

ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION MISSION G2-PRO

Création d'un bâtiment de contrôle commande, d'un bâtiment local comptage/TCFM, un local sécurité et un local sanitaire

Poste source ENEDIS - SAINT-FLOUR
12 rue du château d'Alleuze
SAINT-FLOUR (15 100)



Dossier 1901490-GEO-G2-PRO - Septembre 2025

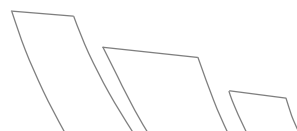
CLIENT

NOM	Enedis – Sillon Rhodanien - BRIPS Auvergne
ADRESSE	7 Rue Marcel Paul – 03 100 MONTLUCON
INTERLOCUTEUR	M. Nicolas BERNADY

ECR ENVIRONNEMENT

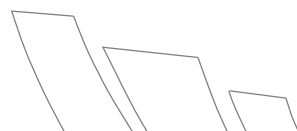
CHARGE D'AFFAIRES	Julien ARRILLAGA
CHARGE D'ETUDES	-

DATE	INDICE	OBSERVATION / MODIFICATION	REDACTEUR	VERIFICATEUR
12/09/2025	01	Rapport de mission G2-PRO	J. ARRILLAGA	M. HUORT



SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION.....	1
1.1.	OBJET DE LA MISSION.....	1
1.2.	DOCUMENTS REMIS POUR L'ETUDE.....	1
2.	PRESENTATION GENERALE.....	3
2.1.	SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE.....	3
2.2.	DESCRIPTION DU PROJET.....	4
3.	CONTEXTE GEOLOGIQUE ET RISQUES NATURELS.....	6
3.1.	GEOLOGIE.....	6
3.2.	RISQUES NATURELS.....	6
3.2.1.	<i>Sismicité</i>	6
3.2.2.	<i>Retrait-gonflement des argiles</i>	7
3.2.3.	<i>Inondation</i>	7
3.2.4.	<i>Composantes anthropiques, pollution...</i>	8
4.	INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES.....	8
4.1.	PROGRAMME DE RECONNAISSANCE.....	8
4.2.	RESULTATS DES INVESTIGATIONS.....	10
4.2.1.	<i>Caractéristiques lithologiques</i>	10
4.2.2.	<i>Caractéristiques géomécaniques</i>	11
4.2.3.	<i>Données de perméabilité</i>	12
4.2.4.	<i>Niveaux piézométriques</i>	13
4.3.	RESISTIVITE ELECTRIQUE.....	14
4.3.1.	<i>Principe des mesures</i>	14
4.3.2.	<i>Résultats des mesures</i>	15
4.4.	RESULTATS DES ANALYSES EN LABORATOIRE.....	16
4.4.1.	<i>Analyses GTR</i>	16
5.	RECOMMANDATIONS GEOTECHNIQUES POUR LES DIFFERENTS OUVRAGES.....	18
5.1.	RAPPELS DU PROJET.....	18
5.2.	SYNTHESE / ANALYSE GEOTECHNIQUE.....	19
5.3.	SISMICITE ET LIQUEFACTION DES SOLS.....	19
5.4.	SOLUTION DE FONDATION SUPERFICIELLE ET SEMI-PROFONDES.....	20
5.4.1.	<i>Recommandations d'exécution de la couche de forme du radier</i>	20
5.4.2.	<i>PAC4UF, sanitaires/vestiaires [SP1 et P1]</i>	21
5.4.3.	<i>Locaux TCFM, sécurité et comptage [SP5]</i>	22
5.4.4.	<i>Bancs transformateurs et Murs pare-feu [SP2 et SP4]</i>	23
5.5.	SOLUTIONS DE FONDATION PROFONDES – BATIMENT DE COMMANDE.....	25
5.5.1.	<i>Recommandations d'exécution des micropieux</i>	25
5.5.2.	<i>Hypothèses de calculs et principes de conception</i>	25
	<i>Bâtiment de commande [SP6]</i>	27



5.6.	RECOMMANDATIONS GEOTECHNIQUES GENERALES.....	28
5.6.1.	<i>Terrassements généraux</i>	28
5.6.2.	<i>Mise hors d'eau</i>	29
5.6.3.	<i>Traitement des parties enterrées</i>	30

ANNEXES

Annexe 1 : Missions géotechniques (extrait de la norme NF P 94-500)

Annexe 2 : Plan de localisation des sondages

Annexe 3 : Coupes des sondages pressiométriques, géologiques et pénétrométriques

Annexe 4 : synthèse des mesures de résistivité

Annexe 4 : Procès-verbaux des analyses de laboratoire

1. INTRODUCTION

1.1. Objet de la mission

À la demande de **ENEDIS – Sillon Rhodanien - BRIPS Auvergne [03 100 MONTLUCON]**, la société ECR Environnement - Agence de Brive - a réalisé une étude géotechnique dans le cadre du projet de rénovation du poste source électrique sur la commune de ST-FLOUR (15 100).

Cette étude répond au bon de commande du client, acceptant la proposition technique et financière **n° de commande 0328-5534404724** signée le **25/03/2025**.

Le présent rapport rend compte des résultats obtenus et a pour objectif de mieux caractériser la nature des sols à l'emplacement défini du projet, donner les hypothèses géotechniques et les principes généraux de construction relatifs aux fondations, terrassements en masse, soutènements, déformations des sols et dispositions générales vis-à-vis des nappes, et des avoisinants.

À noter que la société ECR Environnement avait réalisée l'étude géotechnique de mission G2-AVP, référencée 1901490, et datée de juin 2025.

Par référence à la classification des "Missions géotechniques normalisées" (Norme NFP 94-500), cette étude est de type **G2-PRO** [Etude géotechnique de conception] et voit de ce fait l'étendue de sa mission limitée aux prestations correspondantes.

Nota : conjointement, ECR Environnement a réalisé un diagnostic environnemental (pollution des sols + diagnostic fosse déporté (dossier n°1901491). Le présent rapport traite uniquement de l'étude géotechnique de conception (mission G2-PRO).

1.2. Documents remis pour l'étude

Les documents fournis pour l'étude en G2-AVP afin de mener à bien notre mission sont :

- l'adresse du poste électrique concerné ;
- le plan de masse et plan projet du poste électrique avec emplacement des futures installations ;
- plan des réseaux aériens et enterrés en classe A ;
- un diagnostic sous-sol réalisé par ERDF le 4 avril 2012 ;
- le rapport d'investigation sur la réhabilitation des anciens terrains d'usines à gaz réalisé par ICF Environnement en aout 2003 ;
- l'étude géotechnique d'avant-projet pour la restructuration du poste source réalisée par GINGER CEBTP en aout 2012.



Concernant l'étude G2-PRO, il nous a été fournis :

- pour le module compactage / sécurité :
 - le plan de terrassement ;
 - un plan d'ensemble ;
 - un plan de coffrage.

- pour le bâtiment contrôle commande :
 - les notes de calculs éditées par GROUPE DELTA, dossier référencé 8001, et daté du 25/05/2020 ;
 - un plan de coffrage ;
 - un plan d'ensemble ;
 - un plan de terrassement.

- pour les sanitaires / vestiaires :
 - un plan de terrassement ;
 - un plan d'ensemble ;
 - un plan de terrassement.



2. PRESENTATION GENERALE

2.1. Situation géographique et géomorphologique

La zone d'étude se situe au 12 rue du château d'Alleuze, au sein de la commune de ST-FLOUR (15 100).

Le projet est situé sur les parcelles cadastrales n°103 et 104 de la section AO et d'une superficie totale d'environ 3400 m². Le terrain est remblayé, présentant une topographie plane à une cote altimétrique avoisinant les 787 m NGF (données Geoportail.gouv.fr).

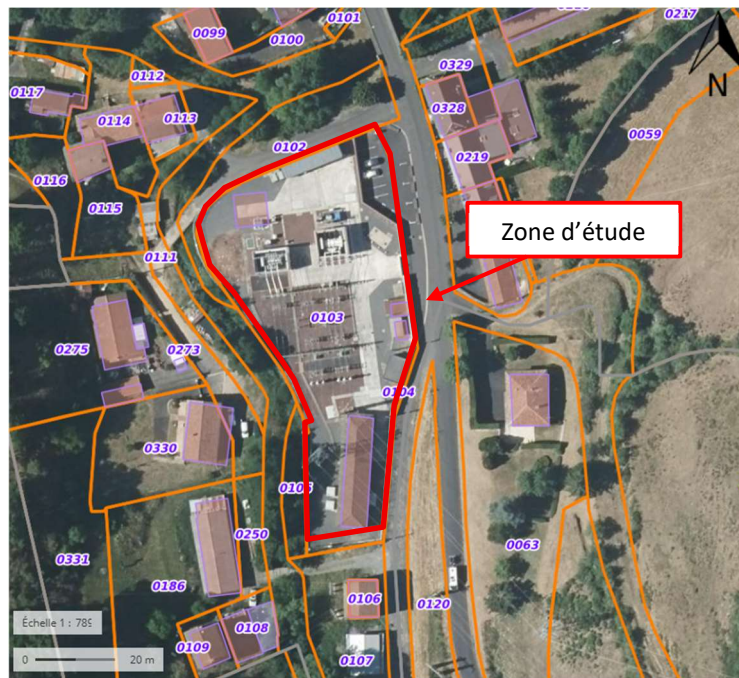


Figure 1 : Situation géographique et plan cadastral du site d'étude (Géoportail)

Au vu des documents fournis par ENEDIS et les cartes historiques du secteur, le site est un ancien terrain d'usines à gaz (Gaz de France). Il ne reste aucun vestige de l'ancienne usine.



Figure 2 : photographie d'archives de l'ancienne usine à gaz.

2.2. Description du projet

Compte tenu de la planéité de la plateforme actuelle, il est fort probable qu'aucune modification de la pente pour le projet n'ait lieu.

Les travaux projetés pour la réhabilitation du poste prévoient la construction des ouvrages suivants :

- un bâtiment de contrôle commande ;
- un transformateur ;
- un local comptage ;
- deux PAC4UF ;
- un local TCFM ;
- un local sécurité ;
- un local sanitaire.

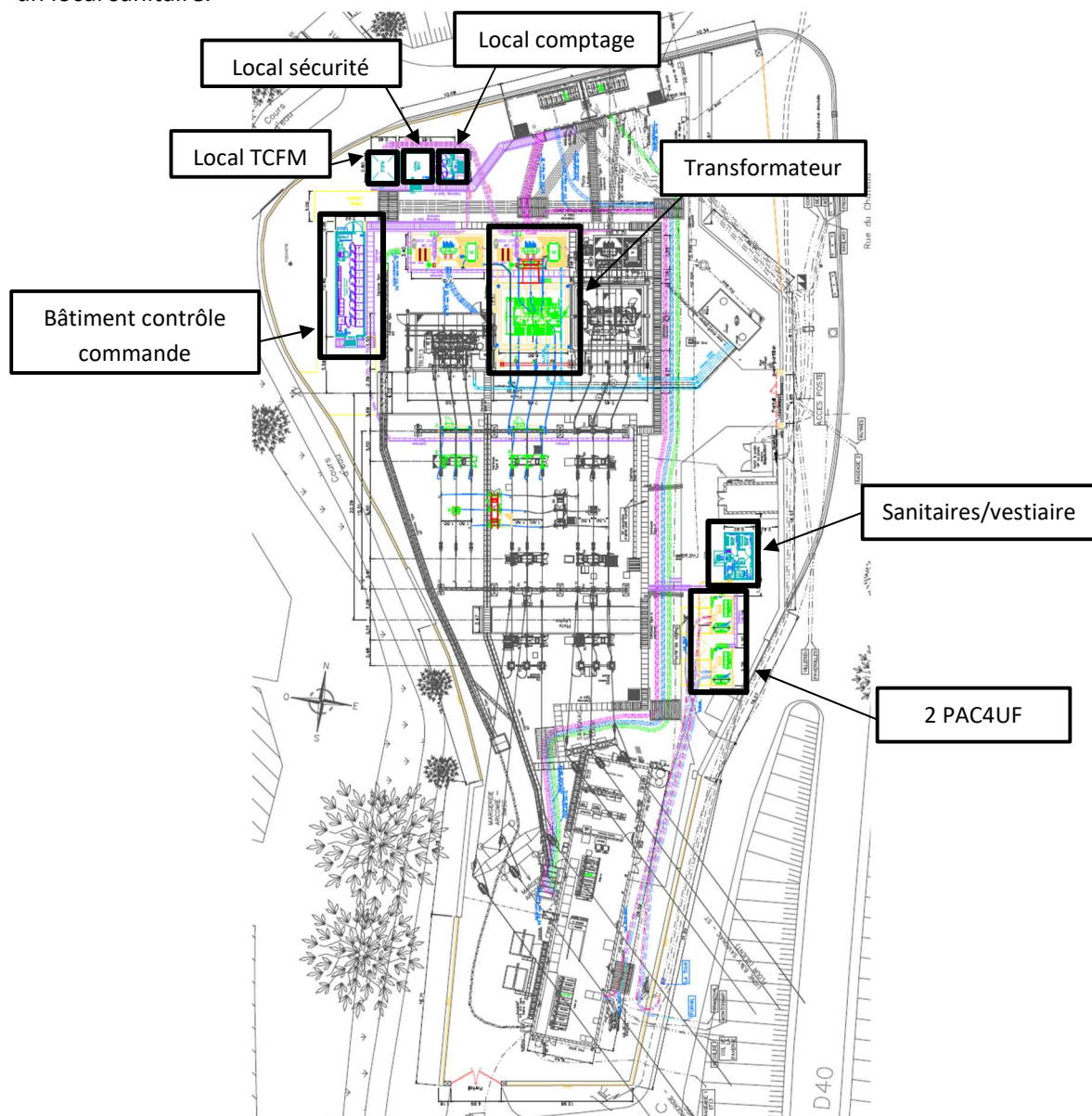


Figure 3 : plan projet (modifié d'après ENEDIS)

Les éléments fournis concernant la conception des projets sont :

- Pour le module Contrôle Commande :
 - Poids du bâtiment de 34 t ;
 - Dalle de 10,5mx2,85m pour une surcharge maximale de 1,15 t/m².
- Pour les sanitaires / Vestiaires et :
 - Une dalle de 4,4mx2,7m pour une surcharge maximale de 0,25 t/m².
- Pour le comptage-sécurité :
 - Une dalle de 5,2mx2,7m pour une surcharge maximale de 0,50 t/m².
- Pour la loge du transformateur :
 - Poids total de l'ordre de 80 à 100 t.



3. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET RISQUES NATURELS

3.1. Géologie

D'après la carte géologique du BRGM au 1/50 000 de ST-FLOUR (feuille n°789), les terrains présents sont des gneiss et orthogneiss (notés respectivement ζ et $\zeta_r F$).

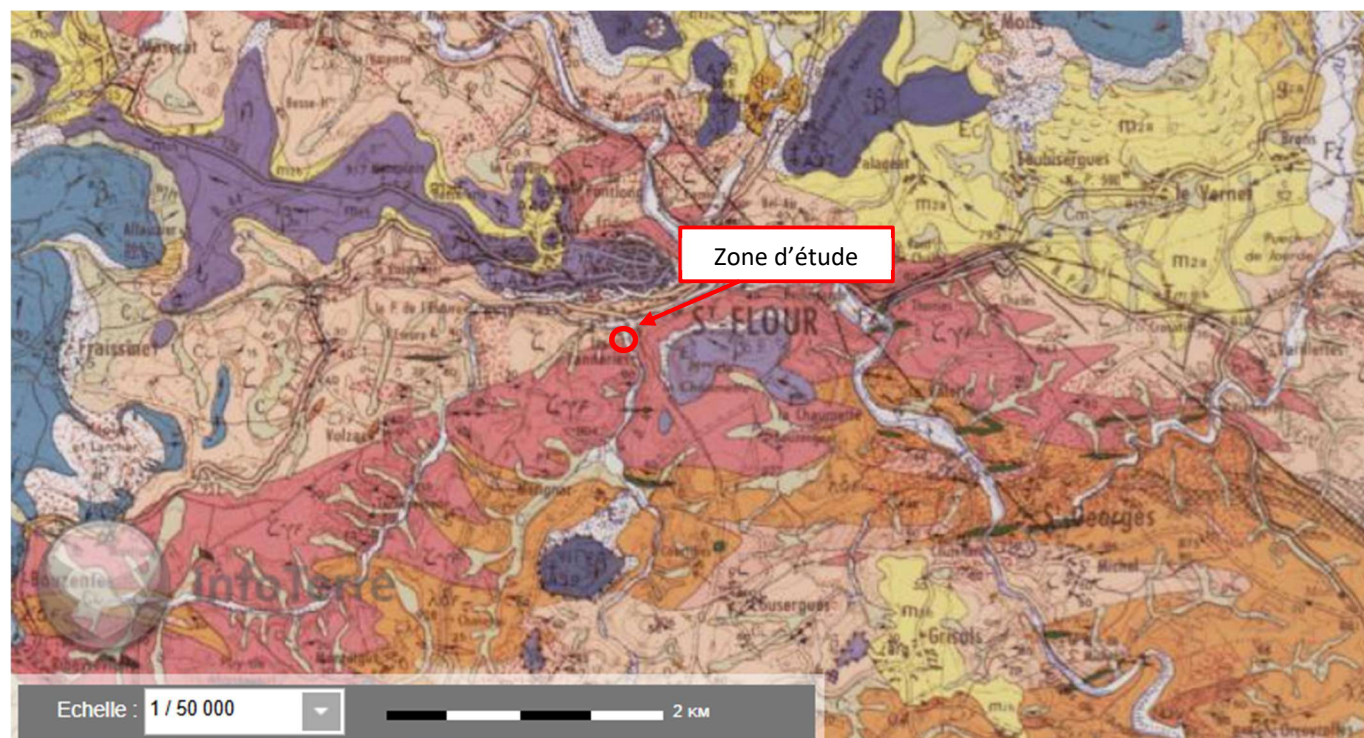


Figure 4 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de ST-FLOUR (feuille n°789) – BRGM

3.2. Risques naturels

3.2.1. Sismicité

Selon le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 portant sur la délimitation des zones de sismicité du territoire français et entré en vigueur depuis le 01 mai 2011, l'opération engagée se situe en **zone de sismicité 2** (aléa faible).

En référence au tableau des "catégories d'importance", les ouvrages projetés sont assimilés à des "ouvrages assurant la distribution publique de l'énergie", ce qui nous amène à considérer la **catégorie d'importance IV**. Cette hypothèse sera à confirmer par le maître d'ouvrage.

En application des normes parasismiques définissant les exigences sur le bâti neuf (fonction de la zone de sismicité et de la catégorie d'importance du projet), **une prescription particulière est donc imposée par l'Eurocode 8**.



3.2.2. Retrait-gonflement des argiles

D'après la carte d'exposition au phénomène de retrait-gonflement des argiles, établie par le BRGM (sur la base d'un modèle à grande échelle et mise à jour en août 2019 dans le cadre de la loi ELAN), la zone d'étude est classée en **zone d'aléa moyen**. Néanmoins, l'aléa local pourra être reconsidéré en fonction des analyses laboratoire.

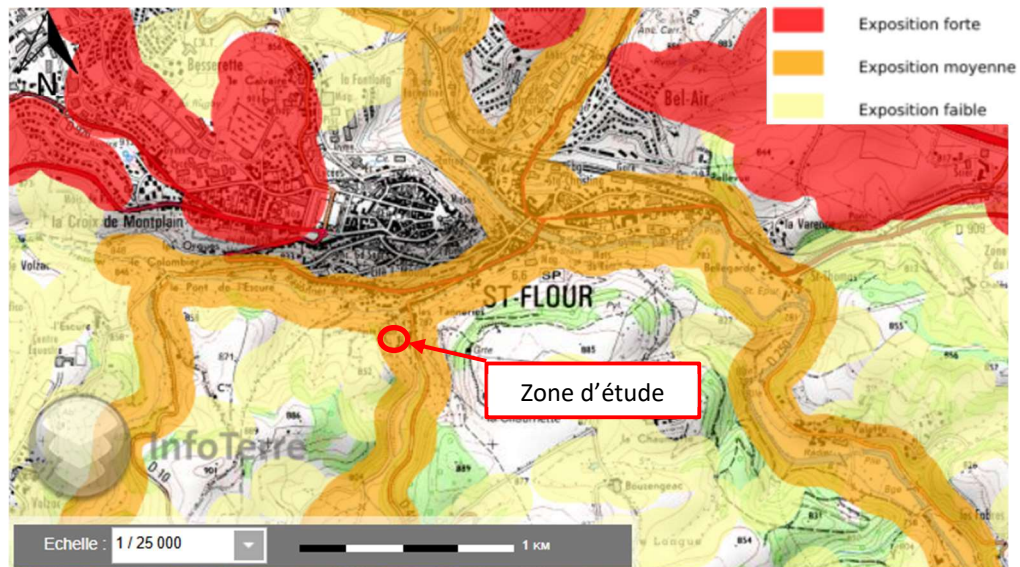


Figure 5 : Extrait de la carte d'exposition au retrait-gonflement des sols argileux

3.2.3. Inondation

D'après la carte des remontées de nappe établie par le BRGM, le site d'étude se situe en **zone non concernée par les débordements de nappe ou les inondations de cave, mais au sein des enveloppes approchées des inondations potentielles cours d'eau** (cf. carte des zones sensibles aux remontées de nappes).

Cependant, cette classification établie sur la base d'un modèle régional (à grande échelle) ne concorde pas nécessairement avec les observations faites in situ, et est donc à prendre avec précaution.

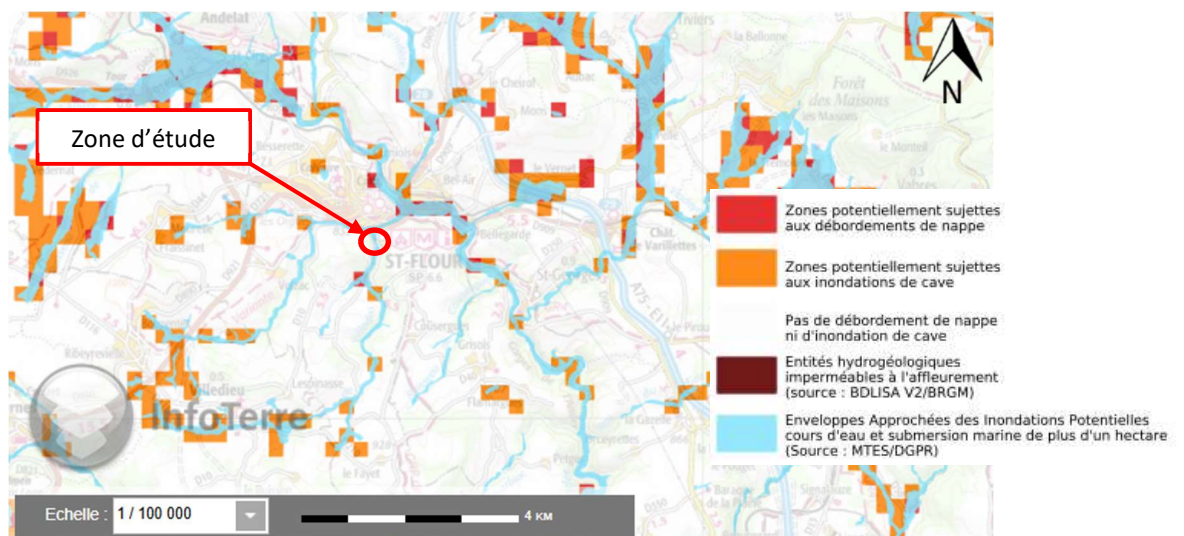


Figure 6 : Extrait de la carte des zones sensibles aux remontées de nappes (BRGM)

3.2.4. Composantes anthropiques, pollution...

Lors de la réalisation de nos investigations, nous avons rencontré des indices de pollution (odeur d'hydrocarbure...) sur les premiers mètres d'horizons correspondant à des remblais. Ces derniers étaient probablement déjà présents avant la construction du poste source (cf rapport d'investigation d'IFC Environnement – août 2003), provenant de la précédente usine à gaz. L'usine a cessé de fonctionner en 1960 et a ensuite été réhabilitée en poste de transformation haute tension et transformateur.

4. INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES

4.1. Programme de reconnaissance

Les investigations in situ ont été réalisées du 05 au 15 mai 2025.

Compte tenu du contexte géologique et de la nature du projet, le programme d'intervention a consisté en l'exécution de :

- **7 sondages de reconnaissance géologique, notés de SP1 à SP6 et ST2, descendus jusqu'à la profondeur maximale de 9,0 m environ par rapport au terrain actuel (TA)**, et exécutés en tarière mécanique hélicoïdale de diamètre 63 mm. Ces sondages ont permis de déterminer la nature des différents horizons traversés et d'identifier les éventuelles venues d'eau ;
- **6 profils pressiométriques, avec 5 essais par profil**, ont été réalisés dans les sondages SP1 à SP6 à l'aide d'un CPV relié à une sonde pressiométrique de diamètre 60 mm. Les essais ont permis de déterminer les caractéristiques mécaniques des sols (module pressiométrique, pressions limite et de fluage) ;
- **2 essais au pénétromètre dynamique lourd, notés P1 et P2** (battu en parallèle de ST2), descendus jusqu'à l'obtention du refus à 1,1 m/TA et 1,3 m/TA respectivement ;
- **8 essais d'infiltration de type Porchet, notés de K1 à K8**, réalisés à la tarière mécanique hélicoïdale ($\varnothing$ 114 mm) jusqu'à la profondeur maximale de 1,18 m/TA. Ces essais consistent à mesurer la descente du niveau d'eau en fonction du temps. Ils permettent de déterminer ponctuellement la perméabilité du terrain ;
- **3 profils de résistivité électrique** par la méthode de WENNER ;

À ces prestations in situ se sont ajoutées les analyses en laboratoire :

- **7 identifications d'échantillons de sol selon le GTR92/2023 prélevés en SP1 à SP6 et ST2** (Guide des Terrassements Routiers – Réalisation des remblais et des couches de forme, LCPC, SETRA, 1992) et la norme NF P 11-300 qui en découle ;
- **1 test d'agressivité sol/béton.**

Les sondages et essais ont fait l'objet de nivellement par rapport au NGF (service topographie d'ECR Environnement), récapitulé dans le tableau suivant :



Sondages	Cote Z (NGF)
SP1	787,07
SP2	786,48
SP3	786,56
SP4	786,41
SP5	786,43
SP6	786,30
P1	786,64
P2-ST2	786,31
K1	786,71
K2	786,58
K3	787,01
K4	786,38
K5	786,42
K6	786,30
K7	786,12
K8	786,01

Les investigations ont été menées conformément au plan d'implantation présenté en annexes.



4.2. Résultats des investigations

4.2.1. Caractéristiques lithologiques

Comme indiqués sur les coupes des sondages SP1 à SP6 et en ST2 jointes en annexe, les terrains rencontrés, sous 0,1 à 0,2 m de gravier, sont synthétisés dans le tableau suivant :

Sondages	Profondeur (m/TA)			Observations	Niveaux d'eau
	Horizon H0 Remblais – sables argileux à graves [marron] + blocs	Horizon H1 Sables limono-argileux [marron/gris]	Horizon H2 Substratum gneissique altéré		
SP1	0,1 – 1,0	1,0 – 3,7	3,7 – 8,2*	Présence d'une couche d'argiles sableuses entre 0,1 et 1,0 m/TA dans les remblais	Venue d'eau à 1,8 m/TA
SP2	0,2 – 1,3	-	1,3 – 8,6*	Présence d'une dalle béton en surface sur 0,2 m	Stabilisé 2,5 m/TA
SP3	0,0 – 1,2	-	1,2 – 8,6*	-	Stabilisé 2,9 m/TA
SP4	0,2 – 3,6	-	3,6 – 7,6*	Présence d'une dalle béton de 0,2 m d'épaisseur entre 1,1 et 1,3 m/TA	Stabilisé 2,2 m/TA
SP5	0,1 – 1,9	1,9 – 4,1	4,1 – 8,9*	Odeur forte d'hydrocarbure dans la tranche de remblais	Non observé
SP6	0,2 – 3,5 / 4,0	-	4,0 – 8,9*	-	Stabilisé 3,1 m/TA
ST2	0,0 – 1,0	-	1,0 – 3,5**	-	Non mesuré

* Arrêt volontaire

** refus à la tarière

Remarque : les descriptions susmentionnées se basent sur des remontées partielles de cuttings issus de forages semi-destructifs en petit diamètre (Ø63 mm). La précision des interfaces pour ce type d'investigation est au mieux d'une vingtaine de centimètres. Les coupes établies doivent donc être considérées comme schématiques et sont à corréliser avec les données géomécaniques obtenues. Par ailleurs, les échantillons prélevés étant remaniés et non représentatifs de l'état en place des formations, il peut être difficile de juger de la proportion de fines (argiles, ...) et de celle de la composante plus grossière, de même que de la taille et de l'abondance des éléments lithiques présents en inclusion.



4.2.2. Caractéristiques géomécaniques

Essais pressiométriques

Les tableaux ci-après synthétisent les caractéristiques pressiométriques mesurées de SP1 à SP6, conformément à la norme NF P 94-110. Ils précisent les valeurs minimales et maximales ainsi que les moyennes harmoniques des modules pressiométriques (EM) et les moyennes géométriques des pressions limites (PI*).

Les classes de sols correspondantes selon l'Eurocode 7 sont également mentionnées.

- PAC4UF et sanitaires/vestiaires (sondage SP1) :

		Prof. base (m/TA)	Nb val.	EM (MPa)			PI* (MPa)			α	Classe de sol EC7
				Min	Max	Moy _{har}	Min	Max	Moy _{geo}		
H0	Remblais – sables argileux à graves [marron] + blocs	1,0	1	Essai non interprétable – cohésion trop faible							
H1	Sables limono- argileux	3,7	1	18,4			2,59			1/3	Sables limono- argileux très denses
H2	Substratum gneissique altéré	8,2*	3	57,1	117,9	79,4	3,81	3,88	3,84	2/3	Roche altérée

- Transformateur (sondages SP2 et SP4) :

		Prof. base (m/TA)		Nb val.	EM (MPa)			PI* (MPa)			α	Classe de sol EC7
		SP2	SP4		Min	Max	Moy _{har}	Min	Max	Moy _{geo}		
H0	Remblais – sables argileux à graves [marron] + blocs	1,3	3,6	4	12,1	28,3	17,1	0,55	2,33	1,35	1/3	Sables argileux denses
H2	Substratum gneissique altéré	8,6*	7,9*	6	72,7	129,3	97,1	3,78	4,85	4,40	2/3	Roche altérée et fragmentée

- Bâtiment contrôle commande (sondages SP3 et SP6) :

		Prof. base (m/TA)		Nb val.	EM (MPa)			PI* (MPa)			α	Classe de sol EC7
		SP3	SP6		Min	Max	Moy _{har}	Min	Max	Moy _{geo}		
H0	Remblais – sables argileux à graves [marron] + blocs	1,2	3,5	3	2,2	20,5	3,4	0,14	1,54	0,62	1/2	Sables argileux moyennement denses
H2	Substratum gneissique altéré	8,6*	8,9*	7	39,1	195,2	69,1	2,77	4,81	3,89	2/3	Roche altérée et fragmentée



- **Locaux TCFM, sécurité et de comptage (sondage SP5) :**

		Prof. base (m/TA)	Nb val.	EM (MPa)			PI* (MPa)			α	Classe de sol EC7
				Min	Max	Moy _{har}	Min	Max	Moy _{geo}		
H0	Remblais – sables argileux à graves [marron] + blocs	1,9	1	14,3			1,17			1/2	Sables argileux denses
H1	Sables limono-argileux	4,1	1	81,5			3,51			1/2	Sables limono-argileux très denses
H2	Substratum gneissique altéré	8,9*	3	109	158,7	130,6	3,74	3,8	3,7	2/3	Roche altérée

Essais pénétrométriques :

Les essais pénétrométriques P1 et P2 sont illustrés par des diagrammes qui mettent en évidence les variations de la résistance de pointe (qd) en fonction de la profondeur (voir annexe).

Les profils obtenus montrent des valeurs de résistance différente au sein des remblais avec des valeurs **bonnes à très bonnes** ($q_d \geq 5,0$ MPa) en P1 alors qu'elles sont plutôt **moyennes** ($2,5 \leq q_d \leq 5,0$ MPa) en P2. Ces résistances sont observées jusqu'au **refus net** au sein des deux sondages à 0,9 m/TA en P1 (sur les blocs des remblais) et 1,3 m/TA en P2 (sur substratum rocheux).

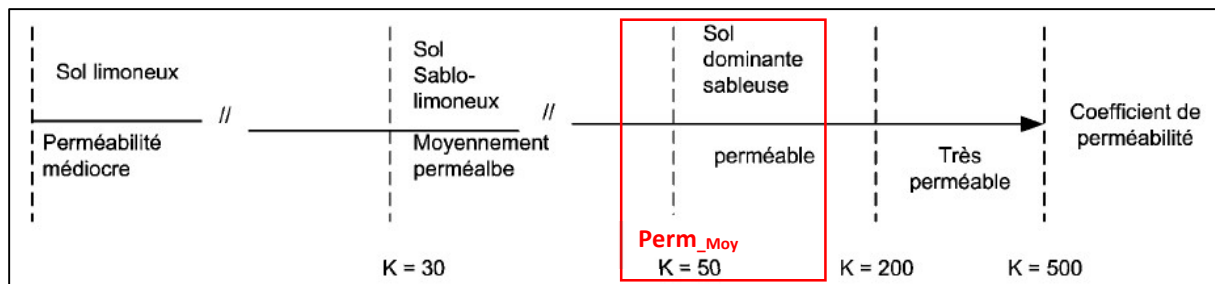
Remarque : *il faut noter que les essais pénétrométriques sont des sondages dit « aveugles », la géologie des terrains ainsi que les limites de couches sont interprétées ou extrapolées à partir des diagrammes et notamment des valeurs de compacité du sol par l'ingénieur géotechnicien. La nature des terrains et leur compacité devront, par conséquent, être confirmées lors des travaux.*

4.2.3. Données de perméabilité

Les coefficients de perméabilité des sols en place ont été déterminés par des essais d'infiltration ponctuels par méthode Porchet, notés de K1 à K8. Ces essais sont disponibles en annexes et le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus :

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Profondeur d'essai (m/TN)	1,13	0,73	1,18	1,09	1,10	1,01	0,83	1,15
Hauteur d'eau initiale (m/TN)	1,13	0,73	1,18	1,09	0,87	1,01	0,83	0,71
Coefficient de perméabilité (m/s)	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
Perméabilité K (mm/h)	93	12	22	92	29	90	85	81
Perméabilité K (mm/h) moyenne	63							





D'après les résultats ponctuels des essais d'infiltration réalisés le 14/05/2024, les sols testés sont considérés perméables (avec une puissance moyenne significative de l'ordre 10^{-5} m/s).

4.2.4. Niveaux piézométriques

Lors de la réalisation des investigations géotechniques in situ du 05 au 15 mai 2025), des venues d'eau et niveaux stabilisés ont été observés dans nos sondages (tableau ci-dessous).

Sondages	Venue d'eau (m/TA)	Niveaux d'eau stabilisé (fin de forage)
SP1	1,8	Non observé
SP2	3,0	2,5
SP3	3,5	2,9
SP4	2,2	
SP5	Non observé	
SP6	3,1	
ST2	Non observé - Eboulement	

À noter que deux équipements piézométriques avec un suivi avec des sondes ont été installés. Lors de du premier relevé des données, nous aurons les données exactes des suivis de nappes.

Rappelons que selon la carte à grande échelle de la sensibilité aux remontées de nappes, éditée par le BRGM, le projet n'est pas concerné par les débordements de nappe ou les inondations de cave, mais au sein des enveloppes approchées des inondations potentielles cours d'eau

De plus, en périodes pluvieuses des accumulations superficielles / circulations préférentielles restent envisageables et pourraient s'accompagner d'aléas potentiellement contraignants pour le déroulement du chantier (perte de portance, difficultés de traficabilité, ...).

Toutefois, il ne faut pas totalement exclure des rétentions et circulations d'eau erratiques au sein des formations de surface, en cas de fortes pluviométries, au regard de la faible perméabilité des sols en présence.



4.3. Résistivité électrique

4.3.1. Principe des mesures

La méthode de mesure de la résistivité du sol utilisée est la méthode de WENNER. Quatre électrodes sont disposées en ligne avec une distance identique "a" entre les 4 piquets. Entre les deux électrodes extrêmes (E et H), on injecte un courant de mesure et entre les deux électrodes centrales (ES et S), on mesure le potentiel DV grâce à un voltmètre.

La valeur de la résistance R lue sur l'ohmmètre permet de calculer la résistivité d'après la relation suivante :

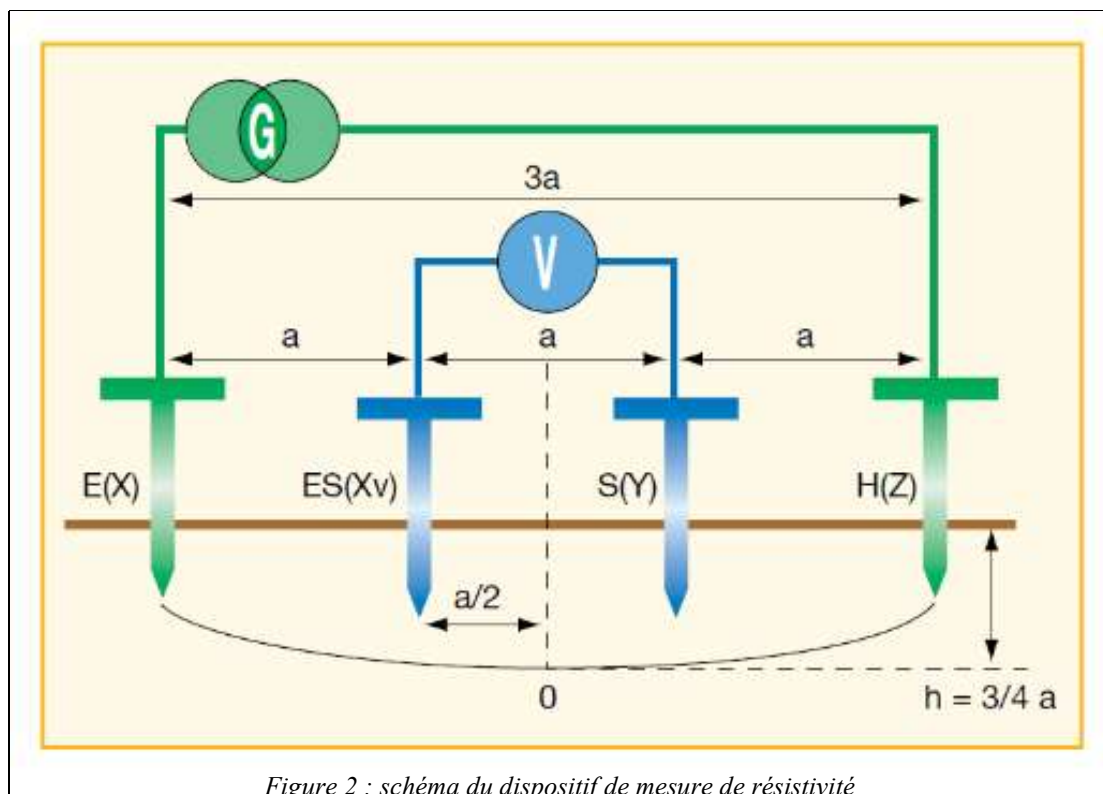
$$\rho = 2 \pi a R$$

avec :

ρ = résistivité ($\Omega \cdot m$) au point O situé à une profondeur de $h = 3/4 a$;

R = résistance mesurée (Ω) ;

a = distance entre les piquets (m).



4.3.2. Résultats des mesures

Les mesures ont été réalisées le 05 et 06/05/2025 et ont consisté en la réalisation de trois profils (voir schéma de localisation).

Les mesures de résistivité obtenues sont reportées dans le tableau suivant :

Profil	Écartement entre électrodes a (m)	Mesures des résistivités		
		Résistance		Résistivité moyenne ($\Omega.m$)
		Axe P1 (Ω)	Axe P2 (Ω)	
R1	2	18,10	21,96	247
	4	78,5	17,17	591
	6	5,20	5,48	167
R2	3	7,19	2,09	87,2
	6	2,86	1,59	530
	8	1,24	1,09	54,2
R3	3	11,57	51,36	177,5
	5	9,31	3,4	176,5
	8	1,43	4,12	141,2

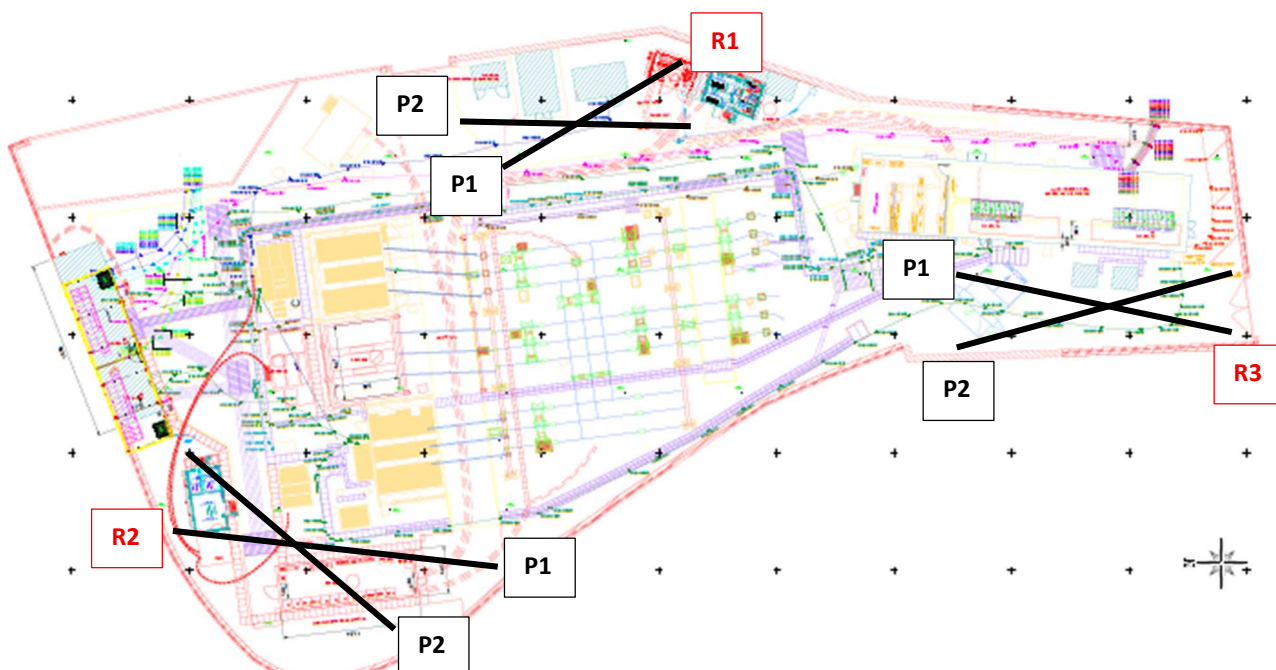


Figure 8 : localisation des profils de résistivité

4.4. Résultats des analyses en laboratoire

4.4.1. Analyses GTR

Les essais en laboratoire de type identification GTR2023 ont été effectués sur des échantillons de sol prélevés dans les sondages **SP1 à SP6 et ST2**.

Les procès-verbaux détaillés des essais en laboratoire sont joints en annexe.

Les résultats des essais d'identification (VBS, granulométrie, teneur en eau...,) sur les sols prélevés sont les suivants :

Sondages	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	ST2
Profondeur (m/TN)	1,0 – 2,0	0,0 – 1,3	1,2 – 3,5	0,0 – 3,6	1,0 - 4,5	2,0 – 5,1	1,0 – 3,5
Lithologie (laboratoire)	H1 - Sable limono-argileux	H0 - Remblai (sable à graves)	H0 - Remblai (sable limoneux)	H0 - Remblai (sable à graves)	H1 - Sable fin limoneux	H0 - Remblai (sable limoneux)	H0 - Remblai (sable limoneux)
Teneur en eau naturelle	10,2	11,5	4,6	5,3	2,7	12,4	5,6
Caractéristiques granulométriques	Dmax (mm)	20	40	20	40	10	20
	Passant < 2mm	64,9	56,2	71,1	28,1	92,2	65,3
	Passant < 80µm	21,9	15,6	22,3	11,4	19,5	19,6
Valeur au bleu de Méthylène (g de bleu / 100g de sol)	0,9	0,63	0,65	0,33	0,41	0,45	0,71
Classification GTR2023	I1	I1	I1	G3/G4	I1	I1	I1
Classification GTR92	B5	B5	B5	B4	B5	B5	B5

La quasi-totalité des échantillons sont classés I1 dans la classification GTR2023, correspondant à des sables limoneux (sol intermédiaire) dont la proportion de fines et la faible plasticité se rapprochent des sols fins de type F.

Seul un échantillon prélevé en SP4 se démarque avec une classe G3/G4 qui s'identifie plus à des graves silteuses à argileuses d'après le GTR. Ces formations sont plus graveleuses que les sols S et leur fraction sableuse est plus faible. Pour cette raison, ils sont en général perméables. Ils réagissent assez rapidement aux variations de l'environnement hydrique et climatique (humidification - séchage). Après compactage ils sont d'autant moins érodables et d'autant plus aptes à supporter le trafic qu'ils sont bien gradués.



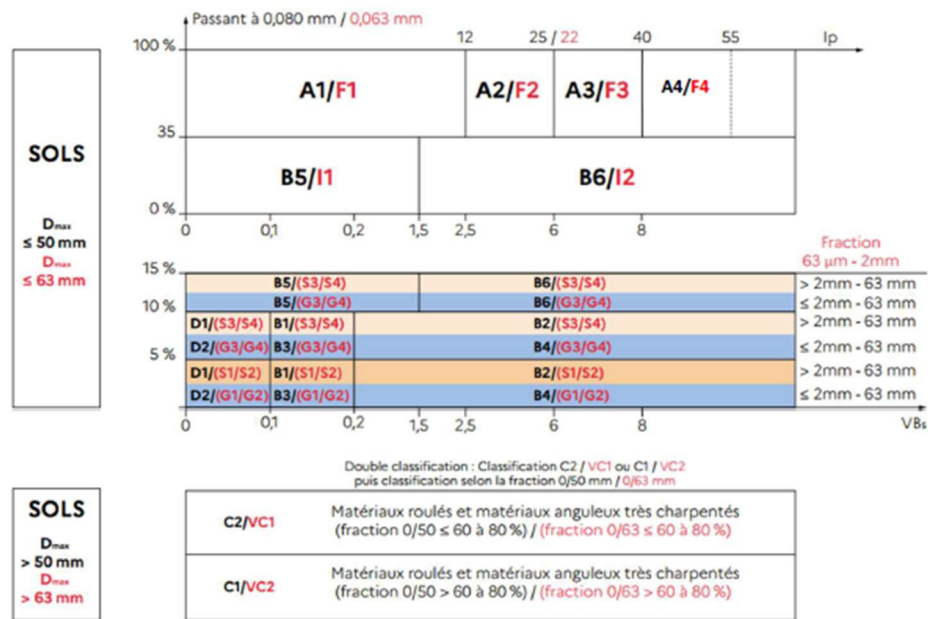


Figure 9 : Tableau des correspondances GTR92 et GTR2023

Ces formations appartiennent au domaine de la « **susceptibilité de variation de volume de sol argileux** » **faible** selon le tableau ci-dessous.

Paramètres d'identification			Susceptibilité de variation de volume de sol
Indice de Plasticité I_p (%)	Pourcentage de passant au tamis de 80 μ m (%)	Valeur de Bleu V_{bs} (g/100g de sol)	
>30	> 90	> 6	Forte
$15 < I_p < 30$	> 50	$2 < V_{bs} < 6$	Moyenne
< 15	< 50	< 2	Faible

Tableau : Potentiel de gonflement d'après Bigot et Zerhouni (2000).

Remarque importante : selon la carte d'aléa liée au phénomène de retrait-gonflement des argiles établie par BRGM, l'exposition au phénomène de retrait-gonflement des sols à l'échelle globale de la zone d'étude est considérée comme moyenne. En se basant sur les résultats des essais de laboratoire présentés précédemment, et de la très faible proportion en fines, nous réévaluons l'aléa à **faible à moyen**.

5. RECOMMANDATIONS GEOTECHNIQUES POUR LES DIFFERENTS OUVRAGES

5.1. Rappels du projet

Les travaux projetés pour la réhabilitation du poste prévoient la construction des ouvrages suivants :

- un bâtiment de contrôle commande ;
- un transformateur ;
- un local comptage ;
- deux PAC4UF ;
- un local TCFM ;
- un local sécurité ;
- un local sanitaire.

Selon les descentes de charges communiquées et à travers notre expérience, nous prendrons par hypothèse les descentes de charges suivantes :

- Pour le module Contrôle Commande :
 - Poids du bâtiment de 34 t ;
 - Dalle de 10,5mx2,85m pour une surcharge maximale de 1,15 t/m².
- Pour les sanitaires / Vestiaires et :
 - Une dalle de 4,4mx2,7m pour une surcharge maximale de 0,25 t/m².
- Pour le Comptage-Sécurité :
 - Une dalle de 5,2mx2,7m pour une surcharge maximale de 0,50 t/m².
- Pour le transformateur, murs pare-feu et grilles :
 - Murs pare-feu : 5 t par appui isolé ;
 - Bancs transformateurs : poids total de l'ordre de 80 à 100 tonnes ;
 - Grilles HTA : charge répartie de l'ordre de 3,5 t/m² chacun.
- Pour le PAC4UF : surface environ 10 m², masse jusqu'à 15 à 20 t sans transformateur, transformateur de 2,5 t maximum, charge surfacique de 3t/m².



5.2. Synthèse / Analyse géotechnique

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

- en terme de lithologie, la succession rencontrée au droit du terrain est constituée, sous 0,1 à 0,2 m de gravier :
 - (i) **des remblais composés de sables argileux denses à graves et blocs (horizon H0)** jusqu'à une profondeur maximale de 3,6 m/TA ;
 - (ii) **des altérites/arènes gneissiques composées de sables limono-argileux (horizon H1) seulement identifié en SP1 et SP5 jusqu'à une profondeur maximale de 4,1 m/TA ;**
 - (iii) **le substratum rocheux gneissique (horizon H2),** altéré en tête, et identifié jusqu'à une profondeur maximale de 8,9 m/TA (arrêt volontaire des sondages) ;
- d'un point de vue géomécanique, les résultats pressiométriques et pénétrométriques obtenus témoignent de la **portance insuffisante au sein des remblais (H0) et de caractéristiques géomécaniques bonnes au sein des altérites/arènes (H1) et très bonnes au sein du substratum rocheux (H2) ;**
- lors de la réalisation des investigations géotechniques in situ du 05 au 15 mai 2025, des niveaux d'eau stabilisés ont été relevés dans la quasi-totalité de nos sondages, avec des profondeurs proches entre 2,2 et 3,1 m/TA ;
- de bonnes perméabilités des remblais observées via les essais Porchet indiquent que les rétentions d'eau proche de la surface ont peu de chance de se produire, même si elles ne sont pas exclues notamment en cas de fortes pluviométrie ;
- une zone d'alea faible à moyen vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement des argiles d'après les analyses laboratoire ;
- des exigences parasismiques à suivre selon l'Eurocode 8 en raison de la catégorie de bâtiment et l'alea sismique.

5.3. Sismicité et liquéfaction des sols

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

- valeur d'accélération : $a_{gr} = 0,7 \text{ m/s}^2$ (pour une zone de sismicité 2) ;
- classe de sol : A (rocher) dans le cas où la couche de remblais sus-jacente montre une puissance inférieure à 5 m. Dans le cas contraire, il est nécessaire de considérer deux classes de sol : A pour le substratum rocheux et D pour la couche de remblais ;
- coefficient de sol : pour une zone de sismicité 2, $S = 1$ pour un sol de classe A ;
- coefficient d'importance : $\gamma_I = 1,4$ (pour un ouvrage de catégorie d'importance IV).

Pour une épaisseur de remblais inférieure à 5 m, le sol d'assise n'est pas liquéfiable.



5.4. Solution de fondation superficielle et Semi-profondes

Au regard du projet et des résultats susmentionnés, une solution de fondation superficielle de type radier sera retenue pour les deux PAC4UF, les locaux sécurité, comptage et TCFM, les sanitaires/vestiaires et le banc du transformateur. Le radier sera réalisé sur une couche de forme de **0,30 m d'épaisseur minimum**. Il conviendra de mettre en place également **un géotextile** entre la couche de forme et la Partie Supérieure de Terrassement (PST).

5.4.1. Recommandations d'exécution de la couche de forme du radier

Dispositions constructives

Les dispositions constructives suivantes devront être respectées :

- les réseaux sensibles devront être équipés de raccords souples ;
- la substitution et la couche de forme mises en œuvre entre le fond de fouille et le radier devront respecter un débord latéral au minimum équivalent à leur épaisseur, pour permettre une diffusion des contraintes à 45° dans le matériau d'apport ;
- l'agressivité du milieu devra être prise en compte.

Mise en œuvre de la couche de forme

La couche de forme comportera :

- un géotextile anti-contaminant soigneusement mis en œuvre et installé sur les parois et le fond de forme afin de limiter le lessivage et une perte de compacité ;
- des matériaux sains de carrière insensibles à l'eau, non gélifs et bien gradués ;
- une mise en œuvre par couches successives de faible épaisseur et soigneusement compactées à 98,5 % de l'Optimum Proctor Normal et jusqu'en limite de la fouille.

Objectifs de réception

Le compactage et l'épaisseur de la couche de forme devra permettre d'obtenir les critères de réception suivants :

$$\begin{aligned} EV2 &> 50 \text{ MPa} \\ EV2 / EV1 &< 2,2 \end{aligned}$$

NOTA : on rappelle que la valeur EV2 est obtenue par des essais à la plaque réalisés selon le mode LCPC.

Des essais intermédiaires seront effectués afin de vérifier le bon compactage des couches élémentaires.

Des valeurs supérieures pourront être demandées par le concepteur. Dans ce cas, il conviendra de réadapter l'épaisseur de couche de forme en conséquence.



5.4.2. PAC4UF, sanitaires/vestiaires [SP1 et P1]

La solution de radier devra permettre de mobiliser un horizon portant, homogène et de bonne compacité. Le fond de forme devra être constitué par la formation **des sables argileux (horizon H1)**, soit à une profondeur minimale de 1,5 m/TA suite aux purges des remblais et afin d'avoir un sol support de bonne compacité.

D'après les analyses laboratoire, l'horizon H1 de sables argileux est estimé en PST1/AR1.

L'ancrage des fondations devra être adapté aux conditions réellement rencontrées afin d'obtenir un sol d'assise **d'homogénéité satisfaisante**. La purge des matériaux remblayés, imbibés, remaniés ou évolutifs sera nécessaire ; dans ces conditions, la substitution devra être réalisée par des matériaux granulaires insensibles à l'eau et au gel et sera soigneusement compactées.

Dans le cas de surprofondeurs de terrassement, un rattrapage gros béton pourra être envisagé.

Conformément aux recommandations de la norme française d'application de l'Eurocode 7 relative aux fondations superficielles ou semi-profondes (norme NF P94-261), au vu des descentes de charges prévisibles et considérant les données géomécaniques acquises, les valeurs de contraintes admissibles seront limitées à :

PAC4UF, sanitaires/vestiaires / Radier (SP1 et P1)	
Etats limites	Contraintes admissibles
ELU durable / transitoire / accidentelle	$\leq 0,05$ MPa (soit 5,0 t/m ²)
ELS quasi-permanent / caractéristique	$\leq 0,03$ MPa (soit 3,0 t/m ²)

Remarque : en cas d'inclinaison ou d'excentrement des charges, les contraintes susmentionnées devront être minorées par le coefficient $i\delta\beta$.

Nous avons procédé à une estimation des tassements prévisibles, en utilisant la méthode pour les radiers / dallages ou remblais et en prenant pour données d'entrée les caractéristiques des différents ouvrages (profondeur d'assise, contrainte, emprise,...) :

En première approximation, les tassements sous dallage sont approchés par la formule suivante :

$$W = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot p}{E} \cdot h$$

avec p = surcharge verticale appliquée
 E = module pressiométrique
 α = coefficient rhéologique
 $\beta = 1$: coefficient fonction du facteur de sécurité
 h = hauteur de la couche considérée

Au terme des calculs, les tassements devraient être inférieures au demi-centimètre.

Insistons néanmoins sur le fait qu'en pratique, les valeurs dépendront grandement du soin porté à l'exécution des terrassements et à la préparation de la plateforme support qui devra être conforme aux règles de l'Art (obtention d'un sol support homogène / plat / correctement curé, ...) et aux prescriptions de la présente étude.



À partir des modules pressiométriques mesurés en SP1 et du coefficient rhéologique (α) en fonction du type de sol, on obtient l'estimation du module de déformation E_s (MPa) suivante :

Nature des sols		Profondeur base (m/TA)	EM (MPa) moy	α	Module de déformation E_s (MPa)
H0	Remblais – sables argileux à graves [marron] + blocs	1,0	-		
H1	Sables limono-argileux	3,7	18,4	1/3	55,2
H2	Substratum gneissique altéré	8,2*	79,4	2/3	119,1

* Arrêt volontaire

5.4.3. Locaux TCFM, sécurité et comptage [SP5]

La solution de radier devra permettre de mobiliser un horizon portant, homogène et de bonne compacité. Le fond de forme devra être constitué par la formation **des sables argileux (horizon H1)**, soit à une profondeur minimale de 2,1 m/TA suite à la purge des remblais.

D'après les analyses laboratoire, l'horizon H1 de sables argileux est estimé en PST1/AR1.

L'ancrage des fondations devra être adapté aux conditions réellement rencontrées afin d'obtenir un sol d'assise **d'homogénéité satisfaisante**. La purge des matériaux remblayés, imbibés, remaniés ou évolutifs sera nécessaire ; dans ces conditions, la substitution devra être réalisée par des matériaux granulaires insensibles à l'eau et au gel et sera soigneusement compactées.

Dans le cas de surprofondeurs de terrassement, un rattrapage gros béton pourra être envisagé.

Conformément aux recommandations de la norme française d'application de l'Eurocode 7 relative aux fondations superficielles ou semi-profondes (norme NF P94-261), au vu des descentes de charges prévisibles et considérant les données géomécaniques acquises, les valeurs de contraintes admissibles seront limitées à :

Locaux TCFM, sécurité et comptage / Radier (SP5)	
Etats limites	Contraintes admissibles
ELU durable / transitoire / accidentelle	$\leq 0,05$ MPa (soit 5,0 t/m ²)
ELS quasi-permanent / caractéristique	$\leq 0,03$ MPa (soit 3,0 t/m ²)

Remarque : en cas d'inclinaison ou d'excentrement des charges, les contraintes susmentionnées devront être minorées par le coefficient $i \geq 0$.

Nous avons procédé à une estimation des tassements prévisibles, en utilisant la méthode pour les radiers / dallages ou remblais et en prenant pour données d'entrée les caractéristiques des différents ouvrages (profondeur d'assise, contrainte, emprise,...) :

Au terme des calculs, les tassements devraient être inférieurs au demi-centimètre.



Insistons néanmoins sur le fait qu'en pratique, les valeurs dépendront grandement du soin porté à l'exécution des terrassements et à la préparation de la plateforme support qui devra être conforme aux règles de l'Art (obtention d'un sol support homogène / plat / correctement curé, ...) et aux prescriptions de la présente étude.

À partir des modules pressiométriques mesurés en SP5 et du coefficient rhéologique (α) en fonction du type de sol, on obtient l'estimation du module de déformation E_s (MPa) suivante :

Nature des sols		Profondeur base (m/TA)	EM (MPa) moy	α	Module de déformation E_s (MPa)
H0	Remblais – sables argileux à graves [marron] + blocs	1,9	14,3	1/2	25 à 30
H1	Sables limono-argileux	4,1	81,5	1/2	160
H2	Substratum gneissique altéré	8,9*	130,6	2/3	195

* Arrêt volontaire

5.4.4. Bacs transformateurs et Murs pare-feu [SP2 et SP4]

Au regard des résultats des sondages effectués à proximité (SP2) et des de l'étude réalisée par GINGER (Dossier n°RCF2.C.080 du 31/08/2012) présentant une couche de remblais d'environ 2,0 m, il pourrait être possible de réaliser des fondations superficielles et descendus au-delà des remblais. À noter que l'épaisseur de ces derniers ont été observés jusqu'à 3,6 m/TA en SP4.

L'assise des fondations devra respecter les conditions suivantes :

- **traverser intégralement les terrains remblayés atteignant une profondeur autour de 2,0 m selon les autres essais et l'étude réalisée par GINGER (à vérifier lors de l'ouverture, car selon le sondage SP4, ils auraient une puissance de 3,6 m/TA, ce qui amènerai donc à s'orienter vers une solution semi-profonde ou profonde)**, remaniés/remblayés ou amenés à l'être lors de la préparation de la plateforme de travail, ainsi que les matériaux enrichis en matière organique ;
- **assurer un ancrage d'au moins 30 cm dans les terrains en place et de bonne compacité, tout en garantissant un encastrement suffisant pour satisfaire durablement la stabilité de l'ouvrage;**
- respecter une garde adaptée au risque de retrait-gonflement des argiles ("aléa faible"), soit être descendues à la profondeur minimale de 0,8 m/terrain extérieur fini. À cette profondeur, la mise hors-gel sera automatiquement vérifiée ;
- au vu de la profondeur à atteindre, le choix des fondations seront donc des massifs isolés, ce qui serait plus judicieux, et ils devront assurer un bon contact sol-fondation.

Les surprofondeurs possibles liées à la présence de terrains remblayés / enrichis en matière organique / remaniés / décomprimés, ou éventuels points durs, pourront être rattrapées à l'aide d'un béton maigre.



Dans le cas de différences d'altitude entre les assises des fondations, il sera de rigueur de respecter la règle des 3H/2V entre les arêtes basses (massifs isolés) ou de mettre en place un système de redans (semelles filantes), et de prévoir la réalisation de joints de ruptures afin de désolidariser les structures fondées à des profondeurs différentes.

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

Afin de limiter les éventuels risques de tassements absolus et différentiels prévisibles, nous recommandons de limiter les valeurs de contraintes admissibles comme suit :

Bancs transformateurs + Murs pare-feu [SP4]	
États limites	Contraintes admissibles
ELU durable / transitoire / accidentelle	$\leq 0,33 \text{ MPa}$ (soit $33,0 \text{ t/m}^2$)
ELS quasi-permanent / caractéristique	$\leq 0,20 \text{ MPa}$ (soit $20,0 \text{ t/m}^2$)

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

Afin d'assurer un bon contact sol-fondation la largeur minimale des fondations sera de 0,6 m pour des massifs isolés.

En regard des hypothèses de descentes de charges retenues, pour des fondations superficielles descendues entre **2,3 et 2,5 m/TA** au minimum (**à vérifier d'avoir traversé en intégralité les remblais**), dans les sols d'assise en place et appliquant une contrainte au sol limitée à $q'_{ELS} = 0,20 \text{ MPa}$, les tassements sont estimés inférieur au centimètre.

En considérant les descentes de charges attendues, pour une assise de fondations entre 2,3 et 2,5 m/TA pour les fondations périmétriques, et une contrainte admissible aux ELS de 0,20 MPa, les largeurs de fondations minimales à considérer seront les suivantes :

Massifs isolés				
Charges considérées (t)	3,5	5	80	100
Contrainte admissible aux ELS (t/m^2)	20			
Largeur de fondation minimale (m)	0,7	0,7	2,1	2,6

Remarque : il conviendra de prendre en compte le poids propre du béton au vu des profondeurs à atteindre, ce qui implique donc une possibilité d'élargissement des fondations.



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

5.5. Solutions de fondation profondes – Bâtiment de commande

Le mode de fondation des ouvrages projetés devra faire état de l'importance et de la géométrie des charges apportées ainsi que de la nécessité de mobiliser un horizon portant, homogène et de bonne qualité.

Pour les ouvrages des bancs transformateurs et du bâtiment de commande, au regard des résultats susmentionnés et de l'infaisabilité des fondations superficielles ou semi-profondes au vu de la présence des remblais sur de forte profondeur, la solution retenue consiste donc en un système de fondation profonde de type micropieux, atteignant le substratum gneissique (horizon H2).

5.5.1. Recommandations d'exécution des micropieux

En pratique, il reviendra à l'entreprise en charge de l'exécution des fondations :

- de choisir la méthode la plus appropriée afin d'atteindre l'ancrage nécessaire au sein du soubassement identifié (sans refus prématuré) ;
- d'ajuster les fiches et diamètres des fondations au regard des descentes de charges réelles et du calage altimétrique précis des ouvrages ;
- de prévoir un maintien des parois avant bétonnage (tubage, ...), afin d'éviter la perte de consistance des fondations par lessivage du béton, notamment favorisée par l'existence d'une part, de couches molles, et d'autre part, d'une nappe (éventuellement soumise à un gradient hydraulique local) et/ou de circulations préférentielles. Des surconsommations de béton sont à envisagés ;
- il convient d'injecter un volume de coulis équivalent à 1,5 à 2 fois le volume de scellement calculé à partir du diamètre de forage ;
- selon les préconisations en vigueur, les essais suivants seront à prévoir avant réception des travaux : mesures par impédance, enregistrement des paramètres de forage, contrôle sur les bétons, essais de contrôle d'exécution par essais de chargement et/ou traction (contrôles renforcés à définir à l'issue de l'étude EXE suivant les sollicitations dans le béton) ;

Remarque : dans le cadre d'un chantier de moins de 25 micropieux, l'essai de contrôle d'exécution peut être remplacé par une majoration forfaitaire des sollicitations amenées par l'ouvrage de 50 % lorsque les fondations ne travaillent qu'en compression (à l'ELS sous toutes combinaisons et à l'ELU sous les combinaisons fondamentales).

5.5.2. Hypothèses de calculs et principes de conception

Les éléments de prédimensionnement développés ci-après seront établis à partir des règles de justification des fondations profondes formalisées par l'Eurocode 7 et sa forme d'application nationale NF P 94-262 (juillet 2012).

La justification repose sur l'approche « modèle de terrain », et en considérant une condition de site simple et un ouvrage de catégorie géotechnique 4.



Dans le cadre de l'ébauche dimensionnelle, nous retiendrons comme hypothèses de calculs et principes de conception :

- une coupe lithologique et géomécanique (= modèle géotechnique) basée sur les sondages réalisés à l'aplomb des ouvrages en question, appuyée et mise en corrélation avec les autres sondages ;
- le cas de micropieux type III (MIGU – Classe 8 / Catégorie 19), dans le cadre de charges verticales centrées) ;
- le frottement latéral sera négligé sur l'entièreté de l'épaisseur des remblais identifiés dans nos sondages, suite à l'identification de terrains lâches. Selon les opérations d'aménagements prévues, il pourra être nécessaire de prendre en compte des efforts parasites (frottements négatifs) ;
- les micropieux seront écartés d'au moins 3 diamètres. Dans le cas contraire, les effets de groupe liés au rapprochement des pieux et affectant le frottement axial R_s devront être pris en compte.

D'après l'EC7, la résistance limite à la compression (R_c) et la résistance limite de traction (R_t) sont définies par les expressions générales suivantes :

$$R_c = R_b + R_s$$

$$R_t = R_s$$

$$R_b = A_b \cdot q_b$$

où

$$q_b = k_p \cdot P_{le}^*$$

Avec :

$$R_s = P_s \int_0^D q_s(z) dz$$

où

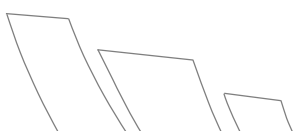
$$q_s(z) = \alpha_{pieu-sol} \cdot f_{sol}$$

R_b : résistance limite de pointe ;
 R_s : valeur de la résistance de frottement axial ;
 A_b : surface de la base de la fondation ;
 q_b : pression de rupture du terrain sous la base de la fondation (résistance limite) ;
 k_p : facteur de portance ;
 P_{le}^* : pression limite nette équivalente ;
 P_s : périmètre du fût ;
 D : longueur de la fondation contenue dans le terrain ;
 $q_s(z)$: frottement axial unitaire limite à la cote z ;
 $\alpha_{pieu-sol}$: paramètre adimensionnel dépendant du type de pieu et de la classe de sol ;
 f_{sol} : fonction dépendant du type de sol et des valeurs de pression limite (pl).

Dans le cas de micropieux, le terme de pointe (R_b) n'est pas pris en compte.

Les coefficients partiels de modèle, adaptés au type de micropieux (classe 8 -catégorie 19) et au modèle de terrain, à considérer sont les suivants :

	$\gamma_R ; d1$		$\gamma_R ; d2$
	Compression	Traction	
Micropieux type III	1,4	1,7	1,10



Bâtiment de commande [SP6]

Pour le modèle géotechnique, seul le sondage SP6 a été considéré pour le dimensionnement, étant le sondage le plus à l'aplomb du projet et ayant les caractéristiques lithologiques et géomécaniques les plus défavorables.

En considérant des estimations prudentes des paramètres géotechniques à prendre en compte dans la définition des différents critères, ainsi qu'un nombre de 6 micropieux nous proposons, pour le dimensionnement des fondations profondes, le modèle géotechniques suivant :

Couches	Prof max de la base (m/TA)	Em moy. (MPa)	PI* moy. (MPa)	Micropieux type III (MIGU – Classe 8 / Catégorie 19)				
				Classe de sol	Courbes EC7	$\alpha_{\text{pieu-sol}}$	F _{sol} (kPa)	q _s (kPa)
Horizon H0 Remblais : sables argileux à graves + blocs	3,5 / 4,0	Mort terrain						
Horizon H1 Substratum gneissique	8,9*	104,2	3,79	Roche altérée et fragmentée	Q5	2,4	117,9	283,0

* arrêt volontaire

À titre indicatif et au terme de notre démarche, dans le cadre des hypothèses précédentes, pour un micropieu type III (MIGU – Classe 8 / Catégorie 19), les valeurs de descentes de charges axiales pouvant être reprises en compression sont de l'ordre de :

Type de fondation	Diam. (mm)	Prof. (m/TA)	Charges admissibles à la compression (en kN)			
			R _{c;cr;d} aux ELS		R _{c;d} aux ELU	
			Quasi permanent	Caractéristique	Durable et transitoire	Accidentel
Micropieux type III	250	4,5	91,7	112,2	131,1	144,3
Micropieux type III	250	5,0	137,6	168,3	196,7	216,4

Compte tenu de la présence de remblais non-cohérents il conviendra que la dalle préfabriquée sera portée par les fondations / micropieux.

Remarque : au vu de la portance d'1 micropieux et du poids du bâtiments, à première vue, le nombre de ces derniers devraient être à minima de 6 à 9. Seule l'entreprise spécialisée sera en mesure de déterminer le nombre exacte, ainsi que leurs positions pour la phase d'exécution.



5.6. Recommandations géotechniques générales

5.6.1. Terrassements généraux

Selon les ouvrages et la profondeur d'assise à atteindre, les terrassements nécessaires seront plus ou moins conséquents (transformateur souvent placé à 1,0 m/Terrain extérieur fini TE, ...).

Nos investigations ont révélé l'existence de remblais sablo-argileux à graves et blocs sur une épaisseur maximale de 3,6 m. Cet horizon ayant provoqué le refus au pénétromètre, son induration locale et la présence de blocs pourront nécessiter l'emploi ponctuel d'engins de forte puissance (BRH, dent de déroctage, ripper...) en plus des engins « classiques » de terrassement adaptés aux sols plus lâches.

En outre, le substratum rocheux ne devrait pas être atteint par les opérations de terrassement, même si les variations importantes de profondeur du toit rocheux n'excluent pas la présence de remontées de pointes rocheuses.

Les unités remblayées sablo-argileuses et les altérites/arènes de sables limono-argileux renferment une certaine proportion de matériaux fins sensibles à l'eau, pouvant par conséquent changer de consistance en présence d'eau. En périodes pluvieuses des difficultés de circulation des engins pourront être rencontrés. La réalisation des travaux de terrassement en période dite favorable (période sèche, peu pluvieuse) est vivement recommandée.

De plus des éléments pollués ont été observés principalement à l'Ouest de la parcelle (sondages SP5 et SP6). Il conviendra de s'adapter lors de la seconde campagne d'analyses des sols et de l'air qui sera exécutée en octobre 2025.

Accélérer les opérations de bétonnage (coulage à pleine fouille sitôt ouverture) et/ou de pose des ouvrages, limitera les affouillements ainsi que la durée d'exposition aux intempéries.

Selon l'importance des ouvertures "en grand" à réaliser, il est possible que des phénomènes de décompression se produisent et génèrent des volumes hors profils non négligeables. Aussi, afin de garantir le bon calibrage des fouilles, il conviendra :

- soit, à court terme / phase provisoire, pour des profondeurs limitées ($\leq 1,3$ m), en milieu sec et après s'être assuré que l'emprise disponible le permet (selon la position relative des limites de propriété par exemple, ...) : de dresser les parois selon une inclinaison suffisamment douce (de l'ordre de 3H/2V dans les remblais, de 2H/1V dans les sables limono-argileux et de 1H/1V dans les gneiss) ;
- soit, en cas d'ouverture prolongée, pour des profondeurs trop importantes ou si un talutage au large n'est pas envisageable : de soutenir les terres par des moyens adaptés (blindage, soutènement provisoire).

Les règles de l'art seront respectées et notamment :

- Protection des talus en phase provisoire (déroulement d'un polyane) ;
- Protection de talus éventuels en phase définitive (engazonnement, plantations, système pérenne de récupération des eaux...).



Bien entendu, on peut toujours opter pour la mise en place d'un soutènement adapté au profil géomécanique et dimensionné par une étude spécifique.

Pour le remblaiement à l'arrière des murs périphériques enterrés, il faudra mettre en œuvre des matériaux d'apport, drainants, insensibles à l'eau et frottant, compactés mécaniquement par couches successives.

Il faudra impérativement retenir des matériaux et des conditions de mise en œuvre ne favorisant pas les rétentions et accumulations d'eau à l'arrière des murs.

À titre indicatif et en première approximation, les caractéristiques intrinsèques des matériaux reconnus que nous proposons de prendre en compte dans les calculs sont :

Nature des sols	Profondeur max (m/TA)	Caractéristiques intrinsèques			
		Cohésion : c' (kPa)	Angle de frottement : φ' (°)	Poids volumique : γ (kN/m ³)	Coef. α
Horizon H0 Remblais : sables argileux à graves + blocs	5,1	5	15	18	1/2
Horizon H1 Sables limono-argileux	4,1	5	25	19	1/3 à 1/2
Horizon H2 Substratum gneissique	8,9*	50	30	20	2/3

* Arrêt volontaire

Nous rappelons que les talus devront impérativement être protégés des intempéries (par exemple à l'aide de polyane ou de coulis de ciment / béton de propreté).

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

5.6.2. Mise hors d'eau

Nos sondages (réalisés du 05 au 15/05/2025) présentaient des niveaux d'eau stabilisés situés entre 2,2 et 3,1 m/TA. La bonne perméabilité du premier mètre des remblais sablo-argileux (essais Porchet) suggère l'absence d'accumulations / circulations d'eau de surface.

Néanmoins, le projet est situé en zone sujette aux sein des enveloppes d'inondation cours d'eau. Dans l'attente du suivi piézométrique sur le long terme que nous avons mis en place en deux points de la zone, il reste difficile de juger des évolutions de la nappe phréatique ainsi que de son niveau des plus hautes eaux. Néanmoins, la faible profondeur de ces niveaux d'eau atteste que la nappe peut interférer avec le projet en phase travaux, et potentiellement en phase définitive si des sous-sols sont prévus dans les futures installations (salle HTA dans le bâtiment de contrôle commande).

Afin de limiter les contraintes d'exécutions qui résulteraient de la présence d'eau à l'ouverture, nous recommandons :



- De privilégier une exécution des terrassements en période météorologique favorable (basses eaux de la nappe superficielle, pas de pluie, ...) ;
- Pendant le terrassement, de prévoir la mise en œuvre d'un système de pompage à faible débit dans l'objectif, le cas échéant, d'assécher les fonds de fouilles pour travailler à sec. La faible perméabilité des terrains devrait garantir de faibles débits de pompage. Les entreprises retenues pour la réalisation des travaux de pompage devront statuer sur la nature du dispositif qui leur paraît le plus adapté au contexte, sur la base des caractéristiques de terrains décrites et de leurs expériences. Les pompages devront dans tous les cas être modérés et contrôlés pour éviter l'entraînement des particules fines (tranchées et puits de décharge avec pompes immergées munies de crépines et chaussettes géotextiles, ...) ;
- D'employer, pour le coulage des fondations/casques, un béton adapté permettant de s'affranchir de l'eau résiduelle éventuellement présente après terrassement.

La bonne conduite des travaux et la pérennité du projet impliqueront une gestion efficace des eaux météoriques.

5.6.3. Traitement des parties enterrées

Toutes les parties enterrées, même sur de faibles hauteurs, devront être :

- conçues et dimensionnées comme des murs de soutènement afin de résister à la poussée des terres et d'absorber des sous-pressions hydrostatiques ;
- réalisées en retenant les paramètres intrinsèques présentés dans le tableau du paragraphe 5.9.1, (avec adaptation des valeurs en fonction des matériaux retenus pour assurer le remblaiement) ;
- traitées en étanchéité / imperméabilisation selon leur usage et la volonté du maître d'ouvrage (cuvelage étanche).

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



CONDITIONS PARTICULIERES

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

.....



Annexes

Annexe 1 : Missions géotechniques (extrait de la norme NF P 94-500)

Annexe 2 : Plan de localisation des sondages

Annexe 3 : Coupes des sondages pressiométriques, géologiques et pénétrométriques

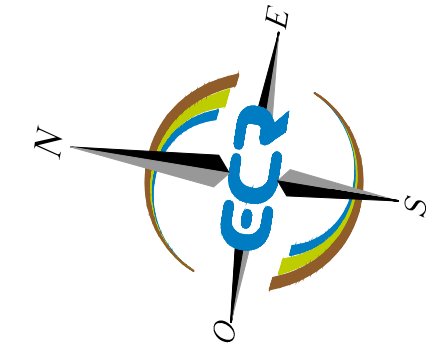
Annexe 4 : synthèse des mesures de résistivité électrique

Annexe 5 : Procès-verbaux des analyses de laboratoire

Annexe 6 : Résultats des calculs de micropieux avec Foxta



Rue du Château d'Alleuze



Zone de Stockage 1

Cheminement machine

Zone de Stockage 2

Balisage simple chaînette

Balisage simple chaînette

LEGENDE ETUDE DE SOL:



PM: Sondage de reconnaissance à la pelle mécanique



P: Sondage pénétrométrique



SP: Sondage pressiométrique



ST: Sondage à la tarière



K: Essai de perméabilité



PZ: Piézomètre

ECHELLE

25 mètres



Agence de Brive
4, Avenue du 4 Juillet 1776
19100 BRIVE-LA-GAILLARDE

Système planimétrique	RGF 93 Zone 4 - CC45	
Système altimétrique	NGF - IGN 69	
Date	Echelle	Affaire
04/04/2025	1/250	1901490

DEPARTEMENT DU CANTAL - COMMUNE DE SAINT-FLOUR (15)

ENEDIS - Sillon Rhodanien / BRIPS Auvergne
7, Rue Marcel Paul
03100 MONTLUCON

PLAN DE BALISAGE ET PROGRAMME GEOTECHNIQUE
PS de Saint Flour
12, Rue de Château d'Alleuze
15100 SAINT FLOUR

Date : 14/05/2025

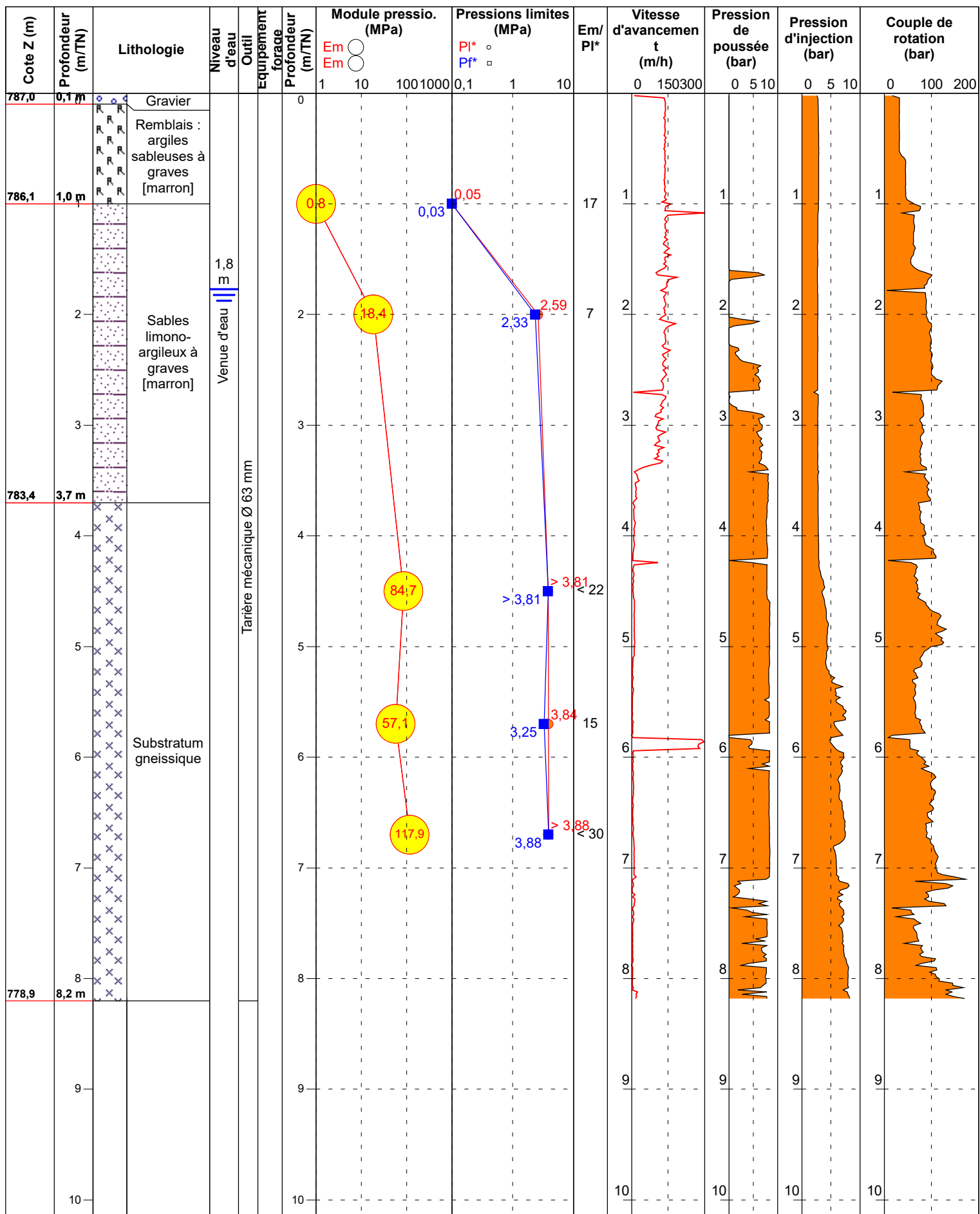
Cote Z : 787,07 m NGF

Type : **Tarière+essais pressiométriques**

Client : **ENEDIS**

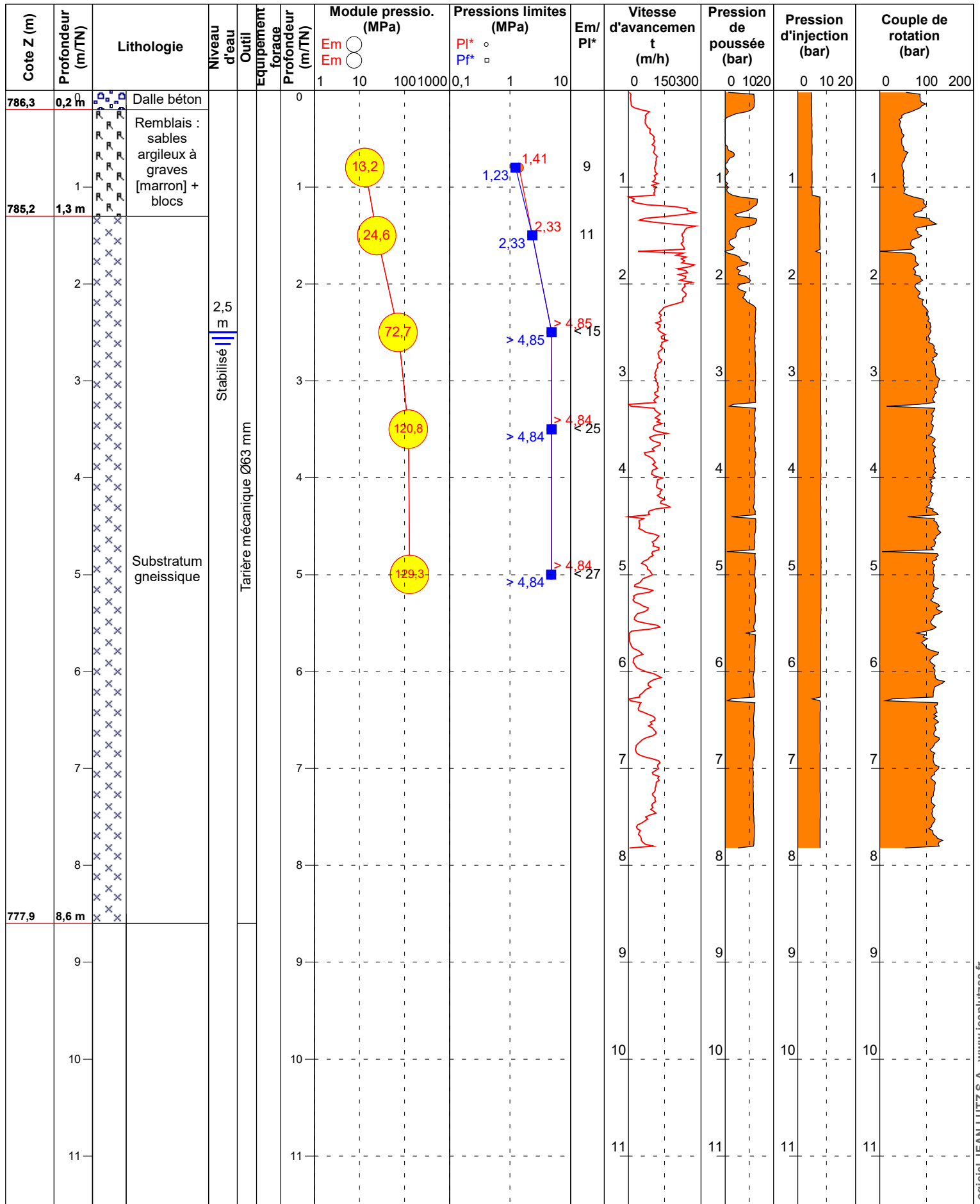
Sondage : SP1

EXGTE 3.20/LB2GEO115FR



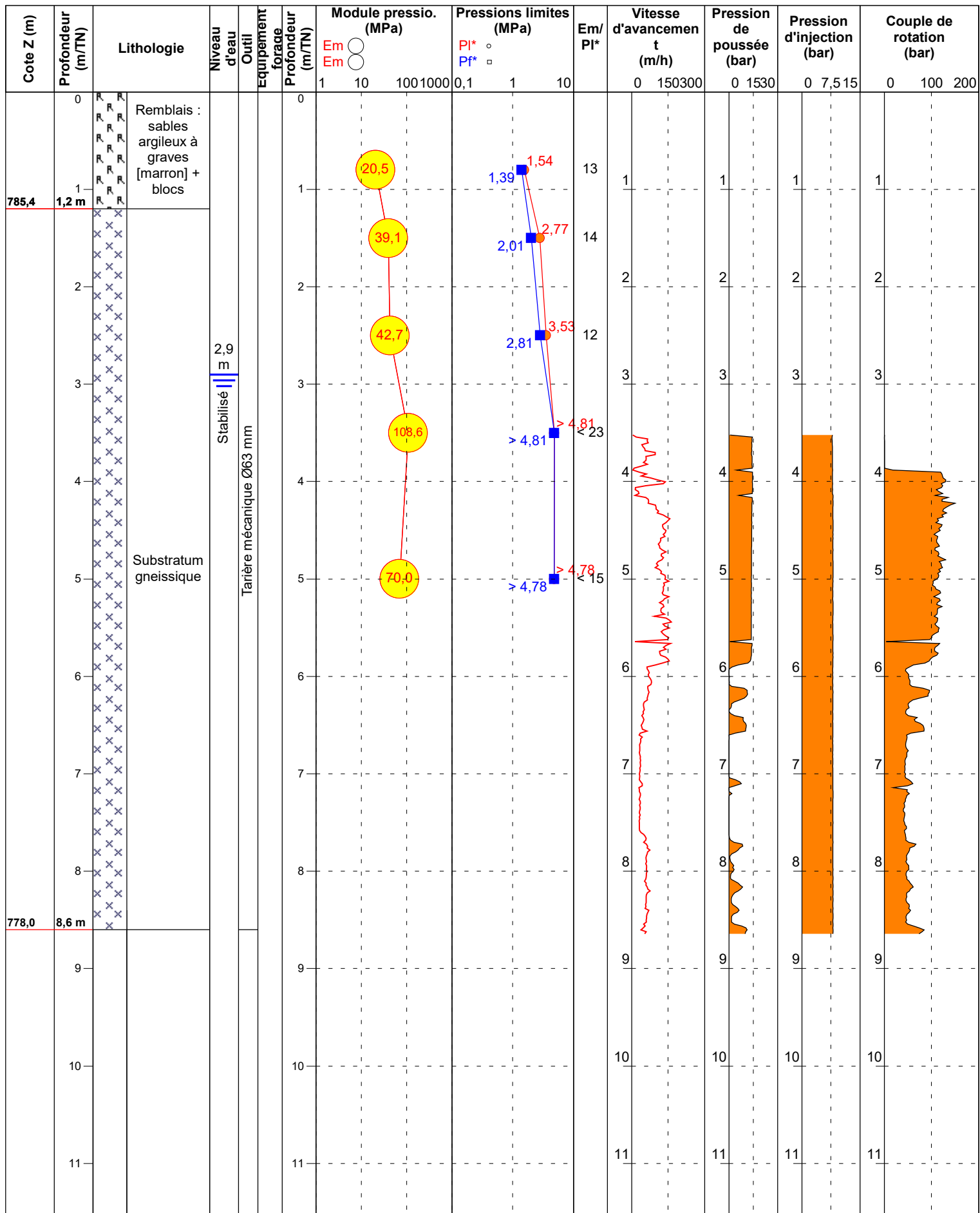
Sondage : SP2

EXGTE 3.20/LB2GEO115FR



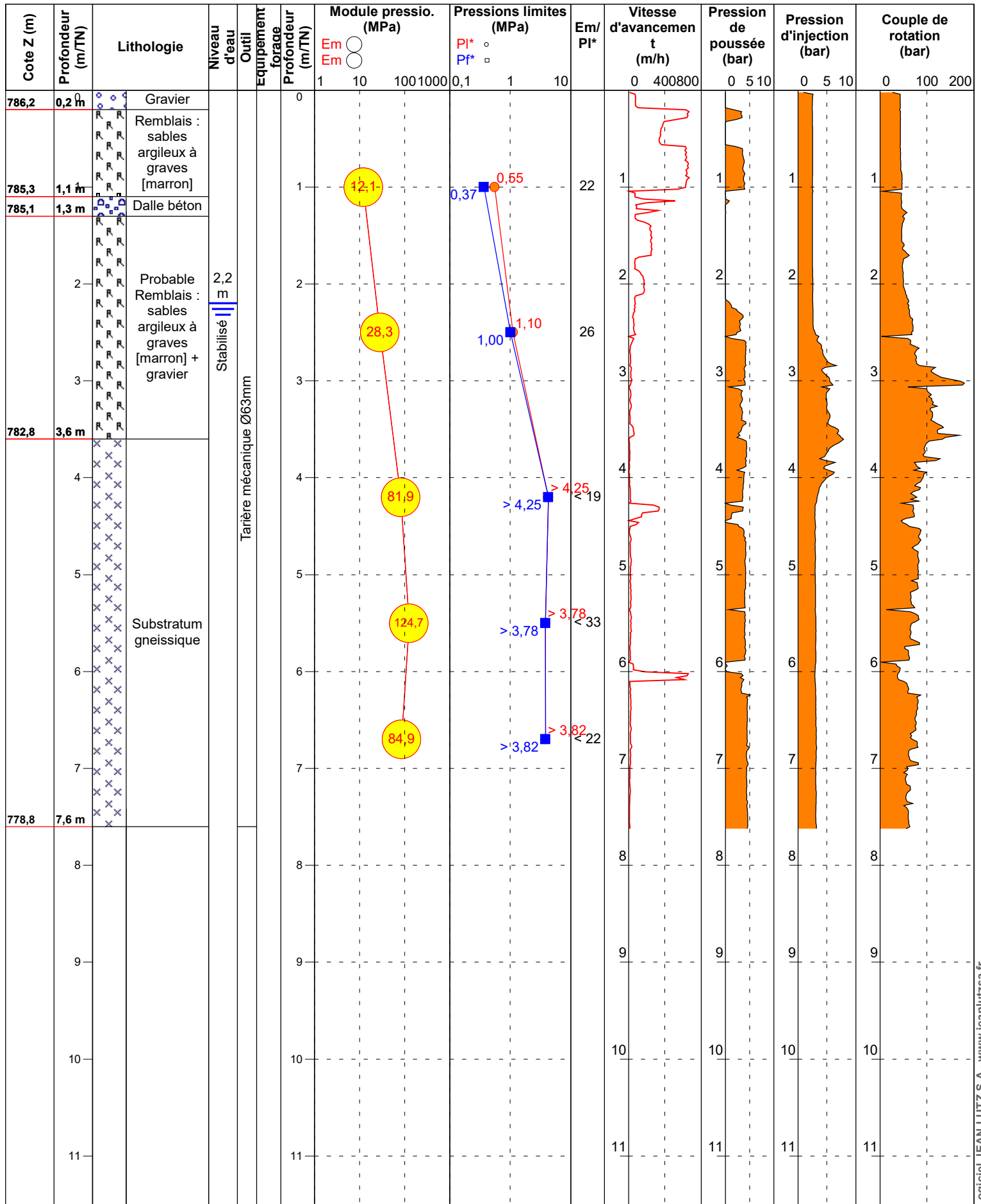
Sondage : SP3

EXGTE 3.20/LB2GEO115FR



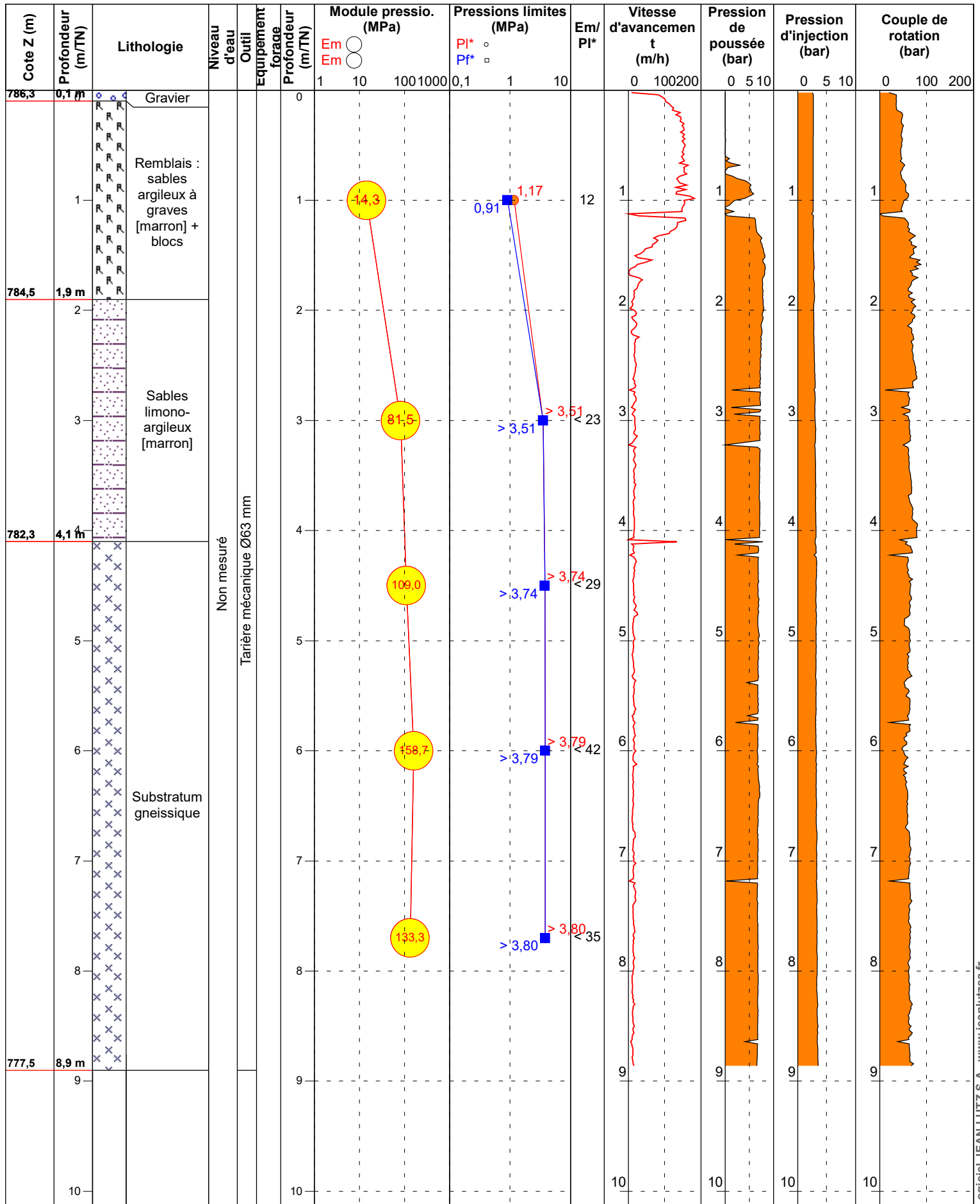
Sondage : SP4

EXGTE 3.20/LB2GEO115FR



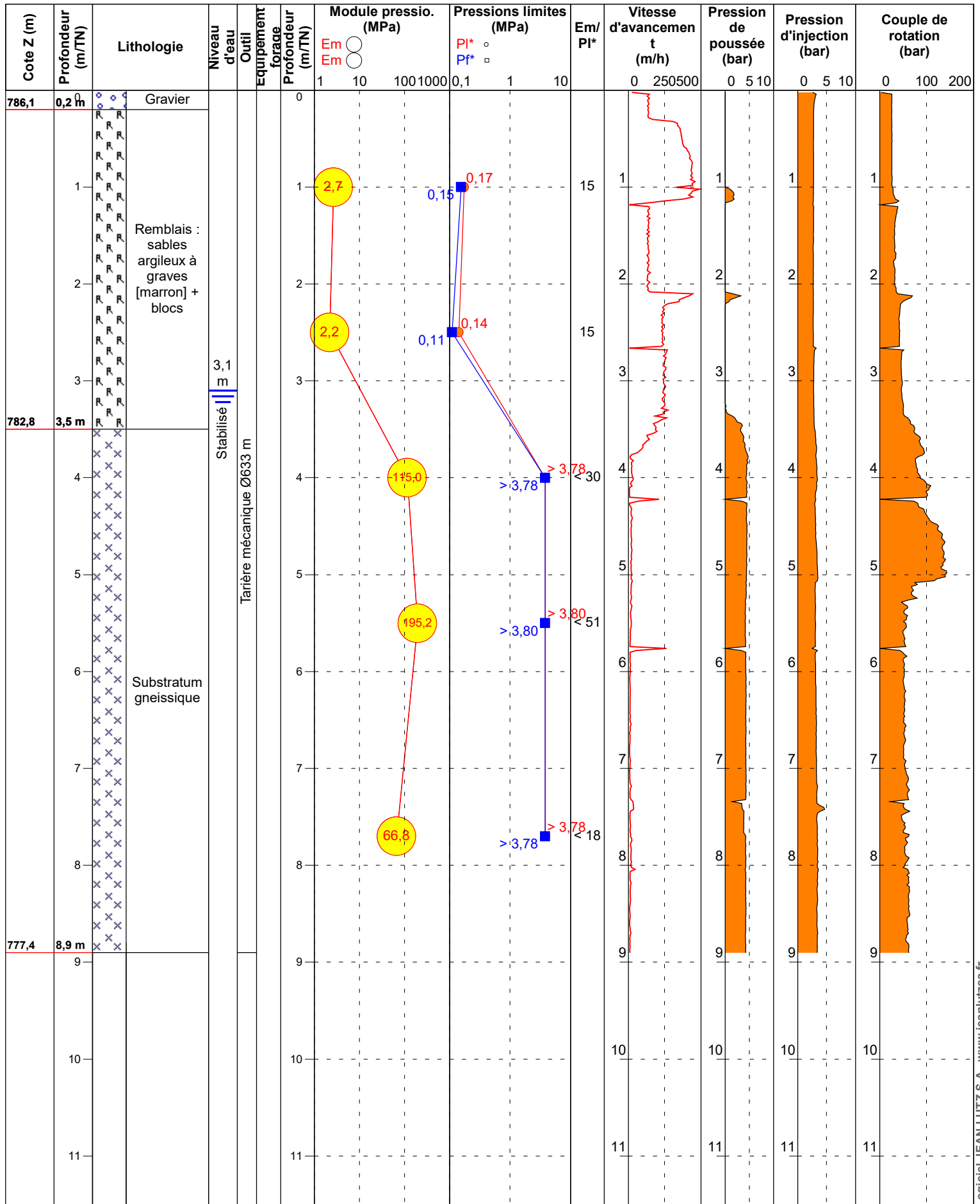
Sondage : SP5

EXGTE 3.20/LB2GEO115FR



Sondage : SP6

EXGTE 3.20/LB2GEO115FR





Mission géotechnique G2-AVP
Réhabilitation Poste Source ENEDIS
12, rue du chateau d'Alleuze - ST-FLOUR (15100)

DOSSIER n° 1901490

Date : 14/05/2025

Cote Z : 786,64 m NGF

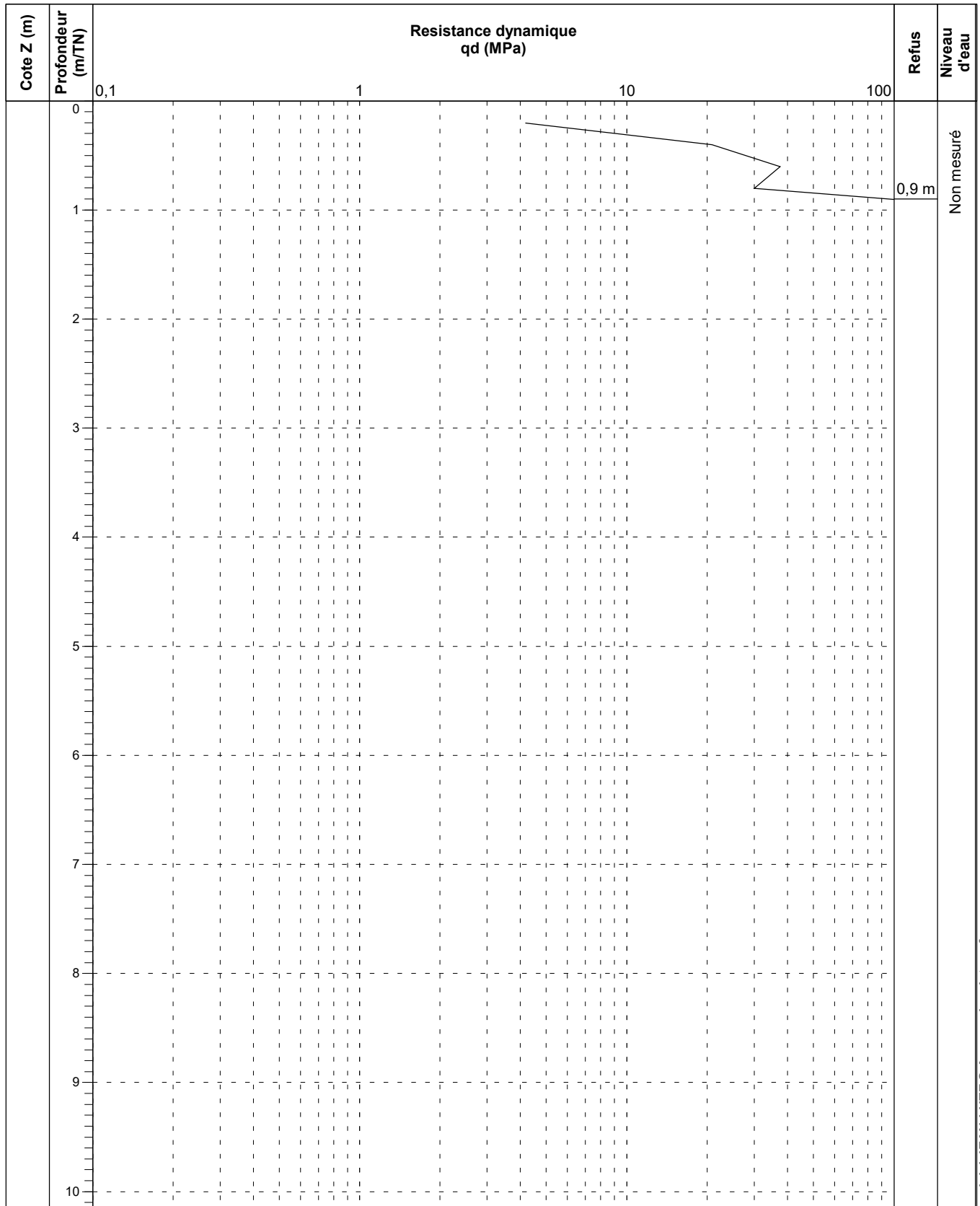
Type : Essais pénétrométriques lourds

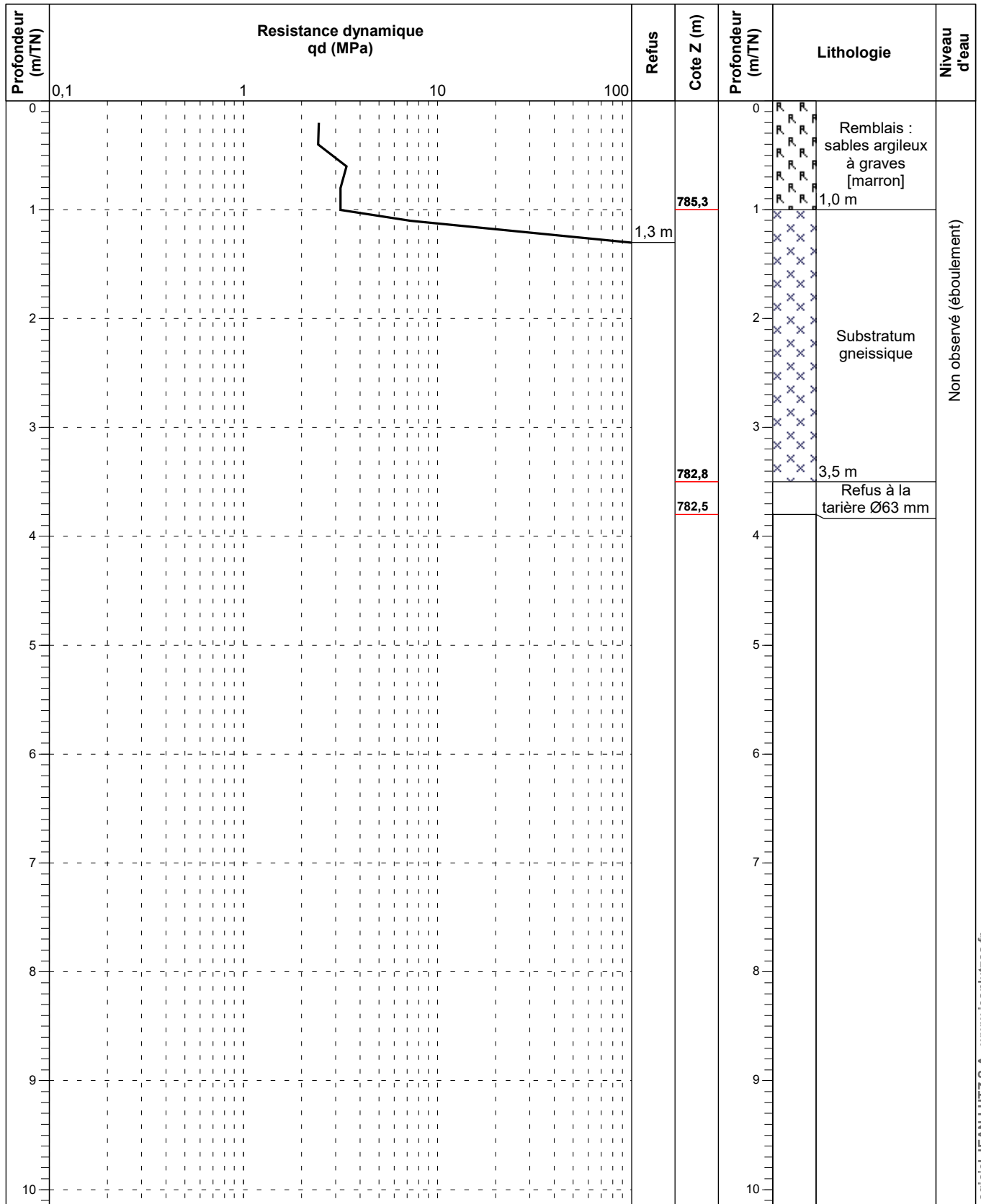
Client : ENEDIS

1/50

Sondage : P1

EXGTE 3.22/GTE





● <u>Affaire :</u>		● <u>Essai :</u>		K1		
N° Chrono :	1901491					
Etude :	Gestion des eaux pluviales					
Adresse :	Poste Source de Saint-Flour (15)					
Client :	Enedis					
Date :	14/05/2025		Agence :		Brive	
			Opérateur (s) :		ES	

ESSAI DE PERMEABILITE A NIVEAU VARIABLE - TYPE PORCHET

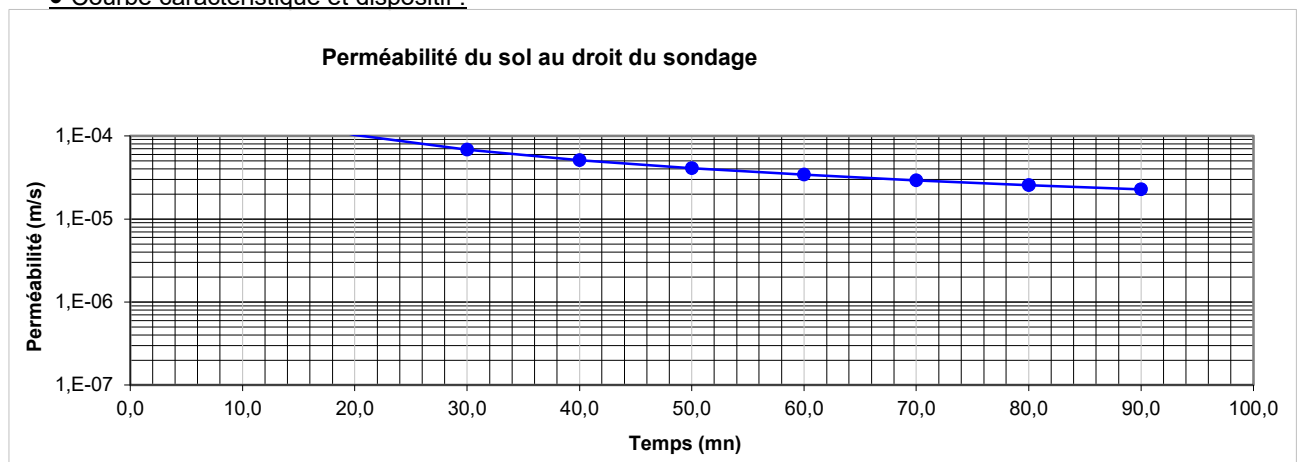
● <u>Lithologies :</u> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">De</td> <td style="width: 15%;">à</td> <td style="width: 70%;">Horizons :</td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table> ● <u>Commentaire :</u> Infiltration immédiate : impossible de remplir même en augmentant le débit	De	à	Horizons :																						● <u>Paramètres de l'essai :</u> Profondeur de l'essai : 1,13 m Diamètre du trou : 0,14 m Hauteur d'eau initiale (Hw) : 1,13 m 
De	à	Horizons :																							

● Suivi :

Temps (min)	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0
H / Repère (cm)	0,0	113,00	113,00	113,00	113,00
K (m/s)	-	2,0E-04	1,0E-04	6,8E-05	5,1E-05

Temps (min)	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
H / Repère (cm)	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00
K (m/s)	4,1E-05	3,4E-05	2,9E-05	2,6E-05	2,3E-05

● Courbe caractéristique et dispositif :



● Résultats :

K ≈	2,6E-05	m/s
K ≈	93	mm/h

● Affaire :

● Essai :

K2



N° Chrono : 1901491

Etude : Gestion des eaux pluviales

Adresse : Poste Source de Saint-Flour (15)

Client : Enedis

Date : 14/05/2025

Agence : BRIVE

Opérateur (s) : ES

ESSAI DE PERMEABILITE A NIVEAU VARIABLE - TYPE PORCHET

● Lithologies :

De	à	Horizons :
		Lithologie identique à K3 qui sont les deux seuls sondages argileux

● Commentaire :

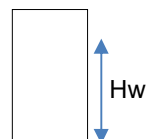
Seul sondage effectué à la tarière manuelle (diamètre 0,07), quelques effondrements.

● Paramètres de l'essai :

Profondeur de l'essai : **0,73 m**

Diamètre du trou : **0,07 m**

Hauteur d'eau initiale (Hw) : **0,73 m**



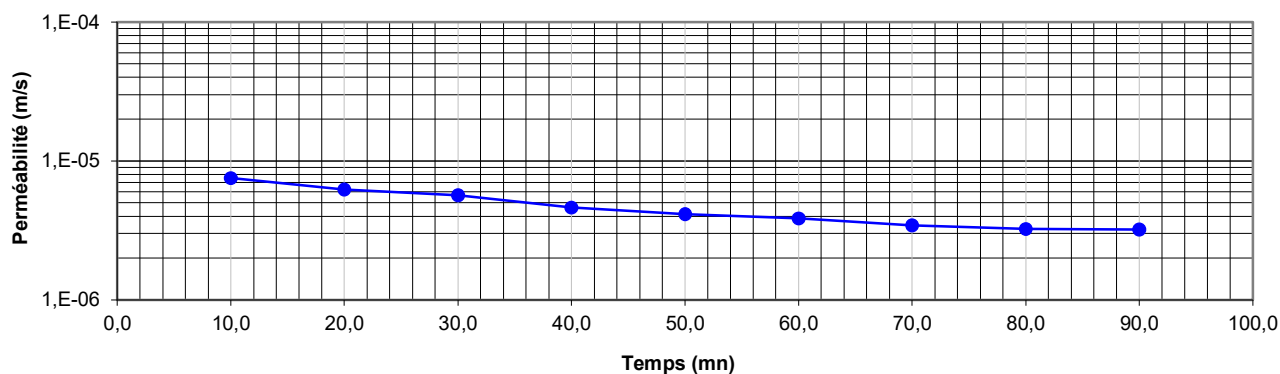
● Suivi :

Temps (min)	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0
H / Repère (cm)	0,0	17,00	26,00	33,00	35,00
K (m/s)	-	7,5E-06	6,2E-06	5,7E-06	4,6E-06

Temps (min)	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
H / Repère (cm)	38,00	41,00	42,00	44,00	47,00
K (m/s)	4,1E-06	3,9E-06	3,4E-06	3,2E-06	3,2E-06

● Courbe caractéristique et dispositif :

Perméabilité du sol au droit du sondage



● Résultats :

K ≈ 3,3E-06 m/s
K ≈ 12 mm/h

● Affaire :

● Essai :

K3



N° Chrono : 1901491

Etude : Gestion des eaux pluviales

Adresse : Poste Source de Saint-Flour (15)

Client : Enedis

Date : 14/05/2025

Agence : BRIVE

Opérateur (s) : ES

ESSAI DE PERMEABILITE A NIVEAU VARIABLE - TYPE PORCHET

● Lithologies :

De	à	Horizons :
		Lithologie identique à K2 qui sont les deux seuls sondages argileux

● Commentaire :

Présence d'eau au fond du trou avant le début de la saturation (remontée probable car pas de pluie)

● Paramètres de l'essai :

Profondeur de l'essai : **1,18 m**

Diamètre du trou : **0,14 m**

Hauteur d'eau initiale (Hw) : **1,18 m**



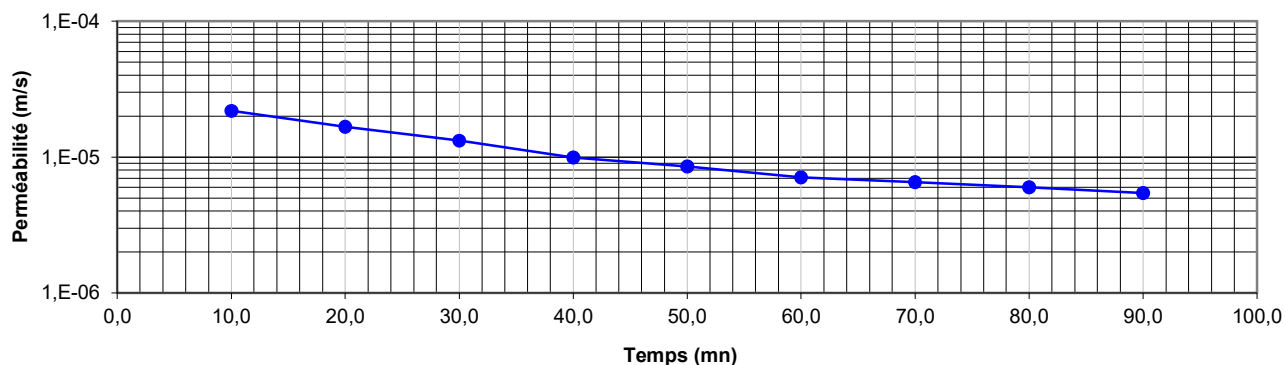
● Suivi :

Temps (min)	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0
H / Repère (cm)	0,0	38,00	53,00	60,00	60,00
K (m/s)	-	2,2E-05	1,7E-05	1,3E-05	9,9E-06

Temps (min)	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
H / Repère (cm)	63,00	63,00	66,00	68,00	69,00
K (m/s)	8,5E-06	7,1E-06	6,5E-06	6,0E-06	5,4E-06

● Courbe caractéristique et dispositif :

Perméabilité du sol au droit du sondage



● Résultats :

K ≈ 6,0E-06 m/s
K ≈ 22 mm/h

• Affaire :

• Essai :

K4



N° Chrono : 1901491

Etude : Gestion des eaux pluviales

Adresse : Poste Source de Saint-Flour (15)

Client : Enedis

Date : 14/05/2025

Agence : BRIVE

Opérateur (s) : ES

ESSAI DE PERMEABILITE A NIVEAU VARIABLE - TYPE PORCHET

• Lithologies :

De à Horizons :

Profondeur au moment de la saturation : 1,34

Profondeur au début des tests : 1,09

• Commentaire :

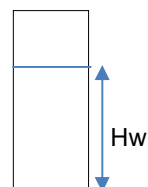
Quelques effondrements

• Paramètres de l'essai :

Profondeur de l'essai : **1,09 m**

Diamètre du trou : **0,14 m**

Hauteur d'eau initiale (Hw) : **1,09 m**



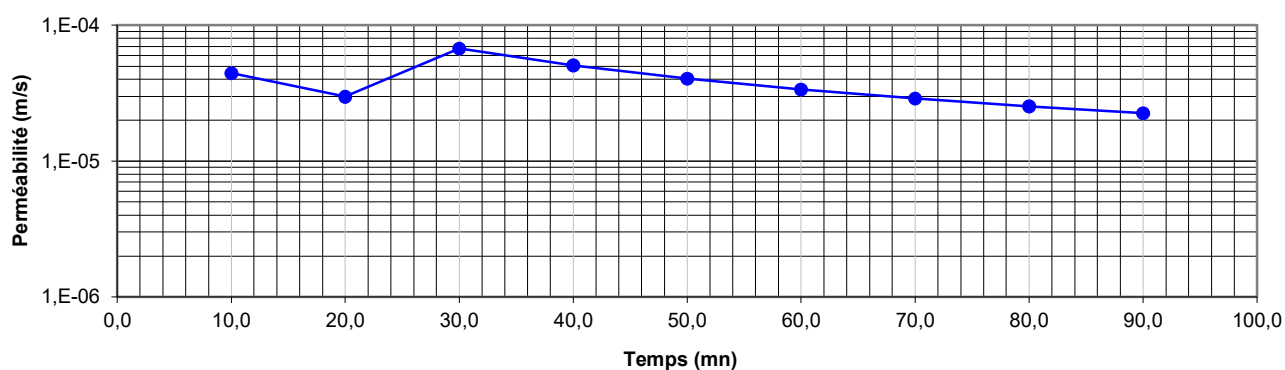
• Suivi :

Temps (min)	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0
H / Repère (cm)	0,0	60,00	72,00	109,00	109,00
K (m/s)	-	4,4E-05	3,0E-05	6,7E-05	5,1E-05

Temps (min)	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
H / Repère (cm)	109,00	109,00	109,00	109,00	109,00
K (m/s)	4,0E-05	3,4E-05	2,9E-05	2,5E-05	2,2E-05

• Courbe caractéristique et dispositif :

Perméabilité du sol au droit du sondage



• Résultats :

K ≈ 2,6E-05 m/s
K ≈ 92 mm/h

• Affaire :

• Essai :

K5



N° Chrono : 1901491
 Etude : Gestion des eaux pluviales
 Adresse : Poste Source de Saint-Flour (15)
 Client : Enedis
 Date : 14/05/2025

Agence : BRIVE
 Opérateur (s) : ES

ESSAI DE PERMEABILITE A NIVEAU VARIABLE - TYPE PORCHET

• Lithologies :

De	à

Horizons :

Profondeur au moment de la saturation : 1,22

Profondeur au début des tests : 1,10

• Commentaire :

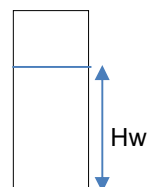
Hauteur d'eau inférieure à la prondeur de l'essai car infiltration trop rapide

• Paramètres de l'essai :

Profondeur de l'essai : **1,10 m**

Diamètre du trou : **0,14 m**

Hauteur d'eau initiale (Hw) : **0,87 m**



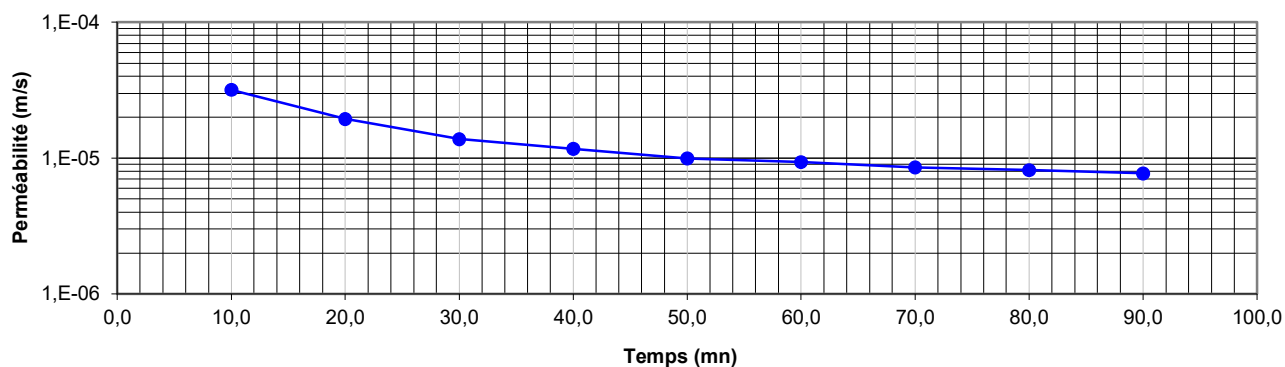
• Suivi :

Temps (min)	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0
H / Repère (cm)	0,0	38,00	44,00	46,00	50,00
K (m/s)	-	3,2E-05	1,9E-05	1,4E-05	1,2E-05

Temps (min)	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
H / Repère (cm)	52,00	56,00	58,00	61,00	63,00
K (m/s)	1,0E-05	9,4E-06	8,5E-06	8,2E-06	7,7E-06

• Courbe caractéristique et dispositif :

Perméabilité du sol au droit du sondage



• Résultats :

K ≈ 8,1E-06 m/s
 K ≈ 29 mm/h

• Affaire :

• Essai :

K6



N° Chrono : 1901491

Etude : Gestion des eaux pluviales

Adresse : Poste Source de Saint-Flour (15)

Client : Enedis

Date : 14/05/2025

Agence : BRIVE

Opérateur (s) : ES

ESSAI DE PERMEABILITE A NIVEAU VARIABLE - TYPE PORCHET

• Lithologies :

De à Horizons :

Profondeur au moment de la saturation : 1,50

Profondeur au début des tests : 1,01

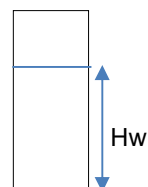
• Commentaire :

• Paramètres de l'essai :

Profondeur de l'essai : **1,01 m**

Diamètre du trou : **0,14 m**

Hauteur d'eau initiale (Hw) : **1,01 m**



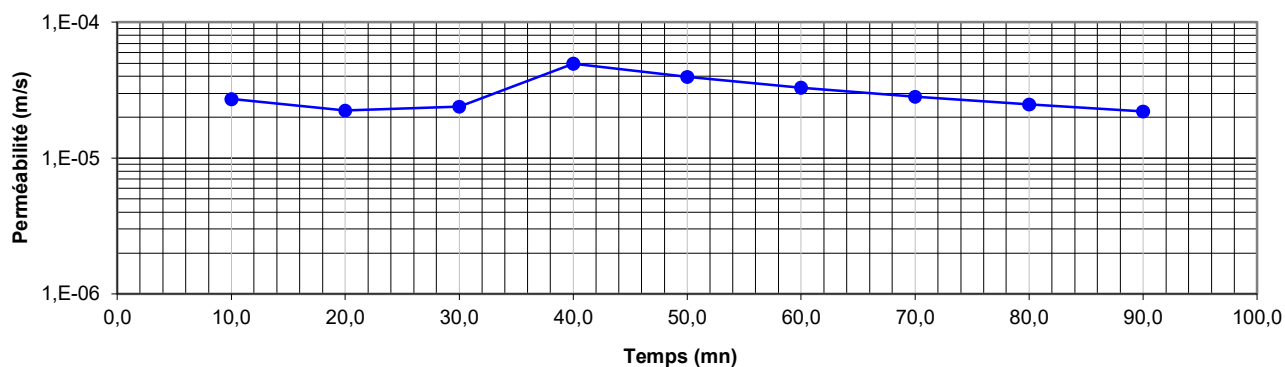
• Suivi :

Temps (min)	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0
H / Repère (cm)	0,0	39,00	56,00	74,00	101,00
K (m/s)	-	2,7E-05	2,2E-05	2,4E-05	5,0E-05

Temps (min)	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
H / Repère (cm)	101,00	101,00	101,00	101,00	101,00
K (m/s)	4,0E-05	3,3E-05	2,8E-05	2,5E-05	2,2E-05

• Courbe caractéristique et dispositif :

Perméabilité du sol au droit du sondage



• Résultats :

K ≈ 2,5E-05 m/s
K ≈ 90 mm/h

• Affaire :

• Essai :

K7



N° Chrono : 1901491
 Etude : Gestion des eaux pluviales
 Adresse : Poste Source de Saint-Flour (15)
 Client : Enedis
 Date : 14/05/2025

Agence : BRIVE
 Opérateur (s) : ES

ESSAI DE PERMEABILITE A NIVEAU VARIABLE - TYPE PORCHET

• Lithologies :

De	à

Horizons :

Profondeur au moment de la saturation : 1,55

Profondeur au début des tests : 0,83

• Commentaire :

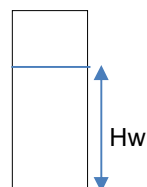
Vidé instantément

• Paramètres de l'essai :

Profondeur de l'essai : **0,83 m**

Diamètre du trou : **0,14 m**

Hauteur d'eau initiale (Hw) : **0,83 m**



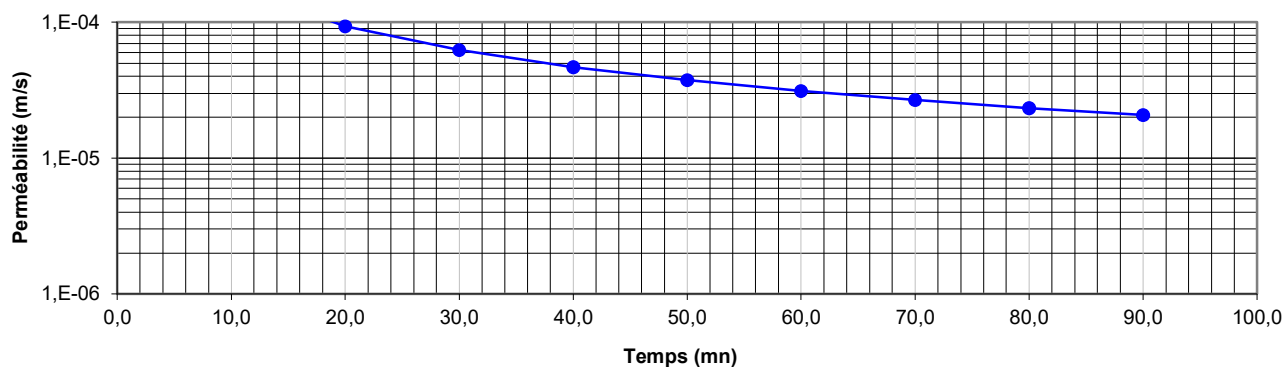
• Suivi :

Temps (min)	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0
H / Repère (cm)	0,0	83,00	83,00	83,00	83,00
K (m/s)	-	1,9E-04	9,4E-05	6,2E-05	4,7E-05

Temps (min)	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
H / Repère (cm)	83,00	83,00	83,00	83,00	83,00
K (m/s)	3,7E-05	3,1E-05	2,7E-05	2,3E-05	2,1E-05

• Courbe caractéristique et dispositif :

Perméabilité du sol au droit du sondage



• Résultats :

K ≈ 2,4E-05 m/s
K ≈ 85 mm/h

• Affaire :

• Essai :

K8



N° Chrono : 1901491

Etude : Gestion des eaux pluviales

Adresse : Poste Source de Saint-Flour (15)

Client : Enedis

Date : 14/05/2025

Agence : BRIVE

Opérateur (s) : ES

ESSAI DE PERMEABILITE A NIVEAU VARIABLE - TYPE PORCHET

• Lithologies :

De à Horizons :

• Commentaire :

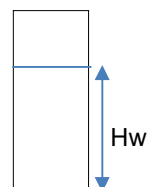
Hauteur d'eau inférieure à la prondeur de l'essai car infiltration trop rapide

• Paramètres de l'essai :

Profondeur de l'essai : **1,15 m**

Diamètre du trou : **0,14 m**

Hauteur d'eau initiale (Hw) : **0,71 m**



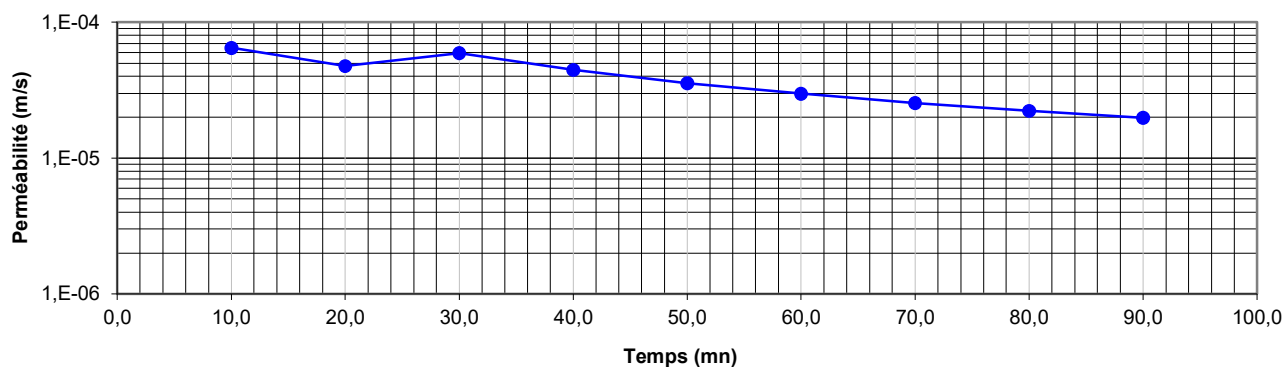
• Suivi :

Temps (min)	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0
H / Repère (cm)	0,0	50,00	60,00	71,00	71,00
K (m/s)	-	6,5E-05	4,8E-05	5,9E-05	4,5E-05

Temps (min)	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
H / Repère (cm)	71,00	71,00	71,00	71,00	71,00
K (m/s)	3,6E-05	3,0E-05	2,5E-05	2,2E-05	2,0E-05

• Courbe caractéristique et dispositif :

Perméabilité du sol au droit du sondage



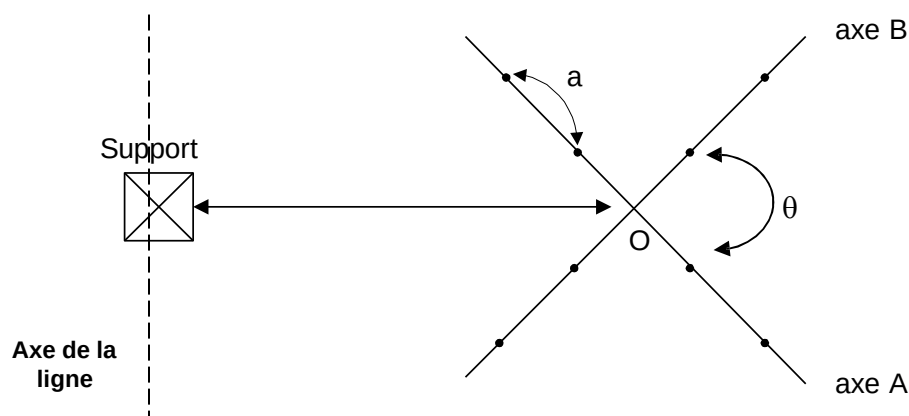
• Résultats :

K ≈ 2,3E-05 m/s
K ≈ 81 mm/h

ANNEXE 1 : COMPTE RENDU DE MESURES – R1

Nom de la ligne :	R1	Date :	06/05/2025
Numéro du support :			
Intervenant(s) :	D. LAURENT ET J. ARRILLAGA		
Nature du terrain :	Remblais sablo-argileux et substratum gneissique		
Conditions météo :	6°C – Taux d'humidité : 90 % - nuageux		

Compte - rendu de mesure de résistivité de sol (1/3)



- Les 4 piquets sont alignés à écartement constant. Les 2 axes ne doivent pas être parallèles à la ligne HTB.
- $a1 = 2\text{ m}$; $a2 = 4\text{ m}$; $a3 = 6\text{ m}$;
 $a1$, $a2$ et $a3$ sont mesurées à 5% près.
- $60^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ entre les 2 axes de mesure.
- Les écartements sont les mêmes dans les 2 directions de mesure.
- Les mesures sont faites à proximité de l'ouvrage (point O, intersection des axes de mesure).

Critère de validation :

Pour un même écartement (suivant axe A et axe B) l'écart entre 2 mesures ne doit pas dépasser 50% (ceci pour les 3 écartements $a1$, à $a6$).

Schéma de la zone objet de la mesure :



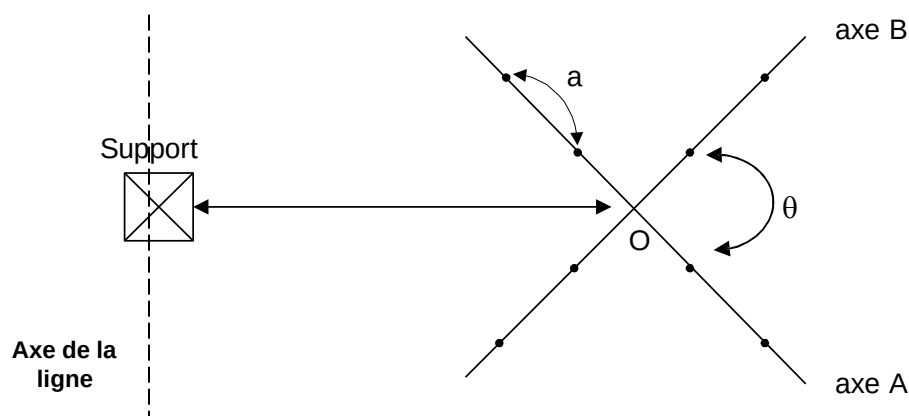
Résultats de la mesure :

Ecartement des électrodes	$a1 = 2\text{ m}$	$a2 = 4\text{ m}$	$a3 = 6\text{ m}$
Résistance axe P1 (Ω)	18,1	78,5	5,20
Résistivité axe P1 (Ωm)	226	835	171
Résistance axe P2 (Ω)	21,96	17,14	5,48
Résistivité axe P2 (Ωm)	267	347	163
Résistivité Moyenne (Ωm)	247	591	167

ANNEXE 1 : COMPTE RENDU DE MESURES – R2

Nom de la ligne :	R2	Date :	05/05/2025
Numéro du support :			
Intervenant(s) :	D. LAURENT ET J. ARRILLAGA		
Nature du terrain :	Remblais sablo-argileux et substratum gneissique		
Conditions météo :	9°C – Taux d'humidité : 70 % - nuageux et faible pluie		

Compte - rendu de mesure de résistivité de sol (2/3)

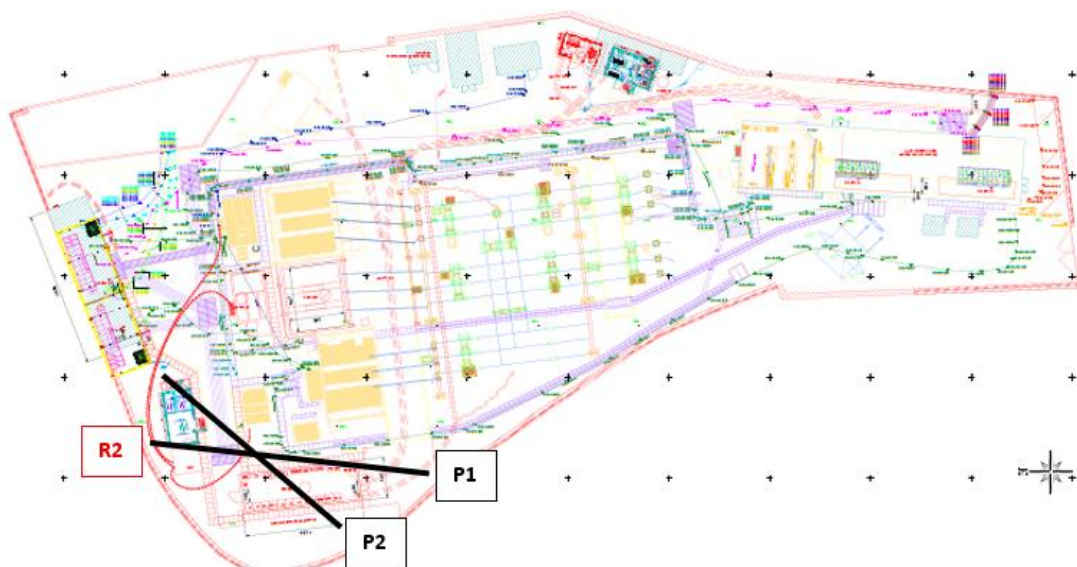


- Les 4 piquets sont alignés à écartement constant. Les 2 axes ne doivent pas être parallèles à la ligne HTB.
- $a_1 = 3\text{ m}$; $a_2 = 6\text{ m}$; $a_3 = 8\text{ m}$;
 a_1 , a_2 et a_3 sont mesurées à 5% près.
- $60^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ entre les 2 axes de mesure.
- Les écartements sont les mêmes dans les 2 directions de mesure.
- Les mesures sont faites à proximité de l'ouvrage (point O, intersection des axes de mesure).

Critère de validation :

Pour un même écartement (suivant axe A et axe B) l'écart entre 2 mesures ne doit pas dépasser 50% (ceci pour les 3 écartements a_1 , à a_6).

Schéma de la zone objet de la mesure :



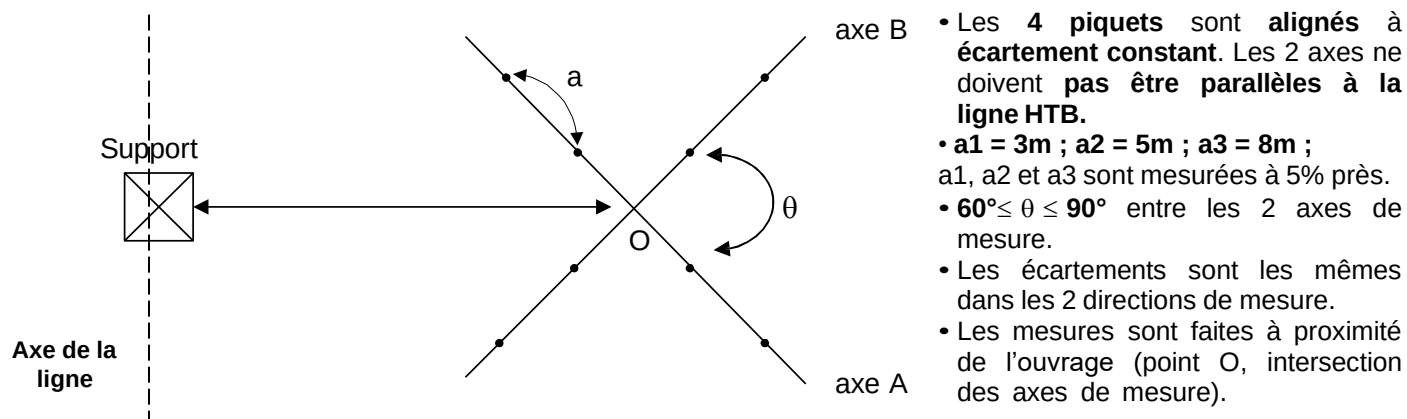
Résultats de la mesure :

Ecartement des électrodes	$a_1 = 3\text{ m}$	$a_2 = 6\text{ m}$	$a_3 = 8\text{ m}$
Résistance axe P1 (Ω)	7,19	2,86	1,24
Résistivité axe P1 (Ωm)	135	107	61,7
Résistance axe P2 (Ω)	2,09	1,59	1,09
Résistivité axe P2 (Ωm)	39,4	953	46,6
Résistivité Moyenne (Ωm)	87,2	530	54,2

ANNEXE 1 : COMPTE RENDU DE MESURES – R1

Nom de la ligne :	R1	Date :	06/05/2025
Numéro du support :			
Intervenant(s) :	D. LAURENT ET J. ARRILLAGA		
Nature du terrain :	Remblais sablo-argileux et substratum gneissique		
Conditions météo :	6°C – Taux d'humidité : 80 % - nuageux		

Compte - rendu de mesure de résistivité de sol (3/3)



Critère de validation :

Pour un même écartement (suivant axe A et axe B) l'écart entre 2 mesures ne doit pas dépasser 50% (ceci pour les 3 écartements a_1 , à a_6).

Schéma de la zone objet de la mesure :



Résultats de la mesure :

Ecartement des électrodes	$a_1 = 3\text{ m}$	$a_2 = 5\text{ m}$	$a_3 = 8\text{ m}$
Résistance axe P1 (Ω)	11,57	9,31	1,43
Résistivité axe P1 (Ωm)	170	122	73,4
Résistance axe P2 (Ω)	51,36	3,40	4,12
Résistivité axe P2 (Ωm)	185	231	209
Résistivité Moyenne (Ωm)	177,5	176,5	141,2

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

Température étuve : 50°C ☐ 105°C ☒

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 1901490
Chantier : SAINT-FLOUR (15)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : 25-SOL0626
Sondage n° : ST2
Profondeur : 1,00-3,50 m
Description : Remblai (sable limoneux, légèrement graveleux, grisâtre + débris de brique)

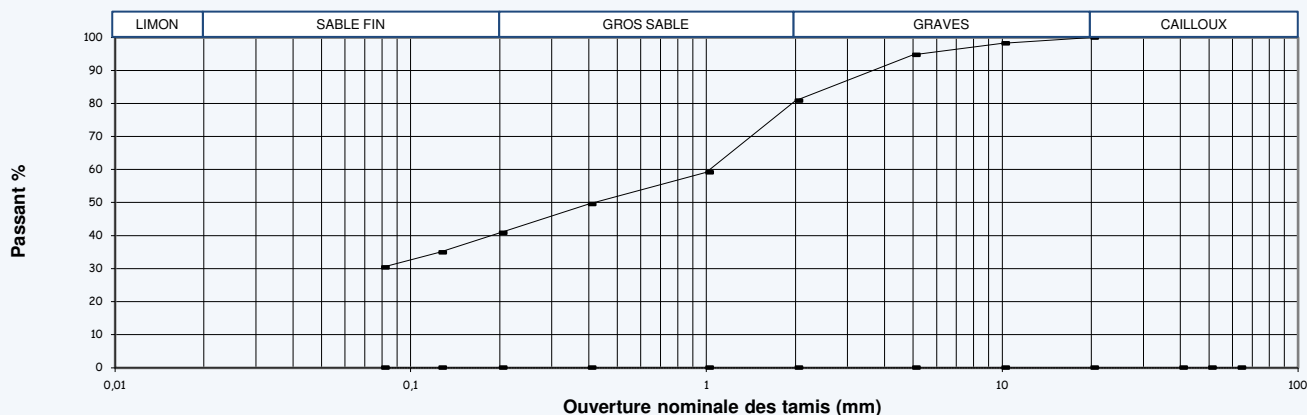
INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC
Date d'analyses : 26/05/2025
Mode de prélèvement : Tarière
Mode de conservation : Sac

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE suivant NF P 94-056

Ouverture tamis (mm)	100	80	63	50	40	20	10	5	2	1	0,400	0,200	0,125	0,080
% passant sur 0/D						100,0	98,3	94,8	80,9	59,2	49,6	40,8	35,0	30,4
% passant sur 0/50mm														

Courbe granulométrique



VALEUR AU BLEU suivant NF P 94-068

VBS = 0,71 g de bleu/100g sol

TENEUR EN EAU suivant NF P 94-050

W_{nat} = 5,6 %

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

W_L % =

IP =

W_p % =

IC =

OBSERVATIONS

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

La responsable des essais
B. MECHAUSIER

Classe du matériau

B₅

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

Température étuve : 50°C ☐ 105°C ☒

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 1901490
Chantier : SAINT-FLOUR (15)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : 25-SOL0627
Sondage n° : SP1
Profondeur : 1,00-2,00 m
Description : Sable gravelo-limono-argileux, marron/gris, très légèrement humide

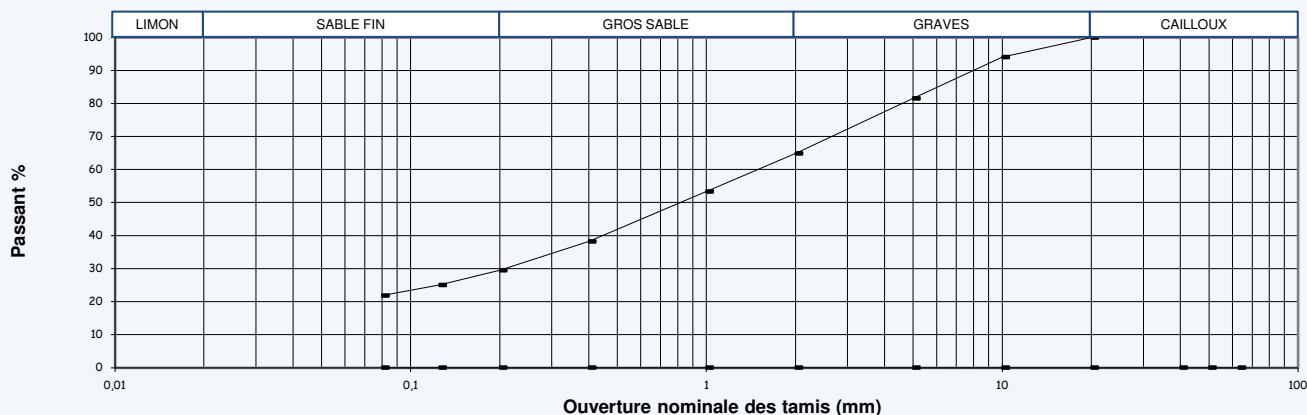
INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC
Date d'analyses : 23/05/2025
Mode de prélèvement : Tarière
Mode de conservation : Sac

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE suivant NF P 94-056

Ouverture tamis (mm)	100	80	63	50	40	20	10	5	2	1	0,400	0,200	0,125	0,080
% passant sur 0/D						100,0	94,1	81,5	64,9	53,3	38,3	29,5	25,0	21,9
% passant sur 0/50mm														

Courbe granulométrique



VALEUR AU BLEU suivant NF P 94-068

VBS = 0,90 g de bleu/100g sol

TENEUR EN EAU suivant NF P 94-050

W_{nat} = 10,2 %

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

W_L % =

IP =

W_p % =

IC =

OBSERVATIONS

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

La responsable des essais
B. MECHAUSIER

Classe du matériau

B₅

PROCES-VERBAL D'ESSAI

CLASSIFICATION D'UN SOL
NF P 11-300

Température étuve : 50°C ☐ 105°C ☒

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 1901490
Chantier : SAINT-FLOUR (15)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : 25-SOL0628
Sondage n° : SP2
Profondeur : 0,00-1,30 m
Description : Remblai (grave sableuse, légèrement limoneuse, gris foncé, légèrement humide + enrobés)

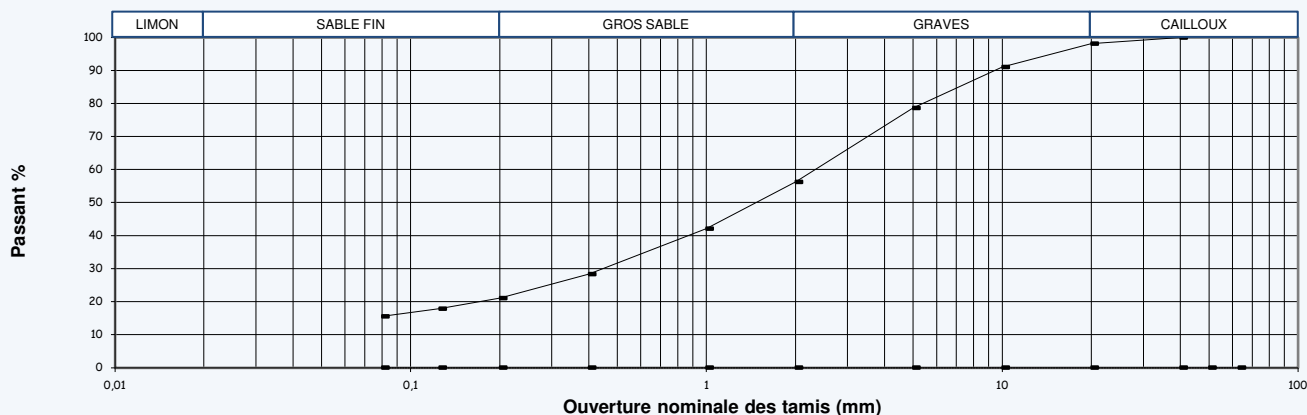
INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC
Date d'analyses : 26/05/2025
Mode de prélèvement : Tarière
Mode de conservation : Sac

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE suivant NF P 94-056

Ouverture tamis (mm)	100	80	63	50	40	20	10	5	2	1	0,400	0,200	0,125	0,080
% passant sur 0/D					100,0	98,1	91,0	78,6	56,2	42,1	28,4	21,1	17,9	15,6
% passant sur 0/50mm														

Courbe granulométrique



VALEUR AU BLEU suivant NF P 94-068

VBS = 0,63 g de bleu/100g sol

TENEUR EN EAU suivant NF P 94-050

W_{nat} = 11,5 %

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

W_L % =

IP =

W_p % =

IC =

OBSERVATIONS

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

La responsable des essais
B. MECHAUSIER

Classe du matériau

B₅

PROCES-VERBAL D'ESSAI

CLASSIFICATION D'UN SOL

NF P 11-300

Température étuve : 50°C ☐ 105°C ☒

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 1901490
Chantier : SAINT-FLOUR (15)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : 25-SOL0629
Sondage n° : SP3
Profondeur : 1,20-3,50 m
Description : Remblai (sable gravo-
limoneux, marron/gris à grisâtre + quelques débris d'enrobés)

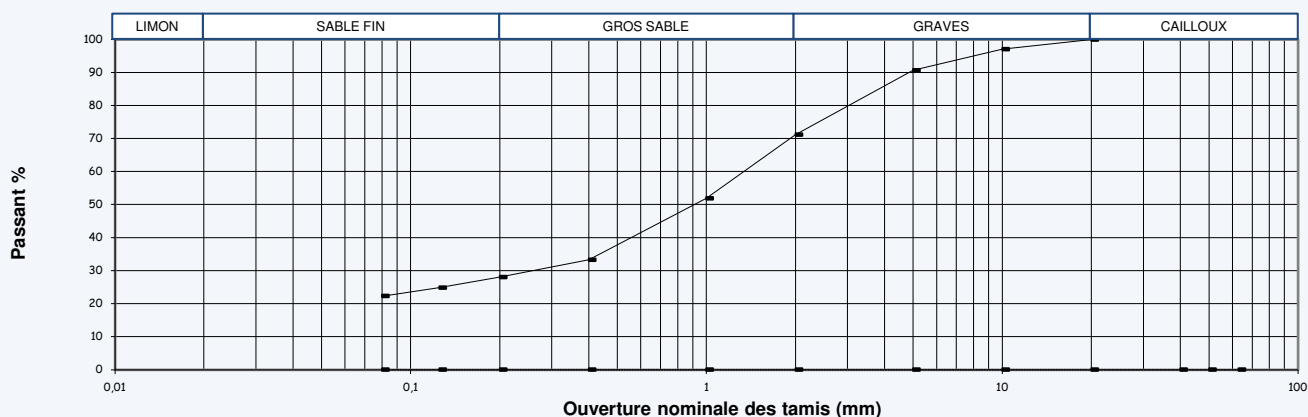
INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC
Date d'analyses : 26/05/2025
Mode de prélèvement : Tarière
Mode de conservation : Sac

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE suivant NF P 94-056

Ouverture tamis (mm)	100	80	63	50	40	20	10	5	2	1	0,400	0,200	0,125	0,080
% passant sur 0/D						100,0	97,1	90,7	71,1	51,9	33,2	28,1	24,9	22,3
% passant sur 0/50mm														

Courbe granulométrique



VALEUR AU BLEU suivant NF P 94-068

VBS = 0,65 g de bleu/100g sol

TENEUR EN EAU suivant NF P 94-050

W_{nat} = 4,6 %

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

W_L % =

IP =

W_p % =

IC =

OBSERVATIONS

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

La responsable des essais
B. MECHAUSIER

Classe du matériau

B₅

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

Température étuve : 50°C ☐ 105°C ☒

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 1901490
Chantier : SAINT-FLOUR (15)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : 25-SOL0630
Sondage n° : SP4
Profondeur : 0,00-3,60 m
Description : Remblai (grave sableuse, très légèrement limoneuse, gris foncé + enrobés)

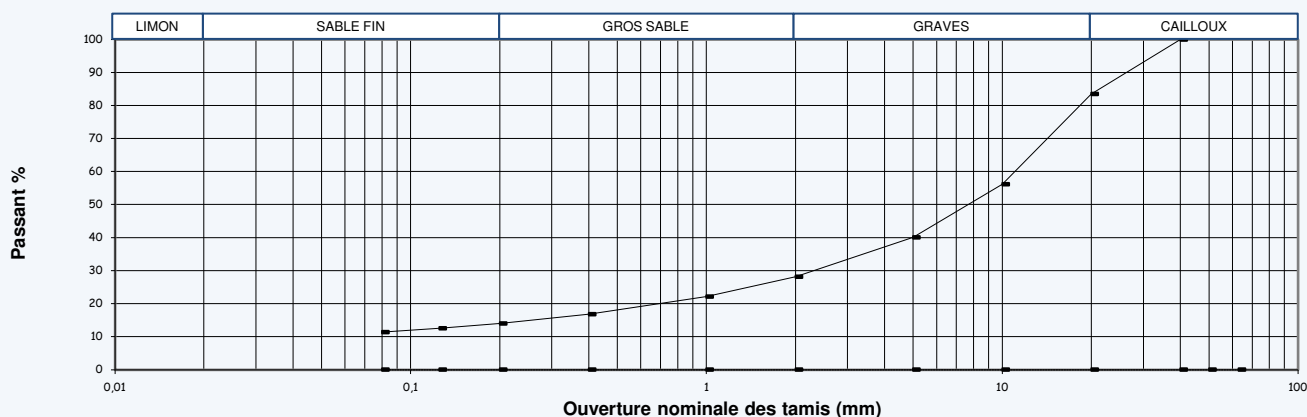
INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC
Date d'analyses : 26/05/2025
Mode de prélèvement : Tarière
Mode de conservation : Sac

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE suivant NF P 94-056

Ouverture tamis (mm)	100	80	63	50	40	20	10	5	2	1	0,400	0,200	0,125	0,080
% passant sur 0/D					100,0	83,5	56,1	40,0	28,1	22,2	16,8	13,9	12,5	11,4
% passant sur 0/50mm														

Courbe granulométrique



VALEUR AU BLEU suivant NF P 94-068

VBS = 0,33 g de bleu/100g sol

TENEUR EN EAU suivant NF P 94-050

W_{nat} = 5,3 %

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

W_L % =

IP =

W_p % =

IC =

OBSERVATIONS

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

La responsable des essais
B. MECHAUSIER

Classe du matériau

B₄

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

Température étuve : 50°C ☐ 105°C ☒

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 1901490
Chantier : SAINT-FLOUR (15)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : 25-SOL0631
Sondage n° : SP5
Profondeur : 1,90-4,50 m
Description : Sable fin limoneux, avec quelques cailloutis, grisâtre, sec

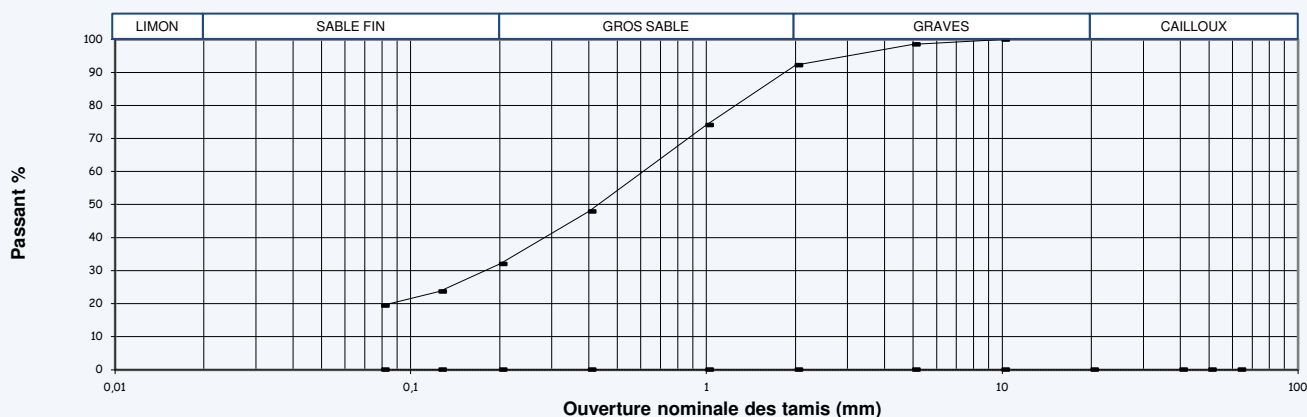
INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC
Date d'analyses : 26/05/2025
Mode de prélèvement : Tarière
Mode de conservation : Sac

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE suivant NF P 94-056

Ouverture tamis (mm)	100	80	63	50	40	20	10	5	2	1	0,400	0,200	0,125	0,080
% passant sur 0/D							100,0	98,5	92,2	74,1	47,9	32,1	23,6	19,5
% passant sur 0/50mm														

Courbe granulométrique



VALEUR AU BLEU suivant NF P 94-068

VBS = 0,41 g de bleu/100g sol

TENEUR EN EAU suivant NF P 94-050

W_{nat} = 2,7 %

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

W_L % =

IP =

W_p % =

IC =

OBSERVATIONS

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

La responsable des essais
B. MECHAUSIER

Classe du matériau

B₅

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

Température étuve : 50°C ☐ 105°C ☒

RÉFÉRENCES

Dossier n°: 1901490
Chantier : SAINT-FLOUR (15)

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

N° identification : 25-SOL0632
Sondage n° : SP6
Profondeur : 2,00-5,10 m
Description : Remblai (sable gravo-limoneux, très légèrement micacé et humide, marron à marron/gris + enrobés)

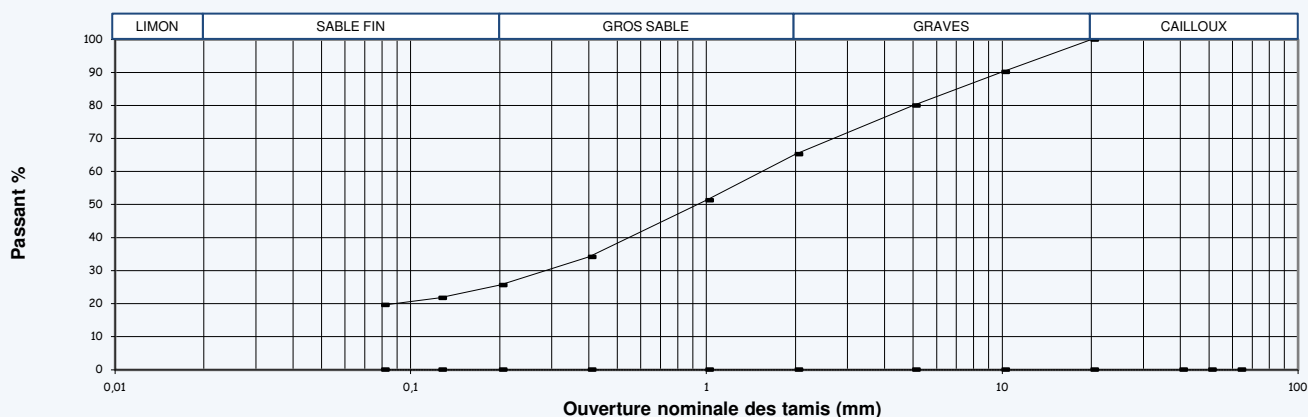
INFORMATIONS GÉNÉRALES

Date de prélèvement : NC
Date d'analyses : 27/05/2025
Mode de prélèvement : Tarière
Mode de conservation : Sac

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE suivant NF P 94-056

Ouverture tamis (mm)	100	80	63	50	40	20	10	5	2	1	0,400	0,200	0,125	0,080
% passant sur 0/D						100,0	90,2	80,0	65,3	51,3	34,1	25,6	21,8	19,6
% passant sur 0/50mm														

Courbe granulométrique



VALEUR AU BLEU suivant NF P 94-068

VBS = 0,45 g de bleu/100g sol

TENEUR EN EAU suivant NF P 94-050

W_{nat} = 12,4 %

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

W_L % =

IP =

W_p % =

IC =

OBSERVATIONS

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

La responsable des essais
B. MECHAUSIER

Classe du matériau

B₅

Données

Titre du projet : Micropieux SP6

Numéro d'affaire : 1901490

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Micropieux Ø250 - 4,5 m (pieu n°1)

Cadre réglementaire : EC 7 - Norme NF P94-262/A1 (juillet 2018)

Méthode de dimensionnement : A partir des résultats pressiométriques

Traitement des données : Traitement par couches

Pas du calcul (m) : 0,50

Section de calcul : Section de calcul circulaire

Diamètre de calcul (m) : 0,25

Classe du pieu : 8 - Pieu/micropieu injecté

Catégorie du pieu : 19 [PIGU, MIGU] - Pieu ou micropieu injecté mode IGU (type III)

Mode de chargement : Travail en compression

Combinaisons

	ELS-QP	ELS-CARAC	ELU-FOND	ELU-ACC
Pondérations combinées sur Qs,k	0,636	0,778	0,909	1,000
Pondérations combinées sur Qp,k	0,000	0,000	0,000	0,000

Cote de référence (m) : 0,00

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Classe de sol	Zbase	pl*	qsl	kpmax	γR,d1×γR,d2
1	Remblais		Sols intermédiaires, tendance sableuse	-3,50	0,00	0,00	1,10	1,540
2	Gneiss		Roche altérée et fragmentée	-9,00	3786,00	282,86	1,45	1,540

Critère de calcul : Longueur imposée

Longueur du pieu (m) : 4,50

Appliquer un facteur réducteur d'effet de groupe : Non

Contrôle de la résistance structurale de la section : Non



FoXta v4
v4.1.13

Imprimé le : 16/09/2025 - 17:24:28
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT SUD OUEST

Projet : Micropieux SP6
Module : Fondprof (Pieu 1/4)
Titre du calcul : Micropieux Ø250 - 4,5 m

File : C:\Users\JARRIL-1\AppData\Local\Temp\Terrasol\FoXta v4\492352\FP.0.resu

Calcul réalisé le : 16/09/2025 à 17h22
par : ECR ENVIRONNEMENT SUD OUEST

Options du calcul :

- calcul basé sur des paramètres issus du pressiomètre de Ménard
- calcul selon les règles de la norme NF P 94 262
- profil de pression limite pl* défini par couche
- pour pieu de catégorie : 19
- pour pieu travaillant en compression

Combinaisons	ELS-QP	ELS-CARA	ELU-FOND	ELU-ACC
Frottement	0.636	0.778	0.909	1.000
Pointe	0.000	0.000	0.000	0.000

Cote de référence : 0.000

Section du pieu : 0.049
Périmètre : 0.785

Caractéristiques des couches (données utilisateur)

couche	base	pl*	qsl	kpmin	kpmax	gamrd
01	-3.50	0.0	0.00	1.00	1.10	1.54
02	-9.00	3786.0	282.86	1.00	1.45	1.54

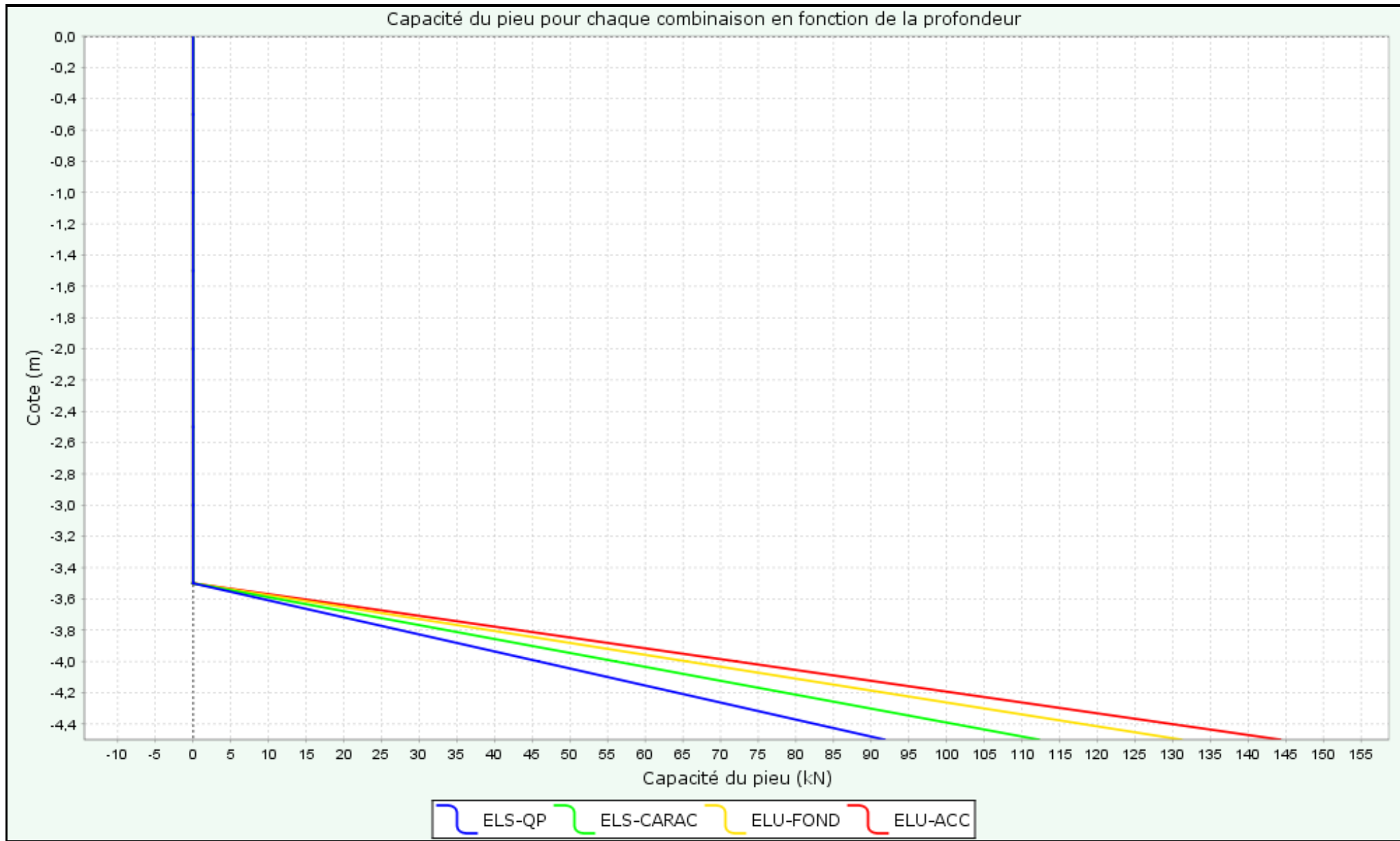
Pas du calcul : 0.50

SOLUTION

Calcul à longueur imposée : L = 4.50

couche	cote	qsl	ple	kp	Qs	Qp	ELS-QP	ELS-CARA	ELU-FOND	ELU-ACC
01	0.00	0.00	0.0	1.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-0.50	0.00	0.0	1.040	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-1.00	0.00	0.0	1.080	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-1.50	0.00	0.0	1.100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-2.00	0.00	0.0	1.100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-2.50	0.00	946.5	1.000	0.0	46.5	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-3.00	0.00	1893.0	1.000	0.0	92.9	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-3.50	0.00	2839.5	1.000	0.0	139.4	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-3.50	0.00	2839.5	1.000	0.0	139.4	0.0	0.0	0.0	0.0
02	-3.50	282.86	3786.0	1.000	0.0	185.8	0.0	0.0	0.0	0.0
02	-4.00	282.86	3786.0	1.180	111.1	219.3	45.9	56.1	65.6	72.1
02	-4.50	282.86	3786.0	1.360	222.2	252.7	91.7	112.2	131.1	144.3

Capacité du pieu pour chaque combinaison en fonction de la profondeur



Données

Titre du projet : Micropieux SP6

Numéro d'affaire : 1901490

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Micropieux Ø250 - 5,0 m (pieu n°2)

Cadre réglementaire : EC 7 - Norme NF P94-262/A1 (juillet 2018)

Méthode de dimensionnement : A partir des résultats pressiométriques

Traitement des données : Traitement par couches

Pas du calcul (m) : 0,50

Section de calcul : Section de calcul circulaire

Diamètre de calcul (m) : 0,25

Classe du pieu : 8 - Pieu/micropieu injecté

Catégorie du pieu : 19 [PIGU, MIGU] - Pieu ou micropieu injecté mode IGU (type III)

Mode de chargement : Travail en compression

Combinaisons

	ELS-QP	ELS-CARAC	ELU-FOND	ELU-ACC
Pondérations combinées sur Qs,k	0,636	0,778	0,909	1,000
Pondérations combinées sur Qp,k	0,000	0,000	0,000	0,000

Cote de référence (m) : 0,00

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Classe de sol	Zbase	pl*	qsl	kpmax	γR,d1×γR,d2
1	Remblais		Sols intermédiaires, tendance sableuse	-3,50	0,00	0,00	1,10	1,540
2	Gneiss		Roche altérée et fragmentée	-9,00	3786,00	282,86	1,45	1,540

Critère de calcul : Longueur imposée

Longueur du pieu (m) : 5,00

Appliquer un facteur réducteur d'effet de groupe : Non

Contrôle de la résistance structurale de la section : Non



FoXta v4
v4.1.13

Imprimé le : 16/09/2025 - 17:24:48
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT SUD OUEST

Projet : Micropieux SP6
Module : Fondprof (Pieu 2/4)
Titre du calcul : Micropieux Ø250 - 5,0 m

File : C:\Users\JARRIL-1\AppData\Local\Temp\Terrasol\FoXta v4\492352\FP.1.resu

Calcul réalisé le : 16/09/2025 à 17h24
par : ECR ENVIRONNEMENT SUD OUEST

Options du calcul :

- calcul basé sur des paramètres issus du pressiomètre de Ménard
- calcul selon les règles de la norme NF P 94 262
- profil de pression limite pl* défini par couche
- pour pieu de catégorie : 19
- pour pieu travaillant en compression

Combinaisons	ELS-QP	ELS-CARA	ELU-FOND	ELU-ACC
Frottement	0.636	0.778	0.909	1.000
Pointe	0.000	0.000	0.000	0.000

Cote de référence : 0.000

Section du pieu : 0.049
Périmètre : 0.785

Caractéristiques des couches (données utilisateur)

couche	base	pl*	qsl	kpmin	kpmax	gamrd
01	-3.50	0.0	0.00	1.00	1.10	1.54
02	-9.00	3786.0	282.86	1.00	1.45	1.54

Pas du calcul : 0.50

SOLUTION

Calcul à longueur imposée : L = 5.00

couche	cote	qsl	ple	kp	Qs	Qp	ELS-QP	ELS-CARA	ELU-FOND	ELU-ACC
01	0.00	0.00	0.0	1.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-0.50	0.00	0.0	1.040	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-1.00	0.00	0.0	1.080	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-1.50	0.00	0.0	1.100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-2.00	0.00	0.0	1.100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-2.50	0.00	946.5	1.000	0.0	46.5	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-3.00	0.00	1893.0	1.000	0.0	92.9	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-3.50	0.00	2839.5	1.000	0.0	139.4	0.0	0.0	0.0	0.0
01	-3.50	0.00	2839.5	1.000	0.0	139.4	0.0	0.0	0.0	0.0
02	-3.50	282.86	3786.0	1.000	0.0	185.8	0.0	0.0	0.0	0.0
02	-4.00	282.86	3786.0	1.180	111.1	219.3	45.9	56.1	65.6	72.1
02	-4.50	282.86	3786.0	1.360	222.2	252.7	91.7	112.2	131.1	144.3
02	-5.00	282.86	3786.0	1.450	333.2	269.5	137.6	168.3	196.7	216.4

Capacité du pieu pour chaque combinaison en fonction de la profondeur

