FONDASOL NANTES – Cellule Conception

4, rue Edith Piaf – ASTURIA – Bâtiment B

44 800 SAINT-HERBLAIN

☎ 02 51 77 86 50

nantes@groupefondasol.com

UGECAM

GROUPE UGECAM
Soigner, rééduquer, réinsérer : la santé sans préjugés

Construction d'un pôle Energie
LA TOURMALINE
31, boulevard Salvador Allende
SAINT HERBLAIN (44)

Rapport d'étude géotechnique
Mission G2 PRO
PR.44GT.25.0091-44CO – P003– indice A du 01/10/2025

Rév.	*Date*	*Nb pages (hors annexe)*	*Modifications*	*Rédacteur*	*Contrôleur*
A	**01/10/2025**	**31**	1ère diffusion	**T. LIRZIN**	**T. VALLIENNE**
B					
C					
D					

SOMMAIRE

A. Présentation de notre mission ____ **3**

B. Présentation du site et des contextes ____ **4**

C. Définition du projet ____ **13**

D. Fondations du bâtiment ____ **18**

E. Fondations des ombrières ____ **21**

F. Voiries ____ **26**

G. Suites à donner ____ **30**

ANNEXES

1. Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (NF P94-500)

2. Missions types d'ingénierie géotechnique (Norme NF P94-500)

3. Plan d'implantation des sondages

4. Coupes des sondages

5. Résultats d'analyse d'agressivité

A. PRESENTATION DE NOTRE MISSION

A.1. Eléments du contrat

Maître d'Ouvrage : UGECAM BRPL

Devis : SQ.44GT.25.06.022 du 27/06/2025

Commande référencée 1647-06-25 datée du 30/06/2025

A.2. Mission selon la norme NF P94-500

La présente mission confiée à FONDASOL, Cellule Conception Nantes, concerne les ouvrages géotechniques suivants :

- Voiries,
- Fondations des ouvrages du projet,
- Ombrières

Il s'agit d'une étude géotechnique de conception phase projet (mission G2 PRO), telle que définie par la classification des missions d'ingénierie géotechnique (norme NF P 94-500 de Novembre 2013).

Cette étude géotechnique de mission G2 PRO fait suite à notre étude géotechnique de mission G2 AVP mentionnée dans le tableau au § A.3.

NOTA : Au stade de l'étude géotechnique de mission G2 PRO, toutes les hypothèses extérieures à celles devant être définies par le géotechnicien et retenues par FONDASOL pour les besoins de l'étude du projet dans sa globalité (y compris dans une configuration défavorable si nécessaire), sont indiquées par « **à confirmer** » dans notre rapport d'étude.
Ces hypothèses seront à confirmer par le MOA/MOE.

A.3. Documents à notre disposition pour cette étude

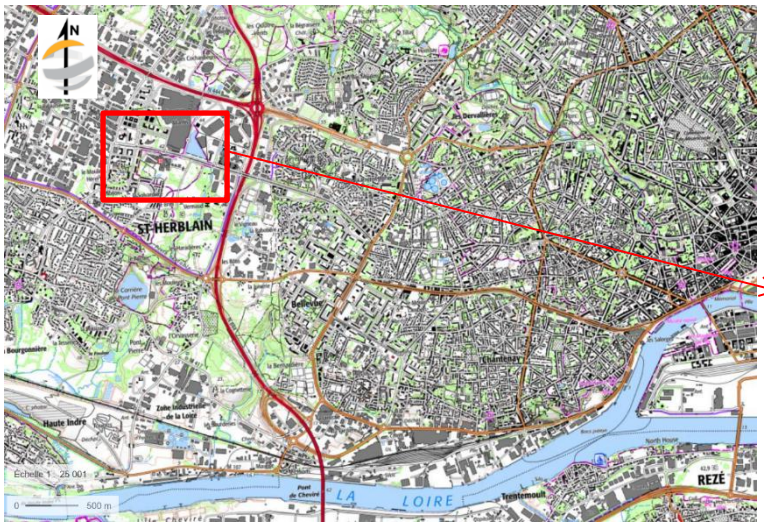
N° interne	Document	Référence	Emetteur	Indice et date d'émission
[1]	Etude géotechnique (mission G2 AVP)	PR.44GT.25.0091 – P.001	FONDASOL	Indice A du 10/07/2025
[2]	Etude hydrogéologique (mission G5 phase AVP)	PR.44GT.25.0091 – DTHY - P.002	FONDASOL	23/07/2025
[3]	Plan topographique	N.190.2021	AIR&GEO	28/06/2022
[4]	Plans existant / Terrassements / Réseaux Enterrés / Aménagement extérieurs – phase APD 90_TerrainExistant 91_Terrassements 92_ReseauxEnterres 93_AmenagementsExterieurs	Aia0892b25 Plans n°90 à 93	AIA INGENIERIE	01/08/2025
[5]	Pièces graphiques – principe de structure – phase APD	Aia0892b25 Plan n°50	AIA INGENIERIE	01/08/2025
[6]	Descentes de charges au droit du bâtiment et des ombrières DDC G2-PRO	Aia0892b25	AIA INGENIERIE	Transmise le 12/09/2025

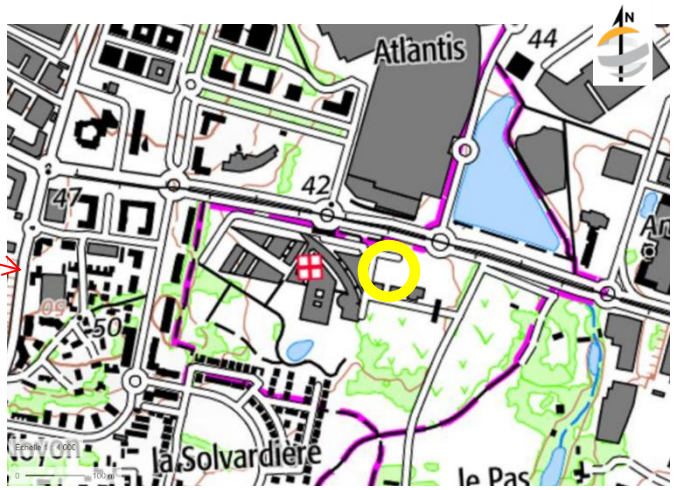
B. PRESENTATION DU SITE ET DES CONTEXTES

B.1. Description générale

B.1.1. Situation

- Adresse du site : 31, boulevard Salvador Allende à SAINT HERBLAIN (44)



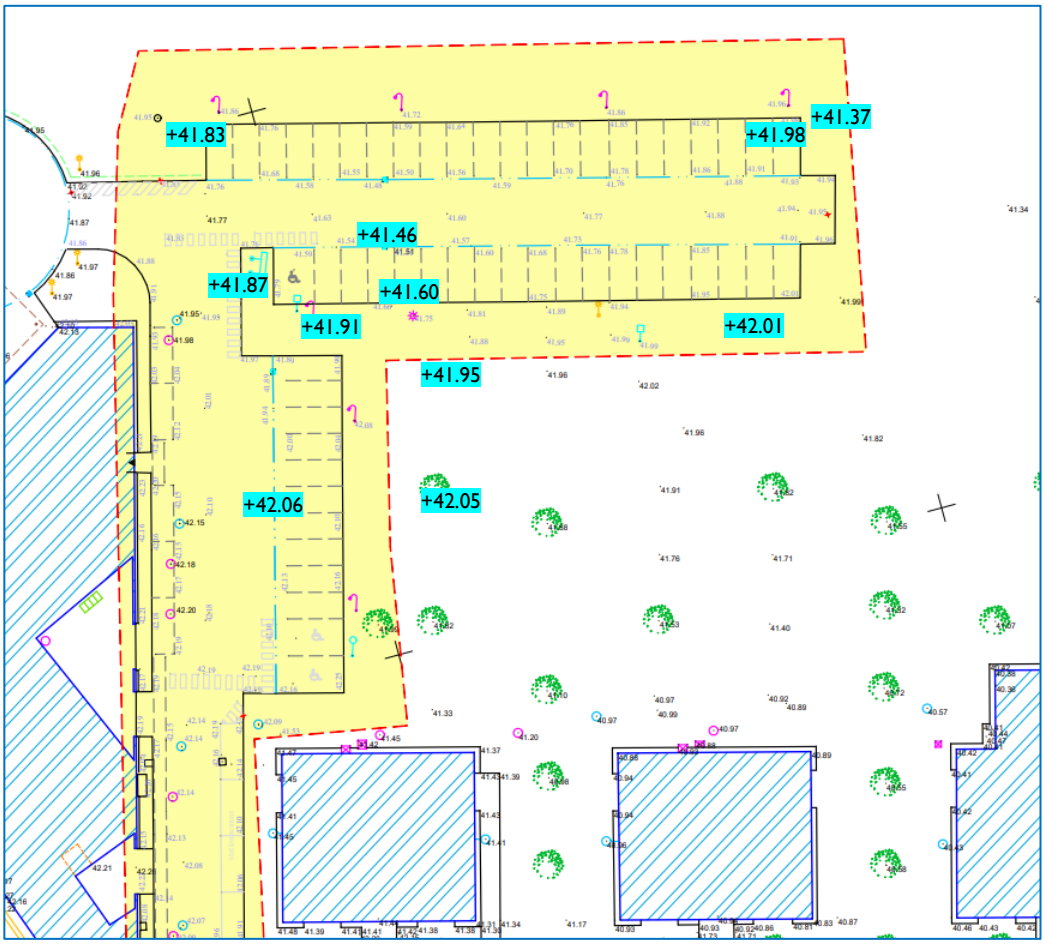


- Photo aérienne (04/07/2022) et plan cadastral (Parcelle cadastrale : CE n°0505)

Le site est actuellement vierge de toute construction. Il est occupé par des zones enherbées avec quelques arbres et des zones en enrobé (parking pour véhicules légers).

B.1.2. Topographie du site

Selon le plan topographique disponible, les cotes altimétriques du terrain (en bleu sur le plan ci-après) varient entre +41.4 et +42.1 m NGF environ.



Extrait du plan topographique

B.1.3. Rappel de l'enquête documentaire et historique

B.1.3.1. Rappel de l'enquête documentaire

La commune a fait l'objet de plusieurs arrêtés de catastrophe naturelle.
La liste de ces arrêtés et leur date de parution au journal officiel sont mentionnées dans le tableau ci-après. Cette liste n'est pas exhaustive. Il appartient aux concepteurs du projet de s'assurer que le projet tient compte des prescriptions liées à l'ensemble des risques, y compris non géotechniques.

Code National CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le journal officiel du	Risque	Commune
NOR19830906	18/07/1983	21/07/1983	06/09/1983	11/09/1983	Mouvement de Terrain	SAINT-HERBLAIN
NOR19830906	18/07/1983	21/07/1983	06/09/1983	11/09/1983	Inondations et/ou Coulées de Boue	SAINT-HERBLAIN
NOR19830910	18/07/1983	21/07/1983	10/09/1983	11/09/1983	Tempête	SAINT-HERBLAIN
NOR19830910	18/07/1983	21/07/1983	10/09/1983	11/09/1983	Grêle	SAINT-HERBLAIN
NOR19830910	18/07/1983	21/07/1983	10/09/1983	11/09/1983	Inondations et/ou Coulées de Boue	SAINT-HERBLAIN
INTE9900627A	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999	Mouvement de Terrain	SAINT-HERBLAIN
INTE9900627A	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999	Inondations et/ou Coulées de Boue	SAINT-HERBLAIN
IOCE0919394A	10/05/2009	10/05/2009	14/08/2009	20/08/2009	Inondations et/ou Coulées de Boue	SAINT-HERBLAIN

Liste des arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle (source : Georisques)

Les risques mentionnés sur le site www.georisques.gouv.fr sont les suivants :

Risque	Aléa/sensibilité	Document réglementaire
Retrait-gonflement	Faible	Arrêté du 22 juillet 2020 JORF n°0195 du 9 août 2020
Inondation (crue)	Le site ne se situe pas en Zone Inondable	
Remontées de nappe	Cf. rapport d'étude hydrogéologique et § B.3 du présent rapport	
Mouvement de terres / cavités	Pas d'effondrement ou de cavité répertorié à moins de 2 km du site	
Sismique	3 - MODERÉE	Décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010. Code de l'Environnement , article D.563-8-1
Radon	3	Décret n° 2002-460 du 4 avril 2002

B.1.3.2.Historique et Risque de pollution

D'après la carte d'état-major (1820-1866), le terrain était des champs le long d'une route.

L'analyse des photographies aériennes et historiques de 1950-1965 ne révèle la présence d'aucun ouvrage antérieur aux constructions existantes sur le site.

D'après les vues aériennes disponibles sur remonterletemps.ign.fr, il ressort que le site a été aménagé à partir de 1992.

L'objet de l'étude géotechnique n'est pas de détecter une éventuelle contamination des sols par des matières polluantes. Nous pouvons simplement préciser que les échantillons de sols prélevés ne présentaient pas d'odeurs suspectes. Pour plus de précisions, une étude environnementale pourrait être réalisée.

B.1.4. Contraintes liées au site

Le site est bordé par :

- Au Nord, des zones enherbées et en enrobé (parking pour véhicules légers).
- A l'Est, une zone enherbée,
- Au Sud, des zones enherbées et arborées et en enrobé (parking pour véhicules légers),
- A l'Ouest, une zone de stationnement en enrobé (parking pour véhicules légers).

Compte tenu de l'environnement, il conviendra :

- De réaliser un récolement précis des réseaux existants situés dans la ZIG, y compris les éventuels ouvrages enterrés (notamment cuve).
- De dévoyer les éventuels réseaux situés au droit de la zone d'étude (si le dévoiement est possible).
- D'élaguer la végétation présente sur site pour la bonne réalisation des ouvrages géotechniques et des ouvrages projetés.
- De provisionner une réfection des éventuels revêtements et des enrobés périphériques suite à la réalisation des travaux.

B.2. Contexte géotechnique

B.2.1. Contexte géologique

D'après la carte géologique du secteur au 1/50 000 et notre connaissance du site, les terrains devraient être constitués, sous un recouvrement de terre végétale, de remblais et de limon, par un substratum granitique plus ou moins altéré en tête parfois sous forme d'arène.

Dans ce contexte géologique, le toit du substratum correspond à une surface d'érosion et d'altération. De ce fait, il sera toujours possible de rencontrer des pointements rocheux ou des approfondissements du toit du substratum rocheux sous le recouvrement limoneux. Ces variations lithologiques engendrent d'importantes hétérogénéités des caractéristiques mécaniques.

B.2.2. Lithologie

Les sondages réalisés dans le cadre de la mission géotechnique G2 AVP ont permis de mettre en évidence, les différents horizons mentionnés dans le tableau ci-après a succession lithologique suivante :

		SD1		SD2	
N°	**Nature de l'horizon**	**Prof (m) de la base / TA**	**Cote de la base de l'horizon (m NGF)**	**Prof (m) de la base / TA**	**Cote de la base de l'horizon (m NGF)**
1	Remblais limono-graveleux	0,6	+40,7	0,7	+41,3
2	Limon argilo-sableux	1,7	+39,6	1,6	+40,4
3	Arène granitique	1,8	+39,5	2,0	+40,0
4a	Granite altéré	2,0	+39,3	2,4	+39,6
4b	Granite compact	> 5,0	< +36,3	> 4,0	< +38,0

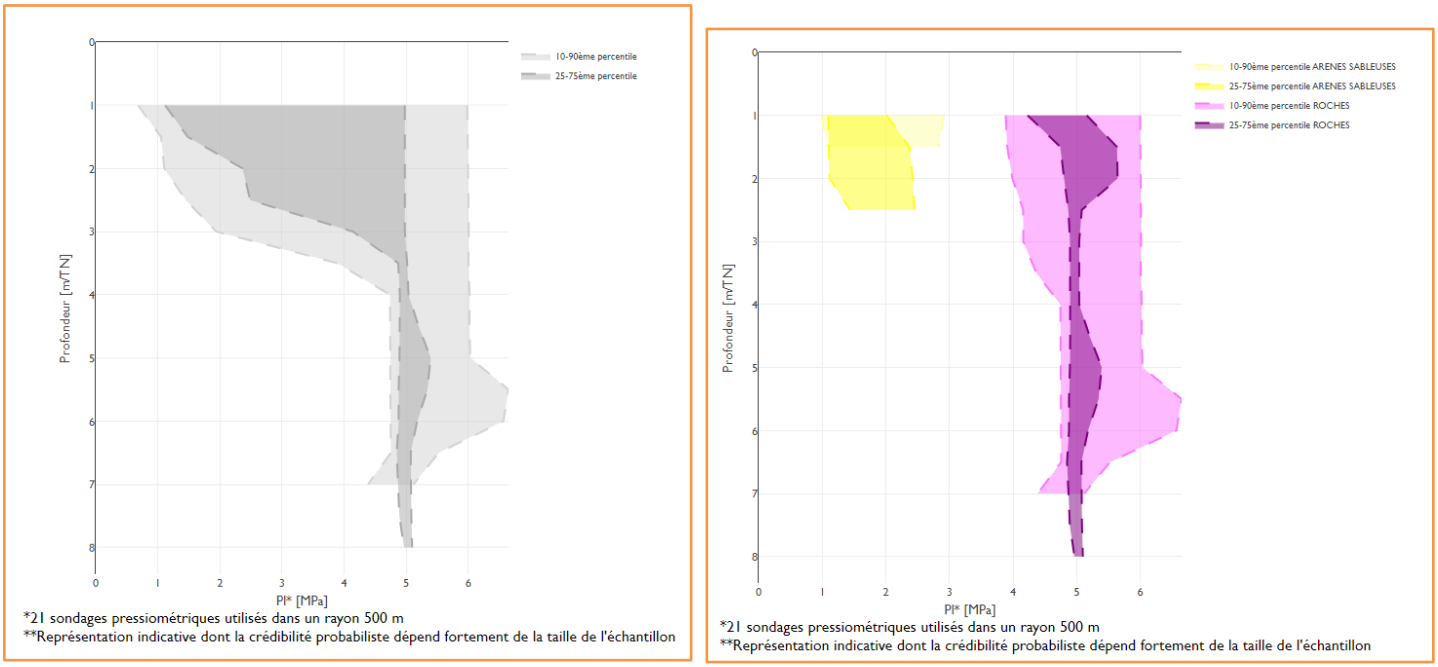
NOTA : La description des terrains et la position des interfaces comportent des imprécisions inhérentes à la méthode de forage (ressenti de l'opérateur). Dans le cas des terrains superficiels, les variations d'épaisseur et d'hétérogénéités sont fréquentes. L'épaisseur des différents horizons peut varier notablement entre les sondages.

B.2.3. Caractéristiques mécaniques

En l'absence de sondages pressiométriques réalisés au droit du site, une base de 21 sondages pressiométriques significatifs et représentatifs de la zone d'étude (à moins de 0,50 km dans un contexte géotechnique et topographique identique) a été exploitée.

L'exploitation statistique de ces données permet d'établir les enveloppes probabilistes correspondant aux pressions limites mesurées lors de ces campagnes antérieures et permet la comparaison avec les données provenant des sondages destructifs et au pénétromètres dynamique réalisés sur site.

Il en ressort le fuseau probabiliste suivant, qui décrit les enveloppes (25-75ème percentiles et 10-90ème percentiles) des variations de pression limites pl* en fonction de la profondeur pour les 21 sondages pressiométriques représentatifs du secteur.



Fuseau statistique SOLSCORE

D'après les résultats des sondages effectués sur site, les valeurs minimales et maximales de $\mathbf{q_d}$ mesurées au pénétromètre dynamique dans chaque horizon sont les suivantes :

N°	Nature de l'horizon	Min (MPa)	Max (MPa)
1	Remblais limono- graveleux	1.6	24.7
2	Limon argilo-sableux	1,6	12.3
3	Arène granitique	5.0	14.9
4a	Granite altéré	16.5	> 50.0
4b	Granite compact	> 50.0	

Les résultats des essais pénétromètre dynamique sont cohérents avec l'analyse statistique précédente.

Les caractéristiques pressiométriques des différents horizons retenues sont donc les suivantes :

N°	Nature de l'horizon	Pl* (MPa)	E_M (MPa)
1	Remblais graveleux	1.0	10.0
2	Limon argilo-sableux	0.3	3.0
3	Arène granitique	1.4	15.0
4a	Granite altéré	3.5	50.0
4b	Granite compact	> 5.0	> 100.0

B.2.4. Essais et analyses en laboratoire

Les analyses de laboratoire suivantes ont été réalisées sur les sols prélevés en SD1 afin de déterminer leur classe GTR. Elles ont consisté en :

- 1 mesure de la teneur en eau,
- 1 mesure de la valeur de bleu du sol (VBS),
- 1 analyse granulométrique par tamisage.

fondasol

RÉCAPITULATIF D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Projet N° : 44GT.25.0091	Nom du projet : POLE ENERGIE - ST HERBLAIN												Demandeur : A.GALISSON						Responsable laboratoire : BOUTON Flodan										Date : 02/07/2025			
Sondage	Prof. moyenne [m]	Nature	w %	ρ Mg/m³	ρ_d Mg/m³	ρ_s Mg/m³	w_L %	w_P %	I_P -	I_C -	V_{BS} -	C_{uCC} %	Ca CO_3 %	D_{max} mm	C_U -	Passant à 63 mm D / D %	50 mm D / D %	2 mm D / D %	80 µm D / D %	63 µm D / D %	2 µm D / D %	Passant à 2 mm D / 63 %	63 µm D / 63 %	Proctor w_{opn} %	Proctor ρ_{dopn} Mg/m³	IPI %	I_s -	M_{VE} -	FR -	DS -	Classification GTR 2000	Classification GTR 2023
Remarques :																																
Nombre d'essais			1								1				1	1	1	1	1	1	1	1	1									
SD1	1.00	Limon sableux gris verdâtre sombre et marron	18.2								1.15			12		100.0	100.0	94.9	59.1	57.8		94.9	57.8								A1	F1

D'après les essais en laboratoire réalisés dans les limons sableux rencontrés en SD1 sont de classe **F_1** selon le GTR 2023 (A1 selon GTR2000).

Les matériaux **F_1** (A1 selon GTR2000) sont des limons, peu plastiques, changeant brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau. Ils sont très sensibles à l'eau en termes de portance et sujets au matelassage.

B.3. Contexte hydrogéologique

B.3.1. Nappes présentes au droit du site

Au droit du piézomètre du projet, des niveaux d'eau sont présents dans les formations de socle.

L'aquifère de socle constitue une nappe d'accumulation. Elle baigne les parties altérées du socle.

Les remblais et limons superficiels peuvent être le siège de circulations d'eau ou de nappe ponctuellement à la suite de fortes pluies (cette nappe serait limitée dans le temps et l'espace).

B.3.2. Niveaux d'eau ponctuels

La réalisation d'un piézomètre sur le site a permis de mesurer le niveau piézométrique de la nappe s'écoulant au droit de ces derniers.

Un suivi piézométrique à l'aide d'enregistreurs automatiques de 12 mois est en cours au droit de ce piézomètre depuis juillet 2025.

Les niveaux stabilisés issus du début du suivi sont décrits dans le tableau suivant.

	PZ1	
Cote sol du piézomètre (mNGF)	41.90	
Profondeur (m/TA)	6.46	
Cote fond (mNGF)	35.44	
Date du relevé	**en m/TA**	**en mNGF**
18/07/2025	2.40	39.50

Tableau 5 : mesures piézométriques

Le niveau de la nappe au droit du site est de 2,4 m/TA, soit une cote de 39,5 mNGF, durant la période de mesure.

Faute de trois points de mesure stabilisés synchrones, ni le sens d'écoulement ni le gradient de la nappe ne peuvent être estimés.

Le projet est supposé en profil rasant avec le terrain actuel, soit une cote de l'ordre de 41 mNGF à 42 mNGF.

Le niveau de la nappe au droit du piézomètre est inférieur à la cote basse supposée du projet, sur la période de mesure.

NB : il convient de signaler que des arrivées d'eau d'origine météorique à la circulation anarchique pourront être rencontrées dans les formations de surface en fonction des conditions météorologiques.

B.3.3. Niveaux d'eau caractéristiques

Dans le cadre du présent projet et conformément aux Eurocodes (cf. tableau & figures ci-après), la cellule Hydrogéologique de la société FONDASOL a été missionnée, au **stade AVP,** pour la définition des niveaux d'eau caractéristiques (EB, EH et EE) pour un **temps de référence de 50 ans** (Cf. extraits de notre rapport d'étude hydrogéologique spécifique, de mission G5).

Au stade de l'étude géotechnique de mission G2 PRO, les éléments définis dans le cadre de notre actuelle étude hydrogéologique spécifique (mission G5 en phase AVP) sont repris et conservés. Ces éléments sont rappelés dans le tableau ci-après :

Cote (mNGF)	EB	EH	EE
PZ1	39,5 mNGF, soit 2,4 m/TA	41,2 mNGF, soit 0,7 m/TA	41,7 mNGF, soit 0,2 m/TA

Tableau 6 : niveaux caractéristiques estimés EB, EH et EE (Eurocodes)

Remarques importantes :

Les niveaux définis ci-dessus correspondent à des estimations théoriques sur la base de données bibliographiques et des mesures piézométriques réalisées à ce jour.

Ces niveaux de référence peuvent néanmoins faire l'objet de variations en fonction d'aléas imprévisibles :

- Aléas naturels : période et intensité de pluie ou de neige exceptionnelle ou de changements climatiques imprévisibles à ce jour (comme l'augmentation du niveau des océans du fait du changement climatique) ;
- Aléas artificiels : phénomène de drainage ou de réalimentation provoqués par des travaux proches, de futures canalisations, des pompages en sous-sol, la mise en place de réseaux profonds ou de dispositifs d'infiltrations ;
- Des écoulements superficiels et temporaires peuvent également avoir lieu dans les remblais en période humide.

B.4. Analyses de l'agressivité de l'eau souterraine et du sol vis-à-vis du béton

Les résultats d'analyse figurent en annexe.

Concernant les sols, les analyses effectuées sur le sol montrent l'absence d'agressivité vis-à-vis du béton.

Sondage	Date de l'essai	Sulfates (SO_4^{2-}) (mg/kg de sol séché à 105°C)	Degré d'acidité Baumann-Gully (ml/kg)	Classe retenue
PZ1	15/06/2025	298 (< XA1)	129 (< XA1)	**< XA1**

Concernant l'eau, les analyses montrent que le projet se situe dans un environnement faiblement agressif vis-à-vis du béton (**classe d'exposition XA1**). Il convient de préciser que, selon la norme NF EN 206/CN :2014 § 4.1. (3), lorsqu'au moins 2 caractéristiques agressives conduisent à la même classe, l'environnement doit être classé dans la classe immédiatement supérieure. Toutefois, étant donné que la valeur de pH est au niveau de la limite supérieur, cette condition ne sera pas appliquée.

Sondage	Date de l'essai	pH	Anhydride carbonique (CO_2 agressif) (mg/l)	Azote ammoniacal (NH_4^+) (mg/l)	Sulfates (SO_4^{2-}) (mg/l)	Magnésium (Mg^{2+}) (mg/l)	TAC (mé/l)
PZ1	16/07/2025	6.5 (XA1)	35.9 (XA1)	0.11 (< XA1)	60.3 (< XA1)	76.6 (< XA1)	2.96 (< XA1)

Seule l'eau souterraine de l'environnement a été reconnue comme chimiquement agressive vis-à-vis du béton. En conséquence, **seul le béton des ouvrages BA définitifs (hors gros béton de rattrapage non armé) en contact avec l'eau souterraine sera de classe XA1.**

Dans le cadre de notre étude, nous nous limiterons à l'évaluation de la classe d'agressivité chimique XAi. Les autres classes d'exposition (XCi, XSi, XDi, XFi) seront à évaluer par le maitre d'œuvre.

B.5. Données sur la perméabilité des sols

Nous avons effectué 3 essais de perméabilité par infiltration de type PORCHET, entre 0,3 m et 0,8 m de profondeur/TN selon les essais. Ces essais ont été implantés conformément au plan en annexe.

L'essai PORCHET est un essai de perméabilité local réalisé à l'intérieur d'un sondage à faible profondeur (de l'ordre de 0.3 à 0.5 m) réalisé à la tarière à main de diamètre 150 mm et qui a nécessité la saturation préalable du sol. Cet essai est essentiellement utilisé pour déterminer la capacité d'un sol à infiltrer des eaux.

Les résultats sont les suivants :

Essai	Nature du sol testé	Profondeur de l'essai (m)	Perméabilité en descente (m/s)	Perméabilité (mm/h)
POR1	Remblais limoneux +/- graveleux	0,5 m	$7{,}6 \cdot 10^{-6}$	25
POR2	Remblais limoneux +/- graveleux	0,8 m	$< 1{,}1 \cdot 10^{-7}$	< 0,3
POR3	Remblais limoneux +/- graveleux	0,3 m	$1{,}25 \cdot 10^{-6}$	5

CONCLUSION :

La perméabilité mesurée est en accord avec la nature limoneuse des formations observées au droit des essais. La perméabilité est cependant très variable et est vraisemblablement fonction de l'hétérogénéité des sols et de la proportion en limon et en éléments graveleux difficilement appréciable au droit des sondages.

Nous attirons toutefois l'attention sur le fait que les essais caractérisent les terrains très localement (c'est-à-dire au droit des sondages et à la profondeur de l'essai) du fait des dimensions limitées des cavités d'essais. Les valeurs de perméabilité peuvent varier dans de larges limites à l'échelle du projet, notamment selon les variations de la granularité des terrains.

Nous conseillons donc à l'équipe de conception de tenir compte des risques d'hétérogénéité et de retenir des valeurs prudentes par type de sol, dans un souci de sécurité vis-à-vis du dimensionnement des ouvrages.

Notons que la valeur limite inférieure généralement admise pour l'infiltration des eaux pluviales est de 7 à 10 mm/h. En deçà, l'infiltration est déconseillée. Seul un essai (POR1) mesuré une valeur supérieure.

Par ailleurs, sous les remblais limono-graveleux, un horizon limoneux et argileux est présent et qui présente une perméabilité également faible. Ceci est autre point défavorable à l'infiltration.

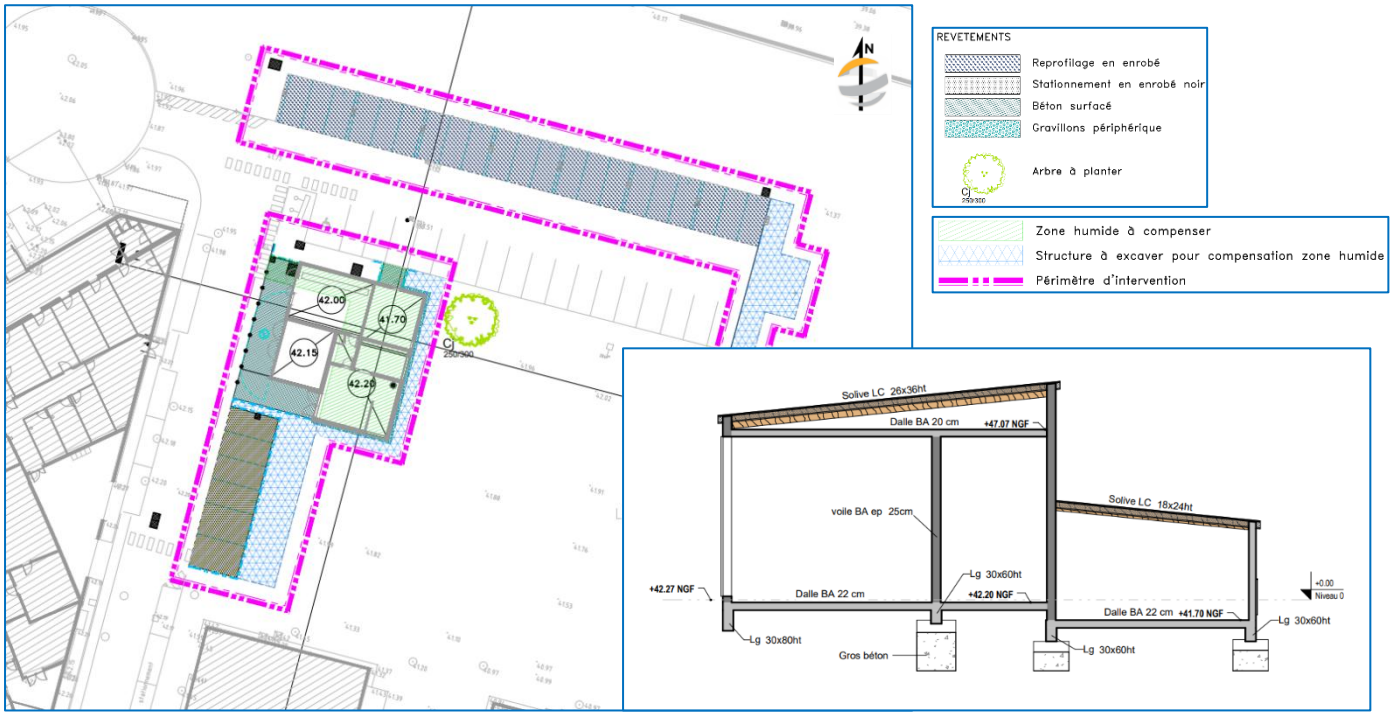
Les résultats des essais réalisés figurent en annexe.

C. DEFINITION DU PROJET

C.1. Caractéristiques générales du projet

Le projet consiste en :

- la construction d'un bâtiment en rez-de-chaussée simple ne comportant pas de sous-sol (cf. plan de masse, perspective et coupe ci-après).
- La mise en place d'ombrières photovoltaïques associée à un reprofilage en enrobé.
- L'aménagement des voiries piétonnes, légères et lourdes, pour les voiries lourdes.



Plan de masse et coupe

Perspective vue vers le Sud-Est

C.2. Cotes du projet

Le niveau bas varie entre +41.7 et +42.2 m NGF, soit en léger déblais/remblais de l'ordre de 0.2 à 0.3 m.

C.3. Rappel des préconisations de la mission G2 AVP et données d'entrée complémentaires retenues

C.3.1. Catégories géotechniques et de durée d'utilisation du projet des ouvrages

Catégorie de durée d'utilisation de l'ouvrage	Classe de conséquence	Catégorie géotechnique
S4 (50 années)	CC2 (conséquence moyenne)	2

C.3.2. Contexte sismique

Conformément à l'Eurocode 8, sur la base des sondages pressiométriques réalisés et d'après notre rapport d'étude géotechnique de mission G2 AVP, le contexte sismique au droit du projet est le suivant :

Zone de sismicité	Catégorie d'importance	Classe de sol	Risque liquéfaction
3 a_{gr} = 1.1 m/s²	**III** (γ_I = 1.2)	**A** (S = 1.0)	Pas de risque de liquéfaction

Les appuis seront dimensionnés en tenant compte de l'effet inertiel provenant de la structure.

C.3.3. Données d'entrée complémentaires concernant la structure

D'après les informations transmises par le BET Structure, les données concernant la structure sont les suivantes :

Données sismiques :

Intitulé	Hypothèses
Type de ductilité du bâtiment	DCM
Valeur du coefficient de comportement (q)	1.5
γ_{Rd} . Ω	1

Tassements admissibles :

Pour les fondations :

Les tassements absolus sont limités à 10 mm et un tassement différentiel limité à 5 mm.

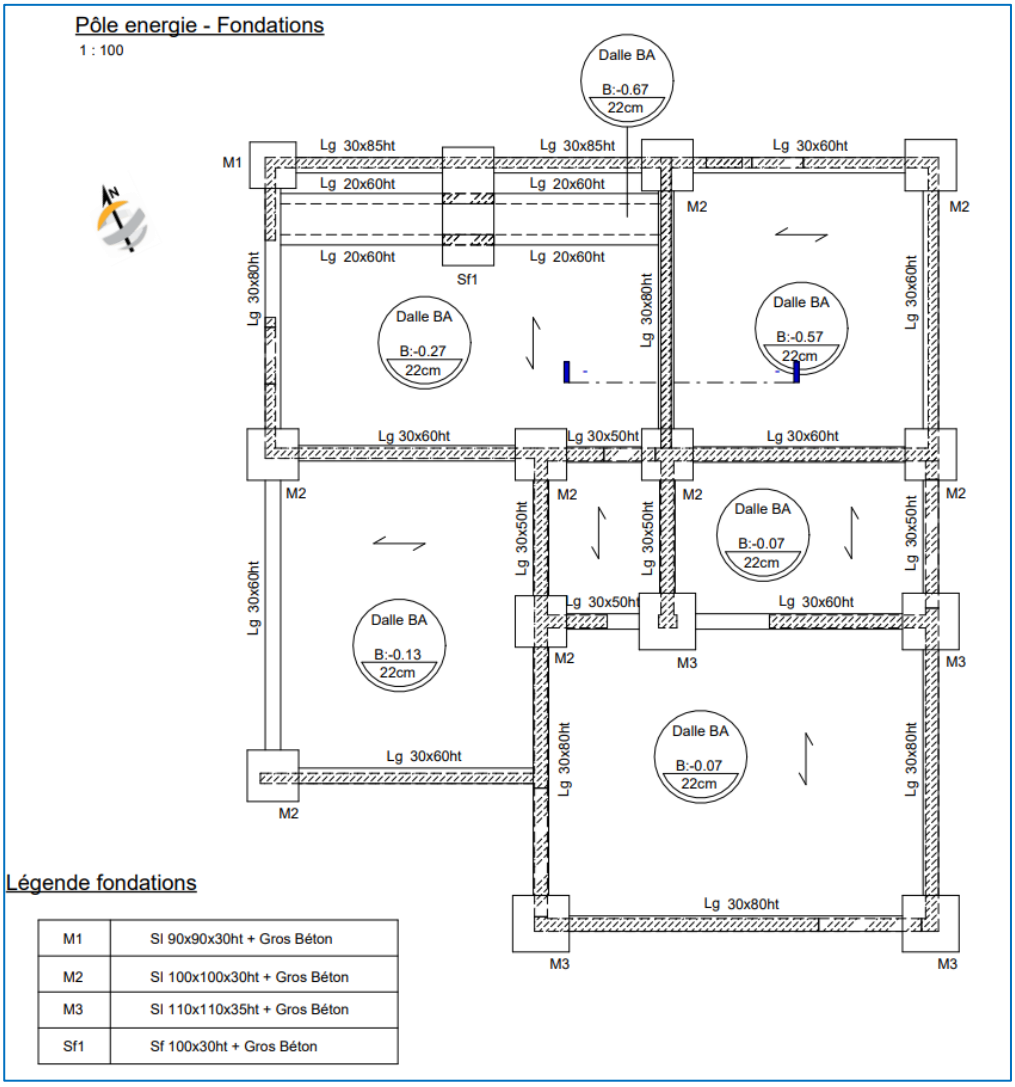
Pour le niveau bas :

Le niveau bas est prévu d'être porté par les fondations.

C.4. Plan de fondations et descentes de charges

C.4.1. Plan de fondations

Le plan des fondations transmis figure ci-après :



Le niveau bas des sous-sols est prévu en plancher porté sur les fondations. L'épaisseur de la dalle du sous-sol est de 0.22 m.

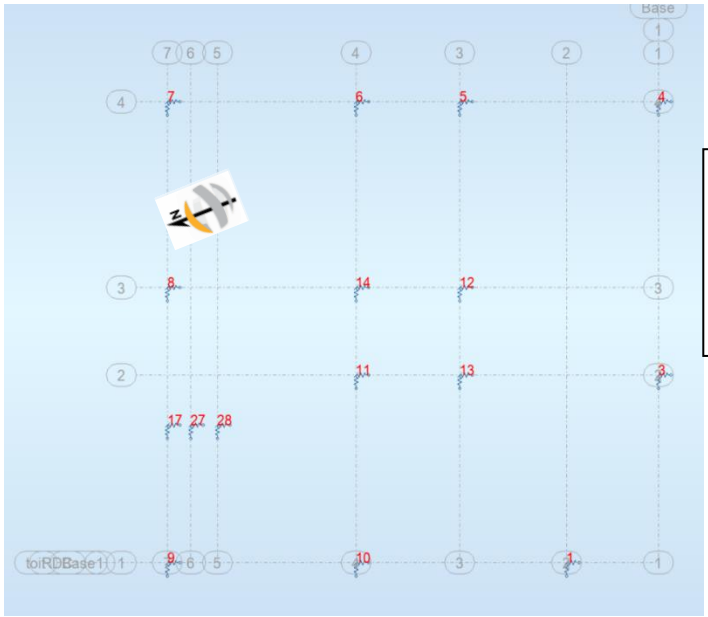
C.4.2. Descentes de charges et surcharges d'exploitation

Les descentes de charges prises en compte sont celles mentionnées dans le tableau du § A.3 (document n° [6]). Les combinaisons de charges retenues sont les suivantes :

- À l'ELU fondamental et aux ELS caractéristique et quasi-permanent :
  - ELU fondamental (ELUf)
    → $N_{Ed} = 1.35G_{k;j;sup} + 1.0G_{k;j;inf} + 1.50\ Q_{k;1} + 1.50\ \psi_0 Q_{k;i}$
  - ELS caractéristique (ELSc)→ $N_{Ed} = G_{k;j;sup} + G_{k;j;inf} + Q_{k;1} + \psi_0 Q_{k;i}$
  - ELS quasi-permanent (ELSqp) → $N_{Ed} = G_{k;j;sup} + G_{k;j;inf} + \psi_2 Q_{k;1}$
- À l'ELU sismique (ELU S) :
  - ELU sismique pesant (ELUs +)→ $N_{Ed} = G_{k;j;sup} + G_{k;j;inf} + \gamma_{Rd} . \Omega \times A_{Ed} + \psi_{2,i} Q_{k;1}$
  - ELU sismique allégeant (ELUs -)→ $N_{Ed} = G_{k;j;sup} + G_{k;j;inf} - \gamma_{Rd} . \Omega \times A_{Ed}$

  Avec :
  ψ_2 pris égal à 0 pour la neige et le vent et 0.6 pour les charges d'exploitation.
  ψ_0 pris égal à 0.5 pour la neige et 0.6 pour le vent.
  Gk;j;sup (charge permanente favorable).
  Gk;j;inf (charge permanente défavorable).
  Qk;1 (charge d'exploitation défavorable).

<u>Pour les fondations du bâtiment</u> :



<u>Nota</u> : les efforts horizontaux (hors sollicitations sismiques) mentionnés par appuis se compensent.
Il ne seront donc pas pris en compte dans le dimensionnement des fondations.

	ELS QP			ELS C			ELU F			ELU S		
Appuis	FX [T]	FY [T]	FZ [T]	FX [T]	FY [T]	FZ [T]	FX [T]	FY [T]	FZ [T]	FX [T]	FY [T]	FZ [T]
1	5.44	0.634	38.626	5.62	0.75	39.81	7.6545	1.056	54.1875	14.079	6.555	47.4
3	1.962	1.776	50.982	2.01	1.9	52.43	2.7315	2.6115	71.3235	10.191	8.787	58.798
4	-2.656	1.75	57.958	-2.76	1.85	59.45	-3.765	2.535	80.817	5.621	9.257	66.507
5	-1.738	-0.994	52.5	-1.83	-0.99	53.82	-2.505	-1.335	73.152	5.675	6.709	59.561
6	-1.77	-1.212	48.362	-1.85	-1.22	49.55	-2.5275	-1.65	67.338	5.118	6.437	55.884
7	-1.758	-3.134	39.126	-1.79	-3.21	40.01	-2.4285	-4.362	54.345	4.002	4.289	48.94
8	0.112	-2.88	35.278	0.14	-2.96	36.13	0.1995	-4.026	49.095	5.882	4.174	41.317
9	0.05	-3.694	26.93	0.07	-3.79	27.65	0.102	-5.1525	37.5975	5.287	2.316	34.233
10	0.802	-2.594	36.84	0.85	-2.67	37.96	1.1655	-3.633	51.666	7.814	3.615	44.331
11	-0.658	-1.498	41.87	-0.69	-1.49	43.05	-0.9435	-2.0085	58.56	6.433	5.269	43.186
12	-0.016	-0.736	48.112	-0.04	-0.74	49.44	-0.063	-1.0005	67.242	7.503	6.253	50.353
13	0.21	-0.99	45.702	0.19	-0.97	47.01	0.249	-1.302	63.954	7.514	6.067	48.37
14	-0.402	-1.256	44.358	-0.43	-1.26	45.55	-0.591	-1.7025	61.9395	6.67	6.003	45.544
17	-0.066	4.728	30	-0.05	4.7	30.76	-0.0615	6.3345	41.811	5.513	7.159	35.216
27	0.116	4.932	26.312	0.14	4.9	27.08	0.198	6.603	36.846	4.777	7.403	29.196
28	0.382	5.204	22.834	0.43	5.24	23.61	0.5985	7.0875	32.1645	4.792	7.566	23.85

Pour les ombrières :

OMBRIERES PV

Hypothèses de calcul:

Surcharges permanentes: **0,40 kN/m² + 1,30 kN/onduleur**
- Panneaux PV yc structure secondaire: 0,25 kN/m²
- Couverture bac acier: 0,10 kN/m²
- Divers technique: 0,05 kN/m²
- 1 onduleur / ombrière: 1,30 kN

Charges d'exploitation:
- Toiture terrasse non accessible, cat. H: 0,8 kN/m² ou 1,5 kN

Charges de neige:
- Région de neige A1: sk = 0.45 kN/m²

Charges de vent:
- Région 3, Rugosité IIIb, z= 4 m, vb= 26 m/s: qp(z) = 0.58 kN/m2
- Toiture isolée, pente 10%:
  -> Coeff. de force global: Cf = +0.40/-1.40;
  -> Coeff .de pressions Cp: c1=+1.30/-3.15; c2=+0.70/-3.14;c3=-0.11/+0.73

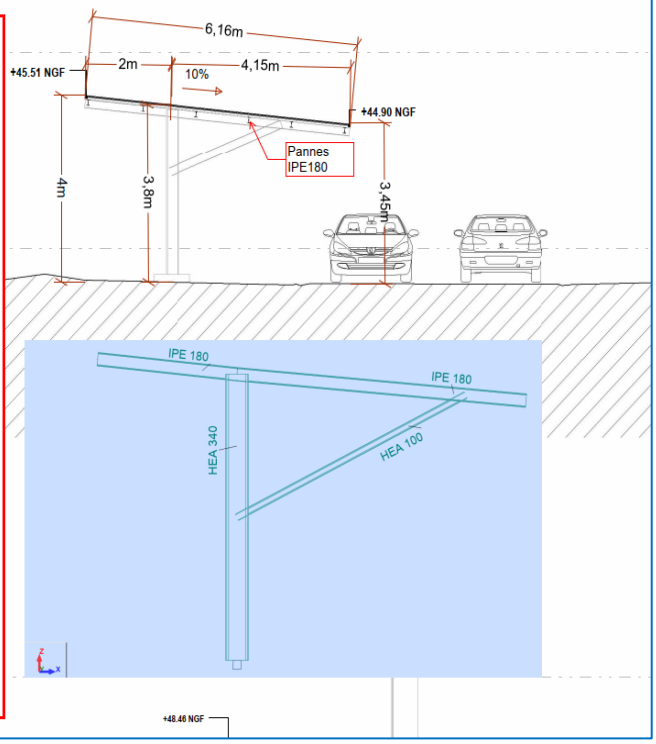
Sécurité incendie:
- Simple RDC, charpente visible, résistance au feu: R0

Règles de construction parasismique:
- Ne s'appliquent pas aux ombrières photovoltaïques: Cf note CTICM "Règles parasismiques pour les ombrières photovoltaïques"

Critère de flèches:
- winst=L/300; wnet,fin=L/200; Wfin=L/125

Descentes de charges:

Noeud/Cas	FX [kN]	FZ [kN]	MY [kNm]	Nom du cas
1/ 1	-0,00	-5,64	2,21	PERM1
1/ 2	-0,00	-25,75	27,72	PERM2
1/ 3	-0,00	-19,93	21,42	NEI1
1/ 4	-0,92	-10,27	7,62	VENT1 - Dépression
1/ 5	3,22	35,98	-26,69	VENT2 - Surpression



Noeud/Cas	FX [kN]	FZ [kN]	MY [kNm]	Nom du cas
1/ ELU+	-1,38	-81,52	-10,11	ELU+
1/ ELU-	4,83	22,57	79,39	ELU-
1/ ELS+	-0,92	-57,48	3,23	ELS+
1/ ELS-	3,22	4,58	55,92	ELS-

Pour les niveaux bas :

Le niveau bas est prévu d'être porté par les fondations.

C.5. Zone d'Influence Géotechnique (ZIG)

Elle comprend tous les lieux pouvant être impactés par les travaux en termes de mobilisation physique. Dans la suite du rapport, il sera retenu :

- La zone du projet définie par ses limites de propriété.
- L'extension de la zone définie, par 3 fois la hauteur des terres à soutenir reportée à l'horizontal à l'extérieur du niveau enterré, y compris au-delà des limites de propriété de la parcelle.
- Les nuisances lors de l'exécution des terrassements en déblais et en remblai et des fondations.

La ZIG des travaux pour l'exécution des ouvrages géotechniques, intéressera donc les limites foncières du projet, majorées d'une distance # 3.0 m au-delà de l'emprise foncière du projet, pour les ouvrages géotechniques qui seront situées en limite de propriété.

D. FONDATIONS DU BATIMENT

D.1. Type de fondations, horizon d'ancrage et profondeur d'assise

Le mode de fondations sera de type **fondations massifs isolés avec rattrapage en gros béton**. La profondeur des fondations sera adaptée au cas par cas pour respecter à la fois les 3 critères suivants :

1) Une profondeur d'assise minimale des fondations à 0.8 m par rapport au niveau bas.
2) Un ancrage minimal, c'est-à-dire la hauteur de pénétration de la fondation dans la couche porteuse, qui sera d'au moins 0.3 m dans l'arène **compacte** (horizon n°3) ou dans le granite altéré à compact (horizons n°4a et 4b). Cet horizon doit être en place et non remanié. Cet ancrage peut être limité à 0.1 m en cas de granite compact.
3) Une hauteur d'encastrement, c'est-à-dire le minimum des hauteurs enterrées de la fondation à l'intérieur comme à l'extérieur du bâtiment par rapport au sol fini après travaux, qui sera égale à 0.5 m pour respecter les conditions de mise hors-gel (condition non dimensionnante).

Au droit de nos sondages, la profondeur et la cote d'assise des fondations sont précisées dans le tableau ci-après :

Sondages concernés	SD1	SD2
Niveau du terrain actuel (TA)	+41.3	+42.0
Cote du toit de l'arène (m NGF)	+39.6	+40.4
Cote d'assise des fondations (m NGF)	**+39.3**	**+40.1**
Cote d'assise du niveau bas (m NGF)	**+41.7 à 42.2**	
Profondeur d'assise / niveau bas (m)	**2.4 à 2.9 m**	**1.6 à 2.1 m**
Type de sol d'assise	Granite altéré à compact (horizon n°4a à 4b)	Arène granitique compacte (horizon n°3)

D.2. Capacité portante des fondations

Dans le cas de fondations superficielles continues ou isolées ancrées conformément au § D.1 précédent, les contraintes à l'ELS et à l'ELU sont donc limitées aux valeurs suivantes :

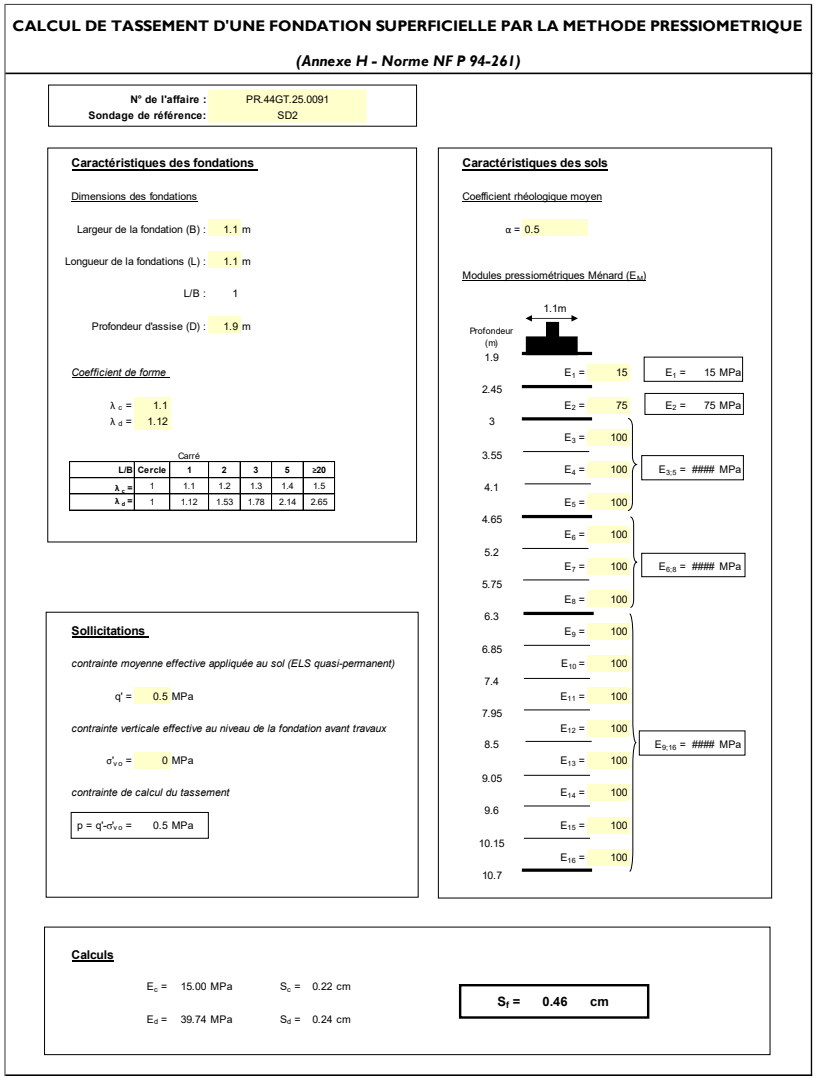
Contrainte de calcul à l'Etat Limite Ultime (E.L.U.):	q'_{ELU} =	0.82	MPa
Contrainte de calcul aux Etats Limites de Services (E.L.S.) :	**q'_{ELS} =**	**0.50**	**MPa**

Nota : cette contrainte n'est valable que sous réserve que les charges ne soient pas inclinées et rapprochées d'un talus. Dans le cas contraire, des coefficients minorateurs iδ et iβ devront être appliqués.

D.3. Contrainte appliquée au sol et estimation des tassements

Compte tenu des dimensions des fondations et des descentes de charges, les contraintes appliquées à l'ELS Caractéristiques sont proches de 500 kPa. Les dimensions des fondations figurant sur le plan de fondations sont cohérentes avec les descentes de charges.

Compte tenu de la nature et de la compacité des sols sous l'assise des fondations et descentes de charges statiques, les tassements absolus et différentiels seront de l'ordre du demi-centimètre pour une contrainte appliquée au sol à l'ELS Quasi-Permanent d'au maximum 500 kPa sous réserve que les fonds de fouille, avant coulage du béton, soient homogènes et non remaniés.



CALCUL DE TASSEMENT D'UNE FONDATION SUPERFICIELLE PAR LA METHODE PRESSIOMETRIQUE

(Annexe H - Norme NF P 94-261)

N° de l'affaire : PR.44GT.25.0091
Sondage de référence: SD2

Caractéristiques des fondations

Dimensions des fondations

Largeur de la fondation (B) : 1.1 m

Longueur de la fondations (L) : 1.1 m

L/B : 1

Profondeur d'assise (D) : 1.9 m

Coefficient de forme

λ_c = 1.1
λ_d = 1.12

		Carré				
L/B	Cercle	1	2	3	5	≥20
λ_c =	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
λ_d =	1	1.12	1.53	1.78	2.14	2.65

Caractéristiques des sols

Coefficient rhéologique moyen

α = 0.5

Modules pressiométriques Ménard (E_M)

1.1m

Profondeur (m)			
1.9	E_1 =	15	E_1 = 15 MPa
2.45	E_2 =	75	E_2 = 75 MPa
3	E_3 =	100	
3.55	E_4 =	100	$E_{3:5}$ = #### MPa
4.1	E_5 =	100	
4.65	E_6 =	100	
5.2	E_7 =	100	$E_{6:8}$ = #### MPa
5.75	E_8 =	100	
6.3	E_9 =	100	
6.85	E_{10} =	100	
7.4	E_{11} =	100	
7.95	E_{12} =	100	
8.5	E_{13} =	100	$E_{9:16}$ = #### MPa
9.05	E_{14} =	100	
9.6	E_{15} =	100	
10.15	E_{16} =	100	
10.7			

Sollicitations

contrainte moyenne effective appliquée au sol (ELS quasi-permanent)

q' = 0.5 MPa

contrainte verticale effective au niveau de la fondation avant travaux

σ'_{vo} = 0 MPa

contrainte de calcul du tassement

p = q'-σ'_{vo} = 0.5 MPa

Calculs

E_c = 15.00 MPa S_c = 0.22 cm

E_d = 39.74 MPa S_d = 0.24 cm

S_f = 0.46 cm

D.4. Reprises des efforts horizontaux sous sollicitations sismiques

Selon les dimensions des fondations et des sollicitations sismiques, les efforts horizontaux peuvent être repris en retenant les hypothèses géotechniques suivantes :

- Masse volumique γ = 20 kN/m³.
- Cohésion effective c' = 0 kPa°.
- Angle de frottement effectif φ' = 30°, **sous réserve d'un coulage pleine fouille des fondations**.

D.5. Sujétions d'exécution et de conception des fondations

Les fondations superficielles respecteront les conditions géométriques d'ancrage mentionnées au § D.1. dans des sols **en place et non remaniés**.

Ce critère d'encastrement nécessitera des approfondissements du niveau d'assise des fondations dans le cas par exemple de mise en évidence de surépaisseurs de remblais et/ou de limons et/ou d'un horizon d'ancrage particulièrement décomposé, remanié et/ou altéré par la présence d'eau, etc. Les fonds de fouille seront soigneusement vérifiés afin de déceler et purger toute poche de sols mous pouvant subsister au niveau d'assise retenu pour les fondations **(PV de réception des fonds de fouille à réaliser par l'entreprise de Gros Œuvre dans le cadre de sa mission G3, phase Suivi).**

Les terrassements pour les fondations devraient être réalisés à l'aide d'une pelle mécanique de de puissance adaptée à la compacité des sols dans les arènes **compactes** (à contrôler en phase EXE) ou le granite altéré à compact. Dans le cas des gneiss compacts, il conviendra de prévoir l'utilisation d'outils adaptés (par exemple, BRH).

Il faudra prévoir l'utilisation d'une pompe de chantier reliée à un exutoire afin d'évacuer immédiatement les éventuelles arrivées d'eau pouvant se produire en fond de fouille notamment après un épisode pluvieux.

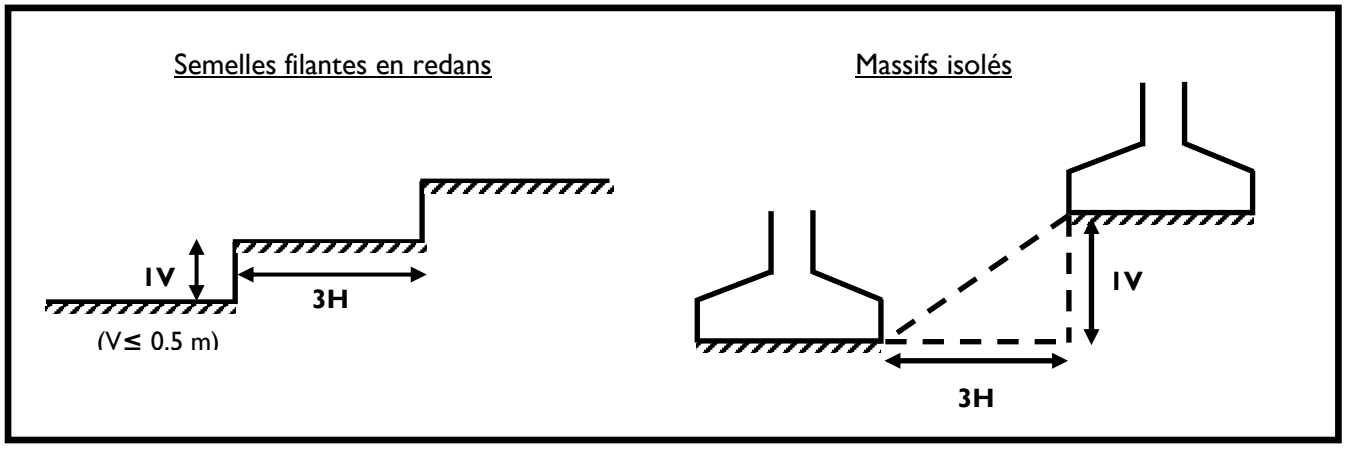
Les fondations seront bétonnées immédiatement après l'ouverture des fouilles.

Lors de la réalisation des fondations arrêtées à des niveaux différents, il conviendra de prendre toutes les précautions pour ne pas endommager les fondations déjà réalisées.

Les fondations auront une largeur minimale de 0.7 m pour les massifs isolés.

Compte tenu des profondeurs prévisibles d'assise des fondations, la réalisation de forage pour la mise en place du gros béton pourra être envisagé afin de faciliter les terrassements. Dans ce cas, le blindage des parois de forage (notamment sur la hauteur des remblais et des limons de faible compacité) devra être prévu ainsi qu'un dispositif de curage du fond de fouille (type Bucket).

Le cas échéant, les règles relatives aux fondations posées à des niveaux différents devront être respectées, notamment entre les différentes fondations du projet (cf. schéma ci-après).



Règles relatives aux fondations superficielles arrêtées à des niveaux différents, en zone sismique 3 et pour un ouvrage de catégorie d'importance III.

E. FONDATIONS DES OMBRIERES

E.1. Préambule et cas de charges étudiés

Dans la zone des ombrières, aucune investigation spécifique n'a été réalisée en raison des existants. Il n'est donc pas exclu qu'il y ait des surépaisseurs de remblais et une remontée ou un approfondissement des fondations. Lors du début des terrassements, un contrôle du contexte géotechnique doit être effectué avant le début des travaux.

Les cas de charges étudiés sont les suivants :

CAS DE CHARGE

CAS DE CHARGES		1	2	3	4	5
MÉTHODE DE CALCUL		Pressio	Pressio	Pressio	Pressio	Pressio
ÉTAT LIMITE		ELScar	ELScar	ELUfond	ELUfond	ELSqp
ACTION PERMANENTE (G) À L'ELU FONDAMENTAL		-	-	-	-	-
COMPOSANTE VERTICALE DU CHARGEMENT (kN)	V_c =	57	-5	82	-23	31
POIDS PROPRE DE LA SEMELLE RETENU (kN)	P =	109	109	109	109	109
COMPOSANTE VERTICALE TOTALE DU CHARGEMENT (kN)	V_d =	166	104	191	86	140
COMPOSANTE HORIZONTALE DU CHARGEMENT SELON x (kN)	$H_{x,d}$ =	-1	3	-2	5	0
COMPOSANTE HORIZONTALE DU CHARGEMENT SELON y (kN)	$H_{y,d}$ =	0	0	0	0	0
COMPOSANTE HORIZONTALE DU CHARGEMENT (kN)	H_d =	1	3	2	5	0
INCLINAISON DE LA RÉSULTANTE (°)	δ_d =	0	2	1	3	0
MOMENT AUTOUR DE x (kN.m)	$M_{x,d}$ =	0	0	0	0	0
MOMENT AUTOUR DE y (kN.m)	$M_{y,d}$ =	14	58	-12	80	42
EXCENTRICITÉ SELON x (m)	e_L =	0,08	0,56	0,06	0,93	0,30
EXCENTRICITÉ SELON y (m)	e_B =	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

E.2. Type de fondations, horizon d'ancrage et profondeur d'assise

Le mode de fondations sera de type **fondations massifs isolés**. La profondeur des fondations sera adaptée au cas par cas pour respecter à la fois les 3 critères suivants :

1) Une profondeur d'assise minimale des fondations à 1.0 m par rapport au niveau bas. Compte tenu des sollicitations appliquées en pied de poteau des ombrières, la profondeur retenue est de 1.5 m par rapport au niveau fini.
2) Un ancrage minimal, c'est-à-dire la hauteur de pénétration de la fondation dans la couche porteuse, qui sera d'au moins 0.3 m dans le limon (horizon n°2). Cet horizon doit être en place et non remanié.
3) Une hauteur d'encastrement, c'est-à-dire le minimum des hauteurs enterrées de la fondation à l'intérieur comme à l'extérieur du bâtiment par rapport au sol fini après travaux, qui sera égale à 0.5 m pour respecter les conditions de mise hors-gel (condition non dimensionnante).

E.3. Hypothèses calculs retenues pour les calculs de fondations

Dans la suite du rapport, une fondation rectangulaire de dimensions 1.2 m x 2.8 m x 1.0^{HT} m sera retenue.

L'assise des fondations est prévue dans le limon à 1.5 m de profondeur / terrain fini. L'hypothèse d'assise à +40.5 m NGF sera retenue pour un niveau du terrain à +42 m NGF.

CARACTÉRISTIQUES DE LA FONDATION

LARGEUR DE LA FONDATION
B = 1,20 m

LONGUEUR DE LA FONDATION
L = 2,80 m

COTE DE L'ASSISE DE LA FONDATION
z_{assise} = 40,50 m

HAUTEUR DU BÉTON AU-DESSUS DE LA FONDATION
$h_{béton}$ = 1,00 m

HAUTEUR DU SOL AU-DESSUS DE LA FONDATION
h_{sol} = 0,50 m

POIDS VOLUMIQUE DU BÉTON DE LA FONDATION kN/m³ $\gamma_{béton}$	POIDS VOL. DÉJAUGÉ DU BÉTON DE LA FONDATION kN/m³ $\gamma'_{béton}$	POIDS VOLUMIQUE DU SOL AU-DESSUS DE LA FONDATION kN/m³ γ_{sol}	POIDS VOL. DÉJAUGÉ DU SOL AU-DESSUS DE LA FONDATION kN/m³ γ'_{sol}
25	15	15	5

MODÈLE GÉOTECHNIQUE

COTE DU TERRAIN À L'ÉTAT FINAL $z_{TN\ final}$ = 42,00 m

COTE DE LA NAPPE z_{eau} = 40,50 m

5 COUCHES	z_{base} m	Sol -	MÉTHODE PRESSIOMÉTRIQUE P_{LM}* MPa	E_M MPa	α -
Remblai	41,30	2	1,00	10,00	0,50
Limon	40,40	1	0,30	3,00	0,50
Arène granitique	40,00	2	1,40	15,00	0,50
Granite altéré	39,60	4	3,50	50,00	0,50
Granite compact	38,00	4	5,00	100,00	0,50

CARACTÉRISTIQUES DU SITE

CONTRAINTE EFFECTIVE VERTICALE INITIALE À LA BASE DE LA FONDATION σ'_{v0} = 0,020 MPa

PROXIMITÉ D'UN TALUS Non

CONTRAINTE TOTALE VERTICALE FINALE À LA BASE DE LA FONDATION q_0 = 0,020 MPa

	Conditions	γ_h kN/m³	γ' kN/m³	c'_k kPa	Φ'_k °	$\delta_{a;k}$ °	$c_{u;k}$ kPa
SOL AU-DESSUS DE LA FONDATION	drainées	18	10		25	25	-
SOL D'ASSISE, SOUS LA FONDATION	drainées	18	10	0	25	25	-

E.4. Vérification de la portance

PORTANCE

CAS DE CHARGE		1	2	3	4	5
MÉTHODE DE CALCUL		Pressio	Pressio	Pressio	Pressio	Pressio
ÉTAT LIMITE		ELScar	ELScar	ELUfond	ELUfond	ELSqp
HAUTEUR D'ENCASTREMENT ÉQUIVALENTE RETENUE	D_e =	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13
FACTEUR DE PORTANCE PRESSIOMÉTRIQUE RETENU	k_p =	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
COEFFICIENT LIÉ À LA PRÉSENCE D'UN TALUS	i_β =	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
COEFFICIENT LIÉ À L'INCLINAISON DU CHARGEMENT	i_δ =	0,99	0,96	0,99	0,92	1,00
COEFFICIENT RÉDUCTEUR GLOBAL	$i_{\delta\beta}$ =	0,99	0,96	0,99	0,92	1,00
PRESSION LIMITE NETTE ÉQUIVALENTE (MPa)	P_{le}^* =					0,30
CONTRAINTE ASSOCIÉE À LA RÉSISTANCE DU TERRAIN (MPa)	$\sigma_{R;d}$ =	0,115	0,112	0,189	0,176	0,116
RÉSISTANCE NETTE DU TERRAIN (kN)	$R_{v;d}$ =	364	226	607	199	307
VÉRIFICATION DE LA PORTANCE DU SOL : $V_d - R_0 \leq R_{v;d}$		✓	✓	✓	✓	✓

E.5. Vérification au renversement

RENVERSEMENT

CAS DE CHARGE	1	2	3	4	5
ÉTAT LIMITE	ELScar	ELScar	ELUfond	ELUfond	ELSqp
$(1 - 2e_B / B)(1 - 2e_L / L)$	0,940	0,602	0,955	0,337	0,786
CRITÈRE	0,500	0,500	0,067	0,067	0,667
VÉRIFICATION DU RENVERSEMENT : $(1 - 2e_B / B)(1 - 2e_L / L) \geq$ CRITÈRE	✓	✓	✓	✓	✓

E.6. Vérification au glissement

GLISSEMENT

CAS DE CHARGE		1	2	3	4	5
ÉTAT LIMITE		ELScar	ELScar	ELUfond	ELUfond	ELSqp
COEFFICIENT DE MODÈLE POUR LA RÉSISTANCE ULTIME AU GLISSEMENT	$\gamma_{R;d;h}$ =	-	-	1.1	1.1	-
FACTEUR PARTIEL POUR LA RÉSISTANCE AU GLISSEMENT	$\gamma_{R;h}$ =	-	-	1.1	1.1	-
VALEUR DE CALCUL DE LA RÉSISTANCE AU GLISSEMENT SOUS LA BASE (kN)	$R_{h;d}$ =	-	-	**74**	**33**	-
FACTEUR PARTIEL POUR LA RÉACTION TANGENTIELLE	$\gamma_{tang;R;e}$ =	-	-	1.1	1.1	-
VALEUR DE CALCUL POUR LA RÉACTION TANGENTIELLE (kN)	$R_{tang;p;d}$ =	-	-	**0**	**0**	-
FACTEUR PARTIEL POUR LA RÉACTION FRONTALE	$\gamma_{front;R;e}$ =	-	-	1.4	1.4	-
VALEUR DE CALCUL POUR LA RÉACTION FRONTALE (kN)	$R_{front;p;d}$ =	-	-	**0**	**0**	-
COMPOSANTE HORIZONTALE DU CHARGEMENT (kN)	H_d =	-	-	2	5	-
VÉRIFICATION DU GLISSEMENT : $H_d \leq R_{h;d} + R_{p;d} = R_{h;d} + R_{tang;p;d} + R_{front;p;d}$ (kN)		-	-	✓	✓	-

E.7. Estimation des tassements

Compte tenu de la nature et de la compacité des sols sous l'assise des fondations et descentes de charges statiques, les tassements absolus et différentiels seront de l'ordre de quelques millimètres à l'ELS sous réserve que les fonds de fouille, avant coulage du béton, soient homogènes et non remaniés.

E.8. Sujétions d'exécution et de conception des fondations

Les fondations superficielles respecteront les conditions géométriques d'ancrage mentionnées aux § E.2 et E.3. dans des sols **en place et non remaniés**.

Ce critère d'encastrement nécessitera des approfondissements du niveau d'assise des fondations dans le cas par exemple de mise en évidence de surépaisseurs de remblais ou d'un horizon d'ancrage particulièrement décomposé, remanié et/ou altéré par la présence d'eau, etc. Les fonds de fouille seront soigneusement vérifiés afin de déceler et purger toute poche de sols mous pouvant subsister au niveau d'assise retenu pour les fondations **(PV de réception des fonds de fouille à réaliser par l'entreprise de Gros Œuvre dans le cadre de sa mission G3, phase Suivi).**

Les terrassements pour les fondations devraient être réalisés à l'aide d'une pelle mécanique de de puissance adaptée à la compacité des sols dans les arènes **compactes** (à contrôler en phase EXE) ou le granite altéré à compact. En cas de présence d'ouvrage anthropique à purger ou d'une remontée du substratum rocheux compact, il conviendra de prévoir l'utilisation d'outils adaptés (par exemple, BRH).

Il faudra prévoir l'utilisation d'une pompe de chantier reliée à un exutoire afin d'évacuer immédiatement les éventuelles arrivées d'eau pouvant se produire en fond de fouille notamment après un épisode pluvieux.

Les fondations seront bétonnées immédiatement après l'ouverture des fouilles.

Lors de la réalisation des fondations arrêtées à des niveaux différents, il conviendra de prendre toutes les précautions pour ne pas endommager les fondations déjà réalisées.

Les fondations auront une largeur minimale de 0.7 m pour les massifs isolés.

F. VOIRIES

F.1. Préambule

Par ailleurs, en l'absence de précisions sur les caractéristiques des voiries, il sera recherché :

- Plate-forme support de voirie de classe **PF2-** (50 MPa ≤ EV_2 ≤ 80 MPa).
- Classe de trafic **T5** (moins de 25 PL/jour).
- Durée de service de **10 ans**.
- Hiver de référence **rigoureux Non Exceptionnel**.
- Sol support **très gélif**.

F.2. Préparation du Fdf avant l'exécution de la Cdf sous les voiries

Les horizons constitués par de la terre végétale ou par des remblais et du limon de faible compacité seront systématiquement purgés au démarrage du chantier. Nous attirons l'attention sur la présence de surépaisseur de ces horizons, ou sur la présence d'ouvrages anthropiques enterrés non recensés pouvant nécessiter des purges plus importantes.

Il est à noter que les remblais graveleux pourraient éventuellement être réutilisés en remblais sous réserve de les classer selon la classification du GTR et de la norme NF P 11-300. Leur réutilisation sera adaptée à cette classe, à l'état hydrique et aux conditions météorologiques.

Les sols remaniés par les opérations de terrassement et les sols altérés par les intempéries seront également purgés.

Il conviendra de limiter la circulation des engins de chantier sur le terrain décapé avant la mise en œuvre des remblais. Un recompactage du fond de forme est également préconisé avant la mise en place du remblai.

L'horizon n°2 pouvant constituer le Fdf avant la montée des remblais ou la mise en œuvre de la couche de forme, sont très sensible à l'eau, leur portance peut chuter rapidement pour de faibles variations de teneur en eau. Les terrassements pour atteindre le Fdf devront être réalisés de préférence, en période météorologique favorable afin de ne pas risquer une perte générale et importante de la portance du Fdf.

Pour faciliter le drainage ou l'épuisement en phase provisoire de la fouille en cas d'intempéries, nous préconisons fortement de prévoir une forme de pente de 2 % orientée vers une tranchée drainante collectrice raccordée à un exutoire.

Dans le cas contraire, la portance et la traficabilité de la plate-forme ne permettront pas de réaliser des travaux de terrassement dans de bonnes conditions et nécessiteront immanquablement des travaux supplémentaires (purge de la couche en état hydrique élevée de faible portance par des matériaux granulaires d'apports, mis en œuvre sur un géotextile non tissé ou cloutage par exemple) afin d'obtenir **une classe d'arase de type PST1/AR1 a minima** (EV_2 ≥ 20 MPa) pour la montée des remblais ou de la couche de forme.

F.3. Couche de forme (horizon n°0a) sous les voiries

F.3.1. Constitution de la couche de forme sous les voiries

Conformément au « Guide pour la construction des chaussées à faible trafic » du CETE OUEST de 2002, il sera mis en œuvre une Cdf en matériaux granulaires d'apports de bonne qualité, naturels et insensibles à l'eau (GNT de type D_{21}, D_{31} ou R_{61}) conformément à la norme NF P 11-300.

Les matériaux retenus devront être conformes à la norme NF P 11-300 et en particulier répondre aux exigences suivantes :

- $D_{max} \leq 100$ mm et passant à 80 µm ≤ 12 %.
- VBS ≤ 0.1, LA ≤ 45 et MDE ≤ 45.

F.3.2. Constitution du sol support de la couche de forme sous les voiries

Après terrassements pour atteindre le niveau fini des voiries, le Fdf sera constitué par l'horizon n°1 (remblai) ou n°2 (limon). Dans le cas des remblais, seuls les remblais graveleux inertes de bonne compacité peuvent être conservés (à confirmer en phase EXE par essais à la plaque notamment).

F.3.3. Epaisseur de la couche de forme

Cas d'une couche de forme en matériaux granulaire d'apport :

Compte tenu de la présence de limon de faible compacité (horizon n°2) dans l'emprise de la zone concernée par les travaux, l'épaisseur de couche de forme devrait être de **65 à 75 cm** (avec mise en place d'un géotextile anticontaminant).

Dans le cas de rencontre de remblai graveleux de bonne compacité (horizon n°1), l'épaisseur pourra être réduite à **50 cm** (avec mise en place d'un géotextile anticontaminant).

Les matériaux seront soigneusement compactés par couche d'épaisseur inférieure ou égale à 0.3 m avec un **objectif de compactage q3** (98.5 % de l'OPN).

Au démarrage du chantier, nous recommandons notamment dans le cas de présence de remblais graveleux :

- le compactage de la partie supérieure des terrassements (PST),
- la réalisation d'essai à la plaque sur le fond de fouille compacté permettrait d'adapter l'épaisseur de couche de forme en fonction du module Ev2 mesuré afin d'atteindre l'objectif de portance,
- la réalisation de planches d'essais (vérifiées par des essais à la plaque de type LCPC), afin de caler et optimiser si nécessaire, l'épaisseur et le compactage de la Cdf au moment des travaux tout en respectant les objectifs de portance Ev2 = 50 MPa au minimum.

F.3.4. Contrôle de la compacité de la couche de forme

Portance de la PST

Avant l'exécution de l'horizon n°0a, nous recommandons de venir contrôler la portance de la PST par des essais à la plaque type LCPC ou par une autre méthode normalisée (nous recommandons de réaliser 1 essai tous les 2 000 m² de remblai, avec un minimum de 3 essais) afin de confirmer la portance des sols et éventuellement d'adapter l'épaisseur de couche de forme.

En cas de valeurs inférieures, il conviendra d'envisager la purge des zones de moindres portances, puis d'effectuer un remblaiement avec compactage.

AS de l'horizon n°0a

Il conviendra de la contrôler par des essais à la plaque selon la norme NF P 94-117-1 (minimum de 3 essais in situ, plus 1 essai tous les 1 000 m²).

Pour une plate-forme de type **PF2**, les critères de réception sont les suivants :

- Pour les couches de formes en matériaux granulaires :
  - $EV_2 \geq 50$ MPa.
  - $EV_2 / EV_1 \leq 2.2$.

F.4. Structure des voiries

A titre d'exemple, dans le cadre d'une ébauche dimensionnelle, nous proposons les structures suivantes pour des voiries soumises à un trafic T5 (structure à mettre en œuvre au-dessus de la Cdf) :

- Structure GNT :
  - Couche de Surface (CS) = 6 cm de BBS (Béton Bitumineux Souple).
  - Couche d'Assise (CA) = 16 cm de GNT 0/31.5 mm.
- Structure GB2 :
  - Couche de Surface (CS) = 4 cm de BBM (Béton Bitumineux Mince).
  - Couche d'Assise (CA) = 12 cm de GB2.

Nous recommandons vivement de prévoir une structure souple. Les structures rigides de type Béton ou Grave Ciment sont déconseillées. En effet la présence de remblais sur des épaisseurs variables engendrera des tassements différentiels inévitables. Une structure souple sera mieux adaptée et évitera la formation de cassures nettes.

NOTA 1 : Pendant la durée d'exploitation des voiries, des déformations pourraient se prévoir, ce qui nécessiteraient des rechargements ponctuels.

NOTA 2 : Dans le cas où les plates-formes seraient soumises aux intempéries, nous recommandons la réalisation d'un enduit de protection bicouche (si elles sont soumises à des circulations de chantier), monocouche sinon.

NOTA 3 : Cette proposition de structure de chaussée concerne uniquement les tracés routiers linéaires (hors aires de manœuvres, de retournements des poids-lourds, de dépôt de containers et de circulation des engins de manutention). Dans ces zones, un traitement particulier sera apporté aux voiries, comme par exemple, une structure à base d'EME (Enrobé à Module Élevé).

F.5. Vérification au gel de la structure des voiries

Les structures préconisées avec une épaisseur de couche de forme de 50 cm sont vérifiées.

F.6. Sujétions d'exécutions

Les points suivants seront à vérifier lors de l'exécution :

- De la Cdf :
  - Prévoir un enduit de cure (monocouche ou bicouche en fonction du trafic sur le chantier) + gravillonnage sur la Cdf finie pour la protéger des intempéries.
- De la structure des voiries :
  - Les interfaces doivent être collées à l'aide des couches d'accrochage (bitume et gravillons éventuels).
  - Les joints longitudinaux et transversaux seront décalés pour chaque couche.
  - Les joints longitudinaux présenteront un débord de 10 à 20 cm. Ils seront densifiés à chaud.
  - Il sera fait référence à la norme NF P 98-150-1 pour les conditions d'exécutions et de contrôles des enrobés hydrocarbonés à chaud.

G. SUITES A DONNER

G.1. Incertitudes subsistant / risques résiduels

Les contraintes spécifiques liées au projet et au site sont rappelées ci-après :

- Présence d'une nappe à faible profondeur (cf. étude hydrogéologique) en interaction avec le projet en phase travaux et en phase de service.
- La sensibilité des sols aux variations de teneur en eau notamment des sols de surface (limon) et des arènes. Il conviendra donc d'adapter les travaux en fonction des conditions hydriques des sols et des conditions météorologiques (cloutage / drainage / empierrement conséquent…) conformément aux préconisations du GTR.
- Profondeur du sol d'ancrage variable (toit de l'arène variable).
- Présence du substratum rocheux compact à des profondeurs variables nécessitant des outils spécifiques en cas d'extraction de cet horizon compact.
- Présence d'arbres nécessitant un essouchage et/ou un élagage. Dans ces zones, il conviendra de vérifier soigneusement les fond de fouille à leur ouverture.
- Présence potentielle de remblais localement sur des épaisseurs variables nécessitant des purges lors des travaux de terrassement et/ou conduisant à des approfondissements des fondations.
- Agressivité des eaux nécessitant une classe d'exposition du béton XA1.

G.2. Enchainement des missions normalisées

Le présent rapport conclut la phase PRO de la mission d'étude géotechnique de conception G2 confiée à Fondasol.

Selon la norme NF P94-500, cette phase est insuffisante pour consulter les entreprises ; elle doit être suivie de la phase DCE/ACT visant notamment à vérifier avant l'envoi du DCE aux entreprises, que les préconisations de l'étude G2 sont bien prises en compte dans les paragraphes du CCTP relatifs aux ouvrages géotechniques. Elle permet ensuite une assistance à l'analyse technique des offres (base et variantes éventuelles) lors de la phase ACT.

En l'absence de géotechnicien missionné, cette mission G2 DCE/ACT incombe et est réalisée de fait par l'équipe de MOE.

FONDASOL est à la disposition du Maître d'ouvrage et du Maître d'œuvre pour réaliser la mission d'étude G2 phase DCE/ACT.

Puis, au stade des travaux, une mission de supervision géotechnique d'exécution, phases Etudes et Suivi (mission G4), est réalisée pour le compte du MOA ou son mandataire, ayant pour objectifs :

- D'établir un avis sur les méthodes de construction, ainsi que les adaptations et optimisations des ouvrages géotechniques proposées par les entreprises de Terrassements et de Gros Œuvre.
- De vérifier le dimensionnement des ouvrages géotechniques des entreprises de Terrassements et de Gros Œuvre.
- De fournir un avis sur le programme d'auscultations et d'investigations proposé par les entreprises de Terrassements et de Gros Œuvre.
- De s'assurer du bon comportement des ouvrages en cours de travaux et de la maîtrise par les entreprises de Terrassements et de Gros Œuvre, des éventuels aléas résiduels dans le cadre de sa mission d'étude géotechnique d'exécution, phases Etudes et Suivi (mission G3), qui reste à sa charge.

Cette mission peut être réalisée par un géotechnicien (en collaboration avec la MOE). En l'absence de géotechnicien mandaté, cette mission est assumée et de fait effectuée par la MOE d'Exécution.

La continuité des missions G2 PRO, G2 DCE/ACT et G4, assure la cohérence du projet et la maîtrise des coûts jusqu'à la fin de l'exécution des ouvrages géotechniques. Si cette succession des missions G2 PRO et G2 DCE/ACT est réalisée en l'absence de géotechnicien, elle peut conduire FONDASOL à devoir réaliser un diagnostic complémentaire (à la charge du MOA), au démarrage de la mission G4, dans le cas où les solutions retenues au Marché de travaux différeraient des préconisations de la présente mission G2 PRO, pouvant rendre impossible en l'état le démarrage de la mission G4.

FONDASOL reste à la disposition du MOA et de la MOE s'il est souhaité confier tout ou partie de ces missions à un géotechnicien extérieur, ou s'il est souhaité seulement une assistance pour accompagner le MOE dans la réalisation de ces missions.

FONDASOL, Cellule Conception Nantes, reste à la disposition des différents intervenants pour tout complément d'information.

ANNEXES

1. ENCHAINEMENT DES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NF P94-500)

Le Maître d'Ouvrage doit associer l'ingénierie géotechnique au même titre que les autres ingénieries à la Maîtrise d'Œuvre et ce, à toutes les étapes successives de conception, puis de réalisation de l'ouvrage. Le Maître d'Ouvrage, ou son mandataire, doit veiller à la synchronisation des missions d'ingénierie géotechnique avec les phases effectives à la Maîtrise d'Œuvre du projet.

L'enchaînement et la définition synthétique des missions d'ingénierie géotechnique sont donnés ci-après. Deux ingénieries géotechniques différentes doivent intervenir : la première pour le compte du Maître d'Ouvrage ou de son mandataire lors des étapes 1 à 3, la seconde pour le compte de l'entreprise lors de l'étape 3.

Enchainement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique 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	**Études 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	Fonctions 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 risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (*choix constructifs*)
	PRO	**Études géotechniques de conception (G2) Phase Projet (PRO)**		Conception et justifications du projet		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)		A la charge de l'entreprise	A la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	**Étude de 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'exécutions (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 en page suivante

Février 2014

2. MISSIONS TYPES D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NORME NF P94-500)

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.

ETAPE 1 : ETUDE GEOTECHNIQUE PREALABLE (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).

ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE 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 / 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, participé à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

ETAPE 3 : ETUDES GEOTECHNIQUES DE REALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)

ETUDE ET SUIVI GEOTECHNIQUES 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 GEOTECHNIQUE 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.

A TOUTES ETAPES : DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

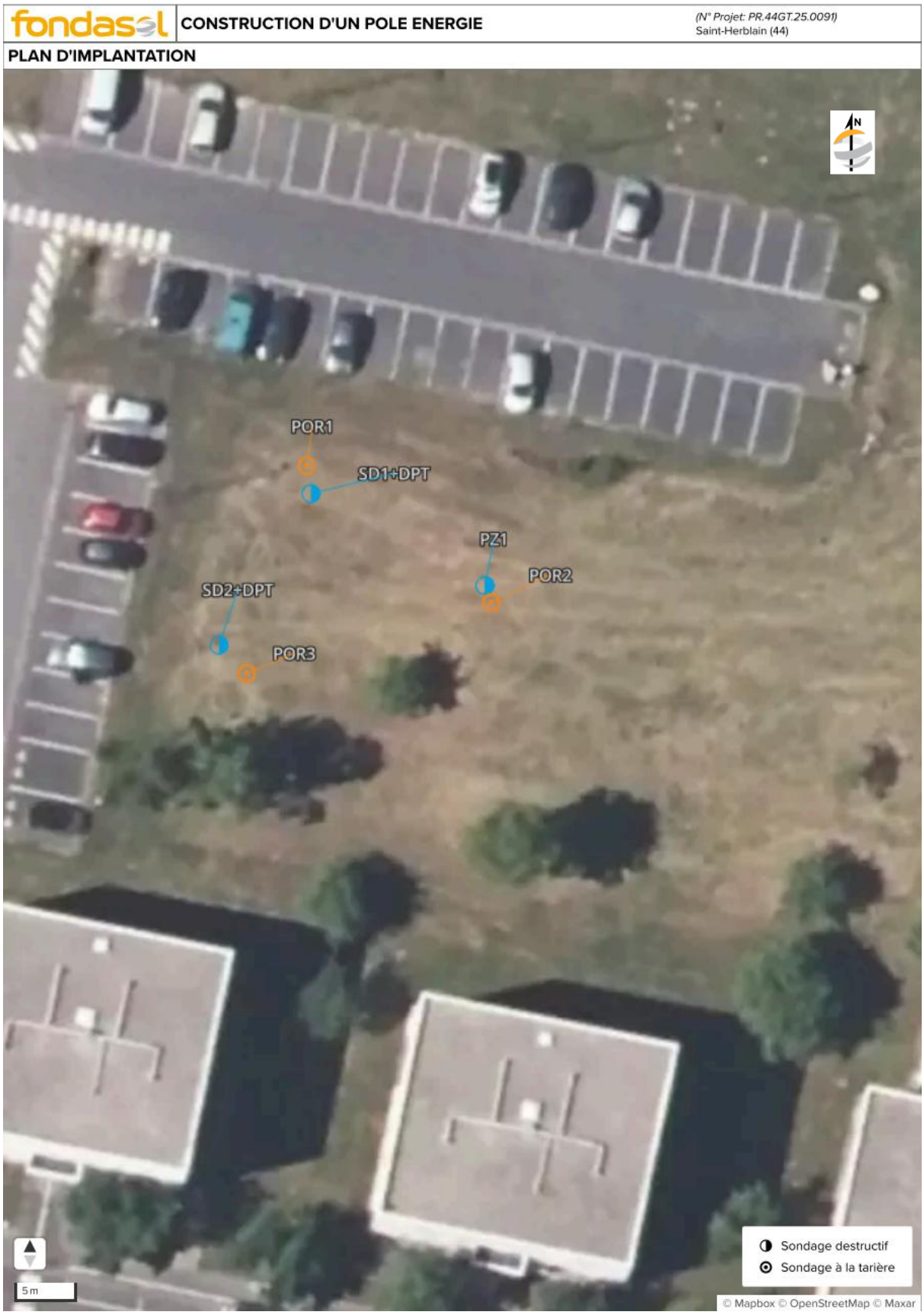
Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou 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).

Février 2014

3. PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES



4. COUPES DES SONDAGES

fondasol **CONSTRUCTION D'UN POLE ENERGIE** *(N° Projet: PR.44GT.25.0091)* Saint-Herblain (44)

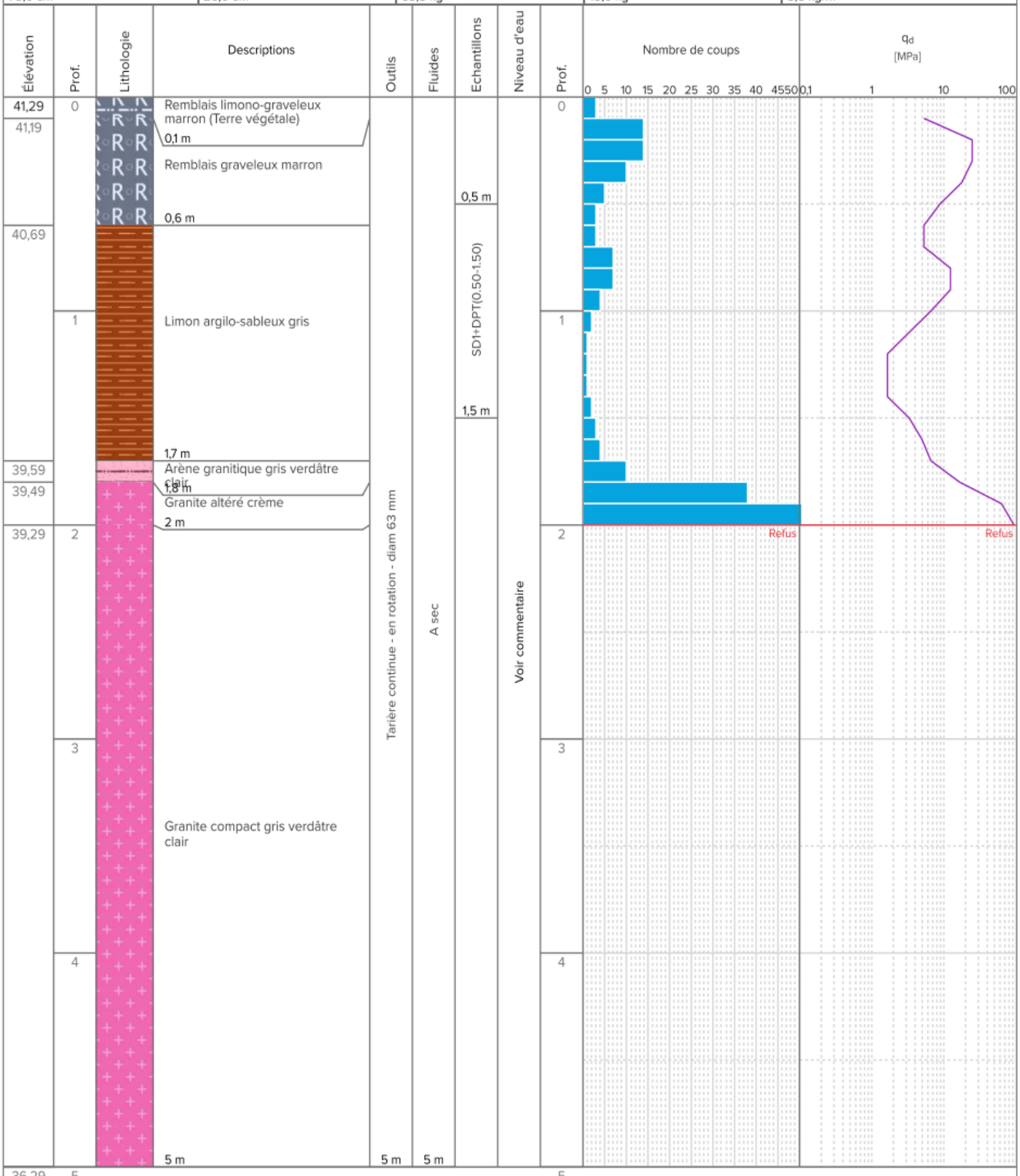
SD1+DPT

Longitude	Latitude	Système de coordonnées		
-1,6321	47,2208	WGS 84		
Élévation	**Nivellement**	**Angle**	**Azimut**	**Prof. atteinte**
+41,29 m	NGF	-	-	2,0 m

Données	Type	Début	Fin	Machine	Opérateur
SD1+DPT_DPT_DYNAMIQUE	Pénétromètre dynamique	02/06/2025	02/06/2025	FL40.13	LAKHDARI Abdelkader

Type de pénétromètre	Facteur de correction
DPSH-B	1,0

Hauteur de chute	Surface de pointe	Masse frappante	Masse accessoire	Masse de la tige
75,0 cm	20,0 cm^2	63,5 kg	15,0 kg	5,6 kg/m



Pas d'eau fin de forage
Pas d'eau en cours

fondasol

CONSTRUCTION D'UN POLE ENERGIE

(N° Projet: PR.44GT.25.0091)
Saint-Herblain (44)

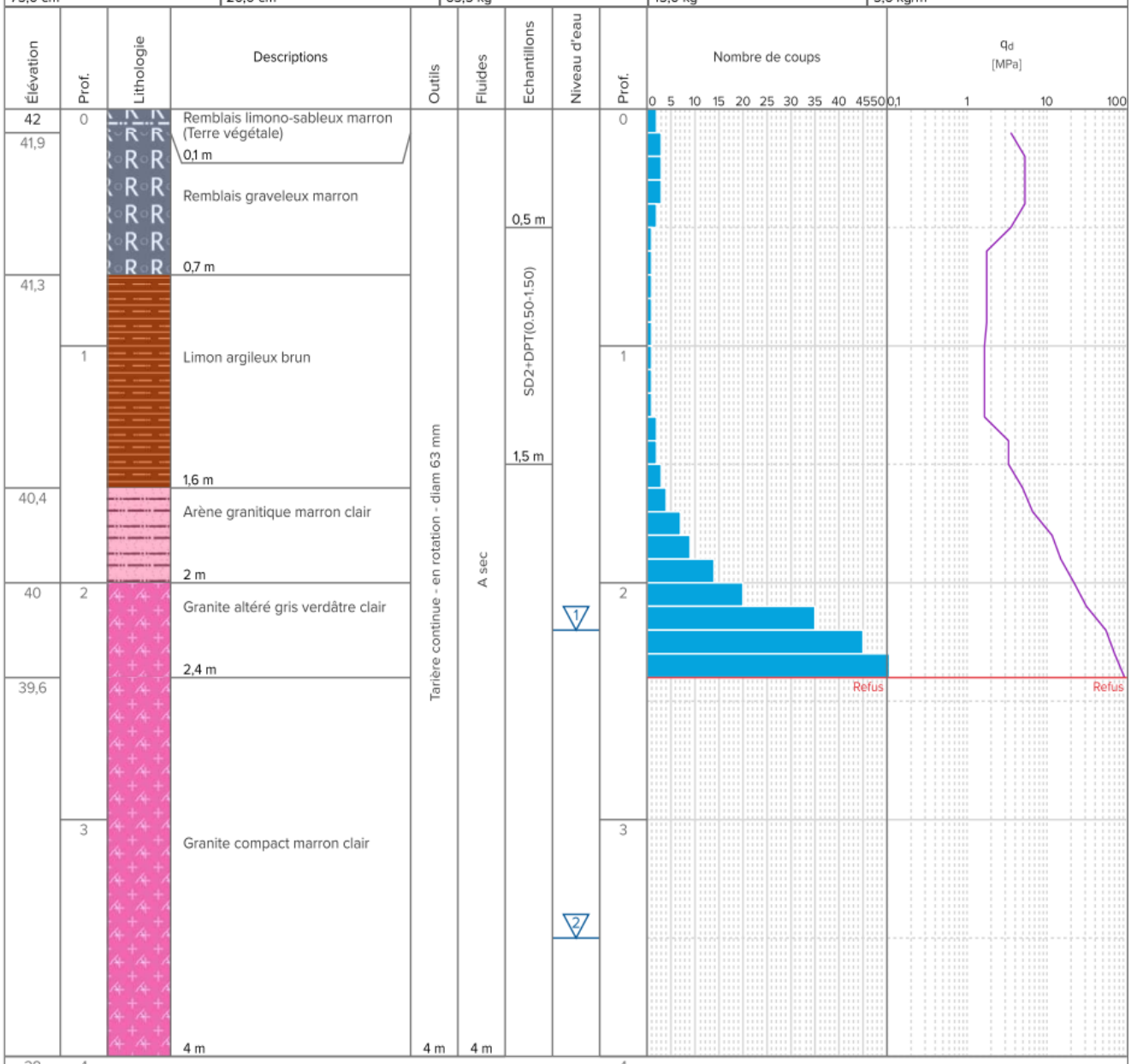
SD2+DPT

Longitude	Latitude	Système de coordonnées		
-1,6322	47,2207	WGS 84		
Élévation	**Nivellement**	**Angle**	**Azimut**	**Prof. atteinte**
+42,0 m	NGF	-	-	2,4 m

Données	Type	Début	Fin	Machine	Opérateur
SD2+DPT_DPT_DYNAMIQUE	Pénétromètre dynamique	02/06/2025	02/06/2025	FL40.13	LAKHDARI Abdelkader

Type de pénétromètre	Facteur de correction
DPSH-B	1,0

Hauteur de chute	Surface de pointe	Masse frappante	Masse accessoire	Masse de la tige
75,0 cm	20,0 cm^2	63,5 kg	15,0 kg	5,6 kg/m



[1]Niveau d'eau fin de forage - 2,2m
[2]Niveau d'eau en cours - 3,5m

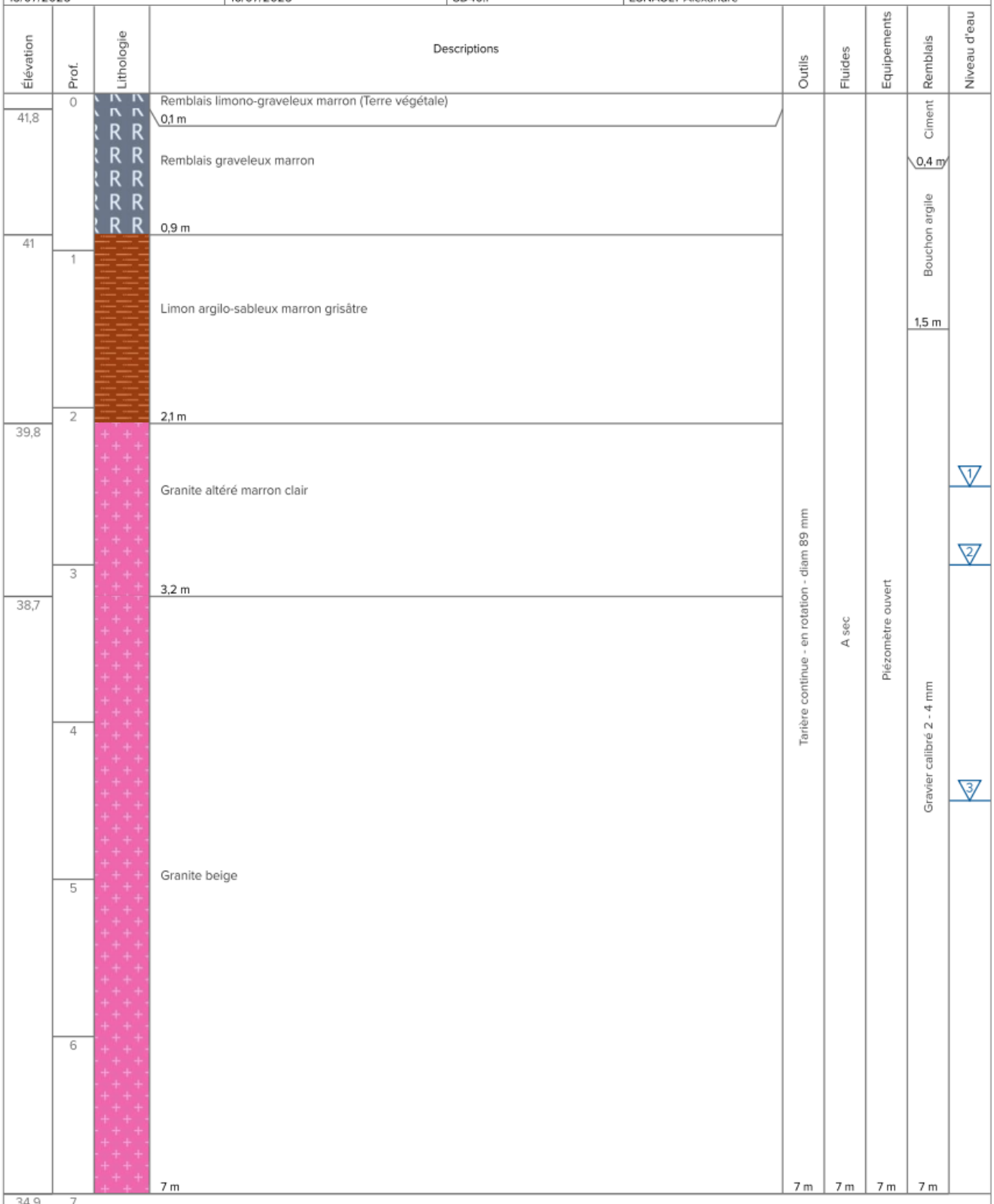
fondasol

CONSTRUCTION D'UN POLE ENERGIE

(N° Projet: PR.44GT.25.0091)
Saint-Herblain (44)

PZ1	Longitude	Latitude	Système de coordonnées			Précision des relevés
	-1,6320	47,2208	WGS 84			Plurimétrique
	Élévation	Prof. atteinte	Angle	Azimut	Nivellement	Précision des nivellements
	+41,9 m	7,0 m	-	-	NGF	Mètre

Début	Fin	Machine	Opérateur
15/07/2025	16/07/2025	SD40.1	ESNAULT Alexandre



[1]Niveau d'eau fin de chantier - 2,5m
[2]Niveau d'eau fin de forage - 3m
[3]Niveau d'eau en cours - 4,5m

5. RESULTATS D'ANALYSE D'AGRESSIVITE

inovalys

RAPPORT D'ANALYSES N°

D250717684

cofrac ESSAIS Accréditations n° 1-5752 n° 1-7139 n° 1-7140 n° 1-7141 n° 1-7142 n° 1-7143 Liste des sites et portées disponibles sur www.cofrac.fr

Réf Client : PZ1 (Eaux douces diverses (non naturelles))

Descriptif client : PR.44GT.25.0091 Saint-Herblain

Prélevé le 16/07/2025

Prélevé par : CLIENT

Le prélèvement n'est pas réalisé par le laboratoire, les caractéristiques associées à l'échantillon ne sont pas de sa responsabilité. Les résultats s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu.

N° échantillon Inovalys : E2507053484 Date de réception : 25/07/2025 14:00

Commentaire : - Attention, la température de l'enceinte transportant vos échantillons est non conforme (supérieure à 8°C). Nous vous invitons à l'avenir à envoyer/transporter vos prélèvements dans une boite isotherme avec plusieurs blocs eutectiques afin de maintenir une température correcte. A noter que certains paramètres peuvent être impactés par la température.
- Attention: selon la norme de conservation des échantillons NF EN ISO 5667-3, certains paramètres nécessitent un délai de mise en analyse à J+1. Merci de déposer vos échantillons à J+1 maximum après le prélèvement. - Résultats émis "Hors Accréditation Cofrac" en raison d'un dépassement de délai entre prélèvement et analyse (+24h; problème de transporteur)

	Paramètres	Résultats	Unité	LQ	Spécifications	Méthode	Date analyse
	Température à l'arrivée au laboratoire (°C) : n° Sandre : 8727	9,8	°C				
	Agressivité de l'eau sur les bétons (P18-011)						
N	pH n° Sandre : 1302	6,5	unité pH	4		Potentiométrie	28/07/25
N	Température lors de la mesure du pH n° Sandre : 6484	19,1	°C			Méthode interne Potentiométrie	28/07/25
N	Azote ammoniacal n° Sandre : 1335	0,11	mg(NH4)/L	0,010		Spectrophotométrie UV-Vis automatisée	28/07/25
N	Anhydride carbonique agressif (CO2 ag) n° Sandre : 6426	35,9	mg/L	0,2		Méthode interne Calcul	28/07/25
N *	Titre alcalimétrique complet (TAC) n° Sandre : 1347	14,8	°f	0,5		ISO/TS 15923-2 Spectrophotométrie UV-Vis automatisée	28/07/25
N	TAC d'équilibre n° Sandre : 6544	23,0	°f	0,5		ISO/TS 15923-2 (essai au marbre)-Spectrophotométrie UV-Vis automatisée	28/07/25
N *	Sulfates n° Sandre : 1338	60,3	mg(SO4)/L	5		NF EN ISO 15923-1 Spectrophotométrie UV-Vis automatisée	28/07/25
N *	Magnésium n° Sandre : 1372	76,6	mg/L	0,5		Méthode interne N-EAUX/M/051 ; NF EN ISO 17294-2 Minéralisation HNO3-HCl-ICP-MS	04/08/25

Approuvé le 07/08/2025 par Carole GARNIER ,
Responsable laboratoire Chimie Environnement

inovalys

RAPPORT D'ANALYSES N°

D250717684

cofrac ESSAIS Accréditations n° 1-5752 n° 1-7139 n° 1-7140 n° 1-7141 n° 1-7142 n° 1-7143 Liste des sites et portées disponibles sur www.cofrac.fr

Réf Client : PZ1 (Sols divers (hors Sites et Sols Pollués - SSP))

Descriptif client : PR.44GT.25.0091 Saint-Herblain

Prélevé le 15/06/2025

Prélevé par : CLIENT

Le prélèvement n'est pas réalisé par le laboratoire, les caractéristiques associées à l'échantillon ne sont pas de sa responsabilité. Les résultats s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu.

N° échantillon Inovalys : E2507053485 Date de réception : 25/07/2025 14:00

	Paramètres	Résultats	Unité	LQ	Spécifications	Méthode	Date analyse
	Température à l'arrivée au laboratoire (°C) : n° Sandre : 8727	9,8	°C				
	Agressivité des sols sur les bétons (FD P18-011)						
N	Sulfates extractibles par HCl	298	mg(SO4)/kg	60		FD P18-011 Extraction à l'acide chlorhydrique	05/08/25
N	Degré d'acidité des sols selon BAUMANN-GULLY	129,0	mL/kg	1,0		FD P18-011 Titrimétrie	05/08/25

Approuvé le 07/08/2025 par Carole GARNIER ,
Responsable laboratoire Chimie Environnement

6. RESULTATS DES ESSAIS PORCHET

PYXIS par fondasol

Compte rendu d'essai Porchet à charge constante

Circulaire 20/08/1994 assainissement autonome des bâtiments d'habitation

RÉFÉRENCE : PR.44GT.25.0091 — PROJET : Saint Herblain — OUTIL : Porchet v1.0

NOM DU CALCUL : PORCHET

Vérificateur

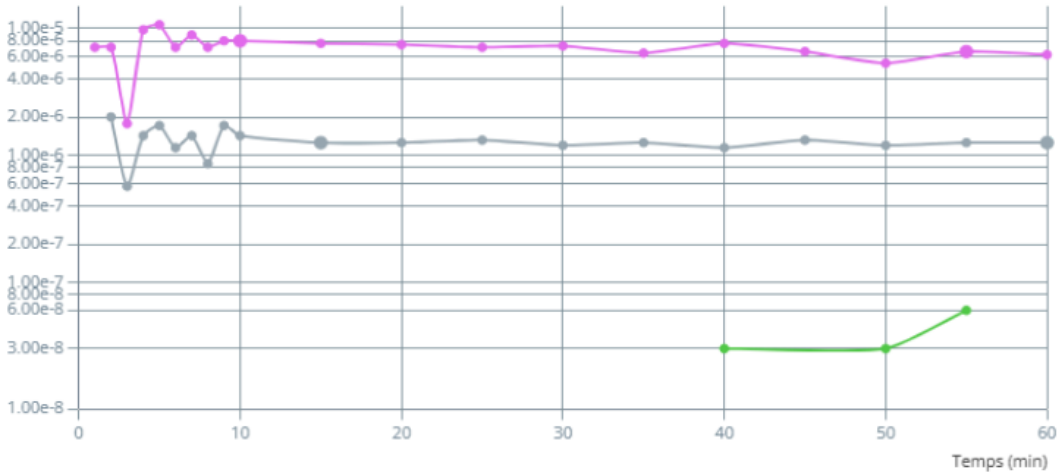
-

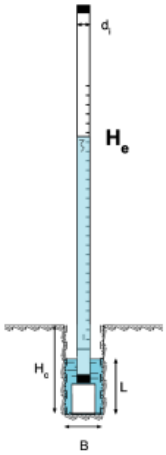
Observations

-

	POR1	POR2	POR3	-	-	-
LONGITUDE	-0.891201	-1.571375	-1.632185	-	-	-
LATITUDE	47.690195	47.240211	47.220704	-	-	-
DIAMÈTRE INTÉRIEUR TUBE d_i (mm)	44	44	44	-	-	-
PROFONDEUR H_c (m)	0.5	0.8	0.3	-	-	-
HAUTEUR INFILTRATION L (mm)	23	235	150	-	-	-
DIAMÈTRE FORAGE B (mm)	150	100	150	-	-	-
DATE DÉBUT SATURATION	09/07/25 11:30	21/02/25 08:51	12/08/25 09:55	-	-	-
DATE DÉBUT ESSAI	09/07/25 12:36	21/02/25 10:17	12/08/25 10:55	-	-	-
NATURE DU SOL	Remblais limoneux +/- graveleux	Remblais limoneux +/- graveleux	Remblais limoneux +/- graveleux	-	-	-
MÉTÉO	Ensoleillé	Temps couvert	Ensoleillé	-	-	-
VENT	Vent faible	Vent faible	Vent faible	-	-	-
TEMPÉRATURE	25	11	25	-	-	-
OBSERVATIONS	-	-	-	-	-	-

Perméabilité instantanée (m/s)





N° ESSAI	ESSAI	DATE ESSAI	PERMÉABILITÉ		
1	POR1	09/07/25 12:36	7,00E-6 m/s	25 mm/h	
2	POR2	21/02/25 10:17	< 1.10^{-7} m/s		< 0.36 mm/h
3	POR3	12/08/25 10:55	1,25E-6 m/s	5 mm/h	

www.groupefondasol.com