

GEODECRION
LA GEOTECHNIQUE DEPUIS 1972

Ingénieur conseil - Ingénierie – Expertises
Géotechnique - Géophysique
Environnement – Etude pollution
Sondage et essais de sol - Instrumentation
Laboratoire de mécanique des sols - Assistance Technique



BEAUNE D'ALLIER
(Allier)

Parcelle ZD 03

Construction d'une centrale solaire
Mr Pierre DEFRETIERE

RAPPORT D'ETUDE GEOTECHNIQUE

N° Affaire : C23-441-V2		12 Février 2024	
ETABLI PAR		Annexes : 10	1 ^{ère} diffusion : 23/01/2024
Daniel GALAZKA		Texte : 14	
Responsable d'agence		Nb de feuilles : 25	

© 2024 - GEODECRION -

www.geodecrion.com

AGENCE CENTRE : VICHY-MOULINS – Z.I. Vichy Rhue - Rue du Commandant Aubrey (03300 -
Creuzier-le-Vieux) Tel : 04 70 55 78 35 - geodecrion@geodecrion.pro

SOMMAIRE

I - MISSION	2
II - PROJET	2
III - ETUDE GEOTECHNIQUE	3
3.1 <i>METHODE DE TRAVAIL</i>	3
3.2 <i>RESULTATS ET INTERPRETATION</i>	4
3.2.1 LE SITE	4
3.2.2 NATURE DU SOL	5
3.2.3 L'EAU DANS LE SOL	5
3.2.4 CARACTERISTIQUES MECANQUES	6
3.2.5 CLASSIFICATION SELON LES RISQUES	7
IV - ETUDE DES FONDATIONS	10
4.1 <i>FONDATION PAR MASSIFS</i>	10
4.1.1 NIVEAUX MINIMUM D'ASSISE	10
4.1.2 CONTRAINTES AUX ETATS LIMITES	11
4.1.3 EVALUATION DES TASSEMENTS	12
4.1.4 CONSEILS GENERAUX DE MISE EN OEUVRE	12
4.2 <i>FONDATION PAR PIEUX BATTUS OU VISSSES</i>	13
4.2.1 CARACTERISTIQUE DES PIEUX	13
4.2.2 LONGUEUR DE FICHES	13
4.2.3 PRECAUTIONS D'EXECUTION ET DE MISE EN ŒUVRE	14

I - MISSION

A la demande de la société IRISOLARIS, notre société a réalisé des sondages de reconnaissance et des essais de sol en Janvier 2024, pour la construction de panneaux photovoltaïques, sur la parcelle ZD 03, à BEAUNE D'ALLIER (03390).

Notre mission consistait en une étude géotechnique pour :

- Reconnaître les sols de fondation au droit du projet,
- Faire une proposition sur les types et caractéristiques des fondations à envisager.

La présente étude correspondra à une étude géotechnique de conception du type G2 – AVP + PRO, de la norme NFP 94-500 du 30 novembre 2013 et de la norme NF DTU 13.1 P1-1 de septembre 2019.

Le document fourni pour remplir notre mission a été le plan de la parcelle et les coordonnées GPS.

Cette version 2 de rapport a pour objet d'étudier un de fondation par pieux battus.

II - PROJET

Le projet consiste en la construction d'une centrale solaire sur une surface de 2,2 hectares.

Les panneaux photovoltaïques seront sur poteaux.

Les charges maximales reçues par les sols ne nous ont pas été communiquées.

III - ETUDE GEOTECHNIQUE

3.1 METHODE DE TRAVAIL

Nous avons procédé à l'exécution de 2 sondages de reconnaissance, notés DEC1 et DEC2, aux profondeurs suivantes, par rapport à la surface topographique du terrain au moment du chantier :

Sondage	Prof. (m)
DEC1	2,4 (refus)
DEC2	6,0

Nous avons aussi réalisé 6 essais au pénétromètre dynamique (Norme NF P 94-115-32kgs), notés PDB1 à PDB6, battus au refus aux profondeurs suivantes :

Sondage	Prof. (m)
PDB1	0,4
PDB2	1,5
PDB3	1,2
PDB4	0,7
PDB5	1,8
PDB6	1,2

Leur implantation est reportée sur le plan annexé.

Les sondages de reconnaissance ont été forés en Ø 63 mm à la tarière mécanique hélicoïdale continue avec un atelier SOMAC SD 90 COMBI.

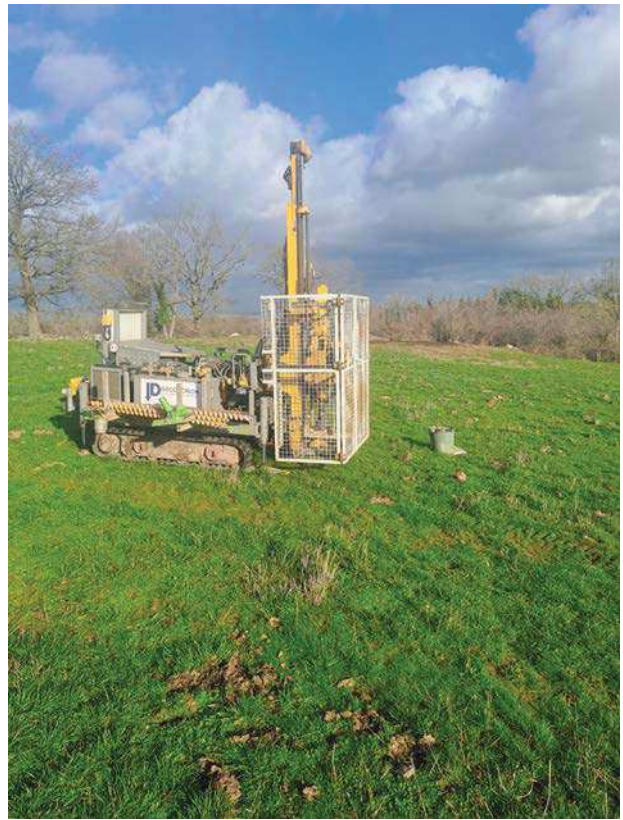
Des échantillons remaniés représentatifs des différentes couches traversées ont été prélevés au fur et à mesure de l'avancement pour leur identification géologique ; leur résistance a été mesurée au moyen d'essais au pénétromètre dynamique (Norme NF P 94-115-32kgs).

La coupe géologique du sondage, et les résultats des essais, sont joints sur les feuilles placées en annexe.

3.2 RESULTATS ET INTERPRETATION

3.2.1 LE SITE

Il s'agit d'une parcelle agricole.



3.2.2 NATURE DU SOL

Les 2 sondages de reconnaissance ont permis de distinguer, sous quelques décimètres de terre végétale, les formations ci-après, de haut en bas :

■ Couche 1 :

- des **arènes** composées d'argiles sableuses et de sables à cailloutis et blocailles, de couleurs dominantes marron, beige et grise, jusqu'aux profondeurs suivantes :

Sondage	Prof. (m)
DEC1	1,5
DEC2	1,6

■ Couche 2 :

- le **substratum** composé de granite +/- altéré, de couleur dominante grise et beige, au-delà.

3.2.3 L'EAU DANS LE SOL

Des arrivées d'eau ont été reconnues à 0,3 m de profondeur en cours de perforation dans le sondage DEC2 au moment du chantier (le 04/01/2024).

Il s'agit d'une circulation d'eau ponctuelle.

Nota : des arrivées d'eaux ponctuelles peuvent être rencontrées en cas d'épisodes météorologiques défavorables dans les niveaux superficiels.

3.2.4 CARACTERISTIQUES MECANIKES

Les caractéristiques mécaniques mesurées dans les sondages au pénétromètre PDB (Norme NF P 94-115-32), et au moyen d'essais au pressiomètre (Norme NF P 94-110-1) dans les sondages de reconnaissance, s'avèrent, avec :

Em = module Ménard
Pl* = pression limite nette
qd = résistance en pointe effective

■ Couche 1 :

- **Bonnes** dans les **arènes** avec :

$$49 \leq E_m \leq 100 \text{ MPa},$$

$$2,3 \leq Pl^* \leq 3,3 \text{ MPa},$$

$$20 \leq q_d \leq 20 \text{ MPa}$$

■ Couche 2 :

- **Bonnes** dans le **substratum** avec :

$$E_m \leq 100 \text{ MPa},$$

$$3,0 \leq Pl^* \leq 3,4 \text{ MPa},$$

3.2.5 CLASSIFICATION SELON LES RISQUES

a) Risque sismique :

La classe du sol a été définie en considérant les sondages de reconnaissance et les essais géotechniques réalisés in situ.

Elle est définie selon le tableau ci-dessous (source Fondations et Ouvrages en Terre de Philipponnat) :

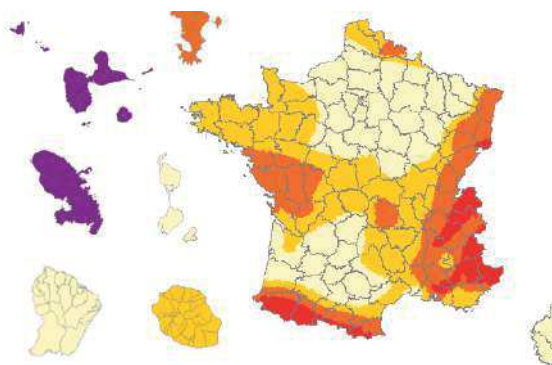
Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres			Ordre de grandeur		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (coups/30 cm)	C_u (kPa)	q_c (MPa)	E_M (MPa)	p_1 (MPa)
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant.	> 800	–	–		> 100	> 5
B	Dépôts raides de sable, de graviers ou d'argile surconsolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur.	360 – 800	> 50	> 250	> 3,5 (argile) > 20 (sable)	25 – 100	> 1,2 (argile) 2,0 à 5,0 (sable)
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide ayant des épaisseurs de quelques dizaines à quelques centaines de mètres.	180 – 360	15 – 50	70 – 250	De 1 à 3,5 (argile) De 6 à 20 (sable)	5 – 25	0,5 à 1,2 (argile) 0,8 à 2 (sable)
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité de sols cohérents mous à fermes.	< 180	< 15	< 70	< 1 (argile) < 5 (sable)	< 5	< 0,5 (argile) < 0,8 (sable)
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de v_s de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m, reposant sur un matériau plus raide avec $v_s > 800$ m/s.						
S_1	Dépôts composés ou contenant une couche d'au moins 10 m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé (I_p ou $P_l > 40$) et une teneur en eau importante.	< 100	–	10 – 20	< 0,6		< 0,2
S_2	Dépôts de sols liquéfiables, d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes A à E ou S_1						

Le profil de sol à considérer dans le présent rapport est de **classe A**.

• **Classification du site :**

Le site géographique est à classer en **zone sismique 2 (aléa faible)** d'après la carte de sismicité de la France (Décret n° 2010-1255 du 22 Octobre 2010).

Zone de sismicité	Niveau d'aléa	a_g (m/s ²)
Zone 1	Très faible	0,4
Zone 2	Faible	0,7
Zone 3	Modéré	1,1
Zone 4	Moyen	1,6
Zone 5	Fort	3



Le coefficient de sol S permet de traduire l'amplification de la sollicitation sismique exercée par certains sols (arrêté du 22 Octobre 2010).

Classes de sol	S (zones 1 à 4)	S (zone 5)
A	1	1
B	1,35	1,2
C	1,5	1,15
D	1,6	1,35
E	1,8	1,4

b) Risque au retrait des sols de fondation :

D'après les sols reconnus, nous classons le site en aléa **faible** dû aux mouvements de terrain différentiels consécutifs aux sécheresses et à la réhydratation des sols (phénomène de retrait-gonflement des argiles).

c) Risque minier et cavités souterraines :

Aucune cavité n'est recensée au droit du projet (source InfoTerre).

d) Risques inondations :

La parcelle est située hors zone de crues potentielles (source georisques.gouv.fr).

e) Risque de liquéfaction :

L'analyse de la liquéfaction n'est pas requise dans les zones de sismicité 1 et 2 (très faible et faible) par l'arrêté de l'article 4 de l'Euro code 8 NF-EN 10 298-5.

En conséquence, ce risque est **nul**.

IV - ETUDE DES FONDATIONS

De l'analyse des résultats des sondages et des essais présentés plus haut, il ressort principalement que le sol est composé d'arènes dures (couche 1), recouvrant le substratum dur (couche 2).

Dans ces conditions, nous vous proposons de fonder les panneaux photovoltaïques par les systèmes de fondations suivants, au choix :

- MASSIFS ancrés dans les arènes (couche 1), et assis à la profondeur hors-gel.
- PIEUX battus.

Ces 2 solutions sont donc étudiées ci-après.

4.1 FONDATION PAR MASSIFS

4.1.1 NIVEAUX MINIMUM D'ASSISE

Les fondations seront ancrées au minimum de 0,5 m dans les arènes (couche 1), et assises à la profondeur minimale hors-gel de 0,7 m par rapport à la surface topographique au moment du chantier.

En conséquence, les profondeurs minimales d'assise seront de 0,7 m par rapport à la surface topographique, au moment du chantier.

➤ Notes :

- Ancrage = hauteur de pénétration de la fondation dans la couche d'assise, ici, les arènes (couche 1),
- La recherche de la roche dure induit des adaptations de chantier, avec notamment des volumes de béton supplémentaires, ce qui n'est pas utile ici.
- Le dessouchage entraîne des volumes de béton supplémentaire.

4.1.2 CONTRAINTES AUX ETATS LIMITES

a) Méthode pénétrométrique :

En appliquant pour taux de travail admissible " q_{ELS} " sous la fondation le 1/15 de la résistance à la rupture dynamique au pénétromètre, le coefficient de sécurité obtenu est de 6 dans les sols courants et sableux, et de 3,6 dans les sols argileux, d'après la règle de Sanglerat.

Avec $q_d = 5$ MPa,

q_{ELS} limité à 0,2 MPa

b) Méthode Eurocode 7 (Norme NF P 94-261) :

En appliquant la norme d'Application Nationale de l'Eurocode 7 (NF P 94-261) « Fondations superficielles », la contrainte de calcul q_{net} associée à la résistance nette du terrain est déterminée à partir de la relation suivante :

$$q_{net} = K_p P_{le} * i_\delta i_\beta$$

P_{le} = Pression limite nette équivalente au niveau d'assise retenu = 2,3 MPa

K_p = facteur de portance pressiométrique en fonction des dimensions de la fondation = 0,8

i_δ = coefficient de réduction de portance lié à l'inclinaison du chargement = 1

i_β = coefficient de portance lié à la proximité d'un talus de pente $\beta = 1$

Les valeurs de calcul de la résistance nette du terrain en termes de contrainte aux ELU et aux ELS pour une fondation uniformément chargée s'écriront :

$$\sigma_{R;d} = q_{net} / (\gamma_{R;d,v} \gamma_{R,v})$$

$$\sigma_{R;d} (E.L.U.) = 1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{R;d} (E.L.S.) = 0,6 \text{ MPa}$$

Aux E.L.U. : $\gamma_{R;d,v} = 1,2$ & $\gamma_{R,v} = 1,4$

Aux E.L.S. : $\gamma_{R;d,v} = 1,2$ & $\gamma_{R,v} = 2,3$

c) Conclusion :

Pour le dimensionnement des fondations, on prendra le taux de travail admissible de :

$$q_{ELS} = 0,3 \text{ MPa (30 T/m}^2\text{)}$$

$$0,1 \text{ MPa} = 1 \text{ bar} = 1 \text{ daN/cm}^2 = 10^3 \text{ daN/m}^2 = 100 \text{ kPa} = 10 \text{ T/m}^2 = 100 \text{ kN/m}^2 = 0,1 \text{ MN/m}^2$$

4.1.3 EVALUATION DES TASSEMENTS

Les tassements totaux seront inférieurs au centimètre, les tassements différentiels restant inférieurs au demi-centimètre. **Ils seront donc admissibles.**

4.1.4 CONSEILS GENERAUX DE MISE EN OEUVRE

- Purger le cas échéant toutes poches de sols médiocres que l'on pourrait encore rencontrer au niveau d'assise retenu, dessouchage soigné, ce qui pourra conduire à un approfondissement du niveau de fondations entre les sondages et des volumes de béton supplémentaires.
- Prévoir des possibilités de **pontage** de fissures, ou des purges des souches, découvertes aux niveaux d'assise prévus, si les purges sont trop importantes.
- Evacuation des eaux d'infiltration lors de leur apparition dans les fonds de fouille des fondations.
- Le rattrapage des niveaux d'assise pourra se faire à l'aide de gros béton, ou de béton maigre coulé pleine fouille.
- Pour l'ancrage dans les arènes, des engins puissants seront nécessaires, et probablement un B.R.H. monté sur un engin spécialement destiné à cet effet.

- Bétonner aussitôt après terrassement et pleine fouille, pour éviter les phénomènes décomposition des arènes (couche 1) sensibles à l'eau, car cette décomposition pourrait induire des tassements supplémentaires non négligeables à ceux estimés, précédemment.
- La profondeur minimale des fondations au-dessous du terrain fini extérieur sera partout au moins égale à 0,7 m, ceci pour assurer leur mise hors gel.

4.2 FONDATION PAR PIEUX BATTUS OU VISSSES

Compte-tenu des sols durs rencontrés à faible profondeur, notamment au droit des sondages PDB1 et PDB4, des refus seront rencontrés très rapidement.

Des pieux d'essais avec essais d'arrachement seront impérativement nécessaires avant de retenir ces modes de fondation.

Pour le rapport, un pieu H battu acier sera pris pour exemple.

4.2.1 CARACTERISTIQUE DES PIEUX

Pieux H battu, catégorie 14, classe 6, selon la norme NF P94-262, et les Eurocodes 7.

4.2.2 LONGUEUR DE FICHES

Les pieux seront battus d'au moins 1,5 m dans les arènes (couche 1). Des refus prématurés seront rencontrés sur le toit du substratum (couche 2)

Le prédimensionnement d'un pieu a été réalisé avec le logiciel GEOFOND au droit du sondage DEC2, pour une profondeur de 1,5 m pour différents aires (entre 0,1 m et 0,6

Les résultats sont joints en annexes.

4.2.3 PRECAUTIONS D'EXECUTION ET DE MISE EN ŒUVRE

Les fiches des pieux devront être ajustées en fonction des charges et des efforts horizontaux à reprendre, ce qui pourra conduire à allonger la fiche de certains pieux.

Il est impératif de réaliser des pieux d'essais avant de retenir les pieux battus ou vissés.



Les éléments nouveaux mis en évidence au début et en cours des travaux de terrassements, et de l'ouverture des fouilles de fondations, qui n'auraient pu être détectés au moment de la présente étude géotechnique, doivent nous être immédiatement signalés à geodecrion@geodecrion.pro pour réactualiser nos conclusions si nécessaires.

Une mission complémentaire d'étude et suivi géotechniques d'exécution G3/G4 sera alors nécessaire.

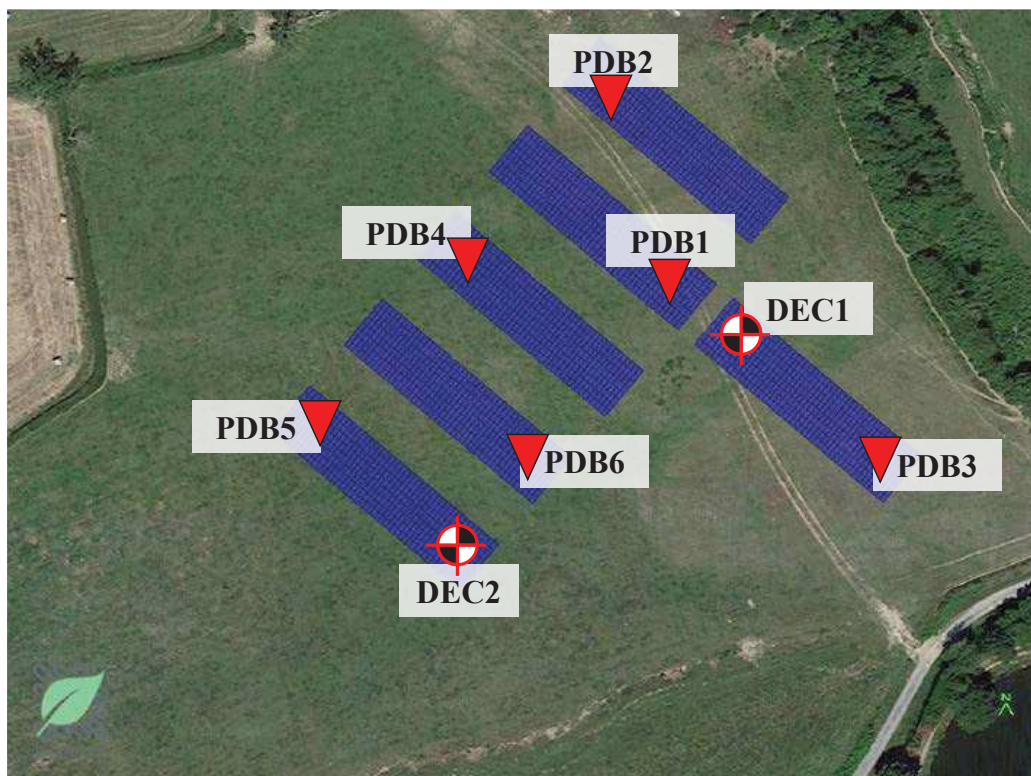


Nous vous remercions de bien vouloir inscrire notre société sur le panneau de chantier.





Nous restons à la disposition des différents intervenants pour tous renseignements complémentaires dans le cadre de notre mission G2-PRO.

Daniel GALAZKA
Responsable d'agence CENTRE
06 09 76 98 90



LEGENDE

 Sondage de reconnaissance
avec essais au pressiomètre

 Essai au pénétromètre



C23-441 – BEAUNE D'ALLIER (03)
Construction de panneaux photovoltaïques

Plan d'implantation



GEODECRION
LA GÉOTECHNIQUE DEPUIS 1972

Dossier : C23-441

Echelle 1/25

Client : Sasu IRISOLARIS

Chantier : BEAUNE D'ALLIER (03)

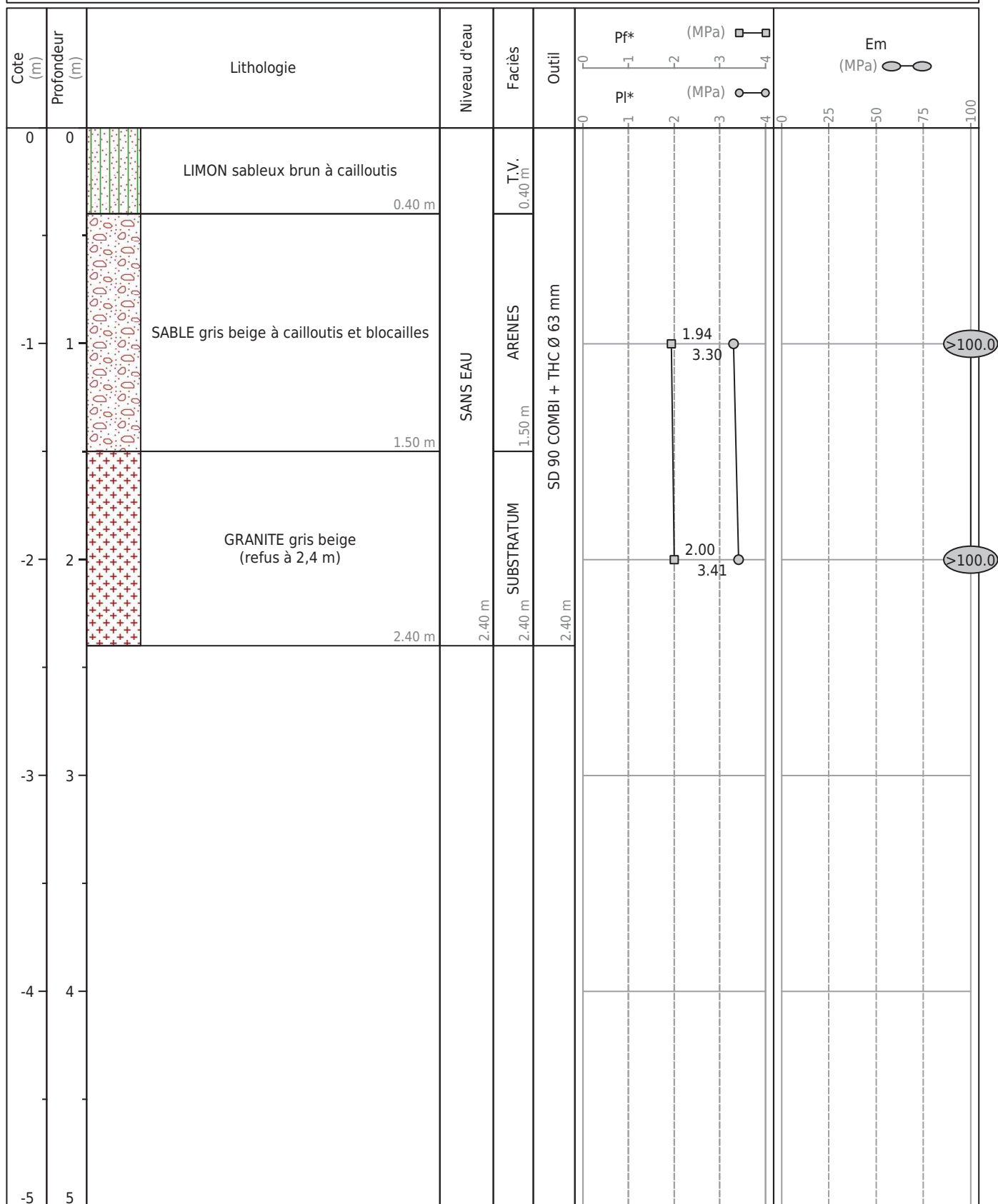
SONDAGE DEC1

Date : 03/01/2024

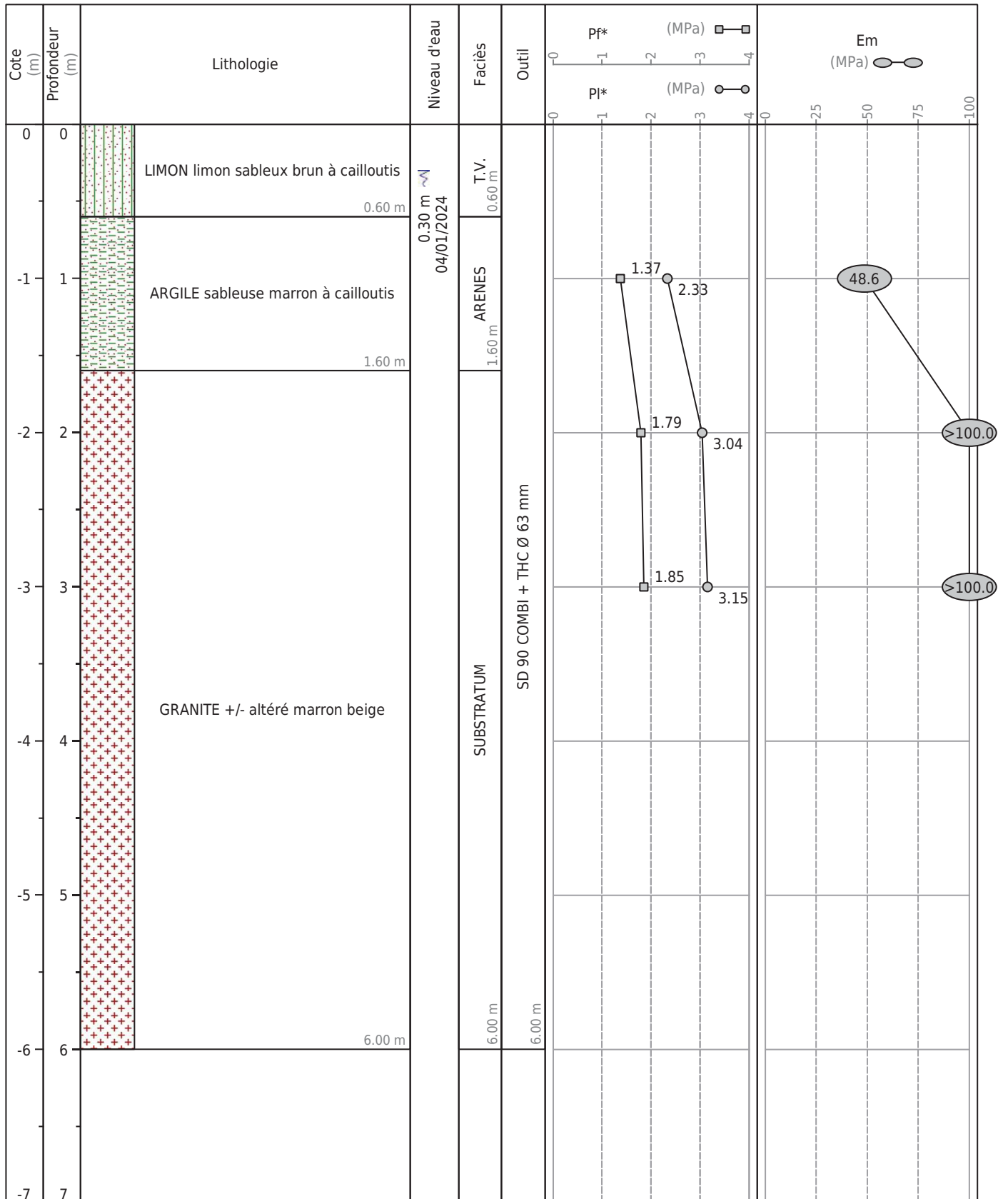
Machine : SD 90 COMBI

Inclinaison : 0 °

Opérateur : J.F



Obs. :



Obs. :



GEODECRION
LA GÉOTECHNIQUE DEPUIS 1972

Dossier : C23-441

Echelle 1/35

Client : Sasu IRISOLARIS

Chantier : BEAUNE D'ALLIER (03)

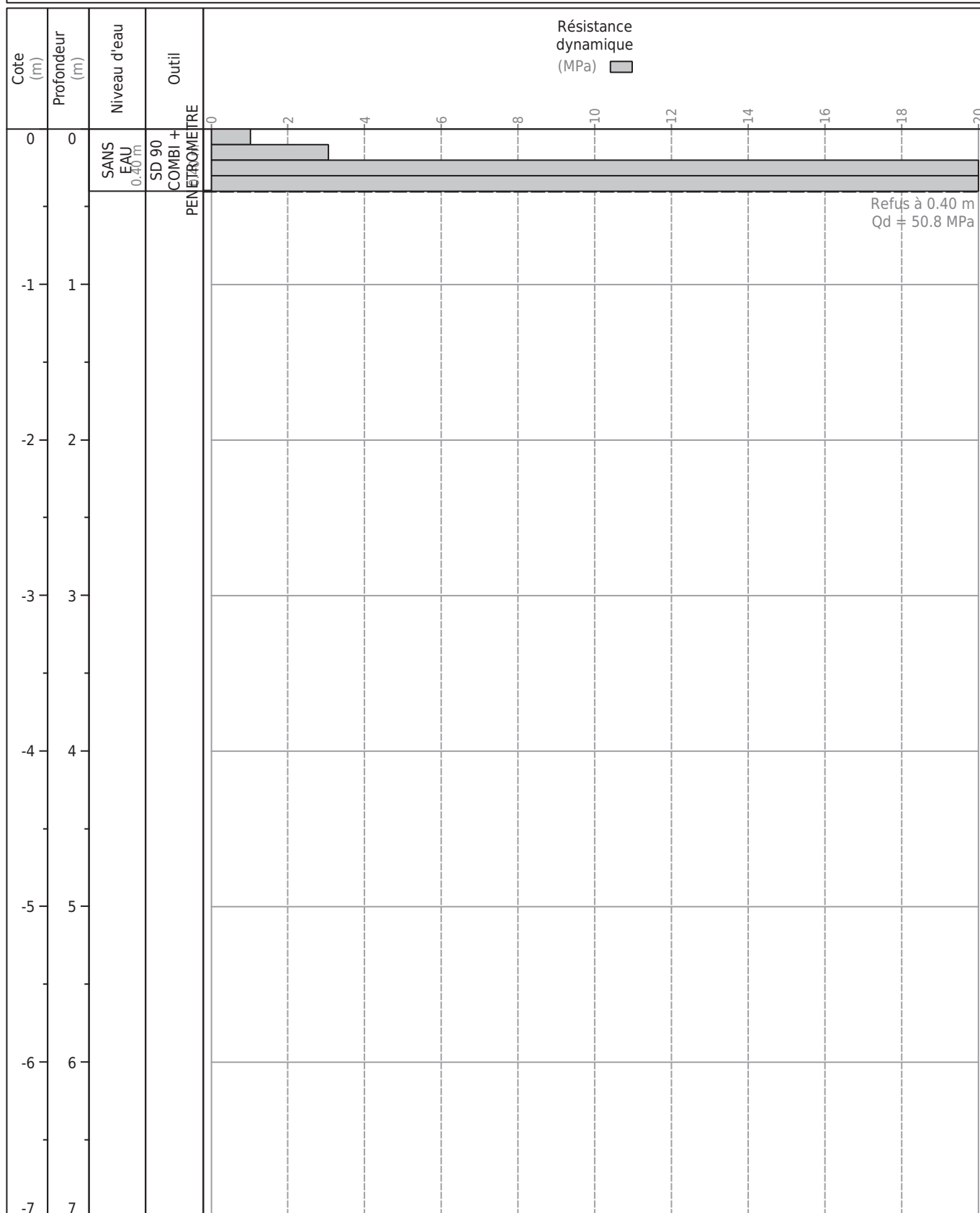
SONDAGE PDB1

Date : 03/01/2024

Machine : SD 90 COMBI

Inclinaison : 0 °

Opérateur : J.F



Obs. :



Echelle 1/35

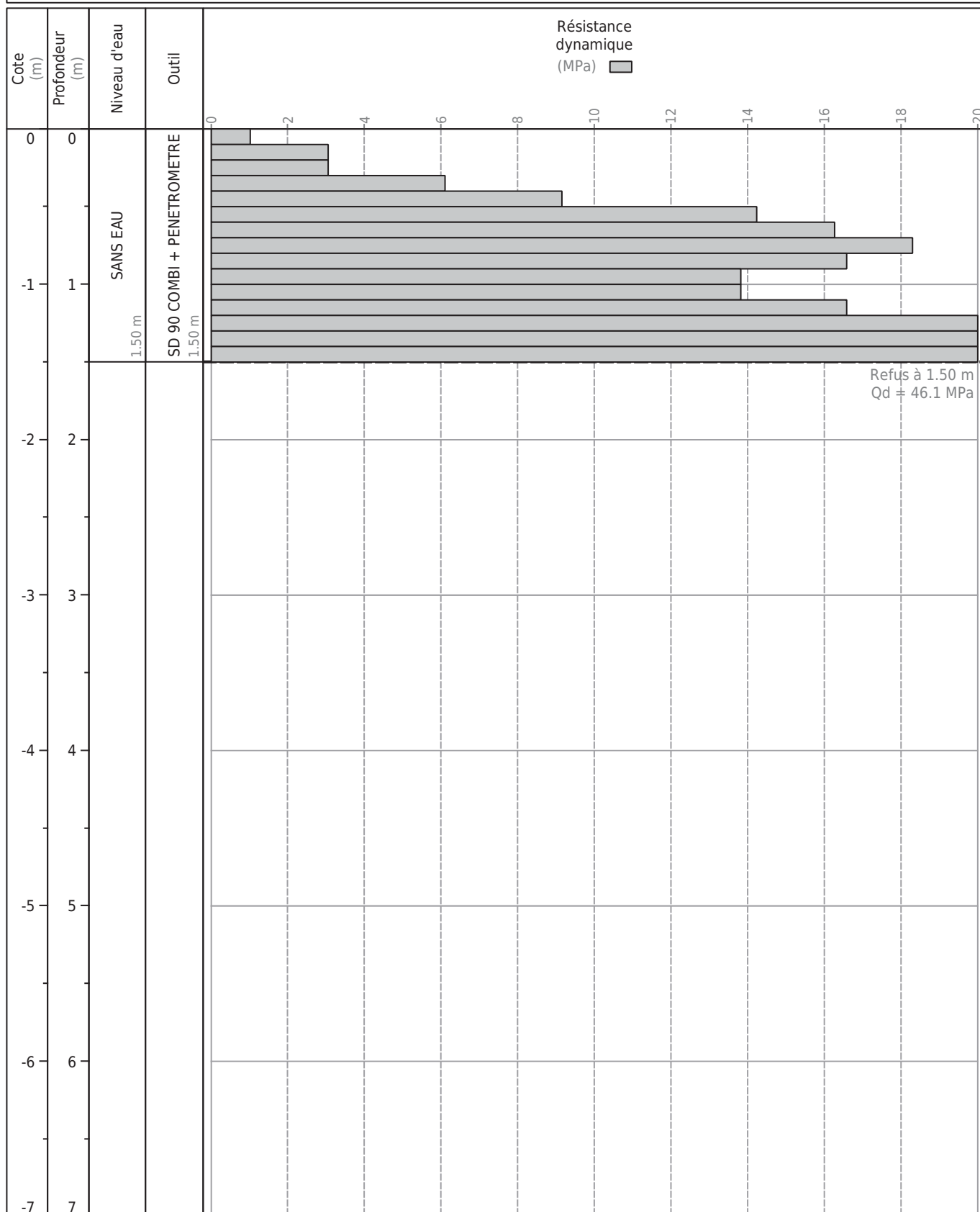
Chantier : BEAUNE D'ALLIER (03)

SONDAGE PDB2

Date : 03/01/2024

Inclinaison : 0 °

Opérateur : J.F



Obs. :



GEODECRION
LA GÉOTECHNIQUE DEPUIS 1972

Dossier : C23-441

Echelle 1/35

Client : Sasu IRISOLARIS

Chantier : BEAUNE D'ALLIER (03)

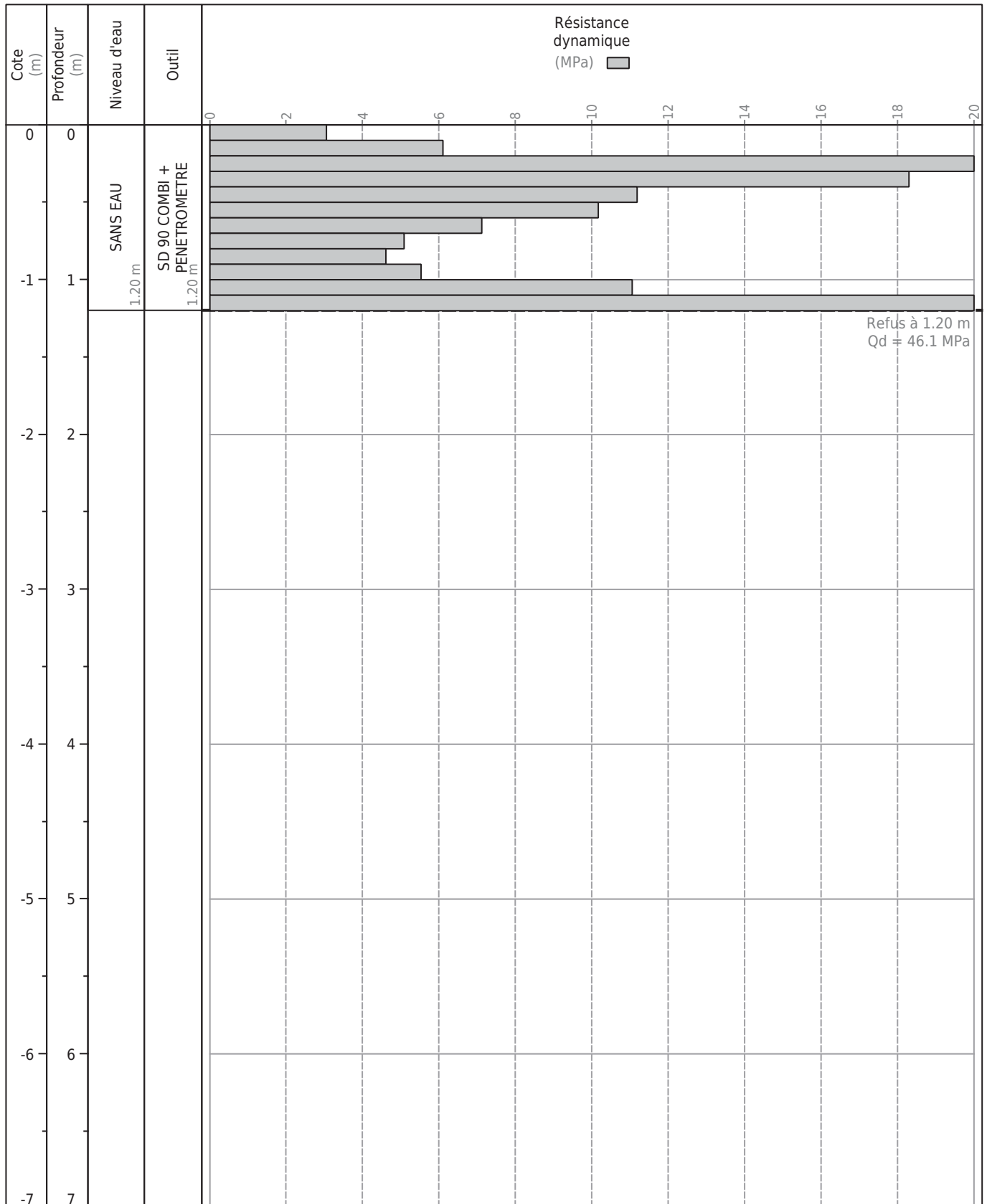
SONDAGE PDB3

Date : 03/01/2024

Machine : SD 90 COMBI

Inclinaison : 0 °

Opérateur : J.F



Obs. :



GEODECRION
LA GÉOTECHNIQUE DEPUIS 1972

Dossier : C23-441

Echelle 1/35

Client : Sasu IRISOLARIS

Chantier : BEAUNE D'ALLIER (03)

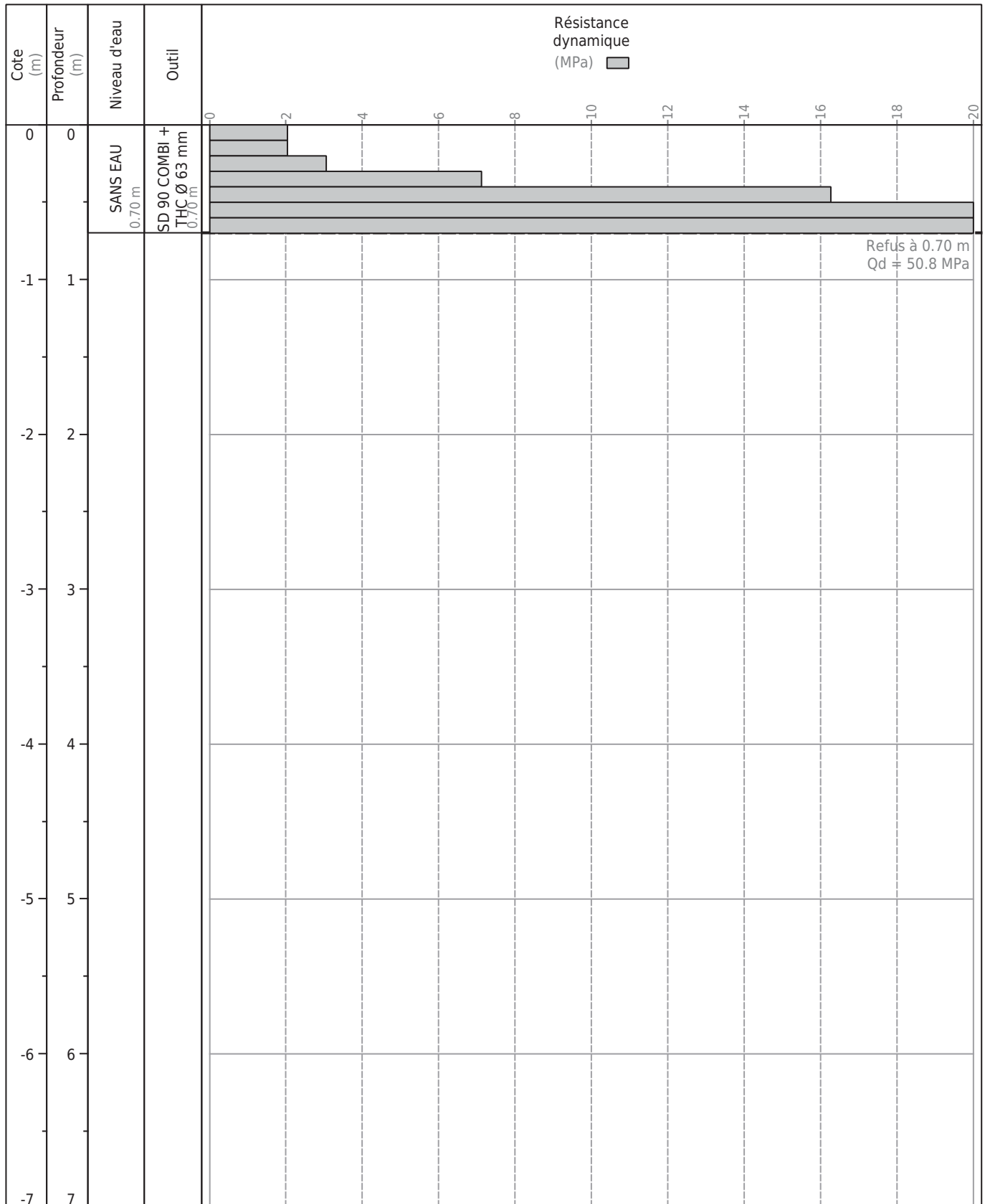
SONDAGE PDB4

Date : 04/01/2024

Machine : SD 90 COMBI

Inclinaison : 0 °

Opérateur : J.F



Obs. :



GEODECRION
LA GÉOTECHNIQUE DEPUIS 1972

Dossier : C23-441

Echelle 1/35

Client : Sasu IRISOLARIS

Chantier : BEAUNE D'ALLIER (03)

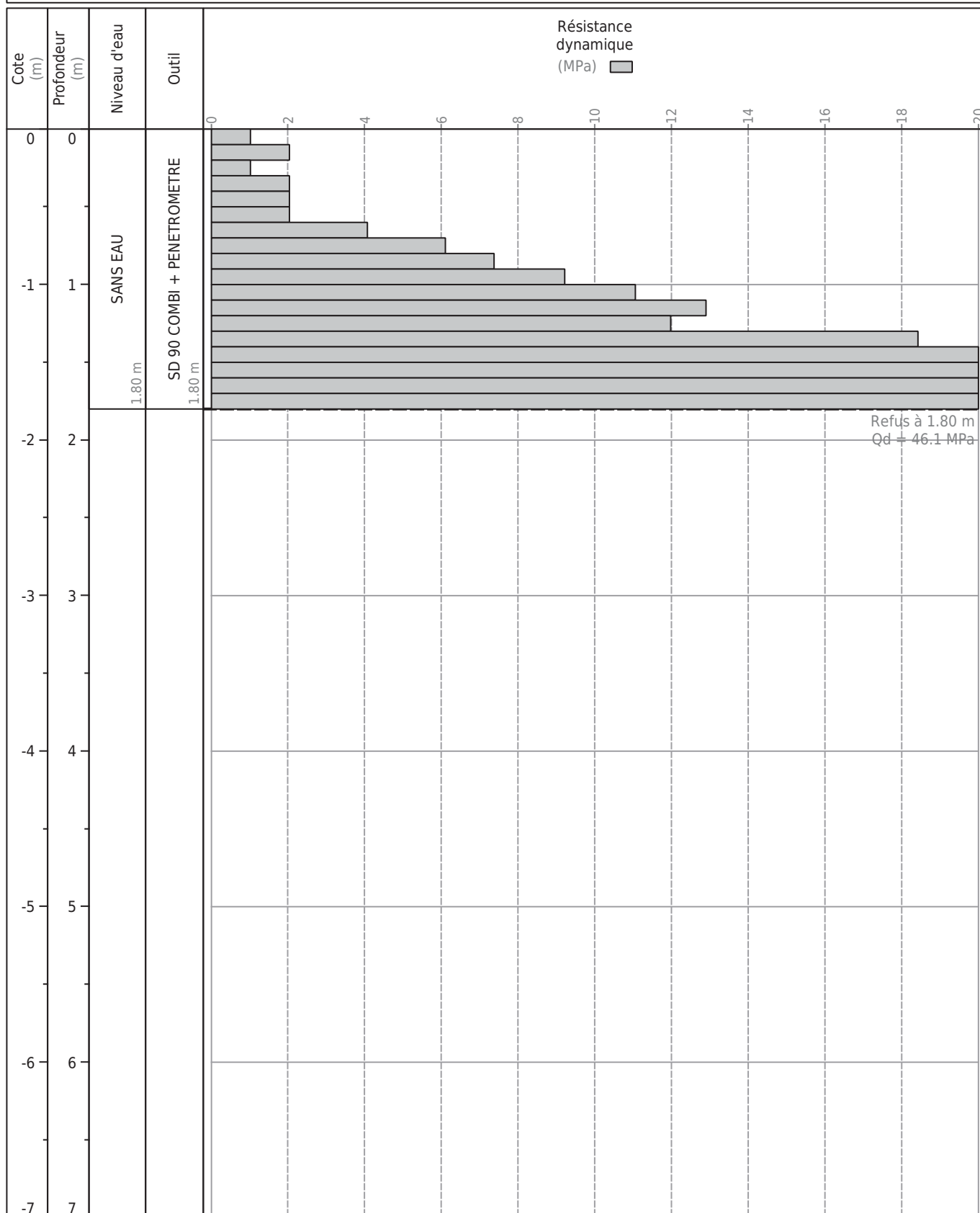
SONDAGE PDB5

Date : 04/01/2024

Machine : SD 90 COMBI

Inclinaison : 0 °

Opérateur : J.F



Obs. :



GEODECRION
LA GÉOTECHNIQUE DEPUIS 1972

Dossier : C23-441

Echelle 1/35

Client : Sasu IRISOLARIS

Chantier : BEAUNE D'ALLIER (03)

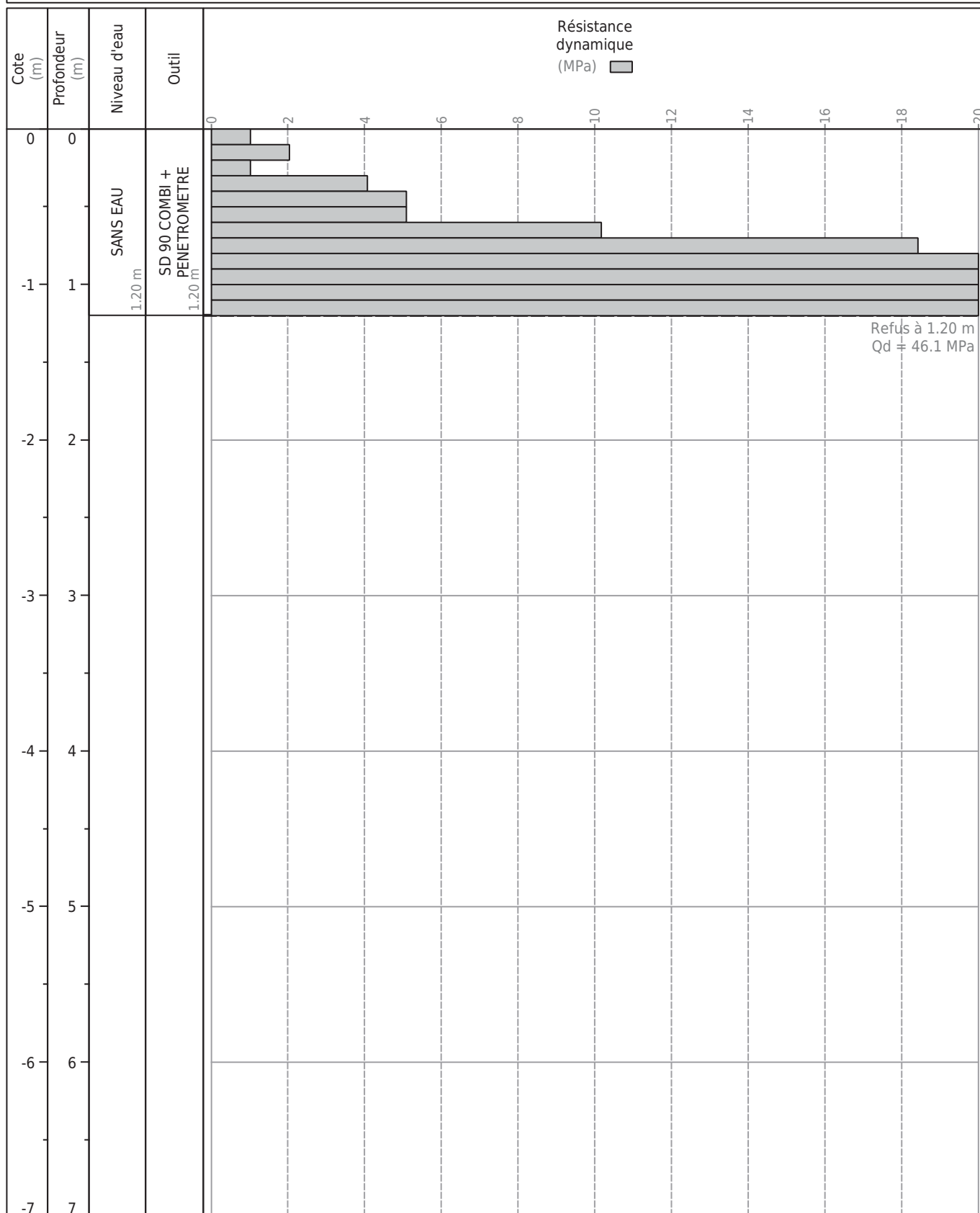
SONDAGE PDB6

Date : 04/01/2024

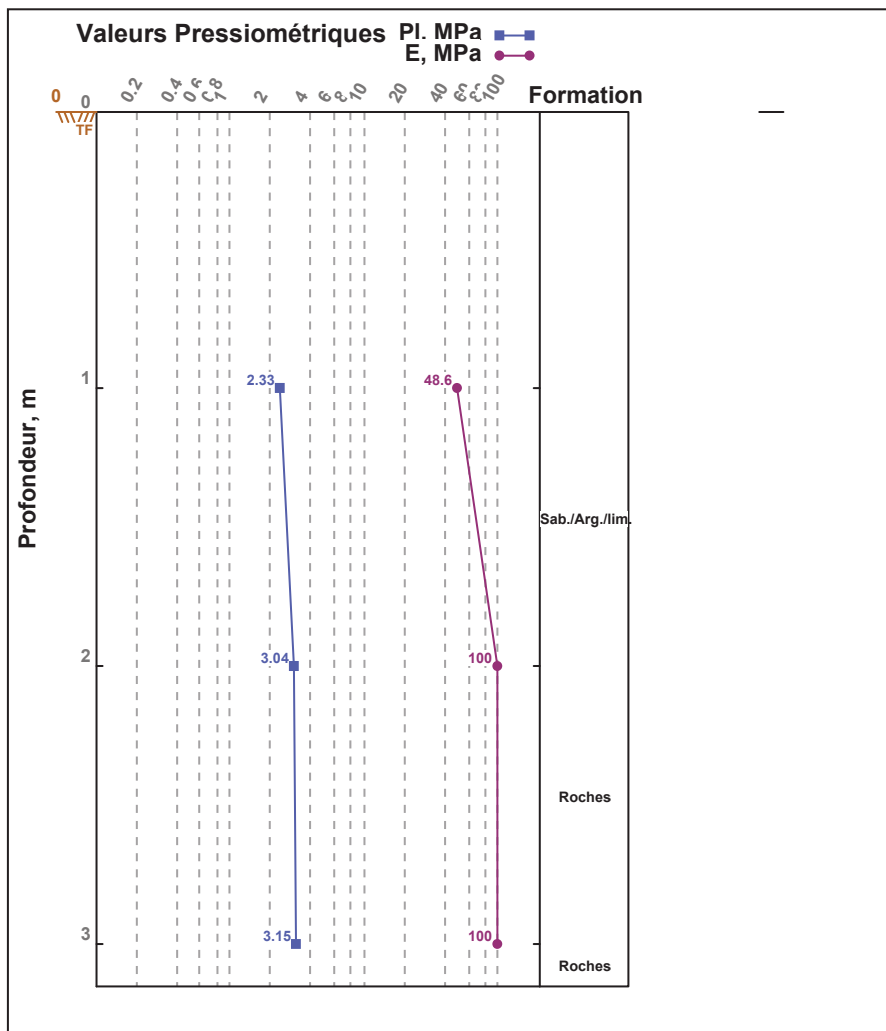
Machine : SD 90 COMBI

Inclinaison : 0 °

Opérateur : J.F



Obs. :



Pieu

Type de pieu : Profilé H battu

Prof. Base : 0 m

Largeur : entre 0.1 m et 0.6 m

Largeur : entre 0.1 m et 0.6 m x L : 0.1 m

Aucun Encastr. formation porteuse.

Hauteur où le frottement est négligé : 0.4 m

mise en oeuvre sans refoulement du sol

Charge :

Trac (MN) Comp (MN)

Fd (ELS) quasi-permanent :

Fd (ELS) caractéristique :

Fd (ELU) durable et trans. :

Fd (ELU) accidentel :

Fd (ELU) sismique :

Fichier : calcul pieux.gfd

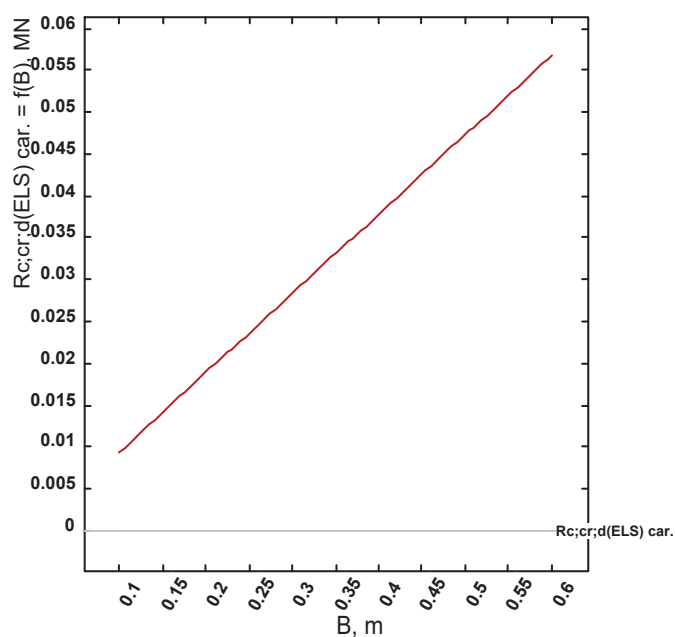


GEOFOND© V1.3.9 du 20/12/2023 développé par GEOS
site web : <http://www.geos.fr> e-mail : logiciels@geos.fr

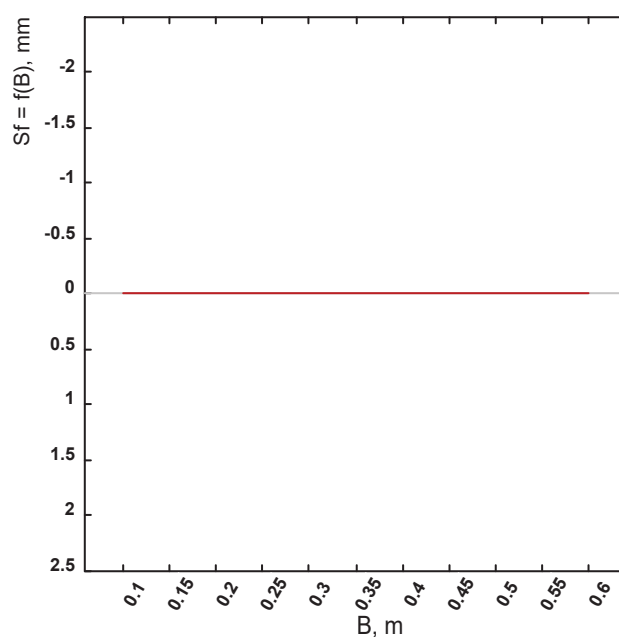
GEOS Ingénieurs Conseils, 18 Rue des 2 gares
92500 Rueil-Malmaison

Tél : 04 50 95 38 14
Fax : 04 50 95 99 36

Résultats de calcul : Capacité portante



Résultats de calcul : Tassement



12/02/2024 14:46

FIGURE

Largeur B (m)	Contrair 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)
0.1	0	0.00851	-0	0.0155	0.017	0.0155	0.00945	0.00773	-0	-0	-0	-0	-0	0
0.2	0	0.017	0	0.0309	0.034	0.0309	0.0189	0.0155	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0.0255	0	0.0464	0.051	0.0464	0.0284	0.0232	0	0	0	0	0	0
0.4	0	0.034	0	0.0619	0.0681	0.0619	0.0378	0.0309	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0.0425	0	0.0773	0.0851	0.0773	0.0473	0.0387	0	0	0	0	0	0
0.6	0	0.051	0	0.0928	0.102	0.0928	0.0567	0.0464	0	0	0	0	0	0

12/02/2024 14:46	FIGURE