

Construction d'une volière pour drones  
Ecole Centrale de Nantes  
NANTES (44)  
\*\*\*\*\*  
MISSION GEOTECHNIQUE G2 PRO

<b>D</b>			
<b>C</b>			
<b>B</b>	19/04/24	65	Voiries
<b>A</b>	02/04/24	60	PREMIERE DIFFUSION
INDICE	DATE	Nb de pages	MODIFICATIONS-OBSERVATIONS
<b>REDACTEUR</b>	<b>RELECTEUR</b>	<b>APPROBATEUR</b>	
M. GEFFRELOT	S. JARRY	S. TURLE	

**Ecole Centrale de Nantes**  
**1 Rue de la Noë**  
**44300 NANTES**

**Dossier A24.0208B**



*Le présent rapport comporte **65** pages. Sauf autorisation écrite préalable, sa reproduction n'est autorisée que dans son intégralité. Toute modification ou utilisation frauduleuse sera passible de poursuites.*

# SOMMAIRE

<b>I</b>	<b>LE SITE</b>	<b>4</b>
I1.	DESCRIPTION DU SITE	4
I.1.1	<i>Situation – Etat des lieux</i>	4
I.1.2	<i>Topographie</i>	4
I2.	CONTEXTE GEOLOGIQUE	5
I3.	CONTEXTE HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	5
I4.	CONTEXTE SISMIQUE	6
I5.	SENSIBILITE DES ARGILES	7
I6.	EXPOSITION AU RADON	7
I7.	SYNTHESE DES RISQUES GEOTECHNIQUES	8
<b>II</b>	<b>LE PROJET</b>	<b>9</b>
II1.	CARACTERISTIQUES DU PROJET	9
II2.	EXIGENCES DU PROJET	10
II3.	DESCENTES DE CHARGES	10
<b>III</b>	<b>DOCUMENTS REMIS POUR L'ETUDE</b>	<b>13</b>
<b>IV</b>	<b>RECONNAISSANCE DE SOL</b>	<b>14</b>
IV1.	SONDAGES PRESSIOMETRIQUES	15
IV.1.1	<i>Coupe des sondages</i>	15
IV.1.2	<i>Essais pressiométriques</i>	16
IV.1.2.1	Principe de l'essai (norme NF EN ISO 22476-4)	16
IV.1.2.2	Résultats des essais	16
IV.1.3	<i>Caractéristiques pressiométriques</i>	17
IV2.	SONDAGES A LA PELLE MECANIQUE	18
IV3.	RECONNAISSANCE DES FONDATIONS	19
IV4.	AGRESSIVITE DU MILIEU VIS-A-VIS DES BETONS DE FONDATION (NF EN 206/CN)	20
IV.4.1	<i>Résultats</i>	20
IV.4.1.1	Analyse de l'agressivité de l'eau	20
IV.4.1.2	Analyse de l'agressivité des sols	20
IV5.	ESSAIS EN LABORATOIRE	21
IV6.	HYDROGEOLOGIE	22
IV.6.1	<i>Piézométrie</i>	22
IV.6.2	<i>Perméabilité</i>	22
<b>V</b>	<b>SISMICITÉ</b>	<b>23</b>
V1.	ANALYSE DU RISQUE DE LIQUEFACTION	23
V2.	CHOIX DE LA CLASSE DU SOL	24
<b>VI</b>	<b>FONDATIONS</b>	<b>25</b>
VI1.	CONTEXTE GEOTECHNIQUE	25
VI2.	CARACTERISTIQUES PRESSIOMETRIQUES	25
VI3.	RAPPEL DE LA G2 AVP	26
VI4.	JUSTIFICATION DE LA CAPACITE PORTANTE	27
VI.4.1	<i>Vérification de l'excentrement</i>	29
VI5.	VERIFICATION DU NON-GLISSEMENT (ELUS)	30
VI6.	TASSEMENTS	31

<b>VII NIVEAU BAS</b>	<b>33</b>
<b>VIII VOIRIES</b>	<b>35</b>
VIII1. CLASSES DE TRAFIC	35
VIII2. PLATE-FORME SUPPORT DE CHAUSSEE	35
VIII.2.1 Définition	35
VIII.2.2 Choix de la classe de plate-forme	36
VIII.2.3 Qualification de la portance de la P.S.T.	37
VIII.2.4 Dimensionnement de la couche de forme en fonction de la classe de plate-forme à atteindre :	37
VIII.2.5 Vérification de la portance :	39
<b>IX SUJETIONS D'EXECUTION</b>	<b>40</b>
<b>X CONCLUSION</b>	<b>41</b>
ANNEXES	42
✓ CONDITIONS GENERALES	43
✓ MISSIONS GEOTECHNIQUES	44
✓ MISSIONS GEOTECHNIQUES	45
✓ SITUATION GEOGRAPHIQUE	46
✓ PLAN DE SITUATION	47
✓ PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES	48
✓ PROFIL PRESSIOMETRIQUE SP1	49
✓ PROFIL PRESSIOMETRIQUE SP2	50
✓ PROFIL DESTRUCTIF/PIEZOMETRE SD1/PZ1	51
✓ PELLE MECANIQUE PM1	52
✓ PELLE MECANIQUE PM2	53
✓ ESSAI MATSUO MA1	54
✓ ESSAI MATSUO MA2	55
✓ ESSAI MATSUO MA3	56
✓ SONDAGE DE RECONNAISSANCE DES FONDATIONS RF1	57
✓ ESSAIS DE LABORATOIRE : CLASSIFICATION GTR SP2(0,8 – 1,8 m)	58
✓ AGRESSIVITE DU SOL VIS-A-VIS DU BETON	62

A la demande et pour le compte de l'Ecole Centrale de Nantes, APC INGENIERIE a procédé, à l'étude de sol **de la phase projet (mission G2 PRO) de construction d'une volière pour drones de type RDC sans niveau de sous-sol avec une ossature métallique** situé à **NANTES (44)**.

Cette étude complète l'*Etude Géotechnique de Conception*, **mission G2 phase Avant-Projet (AVP)** au sens de la norme NFP 94-500 de novembre 2013, référencée A23.1422 en date du 25 janvier 2024.

## **I LE SITE**

### **I1. DESCRIPTION DU SITE**

#### **I.1.1 Situation – Etat des lieux**

Le projet se situe au Nord de la commune de NANTES dans une zone aménagée, l'Ecole Centrale de Nantes. L'accès à la zone se fait depuis l'entrée de l'école. La parcelle étudiée est inscrite au cadastre sous la référence 000 PX 401 d'une superficie de 136 863 m<sup>2</sup>. Lors de notre intervention, le terrain correspondait à un terrain borné et enherbé.

#### **I.1.2 Topographie**

L'altitude des sondages SP1, SD1 et SP2 a été relevée par rapport à un tampon cotée 25.71 NGF situé à proximité de la parcelle et localisé sur le plan d'implantation des sondages.

Le terrain présente une pente d'environ 2% % vers le Nord, son altitude variant des cotes 26.13 à 27.14 NGF au droit des sondages réalisés.



## I2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Les documents géologiques et notamment la carte de « NANTES » au 1/50 000<sup>ème</sup>, complétés par les études réalisées sur le secteur indiquent la présence de recouvrement des plateaux et le substratum micaschisteux.

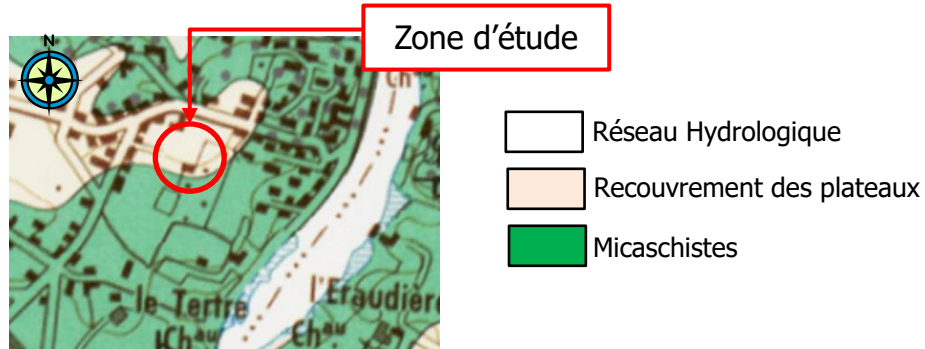


Figure 1 : Extrait de la carte géologique de NANTES au 1/50 000 – Source : Infoterre BRGM

## I3. CONTEXTE HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

D'après les cartes du BRGM, le terrain étudié est situé :

- Dans une zone **potentiellement sujette** aux débordements de nappe,

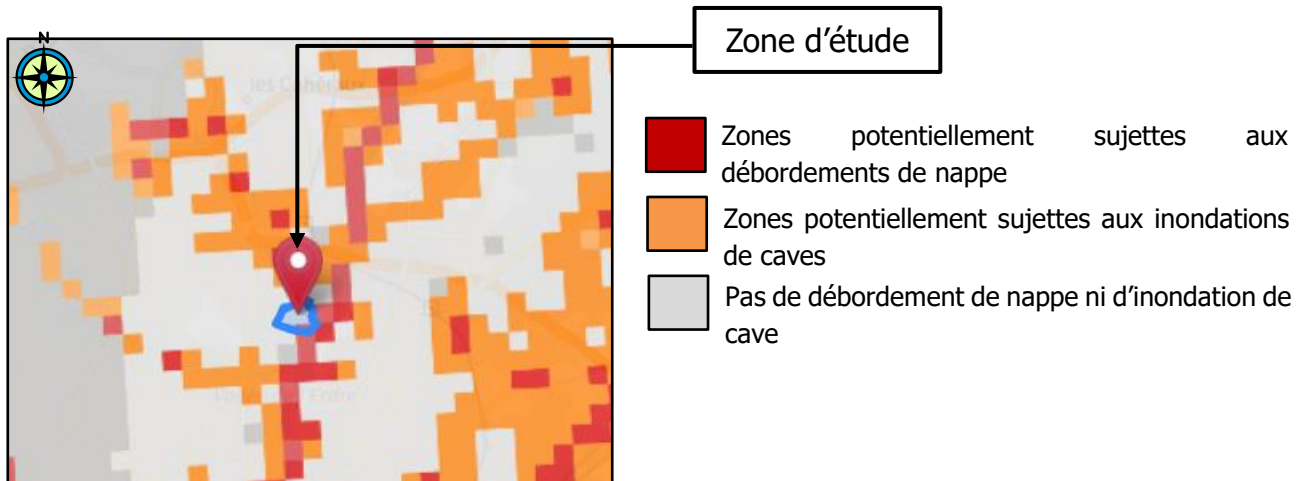


Figure 2 : Extrait de la carte du BRGM vis-à-vis du risque de remontées de nappes – Source : georisques.gouv.fr

- Dans une zone **non concernée** par des Inondations Potentielles cours d'eau et submersion marine de plus d'un hectare.

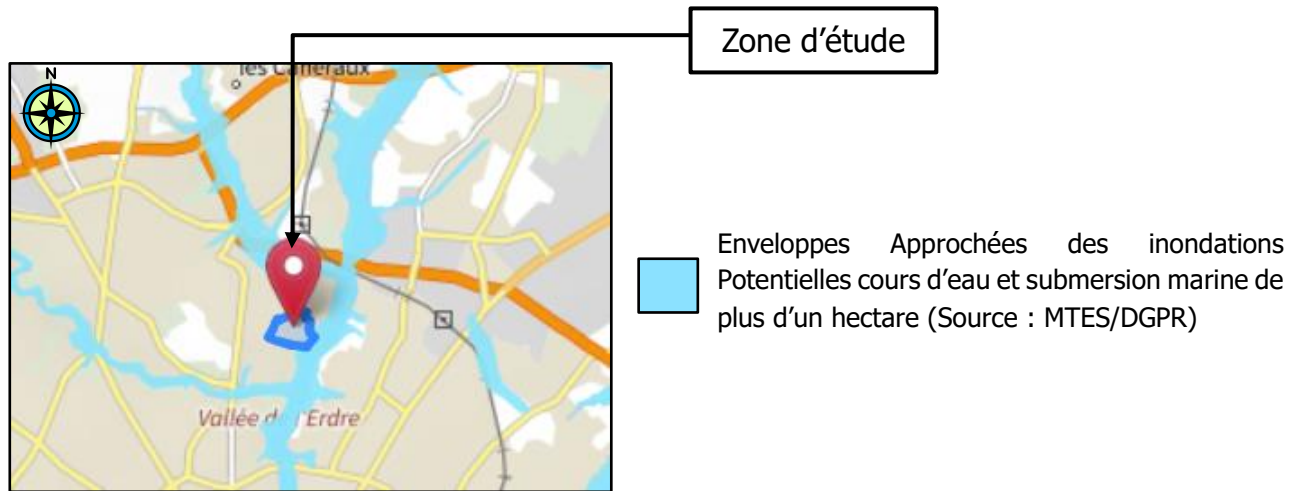


Figure 3 : Extrait de la carte du BRGM vis-à-vis du risque de remontées de nappes – Source : [georisques.gouv.fr](http://georisques.gouv.fr)

Cependant, ces cartes comportent de fortes incertitudes dues :

- À une accumulation d'informations manquantes, incomplètes ou imprécises ;
- À l'ordre de grandeur des valeurs recherchées ;
- À la complexité des milieux mis en jeu ;
- À l'échelle d'utilisation (inférieure à 1/100 000ème).

De plus, la carte réalisée n'est pas valide pour les zones karstiques (manifestant un comportement particulier et relativement mal connu sur certains secteurs), les zones urbaines (dont les aménagements modifient les écoulements souterrains) et les secteurs après mine (subissant des modifications des écoulements souterrains dues aux pompages des eaux d'exhaure ou à l'arrêt des pompages).

#### **I4. CONTEXTE SISMIQUE**

D'après le nouveau zonage sismique (décret N°2010-1255 du 22 Octobre 2010), la commune de NANTES (44) se situe en **zone sismique 3 (aléa modéré)**.

## I5. SENSIBILITE DES ARGILES

D'après les données du BRGM, le site est localisé dans une zone **d'aléa faible vis-à-vis du risque de retrait-gonflement des argiles**.

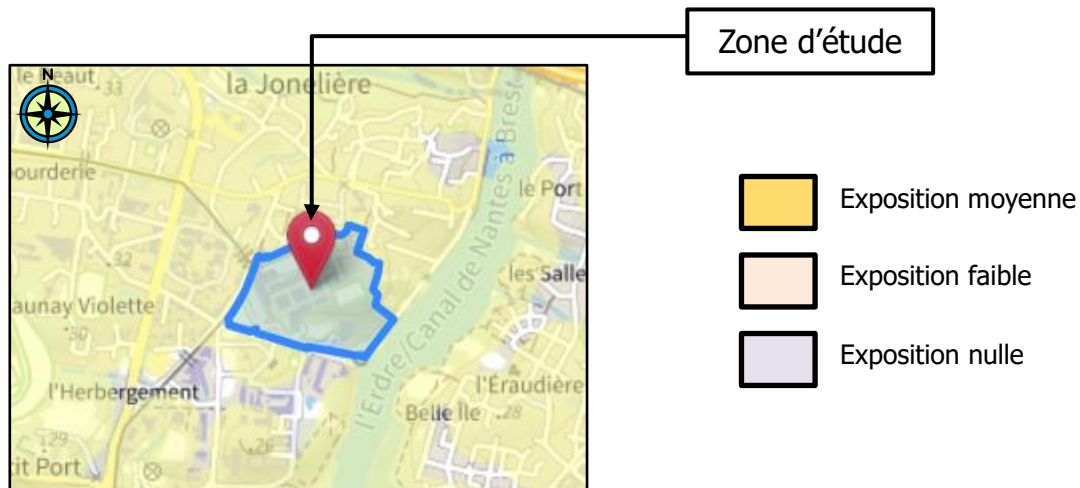


Figure 4 : Extrait de la carte du BRGM vis-à-vis du retrait-gonflement des argiles – Source : georisques.gouv.fr

## I6. EXPOSITION AU RADON

D'après les données du BRGM, le site est localisé dans une zone **d'aléa fort de catégorie 3 vis-à-vis du risque d'exposition au radon**.

## **I7. SYNTHÈSE DES RISQUES GÉOTECHNIQUES**

La synthèse des différents risques géotechniques à prendre en compte pour le projet est présentée dans le tableau suivant :

*Tableau 1 : Synthèse des risques géotechniques*

Type de risque	Fort	Moyen	Faible	Très faible
Risque d'inondation de cave et débordement de nappe	<b>Zone potentiellement sujette aux débordements de nappes</b>			
Risque inondations potentielles de cours d'eau et submersion marine	<b>Zone non concernée</b>			
Risque sismique		<b>X</b>		
Risque lié au retrait-gonflement des argiles		<b>X</b>		
Risque lié à l'exposition au radon	<b>X</b>			
Présence de cavités	<b>Commune concernée</b>			

## II LE PROJET

### II1. CARACTERISTIQUES DU PROJET

Le projet PARMATAC consiste en la construction d'une volière pour drones d'environ 600m<sup>2</sup> afin de permettre l'évolution dans un espace sécurisé de drones volants et circulants, ainsi que celle d'un véhicule autonome.

Le projet comprend :

- La création d'une volière pour drones
- La construction de modules de garages et d'atelier pilotage
- La création de voiries aux abords de la construction.

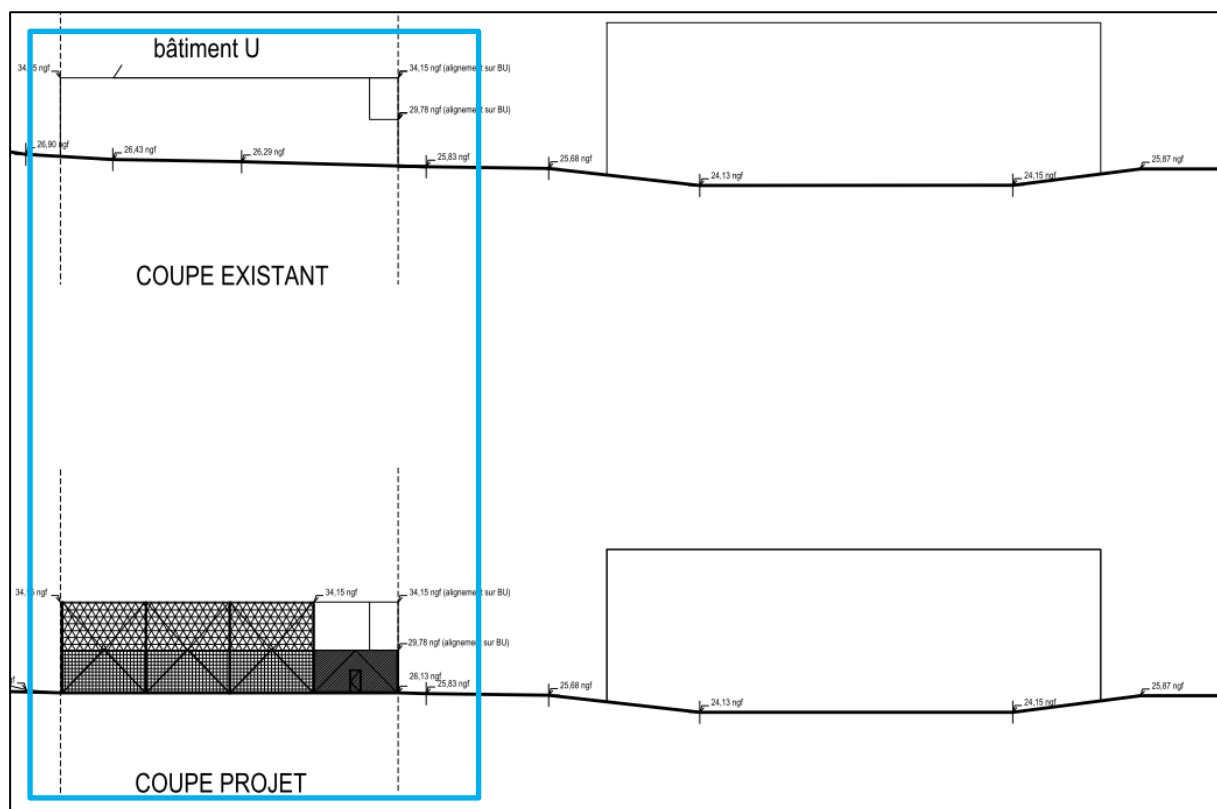


Figure 5 : Coupe du projet et de l'existant

## II2. EXIGENCES DU PROJET

A titre indicatif, conformément aux normes NF EN 1990 et NF EN 1997-1/NA, les exigences suivantes, relative à la structure, ont été retenues vis-à-vis du projet :

- Durée d'utilisation : 50 ans,
- Classe de conséquence : CC2,
- Catégorie géotechnique : 2.

Ces hypothèses devront être validées par la Maîtrise d'Ouvrage.

## II3. DESCENTES DE CHARGES

D'après les informations fournies par le Bureau d'Etudes OTEIS le 21/02/2024, les valeurs des descentes de charges à prendre en compte sont les suivantes :

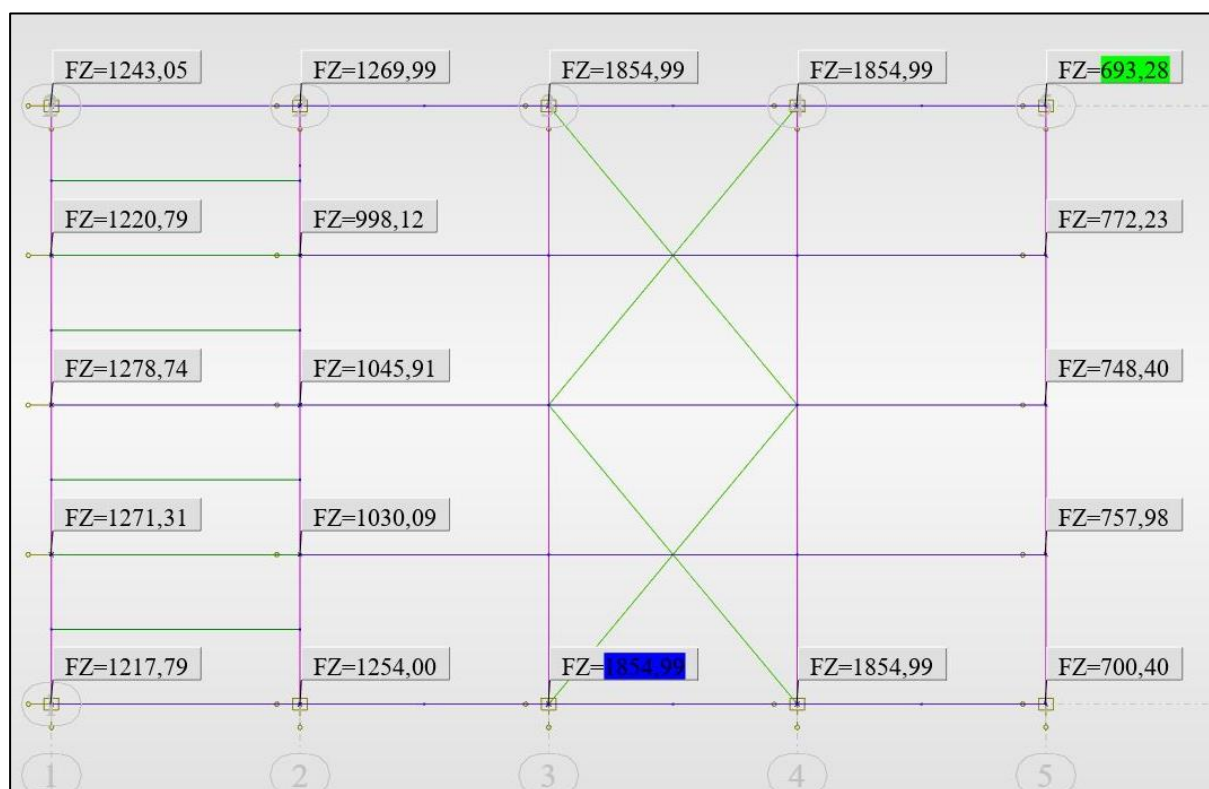


Figure 6 : Descentes de charges ELS transmises

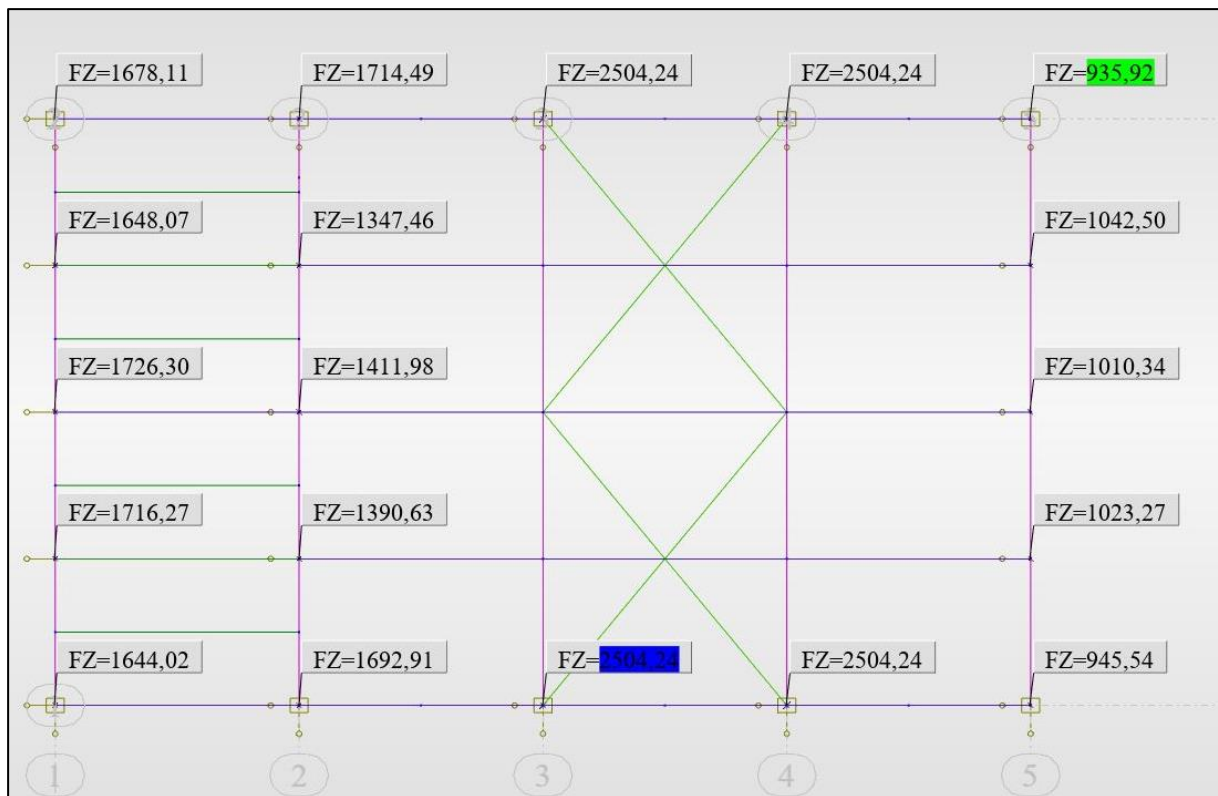


Figure 7 : Descentes de charges ELU transmises

Aucun moment ni aucun effort horizontal ne nous a été transmis dans la descente de charges.

Le cas échéant, il conviendra de le prendre en compte dans le dimensionnement des semelles.

Les charges verticales sont donc les suivants :

Tableau 2 : Synthèse des charges

Type de semelle	N°	Charges verticales Vd			
		ELU Fond (Tou T/ml)	ELU Sis (Tou T/ml)	ELS QP (Tou T/ml)	ELS Caract (Tou T/ml)
Semelle isolée carrée	A1	1,68	1,68	1,24	1,24
Semelle isolée carrée	A2	1,65	1,65	1,22	1,22
Semelle isolée carrée	A3	1,73	1,73	1,28	1,28
Semelle isolée carrée	A4	1,72	1,72	1,27	1,27
Semelle isolée carrée	A5	1,64	1,64	1,22	1,22
Semelle isolée carrée	B1	1,72	1,72	1,27	1,27
Semelle isolée carrée	B2	1,35	1,35	1,00	1,00
Semelle isolée carrée	B3	1,41	1,41	1,05	1,05
Semelle isolée carrée	B4	1,39	1,39	1,03	1,03
Semelle isolée carrée	B5	1,69	1,69	1,25	1,25
Semelle isolée carrée	C1	2,50	2,50	1,86	1,86
Semelle isolée carrée	C5	2,50	2,50	1,86	1,86
Semelle isolée carrée	D1	2,50	2,50	1,86	1,86
Semelle isolée carrée	D5	2,50	2,50	1,86	1,86
Semelle isolée carrée	E1	0,94	0,94	0,69	0,69
Semelle isolée carrée	E2	1,04	1,04	0,77	0,77
Semelle isolée carrée	E3	1,01	1,01	0,75	0,75
Semelle isolée carrée	E4	1,02	1,02	0,76	0,76
Semelle isolée carrée	E5	0,95	0,95	0,70	0,70

**Les descentes de charges fournies servent d'éléments pour le dimensionnement des fondations au stade de la mission G2PRO. Ils ne pourront en aucun cas servir d'éléments de référence pour le dimensionnement des fondations au stade EXE.**

**La combinaison des charges sera à vérifier par le BET Structure.**



### **III DOCUMENTS REMIS POUR L'ETUDE**

Cette étude a été réalisée à partir des documents suivants :

Document remis lors de l'étude G2 AVP :

- Cadre d'étude géotechnique,
- Plan photogrammétrique au 1/1000<sup>ème</sup>,
- Une étude de sol (FONDASOL) réalisée sur la même parcelle du site étudié,
- Plan de masse du projet au 1/200<sup>ème</sup> avec le repérage des sondages,
- Plan de recollement des réseaux existants au 1/200<sup>ème</sup>,
- Plans AVP architecte (6 pages) reçu le 07.12.2023.

Document remis pour l'étude G2 PRO :

- Plan d'ensemble, référencé « STR-01 », réalisée par OTEIS, en date Février 2024.
- Descente de charges ELS de l'ouvrage, réalisée par OTEIS.
- Descente de charges ELU de l'ouvrage, réalisée par OTEIS.

## IV RECONNAISSANCE DE SOL

L'étude géotechnique de conception, **mission G2 phase Projet (PRO)**, au sens de la norme NF P94-500 de novembre 2013, a pour objectif d'optimiser les choix constructifs des ouvrages géotechniques (mode de fondation, terrassements, soutènements et niveaux bas) puis de dimensionner les ouvrages retenus par les différents intervenants.

Dans le cadre de l'étude géotechnique de conception, **mission G2 phase Avant-Projet (AVP)** référencée A23.1422 en date de 25 janvier 2024, APC INGENIERIE a réalisé les investigations suivantes :

- **Deux sondages pressiométriques** SP1 et SP2 descendus entre **4,70 et 6,0 m** de profondeur (refus tarière).
- **Un sondage destructif SD1 avec pose d'un tube piézométrique** descendus à **3,08 m (un suivi piézométrique est en cours pendant 6 mois)**.
- **Deux sondages de reconnaissances de sol** à la pelle mécanique PM1 & PM2 dans les zones de voiries.
- **Une reconnaissance de fondations existantes** à la pelle mécanique RF1 dans le bâtiment existant adjacent à la zone d'étude.
- **Trois essais de perméabilité de type MATSUO** dans des sondages creusés à la pelle mécanique MATS1 à MATS3.
- **Des essais en laboratoire** pour évaluation du potentiel de liquéfaction des sols vis-à-vis du risque sismique suivant la norme NF P06-013 § 9 et classification GTR des sols.
- **Une analyse de l'agressivité chimique de l'eau et des sols** vis-à-vis du béton de fondation (norme NF EN 206/CN).

Les sondages ont été forés en tarière hélicoïdale de 63 mm diamètre à l'aide de sondeuses **ECOFOR 302**, équipées d'enregistreur de paramètres.

Les caractéristiques mécaniques ont été déterminées par des essais pressiométriques de type LOUIS MENARD répartis dans les sondages pressiométriques. Ces essais et leur interprétation ont été exécutés selon la norme NF EN ISO 22476-4 de mai 2015.

L'implantation des points de reconnaissance est reportée sur le plan joint en annexe. La précision du plan est de l'ordre du mètre.

## IV1. SONDAGES PRESSIOMETRIQUES

### IV.1.1 Coupe des sondages

Les sondages ont fait l'objet d'un levé, présenté sur le profil joint en annexe qui regroupe les informations suivantes :

- Description sommaire des sols rencontrés lors du forage,
- Paramètres de forage (vitesse d'avancement),
- Caractéristiques pressiométriques en Mégapascals (MPa) avec :
  - $E_M$      Module de déformation pressiométrique
  - $P_l$      Pression limite
  - $P_f$      Pression de fluage
- Remarques sur la présence éventuelle d'eau et niveau,
- Observations sur le mode et la conduite des forages.

Les coupes relevées ont mis en évidence les formations suivantes :

*Tableau 3 : Coupes géologiques relevés au droit des sondages*

Profondeur de la base de la couche	Sondage (Cote NGF)	SP1 (26.23)	SP2 (26.6)	SD1-PZ1 (26.13)
	Terre végétale & argiles superficielles	-0,40 m	-0,40 m	-0,40 m
	Limon Argileux Noir humide	-1,00 m	-1,00 m	-1,00 m
	Altération Micaschisteuse à matrice limono sableuse	-1,90 m	-1,80 m	-2,0 m
	Micaschiste altéré à compact gris	-6,00 m (Refus)	-4,70 m (refus)	-3,0 m (Refus)

### IV.1.2 Essais pressiométriques

Huit essais pressiométriques de type Louis MENARD ont été réalisés et répartis sur la hauteur des sondages.

#### IV.1.2.1 Principe de l'essai (norme NF EN ISO 22476-4)

L'essai consiste à dilater une sonde sous l'effet d'une pression normale. Le contrôle des déformations volumétriques en fonction des pressions appliquées fournit la réponse du sol à des sollicitations radiales jusqu'à la rupture. Cette réponse comporte en général trois phases distinctes :

- une phase de mise en contact,
- une phase pseudo-élastique,
- une phase de rupture.

#### IV.1.2.2 Résultats des essais

Les résultats des essais, exprimés en Mégapascals (MPa) sont regroupés dans le tableau ci-après, avec :

$E_M$  Module de déformation pressiométrique dans le domaine élasto-plastique

$P_l^*$  Pression limite.

$P_f^*$  Pression de fluage.

*Tableau 4 : Résultats des essais pressiométriques*

Formation	$P_f^*$ (MPa)	$P_l^*$ (MPa)	$E_M$ (MPa)	Classe de sol
Limon argileux	0,37 à 1,41	0,56 à 2,1	5,4 à 35,9	Fermes à très raides
Altération micaschisteuse à matrice limoneuse sableuse	0,71 à 1,08	1,05 à 1,55	14,4 à 23,1	Fermes à raides
Micaschiste altéré à compact gris à brun	2,5 à 3,77	3,71 à 4,72	54,1 à 137,9	Altéré à fragmenté

Les sols en présence sont classés selon l'Annexe A de la norme NF P 94-261 (tableau A.2.1) en fonction de leurs caractéristiques mécaniques.

Les valeurs des caractéristiques mécaniques des terrains au droit des sondages ( $E_M$  : module pressiométrique,  $P_i^*$  : pression limite nette) ont été déterminées par des essais pressiométriques.

#### IV.1.3 Caractéristiques pressiométriques

L'analyse statistique des essais conduit aux résultats suivants :

Tableau 5 : Analyse statistique des valeurs des caractéristiques mécaniques des sols

Formation	Limon argileux		Altération micaschisteuse à matrice limoneuse sableuse		Micaschiste altéré à compact gris à brun	
	$P_i^*$ (MPa)	$E_M$ (MPa)	$P_i^*$ (MPa)	$E_M$ (MPa)	$P_i^*$ (MPa)	$E_M$ (MPa)
Nombre de valeurs	2	2	2	2	4	4
Valeur minimum	0,56	5,4	1,05	14,4	3,71	54,1
Valeur maximum	2,1	35,9	1,55	23,1	4,72	137,9
Moyenne arithmétique	1,33	<b>20,65</b>	1,30	<b>18,75</b>	4,12	<b>92,38</b>
Moyenne harmonique	0,88	9,39	1,25	17,74	4,08	77,59
Moyenne géométrique	<b>1,08</b>	13,92	<b>1,28</b>	18,24	<b>4,10</b>	84,63
Ecart type	1,09	21,57	0,35	6,15	0,47	43,08
Coefficient de variation <sup>(1)</sup>	0,82	1,04	0,27	0,33	0,12	0,47

(1) Coefficient de variation = Ecart type / Moyenne arithmétique

Les caractéristiques mécaniques retenues sont récapitulées dans le tableau ci-après :

Tableau 6 : Caractéristiques mécaniques retenues pour les formations

Formation	Limon argileux			Altération micaschisteuse à matrice limoneuse sableuse			Micaschiste altéré à compact gris à brun		
	$P_i^*$ (MPa)	$E_M$ (MPa)	$\alpha$ (-)	$P_i^*$ (MPa)	$E_M$ (MPa)	$\alpha$ (-)	$P_i^*$ (MPa)	$E_M$ (MPa)	$\alpha$ (-)
Valeurs caractéristiques <sup>(2)</sup>	0,79	9,87	0,66	1,12	15,7	0,66	3,88	70,8	0,50

(2) Pour les valeurs caractéristiques, nous avons retenu la valeur moyenne en gras dans le tableau ci-dessus moins 1/2 écart type.

**IV2. SONDAGES A LA PELLE MECANIQUE**

Deux sondages à la pelle mécanique ont été réalisés dans les futures zones de voiries. Ces sondages ont permis de déterminer la nature des formations et la profondeur des venues d'eau, d'apprécier les conditions de terrassement des terrains constituant le site et de prélever des échantillons en masse pour les essais en laboratoire.

Les coupes relevées (dont le détail est joint en annexe) ont mis en évidence les formations suivantes :

<b>SONDAGE PM1 (26,27 NGF)</b>	
0,00 à 0,40 m	Terre végétale
0,60 à 1,00 m	Altération micaschisteuse (ocre, rouille)
1,00 à 1,50 m	Micaschiste altéré
Arrêt – Venue d'eau vers 0,50 m de profondeur Tenue de la fouille bonne à court terme Terrassement facile	

<b>SONDAGE PM2 (27,14 NGF)</b>	
0,00 à 0,20 m	Terre végétale
0,20 à 1,00 m	Altération micaschisteuse (beige, marron)
1,00 à 1,80 m	Micaschiste altéré
Arrêt – Pas de venue d'eau Tenue de la fouille bonne à court terme Terrassement facile	

### IV3. RECONNAISSANCE DES FONDATIONS

Nous avons procédé au constat de l'ouverture d'un sondage de reconnaissances des fondations. Ce sondage a été réalisé dans le coin Nord-Est du bâtiment adjacent au terrain étudié.

Les observations réalisées à partir de ce sondage sont les suivants :

Le sondage a mis en évidence un système de fondations en semelle filante ancré de 30 cm dans le micaschiste altéré et le remblai argilo graveleux. Un débord de 25 cm a été observé.

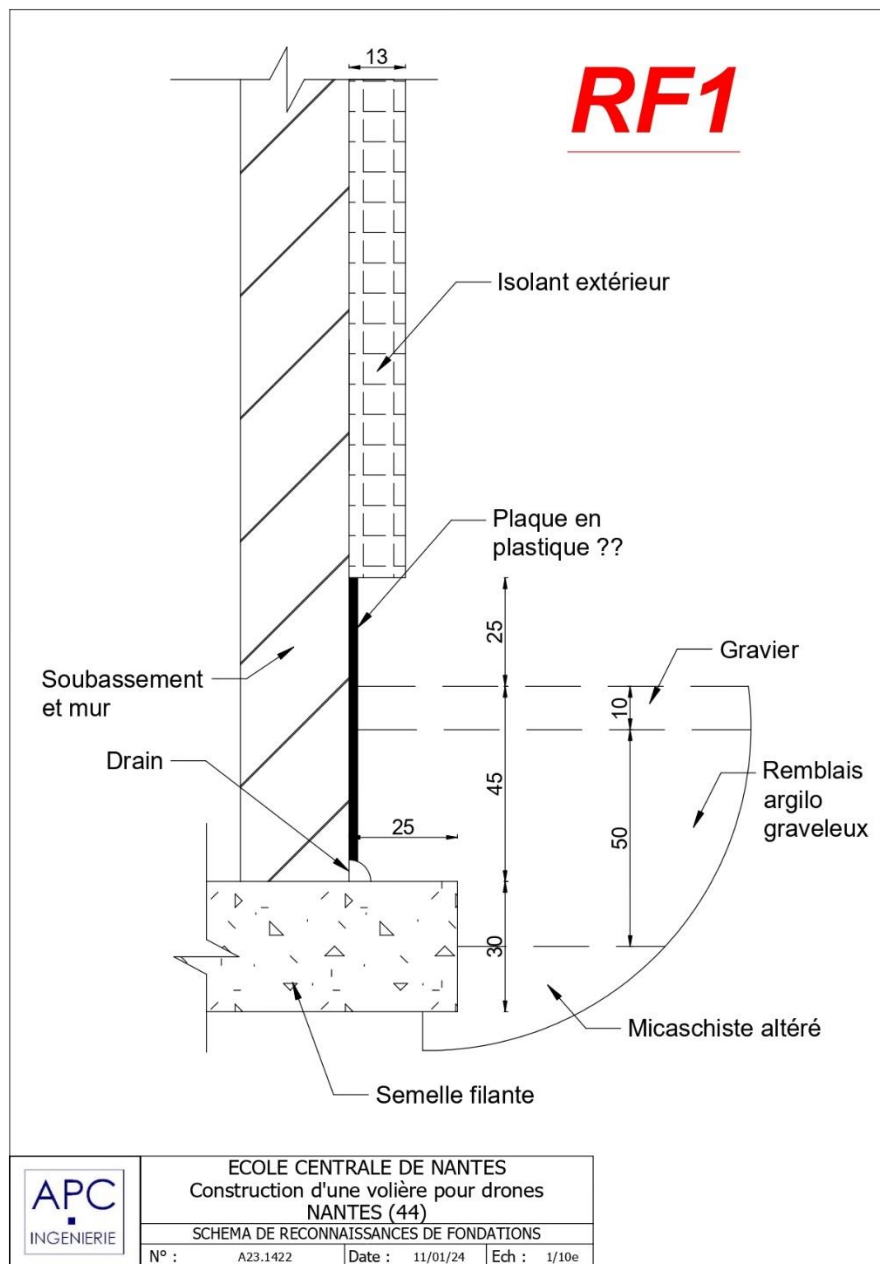


Figure 8 : Reconnaissance de fondation RF1

**IV4. AGRESSIVITE DU MILIEU VIS-A-VIS DES BETONS DE FONDATION (NF EN 206/CN)**

Le prélèvement a été effectué sur un échantillon remanié prélevé à la tarière hélicoïdale dans le sondage SP1 entre 1,8 et 2,5 m.

Les échantillons recueillis ont été placés dans des récipients adaptés spécialement fournis par le laboratoire chargé des analyses, accrédité COFRAC et agréé par le Ministère chargé de l'Environnement, puis transporté au laboratoire.

**IV.4.1 Résultats**

Les originaux des procès-verbaux d'analyses sont joints en annexe. Les composés recherchés sont ceux prévus par la norme NF EN 206-CN, chapitre 4, tableau 2, relatifs à l'agressivité de l'eau et du sol vis à vis du béton.

*IV.4.1.1      Analyse de l'agressivité de l'eau*

Aucun niveau d'eau n'a été relevé dans les sondages.

*IV.4.1.2      Analyse de l'agressivité des sols*

Les résultats obtenus sont les suivants :

Paramètres	Résultats	Environnement chimique moyen
Sulfates $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/kg)	1790,0	Néant
Degré d'acidité des sols (ml/kg)	76,0	Néant

Suivant l'article 4.1 de la norme EN 206/CN les valeurs moyennes obtenues conduisent donc à une classe d'exposition :

**XC2 – Agressivité chimique nulle (vis-à-vis du sol)**



## IV5. ESSAIS EN LABORATOIRE

Les matériaux remaniés prélevés lors du sondage PM1 ont fait l'objet, en laboratoire, des essais ci-après :

- mesure de la teneur en eau naturelle,
- analyse granulométrique,
- limites d'Atterberg.

Les résultats obtenus sont regroupés ci-après :

*Tableau 7 : Résultats des essais de laboratoire*

<b>Sondage</b>		<b>SP1</b>
Profondeur de l'échantillon	(m/TN)	0,80 – 1,80
Nature		ARGILE micacé beige
Teneur en eau naturelle $W_N$	(%)	19,7
<b>Limites d'Atterberg</b>		
Limite de liquidité	$W_L$ (%)	40
Limite de plasticité	$W_P$ (%)	30
Indice de plasticité	$I_P$	10
<b>Analyse granulométrique</b>		
< 20 mm	(%)	100,0
< 10 mm	(%)	100,0
< 5 mm	(%)	90,2
< 2 mm	(%)	81,1
< 1 mm	(%)	75,3
< 0,25 mm	(%)	62,1
< 0,08 mm	(%)	56,7
<b>Classification GTR</b>		<b>A<sub>1</sub></b>

Les sols de catégorie A1 sont des sols qui changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau.

**Dans ces terrains la portance du sol peut chuter brutalement avec l'augmentation de la teneur en eau.**

## **IV6. HYDROGEOLOGIE**

### **IV.6.1 Piézométrie**

Lors de nos forages en G2 AVP, un suivi piézométrique a été installé en décembre 2023 -Aucun niveau d'eau n'a été observé lors des forages de début décembre.

Ces observations, ayant un caractère ponctuel et instantané, n'excluent pas la possibilité de circulations et de remontées d'eau plus importantes. Une mission spécifique hydrogéologique (mission G5) pourra être réalisée par le Maître d'Ouvrage, celle-ci n'est pas du ressort du bureau d'études géotechnique en phase G2 AVP.

### **IV.6.2 Perméabilité**

APC INGENIERIE a réalisé en décembre 2023, 3 essais de type MATSUO (résultats détaillés en annexe). Les résultats sont synthétisés dans le tableau suivant :

*Tableau 8 : Résultats des essais Matsuo*

<b>Sondage</b>	<b>Nature du sol</b>	<b>Profondeur / TN (m)</b>	<b>Perméabilité (m/s)</b>
MA1	Terre végétale limoneuse et micaschiste altéré	1,00	$3,3.10^{-6}$
MA2	Terre végétale limoneuse et micaschiste altéré	0,70	$8,3.10^{-7}$
MA3	Remblais argileux	1,00	$6,4.10^{-5}$

## **V SISMICITÉ**

D'après le nouveau zonage sismique (décret N°2010-1255 du 22 Octobre 2010), la ville de **NANTES (44)** se situe en **zone sismique 3 (aléa modéré)**.

Il convient donc de vérifier le risque de liquéfaction des sols constituant le site (application des prescriptions parasismiques particulières obligatoires pour tout permis déposé après le 1<sup>er</sup> Mai 2011).

### **V1. ANALYSE DU RISQUE DE LIQUEFACTION**

D'après la norme NF P06-013 (Règles parasismiques PS 92), article 9.1.2, un sol est suspect de liquéfaction si, selon sa nature, il répond aux critères ci-après :

#### **Sables, sables vasards et silts**

- degré de saturation  $S_r$  voisin de 100 %,
- granulométrie uniforme correspondant à un coefficient d'uniformité  $C_u$  inférieur à 15,
- diamètre à 50 % ( $D_{50}$ ) compris entre 0,05 mm et 1,5 mm,
- contrainte effective en l'état final du projet  $\sigma_v' < 0,20$  MPa.

#### **Sols argileux**

- diamètre à 15% ( $D_{15}$ ) supérieur à 0,005 mm,
- limite de liquidité  $W_L$  inférieure à 35 %,
- teneur en eau naturelle  $W_N$  supérieure à 0,9  $W_L$ ,
- point représentatif sur le diagramme de plasticité (diagramme de Casagrande) se situant au-dessus de la droite « A » du dit diagramme.

Les résultats obtenus sur l'échantillon-SP2 testé en laboratoire et leur comparaison avec les différents critères correspondants (sol argileux) sont indiqués ci-après :

Critère (argileux)	Echantillon SP2 0,80 à 1,80 m
D <sub>15</sub> supérieur à 0,005 mm	Possible
W <sub>L</sub> inférieure à 35 %	Non
W <sub>N</sub> supérieure à 0,9 W <sub>L</sub>	Non
Point se situant au-dessus de la droite « A » du dit diagramme	Non
<b>Suspect au risque</b>	<b>Non</b>

En conclusion, le sol testé **n'est pas reconnu suspect de liquéfaction** au sens de la norme NF P06-013.

## **V2. CHOIX DE LA CLASSE DU SOL**

En première approche, sous séisme selon le tableau 3.1 du paragraphe 3.1.2 de l'EUROCODE 8 – partie 1, la zone du projet se situe en **classe A**.

## VI FONDATIONS

### VI1. CONTEXTE GEOTECHNIQUE

L'interprétation des coupes de sondages s'effectue par examen des matériaux remontés et à partir des enregistrements de paramètres visualisant leur différenciation mécanique. Cette interprétation peut conduire à des imprécisions sur la limite entre couches.

Les reconnaissances ont mis en évidence, sous la terre végétale sur 0,40m, des limons argileux humides jusqu'à environ 1,0 m de profondeur. Ensuite, la couche d'altération micaschisteuse à matrice limono sableuse a été observée jusqu'à environ 1,80 à 2,00 m de profondeur. Ensuite, le substratum micaschisteux a été reconnu. Celui-ci est plus ou moins altéré en fonction de la profondeur.

Des hétérogénéités de nature et de compacité peuvent subsister entre ces points de sondages.

### VI2. CARACTERISTIQUES PRESSIOMETRIQUES

Pour rappel, les valeurs caractéristiques pour les formations sont les suivantes :

*Tableau 9 : Caractéristiques mécaniques retenues pour les formations*

Formation	Limon argileux			Altération micaschisteuse à matrice limoneuse sableuse			Micaschiste altéré à compact gris à brun		
	$P_i^*$ (MPa)	$E_M$ (MPa)	$\alpha$ (-)	$P_i^*$ (MPa)	$E_M$ (MPa)	$\alpha$ (-)	$P_i^*$ (MPa)	$E_M$ (MPa)	$\alpha$ (-)
Valeurs caractéristiques <sup>(2)</sup>	0,79	9,87	0,66	1,12	15,7	0,66	3,88	70,8	0,50

<sup>(2)</sup> Pour les valeurs caractéristiques, nous avons retenu la valeur moyenne en gras dans le tableau ci-dessus moins 1/2 écart type.

Pour évaluer les conditions de terrassement, il conviendra de se reporter aux coupes géologiques jointes en annexe et plus particulièrement aux valeurs des modules pressiométriques.

**VI3. RAPPEL DE LA G2 AVP**

La terre végétale et les limons terreux seront exclus pour l'assise des fondations.

**Par conséquent, il pourra être retenu un principe de fondations superficielles par semelles isolées carrées ou filantes avec un ancrage minimum de 30 cm dans l'altération micaschisteuse**

**Il conviendra également de respecter la profondeur de mise hors-gel, à savoir un ancrage minimum de 0,50 m de profondeur par rapport au niveau fini du terrain après travaux.**

A titre d'exemple, les profondeurs indicatives de la dalle et des fouilles sont indiquées ci-dessous.

Les profondeurs minimums d'ancrage au droit des sondages réalisés sont donc les suivantes :

*Tableau 10 : Profondeur minimum d'ancrage des fondations au droit des sondages*

<b>Sondages (Cote NGF)</b>	<b>SP1 (26,23)</b>	<b>SP2 (26,60)</b>	<b>SD1+PZ1 (26,13)</b>
Toit de la couche d'ancrage (m/TN)	-1,00 m	-1,00	-1,00
Toit de la couche d'ancrage (NGF)	25,23	25,60	25,13
Cote d'assise des fondations (m/TN)	-1,30 m	-1,30 m	-1,30 m
Cote d'assise des fondations (NGF)	24,93	25,30	24,83

Ces profondeurs sont données à titre indicatif, à partir des coupes relevées lors de la reconnaissance. Des variations d'épaisseurs ou de faciès restent possibles entre les points de sondage et peuvent nécessiter une adaptation du projet en fonction de l'hétérogénéité éventuelle des sols (il conviendra d'être vigilant à l'ouverture des fouilles).

**VI4. JUSTIFICATION DE LA CAPACITE PORTANTE**

En ce qui concerne la justification de la capacité portante, celle-ci est menée conformément aux règles pressiométriques, constituant l'annexe normative D de la norme NFP 94-261 de juin 2013.

Pour tous les cas de charges et de combinaisons, l'inégalité suivante doit être vérifiée :

$$V_d - R_0 \leq R_{v,d}$$

Avec:	$R_{v,d}$	résistance nette du terrain sous la semelle superficielle.
	$V_d$	valeur de calcul de la composante verticale de la charge transmise à la fondation superficielle.
	$R_0$	valeur du poids du volume de sol constitué du volume de la fondation sous le terrain après travaux.

La résistance nette du terrain sous la fondation superficielle est obtenue par l'application des relations suivantes :

$$R_{v,d} = \frac{R_{v,k}}{\gamma_{R,v}} = \frac{A' q_{net}}{\gamma_{R,v} \gamma_{R;d,v}}$$

Avec :

$$q_{net} = k_p p_{le}^* i_\delta i_\beta$$

Avec, à ce stade de l'étude, et selon une approche de calcul 2, la définition des paramètres suivants :

$R_{v,k}$	valeur caractéristique de la résistance nette du terrain,
$A'$	surface effective de la semelle,
$q_{net}$	contrainte associée à la résistance nette du terrain,
$p_{le}^*$	pression limite nette équivalente, <b>fixée ici à 1,05 MPa</b>
$k_p$	facteur de portance de la semelle, <b>fixé ici à 0,8,</b>
$i_\beta$ et $i_\delta$	coefficients de réduction de portance liés à la proximité d'une pente de talus et de l'inclinaison du chargement, <b>fixé ici à 1<sup>(1)</sup>,</b>
$\gamma_{R,v}$	valeur du coefficient partiel permettant le calcul de la portance égal à <b>2,3 à l'ELS, à 1,4 à l'ELU fondamental et sismique et 1,2 à l'ELU accidentel.</b>
$\gamma_{R;d,v}$	valeur du coefficient de modèle pressiométrique associé à la méthode de calcul, permettant le calcul de la portance <b>égal à 1,2.</b>

Dans ces conditions, pour les charges verticales, les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau 11 : Vérification de la portance aux ELU

Type de semelle	N°	Portance							
		ELU Fondamentale				ELU Sismique			
		$l_{\delta\beta}$	$\sigma_{vd}$ (Mpa)	$q'$ (Mpa)	Vérification	$l_{\delta\beta}$	$\sigma_{vd}$ (Mpa)	$q'$ (Mpa)	Vérification
Semelle isolée carrée	A1	1,00	0,02	0,50	ok	1,00	0,02	0,50	ok
Semelle isolée carrée	A2	1,00	0,02	0,50	ok	1,00	0,02	0,50	ok
Semelle isolée carrée	A3	1,00	0,02	0,50	ok	1,00	0,02	0,50	ok
Semelle isolée carrée	A4	1,00	0,02	0,50	ok	1,00	0,02	0,50	ok
Semelle isolée carrée	A5	1,00	0,02	0,50	ok	1,00	0,02	0,50	ok
Semelle isolée carrée	B1	1,00	0,02	0,50	ok	1,00	0,02	0,50	ok
Semelle isolée carrée	B2	1,00	0,02	0,50	ok	1,00	0,02	0,50	ok
Semelle isolée carrée	B3	1,00	0,02	0,50	ok	1,00	0,02	0,50	ok
Semelle isolée carrée	B4	1,00	0,02	0,50	ok	1,00	0,02	0,50	ok
Semelle isolée carrée	B5	1,00	0,02	0,50	ok	1,00	0,02	0,50	ok
Semelle isolée carrée	C1	1,00	0,03	0,50	ok	1,00	0,03	0,50	ok
Semelle isolée carrée	C5	1,00	0,03	0,50	ok	1,00	0,03	0,50	ok
Semelle isolée carrée	D1	1,00	0,03	0,50	ok	1,00	0,03	0,50	ok
Semelle isolée carrée	D5	1,00	0,03	0,50	ok	1,00	0,03	0,50	ok
Semelle isolée carrée	E1	1,00	0,01	0,50	ok	1,00	0,01	0,50	ok
Semelle isolée carrée	E2	1,00	0,01	0,50	ok	1,00	0,01	0,50	ok
Semelle isolée carrée	E3	1,00	0,01	0,50	ok	1,00	0,01	0,50	ok
Semelle isolée carrée	E4	1,00	0,01	0,50	ok	1,00	0,01	0,50	ok
Semelle isolée carrée	E5	1,00	0,01	0,50	ok	1,00	0,01	0,50	ok

Tableau 12 : Vérification de la portance aux ELS

Type de semelle	N°	Portance							
		ELS QP				ELS Caractéristique			
		$l_{\delta\beta}$	$\sigma_{vd}$ (Mpa)	$q'$ (Mpa)	Vérification	$l_{\delta\beta}$	$\sigma_{vd}$ (Mpa)	$q'$ (Mpa)	Vérification
Semelle isolée carrée	A1	1,00	0,02	0,30	ok	1,00	0,02	0,30	ok
Semelle isolée carrée	A2	1,00	0,02	0,30	ok	1,00	0,02	0,30	ok
Semelle isolée carrée	A3	1,00	0,02	0,30	ok	1,00	0,02	0,30	ok
Semelle isolée carrée	A4	1,00	0,02	0,30	ok	1,00	0,02	0,30	ok
Semelle isolée carrée	A5	1,00	0,02	0,30	ok	1,00	0,02	0,30	ok
Semelle isolée carrée	B1	1,00	0,02	0,30	ok	1,00	0,02	0,30	ok
Semelle isolée carrée	B2	1,00	0,01	0,30	ok	1,00	0,01	0,30	ok
Semelle isolée carrée	B3	1,00	0,01	0,30	ok	1,00	0,01	0,30	ok
Semelle isolée carrée	B4	1,00	0,01	0,30	ok	1,00	0,01	0,30	ok
Semelle isolée carrée	B5	1,00	0,02	0,30	ok	1,00	0,02	0,30	ok
Semelle isolée carrée	C1	1,00	0,02	0,30	ok	1,00	0,02	0,30	ok
Semelle isolée carrée	C5	1,00	0,02	0,30	ok	1,00	0,02	0,30	ok
Semelle isolée carrée	D1	1,00	0,02	0,30	ok	1,00	0,02	0,30	ok
Semelle isolée carrée	D5	1,00	0,02	0,30	ok	1,00	0,02	0,30	ok
Semelle isolée carrée	E1	1,00	0,01	0,30	ok	1,00	0,01	0,30	ok
Semelle isolée carrée	E2	1,00	0,01	0,30	ok	1,00	0,01	0,30	ok
Semelle isolée carrée	E3	1,00	0,01	0,30	ok	1,00	0,01	0,30	ok
Semelle isolée carrée	E4	1,00	0,01	0,30	ok	1,00	0,01	0,30	ok
Semelle isolée carrée	E5	1,00	0,01	0,30	ok	1,00	0,01	0,30	ok

**Les contraintes au sol apportées par les fondations sont donc inférieures à la capacité portante du sol pour toutes les semelles pour toutes les combinaisons d'actions.**

**Les fondations sont donc vérifiées pour la portance.**



### **VI.4.1 Vérification de l'excentrement**

Il convient de vérifier l'excentrement à l'ELS. Pour les combinaisons de charge à l'ELS quasi-permanent et fréquent, la norme NF P 94-261 (13.3) nous donne les critères suivants :

- Pour une semelle filante de largeur B :

$$1 - \frac{2e}{B} \geq \frac{2}{3}$$

- Pour une semelle circulaire de diamètre B :

$$1 - \frac{2e}{B} \geq \frac{3}{4}$$

- Pour une semelle rectangulaire de largeur B et de longueur L :

$$\left(1 - \frac{2e_B}{B}\right) \times \left(1 - \frac{2e_L}{L}\right) \geq \frac{2}{3}$$

Pour des combinaisons de charge à l'ELS caractéristique :

- Pour une semelle filante de largeur B :

$$1 - \frac{2e}{B} \geq \frac{1}{2}$$

- Pour une semelle circulaire de diamètre B :

$$1 - \frac{2e}{B} \geq \frac{9}{16}$$

- Pour une semelle rectangulaire de largeur B et de longueur L :

$$\left(1 - \frac{2e_B}{B}\right) \times \left(1 - \frac{2e_L}{L}\right) \geq \frac{1}{2}$$

**Aucun moment ne nous a été transmis dans la descente de charge. Par conséquent, les fondations sont vérifiées vis-à-vis de l'excentrement.**

**Le cas échéant, il conviendra d'en tenir compte dans le dimensionnement.**

**VI5. VERIFICATION DU NON-GLISSEMENT (ELUS)**

A l'ELU, pour démontrer que les fondations superficielles supportent la charge de calcul avec une sécurité adéquate vis-à-vis d'une rupture par glissement sur le terrain, on doit vérifier selon l'approche de calcul 2 de l'EUROCODE 7 (article 10 de la norme NFP 94-261) que l'inégalité suivante est satisfaite :

$$H_d \leq R_{h,d} + R_{p,d}$$

Avec :

$$R_{h,d} = \frac{V_d \tan \delta_{a,k}}{\gamma_{R,h} \gamma_{R,d}} \quad \text{et} \quad R_{p,d} = \frac{R_{p,k}}{\gamma_{R,e}}$$

Avec :

- $H_d$  valeur de calcul de la composante horizontale de la charge transmise par la fondation superficielle au terrain.
- $R_{h,d}$  valeur de calcul de la résistance au glissement de la fondation sur le terrain.
- $R_{p,d}$  valeur de calcul de la résistance frontale ou tangentielle de la fondation à l'effet de  $H_d$  (négligée).
- $V_d$  valeur de calcul de la composante verticale de la charge transmise par la fondation superficielle au terrain.
- $\delta_{a,k}$  valeur caractéristique de l'angle de frottement à l'interface entre la base de la fondation et le terrain, dans le cas présent sa valeur est égale à **35°**.
- $\gamma_{R,h}$  facteur partiel pour la résistance au glissement de la fondation superficielle, sa valeur est égale à **1,1**.
- $\gamma_{R,d}$  coefficient de modèle lié à l'estimation de la résistance ultime au glissement, sa valeur est égale à **1,1**.

**Aucune charge horizontale ne nous a été transmis dans la descente de charge. Par conséquent, les fondations sont vérifiées vis-à-vis du non-glissement.**

**Le cas échéant, il conviendra d'en tenir compte dans le dimensionnement.**

**VI6. TASSEMENTS**

Le tassement final d'une fondation  $S_f$  en cm, calculé selon NF P94-261, est la somme arithmétique de deux termes représentant respectivement un tassement sphérique  $S_c$  (dû aux déformations volumétriques) et un tassement déviatorique  $S_d$  (dû aux déformations de cisaillement).

$$S_f = S_c + S_d$$

Avec :

$$S_c = \frac{\alpha}{9E_c} (\sigma - \gamma D) \lambda_c B$$

Et :

$$S_d = \frac{2}{9E_d} (\sigma - \gamma D) B_0 \left( \lambda_d \frac{B}{B_0} \right)^\alpha$$

Dans ces expressions, les différents paramètres désignent :

$\alpha$	coefficient rhéologique du sol.
$\sigma$	composante normale de la contrainte au sol (ELS) en MPa,
$\gamma$	masse volumique du sol, éventuellement déjaugé, en MN/m <sup>3</sup> ,
$E_c$ et $E_d$	modules pressiométriques dans le domaine sphérique et dans le domaine déviatorique en MPa,
$D$	encastrement minimal en m,
$\lambda_c$ et $\lambda_d$	coefficients de forme fonctions de $L/B$ ,
$B_0$	largeur de référence en cm ( $B_0 = 60$ cm),
$B$	largeur de la fondation en cm,
$L$	longueur de la fondation en cm.

Rappel : 1 MN/m<sup>3</sup> # 100 tonnes/m<sup>3</sup>

Avec les hypothèses d'ancrage précédentes, l'application de ces expressions au cas présent conduit, sous la **contrainte maximale applicable par les fondations sur le sol** à l'ELS, aux tassements suivants :

*Tableau 13 : Tassements des fondations au droit de chaque sondage*

Sondage	Contrainte ELS (MPa)	Tassement (cm)
		Semelle isolée
SP1	0,30	0,3
SP2		0,4

Les **tassements absolus** seront de l'ordre du demi-centimètre, avec un **tassement différentiel** du même ordre de grandeur.

**Il conviendra au bureau d'études structures de valider ces tassements vis-à-vis de la structure.**

## VII NIVEAU BAS

Le niveau bas pourrait être traité en dallage sur le terrain naturel après la purge des terrains superficiels (terre végétale) et les 10 à 20 premiers centimètres de limons argileux, puis la substitution par des matériaux de remblai de bonne qualité (forme), insensibles à l'eau, dont le type est défini dans l'article A.2.2 de la norme NF DTU 13.3.

**Lors des terrassements, si de la matière organique est présente dans les limons de surface, il conviendra de purger jusqu'à atteindre une couche qui ne présente plus de matière organique et de substituer les matériaux extraits par un matériau granulaire de type « forme ». A ce titre des prélèvements et essais préalables en laboratoire permettraient de lever le doute sur la présence ou non de matière organique.**

**Il est expressément rappelé que la tenue du dallage dépendra de la qualité de réalisation de la couche de forme et de sa compacité.**

L'épaisseur de la forme sera fonction de l'état hydrique du sol (fond de forme) au moment des travaux. Elle ne sera pas inférieure à 40 cm et pourra atteindre 50 à 60 cm si les travaux sont effectués en période humide. Elle devra être protégée de la contamination induite par les fines argileuses du terrain naturel, par interposition d'un géotextile (filtre anti contaminant).

La mise en œuvre des matériaux constituant la couche de forme devra s'effectuer par compactage soigné de couches successives **dont l'épaisseur de chacune d'entre elles n'excède pas 20 cm.**

En cas de période défavorable (période humide ou fortes précipitations) pour la réalisation des travaux un cloutage du fond de forme par des matériaux granulaires de type 0/150 ou 0/200 mm associé à la mise en place d'un géotextile non tissé pourra être nécessaire pour améliorer la portance du fond de forme.

Avant coulage du dallage, la couche de forme devra faire l'objet d'un contrôle (DTU 13.3) afin de s'assurer :

- que sa portance est conforme (module de Westergaard),
- que sa compacité obtenue par compactage lui permet de ne pas engendrer de tassement supplémentaire sous le dallage (module de déformation EV2 + rapport de compactage EV2/EV1).

Le contrôle s'effectuera par essais statiques à la plaque (essais LCPC).

Pour des charges réparties  $\leq 2,0 \text{ t/m}^2$  ou des charges concentrées fixes  $\leq 2 \text{ t}$  ou des charges concentrées mobiles  $\leq 2,0 \text{ t/roue}$  :

**Module de déformation EV2 > 50 MPa**

Pour des charges réparties > 2,0 t/m<sup>2</sup> ou des charges concentrées fixes > 2 t ou des charges concentrées mobiles > 2,0 t/roue :

**Module de déformation EV2 > 70 MPa**

Pour tous les cas de charges :

**Rapport de compactage EV2/EV1 ≤ 2,2****Module de Westergaard ≥ 50 MPa/m**

Ces valeurs sont issues de la norme NF DTU 13.3 P1-1-1 §5.1.2.4.

*Note :* si la solution de dallage sur terre-plein est retenue par les concepteurs, la mise en œuvre de la plate-forme support de dallage doit être antérieure à la réalisation des fondations.

La réalisation d'un dallage doit s'effectuer selon les spécifications du DTU 13.3. Les modules Es à prendre en compte pour la justification du dallage sont indiqués ci-après :

Couche concernée	Module pressiométrique (MPa)	Coefficient rhéologique $\alpha$	Module Es (MPa)
Couche de forme	16,7	0,33	50
Limon argileux	9,9	0,66	15
Argile d'altération	70,8	0,66	141,6

La vérification des caractéristiques de la plate-forme impose de réaliser des essais à la plaque en nombre suffisant. L'option d'un dallage suppose un contrôle rigoureux des qualités mécaniques de la plate-forme support de dallage.

*Note importante :* il est rappelé qu'un dallage sur terre-plein nécessite que ce dernier soit exempt de tassement, ce qui implique le respect des règles de mise en œuvre indiquées ci-dessus, y compris le contrôle dont la validité repose sur son exécution par un organisme **totalemtent indépendant** (contrôle extérieur) de toute entreprise de la profession ou fournisseur de matériaux ayant part au projet. Au sens juridique, le non-respect de cette clause entraîne la nullité du contrôle.

**Le tassement du dallage restera de l'ordre du centimètre pour une surcharge inférieure ou égale à 2t/m<sup>2</sup>.**

## VIII VOIRIES

Le projet intègre une voie de desserte légères en extérieur du bâtiment.

### VIII1. CLASSES DE TRAFIC

Le trafic est décomposé en classes déterminées à partir du nombre de Poids Lourds (PL) par jour et par sens, exprimé en moyenne journalière annuelle (MJA), cumulé sur la durée de dimensionnement de la chaussée.

Nous avons pris en hypothèses, un trafic à considérer inférieur à 12,5 PL/jour/sens pour une durée de vie de 20 ans, il faut donc considérer d'après le *Guide pour la construction des chaussées à faible trafic de Bretagne – Pays-de-la-Loire*, une classe de trafic cumulé de type **T5**.

### VIII2. PLATE-FORME SUPPORT DE CHAUSSEE

#### VIII.2.1 Définition

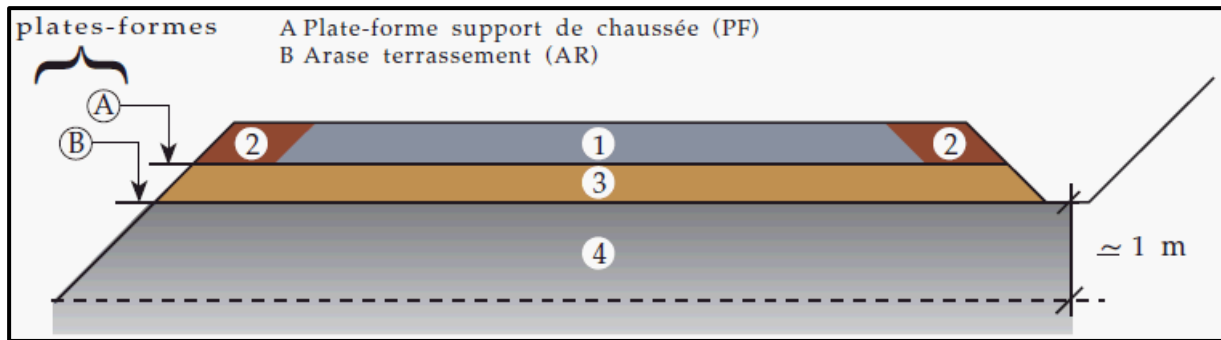
La plate-forme support de chaussée est la surface supérieure de la couche de forme qui présente les qualités requises (portance, nivellement...) pour permettre l'exécution des assises de chaussée, et assurer le bon fonctionnement de la chaussée en service.

La plate-forme support de chaussée est généralement constituée de bas en haut par :

- la **Partie Supérieure des Terrassements (P.S.T.)**, représentée par les sols en place (déblai) ou les matériaux rapportés (remblai) sur une épaisseur d'environ 1,0 m. La surface de la P.S.T. est l'**arase terrassement (AR)**.
- une **couche de forme** qui peut être monocouche ou multicouche.

Le rôle de la couche de forme est d'atteindre les exigences de qualité à prendre en compte :

- à court terme pour la réalisation des couches de chaussée (traficabilité, portance, nivellement),
- à long terme pour le dimensionnement de la chaussée (homogénéisation de la portance et pérennité, drainage, non gélivité).

**B**

1. Chaussée (couche de fondation, couche de base et couche de surface).
2. Accotements.
3. Couche de forme.
4. Partie Supérieure des Terrassements (P.S.T.).

**Le dimensionnement des chaussées sera effectué conformément au Catalogue des structures types de chaussées neuves du SETRA LCPC de 1998.**

### **VIII.2.2      Choix de la classe de plate-forme**

La classe de la plate-forme se détermine à partir de l'appréciation du comportement à long terme de la Partie Supérieure des Terrassements, de la nature et de l'épaisseur de la couche de forme retenue.

Trois classes de plate-forme sont à considérer :

<b>Module (MPa)</b>	50	120	200
<b>Classe de plate-forme visée</b>	PF2	PF3	PF4

Dans le cadre du projet, sous les futures voiries, il a été retenu des plates-formes de type **PF2** dont la portance minimale sera caractérisée par un module de déformation EV2, supérieur ou égal à 50 MPa.

Les modules de déformation EV2 seront mesurés par essais à la plaque conformément à la norme NF P94 117-1.



### VIII.2.3 Qualification de la portance de la P.S.T.

Après décapage de la totalité de la terre végétale et des limons argileux noir ainsi que des sols remaniés et saturés éventuellement présents en fond de fouille, les plates-formes support des terrassements seront constituées d'altération micaschisteuse à matrice limono-sableuse rouge, classée **A<sub>1</sub>** selon le GTR.

Les sols de classe A1 changent brutalement de consistance pour de faible variation de teneur en eau, en particulier lorsque leur  $W_h$  est proche de  $W_{OPN}$ . Le temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est relativement court, mais la perméabilité pouvant varier dans de larges limites selon la granulométrie, la plasticité et la compacité, le temps de réaction peut tout de même varier assez largement.

### VIII.2.4 Dimensionnement de la couche de forme en fonction de la classe de plate-forme à atteindre :

Le référentiel utilisé ci-après est le **Guide des Terrassements Routiers** (SETRA-LCPC) ou la norme NFP 11-300.

Les recommandations devront être précisées en fonction des objectifs de portance attendus.

En présence d'altération micaschisteuse limono-sableuse rouge en fond de fouille, la plate-forme support des Terrassements (PST) sera classée **PST2-AR1** pouvant chuter par imbibition en **PST1-AR1 voir, en période très humide en PST-AR0**.

**Ces matériaux sont impropres pour permettre d'obtenir une couche de forme satisfaisante. Il conviendra de :**

- Exécuter une couche de forme en matériau granulaire insensible à l'eau de forte épaisseur en intercalant un géotextile anticontaminant à l'interface PST/Couche de forme). On se ramènera également à un cas de PST 2.

La couche de forme pourra être réalisée en matériaux granulaires insensibles à l'eau et compactés par couches minces conformément aux règles de l'art (matériaux d'apport de type R<sub>41</sub> ou R<sub>61</sub> par exemple), ou en matériaux de déblais traités à la chaux et aux liants hydrauliques (pour les matériaux aptes au traitement).

Dans ces conditions, l'épaisseur de la couche de forme sera au minimum de :

**B**

	Pour l'obtention d'une plate-forme PF2- :	Pour l'obtention d'une plate-forme PF2+ :
Dans le cas de déblai sans drainage	➤ <b>0,45 m</b> de 0/63	➤ <b>0,60 m</b> (0,20 m de 0/63 + 0,40 m de 0/150)
Dans le cas de déblai avec drainage profond	➤ <b>0,30 m</b> de 0/63	➤ <b>0,45 m</b> de 0/63

Dans le cas des épaisseurs fortes ( $\geq 0,60$  m) sur les sols déformables, l'utilisation d'un matériau de qualité « couche de forme » au sens strict du G.T.R. n'est pas indispensable. Economiquement, il pourra être préférable de réaliser :

- une substitution de la P.S.T. sur 0,60 à 0,70 m d'épaisseur avec des matériaux blocailleux de forte granularité (par ex. 0/150 à 0/200 mm de type C2) à mettre en œuvre en une seule couche,
- la couche supérieure de 0,20 m à 0,30 m d'épaisseur avec des matériaux de qualité « grave non traitée » (Ex : 0/63 mm).

Si la couche de forme doit passer un hiver avant de construire la chaussée, un enduit monocouche de protection est nécessaire. Si cette couche est soumise à circulation de chantier, il conviendra d'appliquer un enduit bicouche.

Dans le cas d'une couche de forme en matériaux traités et en considérant des sols peu déformables mais sensibles à l'eau, l'épaisseur de la couche de forme sera au minimum de 0,35 m.

La réalisation d'une couche de forme en matériaux traités permettra d'obtenir une classe de plate-forme PF3.

L'épaisseur de la couche de forme sera à adapter en fonction de la nature et de l'état hydrique des sols support au démarrage des travaux, et devra être suffisante pour garantir la tenue au gel des voiries.

Du fait de la sensibilité à l'eau des matériaux en présence, il sera nécessaire de privilégier la réalisation des voiries lors de conditions climatiques favorables afin de limiter les sujétions d'exécution, telle que des purges supplémentaires.

En présence de sols saturés ou remaniés de portance très faible (**ARO**), des purges, des substitutions voire un cloutage devront être envisagées, et définies dans ce cas par un géotechnicien en fonction des conditions rencontrées.

**VIII.2.5      Vérification de la portance :**

Avant la mise en œuvre des assises de chaussée, les plates-formes ainsi obtenues devront faire l'objet d'un contrôle en réception par essais statiques à la plaque, pour vérifier la qualité de la mise en œuvre :

- pour l'obtention d'une plate-forme **PF2-**, la valeur de référence du module EV2 à obtenir sera  $\geq 50$  MPa.
- pour l'obtention d'une plate-forme **PF2+**, la valeur de référence du module EV2 à obtenir sera  $\geq 80$  MPa.
- pour l'obtention d'une plate-forme **PF3**, la valeur de référence du module EV2 à obtenir sera  $\geq 120$  MPa.

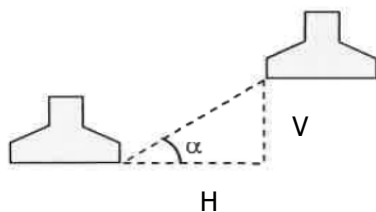
Dans le cas d'une couche de forme traitée à la chaux et aux liants hydrauliques, il sera nécessaire de réaliser préalablement, des essais d'aptitude suivi le cas échéant d'une étude de formulation afin d'examiner les performances mécaniques des sols en présence.

## IX SUJETIONS D'EXECUTION

**L'homogénéité des fonds de fouille sera soigneusement contrôlée et respectée.**

La mise en place du béton devra suivre immédiatement l'ouverture des fouilles afin d'éviter tout risque d'altération de leurs parois et assises sous l'effet des venues d'eau et de l'action des agents météoriques. Le bétonnage devra se faire à pleine fouille. Un béton de propreté devra être mis en place si nécessaire (gros béton) avant pose des aciers.

En cas d'ancrage des fondations à des niveaux différents, ce qui semble être le cas ici (existant fondé à -075m/TN VS projet à -1.30m/TN au droit des sondages), il conviendra de tenir compte de la pente maximale de 3H/1V (Horizontal/Vertical) entre arêtes de semelles les plus voisines.



En zone sismique 3 :  $\tan \alpha = V/H \leq 1/3$

En présence d'eau, un curage de fouille et un coulage du gros béton au tube plongeur sera également nécessaire.

La réalisation des fondations et le terrassement de la partie enterrée devront prendre en compte le niveau d'assise et la présence ou non de débords du bâtiment préexistant

A proximité directe de ces ouvrages, il conviendra donc :

- de ne pas déchausser les fondations des existants au moment du terrassement des fouilles de fondations, afin de garantir leur stabilité,
- de prévoir des fondations par semelles isolées descendues au minimum au même niveau d'assise que les fondations existantes,
- si nécessaire, de décaler les nouvelles fondations et de reprendre les charges en porte-à-faux, afin d'éviter les interactions avec les fondations existantes.

Une reprise en sous-œuvre ou une solution de soutènement devra être prévue dans le cas où l'assise des fondations à créer se situent sous le niveau des fondations existantes.

## X CONCLUSION

**Pour le projet de construction, il a été vérifié que le principe de fondations superficielles par semelles filantes/isolées, étaient conformes aux normes géotechniques. Avec un ancrage minimum de 30 cm dans l'altération micaschisteuse.**

**Il a été vérifié que toutes les fondations testées étaient justifiées pour les descentes de charge transmises.**

**Les descentes de charges fournies servent d'éléments pour le dimensionnement des fondations au stade de la mission G2PRO. Ils ne pourront en aucun cas servir d'éléments de référence pour le dimensionnement des fondations au stade EXE.**

Le tassement total prévisionnel, sous les fondations est de l'ordre du demi-centimètre avec un tassement différentiel du même ordre de grandeur.

**Il conviendra également de respecter la profondeur de mise hors-gel, à savoir un ancrage minimum de 0,50 m de profondeur par rapport au niveau fini du terrain après travaux.**

Il conviendra également de bien respecter les dispositions constructives définies aux chapitres VIII.

Il est très vivement conseillé, d'adjoindre une mission de type G3 Suivi d'exécution à la charge de l'Entreprise et une mission G4 (Supervision géotechnique d'exécution) à la charge de la Maîtrise d'Ouvrage.

APC INGENIERIE reste à la disposition des intervenants pour tout complément d'information relatif aux conclusions de la présente étude, dans le respect des critères mentionnés dans les conditions générales jointes en annexes.

A Vigneux-de-Bretagne, le 19 avril 2024.

Le Chargé d'Affaires :



M. GEFFRELOT

L'Ingénieur Responsable :



S. TURLE

**APC INGENIERIE**  
P.A. de la Biliais Deniaud - 3, Rue Albert de Dion  
**44360 VIGNEUX DE BRETAGNE**  
Tél. : 02.40.86.80.01  
Fax : 02.40.85.29.77

# **ANNEXES**

**ANNEXE 1 : CONDITIONS GENERALES**

**ANNEXE 2 : MISSIONS GEOTECHNIQUES**

**ANNEXE 3 : SITUATION GEOGRAPHIQUE**

**ANNEXE 4 : PLAN DE SITUATION**

**ANNEXE 5 : PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES**

**ANNEXE 6 : PROFILS DES SONDAGES**

**ANNEXE 7 : ESSAIS MATSUOS**

**ANNEXE 8 : RECONNAISSANCE DES FONDATIONS**

**ANNEXE 9 : ESSAIS DE LABORATOIRE**

## CONDITIONS GÉNÉRALES DE VALIDITÉ DES ÉTUDES GÉOTECHNIQUES

**Article 1** - Le présent rapport est constitué d'un texte et d'annexes qui constituent un ensemble indissociable dont la mauvaise utilisation résultant d'une modification ou reproduction partielle ne saurait engager la responsabilité d'APC INGENIERIE, tout en faisant droit à l'engagement de poursuites judiciaires contre son auteur.

**Article 2** - Toute modification dans la teneur du projet (implantation, importance des constructions) ou dans la géographie du site (par suite notamment d'apports de matériaux ou de terrassement entre l'étude et le début des travaux) doit être portée à la connaissance d'APC INGENIERIE qui sera amené, dans ce cas, à modifier éventuellement les conclusions de son étude.

**Article 3** - L'étude géotechnique étant ponctuelle par essence, tout élément nouveau mis en évidence en cours de chantier, non détecté lors des sondages (poche de matériau mou, présence localisée de remblai ou de déchets, venues d'eau, cavité,...) doit faire l'objet d'une communication immédiate à APC INGENIERIE qui pourra être amené à adapter les conclusions de l'étude aux nouvelles constatations.

**Article 4** - L'attention des concepteurs est particulièrement attirée sur l'importance du strict respect des normes en vigueur qui a conduit à l'émergence du présent rapport. En particulier, le domaine de définition de l'étude réalisée ne saurait excéder celui de la mission géotechnique concédée au sens de la norme NF P94-500.

**Article 5** - L'extrapolation des conclusions de l'étude géotechnique à des constructions voisines situées hors de l'emprise reconnue ne saurait engager de quelque manière que ce soit la responsabilité d'APC INGENIERIE.

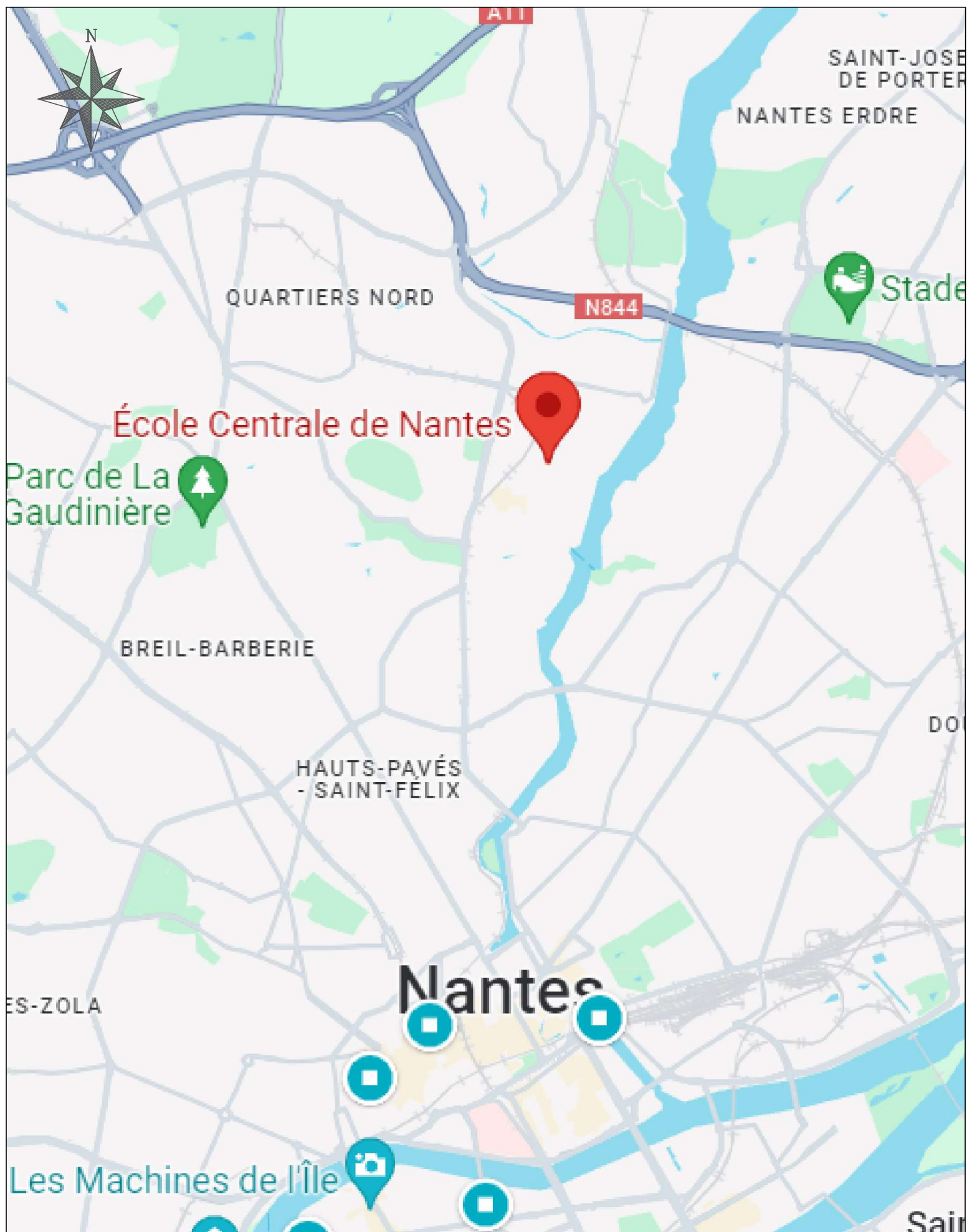
**Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique**

<p>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.</p>
<p><b>ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)</b></p> <p>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 :</p> <p><u>Phase Étude de Site (ES)</u></p> <p>Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.</li> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.</li> </ul> <p><u>Phase Principes Généraux de Construction (PGC)</u></p> <p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— 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).</li> </ul>
<p><b>ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)</b></p> <p>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 :</p> <p><u>Phase Avant-projet (AVP)</u></p> <p>Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— 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.</li> </ul> <p><u>Phase Projet (PRO)</u></p> <p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— 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.</li> </ul> <p><u>Phase DCE / ACT</u></p> <p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 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).</li> <li>— 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.</li> </ul>



**Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique (suite)**

<p><b>ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)</b></p> <p><b>ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)</b></p> <p>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 :</p> <p><u>Phase Étude</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— 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).</li> <li>— Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.</li> </ul> <p><u>Phase Suivi</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.</li> <li>— 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).</li> <li>— 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)</li> </ul> <p><b>SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)</b></p> <p>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 :</p> <p><u>Phase Supervision de l'étude d'exécution</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 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.</li> </ul> <p><u>Phase Supervision du suivi d'exécution</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 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).</li> <li>— donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.</li> </ul> <p><b>DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)</b></p> <p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— 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.</li> <li>— 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).</li> </ul>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



## ECOLE CENTRALE DE NANTES

Construction d'une volière pour drones

NANTES (44)

Plan de situation géographique

N° :

23.1422

Date :

01.12.2023

Ech :

/





AUDENCIA ENSA



# LS2N - Laboratoire des Sciences Numériques...



ECOLE CENTRALE DE NANTES

Construction d'une volière pour drones

NANTES (44)

Plan de situation

N° :

23.1422

Date :

01.12.2023

Ech :





/

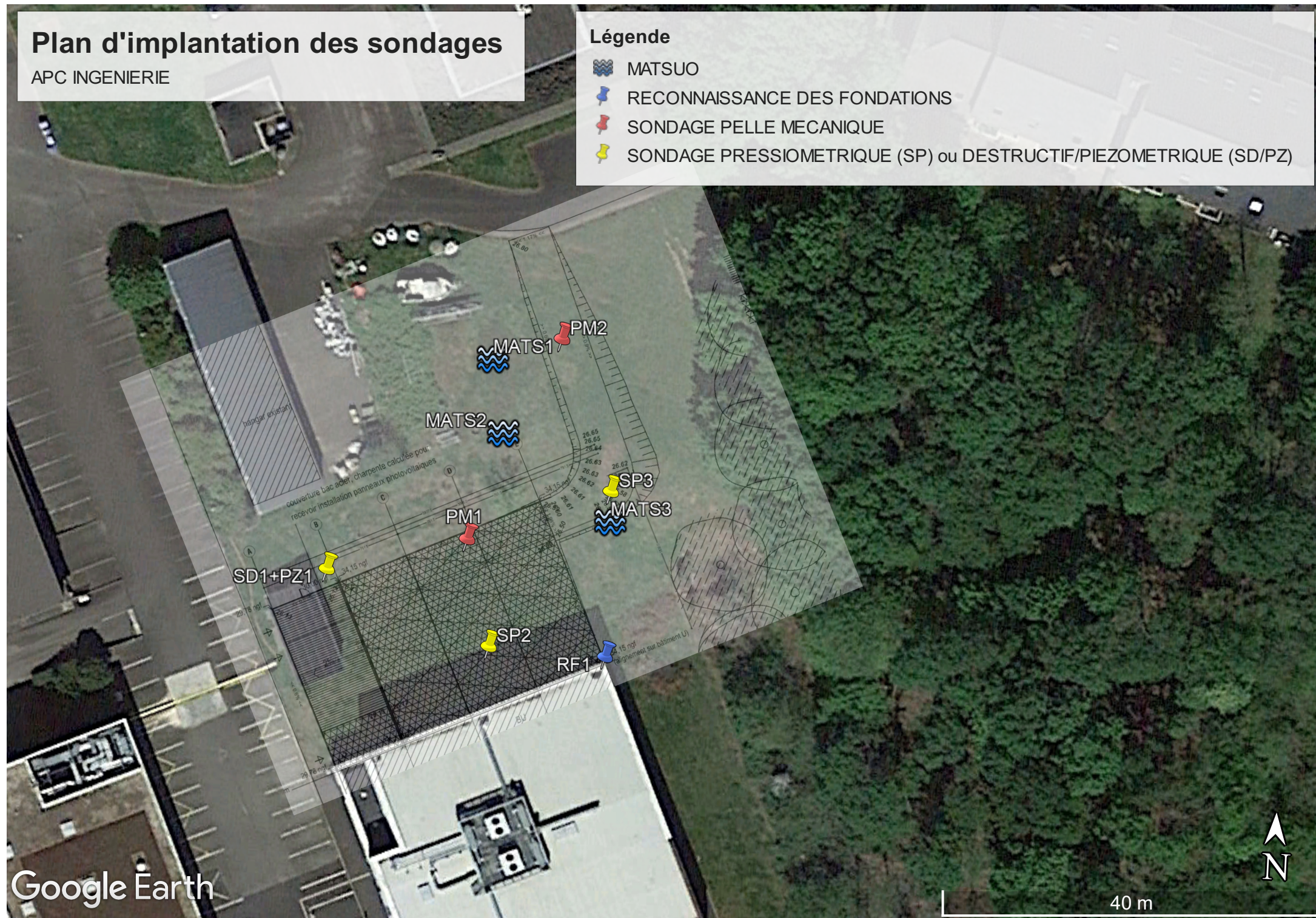


# Plan d'implantation des sondages

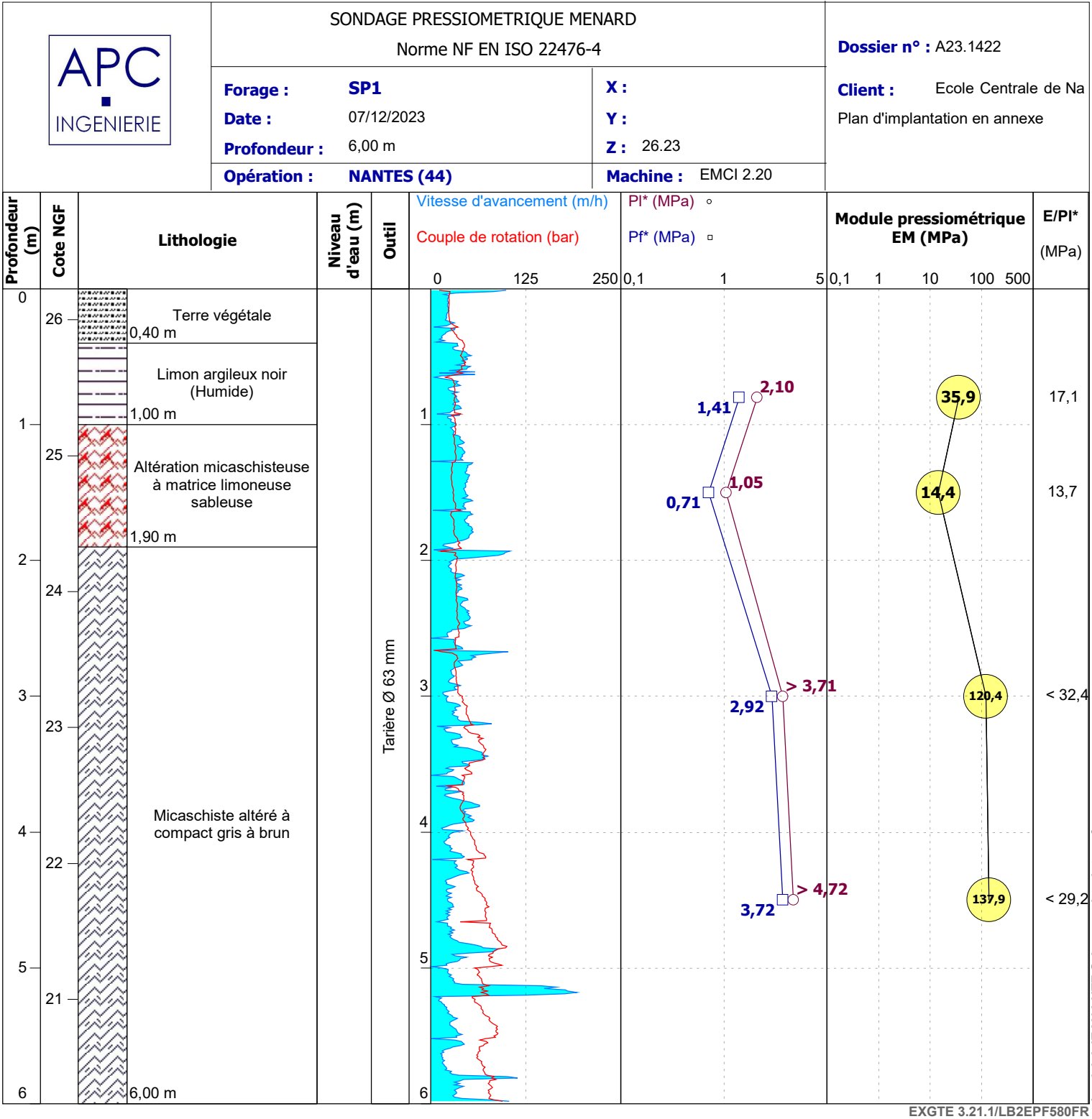
APC INGENIERIE

## Légende

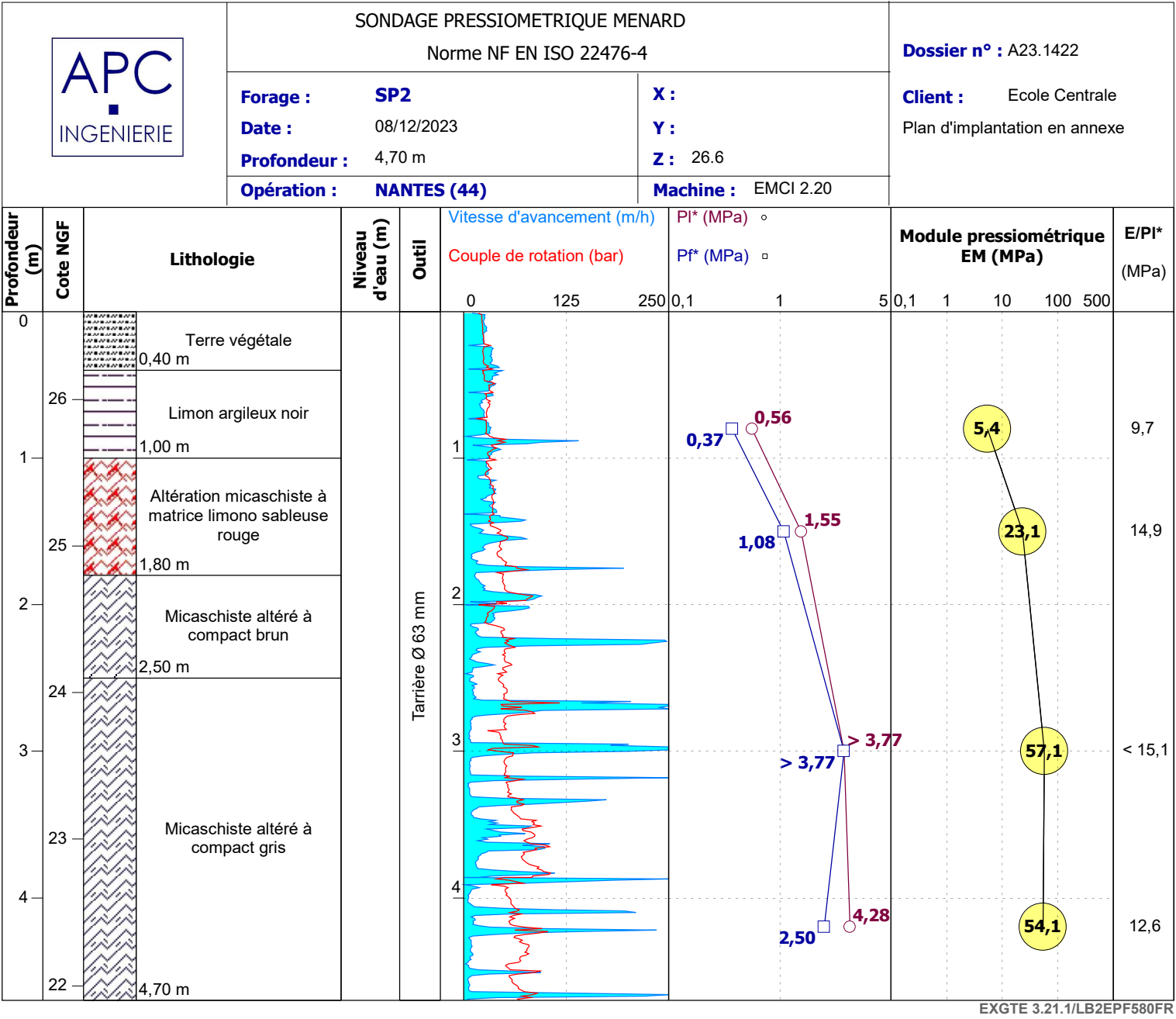
-  MATSUO
-  RECONNAISSANCE DES FONDATIONS
-  SONDAGE PELLE MECANIQUE
-  SONDAGE PRESSIOMETRIQUE (SP) ou DESTRUCTIF/PIEZOMETRIQUE (SD/PZ)







Observations : Sec



Observations : sec

<div><div>APC</div><div>INGENIERIE</div></div>		SONDAGE PRESSIOMETRIQUE MENARD				Dossier n° : 23.1422		
		Norme NF EN ISO 22476-4						
		Forage : SD1		X :				Client : Ecole Centrale de Na
		Date : 08/12/2023		Y :				
Profondeur : 3,07 m		Z : 26.13						
Opération : NANTES (44)		Machine : EMCI 2.20						

Profondeur (m)	Cote NGF	Lithologie	Niveau d'eau (m)	Equipement forage	Outil	Vitesse d'avancement (m/h)	Couple de rotation (bar)
0	26	Terre végétale 0,40 m		PVC plein	Tariere Ø90	0 125 250	
		limon argileux noir humide 1,00 m				1	
1	25	Altération micaschiste à matrice limono sableuse gris 2,00 m		PVC crépiné		2	
2	24	Micaschiste altéré à compact gris 3,07 m				3	

EXGTE 3.21.1/LB2EPF580FR

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

Observations :

DOSSIER	A23.1422	Engin	Pelle 2T5	<div>APC</div> <div>INGENIERIE</div>
CHANTIER	Construction d'une volière pour drones	Date	14/12/2023	
VILLE	NANTES (44)	Opérateur	ML	
CLIENT	ECOLE CENTRALE DE NANTES	Cote NGF	26,671	

SONDAGE A LA PELLE N°	PM1
-----------------------	-----

Cote	Stratigraphie	Description	Rippabilité			Tenue fouille			Echantillon
			bonne	moyenne	Dur	bonne	moyenne	boulant	
0,00 à 0,40m	TV	Terre végétale	X			X			-
0,40 à 1,00m	Micaschiste	Altération micaschisteuse (rougeâtre,marron)	X			X			X
1,00 à 1,50m		Micaschiste altéré		X		X			X

**Nature de l'arret :** Refus à la pelle

**Eau :** Venue d'eau à 50cm

**Observation :** Néant





DOSSIER	A23.1422	Engin	Pelle 2T5	<div>APC</div> <div>INGENIERIE</div>
CHANTIER	Construction d'une volière pour drones	Date	14/12/2023	
VILLE	NANTES (44)	Opérateur	ML	
CLIENT	ECOLE CENTRALE DE NANTES	Cote NGF	27,14	

SONDAGE A LA PELLE N°	PM2
-----------------------	-----

Cote	Stratigraphie	Description	Rippabilité			Tenue fouille			Echantillon
			bonne	moyenne	Dur	bonne	moyenne	boulant	
0,00 à 0,20m	TV	Terre végétale	X			X			-
0,20 à 1,00m	Micaschiste	Altération micaschisteuse (marron, beige)	X			X			X
1,00 à 1,80m		Micaschiste altéré		X		X			X

**Nature de l'arrêt :** Refus à la pelle

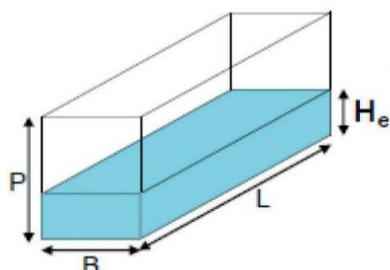
**Eau :** Pas de venue d'eau

**Observation :** Néant



Date : **14/12/2023**  
Chantier : **NANTES**  
N° de sondage : **MA1**

Client : **Ecole centrale de Nantes**  
Dossier : **A23,1422**  
Nature des matériaux : **Micaschiste altéré**

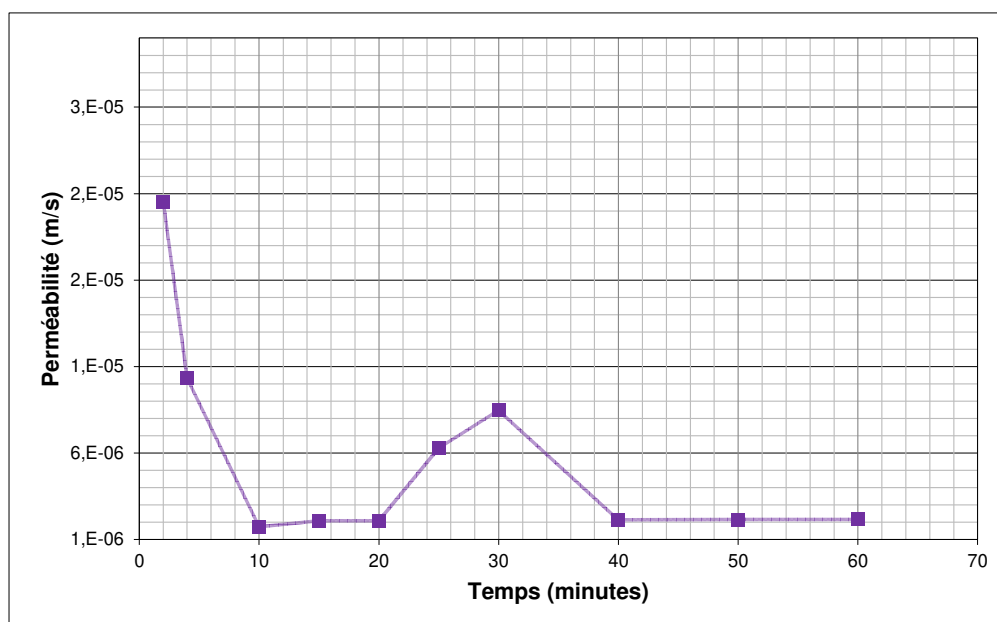


Longueur fouille L (m) **1,00**  
Largeur fouille B (m) **1,00**  
Profondeur P (m/TN) **1,00**  
  
Coeff. de forme (m) **0,250**  
Coeff. de sécurité **1**

Saturation préalable (terrain saturé)

Temps (min)	Hauteur d'eau $H_e$ (m)
0	0,775
2	0,765
4	0,760
10	0,758
15	0,755
20	0,753
25	0,745
30	0,735
40	0,730
50	0,725
60	0,720

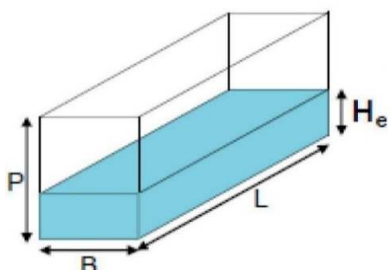
**Perméabilité K (m/s) = 3,3E-06**



## Essai de perméabilité MATSUO

Date : **14/12/2023**  
Chantier : **NANTES**  
N° de sondage : **MA2**

Client : **Ecole centrale de Nantes**  
Dossier : **A23,1422**  
Nature des matériaux : **Micaschiste altéré**  
**Refus**

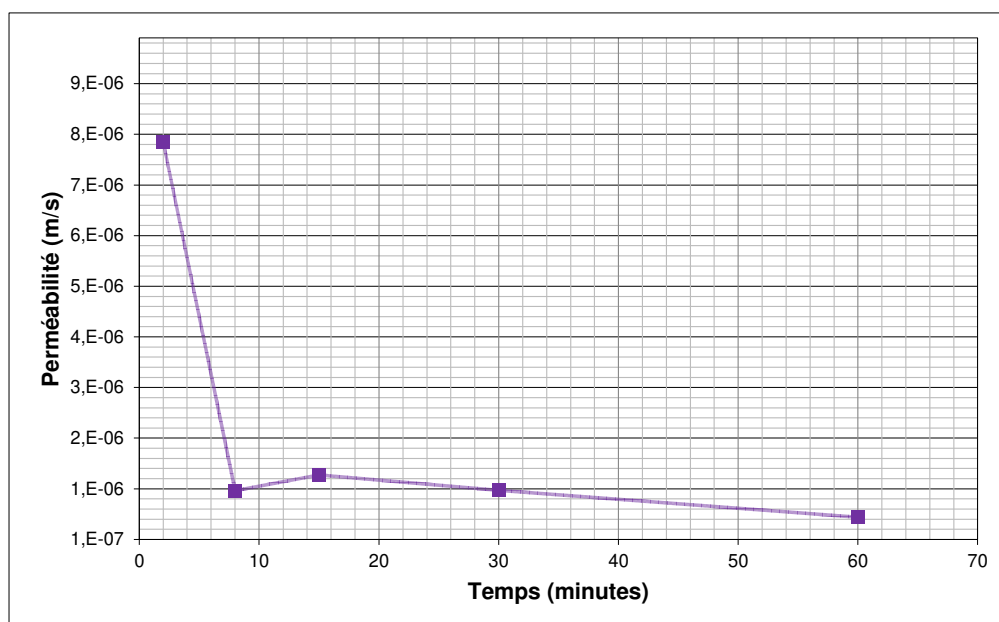


Longueur fouille L (m) : **1,20**  
Largeur fouille B (m) : **1,00**  
Profondeur P (m/TN) : **0,70**  
  
Coeff. de forme (m) : **0,273**  
Coeff. de sécurité : **1**

Saturation préalable (terrain saturé)

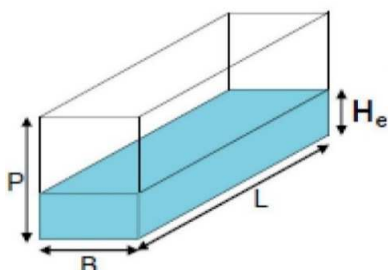
Temps (min)	Hauteur d'eau $H_e$ (m)
0	0,445
2	0,443
8	0,442
15	0,440
30	0,438
60	0,435

**Perméabilité K (m/s) = 8,3E-07**



Date : **14/12/2023**  
Chantier : **NANTES**  
N° de sondage : **MA3**

Client : **Ecole centrale de Nantes**  
Dossier : **A23,1422**  
Nature des matériaux : **Remblais argileux**

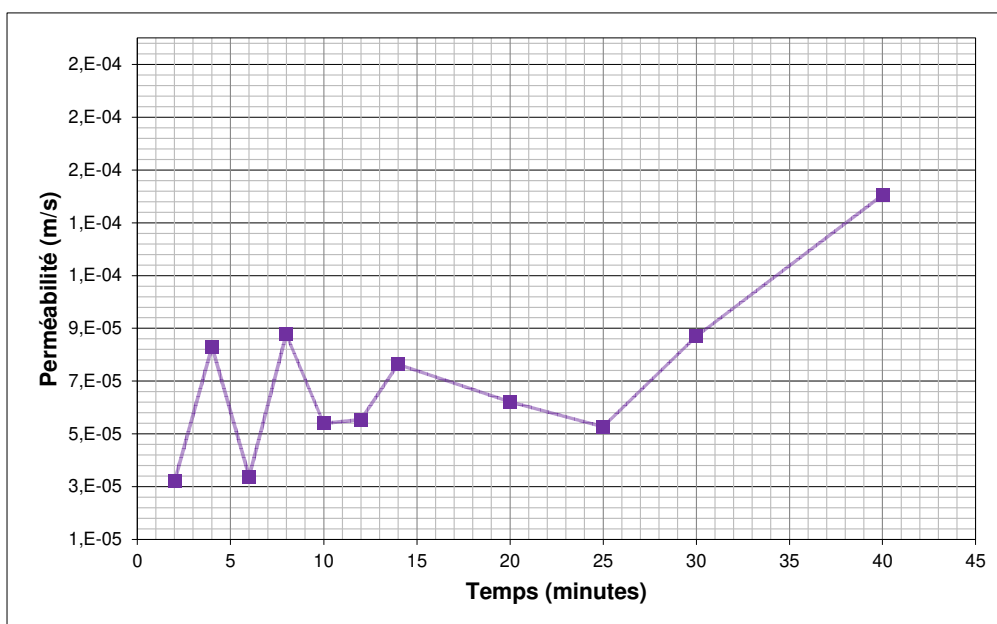


Longueur fouille L (m) **1,10**  
Largeur fouille B (m) **1,00**  
Profondeur P (m/TN) **1,00**  
  
Coeff. de forme (m) **0,262**  
Coeff. de sécurité **1**

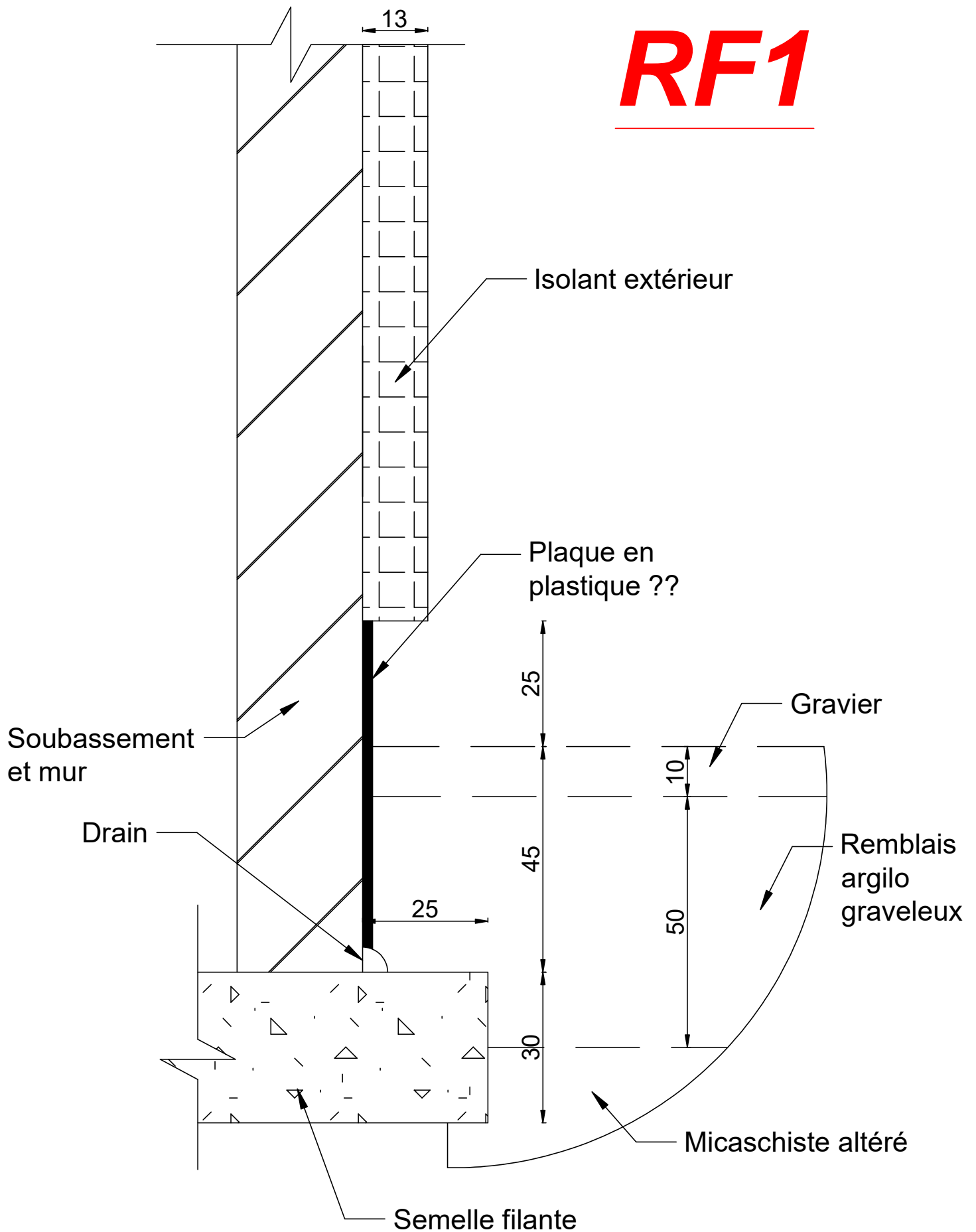
Saturation préalable (terrain saturé)

Temps (min)	Hauteur d'eau $H_e$ (m)
0	0,430
2	0,420
4	0,395
6	0,385
8	0,360
10	0,345
12	0,330
14	0,310
20	0,265
25	0,235
30	0,190
40	0,080
50	0,030

**Perméabilité K (m/s) = 6,4E-05**



# RF1



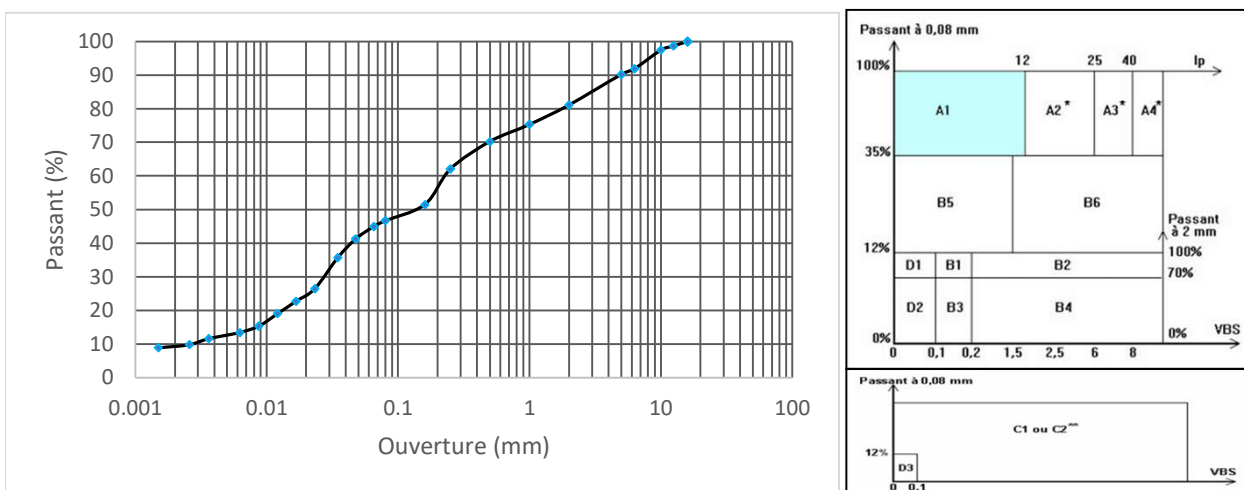
## Classification des matériaux

Norme NF P 11-300

<b>Dossier :</b>	A23-1422	<b>Sondage :</b>	SP2
<b>Affaire :</b>	Nantes	<b>Profondeur (m) :</b>	0.8 - 1.8 m
<b>Chargé d'Affaire :</b>	Clément Coutand	<b>Date prélèvement :</b>	08/12/2024
<b>Demandeur/Client :</b>	Ecole Centrale de Nantes	<b>Date essais :</b>	09/01/2024
		<b>Nature :</b>	LIMON sableux rouge

Observations:

### PARAMETRES DU MATERIAU



Granularité	Dmax (mm)	Analyse granulométrique - NF P94-056 et NF P94-057				
		Tamis (mm)	50	2 (sur 0/50)	0,08 (sur 0/50)	0,002 (sur 0/50)
	16	Passant (%)	100.0	81.1	46.7	9

Argilosité	NF P94-051 et NF P94-052-1			NFP90-060-1	NF P94-068
	W <sub>L</sub> (%)	W <sub>P</sub> (%)	I <sub>p</sub> (%)	W <sub>R</sub> (%)	VBS (g/100g)
	40	30	10		

Etat hydrique	NF P94-050	NF P94-051	NF P94-078	NF P94-093
	W <sub>N</sub>	I <sub>c</sub>	I <sub>PI</sub>	W <sub>N</sub> /W <sub>OPN</sub>
	13.1%	2.19		

<b>CLASSIFICATION GTR</b>	<b>A1</b>
---------------------------	-----------

## Analyse Granulométrique

Normes NF P94-056 et NF P94-057

<b>Dossier :</b>	A23-1422	<b>Sondage :</b>	SP2
<b>Affaire :</b>	Nantes	<b>Profondeur (m) :</b>	0.8 - 1.8 m
<b>Chargé d'Affaire :</b>	Clément Coutand	<b>Date prélèvement :</b>	08/12/2024
<b>Demandeur/Client :</b>	Ecole Centrale de Nantes	<b>Date essais :</b>	09/01/2024
		<b>Nature :</b>	LIMON sableux rouge

Observations:

### RESULTATS

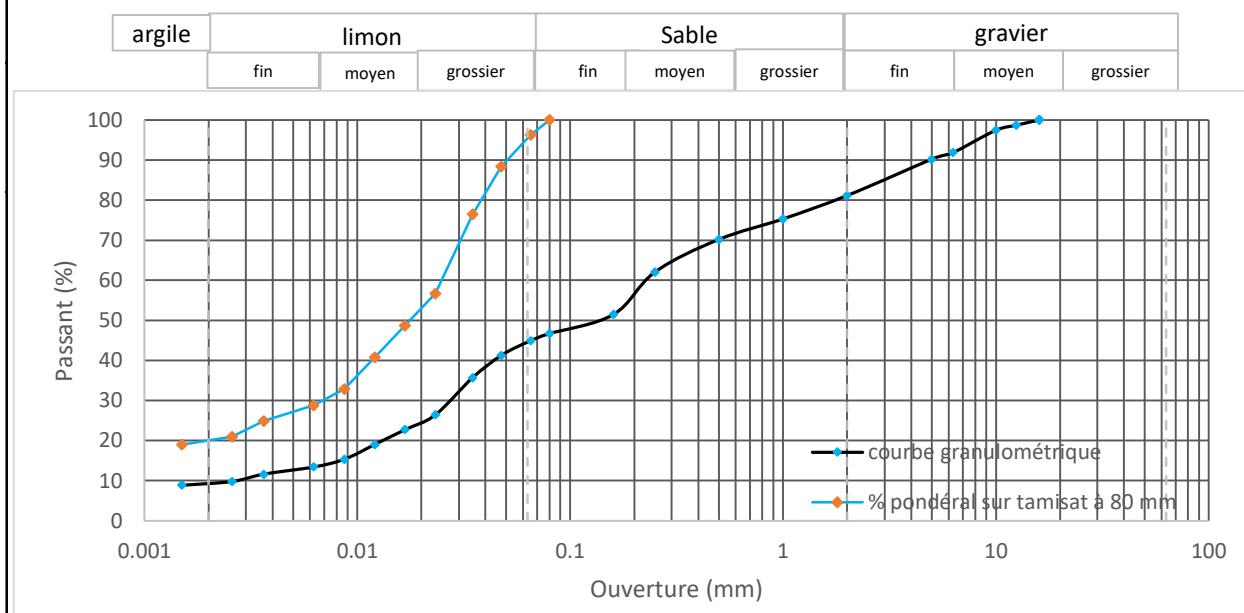
Dm:	16	% d'éléments > Dm:	0.0%	ps:	2.65 t/m3	estimé
-----	----	--------------------	------	-----	-----------	--------

#### Analyse par tamisage - NF P94-056

Tamis (mm)	50	20	10	5	2	1	0.25	0.08
Passant (%)	100.0	100.0	97.4	90.2	81.1	75.3	62.1	46.7

#### Analyse par sédimentation - NF P94-057

D (μm)	65.4	34.8	16.8	12.1	8.7	6.2	3.6	1.5
Passant (%)	96.3	76.4	48.7	40.8	32.9	28.8	24.9	19.0



D <sub>10</sub> (mm)	D <sub>15</sub> (mm)	D <sub>30</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>60</sub> (mm)
0.0027	0.0083	0.0277	0.1356	0.2325

C <sub>c</sub>	C <sub>u</sub>
1.2	86

L'Ingénieur responsable :  
**APC INGENIERIE**  
P.A. de la Biliais Deniaud - 3, Rue Albert de Dion  
44360 VIGNEUX DE BRETAGNE  
Tél. : 02.40.86.80.01  
Fax : 02.40.85.29.77

*S. TURLE*



## Limites d'Atterberg

Normes NF P94-051 et NF P94-052-1

<b>Dossier :</b>	A23-1422	<b>Sondage :</b>	SP2
<b>Affaire :</b>	Nantes	<b>Profondeur (m) :</b>	0.8 - 1.8 m
<b>Chargé d'Affaire :</b>	Clément Coutand	<b>Date prélevement :</b>	08/12/2024
<b>Demandeur/Client :</b>	Ecole Centrale de Nantes	<b>Date essais :</b>	09/01/2024
		<b>Nature :</b>	LIMON sableux rouge

Observations:

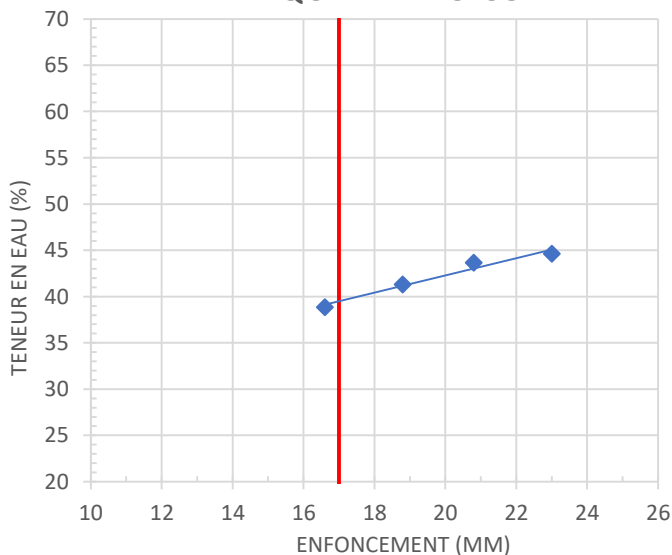
### MESURE DE LA LIMITE DE LIQUIDITÉ AU CÔNE (NF P 94-052-1)

Mesures	1	2	3	4	5
Enfoncement (mm)	23.0	20.8	18.8	16.6	
Teneur en eau (%)	44.6	43.7	41.3	38.8	

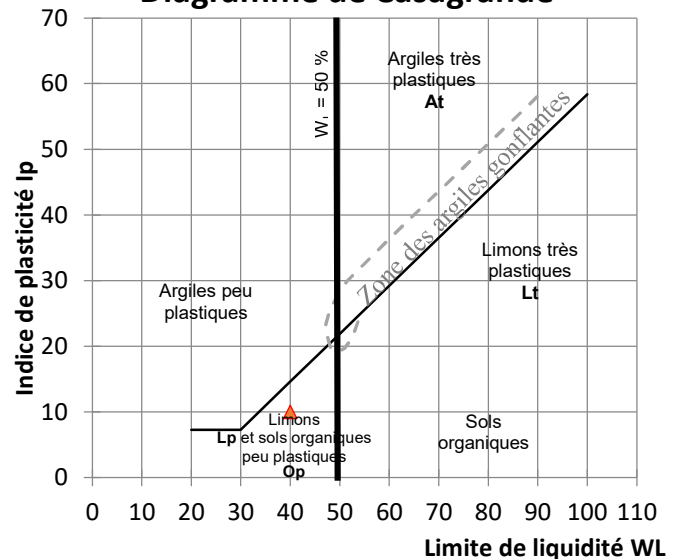
### MESURE DE LA LIMITE DE PLASTICITE (NF P 94-051)

Mesures	1	2	3	moyenne
Teneur en eau (%)	29.2	30.6		29.9

### LIMITE DE LIQUIDITÉ AU CÔNE



### Diagramme de Casagrande



### RÉSULTATS

Teneur en eau équivalente $w_{<0,4}$	18.1%
Limite de liquidité $w_L$	40
Limite de plasticité $w_p$	30
Indice de plasticité $I_p$	10
Indice de liquidité $I_L$	-1.2
Indice de consistance $I_c$	2.19

L'Ingénieur responsable :  
**APC INGENIERIE**  
P.A. de la Biliais Deniaud - 3, Rue Albert de Dion  
44360 VIGNEUX DE BRETAGNE  
Tél. : 02.40.86.80.01  
Fax : 02.40.85.29.77  
 S. TURLE



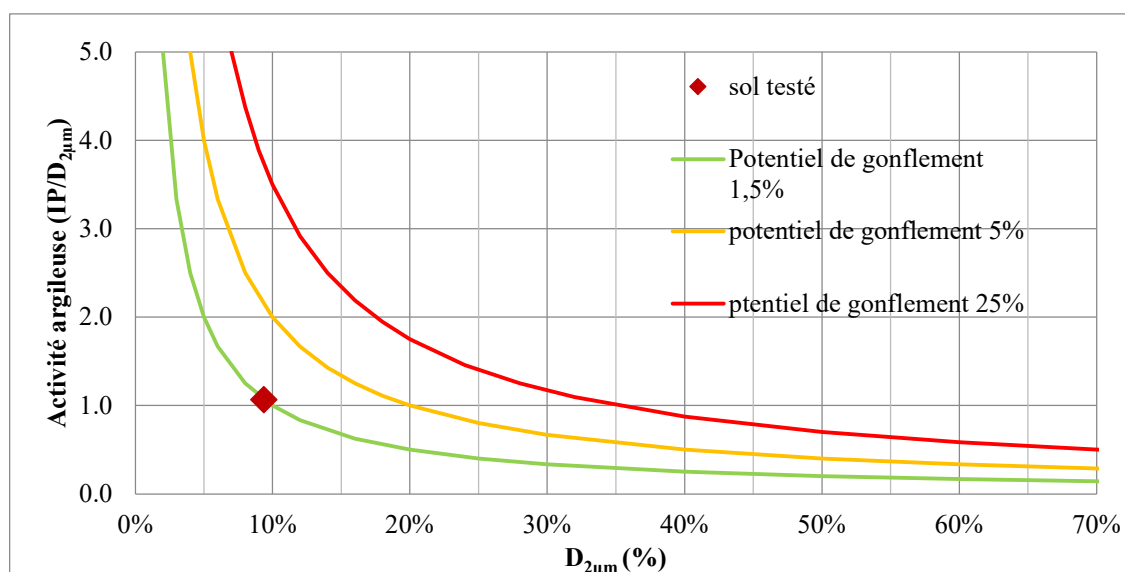
## Sensibilité au retrait-gonflement

<b>Dossier :</b>	A23-1422	<b>Sondage :</b>	SP2
<b>Affaire :</b>	Nantes	<b>Profondeur (m) :</b>	0.8 - 1.8 m
<b>Chargé d'Affaire :</b>	Clément Coutand	<b>Date prélèvement :</b>	45634
<b>Demandeur/Client :</b>	Ecole Centrale de Nantes	<b>Date essais :</b>	45300
		<b>Nature :</b>	LIMON sableux rouge

Potentiel de gonflement suivant Seed et al. (1962)

ACTIVITE ARGILEUSE :  $A = IP/(D_{2\mu m})$

(Skempton (1953))



PARAMETRES DU MATERIAU				
IP	C2	A		
10	9%	1.1		

Qualificatif de la fraction argileuse (selon Skempton)	moyenne
Potentiel de gonflement (selon Seed)	moyen

## AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Tel. +31(0)570 788110  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

APC INGENIERIE (44)  
Equipe Géotechnique  
3 rue Albert de DION  
PA Biliais Deniaud  
44360 Vigneux de Bretagne  
FRANCE

Date 22.12.2023  
N° Client 35009806  
N° commande 1354064

## RAPPORT D'ANALYSES

**Cde 1354064** Solide / Eluat

*Client* 35009806 APC INGENIERIE (44)  
*Référence* CC - NANTES - A23.1422 - SP2 1,8 - 2,5m  
*Date de validation* 18.12.23  
*Prélèvement par:* Client

Madame, Monsieur

Nous avons le plaisir de vous adresser ci-joint le rapport définitif des analyses chimiques provenant du laboratoire pour votre dossier en référence.

Nous signalons que le certificat d'analyses ne pourra être reproduit que dans sa totalité. Les annexes éventuelles font partie du rapport.

Nous vous informons que seules les conditions générales de AL-West, déposées à la Chambre du Commerce et de l'Industrie de Deventer, sont en vigueur.

Au cas où vous souhaiteriez recevoir des renseignements complémentaires, nous vous prions de prendre contact avec le service après-vente.

En vous remerciant pour la confiance que vous nous témoignez, nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur l'expression de nos sincères salutations.

Respectueusement,

**AL-West B.V. Mme Fatima-Zahra Saati, Tel. 33/380680132**  
**Chargée relation clientèle**

Kamer van Koophandel Directeur  
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder  
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer  
NL 811132559 B01

page 1 de 4



# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Tel. +31(0)570 788110  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



# AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

**Cde 1354064 Solide / Eluat**

N° échant.	Prélèvement	Nom de l'échantillon
584622	Sans objet	CC - NANTES - A23.1422 - SP2 1,8 - 2,5m

Unité

**584622**

CC - NANTES - A23.1422 - SP2  
1,8 - 2,5m

## Prétraitement des échantillons

Prétraitement de l'échantillon		<b>++</b>
Matière sèche	%	<b>85,6</b>

## Analyses Physico-chimiques

Sulfures solubles	mg/kg Ms	<b>&lt;0,20</b> <sup>*)</sup>
Chlorures	mg/kg Ms	<b>&lt;20</b> <sup>*)</sup>

## Agressivité chimique sur béton

Grade d'agressivité sur béton (selon DIN 4030)	MS	<b>&lt;XA1</b>
------------------------------------------------	----	----------------

## Autres analyses

Acidité selon Baumann-Gully	ml/kg Ms	<b>76</b> <sup>*)</sup>
Sulfates (SO4)	mg/kg Ms	<b>1790</b> <sup>*)</sup>

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.  
les incertitudes de mesure analytiques spécifiques aux paramètres ainsi que les informations sur la méthode de calcul sont disponibles sur demande, si les résultats communiqués sont supérieurs à la limite de quantification spécifique au paramètre. Les critères de performance minimaux des méthodes appliquées sont généralement basés selon la Directive 2009/90/CE de la Commission Européenne en ce qui concerne l'incertitude de mesure.

Début des analyses: 18.12.2023

Fin des analyses: 22.12.2023

Les résultats portent exclusivement sur les échantillons analysés. Si le laboratoire n'est pas responsable de l'échantillonnage, les résultats correspondent à l'échantillon tel qu'il a été reçu. Le laboratoire n'est pas responsable des informations fournies par le client. Les informations du client, le cas échéant, présentées dans le présent rapport d'essai ne sont pas soumises à l'accréditation du laboratoire et peuvent affecter la validité des résultats d'essai. La reproduction d'extraits de ce rapport sans notre autorisation écrite n'est pas autorisée.

**AL-West B.V. Mme Fatima-Zahra Saati, Tel. 33/380680132**  
**Chargée relation clientèle**

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole "\*)".

# AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Tel. +31(0)570 788110  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



**Cde 1354064** Solide / Eluat

## Liste des méthodes

**Conforme à NEN-EN 16179 :** Prétraitement de l'échantillon

**DIN 4030** \*) : Sulfures solubles Acidité selon Baumann-Gully Chlorures Sulfates (SO<sub>4</sub>)

**NEN-EN 15934** : Matière sèche

**<Sans objet>** : Grade d'agressivité sur béton (selon DIN 4030)

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole " \* ) " .

## AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands  
Tel. +31(0)570 788110  
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



## Annexe de N° commande 1354064

### CONSERVATION, TEMPS DE CONSERVATION ET FLACONNAGE

Des écarts aux prescriptions des protocoles analytiques ont été observés. Ces différences peuvent affecter la fiabilité des résultats sur les échantillons mentionnés ci-après.

584622 La date de prélèvement de l'échantillon est inconnue.

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole " \* " .