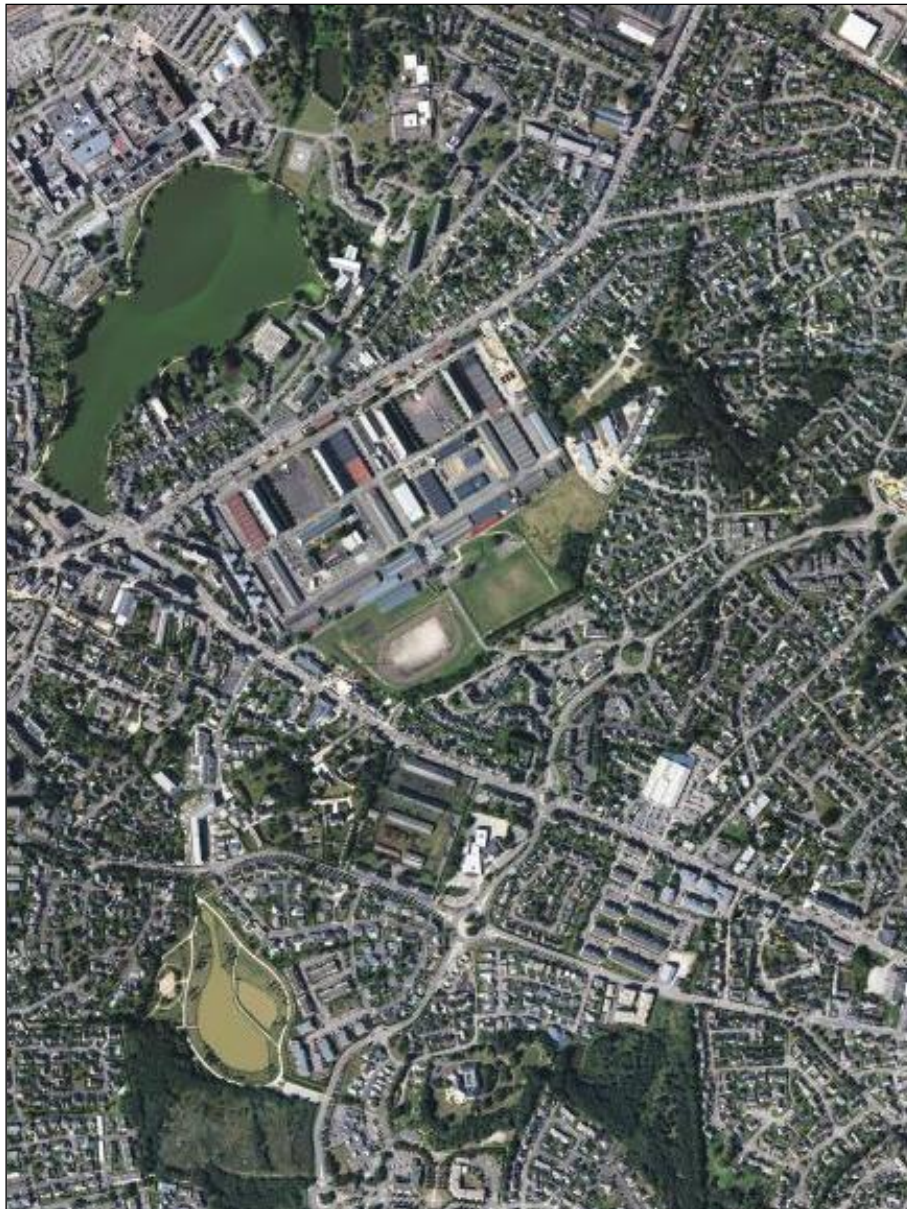


Construction d'une antenne médicale de plain-pied
Quartier Foch-Delestraint 3^{ème} RIMA – BP 568 – 56017 VANNES Cedex



Etude de sol G2-PRO/G5 complémentaire

PRÉSENTATION DE L'ETUDE

Généralités

Lieu :	VANNES (56017)
Adresse :	Quartier Foch-Delestraint
Désignation :	Construction d'une antenne médicale
Référence	2023-1921
Donneur d'Ordre	ESID de Rennes / PCO Rennes
Intervention in-situ :	23 mars 2023

LE PROJET

Le projet prévoit la construction d'une antenne médicale de type RDC sans sous-sol.

Il existe une mitoyenneté directe lors de l'étude (mur du bâtiment existant).

Les documents suivant nous ont été communiqués et ont été utilisés dans le cadre de cette étude :

- Plan de situation,
- Plan de masse et topographique, coupes,
- Etude géotechnique G1-ES-PCG – CSOL ENVIRONNEMENT – 19/05/2021 – Réf : 2021-1452,
- Etude géotechnique G2AVP – CSOL ENVIRONNEMENT – 02/08/2022 – Réf : 2022 – 1787,
- Etude géotechnique G2PRO – CSOL ENVIRONNEMENT – 15/12/2022 – Réf : 2022 – 1837,
- Estimatif de descentes de charges en date du 27 mars 2023.

LE SITE

Le terrain concerné par le projet se situe sur la commune de VANNES (56).

Au moment de notre intervention, le terrain était occupé par l'ancien bâtiment ainsi qu'une cour goudronnée autour. La surface topographique sur l'emprise du projet est plane. Le site est totalement accessible et a permis d'implanter la reconnaissance de manière homogène sur la totalité de l'assiette du projet.

L'implantation des sondages figure en annexe.

MISSION

A la demande de l'ESID de RENNES, CSOL ENVIRONNEMENT a été mandaté pour réaliser la mission géotechnique de conception G2PRO préalables à la construction d'une antenne médicale.

Ces missions rentrent dans le cadre de la Norme NF P 94-500 de novembre 2013 relatives aux missions géotechniques, et conformément à notre proposition contractuelle établie en 2014, notre mission comprend :

G2 – Etude géotechnique de conception

Phase Projet (PRO) permettant de définir :

- Permettant de justifier les éléments définis en phase AVP
- Fourniture de notes technique donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques
- Fourniture de note de calcul de dimensionnement

Ne comprend pas :

Phase Projet (ACT/DCE) permettant de définir :

- Etablir ou participer à la rédaction des documents techniques pour le choix des entreprises
- Assister le maître d'ouvrage au choix des entreprises

G5 – Diagnostic géotechnique

- Faire la synthèse des risques naturels majeurs à prendre en compte sur la zone d'étude,
- Identifier la zone d'influence géotechnique (zone d'interaction entre l'ouvrage et le terrain),
- Décrire le modèle géologique et le contexte géotechnique,
- Définir les caractéristiques des fondations,
- Définir les principes généraux à mettre en œuvre afin de réaliser le projet.

Ne comprend pas :

- L'estimation approchée des quantités, coûts et délais,
- Le diagnostic structurel des fondations et des structures.

Les référentiels, normes et DTU applicables à cette étude sont cités en annexe

Rappel des missions

G1 – Etude géotechnique préalable G1 -ES-PCG

Deux forages descendus à 6.00m avec deux ensembles d'essais pressiométriques.

Deux essais pénétrométriques descendus à 2.10 et 2.60m au refus.

G2 – Etude géotechnique de conception G2-AVP

Deux forages descendus à 6.00m avec deux ensembles d'essais pressiométriques.

G2 – Etude géotechnique de conception G2-PRO

Trois forages descendus à 9.00m avec deux ensembles d'essais pressiométriques.

Deux reconnaissances de fondation au droit de l'existant.

1 étude piézométrique.

Programme complémentaire en phase PRO complémentaire :

Reconnaissance in situ

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

- 2 sondages de reconnaissance géologique à la tarière diamètre 64 mm, noté SP6 et SP7 à 9.00 m de profondeur. Les sondages ont permis la visualisation des terrains et la réalisation d'essais pressiométriques (sur deux sondages) dont le but est la mesure des paramètres géotechniques suivants :
 - module pressiométrique (Em)
 - pression de fluage (Pf)
 - pression limite brute (pl)
 - pression limite nette (PI*)
- 2 reconnaissances de fondations menées à 2,0 mètres de profondeur /TN actuel.

RAPPEL DE LA MISSION DEJA EFFECTUEE

Mission G1 - Phase Etude de site (ES) - Enquête documentaire

L'ouvrage se situe sur la commune de VANNES et le terrain est relativement plat.



Figure 1 : Emplacement de la zone d'étude sur fond IGN (source : BRGM)

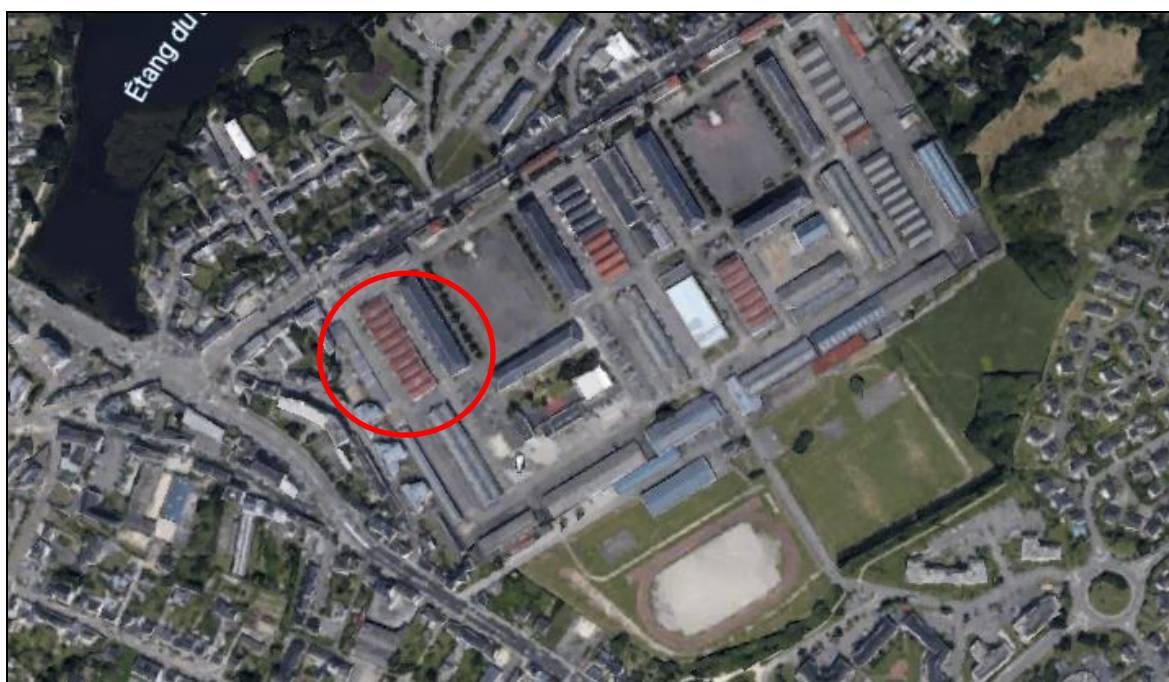


Figure 2 : Vue aérienne de la zone d'étude (source : Google Earth)

Géologie

L'ensemble du projet repose sur la formation suivante :

- FORMATIONS DU SOCLE - TERRAINS SITUÉS AU MUR DE LA ZCES - ROCHES MÉTA. - Gneiss anatectiques et migmatites - Migmatites paradérivées indifférenciées (paragneiss migmatitiques rubanés, métatexites principalement)

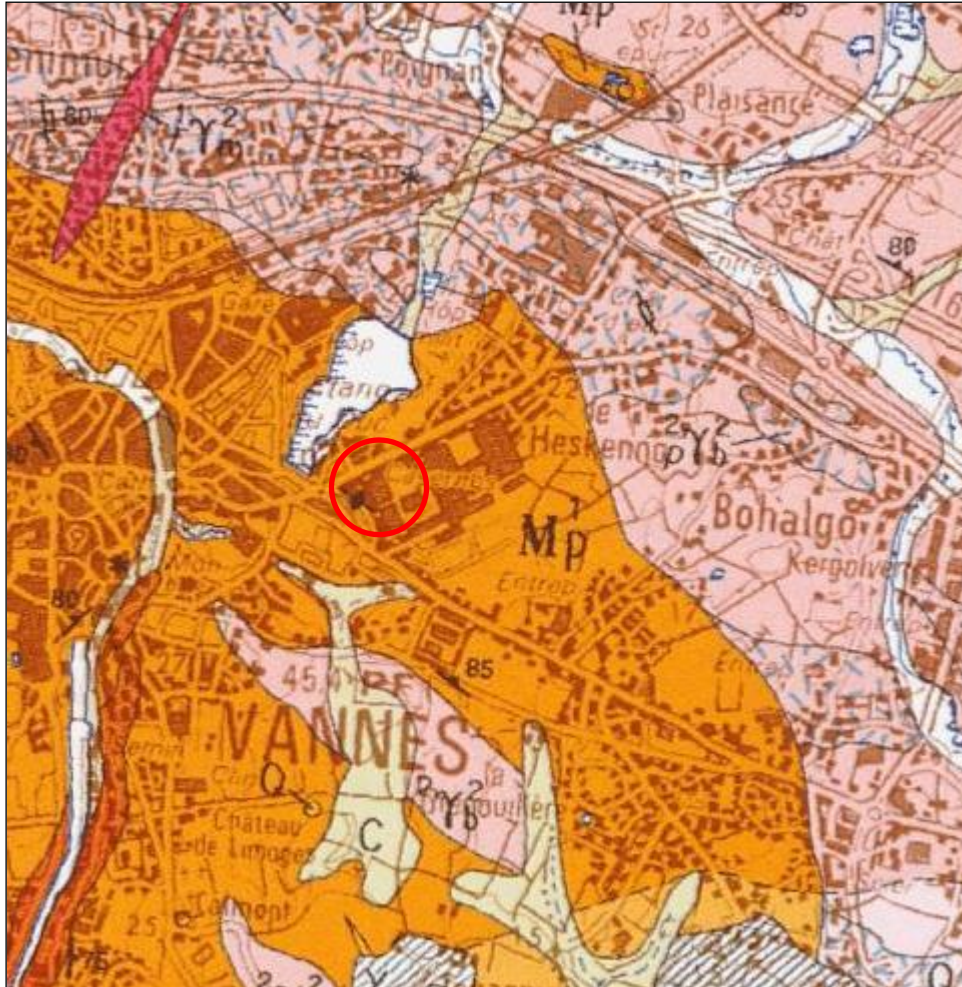


Figure 3 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000ème (source : BRGM)

Hydrogéologie

Il existe deux aquifères :

- Une nappe superficielle occasionnelle (période hivernale ou pluies) présente dans les horizons pédologiques de surface,
- Une nappe profonde de substrat.

Approche sismique

La ville de VANNES est classée en zone sismique 2 correspondant à une sismicité faible.

Tableau 1 : Classes de sol

	EUROCODE	Accélération	Paramètre de sol
	8.1	A _{gr}	S
	A	0.7	3



100 m

©IGN

Scans (IGN)

Propriétaire : IGN

Information : Non renseigné

Pas de légende

Zonage sismique

Propriétaire : BRGM-MEDDE

Information : Non renseigné

-  1 (très faible)
-  2 (faible)
-  3 (modérée)
-  4 (moyenne)
-  5 (forte)

Aléa Retrait-Gonflement

Le projet se situe dans en exposition à priori nul vis-à-vis du retrait-gonflement des argiles. Les sondages ont confirmé ce classement, cependant de l'argile a été observée sur le sondage S1 réalisé en 2021 et sur le sondage SP2, en profondeur.



InfoTerre



Géosciences pour une Terre durable

brgm



100 m

©IGN

Scans (IGN)

Propriétaire : IGN

Information : Non renseigné

Pas de légende

Exposition au retrait gonflement des argiles

Propriétaire : BRGM-MEDDE

Information : Non renseigné

- Exposition forte
- Exposition moyenne
- Exposition faible

Le projet ne se situe pas dans une zone inondable par débordements de cours d'eau.

Aléa remontée de nappes





Le projet se situe dans une zone potentiellement sujette aux inondations de caves mais ne se situe pas dans une zone potentiellement sujette aux débordements de nappes.



Zones sensibles aux remontées de nappes

Propriétaire : BRGM

Information : Non renseigné

- | | | | |
|---|--|---|---|
|  | Zones potentiellement sujettes aux débordements de nappe | | |
|  | Zones potentiellement sujettes aux inondations de cave | | |
| | Pas de débordement de nappe ni d'inondation de cave |  | Entités hydrogéologiques imperméables à l'affleurement
(source : BDLISA V2/BRGM) |
|  | Enveloppes Approchées des Inondations Potentielles cours d'eau et submersion marine de plus d'un hectare
(Source : MTES/DGPR) | | |

Aléa cavités souterraines

Aucune cavité n'est répertoriée sur la zone d'investigation (carte BRGM).

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Le projet se situe sur les formations suivantes :

- Enrobé + graviers / dalle béton, coiffant une série d'éléments anthropiques reposant sur une arène sablo-limoneuse brune puis des migmatites altérées à peu altérés à broyat sableux beige à sablo-argileuse gris (SP2).

Ce substrat permet d'estimer un sol sain avec nappe d'eau superficielle ; le sol porteur est éloigné et permet d'envisager des solutions de fondations par inclusions rigides.

Les investigations seront de type sondages à la tarière 64 mm à une profondeur maximale de 9.00 mètres ou refus sans analyse de laboratoire

Mission G2-AVP - Synthèse géotechnique

Les profondeurs des différents ensembles lithologiques sont décrites par rapport au terrain naturel relevé au moment de la reconnaissance.

L'ensemble de ces données permet d'établir sous 25 à 40 centimètres d'enrobé avec graviers + du béton, le profil géotechnique suivant :

Formation n° 1 : Nature : Sable argilo-graveleux (S1) à sable jaune (S2) – Remblai (SP3 à SP7) – Ouvrage + CDF (SP1, SP2, SP3, SP4 et S5)

Sondage	S1	S2	SP1	SP2	SP3	SP4	S5	SP6	SP7
Toit (m)	0.40	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0,20	0,15
Mur (m)	1.15	1.45	0.50	0.20	0.85	1.00	1.10	0,25	1,00
Epaisseur (m)	0.75	1.25	0.50	0.20	0.85	1.00	1.10	0,05	0,85

Caractéristiques géotechniques : formation de compacité faible

- Module pressiométrique (Em) : Em = 1,0 à 7,0 MPa
- Pression limite nette (P1*) : P1* = 0,15 à 0,74 MPa
- Résistance de pointe (Qd) : Qd = 2,0 à 6,0 MPa

Formation n° 2 : Nature : Limon sableux, faiblement argileux, brun à sable limoneux grossier beige

Sondage	S1	S2	SP1	SP2	SP3	SP4	S5	SP6	SP7
Toit (m)	/	/	0.50	0.20	0.85	1.00	1.10	0,25	/
Mur (m)	/	/	1.60	2.35	2.65	1.50	3.95	1,20	/
Epaisseur (m)	/	/	1.10	1.65	1.80	0.50	2.85	0,95	/

Caractéristiques géotechniques : formation de compacité faible

- Module pressiométrique (Em) : Em = 1,8 à 5,0 MPa
- Pression limite nette (P1*) : P1* = 0,25 à 0,54 MPa

Formation n° 3 : Nature : Arène limoneuse migmatique beige/brune

Sondage	S1	S2	SP1	SP2	SP3	SP4	S5	SP6	SP7
Toit (m)	1.15	1.45	/	2,35	2.65	1.50	3.95	1,20	/
Mur (m)	3.85	3.10	/	4,70	4.50	1.90	4.50	1,70	/
Epaisseur (m)	2.70	>1.65	/	>2,35	1.85	0.40	0.55	0,50	/

Caractéristiques géotechniques : formation de compacité moyenne

- Module pressiométrique (Em) : Em = 12,0 à 20,0 MPa
- Pression limite nette (P1*) : P1* = 1,16 à 1,98 MPa
- Résistance de pointe (Qd) : Qd = 2,0 à 45,0 MPa

Formation n° 4 : Nature : Migmatites altérées à peu altérées à broyat sablo-limoneux beige/sablo-argileuse gris

Sondage	S1	S2	SP1	SP2	SP3	SP4	S5	SP6	SP7
Toit (m)	3.85	/	1.60	/	4.50	1.90	4.50	1,70	1,00
Mur (m)	4.50	/	3.10	/	9.00	9.00	9.00	9,00	9,00
Epaisseur (m)	>0.65	/	>1.50	/	>4.50	>7.10	>1.50	>7,30	>8,00

Caractéristiques géotechniques : formation de compacité moyenne à bonne

- Module pressiométrique (Em) : Em = 13,0 à plus de 100 MPa
- Pression limite nette (P1*) : P1* = 1,33 à plus de 3,0 MPa
- Résistance de pointe (Qd) : Qd = 5,0 à 55,0 MPa

Données hydrogéologiques

L'eau a été rencontrée en eau immédiate au /TN actuel et présente en eau stabilisée (2heures après forage).

	S1 (2021)	S2 (2021)	PD1 (2021)	PD2 (2021)	SP1 (2022)	SP2 (2022)	SP3 (2022)	SP4 (2022)	S5 (2022)	SP6 (2023)	SP7 (2023)
Eau immédiate	-3m55	-2m	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Eau stabilisée	-1m13	-1m08	-2m	-2m20	/	-3.10m	-2.43m	-1.55m	-2.50m	/	/

Ces niveaux observés correspondent aux inondations de cave corroborant les données émises par le BRGM.

Les niveaux d'eaux mesurées ne sont représentatifs de la nappe qu'au jour de la mesure, le mercredi 12 mai 2021 pour S1, S2, PD1 et PD2, le mardi 5 juillet 2022 pour SP1 et SP2, le 08 novembre 2022 pour SP3, SP4 et S5 et le 23 mars 2023 pour SP6 et SP7. Il ne permet pas de juger des variations saisonnières de la nappe qui pourra varier de manière importante notamment en période de pluviométrie importante.

Cependant, en cas de précipitations et de ruissellement de surface, des venues d'eau superficielles sont possibles. En l'absence d'étude ou de suivi hydrogéologique précis, il est difficile de dire si les niveaux observés correspondent à des niveaux de hautes eaux ou d'eaux normales. Il est recommandé de mettre en place un suivi sur une année pour bien appréhender les variations de niveaux de nappe, celles-ci pouvant affecter la base des fondations suivant la période de terrassement choisie.

Essais en laboratoire

2 identifications GTR ont été réalisées afin de classer les sols et de définir les PST et les arases.

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Echantillon (profondeur)	GTR1 (1,0- 2,0m/TN)	GTR2 (0,0- 0,1m/TN)	GTR3 (1,0- 2,0m/TN)
Nature	Remblai sablo- graveleux	Remblai sablo- argileux	Remblai sablo- graveleux
Formation	1	1	1
Teneur en eau nat. (Wn)	15,77%	11,61%	10,47 %
Dmax (mm)	20	10	20
Tamisat à 80 µm sur la fraction 0/D max	19,25%	21,78%	21,90 %
Valeur au bleu de Méthylène	0,44	1,15	0,49
Classification GTR	B5	B5	B5

Les sols de classe A₁ sont des sols fins très sensibles à l'eau, peu plastiques, dont la consistance peut changer brutalement pour de faibles variations de teneur en eau. Cette classe de sols n'est pas exposée au risque de retrait-gonflement.

Les sols de classe B₅ dont la proportion des fines et de la faible plasticité de ces dernières, rapprochent beaucoup le comportement de ces sols de celui des sols A₁. Cette classe de sols n'est pas exposée au risque de retrait-gonflement.

Mission G5 - Reconnaissances de fondations existantes

RF1

La fondation est, à priori, un mur continu sans débord extérieur. Il n'a pas été trouvé à une profondeur d'excavation de 166 cm à fond de pelle. Fouille sèche.



Figure 4 : Photographies de la reconnaissance de fondation RF1

RF2

La fondation est, à priori, un mur continu sans débord extérieur. Il n'a pas été trouvé à une profondeur d'excavation de 130cm interrompu car fortement ennoyé



Figure 5 : Photographies de la reconnaissance de fondations RF2

RF3

La fondation est un mur continu en pierres ayant un encastrement de 2,15 mètres et reposant sur l'arène migmatite à la migmatite plus ou moins altérée.



**Figure 6 : Photographie de la reconnaissance de fondation
RF3**

RF4

La fondation est un mur continu en pierres ayant un encastrement de 1,25 mètre et reposant sur le substratum migmatique peu altéré.



Figure 7 : Photographie de la reconnaissance de fondation RF4

APPLICATION DU PROJET – EBAUCHE DIMENSIONNELLE

Construction sans sous-sol - Cote projet : 12,9

Contexte géotechnique

Les investigations réalisées sur le site ont permis de mettre en évidence, localement, sous l'enrobé ou les graviers et le béton, des remblais sablo-argilo graveleux ou du sable argilo-graveleux de faible compacité, suivi de limon sableux ou argileux à sable limoneux aux faibles caractéristiques mécaniques, recouvrant l'arène migmatique limoneuse de compacité moyenne suivi du substratum migmatique plus ou moins altéré en tête broyat sablo-limoneux beige et de compacité moyenne à excellente.

Dimensionnement :

Un estimatif des descentes de charges a été transmis dans le dossier de consultation des entreprises le 27 mars 2023.

Une solution d'inclusions rigides est envisagée pour ce projet.

Terrassements

Moyens d'extraction

Les terrassements seront réalisés à l'aide de moyens classiques voire puissants en cas de rencontre du substratum rocheux et adaptés à l'environnement.

Les travaux seront effectués, de préférence, en période sèche et non pluvieuse sous peine de générer des boues et un risque d'embourbement et des purges nécessaires.

On admettra la pose d'une couche de forme provisoire apte à la circulation des engins où la couche de forme du dallage à l'avancement.

Eau

Le chantier devra être réalisé en période sèche et même non pluvieuse.

Un pompage ou système de drainage devra être mis en place pour rabattre le niveau d'eau de 50cm sous la cote de terrassement ou une évacuation par pompage.

Le travail en déblai devra être interrompu, en cas de pluie, et les talus ou terrassements verticaux protégés par un polyane.

Aucune surcharge, vibration, stockage de matériaux en tête de talus se sera effectué.

Il convient de respecter la règle des 2V/3H.

Les sollicitations extérieures défavorables (stockage, vibration, ...) seront limitées dans la mesure du possible.

Les talus seront protégés par un polyane des eaux météorites

Recul suffisant

Dans le cas de limon, d'arène migmatite et de migmatite plus ou moins altérée (Formations 2 à 4) en première approche, (hors avoisinant), les talus devront être talutés à **3H/2V adaptés en phase chantier selon les observations en réel et redressés de 1H/1V dans le substratum migmatique.**

Mise en œuvre

Le système retenu devra permettre la mise en attente des ferrailles à la base des voiles ou angles de chainage.

Les murs enterrés devront être dimensionnées pour reprendre la poussée des terres et les pressions interstitielles et soigneusement imperméabilisées.

Afin d'éviter la remontée des eaux et les pressions interstitielles, il est possible de mettre en place une bordure étanche au niveau RDC (limitation des infiltrations) ou un drainage périphérique avec évacuation des eaux en réseau EP gravitairement ou par l'intermédiaire d'une pompe de relevage.

L'équipe du projet devra définir précisément les conditions d'imperméabilisation (suintement admissible en vide sanitaire ou cuvelage complètement étanche en fonction de la destination des locaux enterrés et des niveaux de nappe relevés et de la cote des plus hautes eaux connues sur le site).

Les calculs de capacité portante des fondations et tassements respecteront les prescriptions des normes d'application du NFP 94 - 262.

Modèle géomécanique

Sous la cote projet, le terrain est constitué d'un :

- Horizon de remblais sablo-argilo-graveleux ou de sable argilo-graveleux de faible compacité,
- Horizon limono-sableux ou limono-argileux à sablo-limoneux aux caractéristiques mécaniques faibles,
- Horizon d'arène migmatite limoneuse de compacité moyenne,
- Horizon de roche migmatite plus ou moins altérée, broyat sablo-limoneux, de compacité moyenne à bonne.

Trois modèles géomécaniques ont été étudiés :

Caractéristiques du terrain sous la fondation	Symbole	Unité	Modèle défavorable	Modèle favorable	Modèle favorable
Classe de sol (E7)			Limon sableux à sable limoneux	Arène migmatite	Migmatites plus ou moins altérée
Pression limite retenue	PI*	MPa	0,40	1,38	1,59
Module pressiométrique retenu	Em	MPa	3,5	13,5	82
Coefficient rhéologique	α	-	0.5	0.5	0.5
Cohésion sous fondation	c	kPa	5	5	5
Angle de frottement sous fondation	φ	°	25	25	25
Module de Young	E	MPa	7,0	27	164
Coefficient de poisson	ν	-	0.33	0.33	0.33
Poids volumique des terres	γ_F	kN/m ³	18	18	18

Poids volumique des terres sur la fondation 18 kN/m³.

Hydrogéologie

L'eau a été rencontrée en eau immédiate au /TN actuel et présente en eau stabilisée (2heures après forage).

	S1 (2021)	S2 (2021)	PD1 (2021)	PD2 (2021)	SP1 (2022)	SP2 (2022)	SP3 (2022)	SP4 (2022)	S5 (2022)	SP6 (2023)	SP7 (2023)
Eau immédiate	-3m55	-2m	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Eau stabilisée	-1m13	-1m08	-2m	-2m20	/	-3.10m	-2.43m	-1.55m	-2.50m	/	/

Ces niveaux observés correspondent aux inondations de cave corroborant les données émises par le BRGM.

Les niveaux d'eaux mesurées ne sont représentatifs de la nappe qu'au jour de la mesure, le mercredi 12 mai 2021 pour S1, S2, PD1 et PD2, le mardi 5 juillet 2022 pour SP1 et SP2, le 08 novembre 2022 pour SP3, SP4 et S5 et le 23 mars 2023 pour SP6 et SP7. Il ne permet pas de juger des variations saisonnières de la nappe qui pourra varier de manière importante notamment en période de pluviométrie importante.

Cependant, en cas de précipitations et de ruissellement de surface, des venues d'eau superficielles sont possibles. En l'absence d'étude ou de suivi hydrogéologique précis, il est difficile de dire si les niveaux observés correspondent à des niveaux de hautes eaux ou d'eaux

normales. Il est recommandé de mettre en place un suivi sur une année pour bien appréhender les variations de niveaux de nappe, celles-ci pouvant affecter la base des fondations suivant la période de terrassement choisie.

De plus, la pose d'un piézomètre a été réalisée avec relevage des niveaux d'eau sur un an :

Tableau 2 : Niveaux d'eau du piézomètre

Date	08/11/2022	11/12/2022	09/01/2023	06/02/2023	06/03/2023	11/04/2023
Relevé	1,89m/TN	1,85m/TN	1,90m/TN	1,65m/TN	1,75m/TN	1,64m/TN
Date	09/05/2023	05/06/2023	10/07/2023	07/08/2023	11/09/2023	09/10/2023
Relevé	1,58m/TN	1,78m/TN	2,22m/TN	2,01m/TN	1,98m/TN	1,88m/TN

Bâtiment

Le bâtiment est de catégorie 4 avec une durée d'utilisation indicative de 50ans (à confirmer par le maître d'ouvrage) sans application des prescriptions parasismiques.

Ainsi d'après l'Eurocode 8, $agr = 0,7m/s^2$.

Charges

Un estimatif des descentes de charges a été transmis dans le dossier de consultation des entreprises. Ces dernières sont comprises entre 7,6 à 86t.

Moments et excentricité

Aucun prérequis transmis.

Solution par inclusions rigides (solution conseillée)

Mode de fondations

Compte tenu des charges a priori importantes du projet et de la qualité des terrains de surface, on pourra envisager une solution de fondations sur sol renforcé par inclusions rigides.

Profondeur d'assise

A titre indicatif, et selon la cote de dallage fini, la profondeur d'assise au droit des reconnaissances sera voisine de 2,5 à 3,0 mètres /TN relatif, soit ancrées de 0,3 m minimum dans les formations 2,3 ou 4 selon la position du projet (pour les fondations ancrées dans la formation 2, reposent sur la formation 3). On observe des variations de faciès et d'épaisseur existent entre les points de sondages et nécessitent une adaptation du projet en fonction de l'hétérogénéité des sols.

Les efforts horizontaux et les moments provenant de la structure ne peuvent pas être repris par les inclusions. Par conséquent, il sera nécessaire de prévoir un matelas entre les inclusions rigides et les semelles. A fortiori, la prise en compte des sollicitations sismiques (EC8) impose cette prescription.

Contraintes de calcul

Paramètres de prédimensionnement

Le dimensionnement des inclusions sera réalisé selon les recommandations ASIRI. Le diamètre et le maillage du renforcement seront fonction des charges à reprendre et des spécificités de la méthode employée. On privilégiera la réalisation d'inclusions par refoulement ce qui favorise le renforcement du terrain en intermaille.

Les calculs ont été réalisés de façon que sous les fondations superficielles, la contrainte équivalente (ou la contrainte appliquée) soit de 0,20 MPa.

Les calculs ont été réalisés pour un diamètre des inclusions d'au moins 0,4 m avec un maillage de 0,9 mètre pour une contrainte maximale en compression dans les inclusions de 2,0 MPa. Le nombre d'inclusions sous semelles isolées sera d'au minimum 2 unités.

Le maillage d'inclusions sous dallages ne devra pas excéder 9 m², soit une maille élémentaire maximale de 3 m x 3 m.

Le renforcement sera densifié sous les fondations de façon à ce que les tassements engendrés soient compatibles avec les tolérances de déformation des ouvrages.

On retiendra pour le prédimensionnement du renforcement les caractéristiques géotechniques suivantes pour le matelas de répartition, composés d'éléments 0/150mm :

Epaisseur de la couche (m)	P _i * (MPa)	E _m (MPa)	α
0,5 minimum	1,50	15	0,33

Les paramètres ci-dessus ainsi que les modèles géotechniques étudiés devront être validés dans le cadre des missions ultérieures (mission G3) en Exécution.

Compte tenu du mode de fonctionnement du complexe sol/inclusions rigides, les méthodes de calcul utilisées devront intégrer une loi de comportement en contrainte/déformation pour préciser la répartition des contraintes et les tassements. On vérifiera que la contrainte maximale dans l'inclusion est admissible en fonction des matériaux utilisés et en tenant compte des coefficients réducteurs fonction du type de contrôle, de la géométrie des inclusions et du type de fondation.

Matelas de répartition

L'épaisseur du matelas sous dallage devra être suffisante pour limiter les phénomènes de poinçonnement en tête de colonne. Les moments de flexion dans le dallage devront être calculés afin que la conception du dallage soit telle que ce dernier soit capable d'absorber sans désordre ces moments additionnels.

Sous les fondations, le matelas servira de protection des têtes des inclusions rigides contre les effets néfastes des sollicitations horizontales en faisant transiter le cisaillement dans ce dernier. Le matelas de répartition granulaire est généralement constitué de 2 couches :

- h1 correspondant au matelas situé au-dessus des inclusions,
- h2 correspondant au matelas situé en dessous de la tête des inclusions.

L'épaisseur h2 permet le bon compactage de la couche h1 (enclume). L'épaisseur h2 est déterminée comme étant le minimum (diamètre inclusions rigides ; 50 cm), dans notre cas avec nos hypothèses de calculs, h2 aura une épaisseur de 50 cm. Toutefois, si le rapport de l'effort vertical de calcul (V_{ed}) et l'effort horizontal (H_{ed}) de calcul est inférieur à 0,5, alors $h2 = 0$ cm.

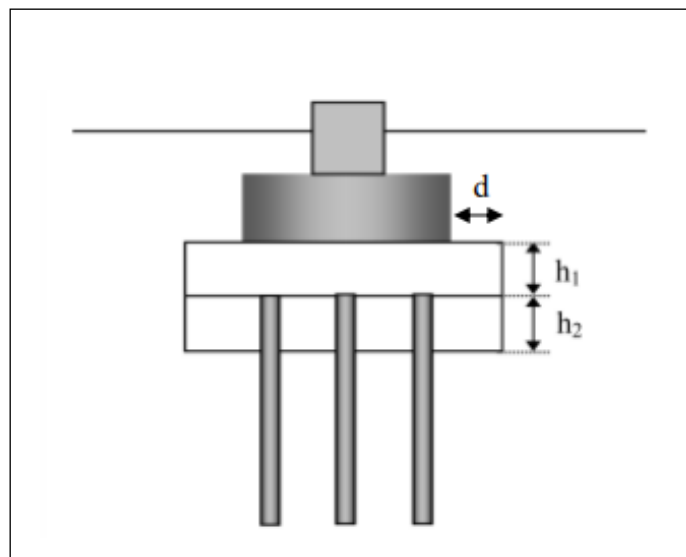


Figure 8 : Schéma représentant le matelas de répartition dans le cas d'inclusions rigides

Pour le projet, nous avons 2 cas :

- Les inclusions sous fondation pour lesquelles l'épaisseur ($h1+h2$) du matelas de répartition granulaire sera :
 - h1 d'au minimum 50 cm,
 - h2 d'une épaisseur de 50 cm minimum si $V_{ed} / H_{ed} > 0.5$,
 - d supérieur à $2\varnothing = 160$ cm.
- Les inclusions sous dallage pour lesquelles l'épaisseur ($h1+h2$) du matelas de répartition granulaire sera :
 - h1 d'au minimum 50 cm,
 - h2 non requis.

Sous dallage, l'épaisseur du matelas devra être identique sur l'ensemble du site et suffisante pour éviter les phénomènes de poinçonnement en tête des inclusions.

Les matériaux pouvant être utilisés pour réalisés le matelas de répartition devront être insensible à l'eau et d'excellente qualité et pourront être du type :

Appellation selon la norme NF P 11-300	Classification selon le GTR
Sol sableux et graveleux avec fines non argileuses et gros éléments	B ₁₁ , B ₃₁
Sols comportant des fines non argileuses et gros éléments	C ₁ B ₁ , C ₁ B ₃ , C ₂ B ₃ , C ₂ B ₁ , C ₁ B ₄ , C ₂ B ₄ (après élimination de la fraction fine)
Sols insensibles à l'eau	D ₁ , D ₂ , D ₃ (sauf D ₃₂)
Craies	R ₁₁
Calcaires rocheux divers	R ₂₁ , R ₂₂
Roches siliceuses	R ₄₁ , R ₄₂
Roches magmatiques et métamorphiques	R ₆₁ , R ₆₂

Tous matériaux pollués ou remaniés lors de l'exécution des inclusions devront être purgés avant la mise en place du matelas.

Ce matelas sera très soigneusement mis en œuvre par couches d'épaisseurs adaptées au matériel de compactage employé.

Le matelas de répartition, une fois mis en œuvre et compacté, répondra aux exigences suivantes :

- $\varphi' > 38^\circ$,
- $c' = 0$,
- $EV2 > 50$ MPa,
- $EV2/EV1 < 2.2$ sur toute la hauteur du matelas de répartition.

Inclusions

Dans ces conditions, les paramètres de dimensionnement à prendre en compte sont présentés ci-dessous :

SP1	Cote Tête de sondage	Profondeur d'encastrement/TN actuel relatif	Contrainte appliquée sous fondations	Contrainte effective sur inclusions (MPa)
				ELS
	12,6	2,7 mètres	0,20 MPa	1,22

SP1	Cote dallage relative	Profondeur d'encastrement/TN dallage futur	Cote /référence plan de masse
	12,9	3,0 mètres	9,9

**Tassement absolu et différentiels à dix ans aux ELS – Inclusions rigides de diamètre 0,4m
pour un maillage de 0,9 mètre pour une charge maximale en compression dans les
inclusions de 2,0 MPa :**

Chargement	0,20 MPa sous fondations
SP1	≈ 1 mm

Module de déformation des différentes couches de sols :

Formation	Nature	Epaisseur	Module Em (MPa)	Coefficient α	Module Elastique Es (MPa)
4	Arène limoneuse à migmatite plus ou moins altérée broyat sableux beige/jaune	>1,5 m	13 à 61	0.5	26 à 122

SP2	Cote Tête de sondage	Profondeur d'encastrement/TN actuel relatif	Contrainte appliquée sous fondations	Contrainte effective sur inclusions (MPa)
				ELS
	12,5	2,6 mètres	0,20 MPa	1,78

SP2	Cote dallage relative	Profondeur d'encastrement/TN dallage futur	Cote /référence plan de masse
	12,9	3,0 mètres	9,9

**Tassement absolu et différentiels à dix ans aux ELS – Inclusions rigides de diamètre 0,4m
pour un maillage de 0,9 mètre pour une charge maximale en compression dans les
inclusions de 2,0 MPa :**

Chargement	0,20 MPa sous fondations
SP2	≈ 7 mm

Module de déformation des différentes couches de sols :

Formation	Nature	Epaisseur	Module Em (MPa)	Coefficient α	Module Elastique E _s (MPa)
3	Arène argileuse	>2,35 mètres	12 à 16,5	0,5	24 à 33

SP3	Cote Tête de sondage	Profondeur d'encastrement/TN actuel relatif	Contrainte appliquée sous fondations	Contrainte effective sur inclusions (MPa)
				ELS
	12,6	2,7 mètres	0,20 MPa	1,22

SP3	Cote dallage relative	Profondeur d'encastrement/TN dallage futur	Cote /référence plan de masse
	12,9	3,0 mètres	9,9

Tassement absolu et différentiels à dix ans aux ELS – Inclusions rigides de diamètre 0,4m pour un maillage de 0,9 mètre pour une charge maximale en compression dans les inclusions de 2,0 MPa :

Chargement	0,20 MPa sous fondations
SP5	≈ 3 mm

Module de déformation des différentes couches de sols :

Formation	Nature	Epaisseur	Module Em (MPa)	Coefficient α	Module Elastique E _s (MPa)
2	Limon faiblement sablo-argileux brun	1,8 mètres	1,8 à 3,5	0,5	3,6 à 7,0
3	Arène limoneuse brune/beige	1,8 mètres	20	0,5	40
4	Migmatite plus ou moins altérée à broyat sablo-limoneux brun/beige	>4,5 mètres	Plus de 100	0,5	Plus de 100

SP4	Cote Tête de sondage	Profondeur d'encastrement/TN actuel relatif	Contrainte appliquée sous fondations	Contrainte effective sur inclusions (MPa)
				ELS
	12,7	2,8 mètres	0,20 MPa	1,19

SP4	Cote dallage relative	Profondeur d'encastrement/TN dallage futur	Cote /référence plan de masse
	12,9	3,0 mètres	9,9

Tassement absolu et différentiels à dix ans aux ELS – Inclusions rigides de diamètre 0,4m pour un maillage de 0,9 mètre pour une charge maximale en compression dans les inclusions de 2,0 MPa :

Chargement	0,20 MPa sous fondations
SP4	≈ 1 mm

Module de déformation des différentes couches de sols :

Formation	Nature	Epaisseur	Module Em (MPa)	Coefficient α	Module Elastique E _s (MPa)
4	Migmatite plus ou moins altérée broyat sablo- limoneux brun/beige	>7,0 mètres	63 à plus de 100	0,5	126 à plus de 200

SP6	Cote Tête de sondage	Profondeur d'encastrement/TN actuel relatif	Contrainte appliquée sous fondations	Contrainte effective sur inclusions (MPa)
				ELS
	12,9	3,0 mètres	0,20 MPa	1,01

SP6	Cote dallage relative	Profondeur d'encastrement/TN dallage futur	Cote /référence plan de masse
	12,9	3,0 mètres	9,9

Tassement absolu et différentiels à dix ans aux ELS – Inclusions rigides de diamètre 0,4m pour un maillage de 0,9 mètre pour une charge maximale en compression dans les inclusions de 2,0 MPa :

Chargement	0,20 MPa sous fondations
SP6	≈ 1 mm

Module de déformation des différentes couches de sols :

Formation	Nature	Epaisseur	Module Em (MPa)	Coefficient α	Module Elastique Es (MPa)
4	Migmatite plus ou moins altérée broyat sableux beige à blanc	>1,1 mètre	82	0,5	164

SP7	Cote Tête de sondage	Profondeur d'encastrement/TN actuel relatif	Contrainte appliquée sous fondations	Contrainte effective sur inclusions (MPa)
				ELS
	12,4	2,5 mètres	0,20 MPa	1,21

SP7	Cote dallage relative	Profondeur d'encastrement/TN dallage futur	Cote /référence plan de masse
	12,9	3,0 mètres	9,9

Tassement absolu et différentiels à dix ans aux ELS – Inclusions rigides de diamètre 0,4m pour un maillage de 0,9 mètre pour une charge maximale en compression dans les inclusions de 2,0 MPa :

Chargement	0,20 MPa sous fondations
SP7	≈ 1 mm

Module de déformation des différentes couches de sols :

Formation	Nature	Epaisseur	Module Em (MPa)	Coefficient α	Module Elastique E_s (MPa)
4	Arène migmatite à migmatite plus ou moins altérée broyat sableux beige à blanc	>1,7 mètre	57,5	0,5	115

Nous avons donc un tassement différentiel de 6 mm entre nos sondages.

La présence d'eau et de la nappe n'empêchent pas la réalisation des inclusions rigides.

Aménagement général :

Des remblais seront à prévoir pouvant aller jusqu'à 0,5 m.

Le terrassement sera réalisé par des engins classiques et devront être adaptés à l'environnement. Le type de moyens, la durée des travaux et le surplus potentiellement occasionné ne peut être chiffré, ni quantifié à ce stade de l'étude et est du choix et de la responsabilité de l'entreprise de terrassement.

Afin d'éviter une altération du fond de fouilles et rigoles des semelles, celles-ci devront être protégées immédiatement par un béton de propreté.

La pente des talus devra être de l'ordre de 3H/2V.

Un blindage provisoire des fouilles ne semble pas nécessaire pour assurer de la bonne cohésion des formations traversées mais reste à l'appréciation de l'entreprise de terrassement compte tenu de l'incertitude de la date des travaux et des conditions météorologiques lors des fouilles. Compte tenu des circulations et rétentions d'eau possible dans les sols les terrassements seront faits en période sèche et les fondations seront coulées de suite sous peine de baisse des caractéristiques mécaniques de la formation d'assise.

Les éléments enterrés seront obligatoirement protégés contre les infiltrations superficielles et les venues souterraines par tout moyen approprié et par un drainage périphérique au niveau des fondations et évacués vers le réseau pluvial afin d'éviter des stagnations et des ruissellements susceptibles d'engendrer des coulées ou affouillements au niveau des fondations.

Les terrains non-conformes (matériau de faible portance, remblais sablo-argilo-graveleux ou sable argilo-graveleux) détectés à l'ouverture des fouilles, seront purgés et remplacés par du gros béton coulé à pleine fouille. Le volume nécessaire n'est pas quantifiable à ce stade de l'étude.

L'eau présente à cette profondeur, constitue un aléa pour la réalisation des fondations. Ainsi les travaux, devront être réalisés dans des conditions météorologiques favorables et on s'assurera de l'absence de nappe au moment des travaux et de prévoir un pompage en continu, un rabattement de nappe ou un pieu de décompression.

La présence éventuelle de niveaux de fondations différents nécessitera de respecter une pente maximale de 3 de base pour 2 de hauteur entre arêtes de semelles voisines (DTU 13.12, article 2,42)

Remarque :

Les tassements théoriques calculés s'entendent pour une mise en œuvre des fondations selon les règles de l'art en accord avec les prescriptions de l'Eurocode 7 NF P 94-262.

Il revient à l'ingénieur structure de définir les tolérances de déformations admissibles vis-à-vis des fondations afin de caler le dimensionnement du renforcement en conséquence lors de la mission G3 – phase étude. De même, le dimensionnement définitif des semelles (armatures) devra prendre en compte ces tolérances de déformations et les phénomènes de points durs éventuels liés aux inclusions rigides.

D'une manière générale, l'entraxe entre chaque inclusion rigide est de l'ordre de 3 fois le diamètre de l'inclusion. Toutefois, la maille du renforcement peut être plus resserrée (augmentation du taux d'incorporation) afin de réduire les tassements et les rendre acceptables pour la structure. Dans ce cas, il convient de prendre en compte l'effet de groupe qui limite la capacité portante globale du renforcement.

Enfin, nous rappelons que les inclusions rigides sont des éléments de fondation non armés, par conséquent, elles ne sont pas de nature à reprendre les sollicitations horizontales et/ou les moments liés au comportement de la structure et aux diverses sollicitations. Par conséquent, ces sollicitations transversales et ces moments devront être essentiellement repris par les éléments de structure sus-jacents aux inclusions. A défaut, il conviendra d'intégrer une couche granulaire entre les inclusions et les fondations afin de limiter voire d'annuler ces effets néfastes pour les inclusions rigides.

Sujétions d'exécution

De même, la technologie spécifique mise en œuvre par l'entreprise devra faire l'objet d'un cahier des charges agréé.

Les inclusions rigides sont généralement réalisées avec des engins spécifiques très lourds qui nécessitent la mise en œuvre d'une plate-forme de travail appropriée en matériau concassé granulaire type 0/150 mm ou équivalent sur au moins 0.50 m minimum, à adapter en fonction du matériel de l'entreprise spécialisée.

La réalisation d'inclusions rigides impacte 3 lots : fondations profondes, terrassement et dallage. La bonne interaction entre lots conditionne l'efficacité des inclusions rigides. On gardera donc à l'esprit que chaque modification des préconisations sur un des lots impactera nécessairement les autres lots. Le maître d'œuvre aura donc pour « rôle clé » de gérer les interactions fortes entre lots.

Les inclusions rigides seront réalisées **selon le guide ASIRI « Recommandations pour la conception, le dimensionnement, l'exécution et le contrôle de l'amélioration des sols de fondation pas inclusions rigides » de juillet 2012** et selon le guide AFPS-CFMS « procédés d'amélioration et de renforcement des sols sous actions sismiques » par une entreprise spécialisée et qualifiée en traitement des sols, conformément à ces mêmes recommandations.

En cas de refus prématuré dans les terrains de forte consistance (blocs, niveaux indurés...) les obstacles devront être purgés ou traversés par des moyens adaptés (trépannage, carottage, préforage ...)

Le choix du matériel (type d'outil, diamètre, ...) reste de la responsabilité de l'entreprise en fonction de son expérience locale. Le phasage des travaux devra prendre en compte l'environnement du site au moment de leur réalisation (voiries, réseaux souterrains et aériens...) et toutes les précautions devront être prises pour que cette méthode ne crée pas de désordres aux avoisinants.

Compte-tenu de la nécessité de mettre en œuvre un matelas de répartition sous la totalité des dallages soit quasiment la totalité de l'impact du bâtiment, il est possible d'intégrer tout ou partie du matelas de répartition dans la plate-forme de travail. Dans ce cas-là, on privilégiera la mise en œuvre d'un matériau de granulométrie 0/80 mm. Attention, les opérations de réalisation des I.R. risquent fort de souiller la partie supérieure de la plate-forme et il conviendra donc de procéder au décapage de cette partie souillée et de remettre en œuvre un matériau de qualité.

Contrôles

La qualité du matelas de répartition sera contrôlée par essais à la plaque mode opératoire LCPC afin de s'assurer que les valeurs attendues ont bien été obtenues.

Lors de la réalisation, les contrôles porteront sur les paramètres d'exécution qui seront enregistrés (fonçage, remplissage etc...). Des essais d'impédance seront réalisés pour le contrôle de la continuité des inclusions rigides.

Des essais de résistance du matériau (essais d'écrasement) et de chargement seront réalisés selon la fréquence et la méthodologie définies dans les recommandations ASIRI.

Les inclusions d'essai seront réalisées au préalable et dégarnies afin de s'assurer de l'obtention du diamètre attendu.

Dallage (DTU 13.3 partie 3)

Dallage terre-plein dans le cas de renforcement du sol par inclusions rigides sous dallage

Compte-tenu de la qualité médiocre des matériaux de plate-forme et de la destination des dallages, le plancher bas pourront être traités sur terre-plein moyennant les préconisations suivantes pour la mise en œuvre du matelas de répartition (selon les recommandations ASIRI pour les inclusions rigides) :

- Purge des matériaux pollués ou remaniés, puis substitution par des matériaux de remblai de d'excellente qualité, insensibles à l'eau de type 0/100mm ou de granulométrie supérieure (D_3 selon le GTR) et exempt d'éléments organiques dont le type est défini dans l'article 10.1 de la norme >NF P11-213-3 (DTU 13.3 – partie 3), sur 50 cm minimum (à adapter en fonction de l'état hydrique du sol).
- Mise en œuvre du matelas par couches d'épaisseurs adaptées au matériel de compactage employé et constitué par un matériau d'excellente qualité et insensible à l'eau (de classes D_3 à D_2 ou équivalent selon le GTR),
- Compactage des matériaux par couches minces à l'énergie de compactage q_3 (98,5% de l'OPN) selon les règles de l'Art et contrôles de réception des plates-formes par une série d'essais à la plaque permettant de vérifier l'obtention des critères habituellement retenus à savoir :
 - Module de Westergaard : $K > 50 \text{ MPa/m}$
 - $EV2/EV1 \leq 2,1$
 - $EV2 > 60 \text{ MPa}$
- Le matelas devra être constitué de matériaux à caractère drainants ($D_{10} > 1 \text{ mm}$).

Le maillage du renforcement sous les dallages sera conçu de façon que les tassements absolus soient inférieurs à 2 cm et les tassements différentiels inférieurs au centimètre.

Pour finir, le dallage terre-plein sera conçu selon le DTU 13-3, ainsi moyennant les préconisations suivantes pour la mise en œuvre de la couche de forme (hypothèse de charge : 2,5 à 6 t/m²) :

- Purge des terres de surface (terre végétale et sols pédologiques résiduels), puis substitution par des matériaux de remblai de d'excellente qualité, insensibles à l'eau (de type R₂₁, R₄₁ ou R₆₁) et exempt d'éléments organiques dont le type est défini dans l'article 10.1 de la norme >NF P11-213-3 (DTU 13.3 – partie 3), sur 50 cm minimum (à adapter en fonction de l'état hydrique du sol),
- Interposition d'un géotextile anti-contaminant,
- Compactage des matériaux par couches minces (épaisseur n'excédant pas 20 cm), selon les règles de l'Art et contrôles de réception des plates-formes par une série d'essais à la plaque permettant de vérifier l'obtention des critères habituellement retenus à savoir :
 - Pour un matériau de type B :
 - Module de Westergaard : $K > 70 \text{ MPa/m}$
 - $EV2/EV1 \leq 2,0$
 - $EV2 \geq 60 \text{ MPa}$

Voiries :

Après décapage général sur 30 cm d'épaisseur minimum (totalité de la terre végétale et des sols pédologiques résiduels), avec adaptations éventuelles et purges complémentaires en cas de matériaux imbibés ou saturés d'eau lors des travaux, on retiendra un fond de forme classé selon le GTR en PST1-AR1, pouvant chuter en AR0 par imbibition.

On retiendra la réalisation d'une couche de forme en matériaux granulaires d'excellente qualité et insensibles à l'eau (type R₂₁, R₄₁ ou R₆₁), de :

- 40 cm d'épaisseur pour les voiries légères,
- 60 cm d'épaisseur pour les voiries lourdes.

En cas de sols humides lors de l'exécution des travaux, l'intercalation d'un géotextile sera vivement conseillée ou bien la réalisation d'un clouage préalable du fond de forme par des matériaux grossiers (type 0/150 mm).

Les matériaux seront compactés par couches minces selon les règles de l'Art avec contrôle du compactage par essais à la plaque devant obtenir en tout point :

$$EV2 \geq 50 \text{ MPa}$$

Caractérisant une plateforme PF2, à partir de laquelle sera dimensionnée la structure de chaussée (assise+couche de surface) en fonction du trafic et de la pérennité choisie.

La couche de forme sera protégée rapidement, soit par l'assise de chaussée, soit par enduit superficiel en phase provisoire, afin de limiter les infiltrations d'eau et de préserver la portance.

Solution par pieux

Une solution de pieux n'est pas envisageable pour ce projet étant donné les charges élevées du projet. En effet, la zone Nord-Ouest de la zone d'étude a une capacité portante plus faible et ne peut supporter qu'une charge maximale de 30t pour un pieu de 1,5 m de diamètre et pour un tassement d'un centimètre.

Or, les charges du projet étant supérieures, les pieux de diamètre maximal ne peuvent pas reprendre le projet.

Une solution d'inclusions rigides semble être la meilleure solution.

SYNTHESE

Les investigations réalisées sur le site ont permis de mettre en évidence, localement, sous l'enrobé ou les graviers et le béton, des remblais sablo-argilo graveleux ou du sable argilo-graveleux de faible compacité, suivi de limon sableux ou argileux à sable limoneux aux faibles caractéristiques mécaniques, recouvrant l'arène migmatique limoneuse de compacité moyenne suivi du substratum migmatique plus ou moins altéré en tête broyat sablo-limoneux beige et de compacité moyenne à excellente.

Descente de charges fournies.

Une solution de pieux n'est pas envisageable pour ce projet étant donné les charges élevées du projet. En effet, la zone Nord-Ouest de la zone d'étude a une capacité portante plus faible et ne peut supporter qu'une charge maximale de 30t pour un pieu de 1,5 m de diamètre et pour un tassement d'un centimètre.

Or, les charges du projet étant supérieures, les pieux de diamètre maximal ne peuvent pas reprendre le projet.

Une solution d'inclusions rigides semble être la meilleure solution.

Solution conseillée :

Sol renforcé par inclusions rigides de 0,4m de diamètre et de 0,9 mètre de maillage avec une contrainte maximale en compression dans les inclusions de 2,0 MPa encastrées de 2,5 à 3,0 mètres par rapport au TN et ancrées de 0,3 m minimum, dans le limon sableux (et reposant sur l'arène) ou dans l'arène migmatite ou dans la roche migmatite plus ou moins altérée selon l'emplacement du projet.

Tassements compris entre 1 et 7 mm pour une contrainte de 0,20 MPa sous fondations superficielles, et avec donc avec un tassement différentiel de 6mm.

Dallage terre-plein avec renforcement du sol par inclusions rigides sous dallages.

La présence d'eau n'empêche pas la réalisation de ces fondations.

OBSERVATION

Les conclusions de ce rapport ne sont valables que sous réserve des conditions générales des missions géotechniques.

Toute anomalie ou particularité géotechnique devra être portée à la connaissance du géotechnicien pour adapter les projets si nécessaires.

Les sondages sont ponctuels et ne sont pas extrapolables à l'ensemble du site.

Le contexte géologique du site n'exclue pas la présence éventuelle d'anomalies en profondeur de type faille qui peuvent rendre caduques certaines des recommandations figurant dans le rapport et peuvent entraîner des adaptations qui ne sauraient être à la charge du géotechnicien.

ANNEXES

Référentiels géotechniques

NFP 94-202 : prélèvement applicable aux sols et roches

NFP 94-110 : essais pressiométriques MENARD

FASCICULE 62 –Titre V : règles techniques de conception et calcul des fondations des ouvrages de génie civil

DTU 13.12 Règles pour le calcul des fondations superficielles

DTU13.2 Fondations profondes pour le bâtiment

CONDITIONS GENERALES DES MISSIONS GEOTECHNIQUES

Norme NF P 94-500 de novembre 2013

IMPLANTATION DES SONDAGES

FICHES DE SONDAGES :

Logs géologiques

Essais pressiométriques

Essais pénétrométriques

PV des essais en laboratoire

Tableau 1 - Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique – NFP 94-500

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet	risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3: Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXENISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Classification des missions d'ingénierie géotechnique

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

ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)

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

Phase Étude de Site (ES)

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

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

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

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

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

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

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

Phase Avant-projet (AVP)

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

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

Phase Projet (PRO)

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

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

Phase DCE 1 ACT

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

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

Classification des missions d'ingénierie géotechnique

ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées) ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

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

Phase Étude

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

Phase Suivi

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

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

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

Phase Supervision de l'étude d'exécution

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

Phase Supervision du suivi d'exécution

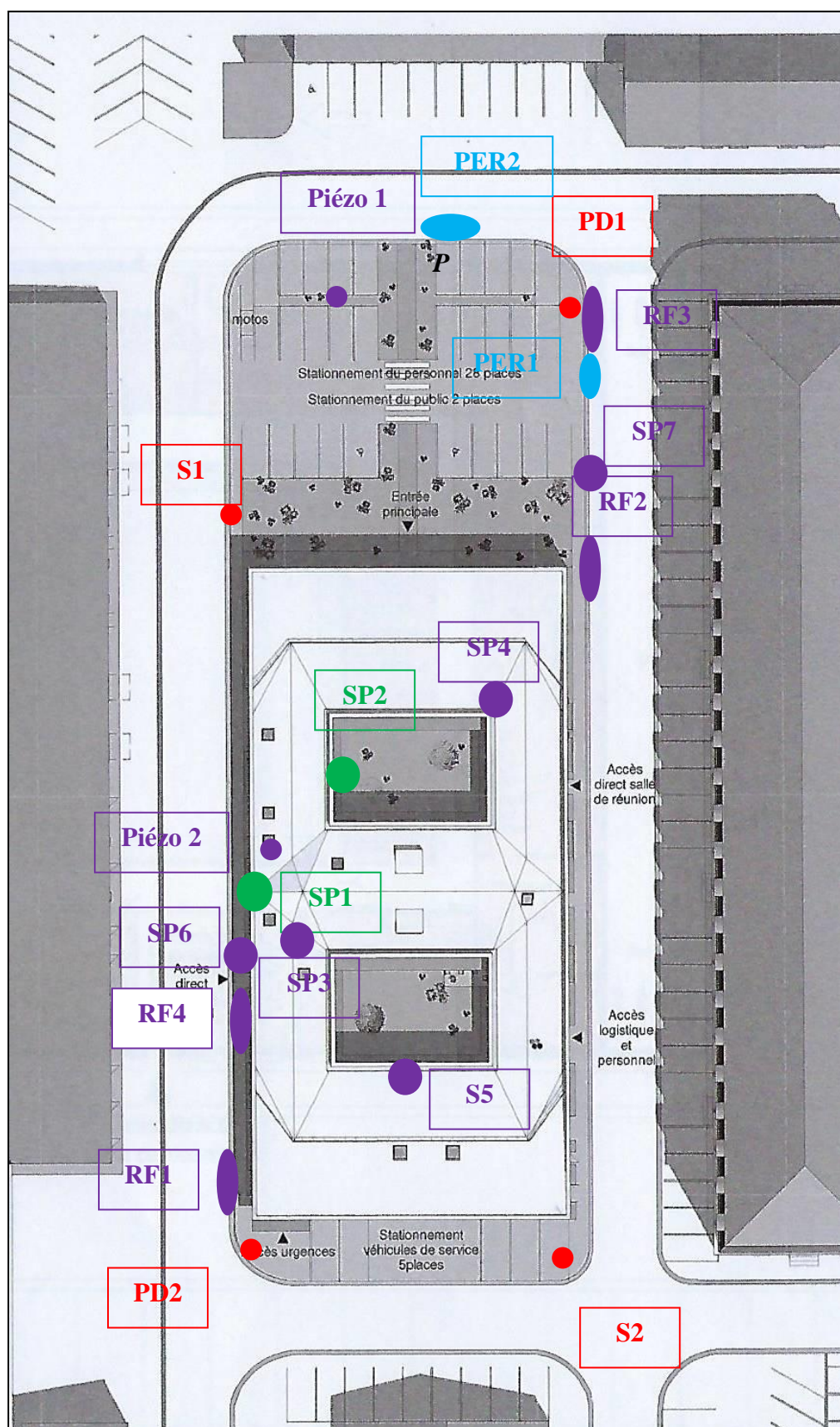
- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique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

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

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

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

Implantation des sondages



PHASE G1-ES-PCG

PD1-PD2

S1-S2

PHASE G2-AVP

SP1 –SP2

**ETUDE
PERMEABILITE**

PER5 –PER6

PHASE G2 -PRO

SP3 –SP4 – S5

RF1-RF2

PHASE G2 -PRO/G5

SP6 et SP7

RF3-RF4

Prof (m)	Description lithologique ----- Niveau d'eau	Outil	Equip	VIA ()	PI ()	Prof	PO ()	CR ()
				0	0		0	0
0.2	Enrobé + graviers			0	0		0	0
0.4	Béton			0	0		0	0
1.13	Sable argilo-graveleux			0	0		0	0
1.15				0	0		0	0
	Migmatites altérés à broyat sablo-limoneux bariolé							
3.85								
	Migmatites peu altérés à broyat sablo-limoneux beige							
4.5								

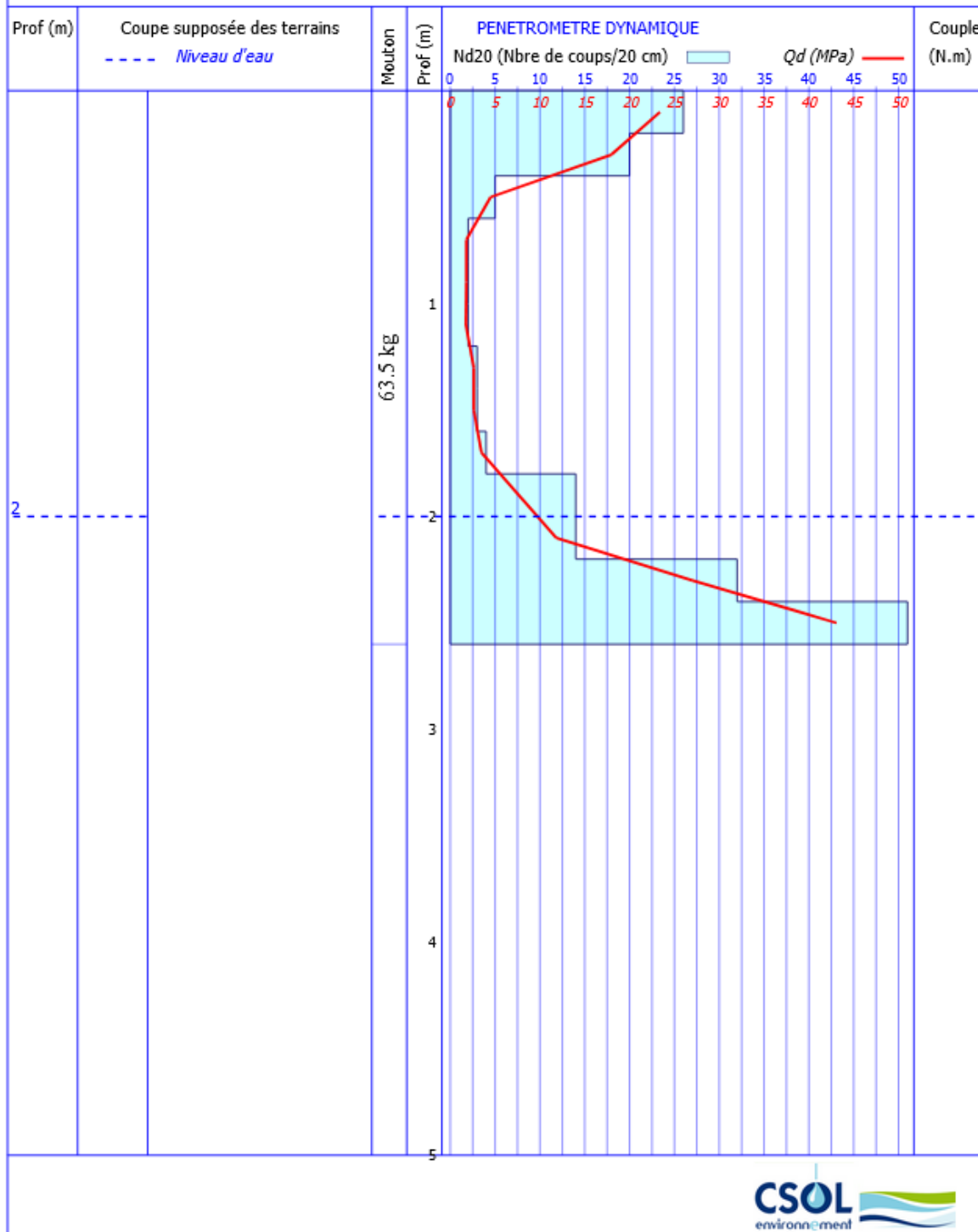
Prof (m)	Description lithologique ----- Niveau d'eau	Outil	Equipt	VIA ()	PI ()	Prof	PO ()	CR ()
0.2	Enrobé + graviers			0	0	0	0	0
1.08	Sable jaune			0	0	0	0	0
1.45	Migmatites altérés à broyat sablo-limoneux bariolé			0	0	0	0	0
3.1				0	0	0	0	0

Longueur Tige: 1 m

Masse Tige: 2.24 kg

Masse Endume+Guide: 3.678 kg

Diamètre Pointe: 55 mm

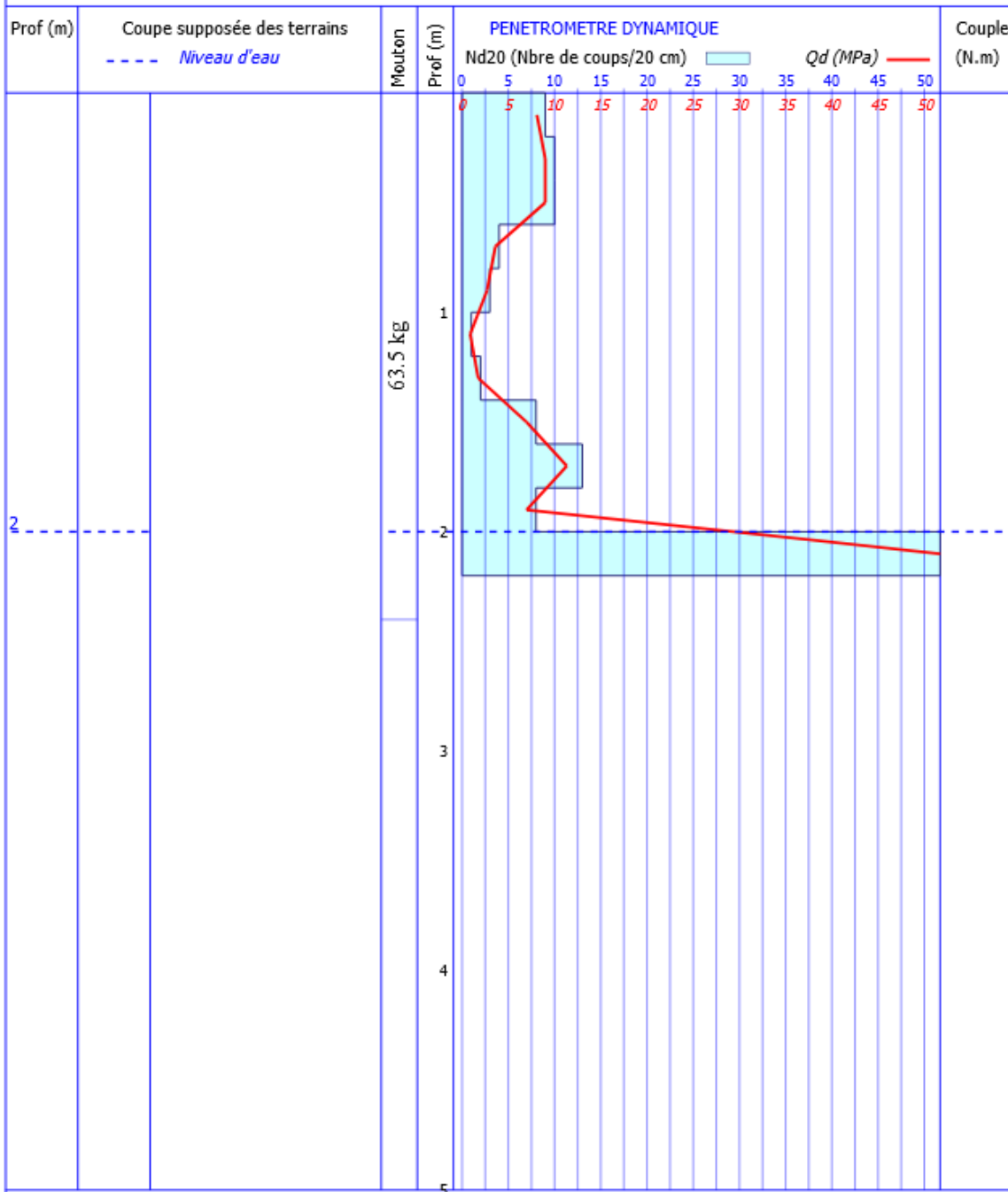


Longueur Tige: 1 m

Masse Tige: 2.24 kg

Masse Enclume+Guide: 3.678 kg

Diamètre Pointe: 55 mm



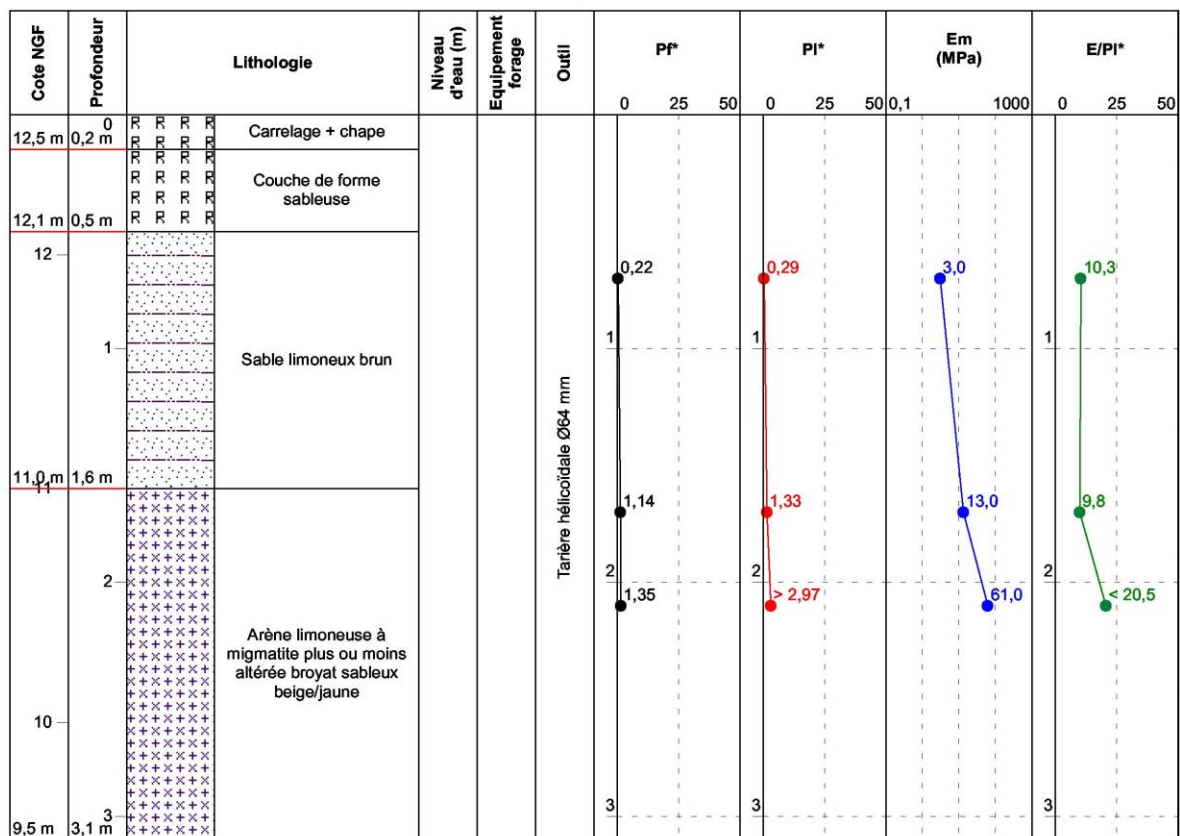
Date : 05/07/2022

Cote : 12.6

1/25

Forage : SP1

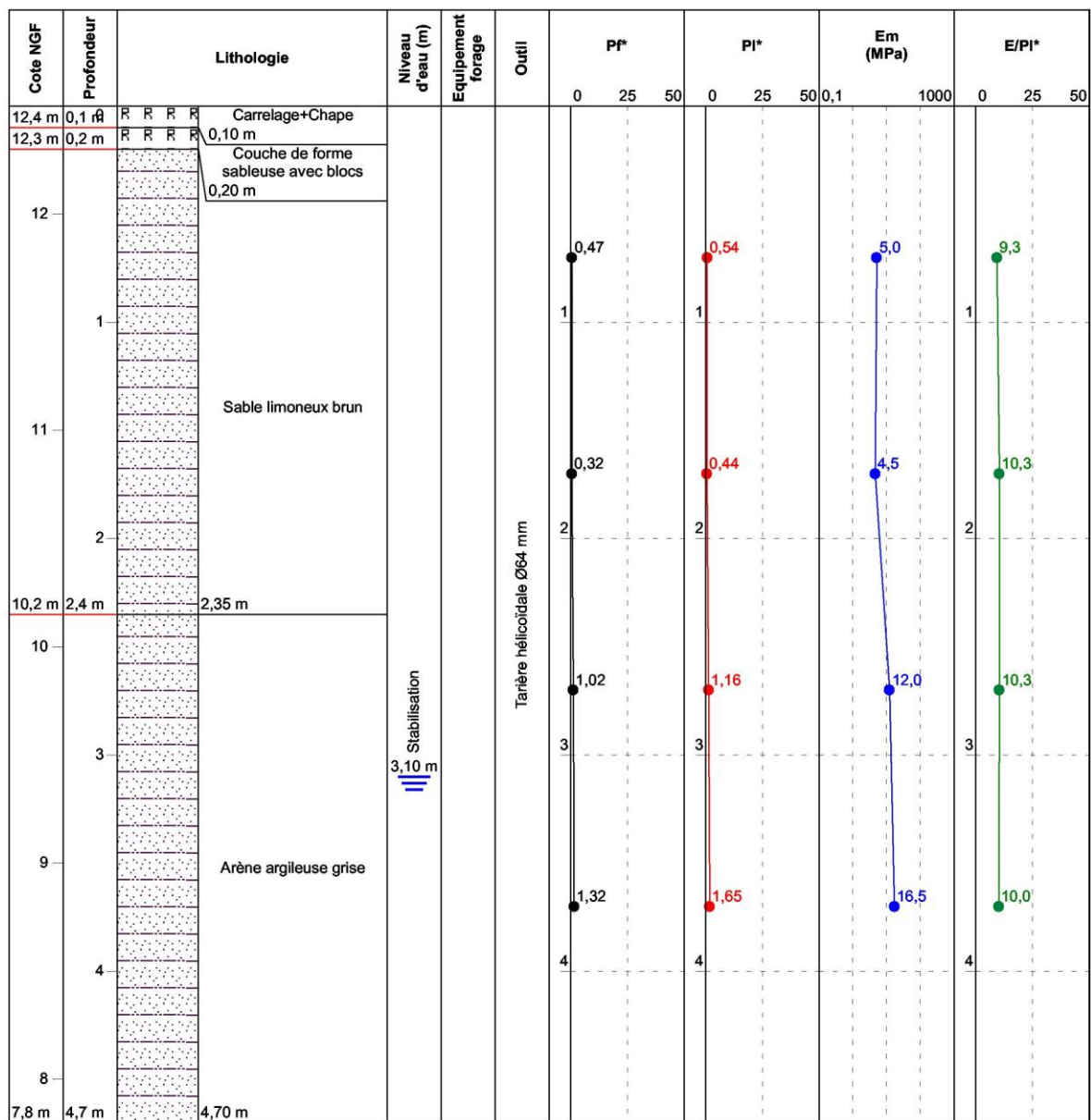
EXGTE 3.23/GTE


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

1/25

Forage : SP2

EXGTE 3.23/GTE

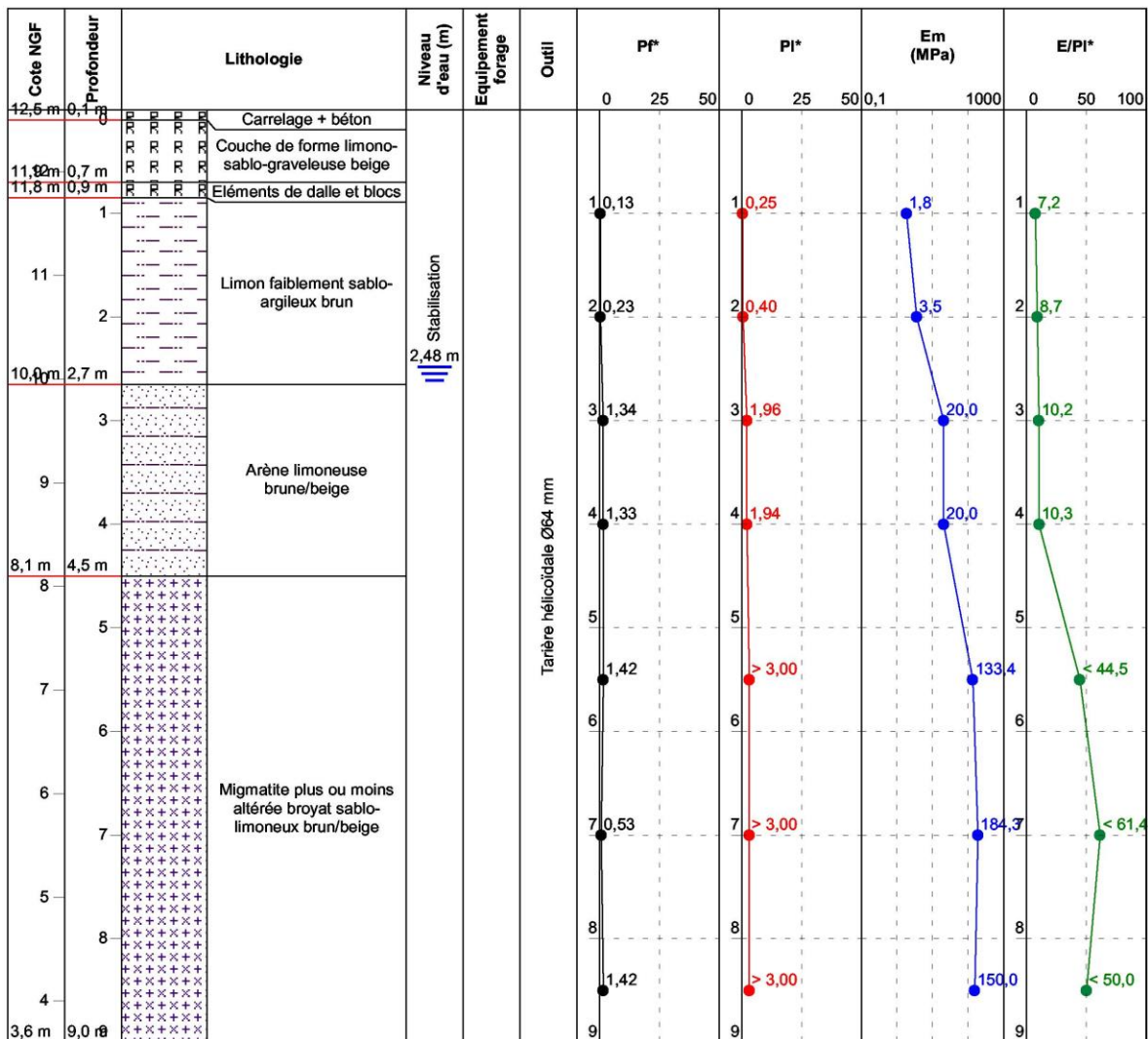


	Antenne Médicale 3ème RIMA VANNES (56)		Contrat 2022-1837
	Date : 07/11/2022	Cote : 12.6	

1/55

Forage : SP3

EXGTE 3.23/GTE





Antenne médicale
3ème RIMA
VANNES (56)

Contrat 2022-1837

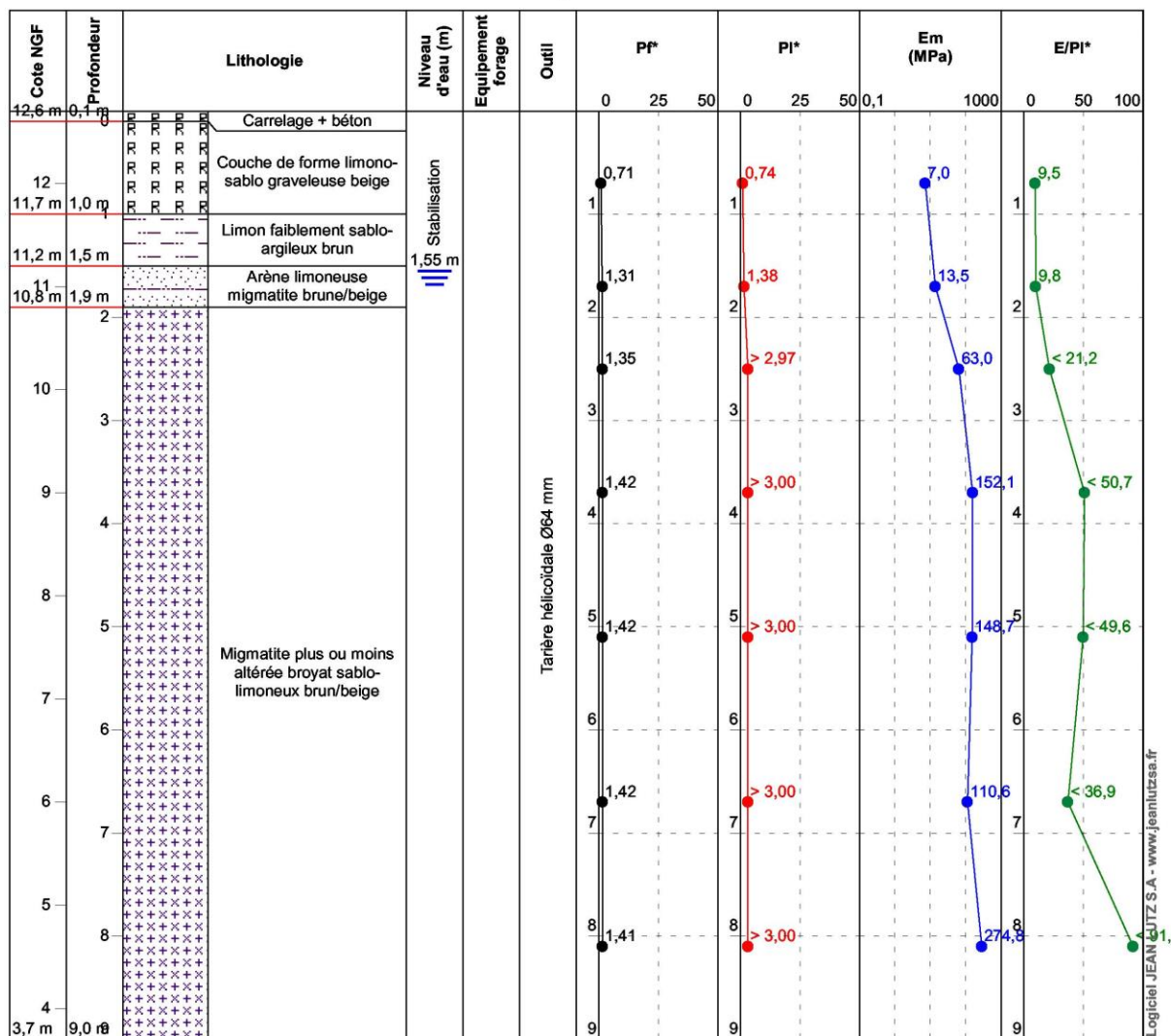
Date : 07/11/2022


Cote : 12.7

1/55

Forage : SP4

EXGTE 3.23/GTE



	Antenne médicale 3ème RIMA 56000 VANNES	Contrat 2022-1837
	Date : 07/11/2022 Cote : 12.6	

1/55

Forage : S5

EXGTE 3.23/GTE

Cote NGF	Profondeur	Lithologie	Niveau d'eau (m)	Equipement forage	Outil	Pf*			Pl*			Em (MPa)		E/Pl*		
						0	25	50	0	25	50	0,1	1000	0	25	50
	0	Carrelage + chape														
	12	Couche de forme sablo-limoneuse beige à ocre														
	1	Dalle				1			1					1		
	11															
	2					2			2					2		
	10	Limon brun beige														
	3					3			3					3		
	9															
	4	Arène migmatite brune				4			4					4		
	8															
	5					5			5					5		
	7															
	6					6			6					6		
	6	Migmatite plus ou moins altérée, broyat sableux beige														
	7					7			7					7		
	5															
	8					8			8					8		
	4															
	9					9			9					9		

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



**Construction d'une antenne médicale
3ème RIMA
VANNES (56)**

Contrat 2023-1921

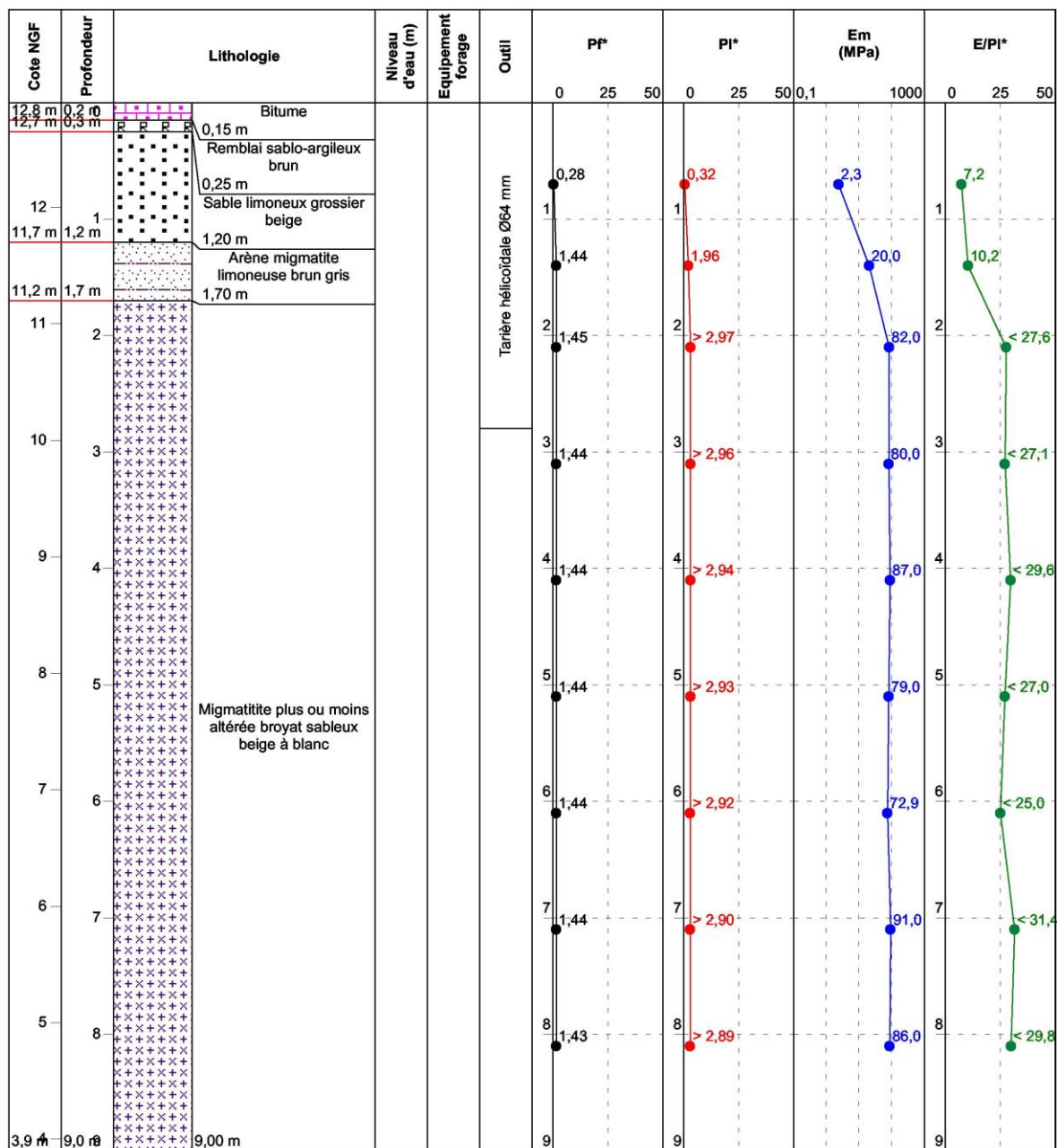
Date : 23/03/2023

Cote : 12.9

1/45

Forage : SP6

EXGTE 3.23/GTE





**Construction d'une antenne médicale
3ème RIMA
VANNES (56)**

Contrat 2023-1921

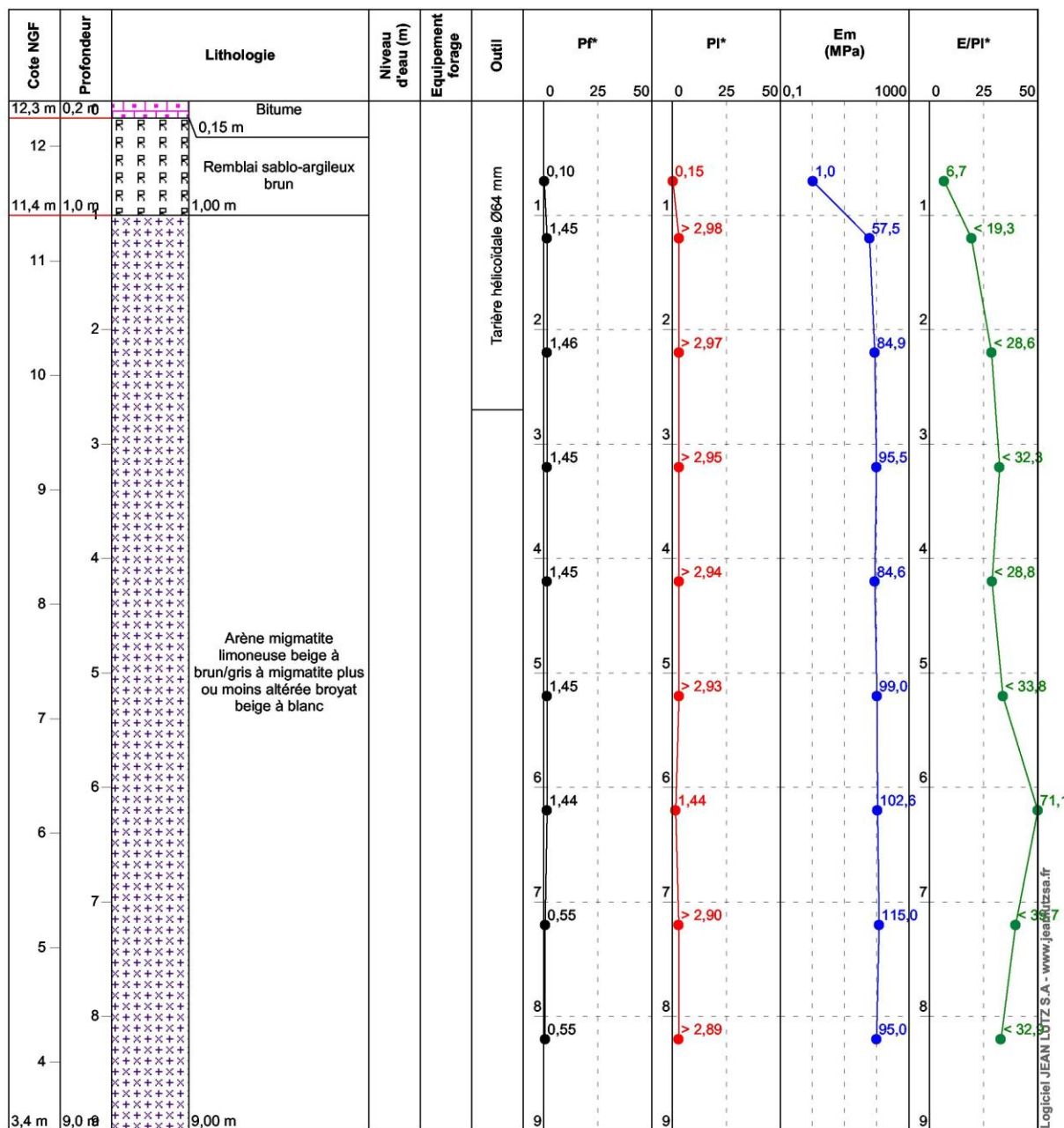
Date : 29/03/2023

Cote : 12.4

1/45

Forage : SP7

EXGTE 3.23/GTE





RAPPORT D'ESSAIS

Référence : Construction d'une antenne médicale

12, rue du Champ Poussin - ZA du Champ Poussin 35440 DINGE

Tél/Fax : 02 99 66 00 20 - E-mail : csolenvironnement@wanadoo.fr

Dossier n° : 2023-1921

Sondage : GTR1

Date de prélèvement : 23/03/2023

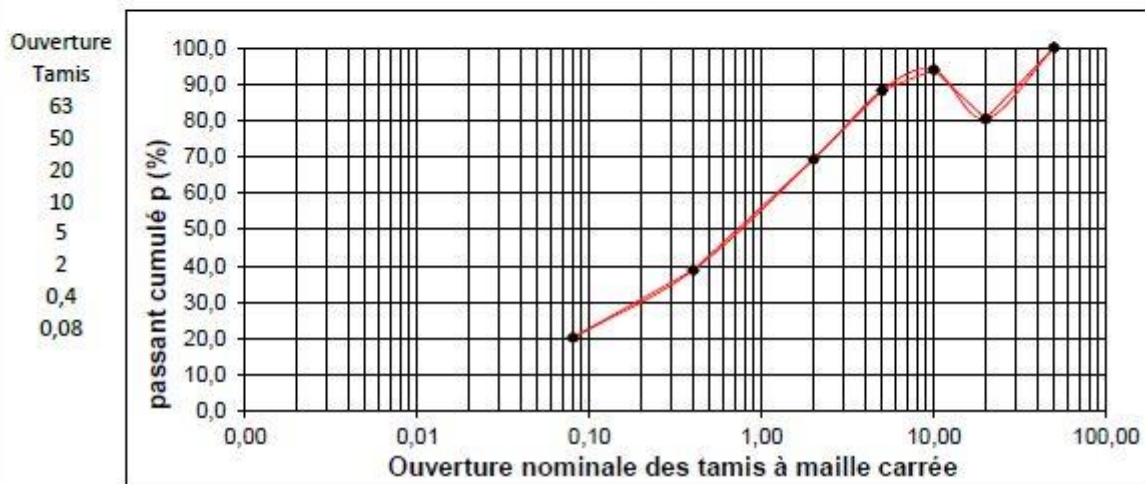
Adresse : 3ème RIMA

Nature : Remblais sableux brun

méthode : tarière hydraulique

Profondeur : 1,0-2,0m/TN

ANALYSE GRANULOMETRIQUE (NFP 94-521-4)



Détermination de la teneur en eau W_n (%) (fraction 0/20mm)

méthode par étuvage (NFP 94-512-1)

15,77%

Détermination de la valeur au bleu de méthylène VBS

0,44

(g de bleu pour 100g de matériau sec) (NFP 94-068)

Détermination de l'indice de plasticité I_p (Atterberg) (NFP 94-152-12)

WL %

WP %

I_p

Détermination de l'Equivalent de sable SE (%) (NF EN 933-8)

-

Dmax (mm)

20

Densité sèche (Mg/M3)

Indice Portant Immédiat (NFP 94-078)

Classification obtenue selon la NF P 11-300

B5



RAPPORT D'ESSAIS

Référence : Construction d'une antenne médicale

12, rue du Champ Poussin - ZA du Champ Poussin 35440 DINGE

Tél/Fax : 02 99 66 00 20 - E-mail : csolenvironnement@wanadoo.fr

Dossier n° : 2023-1921

Sondage : GTR2

Date de prélèvement : 23/03/2023

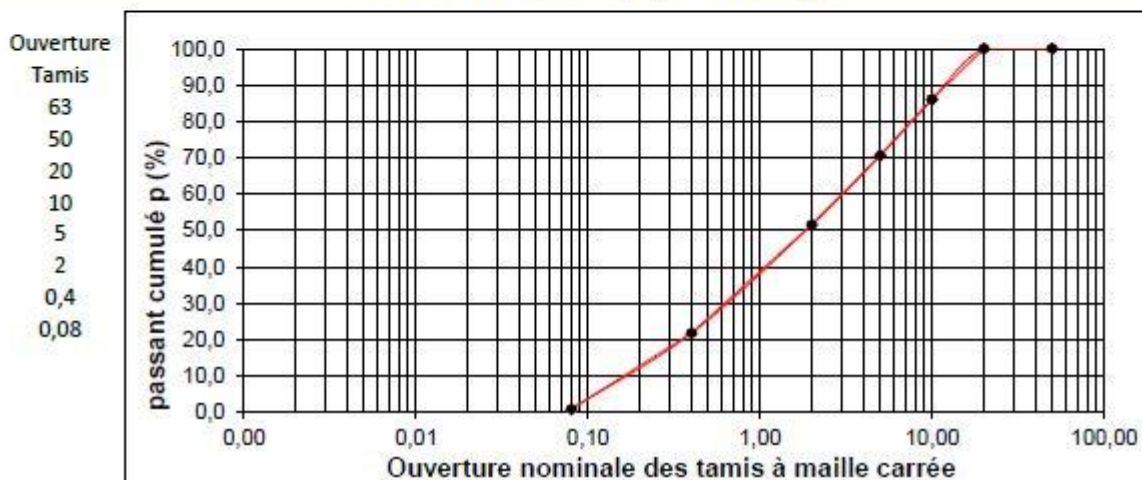
Adresse : 3ème RIMA

Nature : Remblai sablo-argileux

méthode : tarière hydraulique

Profondeur : 0,0-1,0m/TN

ANALYSE GRANULOMETRIQUE (NFP 94-521-4)



Détermination de la teneur en eau W_n (%) (fraction 0/20mm)

méthode par étuvage (NFP 94-512-1)

11,61%

Détermination de la valeur au bleu de méthylène VBS

1,15

(g de bleu pour 100g de matériau sec) (NFP 94-068)

Détermination de l'indice de plasticité I_p (Atterberg) (NFP 94-152-12)

WL %

WP %

I_p

Détermination de l'Equivalent de sable SE (%) (NF EN 933-8)

Dmax (mm)

10

Densité sèche (Mg/M3)

Indice Portant Immédiat (NFP 94-078)

Classification obtenue selon la NF P 11-300

B5



RAPPORT D'ESSAIS

Référence : Construction d'une antenne médicale

12, rue du Champ Poussin - ZA du Champ Poussin 35440 DINGE

Tél/Fax : 02 99 66 00 20 - E-mail : csolenvironnement@wanadoo.fr

Dossier n° : 2023-1921

Sondage : GTR3

Date de prélèvement : 23/03/2023

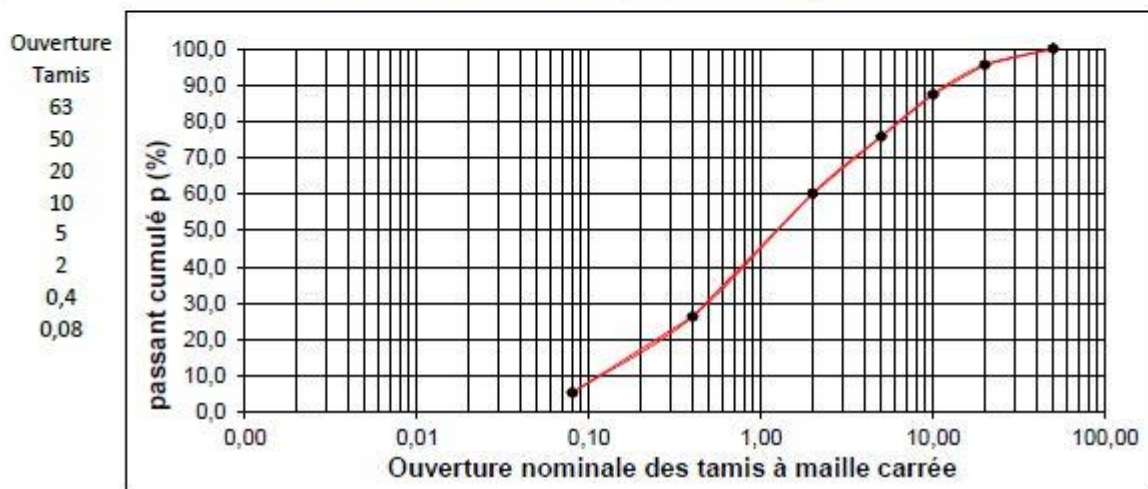
Adresse : 3ème RIMA

Nature : Remblai sablo-graveleux brun

méthode : tarière hydraulique

Profondeur : 1,0-2,0m/TN

ANALYSE GRANULOMETRIQUE (NFP 94-521-4)



Détermination de la teneur en eau W_n (%) (fraction 0/20mm)

méthode par étuvage (NFP 94-512-1)

10,47%

Détermination de la valeur au bleu de méthylène VBS

0,49

(g de bleu pour 100g de matériau sec) (NFP 94-068)

Détermination de l'indice de plasticité I_p (Atterberg) (NFP 94-152-12)

WL %

WP %

I_p

Détermination de l'Equivalent de sable SE (%) (NF EN 933-8)

-

Dmax (mm)

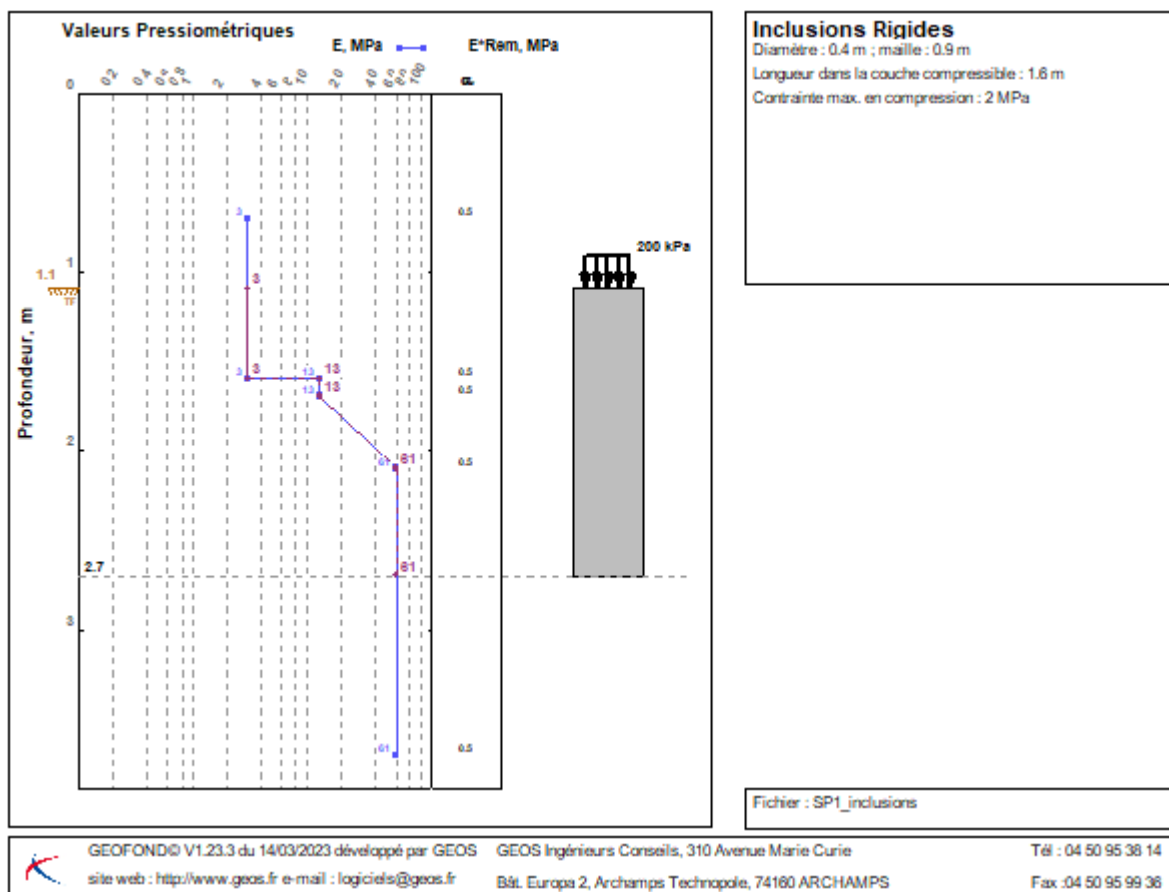
20

Densité sèche (Mg/M3)

Indice Portant Immédiat (NFP 94-078)

Classification obtenue selon la NF P 11-300

B5



Résultats de calcul : Tassement

Tassement avant traitement : $W_0 = 2.03$ cm
 $N = 2.25$

Caractéristiques sol support :

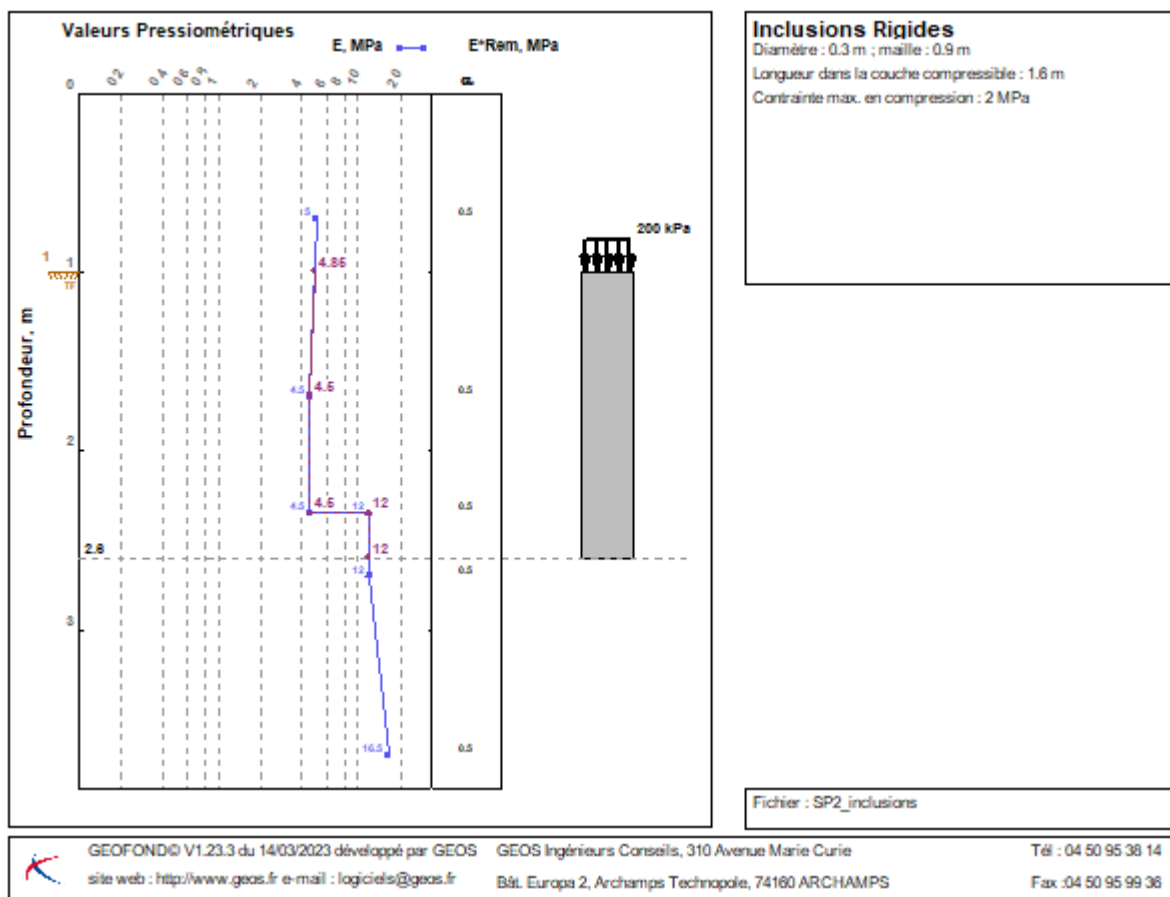
$E_c = 61$; $E_d = 61.5$
 $\alpha_c = 0.5$; $\alpha_d = 0.504$
 $k = 469$ MPa/m

Transmission sol : 5.4 %
 Transmission incl. : 94.6 %
 Tassement après traitement : $W_f = 0.11$ cm

Contrainte effective sur inclusion :
 $\sigma_{eff} = 1.22$ MPa

2023-1921_JC	07/04/2023 16:40	Construction d'une antenne médicale	SP1
		3ème RIMA VANNES (56)	Inclusions

- 468106823902178416



Résultats de calcul : Tassement

Tassement avant traitement : $W_0 = 3.15$ cm
 $N = 3$

Caractéristiques sol support :

$E_c = 12$; $E_d = 12.7$
 $\phi_c = 0.5$; $\phi_d = 0.504$
 $k = 114$ MPa/m

Transmission sol : 22.5 %

Transmission incl. : 77.5 %

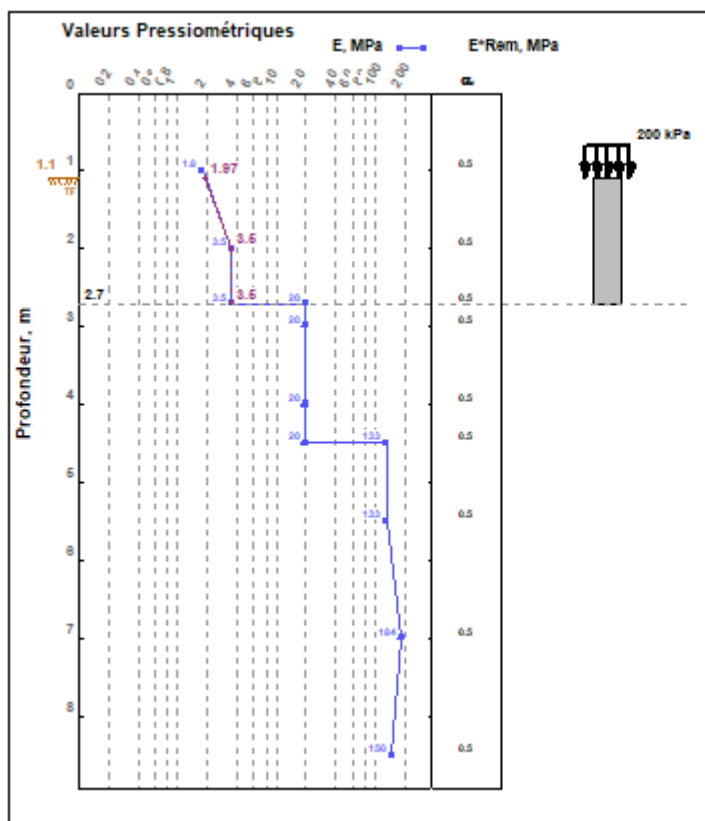
Tassement après traitement : $W_f = 0.71$ cm

Contrainte effective sur inclusion :

$\phi_{eff} = 1.78$ MPa

2021-1923_JC	07/04/2023 16:41	Construction d'une antenne médicale	SP2
		3ème RIMA VANNES (56)	Inclusions

- 468106823802178416



Inclusions Rigides

Diamètre : 0.4 m ; maille : 0.9 m
Longueur dans la couche compressible : 1.6 m
Contrainte max. en compression : 2 MPa

Fichier : SP3_inclusions



GEOFOND® V1.23.3 du 14/03/2023 développé par GEOS
site web : <http://www.geos.fr> e-mail : logiciels@geos.fr

GEOS Ingénieurs Conseils, 310 Avenue Marie Curie
Bât. Europa 2, Archamps Technopole, 74160 ARCHAMPS

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

Résultats de calcul : Tassement

Tassement avant traitement : $W_0 = 5.66$ cm
 $N = 2.25$

Caractéristiques sol support :

$E_c = 19.8$; $E_d = 21.7$

$\phi_c = 0.5$; $\phi_d = 0.503$

$k = 163$ MPa/m

Transmission sol : 5.56 %

Transmission incl. : 94.4 %

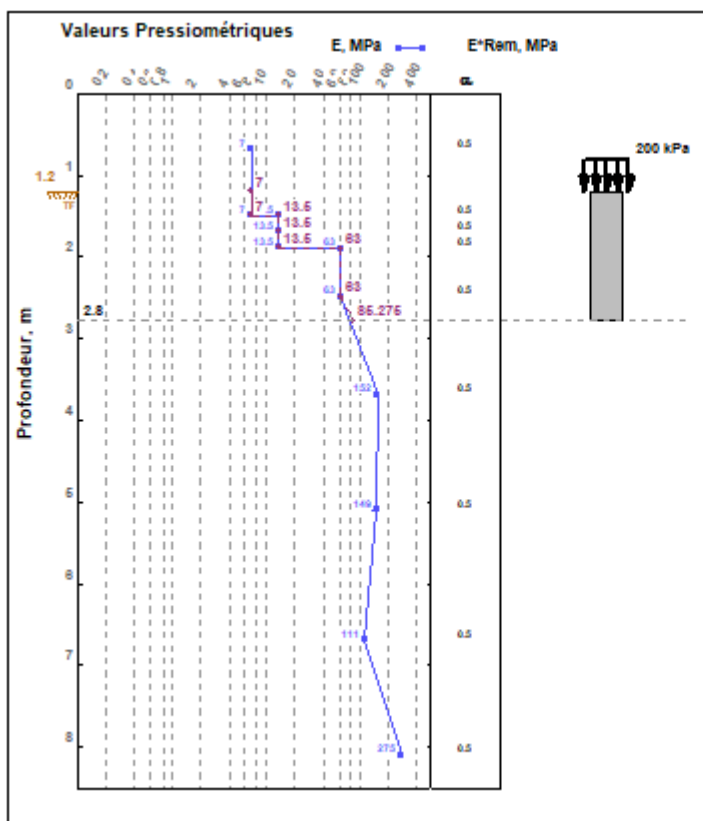
Tassement après traitement : $W_f = 0.315$ cm

Contrainte effective sur inclusion :

$\sigma_{eff} = 1.22$ MPa

2023-1921_JC	07/04/2023 16:45	Construction d'une antenne médicale	SP3
		3ème RIMA VANNES (56)	Inclusions

- 458105823902178416



GEOFOND® V1.23.3 du 14/03/2023 développé par GEOS GEOS Ingénieurs Conseils, 310 Avenue Marie Curie Tél : 04 50 95 38 14
 site web : <http://www.geos.fr> e-mail : logiciels@geos.fr Bât. Europa 2, Archamps Technopole, 74160 ARCHAMPS Fax : 04 50 95 99 36

Résultats de calcul : Tassement

Tassement avant traitement : $W_0 = 0.885$ cm
 $N = 2.25$

Caractéristiques sol support :

$E_c = 78.3$; $E_d = 101$

$\phi_c = 0.5$; $\phi_d = 0.503$

$k = 734$ MPa/m

Transmission sol : 7.87 %

Transmission incl. : 92.1 %

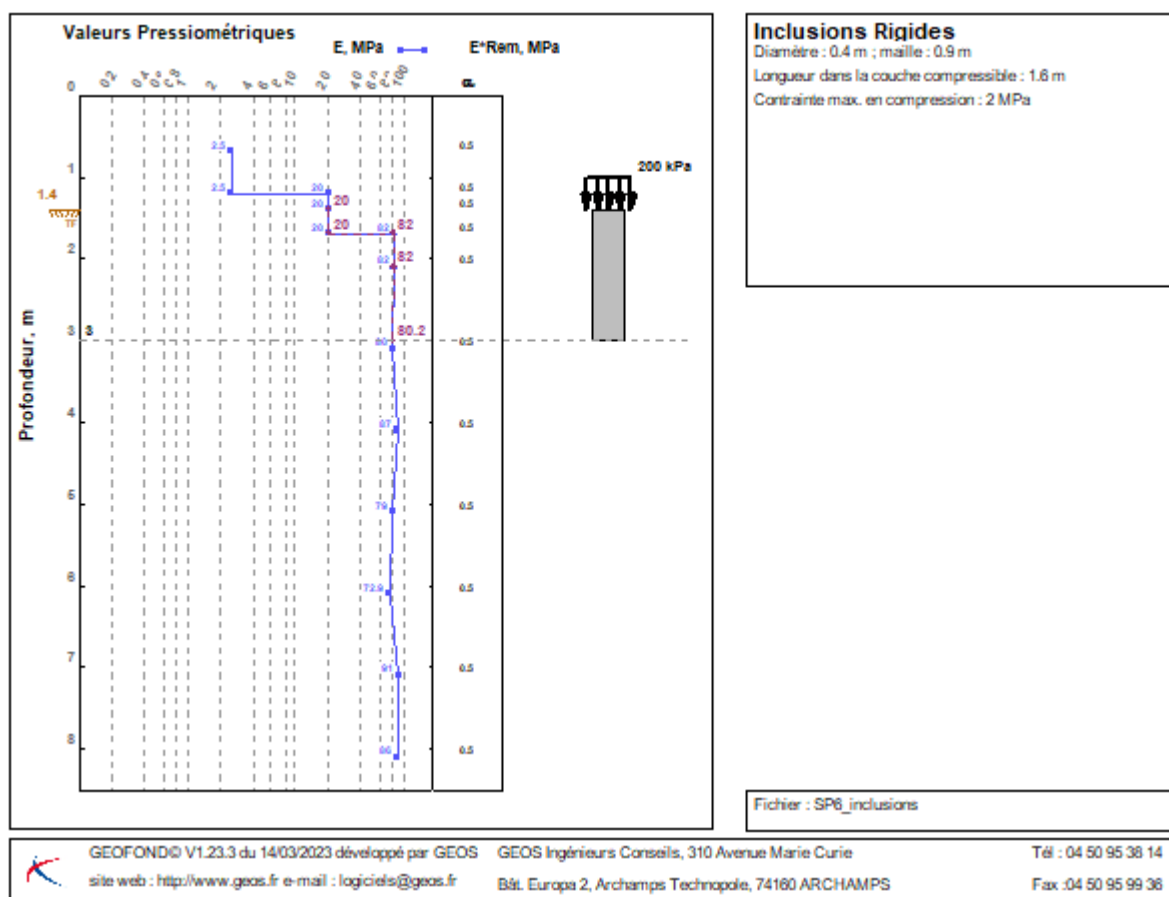
Tassement après traitement : $W_f = 0.0681$ cm

Contrainte effective sur inclusion :

$\sigma_{eff} = 1.19$ MPa

2023-1837_JC	07/04/2023 16:45	Construction d'une antenne médicale	SP4
		3ème RIMA VANNES (56)	Inclusions

- 468106823902178415



Résultats de calcul : Tassement

Tassement avant traitement : $W_0 = 0.31$ cm
 $N = 2.25$

Caractéristiques sol support :

$E_c = 80.2$; $E_d = 82.1$

$\phi_c = 0.5$; $\phi_d = 0.5$

$k = 624$ MPa/m

Transmission sol : 21.9 %

Transmission incl. : 78.1 %

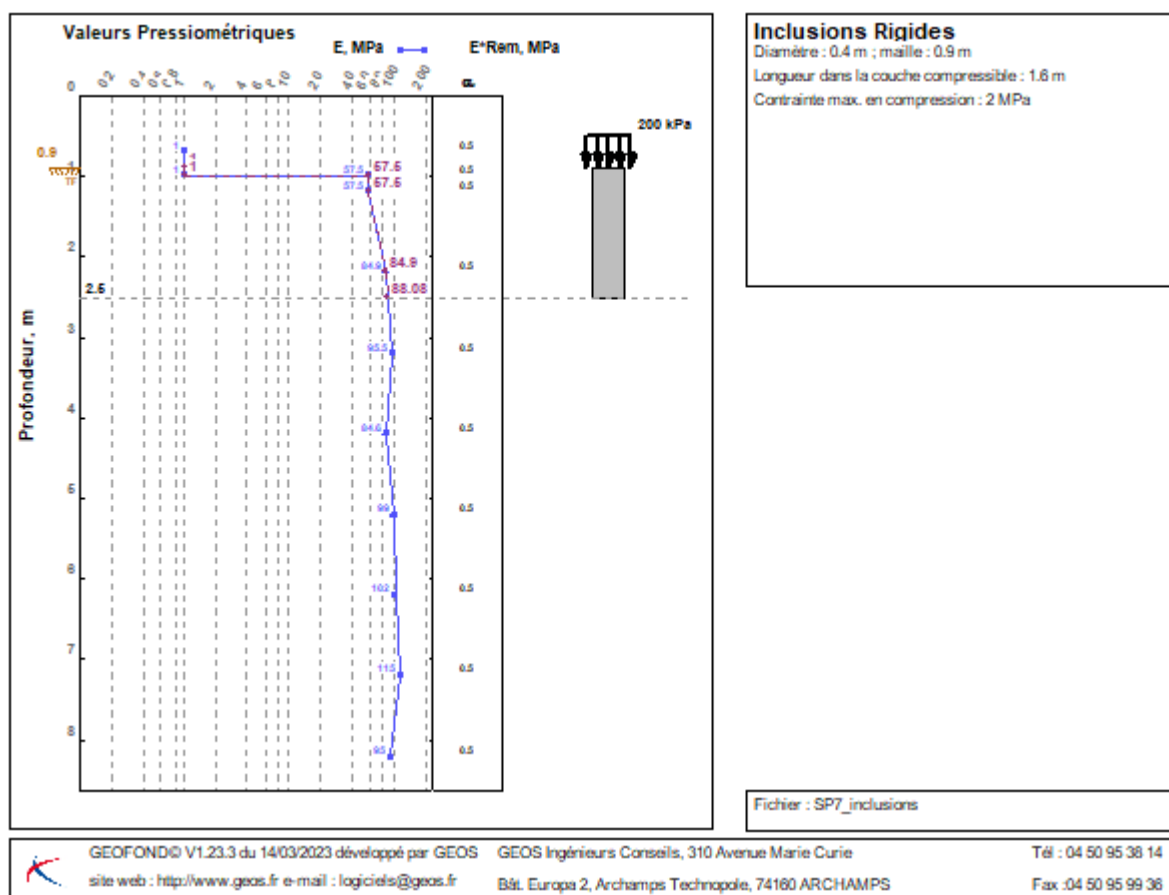
Tassement après traitement : $W_f = 0.0679$ cm

Contrainte effective sur inclusion :

$\sigma_{eff} = 1.01$ MPa

2023-1921 _JC	07/04/2023 16:56	Construction d'une antenne médicale	SP6
		3ème RIMA VANNES (56)	Inclusions

- 468106823802178416



Résultats de calcul : Tassement

Tassement avant traitement : $W_0 = 1.26$ cm
 $N = 2.25$

Caractéristiques sol support :

$E_c = 88.8$; $E_d = 91.6$
 $\sigma_c = 0.5$; $\sigma_d = 0.5$
 $k = 695$ MPa/m

Transmission sol : 5.82 %
 Transmission incl. : 94.2 %
 Tassement après traitement : $W_f = 0.0736$ cm

Contrainte effective sur inclusion :

$\sigma_{eff} = 1.21$ MPa

2023-1921_JC	07/04/2023 17:14	Construction d'une antenne médicale	SP7
		3ème RIMA VANNES (56)	Inclusions

-468106823802178416

