

ETUDE GEOTECHNIQUE

Mission G2 AVP

Etude de sol préalable à la réalisation
d'un lotissement
« Le Clos du Canal II »
Nort-sur-Erdre (44)

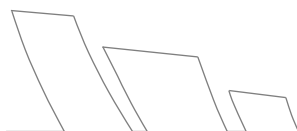


CLIENT

| | |
|----------------------|--|
| NOM | ADI |
| ADRESSE | 32, rue de la Noue Bras de Fer 44200 NANTES |
| INTERLOCUTEUR | M. LE HAHIER |

ECR ENVIRONNEMENT

| DATE | INDICE | OBSERVATION / MODIFICATION | REDACTEUR | VERIFICATEUR |
|-------------|---------------|-----------------------------------|------------------|---------------------|
| 01/04/2020 | 01 | Mission G2 AVP – Lotissement | B. MAUREL | R. DAHERON |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |



SOMMAIRE

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | PRESENTATION | 4 |
| 1.1. | CADRE DE L'ETUDE..... | 4 |
| 1.2. | LOCALISATION ET DESCRIPTION DU SITE | 4 |
| 1.3. | DESCRIPTION DU PROJET..... | 5 |
| 1.4. | CONTEXTE GEOLOGIQUE | 6 |
| 1.5. | RISQUES NATURELS | 7 |
| 1.5.1. | <i>Aléa retrait-gonflement des argiles</i> | 7 |
| 1.5.2. | <i>Aléa remontées de nappes</i> | 7 |
| 1.5.3. | <i>Aléa sismique</i> | 7 |
| 2. | MISSION ET PROGRAMME DE RECONNAISSANCE..... | 8 |
| 2.1. | MISSION | 8 |
| 2.2. | PROGRAMME | 8 |
| 2.3. | CONSISTANCE DES INVESTIGATIONS..... | 9 |
| 3. | RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS..... | 10 |
| 3.1. | IMPLANTATION ET NIVELLEMENT | 10 |
| 3.2. | GEOLOGIE | 10 |
| 3.3. | HYDROGEOLOGIE | 11 |
| 3.4. | GEO-MECANIQUE | 11 |
| 3.5. | RESULTATS DES ESSAIS DE PERMEABILITE..... | 12 |
| 3.6. | RESULTATS DES ANALYSES EN LABORATOIRE | 13 |
| 4. | SISMICITE ET LIQUEFACTION DES SOLS | 14 |
| 4.1. | CATEGORIES DE BATIMENTS | 14 |
| 4.2. | COEFFICIENT D'IMPORTANCE | 14 |
| 4.3. | EXIGENCE SUR LE BATI NEUF | 15 |
| 4.4. | CLASSE DE SOLS SELON L'EUROCODE 8 | 15 |
| 5. | ETUDE PRELIMINAIRE DE SITE | 17 |
| 5.1. | SYNTHESE DES INVESTIGATIONS | 17 |
| 5.2. | TYPE DE FONDATIONS ENVISAGEABLES..... | 17 |
| 5.3. | DALLAGES | 18 |
| 5.4. | TERRASSEMENTS | 18 |
| 6. | ETUDE DES VOIRIES NOUVELLES | 19 |
| 6.1. | CLASSE DE TRAFIC TI | 19 |
| 6.2. | PREPARATION DU FOND DE FORME..... | 19 |



| | | |
|-----------|---|------------------|
| 6.3. | PARTIE SUPERIEURE DE TERRASSEMENT (PST) ET ARASE (AR) | 20 |
| 6.4. | MISE EN ŒUVRE DE LA COUCHE DE FORME | 22 |
| 6.5. | STRUCTURE DE CHAUSSEE | 23 |
| 6.6. | SUGGESTIONS PARTICULIERES ET DRAINAGE | 23 |
| 7. | <u>TERRASSEMENTS GENERAUX</u> | <u>24</u> |
| 7.1. | MOYENS D'EXTRACTION..... | 24 |
| 7.2. | TRAFICABILITE | 24 |
| 7.3. | STABILITE DES TALUS EN DEBLAIS ET EN REMBLAIS..... | 24 |
| 7.4. | REUTILISATION DES MATERIAUX DU SITE EN REMBLAIS..... | 25 |
| 7.5. | REUTILISATION DES MATERIAUX DU SITE EN COUCHE DE FORME..... | 25 |
| 8. | <u>EAU ET DRAINAGE.....</u> | <u>26</u> |
| 8.1. | RAPPELS | 26 |
| 8.2. | PHASE PROVISOIRE | 26 |
| 8.3. | PHASE DEFINITIVE | 27 |
| 9. | <u>CONDITIONS PARTICULIÈRES</u> | <u>28</u> |

ANNEXES

- Annexe 1 : Extrait de la norme NF P 94-500 (2 pages)
- Annexe 2 : Implantation des sondages (1 page)
- Annexe 3 : Résultats des investigations in-situ (9 pages)
- Annexe 4 : Résultats des analyses en laboratoire (2 pages)



1. PRESENTATION

1.1. Cadre de l'étude

Cette étude a été réalisée par la société ECR Environnement – Z.A. du Taillis – 3-5, rue des Clairières – 44840 LES SORINIERES, à la demande du Maître d'Œuvre :

AGEIS

18, rue de la Planchonnais
44980 SAINTE-LUCE-SUR-LOIRE

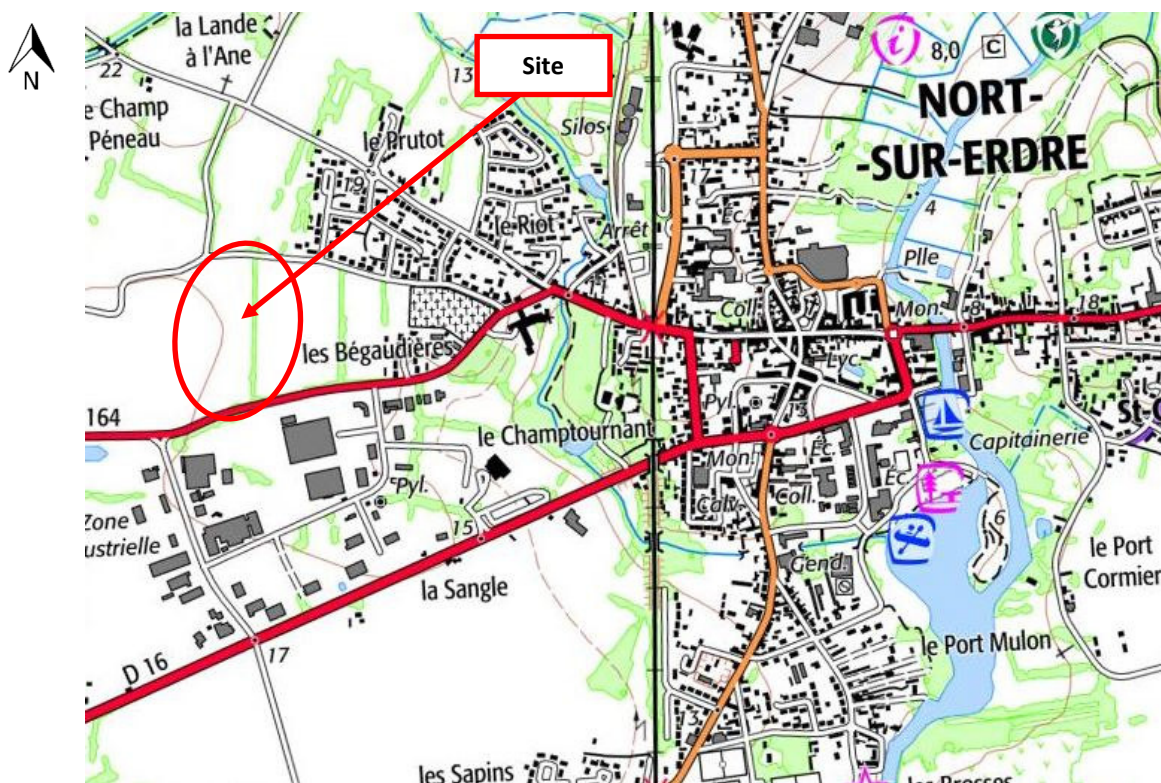
et pour le compte du Maître d'Ouvrage :

ADI

32, rue de la Noue Bras de Fer
44200 NANTES

1.2. Localisation et description du site

Le projet de lotissement « le Clos du Canal II », se situe entre l'avenue des Fauvettes et la route de Blain, sur la commune Nort-sur Erdre (44).



Plan de situation – Extrait du site www.geoportail.fr

1.3. Description du projet

D'après les éléments communiqués, le projet prévoit la création d'un lotissement avec :

- 44 lots libres (surface moyenne des parcelles : 400 m²),
- 45 maisons individuelles groupées (surface des parcelles comprises entre 150 et 200 m²),
- 14 logements collectifs sociaux (1 îlot de 14 logements de type R+2),
- 1 caserne de gendarmerie sur 0,6 ha (bureaux/locaux techniques et 20 logements de type R+1+C à R+2+C aménageables),
- des voiries en enrobées,
- des bassins et noues de rétention des eaux pluviales.



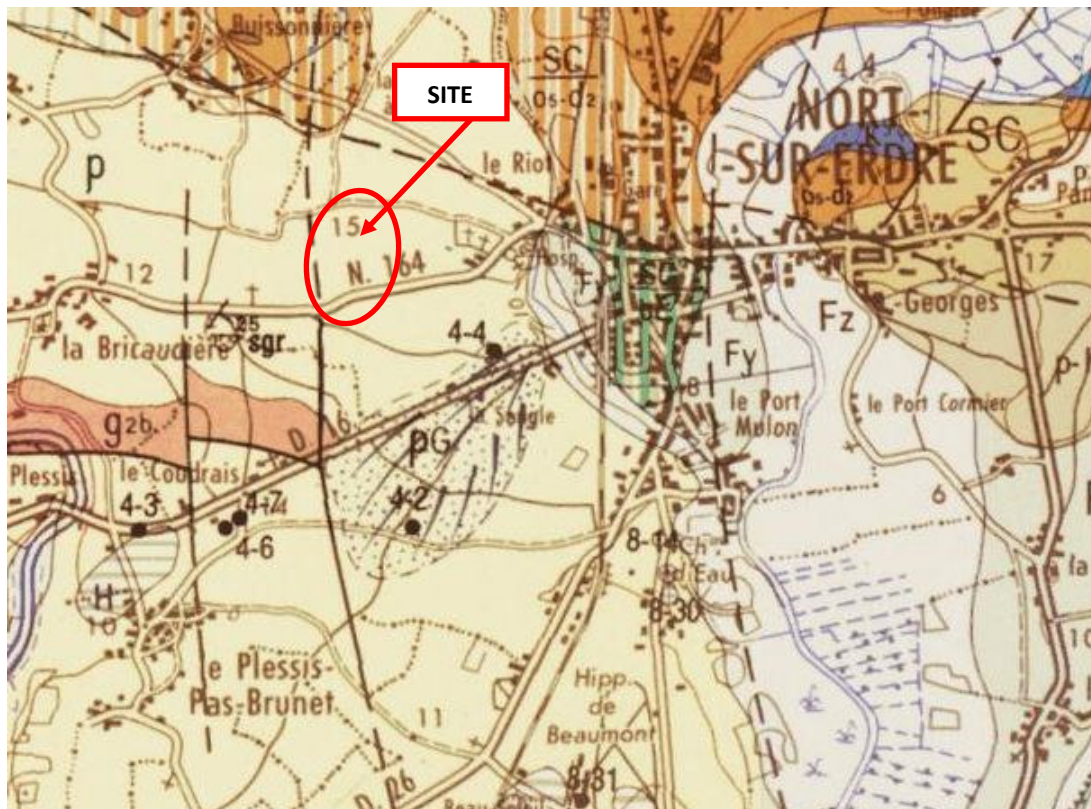
Remarque : A ce stade du projet, l'emprise exacte et les caractéristiques de chaque bâtiment projeté (cf. ci-dessus) ne sont pas définitifs et peuvent faire l'objet de modifications. De plus, les niveaux finis et les classes de trafic du

projet de voiries ne nous ont pas été fournis. Il conviendra donc de vérifier que les préconisations et les dispositions retenues dans ce rapport soient en accord avec les caractéristiques réelles du projet.

1.4. Contexte géologique

D'après la carte géologique de NORT-SUR-ERDRE au 1/50 000^{ème} et notre expérience de la région, la succession géologique attendue au droit du site est la suivante (cf. extrait de la carte géologique ci-après) :

- Pliocène caractérisé par des sables et graviers rouges à jaune chamois,
- Substratum probablement caractérisé par les Schistes satinés à séricites-chlorite ("Biovérien") : série des Mauges.

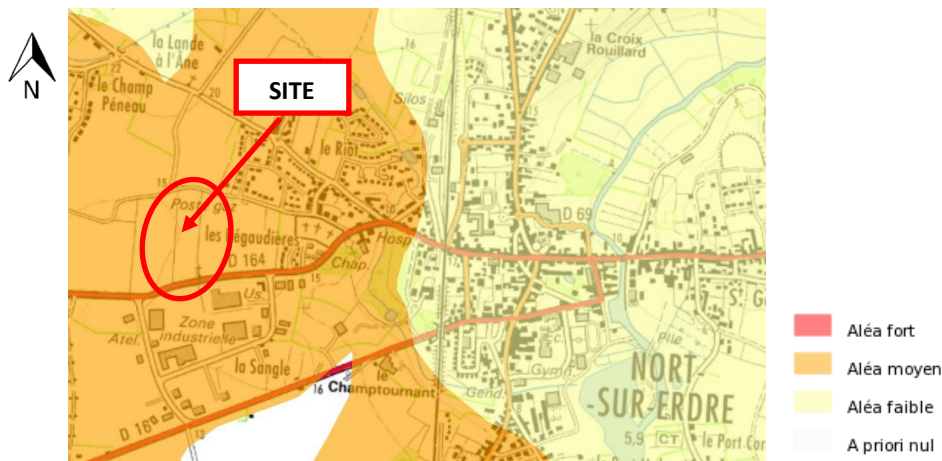


Contexte géologique – Extrait du site www.infoterre.brgm.fr

1.5. Risques naturels

1.5.1. Aléa retrait-gonflement des argiles

D'après la carte des risques établie par le BRGM, le secteur étudié est situé en zone d'exposition moyenne concernant le retrait-gonflement des argiles (cf. carte ci-après).



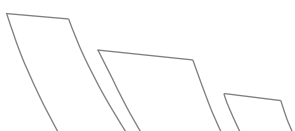
Exposition au retrait-gonflement des argiles – Extrait du site www.georisques.fr

1.5.2. Aléa remontées de nappes

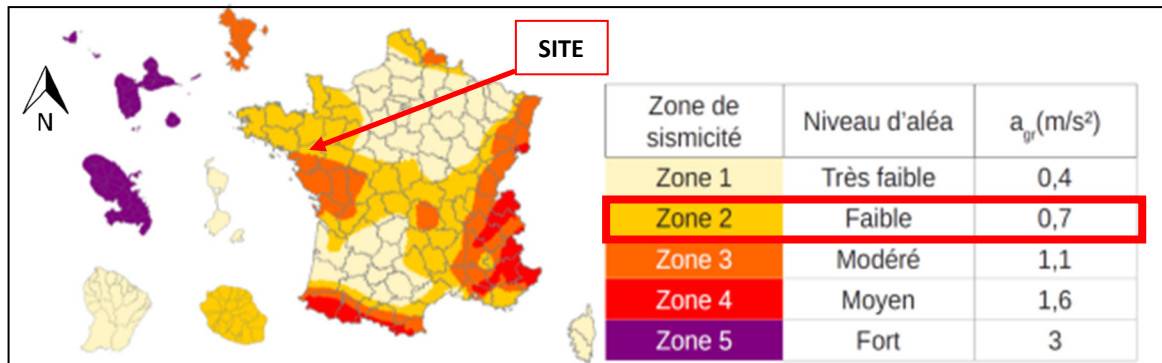
D'après la carte du risque de remontée de nappes, le secteur étudié ne présente pas de risque de débordement de nappe ni d'inondation de cave (fiabilité faible à moyenne).

1.5.3. Aléa sismique

Le zonage sismique de la France (datant d'octobre 2010 et entré en vigueur le 01/05/2011) classe la commune de Nort-sur-Erdre (44) en zone d'aléa sismique 2 (aléa faible – accélération $a_{gr} = 0.7 \text{ m/s}^2$).



La carte et le tableau ci-dessous résument ces éléments :



Carte du zonage sismique et tableau des accélérations correspondantes

2. MISSION ET PROGRAMME DE RECONNAISSANCE

2.1. Mission

Bâtiments :

La mission de type G1, suivant la Définition et la Normalisation des Missions du Géotechnicien établies en novembre 2013 (Norme NF P 94-500 présentée en annexe 1) a pour but de définir les principes généraux de conception géotechniques pour le projet de bâtiments, en fonction de la nature, de l'épaisseur et de la compacité des différents terrains rencontrés.

Voiries :

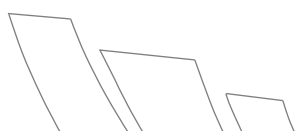
Cette étude a pour but de définir le type et les caractéristiques de voirie pour le projet de lotissement, en fonction de la nature, de l'épaisseur et de la compacité des différents terrains rencontrés.

Il s'agit d'une mission de type G2 AVP, suivant la Définition et la Normalisation des Missions du Géotechnicien établies en novembre 2013 (Norme NF P 94-500 présentée en annexe 1).

2.2. Programme

Conformément à la demande du client, cette étude a pour but :

- de préciser le contexte géologique et hydrogéologique du site,
- d'évaluer les caractéristiques mécaniques des sols (résistance, portance,...),
- déterminer la perméabilité des sols de surface ;
- de préciser le type de fondations envisageables,
- d'étudier la faisabilité des dallages,



- d'évaluer l'aptitude des terrains au terrassement (tenue, dureté...),
- de présenter un exemple de pré-dimensionnement de voirie,
- d'évaluer les précautions techniques à prendre en compte lors des travaux (terrassement, avoisinant, drainage, terrains compressibles, substitution...),
- de définir la catégorie des sols vis-à-vis des règles sismiques de l'Eurocode 8.

2.3. Consistance des investigations

Pour répondre aux objectifs présentés ci-avant, nous avons réalisé les investigations suivantes :

IN SITU

- 9 sondages de reconnaissance géologique, réalisés à la pelle mécanique (nommés T1 à T6), à la tarière mécanique Ø 63 mm (nommé PZ1) et à la tarière à mains Ø 115 mm (nommés EP1 et EP2), descendus entre 0.75 m et 3.00 m de profondeur/TA et localement au refus rencontré à la pelle mécanique dès 2.15 m de profondeur/TA. Ils ont permis de déterminer les limites et la nature des couches géologiques, d'observer les éventuelles venues d'eau et de prélever des échantillons.
- 6 sondages au pénétromètre dynamique de type B (nommés PD1, PD3 et PD5) et type léger (nommés PDL2, PDL4 et PDL6), réalisés selon la norme NF P 94-115 et descendus entre 3.00 m et 5.00 m de profondeur/TA et localement au refus au pénétromètre léger rencontré dès 1.50 m de profondeur/TA. Ils ont permis de déterminer en continu la résistance dynamique de pointe (qd).
- 1 piézomètre (nommé PZ1), de diamètre 48 mm, de 3.00 m de profondeur, équipe le site.
- 2 essais de perméabilité (nommés EP1 et EP2), réalisés à 0.75 m et à 0.90 m de profondeur/TN.

EN LABORATOIRE

- 2 séries d'analyses en laboratoire, comprenant 2 granulométries par tamisage, 2 VBS et 2 teneurs en eau. Ces essais ont permis de classer les matériaux du site selon le GTR 92 en vue de leur réemploi.

Les sondages ont été réalisés en novembre 2019 à l'aide d'une pelle mécanique 2,5t, d'une sondeuse de marque ECOFORE de type SL 160 et d'un pénétromètre léger PAGANI DPM30.

Les documents suivants sont présentés en annexes :

- extrait de la norme NF P 94-500 (annexe 1),
- implantation des sondages (annexe 2),
- résultats des investigations in situ (annexe 3),
- résultats des analyses en laboratoire (annexe 4).



3. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS

3.1. Implantation et nivellement

La position des sondages figure sur le plan d'implantation en annexe 1.

L'implantation a été réalisée au mieux des conditions d'accès, de la présence de réseaux et de la précision des plans remis pour la campagne de reconnaissance.

Lors de notre intervention (février 2020), nous avons pris comme repère un angle de parcelle en limite du site d'étude (cf. plan d'implantation des sondages en annexe 2). D'après les éléments transmis lors de l'étude, ce repère de nivellement est situé à la cote altimétrique : $Z = 15.55$ m NGF.

Les cotes altimétriques du Terrain Actuel (TA) sont reportées sur les coupes de sondages en annexe n°3.

3.2. Géologie

Les coupes de sondages sont jointes en annexe 2. Les profondeurs citées dans le présent rapport ont été mesurées par rapport au Terrain Actuel (TA) tel qu'il était lors de notre intervention (février 2020).

Les sondages de reconnaissance ont permis de mettre en évidence les faciès suivants de haut en bas :

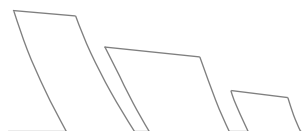
| Sondage | T1 (en m/TA) | T2 (en m/TA) | T3 (en m/TA) | T4 (en m/TA) |
|--|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Terre végétale | 0.00 à 0.77 | 0.00 à 0.30 | 0.00 à 0.60 | 0.00 à 0.30 |
| Sable grossier limoneux (beige-orange) | 0.77 à 1.50 | 0.30 à 1.15 | 0.60 à 1.50 | 0.30 à 0.90 |
| Sable grossier limoneux compact (orange) | 1.50 à $\geq 2.50^{**}$ | 1.15 à $\geq 2.15^{*}$ | 1.50 à $\geq 2.50^{**}$ | 0.90 à $\geq 2.50^{**}$ |

* Profondeur de refus observé à la pelle mécanique

** Profondeur maximale investiguée

| Sondage | T5 (en m/TA) | T6 (en m/TA) |
|---|-------------------------|-------------------------|
| Terre végétale | 0.00 à 0.30 | 0.00 à 0.30 |
| Sable grossier limoneux (beige-orange) | 0.30 à 0.60 | 0.30 à 0.85 |
| Sable grossier limoneux compact (orange) | 0.60 à $\geq 2.50^{**}$ | 0.85 à $\geq 2.50^{**}$ |

** Profondeur maximale investiguée



| Sondage | PZ1 (en m/TA) | EP1 (en m/TA) | EP2 (en m/TA) |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Terre végétale | 0.00 à 0.40 | 0.00 à 0.55 | 0.00 à 0.50 |
| Sable grossier limoneux (marron-ocre-orange) | 0.40 à 1.50 | 0.55 à $\geq 0.90^{**}$ | 0.50 à $\geq 0.75^{**}$ |
| Sable grossier limoneux compact (beige-ocre-orange) | 1.50 à $\geq 3.00^{**}$ | <i>Non atteint</i> | <i>Non atteint</i> |

**** Profondeur maximale investiguée**

Remarque : ces profondeurs n'impliquent en rien qu'il ne puisse exister d'anomalie de la stratigraphie entre sondages. En particulier, la position exacte des interfaces entre couches ne saurait se déduire d'une simple extrapolation des relevés de sondages.

3.3. Hydrogéologie

Lors de notre intervention (février 2020), seul de l'humidité a été relevé ponctuellement (PZ1) au sein du faciès sablo-limoneux grossier présent sous la terre végétale.

Remarque : ce constat ayant un caractère ponctuel et instantané, il ne permet pas de préciser les variations de la nappe, qui peut remonter fortement en période pluvieuse.

A ce jour, ECR Environnement n'a pas été missionné pour le suivi du piézomètre.

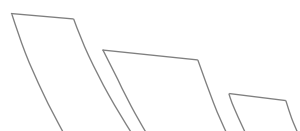
3.4. Géo-mécanique

Les essais pénétrométriques réalisés ont permis de mettre en évidence des caractéristiques mécaniques :

- quasi-nulles à moyennes dans le **sable grossier limoneux**,
- faibles à bonnes dans le **sable grossier limoneux compact**.

Le tableau suivant présente les caractéristiques mécaniques rencontrées :

| Formation | Résistance mécanique de pointe (MPa) |
|------------------------------------|---|
| Sable grossier limoneux | 0.0 à 17.4 |
| Sable grossier limoneux compact | 3.3 à > 36.3 |



3.5. Résultats des essais de perméabilité

Deux essais de perméabilité (nommés EP1 et EP2) ont été réalisés sur le site. Les résultats obtenus sont les suivants :

| Essai | EP1 | EP2 |
|------------------------------|-------------------------|---------------------|
| Profondeur de l'essai (m/TA) | 0.70 | 0.65 |
| Faciès | Sable grossier limoneux | |
| Perméabilité (K) (m/s) | $1,0 \cdot 10^{-5}$ | $5,7 \cdot 10^{-5}$ |

Les perméabilités sont variables et dépendent de la proportion de fines contenue dans les faciès. Les ordres de grandeurs des coefficients de perméabilité des sols (k) sont présentés dans le tableau suivant :

| | |
|-------------------|-----------------------------|
| Sol imperméable | $k < 10^{-9}$ m/s |
| Sol peu perméable | $10^{-5} < k < 10^{-7}$ m/s |
| Sol perméable | $10^{-3} < K < 10^{-5}$ m/s |

Les perméabilités des sables grossiers limoneux rencontrés au droit du site sont moyennes. Ceci se traduit par une capacité moyenne de drainage et d'infiltration des terrains (cf. tableau ci-après).

| | Coefficient de perméabilité m/s (échelle logarithmique) | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---|------------------|---|------------------|------------------|--|------------------|------------------|------------------|---|-------------------|-------------------|
| | 1 | 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 10 ⁻³ | 10 ⁻⁴ | 10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁷ | 10 ⁻⁸ | 10 ⁻⁹ | 10 ⁻¹⁰ | 10 ⁻¹¹ |
| Propriétés relatives au drainage | | | | Bon drainage | | | | Faible drainage | | Presque imperméable | | |
| Types de sol | Graviers propres | | Sables propres, mélanges de sables et de graviers propres | | | Sables très fins, silt, silt organiques et inorganiques, mélanges de sables, de silt et d'argile, tills glaciaires, dépôts d'argile stratifiés, etc. | | | | Sols « imperméables » comme les argiles homogènes sous la zone d'altération | | |



3.6. Résultats des analyses en laboratoire

Les essais d'identification selon le GTR 92 ont donné les principaux résultats récapitulés dans le tableau ci-après. Les PV des résultats détaillés figurent en annexe 4 du présent rapport.

| Sondages | | T2 | T4 |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|-------------|
| Echantillon | | F2 | F4 |
| Profondeur (m/TA) | | 1.15 à 2.15 | 0.90 à 2.50 |
| Faciès | | Sable grossier limoneux compact | |
| Granulométrie | Passant à 2 mm (%) | 87.9 | 97.0 |
| | Passant à 80 µm (%) | 16.4 | 12.1 |
| Teneur en eau (%) | | 7.9 | 7.4 |
| VBS (g de bleu/100 g de sol) | | 0.38 | 0.30 |
| Classification GTR 92 | | B5 | B5 |

D'après le fascicule « réalisation des remblais et des couches de formes » du SETRA-LCPC, le sable grossier limoneux compact rencontré est de classe GTR B5, soit de matériaux sableux et graveleux avec fines sensibles à l'eau.

Remarque : aucune analyse en laboratoire n'a été réalisée sur le sable grossier limoneux moins compact sus-jacent, cependant, la classe de ces matériaux sera probablement la même que ceux analysés. La classification de ces sols selon le GTR 92 nécessite la réalisation d'essais de type Los Angeles ou MicroDeval afin de connaître leur sous-classe (B₅₁/B₅₂).



4. SISMICITE ET LIQUEFACTION DES SOLS

4.1. Catégories de bâtiments

Les bâtiments à risque normal sont classés en 4 catégories d'importance croissante, de la catégorie I à faible enjeu, à la catégorie IV qui regroupe les structures stratégiques et indispensables à la gestion de crise. Le tableau suivant définit les catégories d'importance des bâtiments :

| Catégorie d'importance | Description |
|--|---|
| I  | <ul style="list-style-type: none"> Bâtiments dans lesquels il n'y a aucune activité humaine nécessitant un séjour de longue durée. |
| II  | <ul style="list-style-type: none"> Habitations individuelles. Établissements recevant du public (ERP) de catégories 4 et 5. Habitations collectives de hauteur inférieure à 28 m. Bureaux ou établissements commerciaux non ERP, h ≤ 28 m, max. 300 pers. Bâtiments industriels pouvant accueillir au plus 300 personnes. Parcs de stationnement ouverts au public. |
| III  | <ul style="list-style-type: none"> ERP de catégories 1, 2 et 3. Habitations collectives et bureaux, h > 28 m. Bâtiments pouvant accueillir plus de 300 personnes. Établissements sanitaires et sociaux. Centres de production collective d'énergie. Établissements scolaires. |
| IV  | <ul style="list-style-type: none"> Bâtiments indispensables à la sécurité civile, la défense nationale et le maintien de l'ordre public. Bâtiments assurant le maintien des communications, la production et le stockage d'eau potable, la distribution publique de l'énergie. Bâtiments assurant le contrôle de la sécurité aérienne. Établissements de santé nécessaires à la gestion de crise. Centres météorologiques. |

Tableau des catégories d'importance des bâtiments – Extrait du site developpement-durable.gouv.fr

D'après les éléments communiqués lors de l'étude, les bâtiments concernés par la présente étude seront classés dans la catégorie II (habitations individuelles).

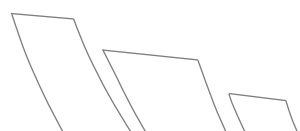
4.2. Coefficient d'importance

A chaque catégorie d'importance est associé un coefficient d'importance γ_i , qui vient moduler l'action sismique de référence conformément à l'Eurocode 8. Le tableau suivant définit le coefficient d'importance γ_i selon la catégorie d'importance des bâtiments :

| Catégorie d'importance | Coefficient d'importance γ_i |
|------------------------|-------------------------------------|
| I | 0,8 |
| II | 1 |
| III | 1,2 |
| IV | 1,4 |





Tableau des coefficients d'importance – Extrait du site developpement-durable.gouv.fr

Concernant l'ouvrage classé dans la catégorie II, le coefficient d'importance γ_i est de 1.



4.3. Exigence sur le bâti neuf

Les exigences sur le bâti neuf dépendent de la catégorie d'importance du bâtiment et de la zone de sismicité. Le tableau suivant récapitule les exigences à prendre en compte en fonction de la catégorie des bâtiments :

| | I | II | III | IV |
|--------|---|---|---|--|
| |  |  |  |  |
| Zone 1 | | | | |
| Zone 2 | | aucune exigence | | Eurocode 8 ³ $a_g=0,7 \text{ m/s}^2$ |
| Zone 3 | | PS-MI ¹ | Eurocode 8 ³ $a_g=1,1 \text{ m/s}^2$ | Eurocode 8 ³ $a_g=1,1 \text{ m/s}^2$ |
| Zone 4 | | PS-MI ¹ | Eurocode 8 ³ $a_g=1,6 \text{ m/s}^2$ | Eurocode 8 ³ $a_g=1,6 \text{ m/s}^2$ |
| Zone 5 | | CP-MI ² | Eurocode 8 ³ $a_g=3 \text{ m/s}^2$ | Eurocode 8 ³ $a_g=3 \text{ m/s}^2$ |

¹ Application possible (en dispense de l'Eurocode 8) des PS-MI sous réserve du respect des conditions de la norme PS-MI

² Application possible du guide CP-MI sous réserve du respect des conditions du guide

³ Application obligatoire des règles Eurocode 8

Exigences sur le bâti neuf – Extrait du site developpement-durable.gouv.fr

Concernant la présente étude (ouvrage de catégorie II situé en zone d'aléa sismique 2), l'application des prescriptions parasismiques particulières de l'Eurocode 8 n'est donc pas obligatoire.

4.4. Classe de sols selon l'Eurocode 8

La nature locale du sol influence fortement la sollicitation ressentie au niveau des bâtiments. L'Eurocode 8 distingue 7 catégories principales de sols (de la classe A à la classe S2) pour lesquelles est défini un coefficient de sol S. Le paramètre S permet de traduire l'amplification de la sollicitation sismique exercée par certains sols.

Le tableau en page suivante récapitule les différentes classes de sol en fonction du profil stratigraphique.



| Classe de sol | Description du profil stratigraphique | Paramètres | | | | | | |
|---------------|---|------------------|-------------------------|-------------|------------------|--------------|-------------|-------------|
| | | $v_{s,30}$ (m/s) | N_{SPT} (coups/30 cm) | c_u (kPa) | Type de sol | Pressiomètre | | CPT |
| | | | | | | p_l (MPa) | E_M (MPa) | q_c (Mpa) |
| A | Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant. | >800 | | | | > 5 | > 100 | |
| B | Dépôts raides de sables, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des caractéristiques mécaniques avec la profondeur | 360-800 | >50 | >250 | sols granulaires | > 2 | > 20 | > 15 |
| | | | | | sols cohérents | > 2 | > 25 | > 3,5 |
| C | Dépôts profonds de sables de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines de mètres à plusieurs centaines de mètres. | 180-360 | 15-50 | 70-250 | sols granulaires | > 1 | > 8 | > 5 |
| | | | | | sols cohérents | > 0,5 | > 5 | > 1,5 |
| D | Dépôts de sols sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant en majorité des sols cohérents mous à fermes. | < 180 | < 15 | <70 | sols granulaires | < 1 | < 8 MPa | < 5 |
| | | | | | sols cohérents | < 0,5 | < 5 Mpa | < 1,5 |

Classes de sol – Extrait de l'Eurocode 8

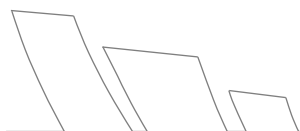
Suivant la nature du sol, les paramètres S (coefficient de sol), TB (limite inférieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectre constante), TC (limite supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectre constante) et TD (valeur définissant le début de la branche à déplacement spectral constant) à prendre en compte sont données dans le tableau suivant :

| Classe de sol | S | TB (s) | TC (s) | TD (s) |
|---------------|------------|-------------|-------------|------------|
| A | 1.0 | 0.03 | 0.20 | 2.5 |
| B | 1.35 | 0.05 | 0.25 | 2.5 |
| C | 1.5 | 0.06 | 0.40 | 2.0 |
| D | 1.6 | 0.10 | 0.60 | 1.5 |
| E | 1.8 | 0.05 | 0.45 | 1.25 |

Spectre de réponse élastique de type 2 (zones 1 à 4)

Concernant la présente étude, les sols rencontrés appartiendraient à la classe C.

Remarque : La classe de sol sera à confirmer avec la réalisation de sondages pressiométriques lors de la réalisation de la mission G2 AVP.



5. ETUDE PRELIMINAIRE DE SITE

5.1. Synthèse des investigations

Le terrain est constitué par des épaisseurs variables de terre végétale et de sables grossiers limoneux de compacité médiocre à moyenne recouvrant des sables grossiers limoneux plus compacts de portance faible en surface et devenant rapidement moyenne à bonne.

Les sables grossiers limoneux compacts ont été rencontrés dans nos sondages dès 0.60 m à 1.50 m au droit de nos sondages. Il faut noter que ces derniers présentent au toit une portance assez faible sur la partie sud du site (en particulier en T6/PD6 : caserne de gendarmerie).

Aucun niveau d'eau n'a été relevé lors de nos investigations malgré une humidité locale au sein des sables grossiers peu compacts.

Les deux essais de perméabilité réalisés de 0.65 m à 0.70 m au sein des sables grossiers peu compacts montrent des valeurs assez faibles.

5.2. Type de fondations envisageables

Le type de fondations à mettre en œuvre dépendra des descentes de charges et du niveau-bas du projet (présence ou non d'un sous-sol).

Pour des ouvrages présentant des charges modérées (bâtiments au maximum de type R+1 sans sous-sol), le principe de fondation consistera à reporter les charges de la structure par l'intermédiaire de fondations superficielles (semelles filantes ou isolées, massifs) ancrées minimum de 40 cm dans les sables grossiers compacts. Au sein de ces formations rencontrées à partir de 0.60 m à 1.50 m/TA, les contraintes à l'ELS seront de l'ordre de 0.15 MPa.

Pour des ouvrages présentant des charges importantes (bâtiments de type R+1+C, R+2 voire plus), on s'orientera, notamment sur la partie sud du site, vers des fondations semi-profondes (type puits) ancrées dans les sables grossiers compacts à une profondeur minimale de 2.00 m/TA. Les contraintes à l'ELS sont de l'ordre de 0.50 MPa.

Les contraintes admissibles aux ELU et ELS ainsi que les tassements, seront calculés précisément lors de la mission G2-AVP.

Dans tous les cas, le sol d'assise des fondations devra être de compacité homogène sous l'ensemble des fondations d'un même bâtiment.

Nota : Le dimensionnement des fondations nécessitera des sondages pressiométriques.



5.3. Dallages

Comme tenu des investigations réalisées, dans le cas de fondations superficielles, des dallages sur terre-plein avec la mise en œuvre d'une couche de forme d'épaisseur suffisante pourront être envisagés.

Suivant les cotes de niveaux bas, après purge de la terre végétale et sables grossiers décomprimés, le fond de forme sera alors constitué soit par des sables grossiers de compacité satisfaisante.

Dans tous les cas, le fond de forme devra être homogène sous l'ensemble du dallage. Dans le cas contraire, il conviendra de prévoir soit un plancher porté, soit des joints de construction.

Dans le cas de fondations semi-profondes type puits, il faudra prévoir un plancher porté.

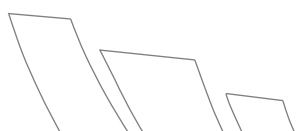
5.4. Terrassements

La réalisation des ouvrages nécessitera des terrassements en déblais au sein des couches de terre végétale et de sables grossiers limoneux plus ou moins compacts.

Dans ces sols, les terrassements en déblais pourront être réalisés par des engins classiques de terrassement de type pelle mécanique.

La rencontre d'horizons compacts au sein des sables grossiers limoneux n'est pas exclue, ce qui pourra nécessiter l'emploi ponctuel d'engins de terrassement de plus forte puissance.

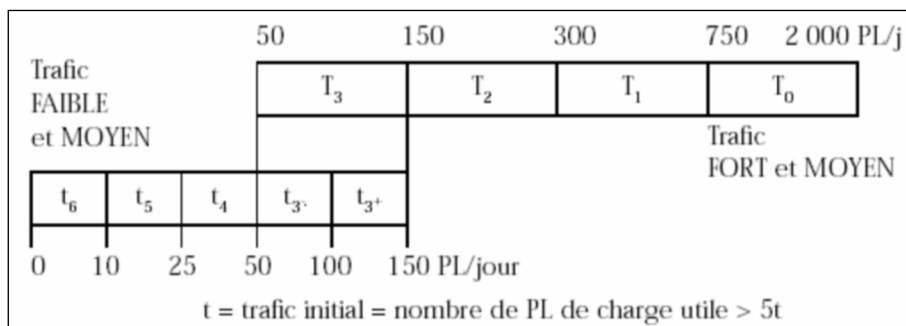
Dans tous les cas, la méthodologie mise en œuvre devra tenir compte des mitoyens/avoisinants au projet (attention aux vibrations et affouillements sous les existants).



6. ETUDE DES VOIRIES NOUVELLES

6.1. Classe de trafic T_i

La classe de trafic T_i est déterminée à partir du trafic poids lourds journalier moyen (PL-MJA) sur la voie la plus chargée de la chaussée pendant l'année (cf. classification suivant).



Classification du trafic selon le SETRA

Remarques :

La classe de trafic à prendre en compte pour le dimensionnement des voiries ne nous a pas été fournie. Il conviendra donc de s'assurer que les dispositions constructives retenues soient en accord avec les caractéristiques réelles du projet.

Pour cette étude, nous retiendrons l'hypothèse d'une classe de trafic T_5 , soit moins de 25 poids lourds par jour.

6.2. Préparation du fond de forme

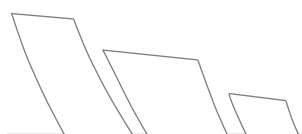
Après purge complète de la terre végétale et des matériaux remaniés ou altérés par les agents climatiques, le fond de forme sera constitué de sables grossiers limoneux de compacité satisfaisante.

Toute poche décomprimée, de matériau évolutif ou de moindre consistance rencontrée en fond de forme sera purgée. Pour le rattrapage des éventuels hors profils après purge, on prévoira la réalisation d'une couche de forme en classe B_{31} voire D_{21} selon le GTR, comportant moins de 5 % de fines.

Après mise à niveau du fond de forme, ce dernier sera compacté. Son compactage sera adapté aux conditions climatiques au moment des travaux. Si les matériaux sont trop humides, le compactage ne sera pas envisageable.

Un géotextile sera mis en œuvre à l'interface entre le fond de forme compacté (après cloutage éventuel) et la couche de forme, afin d'assurer un rôle anti-contaminant et anti-poinçonnant.

NOTA : si les travaux ont lieu en période défavorable ou si le fond de forme présentait une teneur en eau trop importante, le cloutage du fond de forme pourra s'avérer nécessaire. Ce cloutage sera réalisé avec des blocs rocheux 100/300 mm, durs et non gélifs (Los Angeles et MDE < 45).



6.3. Partie Supérieure de Terrassement (PST) et Arase (AR)

Pour un sol fins limoneux, sensibles à l'eau, en fonction des niveaux finis des voiries à créer et selon les conditions météorologiques lors des travaux, les PST et AR obtenues (après décapage de la terre végétale et des matériaux impropres) pourront être les suivantes :

- **PST0-AR0** : matériaux à l'état hydrique très humide (th), de portance quasi nulle. Dans ce cas, la solution de franchissement de ces zones doit être recherchée par une opération de terrassement (purge, substitution) et/ou de drainage (fossés profonds, rabattement de la nappe...) de manière à pouvoir reclasser le nouveau support obtenu au moins en classe AR1.
- **PST1-AR1** : matériaux à l'état hydrique humide (h), sensibles, de mauvaise portance. Dans ce cas de PST il conviendra soit de procéder à une amélioration du matériau jusqu'à 0.50 m d'épaisseur par un traitement à la chaux vive ou au liant hydraulique et selon une technique de remblai pour être ramené au cas PST2, soit d'exécuter une couche de forme en matériaux granulaires insensibles à l'eau de forte épaisseur.
- **PST2-AR1** : matériaux à l'état hydrique moyen (m), sensibles à l'eau, de bonne portance pouvant chuter sous l'action des infiltrations d'eau et des remontées de nappe.

Lors de notre intervention (février 2020) et après décapage des terrains superficiels, le couple PST-AR obtenu était le suivant :

- **PST1-AR1**, correspondant à des sols déformables à très déformables (cf. encadré rouge dans le tableau en page suivante).
- **PST2-AR1**, correspondant à des sols peu déformables, portants mais sensibles à l'eau (cf. encadré bleu dans le tableau en page suivante).



| Tableau 7 - Appréciation de la portance de la P.S.T. prévisible au moment du chantier à partir des sondages et des essais de laboratoire | | |
|---|--|--|
| Nature - Etat des matériaux | Indicateurs de comportement | Qualification de la portance de la PST |
| Sols sensibles à l'eau, humides à très humides : - sols fins : argiles, limons, schistes décomposés, - sols sableux et graveleux (argileux), - schistes très altérés friables, - grès décomposés avec blocs. | Indice de portance en laboratoire $IPI < 10$ Circulation impossible ou difficile (ornières) Compactage impossible Portance sur chantier à la plaque (EV2) ou dynaplaque (E) < 30 MPa. Pénétromètre dynamique ⁵ $q_d < 2,5$ MPa | Sols déformables à très déformables. |
| Sols sensibles à l'eau, d'humidité faible à moyenne : - sols fins, - sols sableux et graveleux, - schistes altérés friables, - matériaux blocailleux avec fines. | Indice de portance en laboratoire $IPI \geq 10$ Circulation facile Compactage possible sans « matelassage » ni remontée d'humidité Portance sur chantier à la plaque ou dynaplaque ($30 \text{ MPa} \leq EV2$ ou $E \text{ dyn} < 50 \text{ MPa}$) Pénétromètre dynamique $q_d \geq 2,5$ MPa | Sols peu déformables portants mais sensibles à l'eau. |
| Matériaux blocailleux ou rocheux insensibles à l'eau : - matériaux graveleux propres, - matériaux blocailleux charpentés, - matériaux rocheux peu altérés à sains. | Matériaux très peu déformables en toutes situations météo (pas de trace visible). Peuvent poser des problèmes de traficabilité et de réglage. Portance sur chantier (plaque ou dynaplaque) ≥ 50 MPa. | Sols très peu déformables insensibles à l'eau. |

Appréciation de la portance de la PST – Source : Guide pour la construction des chaussées à faible trafic

Remarques :

Des essais de plaque devront être réalisés au niveau du fond de forme compacté, afin d'apprécier sa portance au moment des travaux (qui dépendra notamment de sa teneur en eau et de la nature des matériaux).

Les travaux devront être réalisés en période sèche afin d'obtenir une PST2-AR1.

Dans le cas où le terrain présenterait des teneurs en eau élevées (liées à l'infiltration des eaux météoriques par exemple), préalablement à tous travaux, il conviendra d'assainir le site au moyen de tranchées drainantes ou de fossés par exemple.



6.4. Mise en œuvre de la couche de forme

Suivant la nature des matériaux composant la PST-AR, les géométries des couches de forme seront les suivantes pour l'obtention d'une plate-forme support chaussée de type **PF2-** ($50 < EV2 < 80$ MPa) :

| Nature de la PST | Qualification de la portance de la PST | Contexte de réalisation | Epaisseur totale & Composition |
|---|--|----------------------------------|--|
| Sable limoneux humides à très humides PST1-AR1 | Sols déformables à très déformables | DÉBLAIS SANS DRAINAGE | Minimum 0.75 m (0.20 m de GNT 0/63 + 0.55 m de GNT 0/150) ou Minimum 0.60 m (0.20 m de GNT 0/63 + 0.40 m de GNT 0/150) sur géotextile |
| | | REMBLAI ou DEBLAIS AVEC DRAINAGE | Minimum 0.60 m (0.20 m de GNT 0/63 + 0.40 m de GNT 0/150) ou Minimum 0.50 m de GNT 0/63 sur géotextile |

| Nature de la PST | Qualification de la portance de la PST | Contexte de réalisation | Epaisseur totale & Composition |
|--|---|----------------------------------|--------------------------------|
| Sable limoneux moyennement humides et remblais PST2-AR1 | Sols peu déformables mais sensibles à l'eau | DÉBLAIS SANS DRAINAGE | 0.45 m de GNT 0/63 |
| | | REMBLAI ou DEBLAIS AVEC DRAINAGE | 0.30 m de GNT 0/63 |

Le matériau de couche de forme sera de type :

- granulaire 0/63 mm ou équivalent,
- bien gradué selon le fuseau de TALBOT-FULLER,
- dur et non gélif (Los Angeles / MDE < 45),
- propre et insensible à l'eau (VBS < 0.1 et passant à 80 µm < 5%),
- drainant ($D_{10} > 2$ mm).

Les matériaux seront mis en œuvre par couche de 0.30 m maximum.

La plate-forme finie sera réceptionnée par une série d'essais à la plaque (mode opératoire LCPC) afin de s'assurer que les valeurs cibles ont bien été atteintes ($EV2 \geq 50$ MPa et $EV2/EV1 < 2.1$).



6.5. Structure de chaussée

Des exemples de structures de chaussée, avec une hypothèse de trafic de classe t5, sur une plateforme de type PF2- (critère de réception EV2 compris entre 50 MPa et 80 MPa), sont présentés dans les tableaux suivants :

➤ Cas d'une couche de base/fondation en GNT :

| Hypothèse | Classe de trafic t5 (de 0 à 25 PL par jour) |
|---------------|--|
| Epaisseur BBS | 6 cm |
| Epaisseur GNT | 16 cm |

➤ Cas d'une couche de base/fondation en GB3 :

| Hypothèse | Classe de trafic t5 (de 0 à 25 PL par jour) |
|---------------|--|
| Epaisseur BBM | 4 cm |
| Epaisseur GB3 | 11 cm |

Remarques :

La géométrie de structure de voirie proposée ci-avant est donnée à titre indicatif dans le cadre d'une mission G2-AVP. Le dimensionnement définitif de la voirie sera réalisé dans le cadre d'une mission G2-PRO.

D'autres structures sont envisageables et pourront être proposées en variante par les entreprises. Notamment, la mise en œuvre d'une couche de forme traitée pourra être envisagée (dans ce cas, il conviendra de prévoir une étude de formulation).

6.6. Suggestions particulières et drainage

Les travaux de voirie seront réalisés en période sèche.

Au démarrage du chantier, des planches d'essai seront réalisées de manière à fixer les paramètres de compactage (épaisseur des couches, nombre de passes, ... en fonction du compacteur utilisé).

Les couches de chaussée seront mises en œuvre, compactées et contrôlées suivant les spécifications en vigueur (EV2 \geq 50 MPa).

Des essais de contrôle à la plaque devront être prévus avant la mise en place de la couche de forme pour déterminer la classe d'arase (AR), et avant la mise en place de la structure de chaussée pour déterminer la classe de plateforme (PF).

On veillera à limiter les infiltrations d'eau au niveau des sols supports de chaussée (création de fossés, buses, cunettes...).



Les ouvrages de drainage (drains, cunettes, fossés, buses) tiendront compte de la topographie du site et seront raccordés à un exutoire dimensionné de manière suffisante et implanté de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants.

7. TERRASSEMENTS GENERAUX

7.1. Moyens d'extraction

La réalisation des terrassements de voirie, des bassins et des noues nécessitera des terrassements en déblais au sein des couches de terre végétale et sables grossiers limoneux plus ou moins compacts.

Pour tous les faciès rencontrés, les terrassements en déblais pourront être réalisés par des engins classiques de terrassement de type pelle mécanique. Afin d'obtenir de bons rendements, des engins puissants de terrassements seront à privilégier.

Dans tous les cas, la méthodologie mise en œuvre devra tenir compte des mitoyens/avoisinants au projet (attention aux vibrations et affouillements sous les existants).

7.2. Traficabilité

Les terrains superficiels présents sur le site renferment une importante proportion de matériaux fins sensibles à l'eau. En période pluvieuses, des difficultés de circulation des engins pourront être rencontrées. La réalisation des travaux de terrassement en période sèche est vivement recommandée.

7.3. Stabilité des talus en déblais et en remblais

Le mode d'exécution des terrassements dépend étroitement du niveau d'assise des avoisinants : ouvrages mitoyens, voiries, réseaux, ...

En première approche, les talus en déblais ou remblais auront une pente de 2H/1V (2 horizontalement pour 1 verticalement).

Si ces recommandations ne peuvent pas être respectées ou si des ouvrages se situent dans la zone d'influence du talus, on prévoira un ouvrage de soutènement (blindage coulissant, paroi berlinoise...).

Des systèmes de protection des talus en phase provisoire (fossés de tête et de pied, polyane, tranchées ou masque drainant...) seront à prévoir.

En l'absence d'ouvrage de soutènement, aucune surcharge ne devra circuler ou être implantée en tête de talus.



7.4. Réutilisation des matériaux du site en remblais

➤ Terre végétale :

La terre végétale ne pourra pas être réutilisée en remblais. Elle pourra toutefois servir pour les aménagements paysagers.

➤ Sables grossiers limoneux :

Les sols de classe GTR B5 sont réutilisables en remblais selon les conditions du GTR 92.

Ces sols sont sensibles à l'eau et changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau. Leur temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est relativement court et dépend de leur perméabilité. Leur mise en œuvre va dépendre de leur teneur en eau et des conditions météorologiques lors des travaux.

Dans un état hydrique très humide (th), ces sols sont normalement inutilisables en l'état. Il est alors nécessaire de réduire leur teneur en eau, afin de les ramener à un état hydrique humide (h), par mise en dépôt provisoire ou drainage préalable (plusieurs mois) après étude spécifique.

Dans un état hydrique humide (h), ces sols restent encore difficiles à mettre en œuvre en raison de leurs faibles portances et peuvent nécessiter un traitement avec un réactif adapté.

Dans un état hydrique moyen (m), ces sols s'emploient facilement mais sont très sensibles aux conditions météorologiques qui peuvent très rapidement interrompre le chantier à cause d'un excès de teneur en eau ou au contraire conduire à un matériau sec difficile à compacter.

Dans un état hydrique sec (s), ces sols sont difficiles à compacter. Il faut au moins éviter de réduire encore leur teneur en eau et pour des remblais de grande hauteur, un changement de leur état hydrique est nécessaire (humidification).

A l'état hydrique très sec (ts), ces sols sont normalement inutilisables en l'état. Il faut prévoir leur humidification pour les ramener à l'état s voire m.

7.5. Réutilisation des matériaux du site en couche de forme

➤ Terre végétale :

Ces matériaux ne sont pas réutilisables en couche de forme.

➤ Sables grossiers limoneux :

Les sols généralement de classe GTR B5 sont réutilisables en couche de forme uniquement à l'état hydrique h, m et s.

La grande sensibilité à l'eau des sols de ces classes implique de les traiter avec des liants hydrauliques associés à de la chaux, après étude spécifique.

La maîtrise de l'état hydrique de ces sols traités est souvent délicate en raison de la variation brutale de leur comportement (portance) pour de faibles écarts de teneur en eau.

Ces sols se traitent généralement en place. Une solution de traitement des matériaux en place peut être envisagée.



8. EAU ET DRAINAGE

8.1. Rappels

Hormis une humidité présente localement au sein de la terre végétale, aucun niveau ou venue d'eau n'a été relevé lors de nos investigations.

Nous précisons que l'intervention ponctuelle du géotechnicien dans le cadre de la réalisation de l'étude confiée ne lui permet pas de fournir des informations hydrogéologiques suffisantes, dans la mesure où les niveaux d'eau mentionnés dans le rapport d'étude correspondent nécessairement à ceux relevés à un moment donné, sans possibilité d'apprécier les variations inéluctables des nappes et circulations d'eau qui dépendent notamment des conditions météorologiques. Pour obtenir des indications plus précises, une étude hydrogéologique pourra être confiée le cas échéant à un bureau d'études spécialisé.

Un piézomètre équipe le site. Nous conseillons de prévoir un suivi de ce piézomètre.

8.2. Phase provisoire

En fonction de la date de réalisation des travaux et des conditions météorologiques lors des terrassements (ruissellement, infiltration des eaux pluviales, remontée de nappe...), un pompage provisoire pourra s'avérer nécessaire afin d'épuiser les venues d'eau et d'assécher les fouilles des terrassements généraux.

On privilégiera la réalisation des travaux de terrassement en déblais en période sèche/de basses eaux.

En phase chantier, il conviendra :

- de récupérer le ruissellement et les eaux infiltrées sur des formes terrassées en forme de pente,
- de mettre en œuvre des drains au droit des fils d'eau,
- de prévoir la décantation éventuelle des eaux récupérées, avant envoi dans un exutoire existant ou à créer (dimensionné de manière suffisante et implanté de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants),
- de pomper les venues d'eau éventuelles en fonds de fouilles et d'assurer leur évacuation (après décantation éventuelle) dans un exutoire existant ou à créer et implanté de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants.

On envisagera de modeler les fonds de fouilles des terrassements généraux en toit avec une pente d'au moins 2 % pour permettre l'évacuation des eaux de surface vers des fossés périphériques et le rejet des eaux vers un exutoire gravitaire ou par pompage.

Remarque : dans tous les cas, l'incidence hydraulique du projet devra être prise en compte vis-à-vis des avoisinants (attention aux départs de fines, affouillements et tassements hydrauliques sous les existants).



8.3. Phase définitive

Toute infiltration d'eau au niveau des voiries est à proscrire. Les eaux de ruissellement seront collectées (contre-pente, avaloires) et évacuées vers un exutoire suffisamment dimensionné et implanté de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants.

*

* *

La mise en œuvre de l'ensemble des missions géotechniques (G2 PRO, G3 et G4) devra suivre la présente étude (mission G2 AVP). Le schéma d'enchaînement et la classification des missions types d'ingénierie géotechnique, extraits de la norme NF P 94-500, figurent en annexe 1 du présent rapport.

Nous restons à l'entière disposition des Responsables du Projet pour tout renseignement, ainsi que pour toutes missions complémentaires nécessaires.

Les conclusions de ce présent rapport sont données sous réserve des conditions particulières jointes.



9. CONDITIONS PARTICULIÈRES

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

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

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

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

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

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

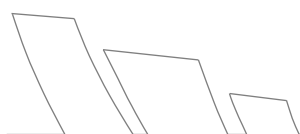
La Société E.C.R. ENVIRONNEMENT ne saurait être rendue responsable des modifications apportées à son étude que dans le cas où elle aurait donné son accord écrit sur les dites modifications.

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



Annexe 1

Extrait de la norme NF P94-500



EXTRAIT DE LA NORME NF P 94-500 – Novembre 2013

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

ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)

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

Elle comprend deux phases :

Phase Étude de Site (ES)

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

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

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

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

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

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

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

Phase Avant-projet (AVP)

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

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

Phase Projet (PRO)

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

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

Phase DCE / ACT

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

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



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

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

Phase Étude

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

Phase Suivi

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

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

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

Phase Supervision de l'étude d'exécution

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

Phase Supervision du suivi d'exécution

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

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

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

Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

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



Annexe 2

Implantation des sondages

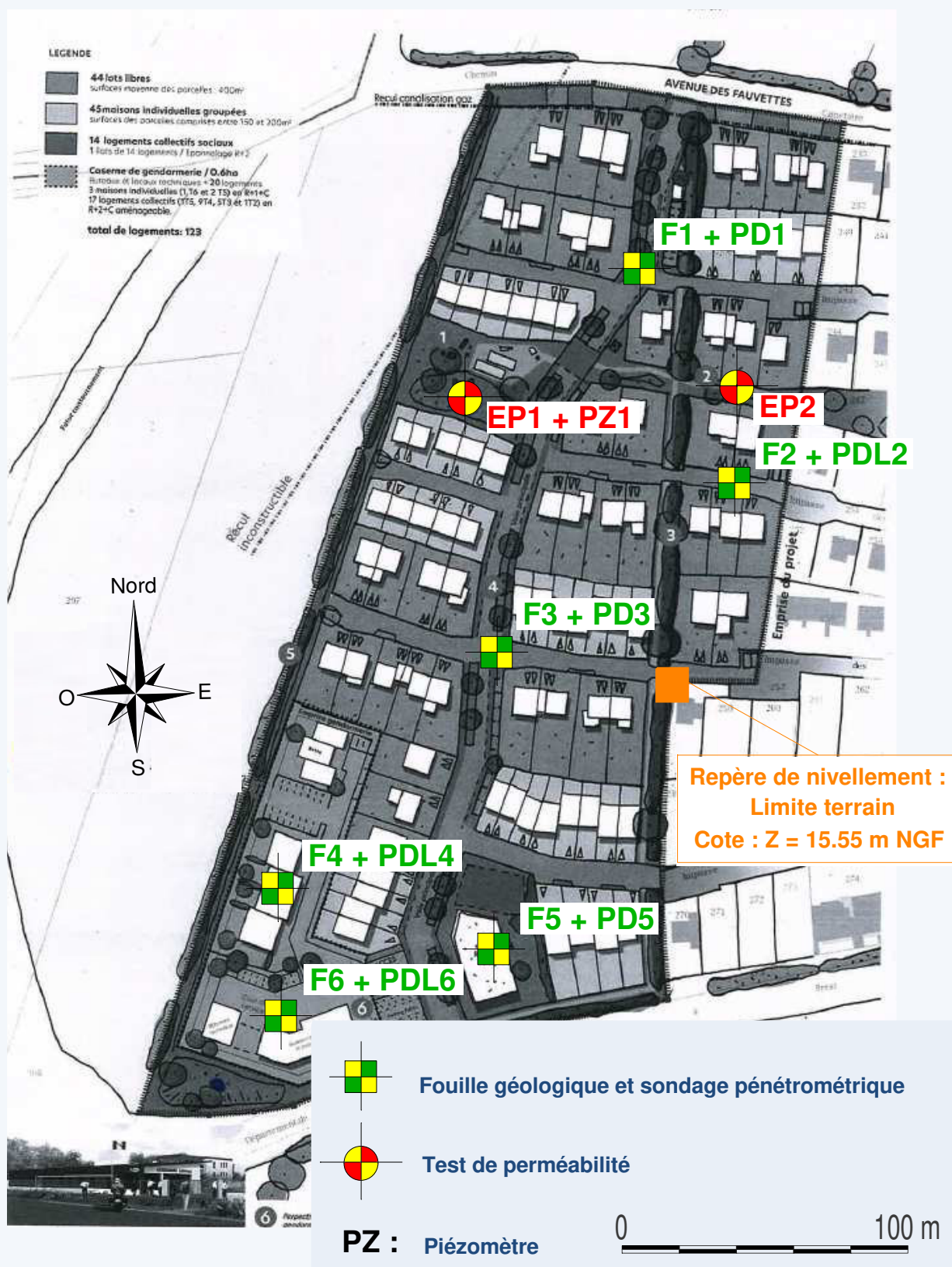


Client : **ADI**

Affaire ECR n° **4409032**

Etude : **G2 AVP - Lotissement - Les Clos du Canal II**

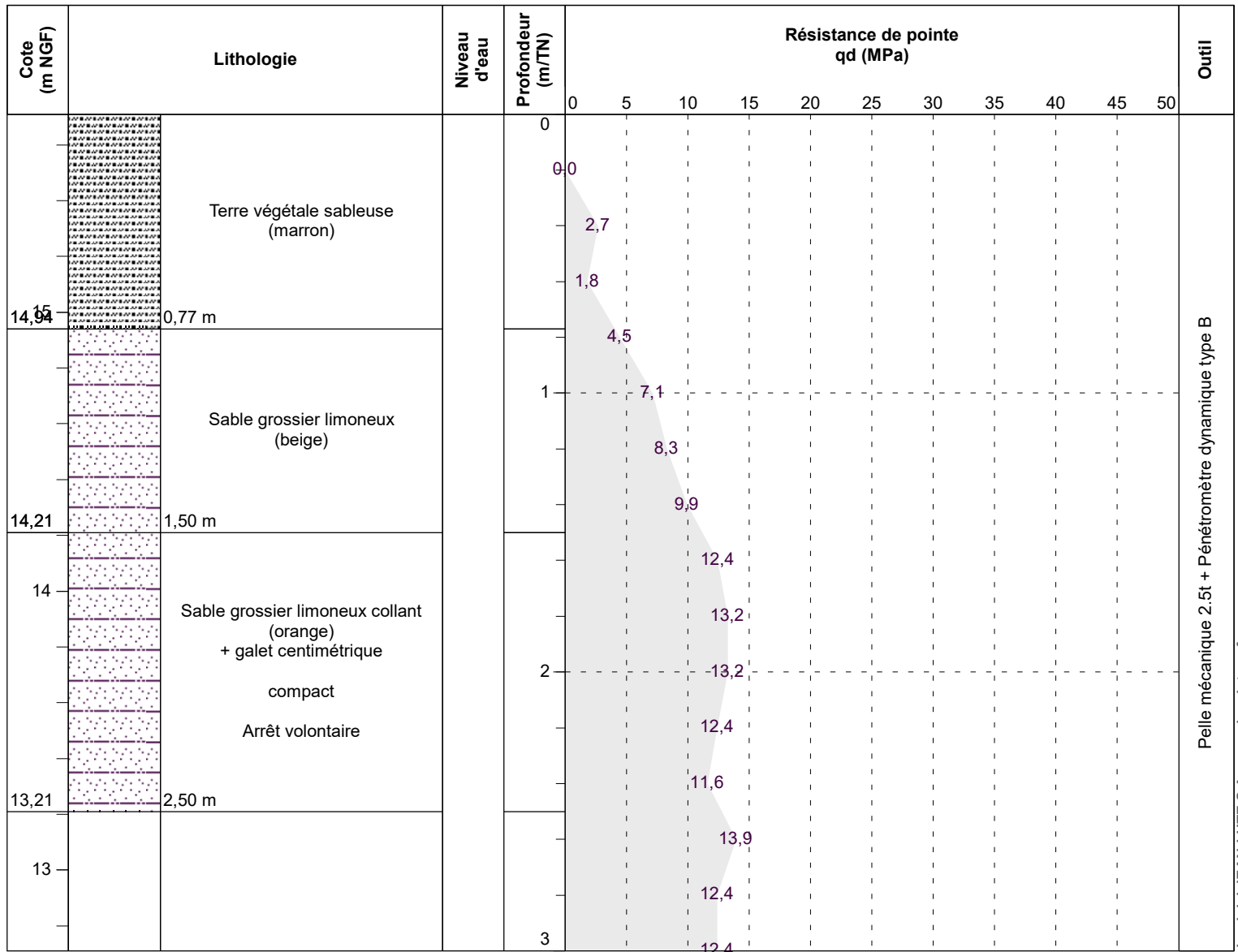
Commune : **Nort-Sur-Erdre (44)**

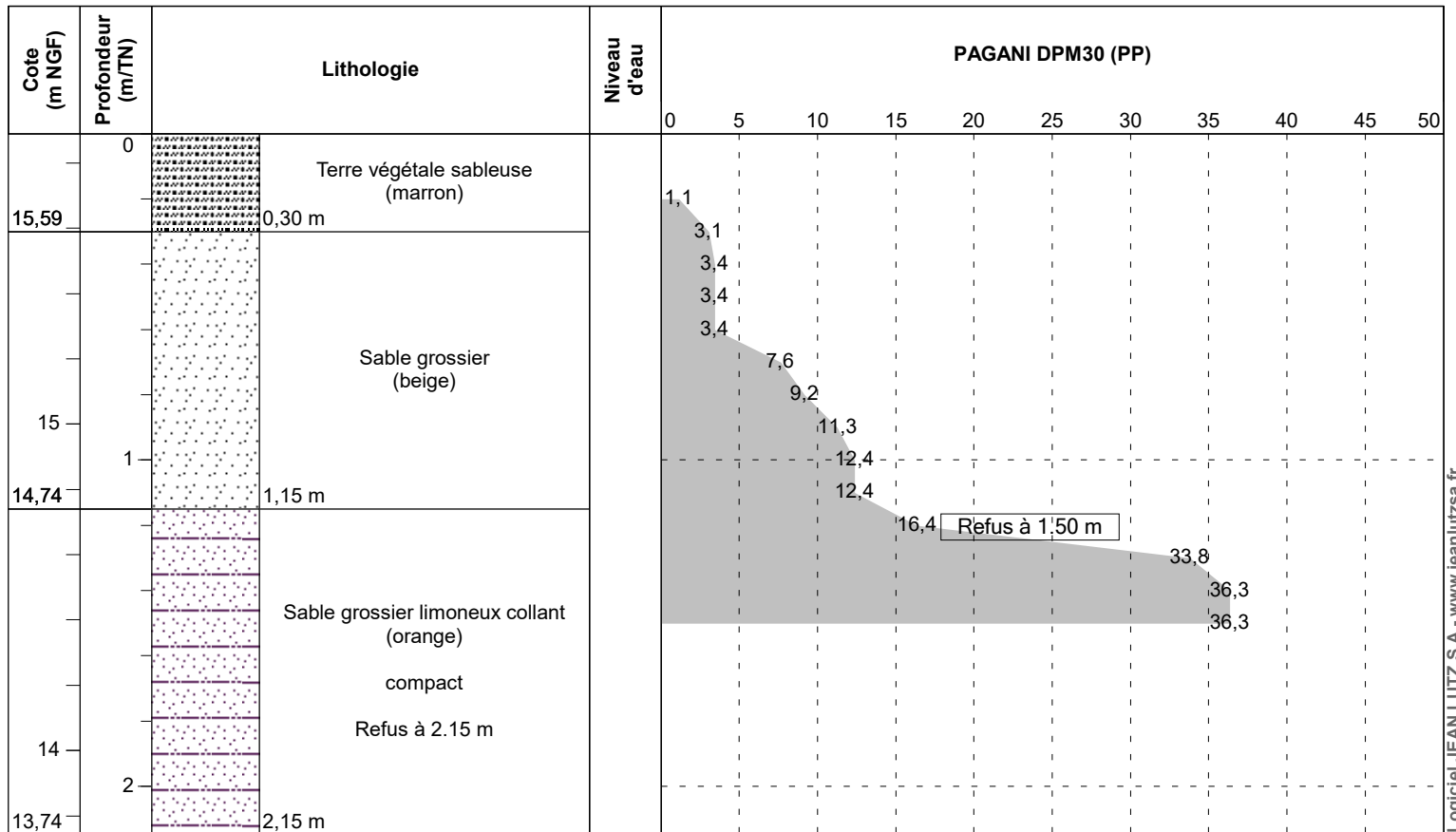


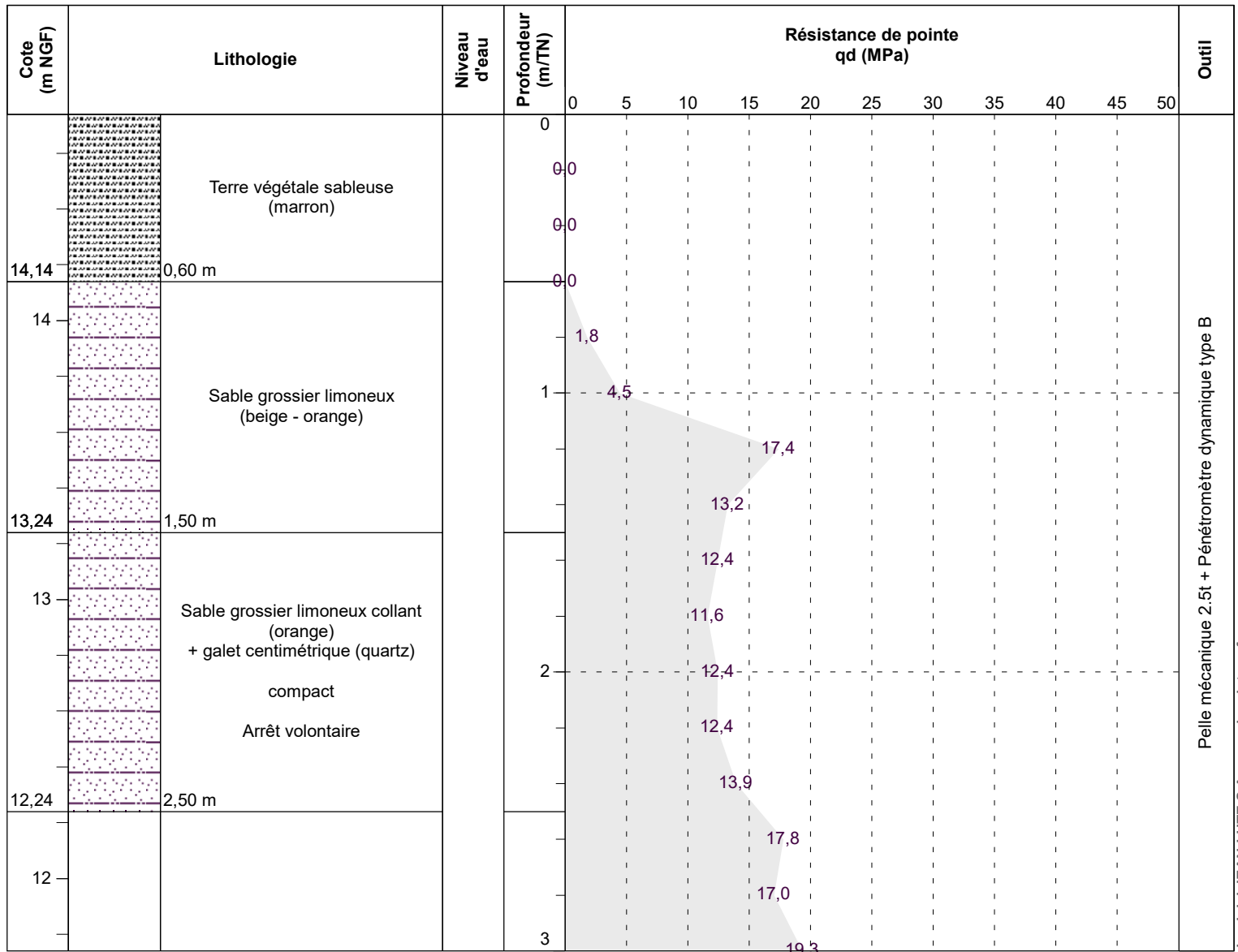
Annexe 3

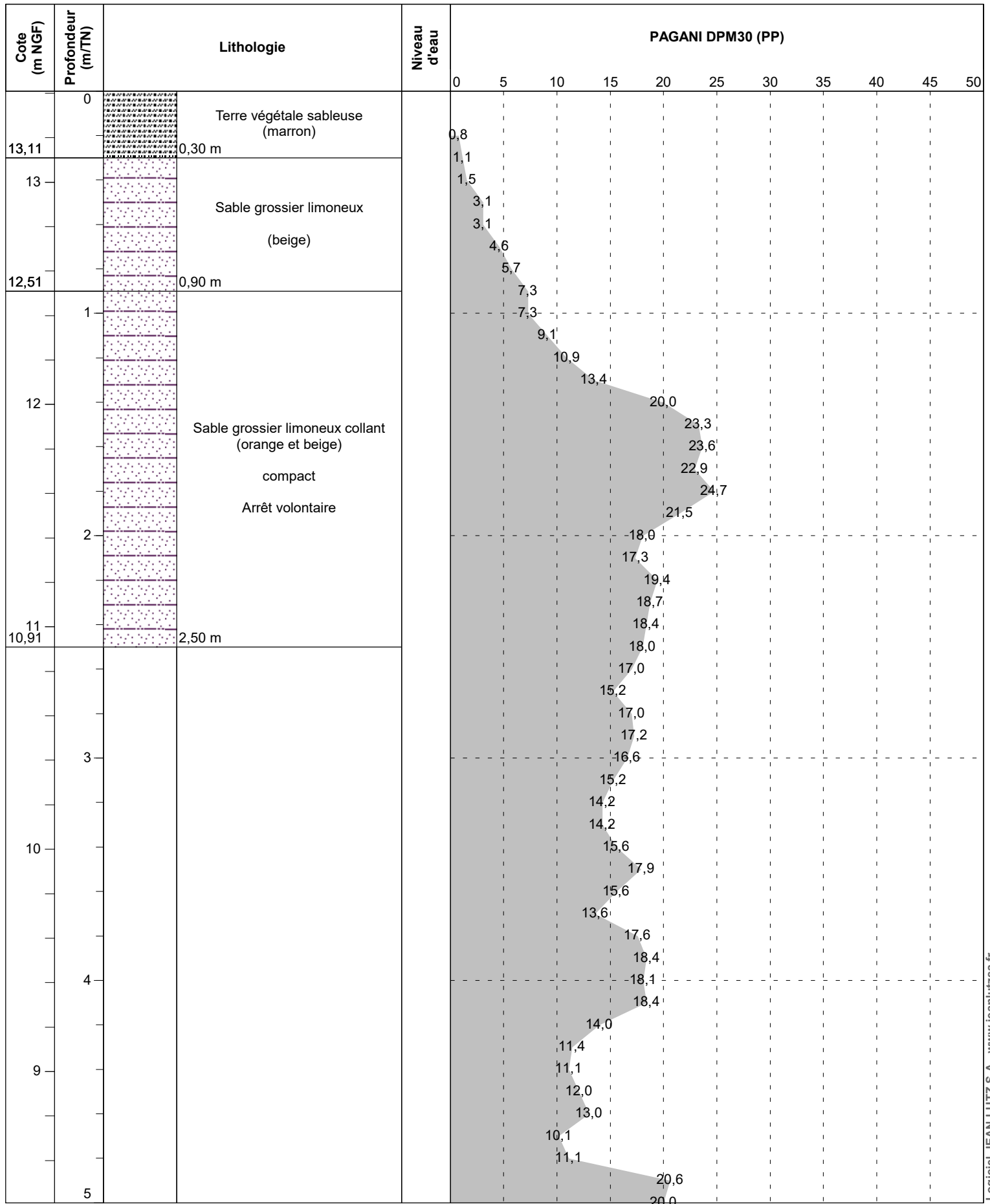
Résultats des investigations in-situ

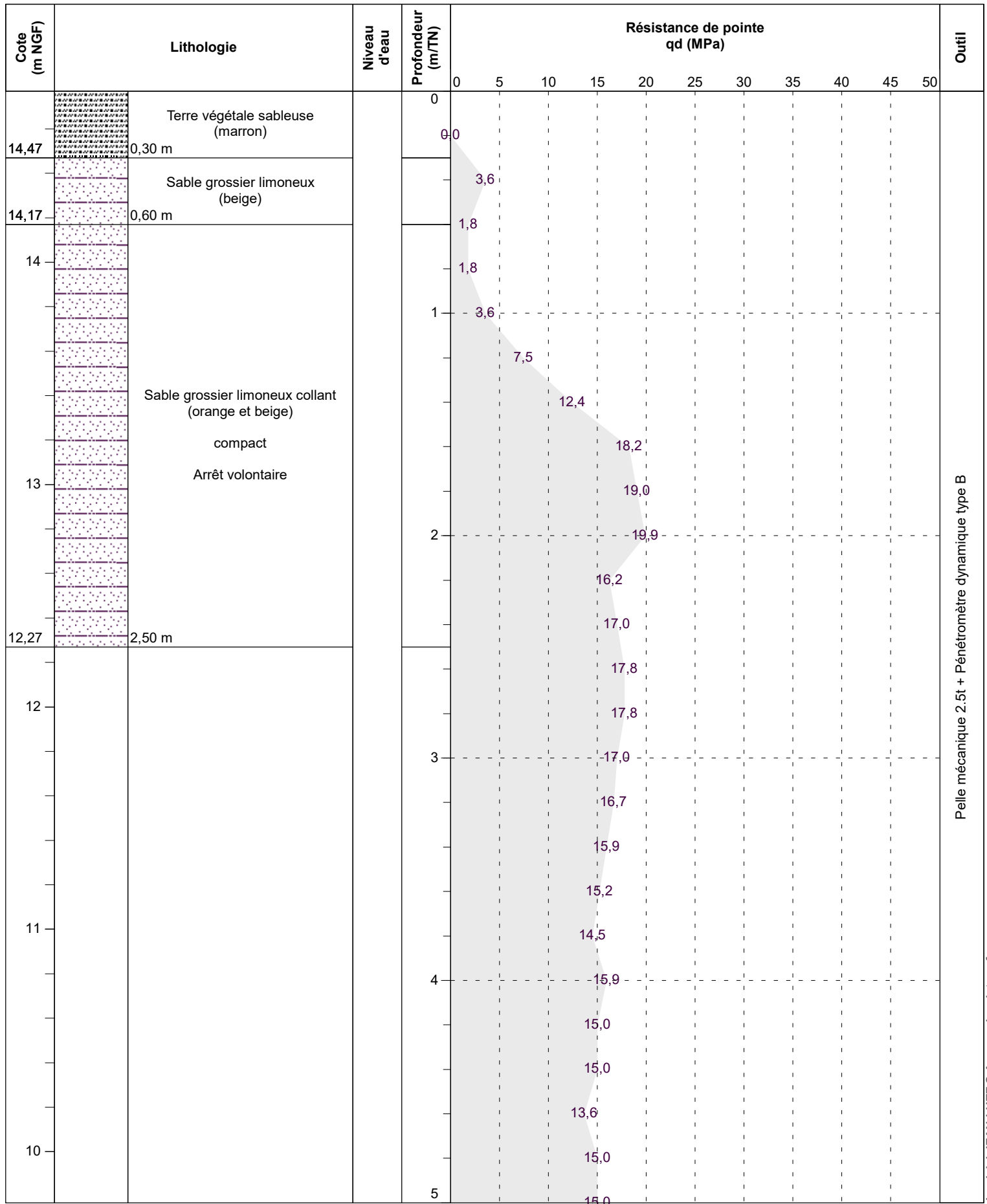












Pelle mécanique 2.5t + Pénétromètre dynamique type B

Date début : **25/02/2020** Cote NGF : **13.97 m**

Profondeur : 0,00 - 5,00 m

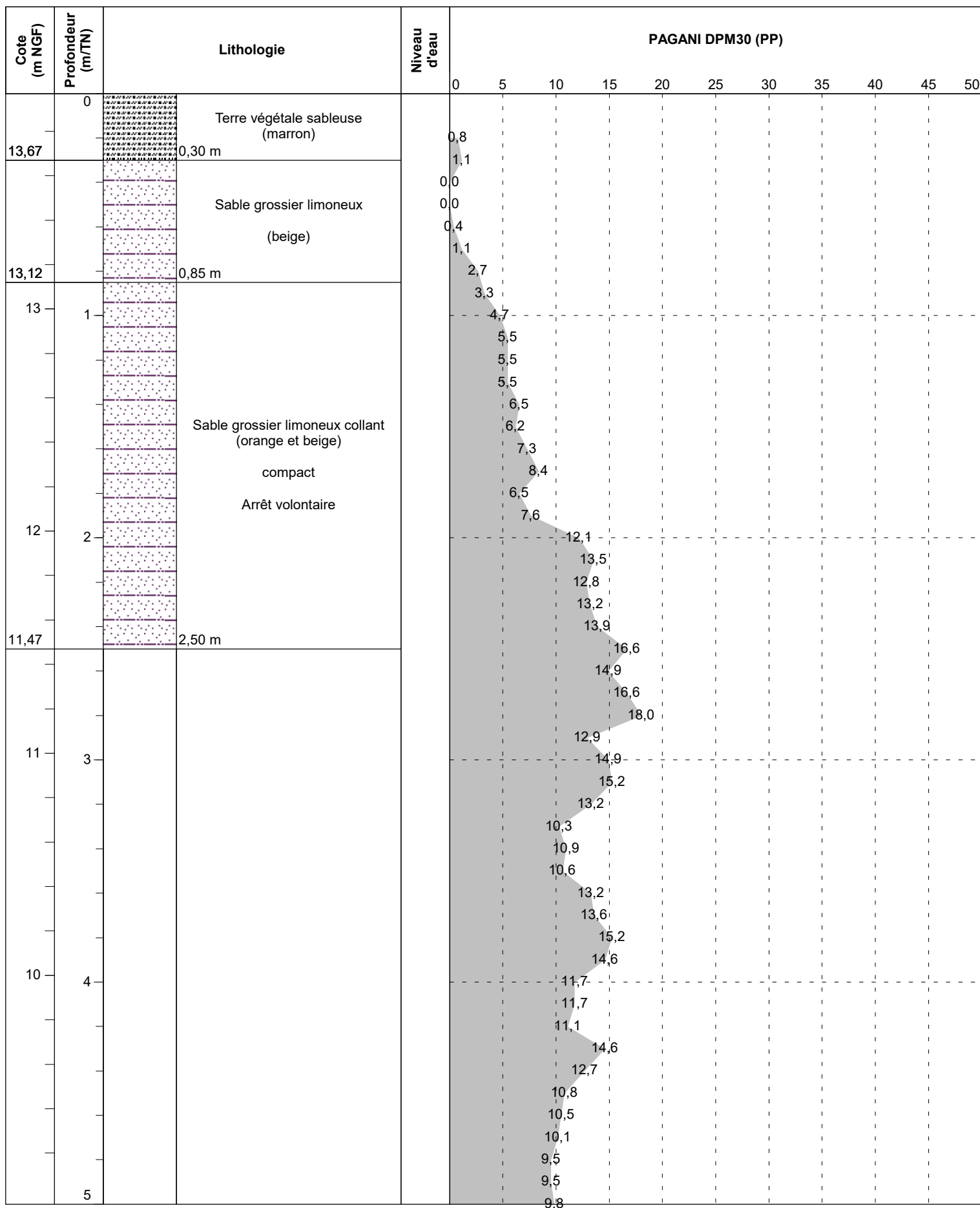
Machine : **Pelle mécanique + Pagani** Niveau d'eau : **Néant**

Venue d'eau : **Non observée**


1/22

Sondage : T6 + PDL6


EXGTE 3.15/GTE




| Cote (m NGF) | Profondeur (m/TN) | Lithologie | Outil | |
|-------------------|-----------------------|--|---|--|
| 14 13,89 | 0 0,40 m | Terre végétale limono-sableuse (brune) humide | Tarière mécanique Ø63 mm+ Tube piézométrique Ø48 mm | |
| 13,39 | 0,90 m | Sable grossier limoneux (ocre-orange) humide | | |
| 13 12 11,29 | 1 2 3 3,00 m | Sable grossier limoneux (ocre-orange) humide | | |

| | | | | |
|--|---|--------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
|  | ADI G2 AVP - Construction d'un lotissement NORT-SUR-ERDRE (44) | | | Affaire 4409032 |
| | Date début : 22/01/2020 | Cote NGF : 14.29 m | Profondeur : 0,00 - 0,90 m | |
| | Matériel Porchet : Matériel Porchet | | Niveau d'eau : Néant | Venue d'eau : Non observée |

Sondage : EP1

| Cote (m NGF) | Profondeur (m/TN) | Lithologie | Perméabilité K | Outil |
|-----------------|----------------------|---|-----------------|------------------|
| 14 | 0 | <div>  </div> Terre végétale sableuse (marron) + blocs de quartz à la base | | Matériel Porchet |
| 13,74 | 0,55 m | | | |
| 13,39 | 0,90 m | Sable grossier limoneux (beige) | 1.01 x 10-5 m/s | |

| | | | |
|--|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
|  | ADI Affaire 4409032 G2 AVP - Construction d'un lotissement NORT-SUR-ERDRE (44) | | |
| | Date début : 22/01/2020 | Cote NGF : 16.19 m | Profondeur : 0,00 - 0,75 m |
| | Matériel Porchet : Matériel Porchet | | Niveau d'eau : Néant |
| | | Venue d'eau : Non observée | |

Sondage : EP2

| Cote (m NGF) | Profondeur (m/TN) | Lithologie | Perméabilité K | Outil |
|-----------------|----------------------|--|-----------------|------------------|
| 16 | 0 | <div> <div></div> <div>Terre végétale sableuse (marron) + blocs de quartz à la base</div> </div> | | Matériel Porchet |
| 15,69 | 0,50 m | | | |
| | 0,75 m | <div> <div></div> <div>Sable grossier (beige - orange)</div> </div> | 5.66 x 10-5 m/s | |

Annexe 4

Résultats des analyses en laboratoire



Informations de l'échantillon analysé

Affaire : **4409032**

Outil de prélèvement : **P. M.**

Chantier : **Nort-sur-Erdre**

Prélèvé le : **25/02/20**

Sondage : **F2**

Essai réalisé le : **26/02/20**

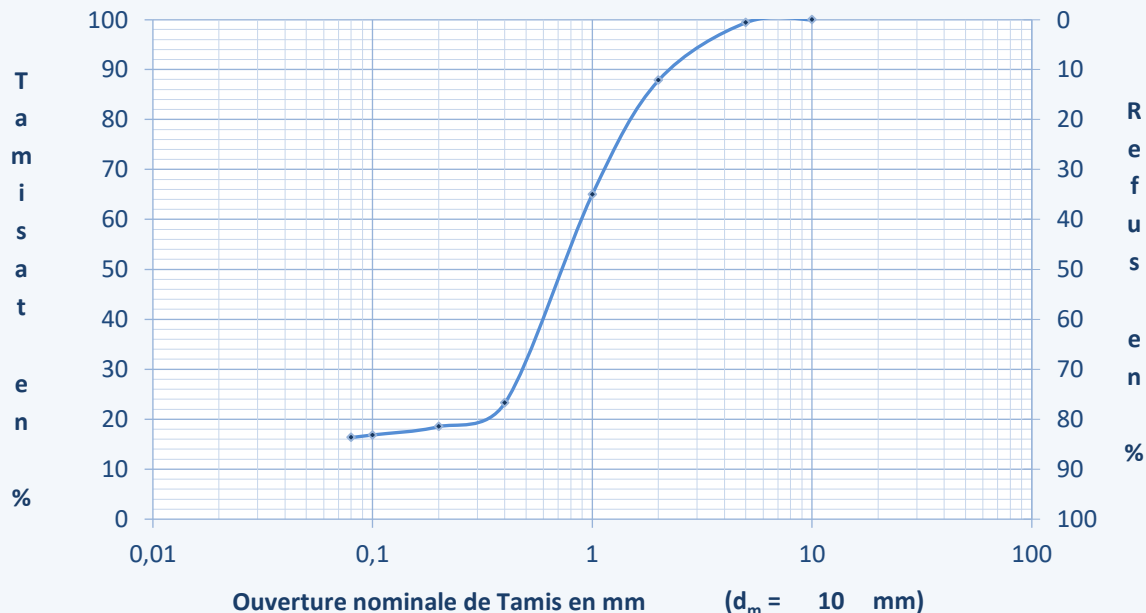
Profondeur : **1.15 - 2.15 m**

Température d'étuvage : **105 °C**

Nature du matériau : **Sable (roux)**

Analyse granulométrique (NF P 94-056)

| Tamis d (mm) | 50 | 31,5 | 20 | 10 | 5 | 2 | 1 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,08 |
|--------------|----|------|----|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| Passant (%) | | | | 100,0 | 99,4 | 87,9 | 65,0 | 23,3 | 18,6 | 16,9 | 16,4 |



Détermination de la teneur en eau (NF P 94-050)

W = **7,9** %

Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène (NF P 94-068)

VBS = **0,38** g de bleu / 100 g de sol

Remarque :

Opérateur :

Classification du matériau :

D. TEIXEIRA

B₅

Informations de l'échantillon analysé

Affaire : **4409032**

Outil de prélèvement : **P. M.**

Chantier : **Nort-sur-Erdre**

Prélèvé le : **25/02/20**

Sondage : **F4**

Essai réalisé le : **26/02/20**

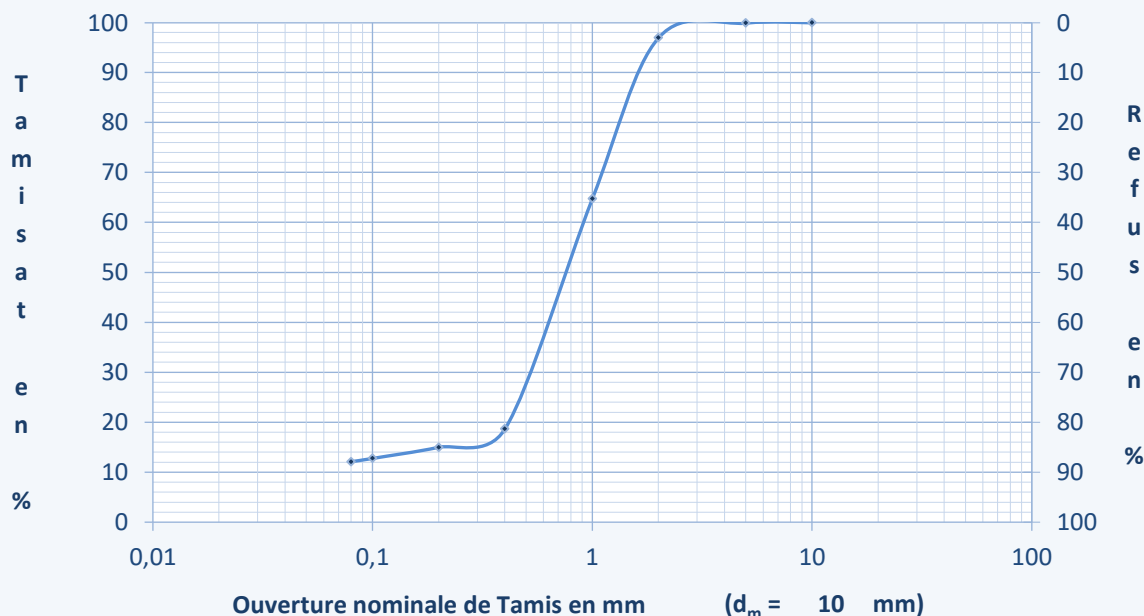
Profondeur : **0.90 - 2.50 m**

Température d'étuvage : **105 °C**

Nature du matériau : **Sable (roux)**

Analyse granulométrique (NF P 94-056)

| Tamis d (mm) | 50 | 31,5 | 20 | 10 | 5 | 2 | 1 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,08 |
|--------------|----|------|----|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| Passant (%) | | | | 100,0 | 99,9 | 97,0 | 64,8 | 18,7 | 15,0 | 12,8 | 12,1 |



Détermination de la teneur en eau (NF P 94-050)

W = **7,4** %

Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène (NF P 94-068)

VBS = **0,30** g de bleu / 100 g de sol

Remarque :

Opérateur :

Classification du matériau :

D. TEIXEIRA

B₅