



Maître d'Ouvrage :
BATI AMENAGEMENT
24 rue Vincent Gâche
44200 NANTES

ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION G2AVP

Projet de création d'un lotissement

*Lotissement " La Fontaine" - Secteur est et ouest
Rue René Guy Cadou
SAINTE REINE DE BRETAGNE (44)*

*Rédaction: Mathieu JEAN FRANCOIS
Relecture: Benjamin MAUREL*

*Réf. dossier : 4169
Décembre 2019*

Siège social

12, Boulevard de la Vie - Belleville-sur-Vie
85170 Bellevigny
Tél. 02 51 24 40 28 - Fax 02 51 24 40 29
E-mail : contact@igesol-bet.fr

S.A.R.L au capital de 10 000 €
Siret 490 004 900 00026
R.C.S. La Roche sur Yon 490 004 900
D.B. : CRCAM 14706 00131 - 902 643 77 000 - 70
APE 7112B
N° TVA Intracommunautaire : FR 82 490 004 900

Agence de Bretagne
1, place de la Voile
4, Le Belem
56390 LOCMARIA - GRANDCHAMP
Tél. 02 97 44 23 35 - Fax 02 97 44 25 30
E-mail : contact@igesol-bet.fr

Table des matières

1 - INTRODUCTION	1
2 - CONTEXTE GENERAL	2
2.1 - CONTEXTE GEOGRAPHIQUE	2
2.2 - CONTEXTE GEOLOGIQUE	2
2.3 - CONTEXTE HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	2
3 - LES INVESTIGATIONS	5
3.1 - SONDAGES A LA PELLE MECANIQUE (ANNEXE 1)	5
3.2 - ESSAIS DE LABORATOIRE (ANNEXE 2)	7
3.2.1 - Classifications GTR de matériaux (normes NF P 94-050, NF P 94-512 – 4 et NF P 94-068 – Annexe 2)	8
3.2.2 - Mesures de teneur en eau naturelle (norme NF P 94-050)	8
3.3 - TESTS DE PERMEABILITE – METHODE PORCHET	9
4 - GEOTECHNIQUE	10
4.1 - SYNTHESE DES RESULTATS	10
4.2 - TERRASSEMENTS	10
5 - LES CONDITIONS DE RE-EMPLOI DES MATERIAUX DE DEBLAIS EN REMBLAIS ET EN COUCHE DE FORME (d'après le fascicule « Réalisation des Remblais et Couche de Forme » du SETRA – LCPC)	11
5.1 - LE RE-EMPLOI DES MATERIAUX DU SITE EN REMBLAIS (ANNEXE 3)	11
5.2 - LE REEMPLOI DES MATERIAUX EN COUCHE DE FORME (ANNEXES 4 ET 5)	12
6 - LES VOIRIES (d'après le fascicule "catalogue des structures de chaussée")	13
6.1 - PRECONISATIONS GENERALES	13
6.2 - STRUCTURE DES VOIRIES	13

Table des annexes

- Sondages à la pelle mécanique
- Identifications GTR des matériaux
- Conditions d'utilisation des matériaux du site en remblais
- Les différents cas possibles de PST
- Conditions d'utilisation des matériaux du site en couche de forme
- Conditions générales des prestations géotechniques d'Igesol
- Enchaînement et classification des missions types d'ingénierie géotechnique

1 - INTRODUCTION

→ Type de l'étude

À la demande et pour le compte de BATI AMENAGEMENT, Maître d'Ouvrage, nous avons réalisé une étude géotechnique sur le site du projet de création d'un lotissement sur la commune de SAINTE REINE DE BRETAGNE (44).

→ Description du projet (cf. planche 2)

Sur le site étudié, le Maître d'Ouvrage souhaite créer un lotissement en deux parties séparées par une rue. La partie ouest comprend 7 lots de 287 à 485 m² et la partie est comprend 17 lots de 362 à 558 m² qui abriteront de futures habitations individuelles (projets actuellement non définis). Ces lots seront, a priori, desservis par des voiries légères, de classe de trafic T5. Il est également envisagé la création de deux bassins de rétention, un à l'ouest et l'autre à l'ouest.

→ Objectifs de l'étude

Les principaux objectifs sont de :

- déterminer la nature et la structure géologique du sol et du sous-sol au droit des voiries ;
- déterminer la faisabilité technique du projet de lotissement ;
- définir les propriétés physiques des différents faciès mis en évidence (classification GTR) ;
- aborder les modalités de terrassement et les possibilités et les conditions de ré-emploi des matériaux du site en remblais ou en couche de forme (voiries et bassin de rétention) ;
- préciser les structures de voiries adaptées aux contraintes imposées par le sous-sol et au type et de l'intensité du trafic.

Dans ce cadre, notre étude se limite à une mission de type **G₂AVP** (norme AFNOR – NF P-94 500).

→ Investigations

Afin de répondre aux objectifs fixés par notre mission, nous avons procédé à la réalisation d'une campagne de :

- 8 sondages à la pelle mécanique ;
- 3 identifications GTR par détermination de la VBS, la teneur en eau naturelle et de la granulométrie par tamisage ;
- 3 tests de perméabilité.

→ Documents en notre possession :

Les documents qui nous ont été fournis, réalisés par le cabinet MAGNUM en Décembre 2018, pour la réalisation de notre étude sont un plan de composition de chaque partie (ouest et est) au 1/500.

→ Remarques complémentaires

Si les prescriptions du présent rapport ne sont pas respectées dans leur totalité, la responsabilité de notre bureau d'études ne pourra être engagée.

Notre bureau d'étude devra être tenu informé de toutes les modifications pouvant être apportées au projet.

2 - CONTEXTE GENERAL

2.1 - CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE

Le site d'étude se localise sur la commune de SAINTE REINE DE BRETAGNE (44), de part et d'autre de la Rue René Guy Cadou (cf. planche 1).

La zone d'étude, d'une superficie totale d'environ 16 000 m², correspond aux parcelles cadastrales n°559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 569, 570, 571, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586 – Section ZW. Le terrain étudié était occupé par deux parcelles enherbées au moment de notre intervention. La zone d'étude est limitée :

- pour la partie ouest :
 - au nord, par une haie arborée puis la Rue Jean de la Fontaine ;
 - à l'est, par une haie arborée puis la Rue René Guy Cadou ;
 - au sud, par une parcelle bâtie ;
 - à l'ouest, par une haie arborée puis une parcelle enherbée et boisée.
- pour la partie est :
 - au nord, par une haie arborée puis une parcelle bâtie,
 - à l'est, par une parcelle boisée ;
 - au sud, par une haie arborée puis l'Allée du Calvaire ;
 - à l'ouest, par une haie arborée puis par la Rue René Guy Cadou.

D'après la carte IGN et le plan topographique en notre possession, l'altitude de la zone d'étude, est comprise, pour la partie ouest, entre 6,16 et 5,82 m NGF et pour la partie est, entre 10,00 et 6,60 m NGF. La pente générale du terrain orientée vers le nord possède une intensité d'environ 1 % pour la partie ouest et orientée vers l'ouest possède une intensité comprise entre 4 et 7 % pour la partie est.

La topographie du site n'est pas de nature à augmenter les sollicitations sismiques ($\tau=1$).

2.2 - CONTEXTE GÉOLOGIQUE

D'après la carte géologique au 1/50 000 – feuille 449 « LA ROCHE BERNARD », le sous-sol de la zone étudiée est caractérisé par des alluvions anciennes recouvrant un substratum gneissique (cf. planche 1).

2.3 - CONTEXTE HYDROLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Un cours d'eau épisodique s'écoule à 90 m au nord et 120 m au sud de la zone d'étude (cote fil d'eau : 6 m NGF).

Du point de vue hydrogéologique, les alluvions anciennes mises en évidence lors de nos investigations constituent un niveau aquifère dont la productivité est liée à sa granulométrie. Le substratum gneissique constitue un niveau aquifère dont la productivité est liée à son altération et sa fracturation. Les niveaux d'eau mises en évidence lors de cette étude sont à rattacher à la superposition de ces deux aquifères.

2.4 - EXPOSITION AUX RISQUES NATURELS

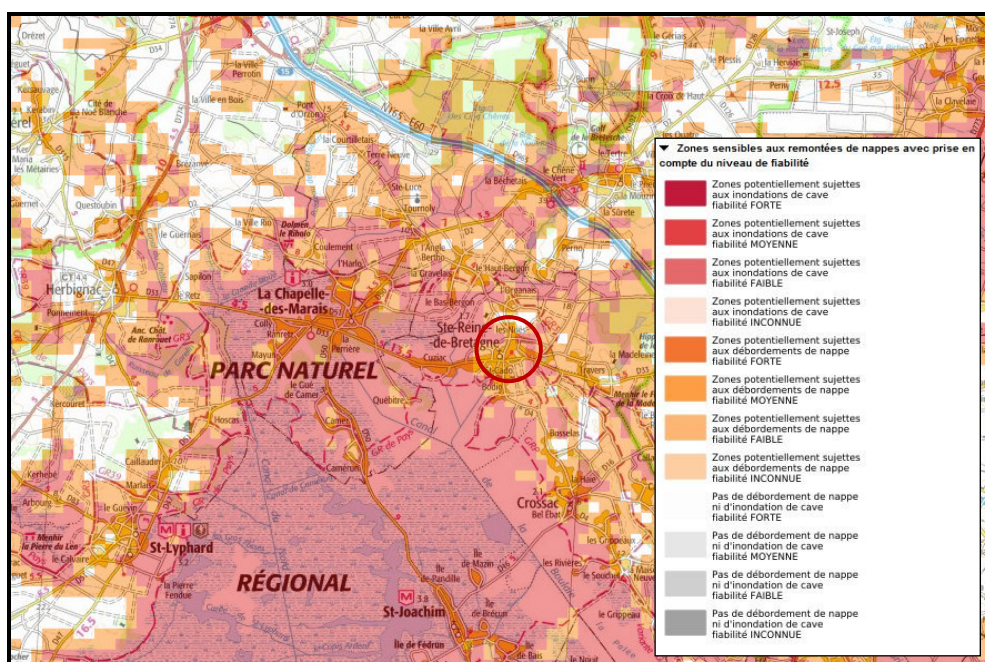
D'après la Banque de Données du Sous-Sol (brgm.fr), 3 risques naturels sont référencés au niveau de la zone d'étude :

- **l'aléa « retrait-gonflement » des argiles (applicable jusqu'au 31/12/19) :** celui-ci est **faible** sur une échelle à 4 unités (à priori nul, faible, moyen et fort) ;



Remarque : au 01/01/20, l'exposition au retrait-gonflement des argiles entre en vigueur, l'aléa reste faible.

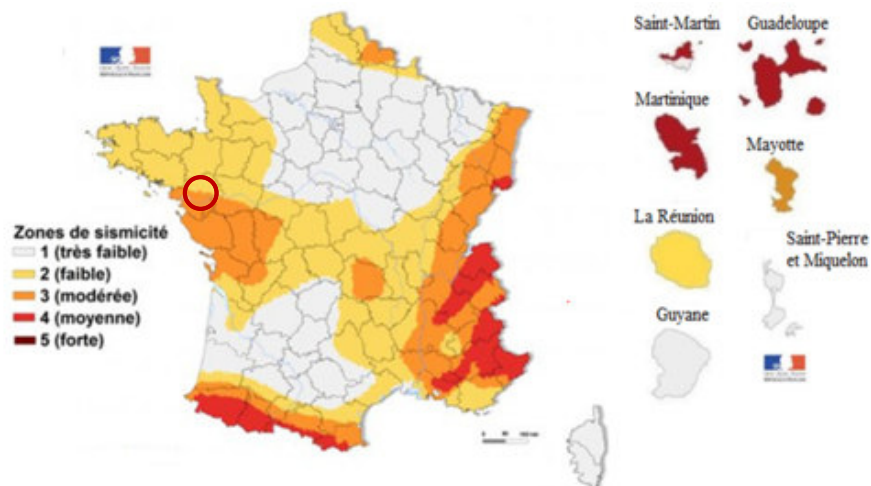
- **le risque de « remontée de nappe »** sur une échelle à 12 unités (dont 3 paliers avec 4 degrés de fiabilité chacun) : celui-ci représente **un zone potentiellement sujette aux inondations de cave et aux débordement de nappe (fiabilité faible)** et la partie ouest du projet se trouve dans l'enveloppe approchée des inondations potentielles de cours d'eau et de submersion marine de plus d'un hectare.



▪ **le risque « sismique » :**

Selon le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010, les futures constructions devront être réalisées selon les règles de construction parasismique (Eurocode 8) applicables en zone 3 (modérée) du découpage administratif de la France métropolitaine. A cette zone de sismicité est rattachée une magnitude conventionnelle de 5,5.

Cependant les ouvrages (voiries et bassin de rétention) abordés dans la présente étude sont de catégorie d'importance I et ne seront pas soumis à la réglementation parasismique.



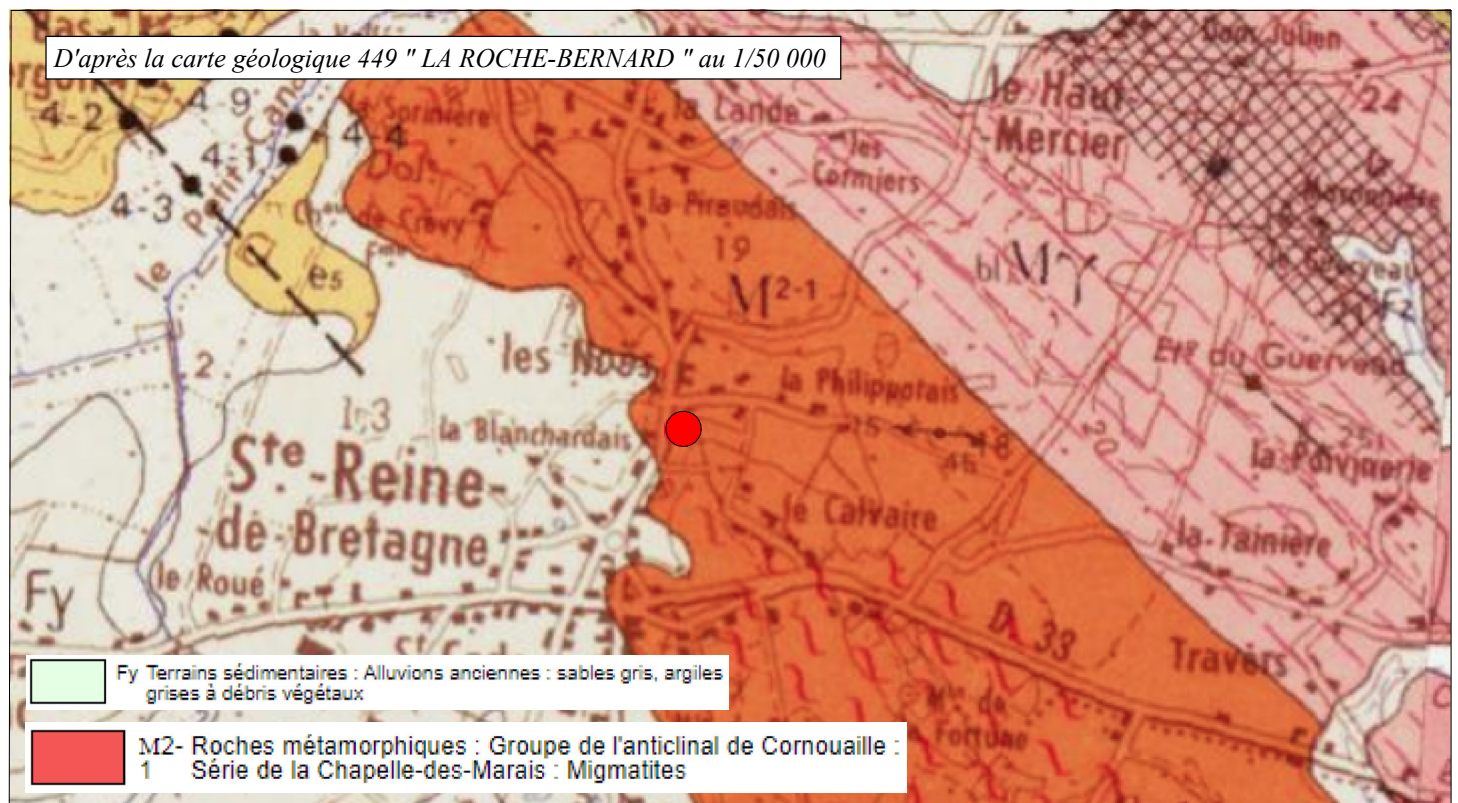
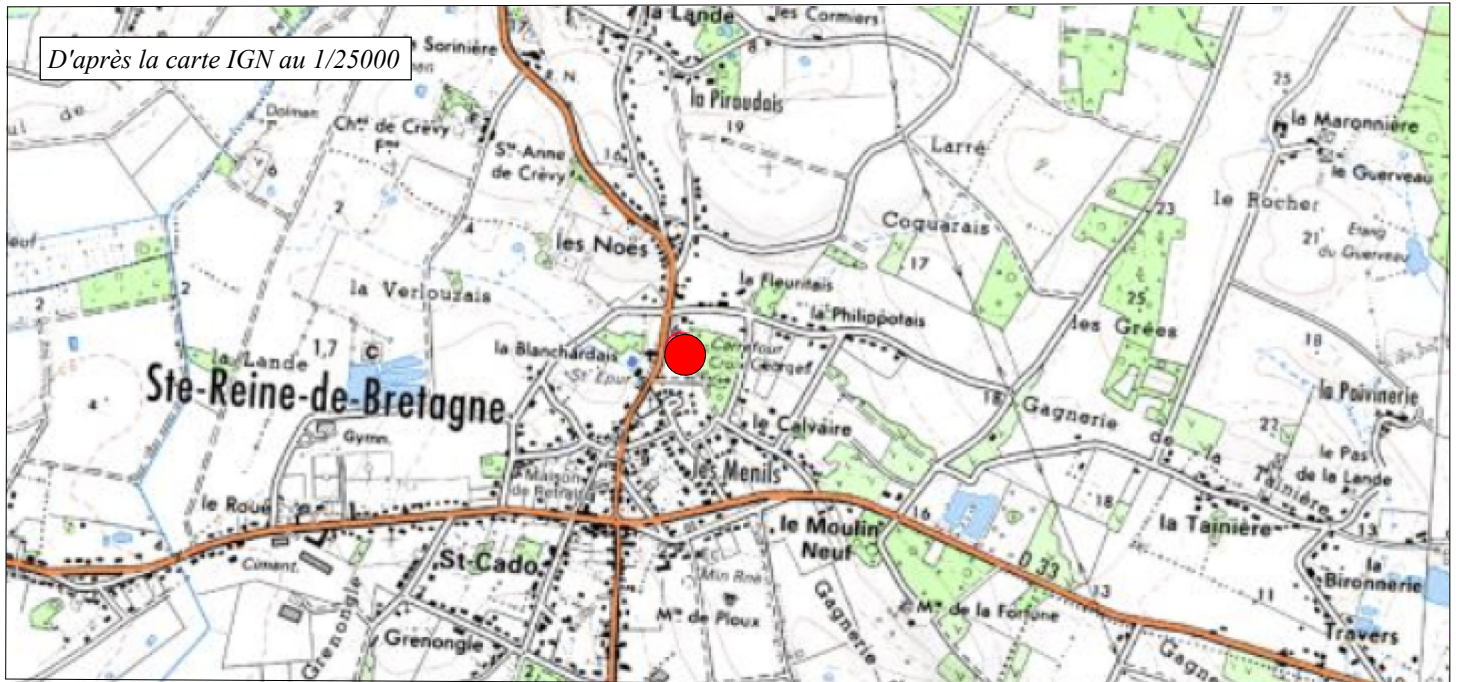


Projet de création d'un lotissement

Etude géotechnique de conception G2AVP

**Echelle :
1 / 25 000**

Localisation de la zone d'étude



LEGENDE :

 Localisation de la zone étudiée

3 - LES INVESTIGATIONS

3.1 - SONDAGES A LA PELLE MECANIQUE (ANNEXE 1)

Afin de déterminer la nature et la structure du sous-sol et d'aborder le contexte hydrogéologique, le 04/11/2019, nous avons réalisé 8 sondages à la pelle mécanique. Ces sondages ont été réalisés jusqu'aux profondeurs suivantes :

Sondages	Profondeur d'arrêt	Cote NGF d'arrêt	Type d'arrêt
P1+K	1,80 m	4,02 m	Arrêt volontaire
P2+K	1,20 m	5,65 m	Refus à la pelle mécanique sur Gneiss altéré supposé
P3+K	1,20 m	5,40 m	Refus à la pelle mécanique sur Gneiss altéré supposé
S1	2,50 m	3,66 m	Arrêt volontaire
S2	0,70 m	7,25 m	Refus à la pelle mécanique sur Gneiss altéré supposé
S3	1,80 m	4,19 m	Refus à la pelle mécanique sur Gneiss altéré supposé
S4	1,70 m	8,30 m	Arrêt volontaire
S5	2,50 m	4,75 m	Arrêt volontaire

Ces sondages sont localisés sur la planche 2 ci-après. Les coupes de ces sondages figurent en annexe 1. Nous y avons reporté les profondeurs et les cotes NGF de chaque niveau pédologique et géologique.

Les résultats des sondages sont résumés dans les tableaux ci-dessous.

→ **Contexte géologique :**

Faciès	Présent en	Lithologie	Profondeur au toit (m)	Cote NGF au toit (m)	Epaisseur (m)
Terre végétale	Tous	Limon argilo-sableux, Sable argilo-limoneux à cailloutis de quartz			0,30 / 0,60
Alluvions anciennes	P1+K, S1, S3, S5	Sable argilo-limoneux à Sable finement argileux à cailloutis de quartz roulés	0,40 / 0,50	5,85 / 5,42	
Arène gneissique	P2+K, S4	Sable argileux à cailloutis de quartz	0,30	9,70 / 6,55	0,30 / 0,50
Arène gneissique peu évoluée	P2+K, P3+K, S2, S4	Sable argileux, Limon à cailloutis de quartz et graviers de gneiss	0,60 / 0,80	9,40 / 6,00	

→ **Contexte hydrogéologique :**

	Profondeur (m)	Cote NGF (m)
Niveau d'eau	Ponctuellement, 0,60 à 2,00	8,40 à 4,16
Circulation d'eau	Terre végétale humide à très humide Alluvions anciennes humides à très humides Arène gneissique, localement, humide	
Parois des sondages	Ponctuellement, instables suite à la présence de venues d'eau importantes	

3.2 - ESSAIS DE LABORATOIRE (ANNEXE 2)

Considérant les caractéristiques du projet, nous avons effectué une série d'analyses de laboratoire sur des échantillons du Pliocène superficiel (PM1-1, PM4-1 et PM5-1) et du Pliocène profond (PM2-1 et PM3-1), pouvant être réutilisés en remblai ou en couche de forme, afin d'établir la classification GTR de ces matériaux, sur le site du projet. Ces échantillons possèdent les caractéristiques suivantes :

Sondage / Echantillon	Profondeur du prélèvement (m/TN)	Caractérisation terrain
P1+K / P1-1	0,40 – 0,70	<u>Alluvions anciennes :</u> Sable argilo-limoneux à Sable finement argileux, à cailloutis de quartz
P2+K / P2-1	0,30 – 0,80	<u>Arène gneissique :</u> Sable argileux à cailloutis de quartz
S5 / PM5-1	0,40 – 1,40	<u>Alluvions anciennes :</u> Sable finement argileux à cailloutis de quartz roulés

Ces analyses sont des mesures de la teneur en eau naturelle (norme NF P 94-050), des analyses granulométriques par tamisage (norme NF P 94-056) et des déterminations de la valeur au bleu (norme NF P 94-068).

3.2.1 - Classifications GTR de matériaux (normes NF P 94-050, NF P 94-512 – 4 et NF P 94-068 – Annexe 2)

Les fiches détaillées des analyses sont reportées en annexe 2. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Echantillon	Passant à 80 µm (%)	Passant à 2 mm (%)	Dmax (mm)	Valeur au bleu (VBS)	Classification GTR
P1-1	20,7	84,6	40	0,48	B₅
P2-1	22,0	77,1	12	1,17	B₅
S5-1	8,5	86,3	16	0,48	B₂

Les alluvions anciennes (P1-1) et l'arène gneissique (P2-1) correspondent à des **sols sableux et graveleux avec fines** et plus précisément à des **sables argileux**. Le Dmax est inférieure à 50 mm, le tamisat à 80 µm est inférieur à 35 % et la VBS est inférieure à 1,5. La proportion de fines et la faible plasticité de ces dernières rapprochent beaucoup le comportement de ces sols de celui des sols A₁. Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variation de teneur en eau. 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.

Les alluvions anciennes (S5-1) correspondent à des **sols sableux et graveleux avec fines** et plus précisément à des **sables argileux**. Le Dmax est inférieure à 50 mm, le tamisat à 80 µm est inférieur à 35 % et la VBS est supérieure à 0,2. La plasticité des fines de ces sols les rend insensibles à l'eau. Leur temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est court, tout en pouvant varier largement (fonction de la perméabilité).

3.2.2 - Mesures de teneur en eau naturelle (norme NF P 94-050)

Les teneurs en eau naturelle des échantillons, prélevés lors de notre campagne de sondages, ont été mesurées. Les valeurs obtenues sont reportées dans le tableau ci-dessous :

Échantillon	P1-1	P2-2	S5-1
Teneur en eau Wn (%)	11,9	11,9	5,4

Lors de notre intervention (début novembre 2019), les teneurs en eau naturelle sont globalement assez homogènes :

- au sein des alluvions anciennes, elles étaient comprise entre 5,4 et 11,9 % ; les variations de teneurs en eau peuvent s'expliquer par une fraction sableuse plus ou moins importante de l'échantillon testé ;
- au sein de l'arène gneissique, elles étaient de l'ordre de 11,9 %.

3.3 - TESTS DE PERMÉABILITÉ – MÉTHODE PORCHET

Le 05/11/2019, nous avons réalisé 3 tests de perméabilité au sein des faciès susceptibles de constituer le fond d'ouvrage d'infiltration, soit les alluvions anciennes, l'arène gneissique et l'arène gneissique peu évoluée. La localisation de ces tests figure sur la planche 2. Les coupes des sondages réalisés préalablement à la réalisation de ces tests figurent en annexe 1.

Remarque : sur les 3 tests prévus, avec les conditions climatiques (pluie forte) et les venues d'eau, seul un essai demeure exploitable.

La méthode utilisée est la méthode PORCHET à niveau variable. Elle nécessite un appareillage très sommaire et est de mise en œuvre aisée. Un trou cylindrique de rayon r, est rempli d'eau afin de saturer le sol.

Au cours de l'infiltration, après une période de saturation de 4 h, les variations du niveau d'eau (h1 et h2) dans le trou sont notées, en fonction du temps (t1 et t2), et l'on écrit :

$$K \text{ (m/s)} = r / 2 (t2-t1) \ln ((h1+(r/2)) / (h2+(r/2)))$$

Avec r, le rayon du trou.

Les valeurs obtenues sur le site étudié sont reportées dans le tableau ci-dessous.

Sondage-Test	Lithologie	Profondeur (m)	K _{moy.} (mm/h)	K _{moy.} (m/s)
P1 + K	Alluvions anciennes	0,40	4,19	1,17.10 ⁻⁶
P2 + K	Arène gneissique	Essais inexploitable		
P3 + K	Arène gneissique peu évoluée			

Les valeurs de perméabilité au sein des alluvions anciennes très faibles, de 1,17.10⁻⁶ m/s soit 4,19 mm/h.



Projet de construction d'un lotissement

Etude géotechnique de conception G2AVP

Implantation des sondages à la pelle mécanique

**Echelle :
1/750**

PARTIE OUEST

*Ref. nivellement : Lampadaire existant
6,22 m NGF*



Légende :

=>Investigations :

- **P1** : Sondage à la pelle mécanique avec essais de perméabilité
- **S1** : Sondage à la pelle mécanique

=>Observations :

10,00 : Cote NGF du Terrain Naturel (m)

10,00 : Mesure de perméabilité (mm/h)

D'après le plan de composition au 1/500 réalisé par MAGNUM

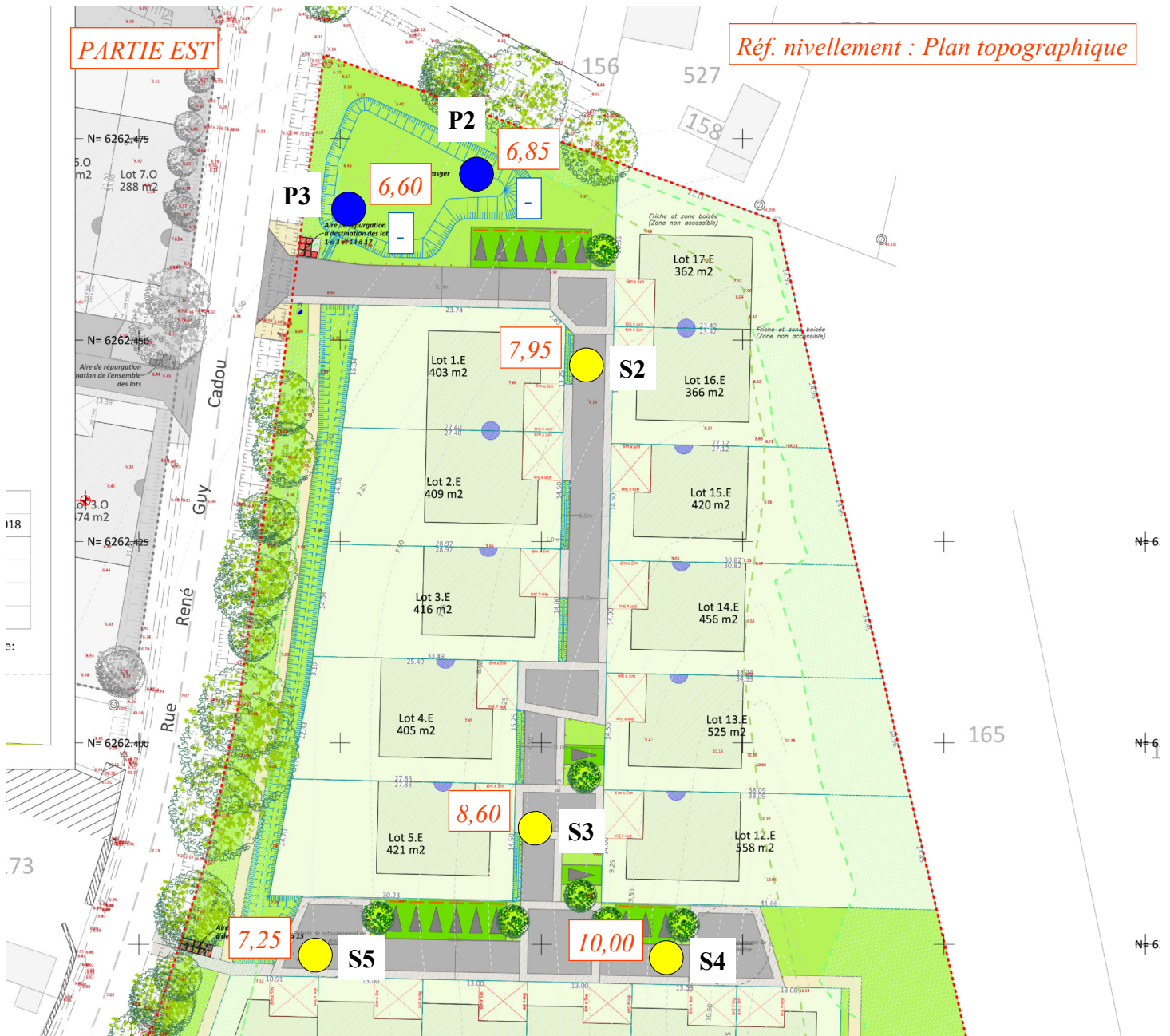


Projet de construction d'un lotissement

Etude géotechnique de conception G2AVP

Implantation des sondages à la pelle mécanique

**Echelle :
1/750**



Légende :

=> Investigations :

- **P1** : Sondage à la pelle mécanique avec essais de perméabilité
- **S1** : Sondage à la pelle mécanique

=> Observations :

10,00 : Cote NGF du Terrain Naturel (m)

10,00 : Mesure de perméabilité (mm/h)

D'après le plan de composition au 1/500 réalisé par MAGNUM

4 - GEOTECHNIQUE

4.1 - SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Nos investigations et nos observations sur le site et ses alentours ont permis de relever les points développés ci-dessous.

- L'épaisseur de terre végétale est comprise entre 0,30 et 0,60 m.
- Du point de vue géologique, le sous-sol se caractérise par une arène gneissique peu évoluée sablo-argileuse, limoneuse à cailloutis de quartz et graviers de gneiss, reconnue dès 0,60 à 0,80 m de profondeur, soit entre les cotes NGF 9,40 et 6,00 m, recouvert localement par une arène gneissique sablo-argileuse à cailloutis de quartz, classée B₅, d'une épaisseur comprise entre 0,30 et 0,50 m. Le sous-sol se caractérise localement par des alluvions anciennes sablo-argilo-limoneuses, sablo-argileuses, classées B₅ à B₂, reconnue dès 0,40 à 0,50 m de profondeur, soit entre les cotes NGF 5,85 et 5,42 m.
- Du point de vue hydrogéologique, la terre végétale et les alluvions anciennes sont humides à très humides et l'arène gneissique est localement humide. Des niveaux d'eau ont été relevés entre 0,60 et 2,00 m de profondeur, soit entre les cotes NGF 8,40 et 4,14 m. La teneur en eau naturelle est comprise entre 5,4 à 11,9 % au sein des alluvions anciennes et d'environ 11,9 % au sein de l'arène gneissique. La perméabilité des alluvions anciennes est d'environ 4,19 mm/h soit $1,17 \cdot 10^{-6}$ m/s.
- Les parois des sondages sont localement instables, en raison de venues d'eau importantes.

Au vu des résultats de nos investigations, nous donnons un avis géotechnique favorable à la réalisation de du projet tel qu'il nous a été défini. Les points développés ci-dessous permettront d'adapter le projet aux contraintes géologique, hydrogéologique et géotechnique mise en évidence par nos investigations.

4.2 - TERRASSEMENTS

Les éléments ci-dessous sont donnés à titre indicatif et présentent un caractère général.

- Il est conseillé de réaliser les terrassements de masse en période sèche (de nappe basse).
- La terre végétale, les alluvions anciennes, l'arène gneissique et l'arène gneissique peu évoluée pourront se terrasser avec des engins classiques de terrassement. L'utilisation du Brise Roche Hydraulique sera utile pour s'affranchir de points durs.
- Concernant les pentes des talus, en l'absence d'eau, il sera possible d'adopter une pente de 1/2 (2 à l'horizontale) dans la terre végétale, les alluvions anciennes, l'arène gneissique et l'arène gneissique peu évoluée. Si cela n'est pas possible des soutènements provisoires seront à envisager.
- Les différentes natures de déblai devront être individualisées. Ainsi, en cas de ré-utilisation, leur mise en œuvre sera fonction de leur nature.
- Lors de la rencontre de circulation d'eau ou de zones humides pendant les terrassements, il conviendra d'aménager des ouvrages de captages et d'évacuation vers l'aval. Il conviendra également de rétablir le ruissellement superficiel initial (captage amont et mise en place de canalisations d'évacuation).

5 - LES CONDITIONS DE RE-EMPLOI DES MATERIAUX DE DEBLAIS EN REMBLAIS ET EN COUCHE DE FORME

(d'après le fascicule « Réalisation des Remblais et Couche de Forme » du SETRA – LCPC)

Les matériaux déblayés seront principalement issus des alluvions anciennes de classe B₂ à B₅, ainsi que de l'arène gneissique de classe B₅.

Les conditions de mise en œuvre évoquées concernent uniquement les matériaux analysés dans le cadre de cette étude géotechnique. Pour d'éventuels faciès non rencontrés et non analysés (arène gneissique peu évoluée) au cours de la présente étude, il conviendra d'effectuer des analyses et essais complémentaires pour permettre leur classification GTR qui définira leurs conditions précises de mise en remblai.

Les teneurs en eau des matériaux devront être vérifiées au moment du démarrage du chantier et régulièrement pendant les travaux, afin de vérifier leur validité avec des compactages optimaux. Des dispositions pourront être nécessaires pour ramener les matériaux à une teneur en eau compatible avec un compactage optimal (aération ou arrosage).

5.1 - LE RÉ-EMPLOI DES MATÉRIAUX DU SITE EN REMBLAIS (ANNEXE 3)

Les modes de mise en remblais des alluvions anciennes de classe B₂ à B₅ et de l'arène gneissique de classe B₅ en fonction de leur état hydrique, sont présentés en annexe 3. A noter que les matériaux possédant un état hydrique ts ou th sont incompatibles avec une utilisation en l'état.

Remarques :

- ✓ *Lorsqu'aucune modalité de régalaage n'est préconisée, l'épaisseur maximale des couches élémentaires est définie par l'épaisseur de compactage possible sur le matériau avec le compacteur utilisé. Cela suppose la réalisation de planches d'essai.*
- ✓ *Avant la mise en place de remblai, l'épaisseur de terre végétale sera décapée ainsi que les matériaux éventuellement trop humides. Cette épaisseur de matériaux trop humides sera logiquement plus importante si les travaux ont lieu en période pluvieuse prolongée. Nous conseillons donc d'effectuer les travaux en période réputée sèche (été et début d'automne).*
- ✓ *Le choix du compacteur devra tenir compte des matériaux mis en évidence. Ainsi le compacteur type vibrant « billes/cylindres lisses » est le plus adéquate pour le compactage des matériaux de classe B₂ et B₅. Cependant, une vérification par la réalisation de planches d'essai est impérative.*
- ✓ *Le compactage des matériaux devra au moins respecter 95 % de l'OPN. La qualité du compactage sera validée par un géotechnicien par la réalisation d'essais à la plaque. On retiendra comme valeur de référence :*
$$EV2 \geq 50 \text{MPa} \text{ et } EV2/EV1 < 2.$$
- ✓ *Les matériaux grossiers pouvant empêcher un compactage optimal des couches seront purgés ou concassés.*

5.2 - LE RÉEMPLOI DES MATÉRIAUX EN COUCHE DE FORME (ANNEXES 4 ET 5)

Après décapage des remblais, la Partie Supérieure des Terrassements (PST) de masse correspondra à des matériaux issus des alluvions anciennes de classe B₂ à B₅, de l'arène gneissique de classe B₅ et de l'arène gneissique peu évoluée. L'état hydrique de la PST ne peut être défini à ce jour (il devra l'être avant le commencement du chantier). Ainsi, la PST selon son état hydrique pourra varier du cas n°0 au cas n°4. Ces différents cas sont présentés en annexe 4.

Les conditions d'utilisation des alluvions anciennes de classe B₂ à B₅ et de l'arène gneissique de classe B₅ en couche de forme sont présentées en annexe 5. De manière générale, on retiendra une épaisseur de couche de forme en matériaux 0/80 de 0,35 m sur un géotextile.

La détermination des adjuvants de traitement et leur dosage nécessitera la réalisation d'essais spécifiques en laboratoire à la charge de l'entreprise réalisant le chantier.

6 - LES VOIRIES (d'après le fascicule "catalogue des structures de chaussée")

6.1 - PRECONISATIONS GENERALES

Les matériaux impropres (terre végétale, matériaux trop humides et matériaux trop riches en matières organique) seront décapés sur l'emprise des voiries.

La construction des chaussées se fera sur une plate-forme minimale de classe **PF2** au minimum.

La réalisation d'une couche de forme est ici impérative. Elle pourra être constituée avec les matériaux extraits sur le site (alluvions anciennes, arène gneissique ou arène gneissique peu évoluée après identification GTR) comme développé au paragraphe précédent.

On pourra aussi utiliser des matériaux granulaires, insensibles à l'eau (sols de la classe B₃₁ ou D₂₁ par exemple) sur une épaisseur à adapter en fonction de la classe précise de la PST. Les conditions d'utilisation de ces matériaux en couche de forme sont présentées en annexe 5. On retiendra pour une PST avec un état hydrique moyen, une épaisseur de couche de forme de 0,35 m avec intercalation d'un géotextile entre la PST et la couche de forme.

6.2 - STRUCTURE DES VOIRIES

Compte tenu de la nature du projet (Classe de trafic T5), et en prenant les hypothèses d'un taux de croissance nul, d'une route bidirectionnelle de largeur ≥ 6 m et d'une durée de vie de 20 ans, nous considérerons une classe de trafic cumulé **TC₀**.

Ainsi, nous proposons la structure de chaussée suivante (sur une plate-forme de type PF2) :

- ✓ pour une structure GNT B2 :
 - Enduit de surface ;
 - 11 cm de GNT B2 en reprofilage ;
 - 15 cm de 0/31,5 en couche de base ;
- ✓ pour une structure GB3 :
 - 6 cm de couche de roulement (BB) ;
 - 8 cm de GB3 en couche de base ;

Pour la plate-forme support de chaussée, nous recommandons un profil non-encaissé. Les pentes transversales minimales du support de chaussée doivent être en phase transitoire de 4 à 5 % sauf dans le cas de graves propres ou de sols traités à la chaux ou au ciment où l'on peut retenir une pente minimale de 2,5 %.

Afin de lutter au maximum contre l'infiltration, qui est la principale cause de présence d'eau dans et sous les chaussées, il est essentiel d'assurer l'évacuation rapide des eaux superficielles.

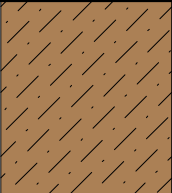

Rédigé par :
Mathieu JEAN FRANCOIS

Vérifié par :
Benjamin MAUREL

ANNEXE 1

**Coupes des sondages à la pelle mécanique
et résultats des tests de perméabilité**

Sondage à la pelle mécanique : P1+K - Cote NGF: 5,82 m

Prof. (en m)	Nappe	Log	Prof. (en m)	Cote NGF (en m)	Lithologie	Labo.
					Terre végétale : Limon argilo-sableux brun à cailloutis de quartz	
0,50			0,40	5,42		0,40
1,00					Alluvions anciennes : Sable argilo-limoneux à Sable finement argileux, à cailloutis de quartz, marron-orangé à gris-jaunâtre très humide en profondeur (Ech. P1-1)	B5
1,50						0,70
2,00			1,80	4,02	4,19 mm/h (1,17.10 ⁻⁶ m/s) Arrêt volontaire	
2,50						

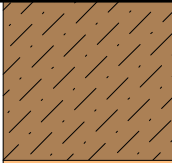
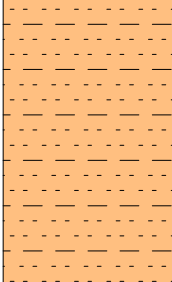
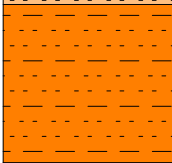
Parois du sondage : Stables

Circulation d'eau : Alluvions anciennes très humides en profondeur

Niveau d'eau en fin d'investigations : /

Profondeur du refus : Non obtenue

Sondage à la pelle mécanique : P2+K - Cote NGF: 6,85 m

Prof. (en m)	Nappe	Log	Prof. (en m)	Cote NGF (en m)	Lithologie	Labo.
					Terre végétale : Sable argilo-limoneux brun, humide	
			0,30	6,55		0,30
0,50					Arène gneissique : Sable argileux orangé à cailloutis de quartz	B5
			0,80	6,05		0,80
1,00					Arène gneissique peu évoluée : Sable argileux orangé à cailloutis de quartz (Ech. P2-1)	
			1,20	5,65	Refus à la pelle mécanique sur Gneiss altéré supposé	
1,50						
2,00						
2,50						

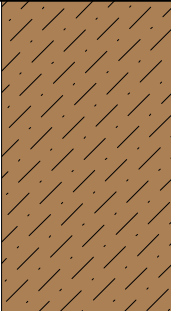
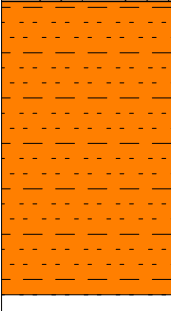
Parois du sondage : Stables

Circulation d'eau : Terre végétale humide

Niveau d'eau en fin d'investigations : /

Profondeur du refus : Atteint dès -1,20 m/TN (5,65 m NGF)

Sondage à la pelle mécanique : P3+K - Cote NGF: 6,60 m

Prof. (en m)	Nappe	Log	Prof. (en m)	Cote NGF (en m)	Lithologie
0,50					Terre végétale : Sable argilo-limoneux brun, très humide
			0,60	6,00	Arène gneissique peu évoluée : Sable argileux gris-beige à marron
1,00			1,20	5,40	Refus à la pelle mécanique sur Gneiss altéré supposé
1,50					
2,00					
2,50					

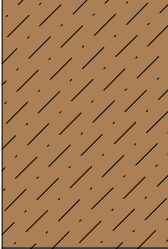
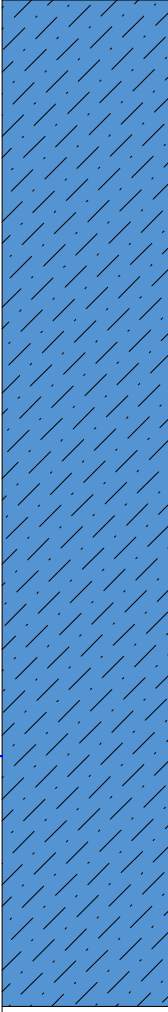

Parois du sondage : Stables

Circulation d'eau : Terre végétale très humide

Niveau d'eau en fin d'investigations : Non obtenue

Profondeur du refus : Atteint dès -1,20 m/TN (5,40 m NGF)

Sondage à la pelle mécanique : S1 - Cote NGF: 6,16 m

Prof. (en m)	Nappe	Log	Prof. (en m)	Cote NGF (en m)	Lithologie
0,50			0,50	5,66	Terre végétale: Limon argilo-sableux brun à cailloutis de quartz
1,00					
1,50					Alluvions anciennes : Sable limono-argileux à finement argileux, orangé à cailloutis de quartz roulés, très humide en profondeur
2,00					
2,50			2,50	3,66	Arrêt volontaire


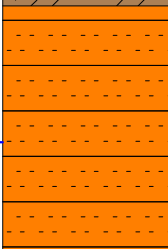

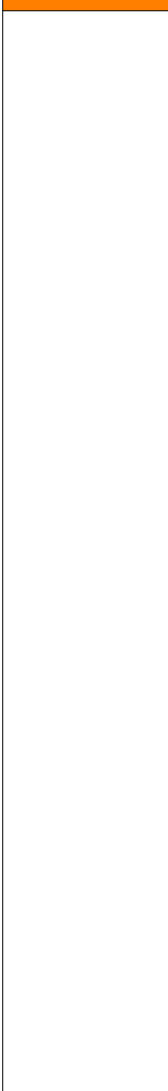
Parois du sondage : Stables

Circulation d'eau : Alluvions anciennes très humides en profondeur

Niveau d'eau en fin d'investigations : -2,00 m/TN (4,16 m NGF)

Profondeur du refus : Non obtenue

Sondage à la pelle mécanique : S2 - Cote NGF: 7,95 m

Prof. (en m)	Nappe	Log	Prof. (en m)	Cote NGF (en m)	Lithologie
					Terre végétale: Limon argilo-sableux brun à cailloutis de quartz, humide
			0,30	7,65	Arène gneissique peu évoluée : Limon à graviers de gneiss, marron à beige
0,50					
			0,70	7,25	Refus à la pelle mécanique sur Gneiss altéré supposé
1,00					
1,50					
2,00					
2,50					

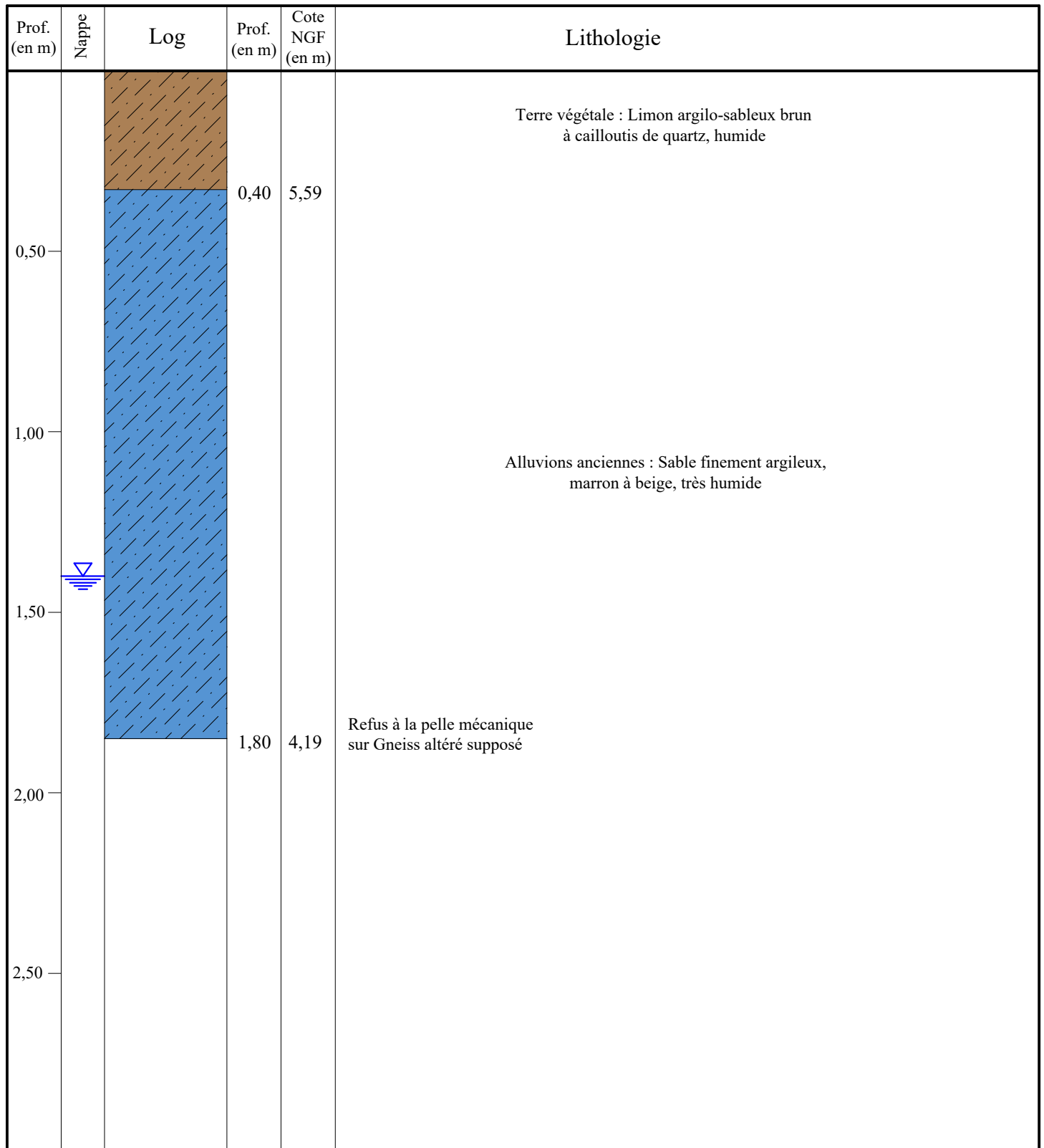
Parois du sondage : Stables

Circulation d'eau : Terre végétale humide

Niveau d'eau en fin d'investigations : -0,60 m/TN (7,35 m NGF)

Profondeur du refus : Atteint à -0,70 m/TN (7,25 m NGF)

Sondage à la pelle mécanique : S3 - Cote NGF: 8,60 m



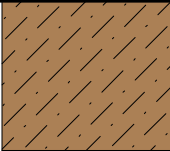
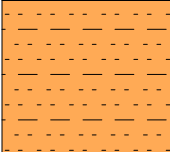
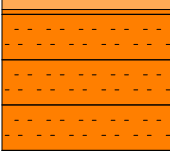

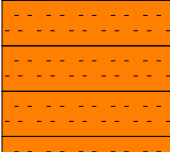

Parois du sondage : Instables (venues d'eau importantes)

Circulation d'eau : Terre végétale humide et Alluvions anciennes très humide

Niveau d'eau en fin d'investigations : -1,40 m/TN (7,20 m NGF)

Profondeur du refus : Atteint à -1,80 m/TN (4,19 m NGF)

Sondage à la pelle mécanique : S4 - Cote NGF: 10,00 m

Prof. (en m)	Nappe	Log	Prof. (en m)	Cote NGF (en m)	Lithologie
					Terre végétale: Limon argilo-sableux brun à cailloutis de quartz, frais
0,50			0,30	9,70	Arène gneissique : Sable argileux beige-orangé, humide
1,00			0,60	9,40	Arène gneissique peu évoluée : Sable argileux marron-orangé, à cailloutis de gneiss
1,50					
2,00			1,70	8,30	Arrêt volontaire
2,50					

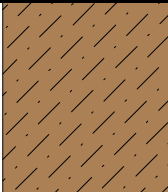

Parois du sondage : Stables

Circulation d'eau : Terre végétale fraîche et arène gneissique humide

Niveau d'eau en fin d'investigations : -1,60 m/TN (8,40 m NGF)

Profondeur du refus : Non atteinte

Sondage à la pelle mécanique : S5 - Cote NGF: 7,25 m

Prof. (en m)	Nappe	Log	Prof. (en m)	Cote NGF (en m)	Lithologie	Labo.
0,50			0,40	6,85	Terre végétale : Limon argilo-sableux brun à cailloutis de quartz, frais	0,40
1,00					Alluvions anciennes : Sable finement argileux, beige à cailloutis de quartz roulés, humide (Ech. P5-1)	B5
2,50			2,50	4,75	Arrêt volontaire	

Parois du sondage : Stables

Circulation d'eau : Terre végétale fraîches et alluvions anciennes humides

Niveau d'eau en fin d'investigations : /

Profondeur du refus : Non atteinte

ANNEXE 2

Identifications GTR

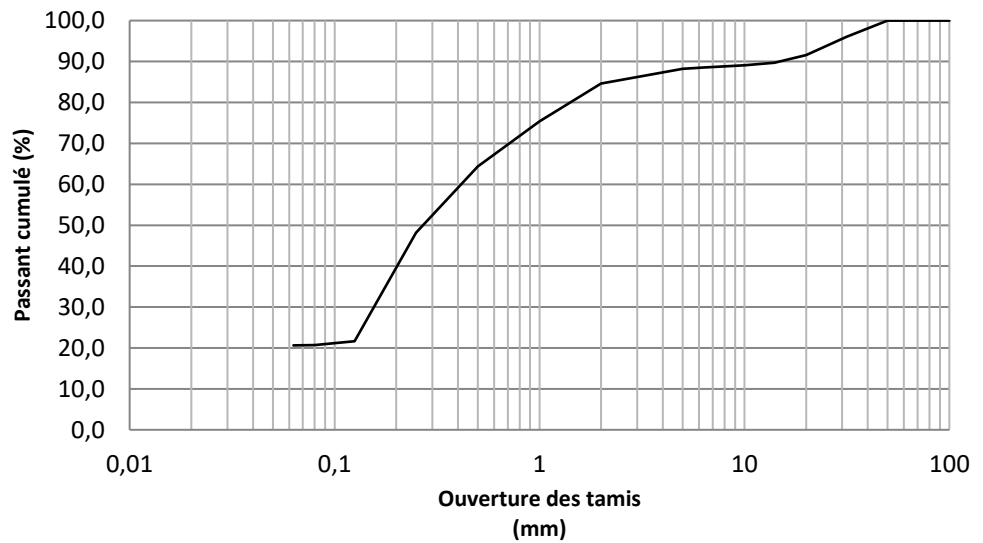
Classification GTR de matériaux

Projet	BATI-AMENAGEMENT _ SAINTE-REINE-DE-BRETAGNE (44)	Référence	4169
N° d'échantillon	P1-1	Profondeur (m)	0,40-0,70
Mode de prélèvement	Pelle mécanique	Date de prélèvement	04/11/2019

Analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage (NF P 94-056)

Dmax (mm)	40	Température étuvage	105 °C
-----------	----	---------------------	--------

Ouverture tamis (mm)	Passant cumulé (%)
100	100,0
63	100,0
50	100,0
31,5	96,1
20	91,6
14	89,7
10	89,1
6,3	88,5
5	88,2
2	84,6
1	75,4
0,5	64,4
0,25	48,2
0,125	21,7
0,08	20,7
0,063	20,6



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

m _h (g)	3314,1	m _s (g)	3050,80	Wn (%)	11,9
--------------------	--------	--------------------	---------	--------	------

Détermination de la Valeur au Bleu du Sol (NF P 94-068)

VBS	0,48
-----	------

Classification GTR (NF P 11-300)

B ₅

Date de réalisation : 20/11/2019

Essais réalisés par : SB

Observations :

Résultats vérifiés par le directeur
Samy BOUSSEFFA



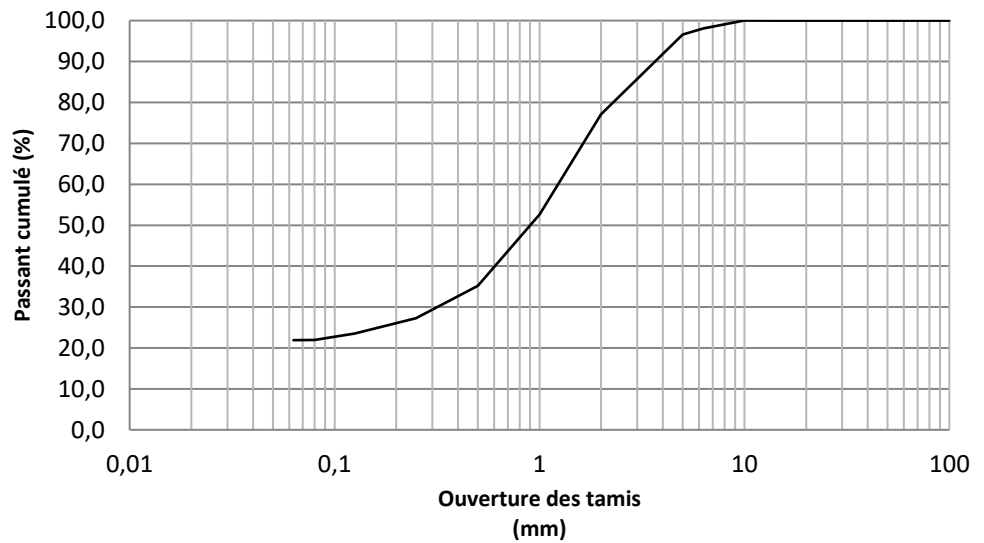
Classification GTR de matériaux

Projet	BATI-AMENAGEMENT _ SAINTE-REINE-DE-BRETAGNE (44)	Référence	4169
N° d'échantillon	P2-1	Profondeur (m)	0,30-0,80
Mode de prélèvement	Pelle mécanique	Date de prélèvement	04/11/2019

Analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage (NF P 94-056)

Dmax (mm)	12	Température étuvage	105 °C
-----------	----	---------------------	--------

Ouverture tamis (mm)	Passant cumulé (%)
100	100,0
63	100,0
50	100,0
31,5	100,0
20	100,0
14	100,0
10	100,0
6,3	98,1
5	96,6
2	77,1
1	52,6
0,5	35,2
0,25	27,3
0,125	23,5
0,08	22,0
0,063	21,9



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

m _h (g)	1682,92	m _s (g)	1556,80	Wn (%)	11,9
--------------------	---------	--------------------	---------	--------	------

Détermination de la Valeur au Bleu du Sol (NF P 94-068)

VBS	1,17
-----	------

Classification GTR (NF P 11-300)

B ₅

Date de réalisation : 20/11/2019

Essais réalisés par : SB

Observations : Matériau pulvérulent

Résultats vérifiés par le directeur
Samy BOUSSEFFA



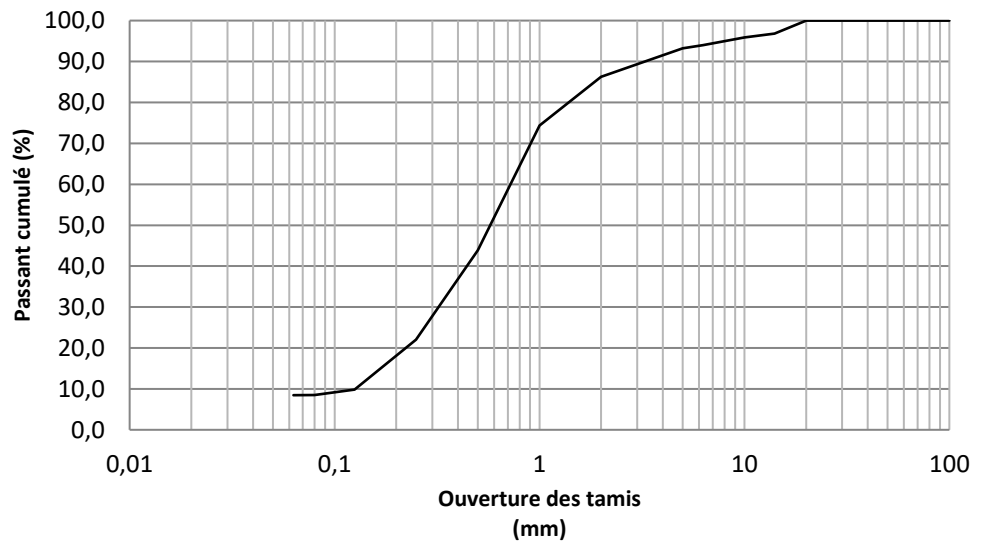
Classification GTR de matériaux

Projet	BATI-AMENAGEMENT _ SAINTE-REINE-DE-BRETAGNE (44)	Référence	4169
N° d'échantillon	P S5-1	Profondeur (m)	0,40-1,40
Mode de prélèvement	Pelle mécanique	Date de prélèvement	04/11/2019

Analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage (NF P 94-056)

Dmax (mm)	16	Température étuvage	105 °C
-----------	----	---------------------	--------

Ouverture tamis (mm)	Passant cumulé (%)
100	100,0
63	100,0
50	100,0
31,5	100,0
20	100,0
14	96,8
10	95,9
6,3	94,0
5	93,2
2	86,3
1	74,3
0,5	43,8
0,25	22,0
0,125	9,8
0,08	8,5
0,063	8,5



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

m _h (g)	2267,9	m _s (g)	2195,55	Wn (%)	5,4
--------------------	--------	--------------------	---------	--------	-----

Détermination de la Valeur au Bleu du Sol (NF P 94-068)

VBS	0,48
-----	------

Classification GTR (NF P 11-300)

B ₂

Date de réalisation : 20/11/2019

Essais réalisés par : SB

Observations :

Résultats vérifiés par le directeur
Samy BOUSSEFFA



ANNEXE 3

Conditions d'utilisation des matériaux en remblais

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN COUCHE DE FORME

B₂₁, B₂₂

Classe de sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en couche de forme	Code GWTS	Epaisseur préconisée de la couche de forme e (en m.) et classe PF de la plateforme support de chaussée						
						PST n° 1		PST n° 2		PST n° 3		PST n° 4
						AR 1	AR 1	AR 1	AR 2	AR 2	AR 2	
B_{21h} et B_{22h}	La grande sensibilité à l'eau des sols de ces classes impose de les traiter avec un liant hydraulique. Ces sols se traitent souvent en place mais lorsqu'ils sont dans un état moyen ou sec ils sont également susceptibles d'être traités en centrale.	+	pluie faible	Situation météorologique ne permettant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)	NON	(1)	e = 0,35 PF2	e = 0,35 PF2	e = 0,35 PF3	e = 0,35 PF3		
		= OU -	pas de pluie	T : Traitement avec un liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 0 1 2							
B_{21m} et B_{22m}		+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)	NON							
		=	ni pluie ni évaporation	T : Traitement avec un liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 0 1 2							
		-	évaporation importante	W : Arrosage pour maintien de l'état hydrique T : Traitement avec un liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 1 1 2							
		B_{21s} et B_{22s}	+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)						NON	
= OU -	pas de pluie		W : Humidification pour changer l'état hydrique T : Traitement avec un liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 1 1 2								

(1) Sur cette PST, la mise en oeuvre d'un matériau traité répondant à une qualité "couche de forme" n'est pas réalisable. Procéder d'abord à un traitement selon une technique "remblai" et se rapporter alors au cas de PST n°4 si l'effet du traitement est durable et aux cas PST n°2 ou 3 s'il ne l'est pas.

(2) Si intercalation d'un géotextile à l'interface PST-couche de forme.

(3) Dans le cas de la PST n°4, une couche de forme conduisant à une PF2 peut se limiter à une couche de protection superficielle de quelques centimètres d'épaisseur de ce matériau. Celle-ci peut même être inutile si l'on a prévu la possibilité d'éliminer par rabotage les 5 à 10 cm supérieurs de la PST. Elle peut également être remplacée par un enduit de cure gravillonné ou éventuellement clouté, appliqué directement sur l'arase terrassement.

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN COUCHE DE FORME

B₅₁, B₅₂

Classe de sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en couche de forme	Code GWTS	Epaisseur préconisée de la couche de forme e (en m.) et classe PF de la plateforme support de chaussée						
						PST n° 1		PST n° 2		PST n° 3		PST n° 4
						AR 1	AR 1	AR 1	AR 2	AR 2	AR 2	
B₅₁h et B₅₂h	La grande sensibilité à l'eau des sols de cette classe implique nécessairement de les traiter pour les utiliser en couche de forme.	+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant	NON	(1)	e = 0,35	e = 0,35	e = 0,35	e = 0,35		
		= OU -	pas de pluie	T : Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné	0 0 2 1							
B₅₁m et B₅₂m	Ce traitement peut être un traitement aux liants hydrauliques pour les moins argileux de la classe ou un traitement associant chaux + liant hydraulique pour les plus argileux et les plus humides. Ces sols se traitent le plus souvent en place et éventuellement en centrale après les avoir traités en place à la chaux.	+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant	NON							
		= OU -	pas de pluie	W : Arrosage pour maintien de l'état hydrique T : Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné	0 1 2 1							
B₅₁s et B₅₂s		+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant	NON							
		= OU -	pas de pluie	W : Humidification pour changer l'état hydrique T : Traitement avec un liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné	0 2 1 1							

(1) Sur cette PST, la mise en œuvre d'un matériau traité répondant à une qualité "couche de forme" n'est pas réalisable. Procéder d'abord à un traitement selon une technique "remblai" et se rapporter alors au cas de PST n°4 si l'effet du traitement est durable et aux cas n°2 ou 3 s'il ne l'est pas.

ANNEXE 5

Différents cas possibles de PST

**RAPPEL DES
DIFFERENTS CAS POSSIBLES DE P.S.T. (cf. fascicule I § 3.3.2)**

Cas de P.S.T.	Schéma	Description	Classe de l'arase	Commentaires
P.S.T. n°0		<p>Sols A, B₂, B₄, B₆, B₈, C₁ se trouvant dans un état hydrique (th).</p> <p>Contexte Zones tourbeuses, marécageuses ou inondables. PST dont la portance risque d'être quasi nulle au moment de la réalisation de la chaussée ou au cours de la vie de l'ouvrage.</p>	AR0	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.
P.S.T. n°1		<p>Sols Matériaux des classes A, B₂, B₄, B₆, B₈, C₁, R₁₀, R₁₅ et certains matériaux C₂, R₁₀ et R₁₅ dans un état hydrique (h).</p> <p>Contexte PST en matériaux sensibles de mauvaise portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A) et sans possibilité d'amélioration à long terme (B).</p>	AR1	Dans ce cas de PST, il convient : - soit de procéder à une amélioration du matériau jusqu'à 0,5 m d'épaisseur par un traitement principalement à la chaux vive et selon une technique remblai. On est ramené au cas de PST 2, 3 ou 4 selon le contexte - soit d'exécuter une couche de forme en matériau granulaire insensible à l'eau de forte épaisseur (en admettant une légère réduction si l'on intercale un géotextile anticontaminant à l'interface PST - couche de forme).
P.S.T. n°2		<p>Sols Matériaux des classes A, B₂, B₄, B₆, B₈, C₁, R₁₀, R₁₅ et certains matériaux C₂, R₁₀ et R₁₅ dans un état hydrique (m).</p> <p>Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A). Cette portance peut cependant chuter à long terme sous l'action des infiltrations des eaux pluviales et d'une remontée de la nappe (B).</p>	AR1	Bien que les exigences requises à court terme pour la plate-forme support puissent être éventuellement obtenues au niveau de l'arase, il est cependant quasiment toujours nécessaire de prévoir la réalisation d'une couche de forme. Si l'on peut réaliser un rabattement de la nappe à une profondeur suffisante, on est ramené au cas de PST 3.
P.S.T. n°3		<p>Sols Mêmes matériaux que dans le cas de PST 2.</p> <p>Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau, de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A) mais pouvant chuter à long terme sous l'action de l'infiltration des eaux pluviales (B).</p>	AR1 AR2	En l'absence de mesures de drainage à la base de la chaussée et d'imperméabilisation de l'arase, même situation que celle décrite dans le cas PST 2. Classement en AR2 si des dispositions constructives de drainage à la base de la chaussée et d'imperméabilisation de l'arase permettent d'évacuer les eaux et d'éviter leur infiltration dans la PST.
P.S.T. n°4		<p>Sols Mêmes matériaux qu'en PST 1 sous réserve que la granularité permette leur traitement.</p> <p>Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau (en remblai ou rapportés en fond de déblai hors nappe) améliorés à la chaux ou aux liants hydrauliques selon une technique "remblai" et sur une épaisseur de 0,30 à 0,50 m. L'action du traitement est cependant durable.</p>	AR2	La portance de l'arase peut être localement élevée mais la dispersion n'autorise pas un classement supérieur. La décision de réalisation d'une couche de forme sur cette PST dépend du projet et des valeurs de portance de l'arase mesurées à court terme (après prise du liant).
P.S.T. n°5		<p>Sols B₁ et D₁ et certains matériaux rocheux de la classe R₁₀.</p> <p>Contexte PST en matériaux sableux fins insensibles à l'eau, hors nappe, posant des problèmes de traficabilité.</p>	AR2 AR3	La portance de l'arase de cette PST dépend beaucoup de la nature des matériaux. Classement en AR3 si le module EV2 de l'arase est supérieur à 120 MPa. Les valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme. La nécessité d'une couche de forme sur cette PST ne s'impose que pour satisfaire les exigences de traficabilité.
P.S.T. n°6		<p>Sols Matériaux des classes D₂, R₁₁, R₁₁, R₁₂, R₁₂, R₁₃, R₁₃, R₁₄, R₁₄, ainsi que certains matériaux C₂, R₁₀, R₁₅ et R₁₅.</p> <p>Contexte PST en matériaux graveleux ou rocheux insensibles à l'eau mais posant des problèmes de réglage et/ou de traficabilité.</p>	AR3 AR4	Classement en AR3 si EV2 ≥ 120 MPa et en AR4 si EV2 ≥ 200 MPa. Les valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme. La nécessité d'une couche de forme ne s'impose que pour les exigences à court terme (nivellement et traficabilité) et peut donc se réduire à une couche de fin réglage.

- (A) Comportement de la PST à la mise en œuvre de la couche de forme
(B) Situation pendant la "phase de construction" de la chaussée.

ANNEXE 6

Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

B₂ (états m, s et ts)

Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai	Code							
					E	G	W	T	R	C	H	
B₂m	Ces sols sont très sensibles à la situation météorologique	+	pluie faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON							
		=	ni pluie, ni évaporation importante	C : compactage moyen	0	0	0	0	0	0	2	0
		-	évaporation importante	Solution 1 : utilisation en l'état C : compactage intense	0	0	0	0	0	0	1	0
				Solution 2 : arrosage W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage moyen	0	0	3	0	0	0	2	0
B₂s	Pour ces sols, il faut compenser l'insuffisance de la teneur en eau par un compactage intense, un arrosage ou une humidification. L'humidification dans la masse pour changer l'état est relativement facile à réaliser	++	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON							
		+	pluie faible	E : extraction en couche R : couches minces C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	1	0	0	0	1	1	2	
		=	ni pluie, ni évaporation importante	Solution 1 : utilisation en l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0	0	0	0	0	1	2	
				Solution 2 : humidification W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen	0	0	4	0	1	2	0	
		-	évaporation importante	Solution 1 : arrosage W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0	0	3	0	0	1	2	
				Solution 2 : humidification W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen	0	0	4	0	1	2	0	
B₂ts	Sols normalement inutilisables en l'état Mais dans certains cas leur humidification peut être envisagée pour les amener à l'état "s" ou "m"				NON							

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

B₂ (états th, et h)

Sol	Observations générales	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H	
B₂th	Soils normalement inutilisables en l'état			NON	
	Ces sols sont inutilisables dans cet état mais une mise en dépôt provisoire, ou un drainage préalable pendant une période suffisante (plusieurs semaines) peuvent permettre de les reclasser en B ₂ h				
B₂h	Ces sols sont très sensibles à la situation météorologique. Ils sont sujet au "matelassage", ce qui est à éviter au niveau de l'arase de terrassement. Le drainage préalable (plusieurs semaines) peut être efficace et permettre de reclasser certains d'entre eux en B ₂ m	+	pluie faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai, avec des garanties de qualité suffisantes.	NON
		=	ni pluie, ni évaporation importante	Solution 1 : traitement T : traitement avec un réactif adapté C : compactage moyen	0 0 0 1 0 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de hauteur faible (≤ 5 m)	0 0 0 0 0 3 1
		-	évaporation importante	Solution 1 : extraction en couche - aération E : extraction en couche W : réduction de la teneur en eau par aération R : couches minces C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	1 0 1 0 1 2 2
			Solution 2 : aération et traitement W : réduction de la teneur en eau par aération T : traitement avec un réactif adapté C : compactage moyen	0 0 1 1 0 2 0	

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

B₅ (états m, s et ts)

Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H
B₅m	Ces sols sont très sensibles à la situation météorologique, qui peut très rapidement interrompre le chantier à cause de l'excès de teneur en eau ou au contraire, conduire à un matériau sec, difficile à compacter	++	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai, avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		+	pluie faible	E : extraction frontale C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	2 0 0 0 0 2 2
		=	ni pluie, ni évaporation importante	C : compactage moyen	0 0 0 0 0 2 0
		-	évaporation importante	Solution 1 : arrosage W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage moyen	0 0 3 0 0 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage intense	0 0 0 0 0 1 0
B₅s	Ces sols sont très difficiles à compacter, du fait de leur faible teneur en eau. En conséquence il convient : - soit de compacter intensément avec un arrosage superficiel - soit d'humidifier le matériau dans sa masse pour le ramener en B ₅ m Cette humidification est encore relativement facile à réaliser	++	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai, avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		+	pluie faible	E : extraction en couche R : couches minces C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	1 0 0 0 1 1 2
		=	ni pluie, ni évaporation importante	Solution 1 : humidification W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen	0 0 4 0 1 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0 0 0 0 0 1 2
		-	évaporation importante	Solution 1 : extraction frontale et arrosage E : extraction frontale W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	2 0 3 0 0 1 2
				Solution 2 : humidification W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen	0 0 4 0 1 2 0
B₅ts	Sols normalement inutilisables en l'état Mais leur humidification dans la masse peut être envisagée pour les ramener à l'état B ₅ s, voire B ₅ m				NON

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

B₅ (états th et h)

Sol	Observations générales	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H	
B₅th	Sols normalement inutilisables en l'état			NON	
	Ces sols sont très difficiles à mettre en œuvre, en raison de leur portance quasi-nulle. La réduction de teneur en eau par mise en dépôt provisoire, ou drainage préalable (plusieurs mois) peut être envisageable				
B₅h	Ces sols sont difficiles à mettre en œuvre en raison de leur portance faible. Ils sont sujets au matelassage ce qui est à éviter au niveau de l'arase de terrassement	+	pluie faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai, avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		=	ni pluie, ni évaporation importante	Solution 1 : traitement T : traitement avec un réactif adapté C : compactage moyen	0 0 0 1 0 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de hauteur faible	0 0 0 0 0 3 1
		-	évaporation importante	Solution 1 : extraction en couche - aération E : extraction en couche W : réduction de la teneur en eau par aération R : couches minces C : compactage moyen	1 0 1 0 1 2 2
				Solution 2 : aération et traitement W : réduction de la teneur en eau par aération T : traitement avec un réactif adapté C : compactage moyen	0 0 1 1 0 2 0

ANNEXE

**Conditions générales des prestations géotechniques
d'Igesol**

Objet et nature des prestations

Ce rapport fixe le terme de la mission. Le présent document et ses annexes constituent un tout indissociable. Les interprétations qui pourraient être faites à partir d'une communication ou reproduction partielle ne saurait engager notre bureau d'étude. En particulier, l'utilisation même partielle de ce rapport par un autre Maître d'Ouvrage, un autre constructeur ou pour un autre ouvrage que celui objet de la mission confiée ne pourra en aucun cas engager la responsabilité de notre société. Enfin, notre société ne pourrait être rendue responsable des modifications apportées à la présente étude sans son consentement écrit.

Considérant l'enchaînement des missions géotechniques, il est vivement conseillé au Maître d'Ouvrage, au Maître d'Œuvre ou au constructeur de faire procéder à une visite de chantier par un géotechnicien à la fin de l'ouverture des fouilles ou de la réalisation des puits ou des pieux. Ce contrôle a pour objet de vérifier que la nature et la profondeur du sol d'assise des fondations sont conformes aux données de l'étude. Elle donne lieu à l'établissement d'un procès verbal.

Le Maître d'Ouvrage devra nous informer de la Date Réelle d'Ouverture du Chantier (DROC) et faire réactualiser le présent document en cas d'ouverture de chantier plus de 2 ans après la date d'établissement du présent document. De même, il est tenu de nous informer du montant global de l'opération et de la date prévisible de réception de l'ouvrage

Responsabilité et assurances

→ Assurance décennale

Pour ces prestations, Igesol bénéficie d'un contrat d'assurance au titre de la responsabilité décennale afférente aux ouvrages soumis à obligation d'assurance.

→ Responsabilités autres que la responsabilité décennale

La responsabilité de notre société ne peut être retenue que dans les limites de la mission qui lui a été confiée (nommée en introduction du présent rapport). Le contenu de chaque mission est développé en annexe 2. Les Prescriptions découlant de notre mission devront être respectées dans leur totalité. Dans le cas contraire, la responsabilité de notre société ne pourra être engagée.

La responsabilité de notre société ne saurait être engagée en cas de dommage causés à la végétation, à des cultures ou à des ouvrages (réseaux enterrés, ...) dont la présence et l'emplacement précis ne nous aurait pas été communiqué préalablement au commencement des investigations.

Recommandations

Notre société devra être informée de toutes modifications qui pourraient être apportées au projet (conception, implantation, niveau, taille) ou à son site d'implantation. En effet, ces modifications pourraient être de nature à rendre caducs certains éléments ou la totalité des conclusions de la présente étude.

Les éventuelles altitudes indiquées pour chaque sondage 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 investigations. 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.

Il est reconnu que l'étude géotechnique repose sur une reconnaissance du sol dont la maille ne permet pas de lever la totalité des aléas toujours possibles en milieu naturel. Ainsi, des éléments nouveaux (glissement, érosion, remblais, ...) mis en évidence lors de reconnaissances complémentaires ou lors de l'exécution des fouilles ou des fondations et n'ayant pu être détectés au cours des opérations de reconnaissance peuvent rendre caduques les conclusions du présent rapport en tout ou en partie. Ces éléments nouveaux ainsi que tout incident important survenant au cours des travaux doivent être immédiatement signalés à notre société pour lui permettre de reconsidérer et d'adapter éventuellement les prescriptions initialement préconisées et ceci dans le cadre de missions complémentaires.

Si, en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, notre société est amenée à faire une ou plusieurs hypothèses sur le projet, il appartient au Maître d'Ouvrage, au Maître d'Œuvre ou toute autre entreprise intervenant en aval de notre étude de nous indiquer le projet définitif afin de valider ou d'affiner les résultats obtenus à partir d'hypothèses.

ANNEXE

**Enchaînement et Classification
des missions types d'ingénierie géotechnique
(Norme NF-P 94 500 – novembre 2013)**

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique doit suivre les étapes d'élaboration et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géologiques.

Chaque mission s'appuie sur des investigations géotechniques spécifiques. Il appartient au maître d'ouvrage ou à son mandataire de veiller à la réalisation successive de toutes ces missions par une ingénierie géotechnique.

ETAPE 1 : ETUDES GEOTECHNIQUES PREALABLES (G1)

Ces missions excluent toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre d'une mission d'étude géotechnique de projet (étape 2). Elles sont normalement à la charge du maître d'ouvrage.

Etude de site (G1 ES)

Elle est réalisée avant l'étude préliminaire ou l'esquisse ou l'APS, et permet une première identification des risques géologiques d'un site :

- faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique spécifique du site et l'existence d'avoisinants,
- fournir un rapport avec un modèle géologique préliminaire, avec ses principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs pour un futur ouvrage non encore étudié.

Principes Généraux de Construction (G1 PGC)

Elle est réalisée au stade de l'étude préliminaire ou de l'esquisse ou de l'APS, et permet de réduire les conséquences des risques géologiques majeurs identifiés :

- définir 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, certains principes généraux de construction (notamment terrassements, soutènements, fondations, risques de déformation des terrains, dispositions générales vis-à-vis des nappes et avoisinants). Elle permet de compléter le modèle géologique et de définir le contexte géotechnique, et de réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs en cas de survenance.

Cette étude ne comprend pas d'ébauche dimensionnelle et sera obligatoirement complétée lors de l'étude géotechnique de projet (étape 2).

ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Elle est réalisée pour définir le projet des ouvrages géotechniques et permet de réduire les conséquences des risques géologiques importants identifiés. Elle est normalement à la charge du maître d'ouvrage et peut être intégrée à la mission de maîtrise d'œuvre générale.

Phase Avant-projet (G2 AVP)

- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir une synthèse actualisée du site et les notes techniques donnant les méthodes d'exécution proposées pour les ouvrages géotechniques (notamment terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, dispositions générales vis-à-vis des nappes et avoisinants). Elle fournit une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique.
- Fournir une première approche des quantités et conclure sur la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure gestion des risques géotechniques.

Ce rapport sert de donnée d'entrée pour la phase suivante.

Phase Projet (G2 PRO)

- Définir les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de projet, notamment méthodes d'exécution et notes techniques pour les ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et des voiries, améliorations des sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants).
- Fournir les notes de calcul de dimensionnement niveau projet pour tous les ouvrages géotechniques et pour toutes les phases de construction, et les valeurs seuil associées. Elle permet une approche des quantités/délais/coûts d'exécution de ces ouvrages.
- Si nécessaire, fournir les principes de maintenance des ouvrages géotechniques.

Ce rapport sert de base à l'élaboration du DCE.

Phase DCE / ACT (G2 DCE / ACT)

- Etablir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires à la consultation des entreprises et à leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (plans, notices techniques, cahier des charges techniques particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister le Maître d'Ouvrage ou la maîtrise d'œuvre pour la sélection des entreprises et l'analyse technique des offres concernant les ouvrages géotechniques.

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

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXÉCUTION (G3)

Se déroulant en 2 phases interactives et indissociables, elle permet de réduire les risques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures d'adaptation ou d'optimisation. Elle est normalement confiée à l'entrepreneur.

Phase Etude

- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Etudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment validation des hypothèses géotechniques, définition et dimensionnement (calculs justificatifs), méthodes et conditions d'exécution (phasages, suivis, contrôles, auscultations en fonction des valeurs seuils associées, dispositions constructives complémentaires éventuelles), élaborer le dossier géotechnique d'exécution.

Phase Suivi

- Suivre le programme d'auscultation et l'exécution des ouvrages géotechniques, déclencher si nécessaire les dispositions constructives prédéfinies en phase Etude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des excavations et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Participer à l'établissement du dossier de fin de travaux et des recommandations de maintenance des ouvrages géotechniques.

SUPERVISION GEOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Elle permet de vérifier la conformité aux objectifs du projet, de l'étude et du suivi géotechnique d'exécution. Elle est normalement à la charge du maître d'ouvrage.

Phase Supervision de l'étude d'exécution

Avis sur l'étude géotechnique d'exécution, sur les adaptations ou optimisations potentielles des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, sur le programme d'auscultation et les valeurs seuils associées.

Phase Supervision du suivi d'exécution

Avis, par interventions ponctuelles sur le chantier, sur le contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur, sur le comportement observé de l'ouvrage et des avoisinants concernés et sur l'adaptation ou l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur.

DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

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

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Etudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, rabattement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans d'autres éléments géotechniques. Des études géotechniques de projet et/ou d'exécution, de suivi et supervision, doivent être réalisées ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique, si ce diagnostic conduit à modifier ou réaliser des travaux.