	Sol	SC3 (6 à 6,2 m)

Analyse	Unité	Q	001
---------	-------	---	-----

*ANALYSES SOUS-TRAITÉES*Aggresivite beton - pack
complet

voir annexe

Paraphe : 

Rapport d'analyse

ECR Environnement Caen

Anne-Lise LEPAUVRE

Projet Caen Cascades

Référence du projet 1404050

Réf. du rapport 13696134 - 1

Date de commande 28-06-2022

Date de début 29-06-2022

Rapport du 25-07-2022

Code	Matrice	Réf. échantillon
002	Eau souterraine	PZ1

Analyse	Unité	Q	002
pH		Q	7.2
température pour mes. pH	°C		20.9
<i>METAUX</i>			
magnésium	µg/l	Q	22000
<i>COMPOSES INORGANIQUES</i>			
ammonium	mg/l	Q	2.9
ammonium	mgN/l	Q	2.2
CO2 agressif	mg CO2/l		<5
Alcalinité (CaCO3)	mmol/l		12
Titre alcalimétrique complet	mmol/l	Q	14
<i>AUTRES ANALYSES CHIMIQUES</i>			
sulfate	mg/l	Q	67
<i>DEGRE D'AGRESSIVITE</i>			
Degré d'agressivité			< XA1: Non agressif vis-à-vis des bétons

Les analyses notées Q sont accréditées par le RvA.

Paraphe :



Rapport d'analyse

ECR Environnement Caen
 Anne-Lise LEPAUVRE
 Projet Caen Cascades
 Référence du projet 1404050
 Réf. du rapport 13696134 - 1

Date de commande 28-06-2022
 Date de début 29-06-2022
 Rapport du 25-07-2022

Analyse	Matrice	Référence normative
Aggressivité béton - pack complet	Sol	Analyse sous-traitée
pH	Eau souterraine	NEN-EN-ISO 10523, NF EN ISO 10523
magnésium	Eau souterraine	NEN-EN-ISO 17294-2, NF EN ISO 17294-2
ammonium	Eau souterraine	NF ISO 15923-1
ammonium	Eau souterraine	Idem
CO2 agressif	Eau souterraine	Calcul conforme à EN 13577
Alcalinité (CaCO ₃)	Eau souterraine	Méthode interne (mesure conforme à NPR 6546)
Titre alcalimétrique complet	Eau souterraine	Méthode interne (mesure NPR 6546)
sulfate	Eau souterraine	NF ISO 15923-1
Degré d'agressivité	Eau souterraine Eluat	Calcul conforme à EN 206

Code	Code barres	Date de réception	Date prélèvement	Flaconnage
001	V2389999	29-06-2022	21-06-2022	ALC201
001	V2389921	29-06-2022	21-06-2022	ALC201
002	B6269570	29-06-2022	27-06-2022	ALC207
002	T0307972	29-06-2022	27-06-2022	ALC244
002	B6269573	29-06-2022	27-06-2022	ALC207
002	R5013329	29-06-2022	27-06-2022	ALC289
002	H0746372	29-06-2022	27-06-2022	ALC208
002	B2098569	29-06-2022	27-06-2022	ALC204

Paraphe :



SGS Analytics Germany GmbH - Hauptstraße 105 - 04416 Markkleeberg

SGS Environmental Analytics B.V.
99-101 Avenue Louis Roche
92230 Gennevilliers
FRANCE

Standort Markkleeberg

Téléphone: +49-341-492899-130
Fax: +49-341-492899-333
E-mail: DE.IE.mar.info@sgs.com
Internet: www.sgs.com/analytics-de

page 1 sur 2

Date: 22.07.2022

Rapport d'essai n°: ULE-22-0071562/01-1

Numéro de commande: ULE-22-0071562

Votre commande: par écrit du 01.07.2022, P 141272

Projet: Project (13696134) Caen Cascades // 1404050 P141272
Säuregrad nach Baumann Gully + SO4 gesamt - Synlab
France

Date de réception: 04.07.2022

Heure d'arrivée: 10:00

Prélèvement par: AG

Date de prélèvement: 21.06.2022

Durée des analyses: 14.07.2022 - 22.07.2022

Type d'échantillons: Sol



Les paramètres dont la méthode n'est pas accréditée sont identifiés à l'aide d'un astérisque (*).

Sauf indication contraire, les tests ont été réalisés sur le site de l'entreprise. Les résultats de l'essai se réfèrent exclusivement aux objets examinés et au moment où l'essai a été réalisé dans le cadre des spécifications de l'essai. La divulgation des rapports d'essai aux autorités ou à d'autres organismes publics est autorisée si et dans la mesure où cela est requis par l'objectif contractuel ou prescrit par la loi. Toute publication ou reproduction des rapports d'essai, y compris des extraits, en particulier sur Internet ou à des fins publicitaires, ainsi que toute autre divulgation à des tiers ne sont autorisées qu'avec l'accord écrit préalable de la société.

Ce document a été délivré par la société conformément à ses conditions générales, consultables sur www.sgs.com/agb. Il est fait expressément référence aux limitations de responsabilité, d'exemption et de juridiction qu'elles contiennent. Ce document est un original. Si le document est transmis numériquement, il doit être considéré comme un original au sens de l'UCP 600. Nous précisons à chaque propriétaire de ce document que les informations qu'il contient reflètent uniquement les faits établis par la société à la date à laquelle la prestation a été fournie et, le cas échéant, conformément aux indications du client. La responsabilité de l'entreprise se limite au client. Ce document ne libère pas les parties menant des transactions juridiques de leurs droits et obligations existants. Toute modification, falsification ou distorsion non autorisée du contenu ou de l'apparence de ce document est illégale. Toute violation est punissable par la loi.

Le rapport d'essai a été validé électroniquement le 22.07.2022 à 15:01 heure par Annegret Renfert (Chargée de clientèle) et est valable sans signature



Référence de l'échantillon: (13696134-001) SC3 (6 à 6,2 m)

Echantillon-n°:

ULE-22-0071562-01

Analyses à réaliser

Paramètre	Unité	Résultat	Méthode
Acidité	ml/kg	19	DIN 4030-2:2008-06 (*)
Sulfate	mg/kg	640	DIN 4030-2:2008-06 (UST)

Interprétation

Classe d'exposition < XA1

L'échantillon de sol a été catégorisée selon les paramètres analysés en classe d'exposition <XA1 (chimiquement légèrement agressif).

Il est évaluée comme non agressif vis-à-vis du béton.

La classification se fait sans tenir compte de l'incertitude de mesure.

(*) - méthode non accréditée;(UST) - Verfahren durchgeführt am Standort Fellbach

Annexe 7

Résultats des essais en laboratoire réalisés lors de la mission G2 AVP complémentaire n°1405127







PROCES-VERBAL D'ESSAI

TENEUR EN CARBONATE NFP 94.048

N° du dossier : 24.3316	N° Sondage : SC4, SC5, SC6, SC7, SC8
Client : ECR CAEN	Profondeur (m) :
Nom du chantier : 1405127 SCCV ROSA PARKS	Prélevé (m) :
Nature : Calcaire , marne indurée	Réception : 04/04/2024

Sondage et Profondeur (m)	Teneur en eau				Masse d'échantillon		Volume gaz CO2		% Ca CO3		% Ca CO3 moyenne
	Pth (g)	Pts (g)	Tare (g)	W (%)	m1 (g)	m2 (g)	VB1 (cm3)	VB2 (cm3)			
SC4 19.50	80.95	77.63	31.21	7.2	0.91	0.90	182	178	81.9	81.0	81.5
SC4 23.50	59.59	56.15	30.38	13.3	0.90	0.89	181	180	82.4	82.8	82.6
SC4 27.50	53.51	50.94	28.71	11.6	0.82	0.80	185	190	92.4	97.0	94.7
SC4 31.50	54.47	52.69	30.62	8.1	0.80	0.83	174	168	89.1	82.9	86.0
SC4 35.50	61.98	60.51	28.87	4.6	0.88	0.86	169	159	78.7	75.7	77.2
SC5 19.50	71.05	65.88	31.04	14.8	0.90	0.91	185	183	84.2	82.4	83.3
SC5 23.50	73.44	67.25	30.91	17.0	0.82	0.82	190	182	94.9	90.9	92.9
SC5 27.50	80.26	74.61	29.57	12.5	0.84	0.83	175	181	85.3	89.3	87.3
SC5 31.50	56.73	54.44	29.52	9.2	0.82	0.86	179	184	89.4	87.6	88.5
SC5 35.50	57.26	53.22	30.09	17.5	0.81	0.81	175	173	88.5	87.5	88.0
SC6 19.50	66.56	58.78	29.02	26.1	0.83	0.82	174	168	85.9	83.9	84.9
SC6 23.50	63.38	57.52	29.17	20.7	0.86	0.86	181	169	86.2	80.5	83.3
SC6 27.50	57.03	55.18	31.02	7.7	0.95	0.96	178	172	76.7	73.4	75.1
SC6 31.50	66.01	62.63	30.91	10.7	1.00	1.02	195	190	79.9	76.3	78.1
SC6 35.50	86.19	77.48	30.85	18.7	1.01	1.02	175	186	71.0	74.7	72.8
SC7 19.50	50.46	47.28	33.62	23.3	0.85	0.83	174	178	83.8	87.8	85.8
SC7 23.50	57.13	55.24	28.98	7.2	0.88	0.84	165	169	76.8	82.4	79.6
SC7 27.50	61.63	58.47	28.35	10.5	0.96	0.92	168	164	71.7	73.0	72.3
SC7 31.50	73.69	69.38	31.46	11.4	0.90	0.88	175	182	79.6	84.7	82.2
SC7 34.50	55.84	53.68	29.25	8.8	0.91	0.90	174	178	78.3	81.0	79.7
SC8 17.00	41.17	40.28	30.36	9.0	0.93	0.91	162	168	71.3	75.6	73.5
SC8 21.00	59.24	54.33	28.32	18.9	0.89	0.88	165	172	75.9	80.0	78.0
SC8 25.00	58.34	55.01	30.22	13.4	0.94	0.91	158	152	68.8	68.4	68.6
SC8 29.00	57.71	51.89	28.72	25.1	0.93	0.92	169	172	74.4	76.6	75.5
SC8 34.00	57.49	53.86	29.42	14.9	0.88	0.87	171	172	79.6	81.0	80.3

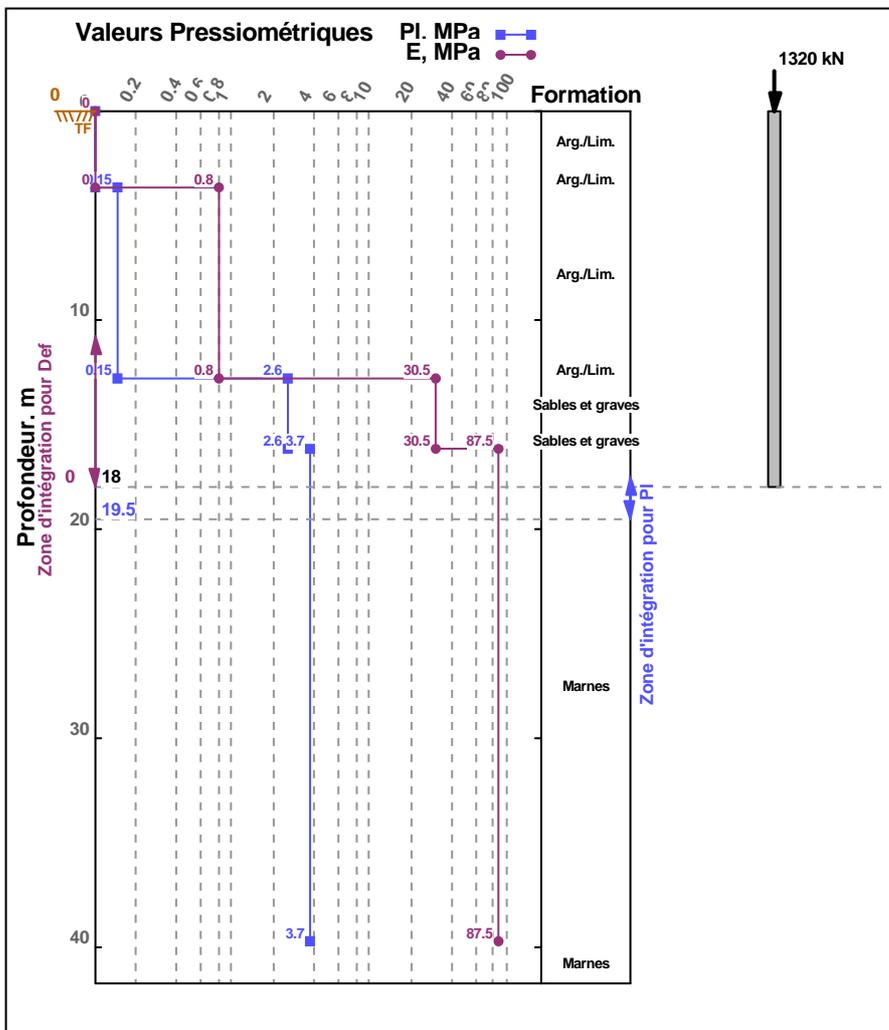
Pression atmosphérique : 100 KPa

Température ambiante : 21.3°C

Annexe 8

Résultats des calculs de fondations profondes sur pieux au moyen du logiciel GEOFOND





Pieu

Type de pieu : Foré tarière creuse simple ou double ro
 Prof. Base : 18 m
 Largeur B : 0.72 m
 Périmètre : 2.26 m ; aire : 0.407 m²
 Encastr.formation porteuse : 1.8 m
 mise en oeuvre sans refoulement du sol

Charge :

	Trac (MN)	Comp (MN)
Fd (ELS) quasi-permanent :	1.32	1.32
Fd (ELS) caractéristique :	1.6	1.6
Fd (ELU) durable et trans. :	2.22	2.22
Fd (ELU) accidentel :		
Fd (ELU) sismique :		

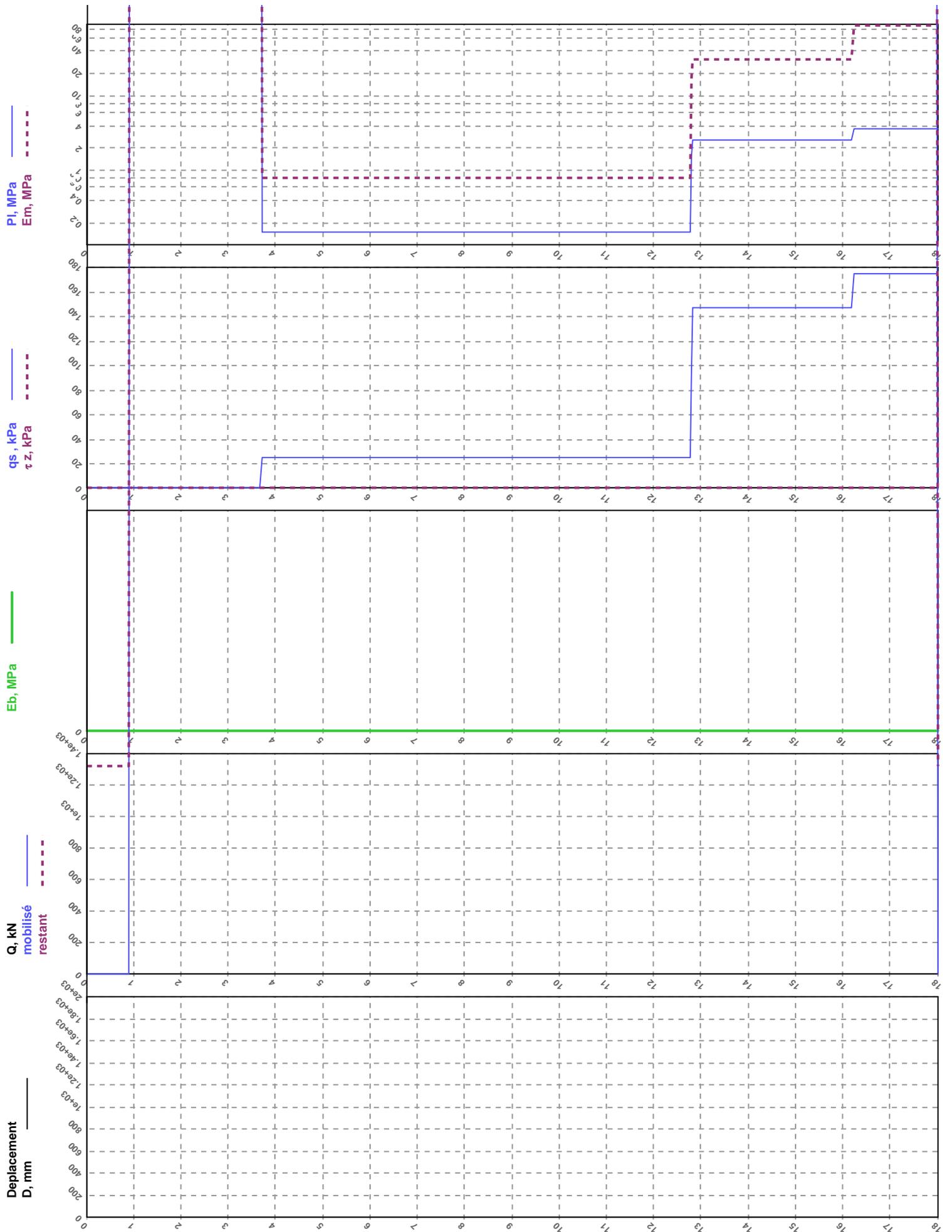
Fichier : Pieu 720 mm bât ABPK C DE L.gfd

Résultats de calcul : Capacité portante

Par la méthode de la NF P 94-262 : Modèle de terrain
 Rs = 2.36 MN Ann. F.5
 Rs;k = 1.87 MN Chap 9.2.4 Rs;k trac = 1.53 MN Chap 10.2.4
 Ple = 3.7 MPa Ann. F4.2.3 k_{pmax} = 1.6 Tab. F4.2.1
 Def = 4.27 m kp = 1.6 Ann. F4.2
 qb = 5.92 MPa Ann. F4.2.1 Rb = 2.41 MN Ann. F4.1
 Rb;k = 1.91 MN Ann. C.2.6
 Rc;cr;k = 2.26 MN Chap 14.2.2 Rt;cr;k = 1.07 MN Chap 14.2.2
 Rc;d (ELU durables et transitoires) = 3.43 MN > 2.22 MN : Cond. vérifiée
 Rc;d (ELU accidentel) = 3.77 MN
 Rc;d (ELU sismique) = 3.43 MN
 Rc;cr;d (ELS caractéristiques) = 2.51 MN > 1.6 MN : Cond. vérifiée
 Rc;cr;d (ELS quasi-permanent) = 2.05 MN > 1.32 MN : Cond. vérifiée
 Rt;d (ELU durables et transitoires) = 1.33 MN
 Rt;d (ELU accidentel) = 1.46 MN
 Rt;d (ELU sismique) = 1.33 MN
 Rt;cr;d (ELS caractéristiques) = 0.975 MN
 Rt;cr;d (ELS quasi-permanent) = 0.715 MN

Résultats de calcul : Tassement

Sous une contrainte q_{ref} = 3.24 MPa
 Par la méthode de Frank & Zhao
 Non convergence de la méthode de Frank et Zhao



Résultats détaillés : capacité portante

Par la méthode de la NF P 94-262 : Modèle de terrain

$$R_s = P \int_0^D q_s(z).dz = 2.36 \text{ MN}$$

$$B = 0.72 \text{ m} ; h = 1.8 \text{ m} ; a = \max(0.5 ; B/2) = 0.5 \text{ m} ; b = \min(a ; h) = 0.5 \text{ m}$$

$$P_{le}^* = 1/(3.a + b) \int_{D-b}^{D+3.a} P_l^*(z).dz = 3.7 \text{ MPa}$$

$$Def = 1/P_{le}^* \int_{D-hD}^D P_l^*(z).dz = 4.27 \text{ m} \quad Def/B = 5.92; hd = 10 * B = 7.2 \text{ m}$$

$$k_{pmax} = 1.6 \text{ (d'après tableau F.4.2.1)} \quad k_p(Def/B) = k_{pmax} = 1.6$$

$$q_b = k_p \cdot P_{le}^* = 5.92 \text{ MPa} \quad R_b = Ab \cdot q_b = 2.41 \text{ MN}$$

$$\gamma_r;d1 = 1.15 \quad \gamma_r;d2 = 1.1 \quad \gamma_r;d1 \text{ (trac)} = 1.4 \quad \gamma_r;d2 \text{ (trac)} = 1.1$$

$$R_s;k = R_s/(\gamma_r;d1 \cdot \gamma_r;d2) = 1.87 \text{ MN} \quad R_s;k(\text{trac}) = R_t;k = R_s/(\gamma_r;d1(\text{trac}) \cdot \gamma_r;d2) = 1.53 \text{ MN}$$

$$R_b;k = R_b / (\gamma_r;d1 \cdot \gamma_r;d2) = 1.91 \text{ MN}$$

$$R_c;cr;k = 0.5 \cdot R_b;k + 0.7 \cdot R_s;k = 2.26 \text{ MN}$$

$$R_t;cr;k = 0.7 \cdot R_s;k(\text{trac}) = 1.07 \text{ MN}$$

$$R_c;d(\text{ELU durables et transit.}) = R_b;k/\gamma_b + R_s;k/\gamma_s = R_b;k/1.1 + R_s;k/1.1 = 3.43 \text{ MN} \quad R_t;d(\text{ELU durables et transitoires}) = R_s;k/\gamma_s; t = R_s;k/1.15 = 1.33 \text{ MN}$$

$$R_c;d(\text{ELU accidentel}) = R_b;k/\gamma_b + R_s;k/\gamma_s = R_b;k/1.0 + R_s;k/1.0 = 3.77 \text{ MN} \quad R_t;d(\text{ELU accidentel}) = R_s;k/\gamma_s = R_b;k/1.05 = 1.46 \text{ MN}$$

$$R_c;d(\text{ELU sismique}) = R_b;k/\gamma_b + R_s;k/\gamma_s = R_b;k/1.1 + R_s;k/1.1 = 3.43 \text{ MN} \quad R_t;d(\text{ELU sismique}) = R_s;k/\gamma_s; t = R_s;k/1.15 = 1.33 \text{ MN}$$

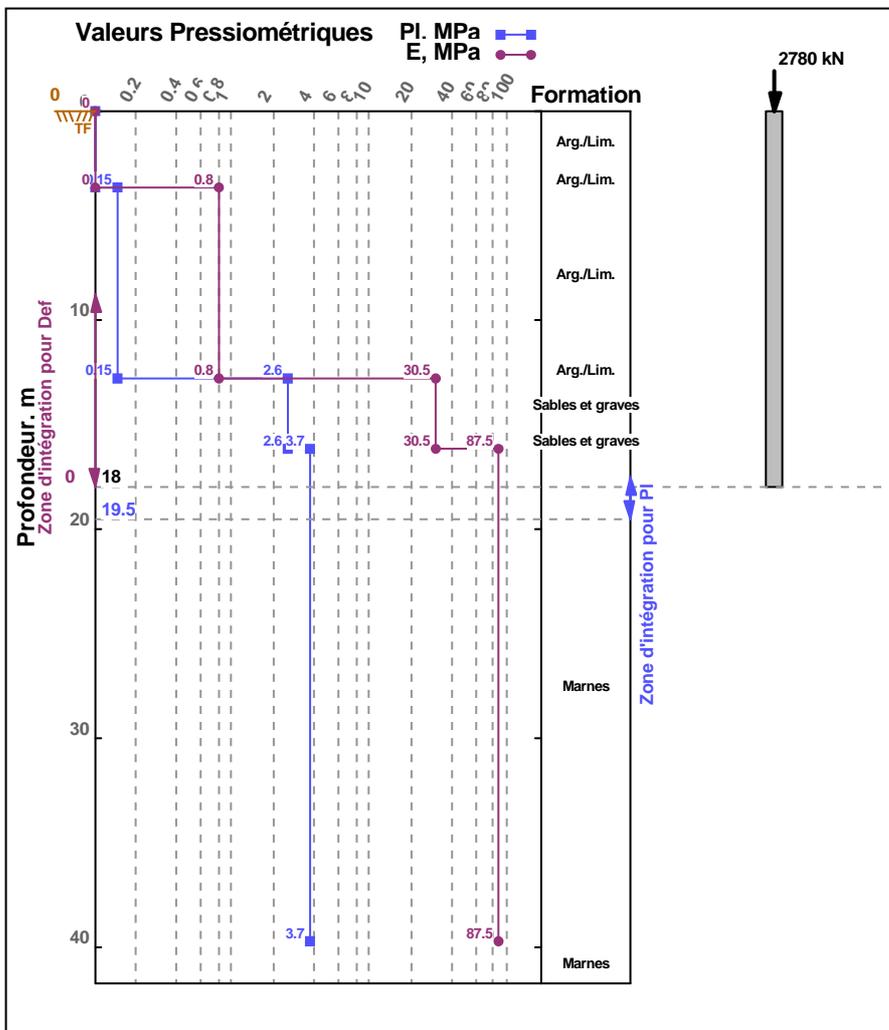
$$R_c;cr;d(\text{ELS caractéristiques}) = R_c;cr;k/\gamma_{cr} = R_c;cr;k/0.9 = 2.51 \text{ MN} \quad R_t;cr;d(\text{ELS caractéristiques}) = R_t;cr;k/\gamma_{cr}; cr = R_t;cr;k/1.1 = 0.975 \text{ MN}$$

$$R_c;cr;d(\text{ELS quasi-permanent}) = R_c;cr;k/\gamma_{cr} = R_c;cr;k/1.1 = 2.05 \text{ MN} \quad R_t;cr;d(\text{ELS quasi-permanent}) = R_t;cr;k/\gamma_{cr}; cr = R_t;cr;k/1.5 = 0.715 \text{ MN}$$

Résultats détaillés : tassement

Par la méthode de Frank et Zhao

$$S_f = 2.92e+03 \text{ mm}$$



Pieu

Type de pieu : Foré tarière creuse simple ou double ro
 Prof. Base : 18 m
 Largeur B : 0.92 m
 Périmètre : 2.89 m ; aire : 0.665 m²
 Encastr. formation porteuse : 1.8 m
 mise en oeuvre sans refoulement du sol

Charge :

	Trac (MN)	Comp (MN)
Fd (ELS) quasi-permanent :	2.78	3.2
Fd (ELS) caractéristique :		4.425
Fd (ELU) durable et trans. :		
Fd (ELU) accidentel :		
Fd (ELU) sismique :		

Fichier : Pieu 920 mm bât ABPK C DE.gfd

Résultats de calcul : Capacité portante

Par la méthode de la NF P 94-262 : Modèle de terrain

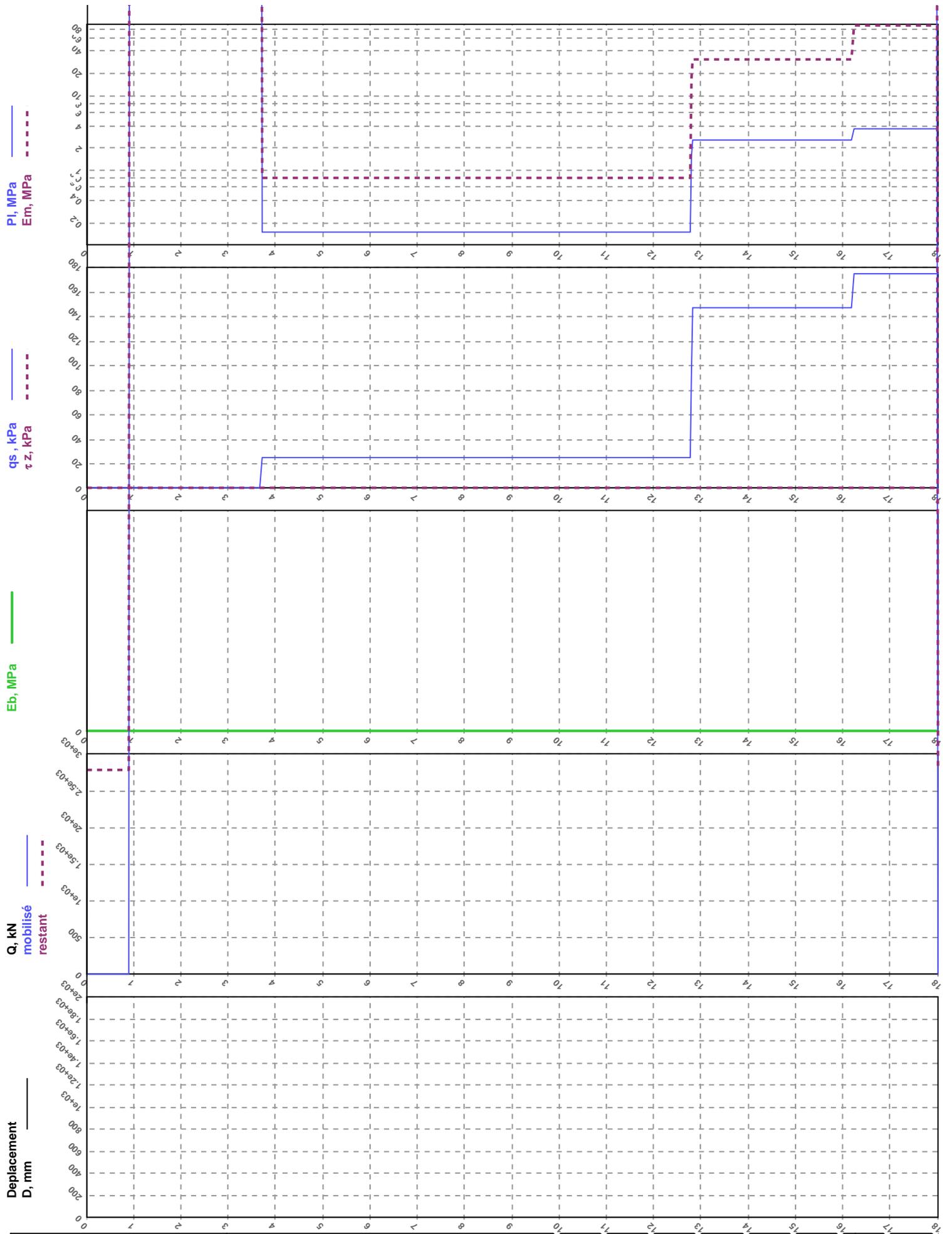
Rs = 3.02 MN Ann. F.5
 Rs;k = 2.38 MN Chap 9.2.4 Rs;k trac = 1.96 MN Chap 10.2.4
 Ple = 3.7 MPa Ann. F4.2.3 k_{pmax} = 1.6 Tab. F4.2.1
 Def = 4.35 m kp = 1.57 Ann. F4.2
 qb = 5.8 MPa Ann. F4.2.1 Rb = 3.85 MN Ann. F4.1
 Rb;k = 3.05 MN Ann. C.2.6
 Rc;cr;k = 3.19 MN Chap 14.2.2 Rt;cr;k = 1.37 MN Chap 14.2.2
 Rc;d (ELU durables et transitoires) = 4.94 MN > 4.425 MN : Cond. vérifiée
 Rc;d (ELU accidentel) = 5.43 MN
 Rc;d (ELU sismique) = 4.94 MN
 Rc;cr;d (ELS caractéristiques) = 3.55 MN > 3.2 MN : Cond. vérifiée
 Rc;cr;d (ELS quasi-permanent) = 2.9 MN > 2.78 MN : Cond. vérifiée
 Rt;d (ELU durables et transitoires) = 1.7 MN
 Rt;d (ELU accidentel) = 1.86 MN
 Rt;d (ELU sismique) = 1.7 MN
 Rt;cr;d (ELS caractéristiques) = 1.25 MN
 Rt;cr;d (ELS quasi-permanent) = 0.914 MN

Résultats de calcul : Tassement

Sous une contrainte q_{ref} = 4.18 MPa

Par la méthode de Frank & Zhao

Non convergence de la méthode de Frank et Zhao



Résultats détaillés : capacité portante

Par la méthode de la NF P 94-262 : Modèle de terrain

$$R_s = P \int_0^D q_s(z).dz = 3.02 \text{ MN}$$

$$B = 0.92 \text{ m} ; h = 1.8 \text{ m} ; a = \max(0.5 ; B/2) = 0.5 \text{ m} ; b = \min(a ; h) = 0.5 \text{ m}$$

$$P_{le}^* = 1/(3.a + b) \int_{D-b}^{D+3.a} P_l^*(z).dz = 3.7 \text{ MPa}$$

$$Def = 1/P_{le}^* \int_{D-hD}^D P_l^*(z).dz = 4.35 \text{ m} \quad Def/B = 4.72 ; h_d = 10 * B = 9.2 \text{ m}$$

$$k_{pmax} = 1.6 \text{ (d'après tableau F.4.2.1)} \quad k_p(Def/B) = 1+(k_{pmax}-1)*(Def/B)/5 = 1.57$$

$$q_b = k_p * P_{le}^* = 5.8 \text{ MPa} \quad R_b = Ab.q_b = 3.85 \text{ MN}$$

$$\gamma_r;d1 = 1.15 \quad \gamma_r;d2 = 1.1 \quad \gamma_r;d1 \text{ (trac)} = 1.4 \quad \gamma_r;d2 \text{ (trac)} = 1.1$$

$$R_s;k = R_s/(\gamma_r;d1*\gamma_r;d2) = 2.38 \text{ MN} \quad R_s;k(\text{trac}) = R_t;k = R_s/(\gamma_r;d1(\text{trac})*\gamma_r;d2) = 1.96 \text{ MN}$$

$$R_b;k = R_b / (\gamma_r;d1 * \gamma_r;d2) = 3.05 \text{ MN}$$

$$R_c;cr;k = 0.5 * R_b;k + 0.7 * R_s;k = 3.19 \text{ MN}$$

$$R_t;cr;k = 0.7 * R_s;k \text{ (trac)} = 1.37 \text{ MN}$$

$$R_c;d(\text{ELU durables et transit.}) = R_b;k/\gamma_b + R_s;k/\gamma_s = R_b;k/1.1 + R_s;k/1.1 = 4.94 \text{ MN} \quad R_t;d(\text{ELU durables et transitoires}) = R_s;k/\gamma_s; t = R_s;k/1.15 = 1.7 \text{ MN}$$

$$R_c;d(\text{ELU accidentel}) = R_b;k/\gamma_b + R_s;k/\gamma_s = R_b;k/1.0 + R_s;k/1.0 = 5.43 \text{ MN} \quad R_t;d(\text{ELU accidentel}) = R_s;k/\gamma_s = R_b;k/1.05 = 1.86 \text{ MN}$$

$$R_c;d(\text{ELU sismique}) = R_b;k/\gamma_b + R_s;k/\gamma_s = R_b;k/1.1 + R_s;k/1.1 = 4.94 \text{ MN} \quad R_t;d(\text{ELU sismique}) = R_s;k/\gamma_s; t = R_s;k/1.15 = 1.7 \text{ MN}$$

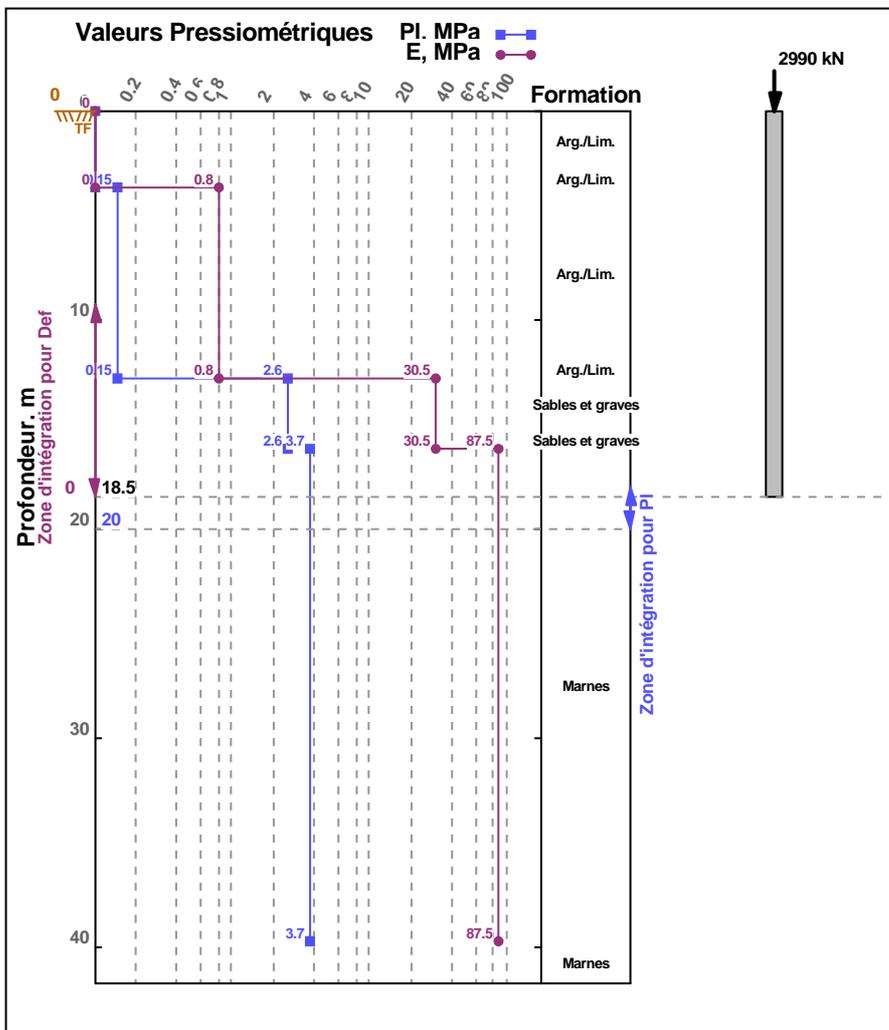
$$R_c;cr;d(\text{ELS caractéristiques}) = R_c;cr;k/\gamma_{cr} = R_c;cr;k/0.9 = 3.55 \text{ MN} \quad R_t;cr;d(\text{ELS caractéristiques}) = R_t;cr;k/\gamma_{cr}; cr = R_t;cr;k/1.1 = 1.25 \text{ MN}$$

$$R_c;cr;d(\text{ELS quasi-permanent}) = R_c;cr;k/\gamma_{cr} = R_c;cr;k/1.1 = 2.9 \text{ MN} \quad R_t;cr;d(\text{ELS quasi-permanent}) = R_t;cr;k/\gamma_{cr}; cr = R_t;cr;k/1.5 = 0.914 \text{ MN}$$

Résultats détaillés : tassement

Par la méthode de Frank et Zhao

$$S_f = 2.92e+03 \text{ mm}$$



Pieu

Type de pieu : Foré tarière creuse simple ou double ro
 Prof. Base : 18.5 m
 Largeur B : 0.92 m
 Périmètre : 2.89 m ; aire : 0.665 m²
 Encastr.formation porteuse : 2.3 m
 mise en oeuvre sans refoulement du sol

Charge :

	Trac (MN)	Comp (MN)
Fd (ELS) quasi-permanent :	2.99	
Fd (ELS) caractéristique :	3.2	
Fd (ELU) durable et trans. :		4.365
Fd (ELU) accidentel :		
Fd (ELU) sismique :		

Fichier : Pieu 920 mm bât L.gfd

Résultats de calcul : Capacité portante

Par la méthode de la NF P 94-262 : Modèle de terrain

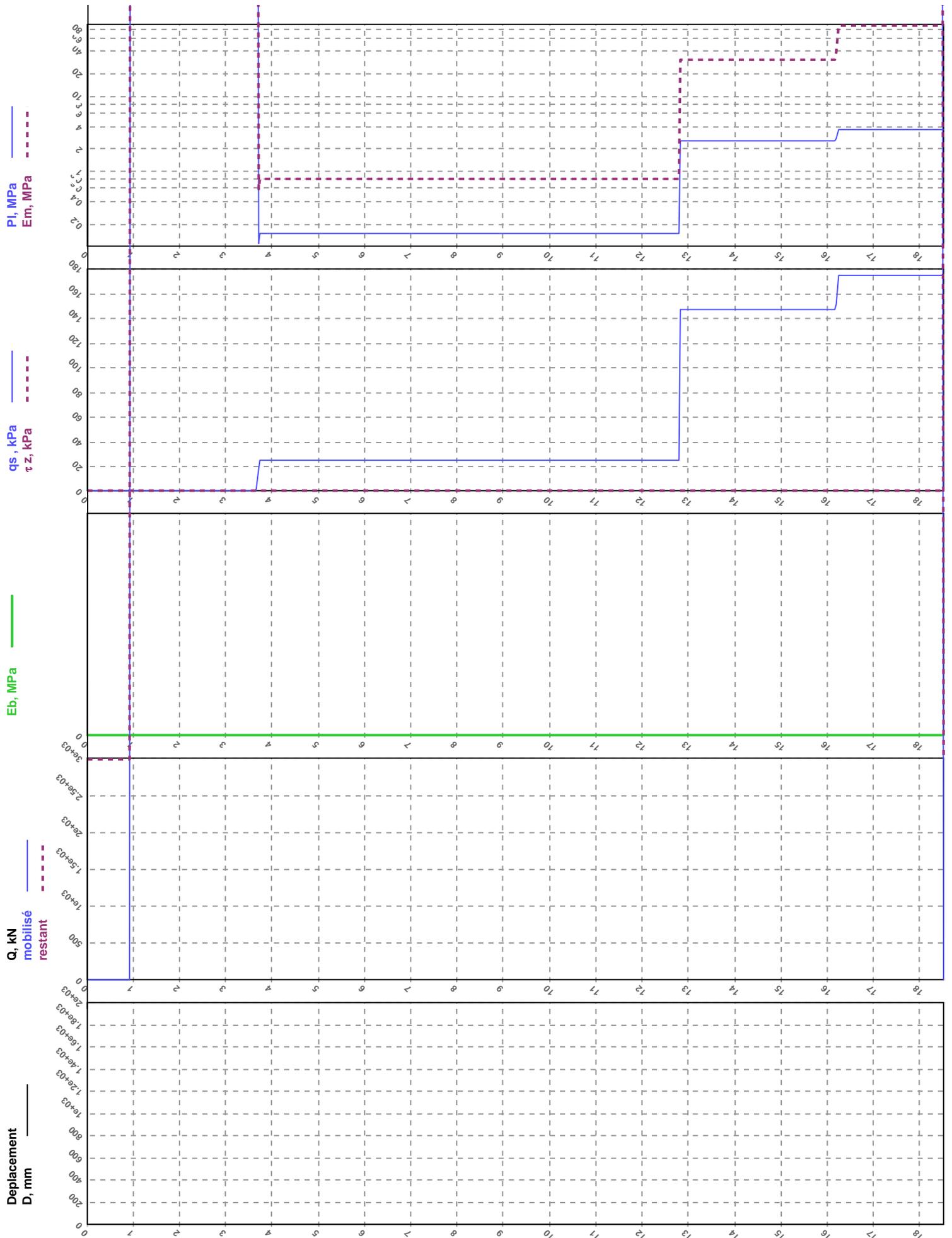
Rs = 3.27 MN Ann. F.5
 Rs;k = 2.58 MN Chap 9.2.4 Rs;k trac = 2.12 MN Chap 10.2.4
 Ple = 3.7 MPa Ann. F4.2.3 k_{pmax} = 1.6 Tab. F4.2.1
 Def = 4.83 m kp = 1.6 Ann. F4.2
 qb = 5.92 MPa Ann. F4.2.1 Rb = 3.94 MN Ann. F4.1
 Rb;k = 3.11 MN Ann. C.2.6
 Rc;cr;k = 3.36 MN Chap 14.2.2 Rt;cr;k = 1.49 MN Chap 14.2.2
 Rc;d (ELU durables et transitoires) = 5.18 MN > 4.365 MN : Cond. vérifiée
 Rc;d (ELU accidentel) = 5.7 MN
 Rc;d (ELU sismique) = 5.18 MN
 Rc;cr;d (ELS caractéristiques) = 3.74 MN > 3.2 MN : Cond. vérifiée
 Rc;cr;d (ELS quasi-permanent) = 3.06 MN > 2.99 MN : Cond. vérifiée
 Rt;d (ELU durables et transitoires) = 1.85 MN
 Rt;d (ELU accidentel) = 2.02 MN
 Rt;d (ELU sismique) = 1.85 MN
 Rt;cr;d (ELS caractéristiques) = 1.35 MN
 Rt;cr;d (ELS quasi-permanent) = 0.991 MN

Résultats de calcul : Tassement

Sous une contrainte q_{ref} = 4.5 MPa

Par la méthode de Frank & Zhao

Non convergence de la méthode de Frank et Zhao



Résultats détaillés : capacité portante

Par la méthode de la NF P 94-262 : Modèle de terrain

$$R_s = P \int_0^D q_s(z).dz = 3.27 \text{ MN}$$

$$B = 0.92 \text{ m} ; h = 2.3 \text{ m} ; a = \max(0.5 ; B/2) = 0.5 \text{ m} ; b = \min(a ; h) = 0.5 \text{ m}$$

$$P_{le}^* = 1/(3.a + b) \int_{D-b}^{D+3.a} P_l^*(z).dz = 3.7 \text{ MPa}$$

$$Def = 1/P_{le}^* \int_{D-hD}^D P_l^*(z).dz = 4.83 \text{ m} \quad Def/B = 5.25; hd = 10 * B = 9.2 \text{ m}$$

$$k_{pmax} = 1.6 \text{ (d'après tableau F.4.2.1)} \quad k_p(Def/B) = k_{pmax} = 1.6$$

$$q_b = k_p \cdot P_{le}^* = 5.92 \text{ MPa} \quad R_b = Ab \cdot q_b = 3.94 \text{ MN}$$

$$\gamma_r;d1 = 1.15 \quad \gamma_r;d2 = 1.1 \quad \gamma_r;d1 \text{ (trac)} = 1.4 \quad \gamma_r;d2 \text{ (trac)} = 1.1$$

$$R_s;k = R_s/(\gamma_r;d1 * \gamma_r;d2) = 2.58 \text{ MN} \quad R_s;k(\text{trac}) = R_t;k = R_s/(\gamma_r;d1(\text{trac}) * \gamma_r;d2) = 2.12 \text{ MN}$$

$$R_b;k = R_b / (\gamma_r;d1 * \gamma_r;d2) = 3.11 \text{ MN}$$

$$R_c;cr;k = 0.5 * R_b;k + 0.7 * R_s;k = 3.36 \text{ MN}$$

$$R_t;cr;k = 0.7 * R_s;k(\text{trac}) = 1.49 \text{ MN}$$

$$R_c;d(\text{ELU durables et transit.}) = R_b;k/\gamma_b + R_s;k/\gamma_s = R_b;k/1.1 + R_s;k/1.1 = 5.18 \text{ MN} \quad R_t;d(\text{ELU durables et transitoires}) = R_s;k/\gamma_s; t = R_s;k/1.15 = 1.85 \text{ MN}$$

$$R_c;d(\text{ELU accidentel}) = R_b;k/\gamma_b + R_s;k/\gamma_s = R_b;k/1.0 + R_s;k/1.0 = 5.7 \text{ MN} \quad R_t;d(\text{ELU accidentel}) = R_s;k/\gamma_s = R_b;k/1.05 = 2.02 \text{ MN}$$

$$R_c;d(\text{ELU sismique}) = R_b;k/\gamma_b + R_s;k/\gamma_s = R_b;k/1.1 + R_s;k/1.1 = 5.18 \text{ MN} \quad R_t;d(\text{ELU sismique}) = R_s;k/\gamma_s; t = R_s;k/1.15 = 1.85 \text{ MN}$$

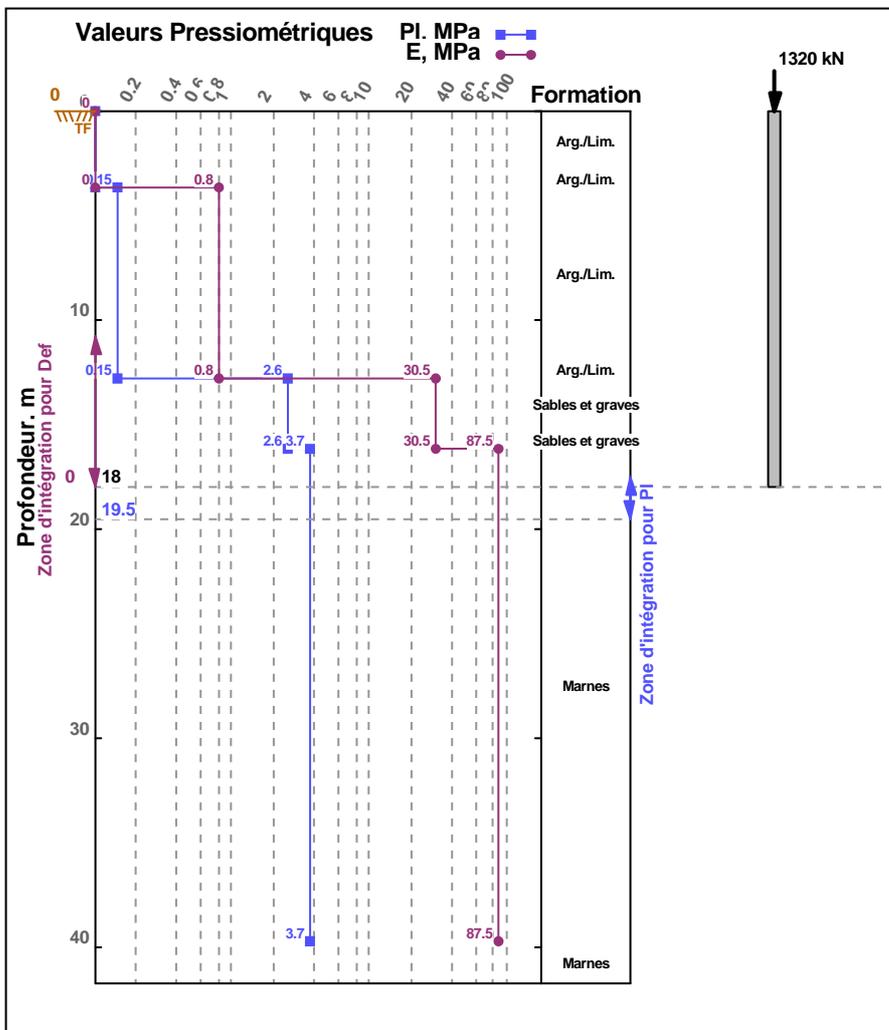
$$R_c;cr;d(\text{ELS caractéristiques}) = R_c;cr;k/\gamma_{cr} = R_c;cr;k/0.9 = 3.74 \text{ MN} \quad R_t;cr;d(\text{ELS caractéristiques}) = R_t;cr;k/\gamma_{cr}; cr = R_t;cr;k/1.1 = 1.35 \text{ MN}$$

$$R_c;cr;d(\text{ELS quasi-permanent}) = R_c;cr;k/\gamma_{cr} = R_c;cr;k/1.1 = 3.06 \text{ MN} \quad R_t;cr;d(\text{ELS quasi-permanent}) = R_t;cr;k/\gamma_{cr}; cr = R_t;cr;k/1.5 = 0.991 \text{ MN}$$

Résultats détaillés : tassement

Par la méthode de Frank et Zhao

$$S_f = 2.92e+03 \text{ mm}$$



Pieu

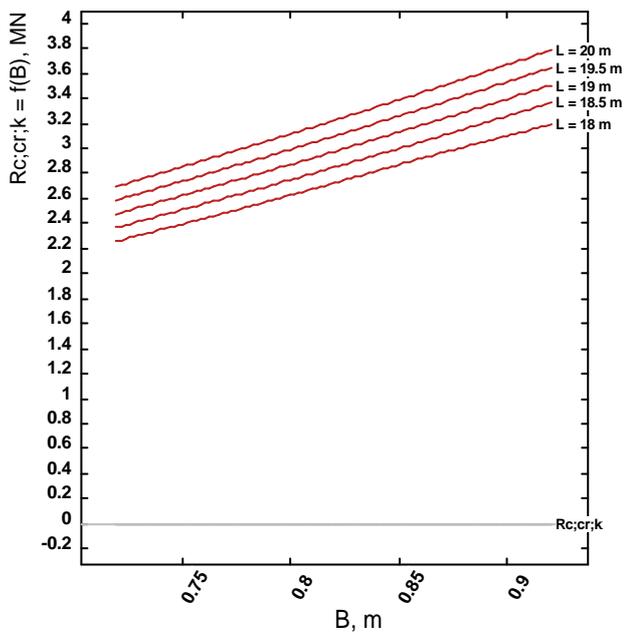
Type de pieu : Foré tarière creuse simple ou double ro
 Prof. Base : entre 18 m et 20 m
 Largeur : entre 0.72 m et 0.92 m
 Largeur : entre 0.72 m et 0.92 m
 Encastr.form. porteuse : entre 1.8 m et 3.8 m
 mise en oeuvre sans refoulement du sol

Charge :

	Trac (MN)	Comp (MN)
Fd (ELS) quasi-permanent :	1.32	1.32
Fd (ELS) caractéristique :	1.6	1.6
Fd (ELU) durable et trans. :	2.22	2.22
Fd (ELU) accidentel :		
Fd (ELU) sismique :		

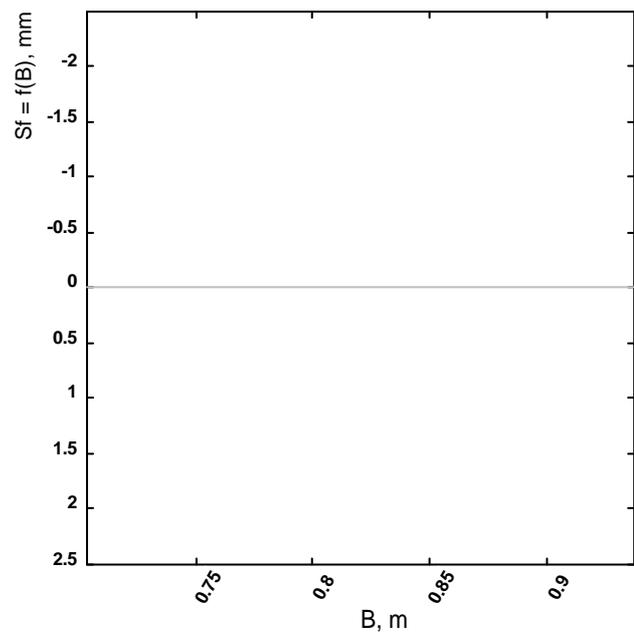
Fichier : Pieu 720 mm bât ABPK C DE L.gfd

Résultats de calcul : Capacité portante



Résultats de calcul : Tassement

qref = 1.99 MPa Q ref = 1320 kN



Pour une longueur de pieu de 18 m

Largeur B (m)	Contraire qref (MPa)	Rc;cr;k (MN)	Rt;cr;k (MN)	Rc;d ELU dur. (MN)	Rc;d ELU acc. (MN)	Rc;d ELU sis. (MN)	Rc;cr;d ELS car. (MN)	Rc;cr;d ELS qp (MN)	Rt;d ELU dur. (MN)	Rt;d ELU acc. (MN)	Rt;d ELU sis. (MN)	Rt;cr;d ELS car. (MN)	Rt;cr;d ELS qp (MN)	Sf sous qref (mm)
0.72	3.24	2.26	1.07	3.43	3.77	3.43	2.51	2.05	1.33	1.46	1.33	0.975	0.715	Non Conv
0.82	2.5	2.72	1.22	4.18	4.6	4.18	3.03	2.48	1.52	1.66	1.52	1.11	0.814	Non Conv
0.92	1.99	3.19	1.37	4.94	5.43	4.94	3.55	2.9	1.7	1.86	1.7	1.25	0.914	Non Conv

Pour une longueur de pieu de 18.5 m

Largeur B (m)	Contraire qref (MPa)	Rc;cr;k (MN)	Rt;cr;k (MN)	Rc;d ELU dur. (MN)	Rc;d ELU acc. (MN)	Rc;d ELU sis. (MN)	Rc;cr;d ELS car. (MN)	Rc;cr;d ELS qp (MN)	Rt;d ELU dur. (MN)	Rt;d ELU acc. (MN)	Rt;d ELU sis. (MN)	Rt;cr;d ELS car. (MN)	Rt;cr;d ELS qp (MN)	Sf sous qref (mm)
0.72	3.24	2.37	1.16	3.57	3.93	3.57	2.63	2.15	1.44	1.58	1.44	1.06	0.775	Non Conv
0.82	2.5	2.85	1.32	4.34	4.77	4.34	3.16	2.59	1.65	1.8	1.65	1.2	0.883	Non Conv
0.92	1.99	3.36	1.49	5.18	5.7	5.18	3.74	3.06	1.85	2.02	1.85	1.35	0.991	Non Conv

Pour une longueur de pieu de 19 m

Largeur B (m)	Contraire qref (MPa)	Rc;cr;k (MN)	Rt;cr;k (MN)	Rc;d ELU dur. (MN)	Rc;d ELU acc. (MN)	Rc;d ELU sis. (MN)	Rc;cr;d ELS car. (MN)	Rc;cr;d ELS qp (MN)	Rt;d ELU dur. (MN)	Rt;d ELU acc. (MN)	Rt;d ELU sis. (MN)	Rt;cr;d ELS car. (MN)	Rt;cr;d ELS qp (MN)	Sf sous qref (mm)
0.72	3.24	2.48	1.25	3.71	4.08	3.71	2.75	2.25	1.56	1.7	1.56	1.14	0.835	Non Conv
0.82	2.5	2.97	1.43	4.5	4.95	4.5	3.3	2.7	1.77	1.94	1.77	1.3	0.951	Non Conv
0.92	1.99	3.5	1.6	5.36	5.9	5.36	3.89	3.19	1.99	2.18	1.99	1.46	1.07	Non Conv

Pour une longueur de pieu de 19.5 m

Largeur B (m)	Contraire qref (MPa)	Rc;cr;k (MN)	Rt;cr;k (MN)	Rc;d ELU dur. (MN)	Rc;d ELU acc. (MN)	Rc;d ELU sis. (MN)	Rc;cr;d ELS car. (MN)	Rc;cr;d ELS qp (MN)	Rt;d ELU dur. (MN)	Rt;d ELU acc. (MN)	Rt;d ELU sis. (MN)	Rt;cr;d ELS car. (MN)	Rt;cr;d ELS qp (MN)	Sf sous qref (mm)
0.72	3.24	2.59	1.34	3.86	4.24	3.86	2.88	2.35	1.67	1.83	1.67	1.22	0.895	Non Conv
0.82	2.5	3.1	1.53	4.67	5.13	4.67	3.44	2.82	1.9	2.08	1.9	1.39	1.02	Non Conv
0.92	1.99	3.64	1.72	5.54	6.1	5.54	4.05	3.31	2.13	2.34	2.13	1.56	1.14	Non Conv

Pour une longueur de pieu de 20 m

Largeur B (m)	Contraire qref (MPa)	Rc;cr;k (MN)	Rt;cr;k (MN)	Rc;d ELU dur. (MN)	Rc;d ELU acc. (MN)	Rc;d ELU sis. (MN)	Rc;cr;d ELS car. (MN)	Rc;cr;d ELS qp (MN)	Rt;d ELU dur. (MN)	Rt;d ELU acc. (MN)	Rt;d ELU sis. (MN)	Rt;cr;d ELS car. (MN)	Rt;cr;d ELS qp (MN)	Sf sous qref (mm)
0.72	3.24	2.7	1.43	4	4.4	4	3	2.45	1.78	1.95	1.78	1.3	0.956	Non Conv
0.82	2.5	3.22	1.63	4.83	5.31	4.83	3.58	2.93	2.03	2.22	2.03	1.48	1.09	Non Conv
0.92	1.99	3.79	1.83	5.72	6.3	5.72	4.21	3.44	2.28	2.49	2.28	1.66	1.22	Non Conv