



**Maître d'Ouvrage :**

BATI-AMENAGEMENT  
24, rue Vincent Gâche  
44 200 NANTES

**ETUDE GEOTECHNIQUE  
DE CONCEPTION G2AVP**

*Projet de création d'un lotissement*

*"le Bois Palais"  
LA LIMOUZINIÈRE (44)*

*Rédaction : Benjamin MAUREL  
Relecture : Samy BOUSSEFFA*

*Réf. dossier : 3215  
Janvier 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](mailto: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](mailto:contact@igesol-bet.fr)

# Table des matières

<b>1 - INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>2 - CONTEXTE GENERAL .....</b>	<b>2</b>
2.1 - CONTEXTE GEOGRAPHIQUE .....	2
2.2 - CONTEXTE GEOLOGIQUE .....	2
2.3 - CONTEXTE HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....	2
2.4 - EXPOSITION AUX RISQUES NATURELS.....	3
<b>3 - LES INVESTIGATIONS.....</b>	<b>5</b>
3.1 - SONDAGES À LA PELLE MECANIQUE (ANNEXE 1).....	5
3.2 - ANALYSES DE LABORATOIRE (ANNEXE 2).....	6
3.2.1 - Identifications GTR de matériaux (normes NF P 94-050, NF P 94-512 – 4 et NF P 94-068) – Annexe 2 .....	7
3.2.2 - Mesures de teneur en eau naturelle (norme NF P 94-050) .....	7
<b>4 - GEOTECHNIQUE.....</b>	<b>9</b>
4.1 - SYNTHESE DES RESULTATS.....	9
4.2 - TERRASSEMENTS.....	10
<b>5 - CONDITIONS DE RE-EMPLOI DES MATÉRIAUX DE DEBLAIS EN REMBLAIS.....</b>	<b>11</b>
5.1 - LE RE-EMPLOI DES MATERIAUX DU SITE EN REMBLAIS .....	11
5.2 - LE REEMPLOI DES MATERIAUX EN COUCHE DE FORME .....	11
<b>6 - LES VOIRIES (<i>d'après le fascicule "catalogue des structures de chaussée"</i>).....</b>	<b>12</b>

## ANNEXES

- Sondages à la pelle mécanique
- Analyses de laboratoire
- Conditions d'utilisation des matériaux du site en remblai
- 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, Aménageur-Lotisseur, nous avons réalisé une étude géotechnique dans le cadre du projet de création d'un lotissement, sur la commune de LA LIMOUZINIÈRE (44).

### **→ Description du projet (cf. planche 2)**

Sur le site étudié, le Maître d'Ouvrage souhaite réaliser un lotissement de 29 lots (dont Ilot A), d'une emprise au sol par lot comprise entre 318 m<sup>2</sup> et 700 m<sup>2</sup> (cf. planche 2). Le projet présente également des voiries d'accès et des ouvrages de traitement des eaux pluviales (bassins de rétention).

Les cotes NGF du sol fini des voiries ne nous ont pas été communiquées comme pour la classe de trafic. Nous considérerons une classe t5 (route d'accès ou desserte - TC0 : <250 véhicules/jour/sens).

*Remarque : la présente étude n'abordera pas le traitement des eaux pluviales et le mode de fondations des futures constructions.*

### **→ Objectifs de l'étude**

Les principaux objectifs sont de :

- déterminer la nature et la structure du sol et du sous-sol et ses contraintes hydrogéologiques au droit du futur lotissement ;
- déterminer la faisabilité géotechnique du projet de lotissement ;
- préciser les caractéristiques physiques des différents faciès mis en évidence (classification GTR) ;
- aborder les modalités de terrassements et les conditions de ré-emploi des matériaux du site en remblai ou en couche de forme (voirie et bassin de rétention) ;
- proposer les structures de voiries en fonction du type et de l'intensité du trafic.

Dans ce cadre, notre étude se limite à une mission de type **G<sub>2</sub>AVP** (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 :

- 7 sondages à la pelle mécanique ;
- 3 classifications GTR de matériaux (3 analyses granulométriques par tamisage, 3 VBS, 13 mesures de teneur en eau naturelle).

### **→ Documents en notre possession :**

- plan de situation ;
- plan de composition du lotissement au 1/1500.

### **→ 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 GEOGRAPHIQUE**

Le site étudié se localise sur la commune de LA LIMOUZINIÈRE (44), au lieu-dit « la Touche » (cf. planche 1).

La zone d'étude d'une superficie de 18 296 m<sup>2</sup>, correspond aux parcelles cadastrales n°239 – section ZP et n°121 – section AA. Le terrain était généralement enherbé et limité :

- au nord, nord-est et sud-est, par des parcelles bâties ;
- au nord-ouest, par un complexe sportif ;
- au sud-ouest, par des parcelles non bâties.

D'après le plan de masse topographique en notre possession, l'altitude est comprise entre 20 (au sud-est) et 26 m NGF (au nord-ouest). La géomorphologie du site montre un environnement de plateau sur la partie nord et un coteau exposé sud/sud-est sur la partie sud.

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

### **2.2 - CONTEXTE GEOLOGIQUE**

D'après la carte géologique au 1/50 000 – feuille « SAINT-PHILBERT-DE-GRAND-LIEU », le sous-sol de la zone étudiée se caractérise par une formation de gneiss feuilletés.

### **2.3 - CONTEXTE HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE**

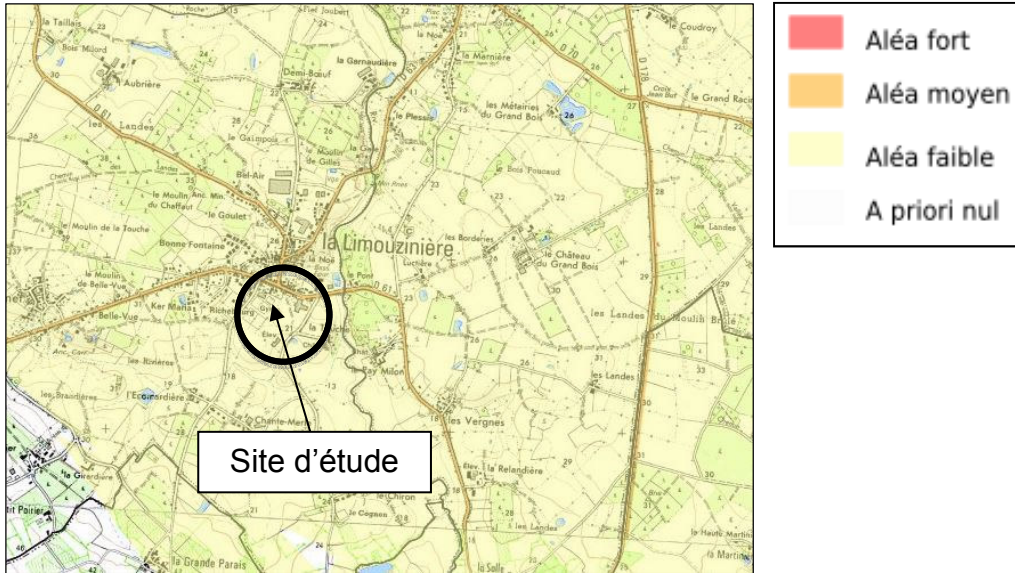
Du point de vue hydrologique, la zone d'étude se situe à environ 300 m au nord-ouest d'un ruisseau non pérenne (cote fil d'eau : env. 13 m NGF).

Du point de vue hydrogéologique, la formation mise en évidence constitue un niveau aquifère dont la productivité est liée à son degré d'altération et de fracturation. Ainsi, les niveaux d'eau relevés au sud lors de nos investigations sont à rattacher à l'existence de cet aquifère.

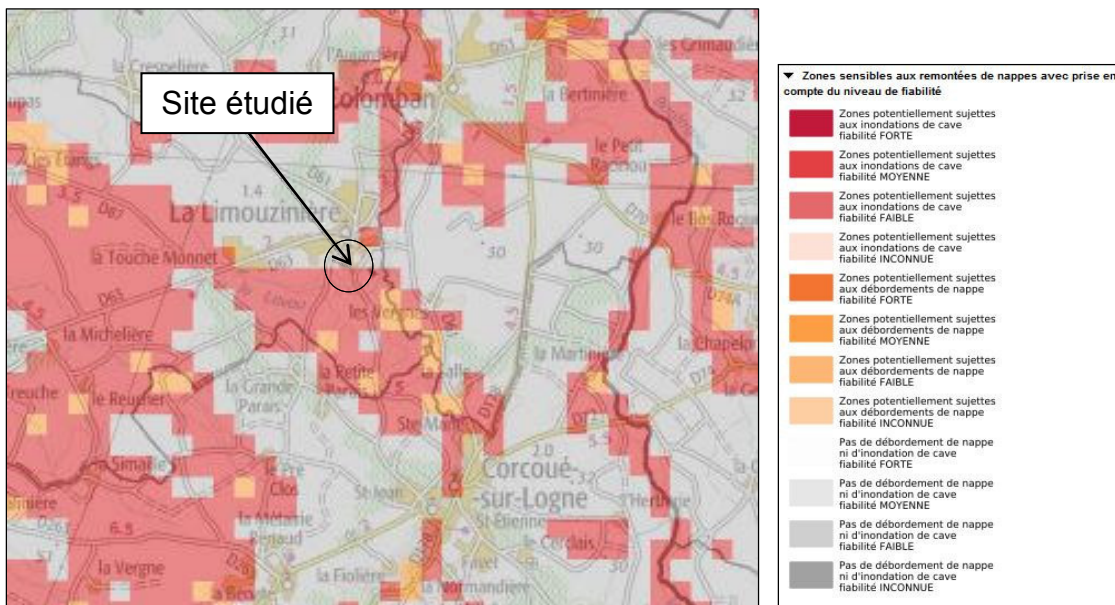
## 2.4 - EXPOSITION AUX RISQUES NATURELS

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 :** celui-ci est **faible** sur une échelle à 4 unités (à priori nul, faible, moyen et fort) ;



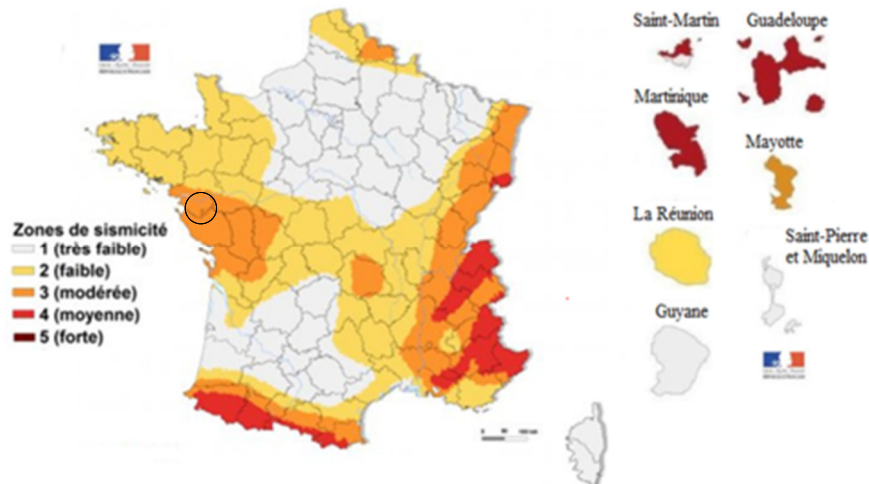
- **le risque de « remontée de nappe »** sur une échelle à 12 unités (dont 3 paliers avec 4 degrés de fiabilité chacun) : celui-ci se caractérise par une **zone potentiellement sujette aux inondations de cave (fiabilité faible) en aval** voire d'une zone ne présentant pas de risque de débordement de nappe ni d'inondation de cave (fiabilité moyenne) **en amont**.



▪ **le risque « sismique » :**

Selon le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010, la zone d'étude se situe en **zone 3 (modérée)** du découpage administratif de la France métropolitaine. A cette zone de sismicité est rattachée une magnitude conventionnelle de 5,5.

Les ouvrages abordés dans la présente étude (voirie et bassin de rétention), sont de catégorie d'importance I. Ils ne sont donc pas soumis à la réglementation parasismique.



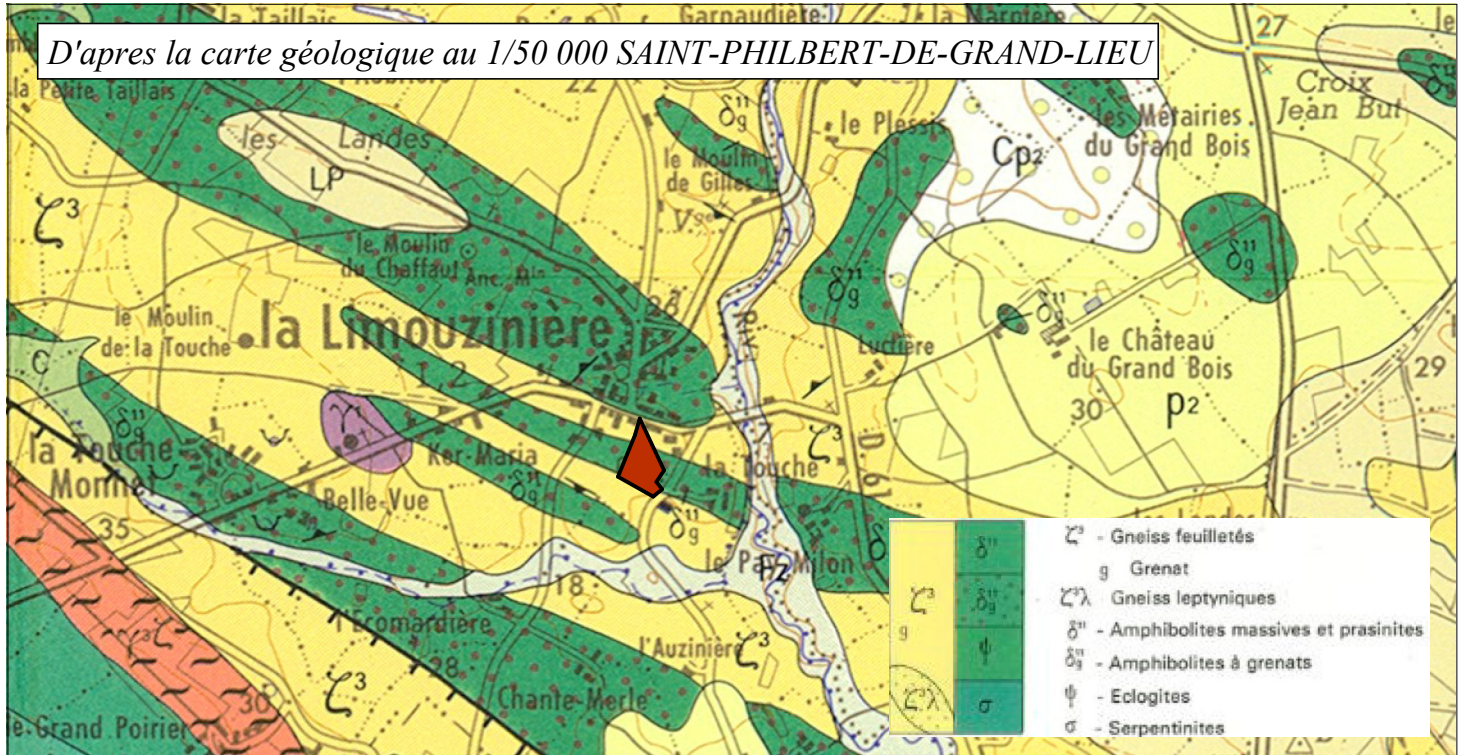
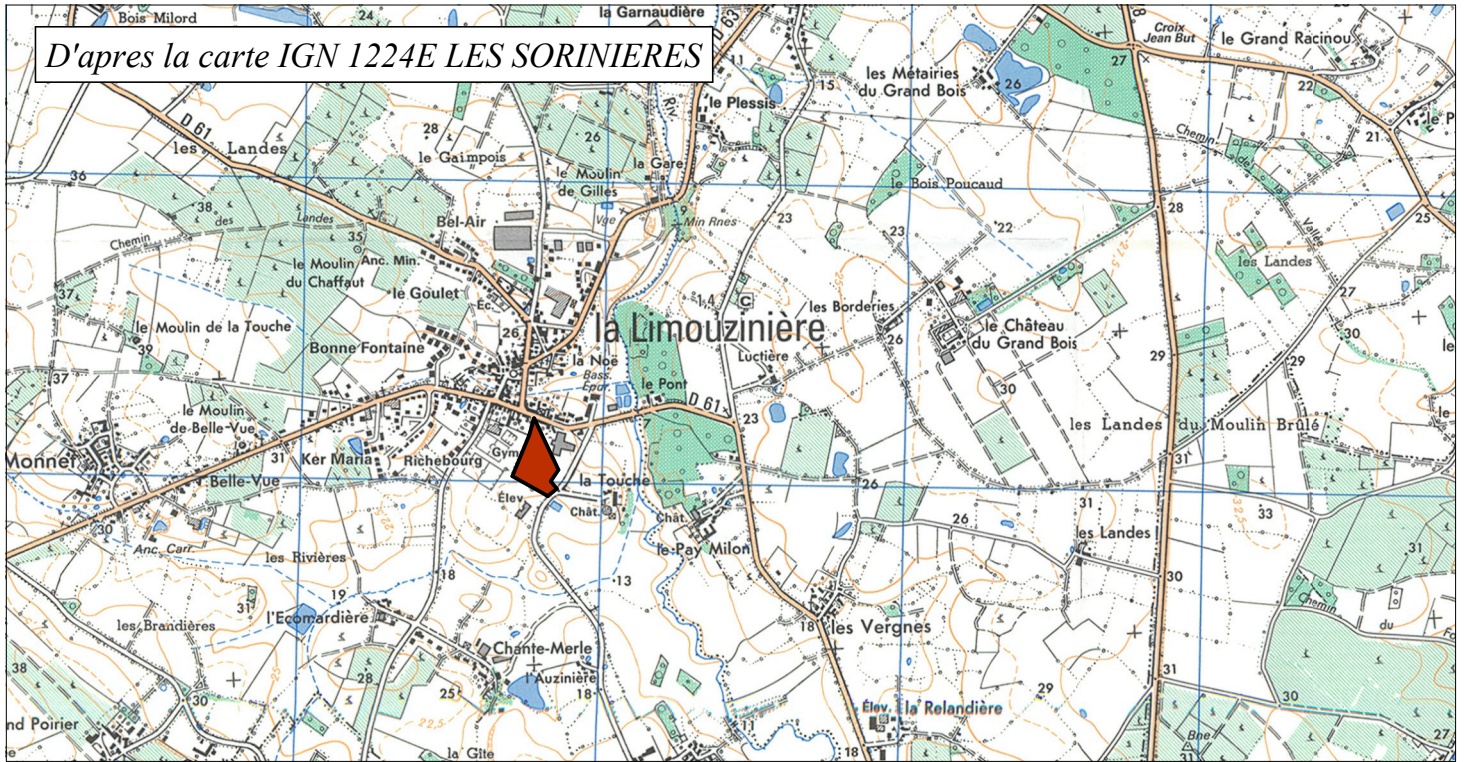


**Projet de création d'un lotissement**

**Etude géotechnique de conception**

**Localisation de la zone d'étude**

**Echelle :  
1 / 25 000**



**LEGENDE :**

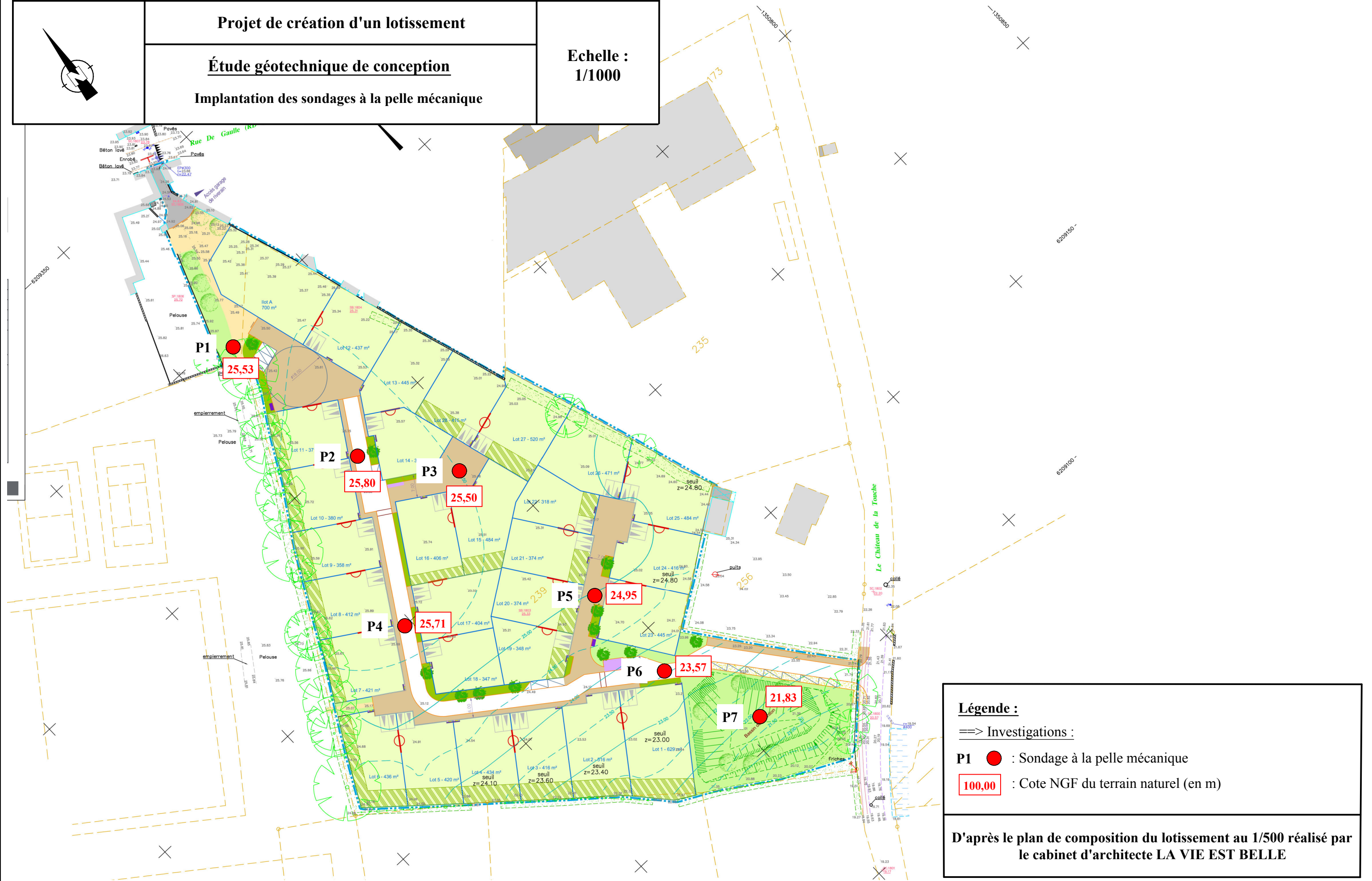
 Localisation de la zone étudiée

**Projet de création d'un lotissement**

**Étude géotechnique de conception**

**Implantation des sondages à la pelle mécanique**

**Echelle :  
1/1000**



**Légende :**

==> Investigations :

**P1** ● : Sondage à la pelle mécanique

**100,00** : Cote NGF du terrain naturel (en m)

**D'après le plan de composition du lotissement au 1/500 réalisé par le cabinet d'architecte LA VIE EST BELLE**



### 3 - LES INVESTIGATIONS

#### 3.1 - SONDAGES À LA PELLE MECANIQUE (ANNEXE 1)

Afin de déterminer la nature et la structure du sous-sol et d'aborder le contexte hydrogéologique, le 08/01/2019, nous avons réalisé 7 sondages (P1 à P7) à la pelle mécanique (5 tonnes), jusqu'à une profondeur comprise entre 1,40 (P1) et 2,50 m (P7), soit entre les cotes NGF 24,13 (P1) et 19,33 m (P7).

Ces sondages sont localisés sur la planche 2. 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 le tableau ci-dessous :

##### → Contexte géologique :

Faciès	Présence dans sondage	Lithologie	Profondeur au toit (m)	Cote NGF au toit (m)	Epaisseur (m)
Terre végétale	Tous	Limon argileux à radicelles			0,40 à 0,60
Arène gneissique	P1, P2 et P3	Limon argileux à cailloutis pulvérulents	0,40 à 0,60	25,40 à 24,90	0,40 à 0,80
Arène gneissique peu évoluée	Tous sauf P3	Limon à limon argileux, à cailloutis pulvérulents à sains, localement à racines (P7)	0,45 à 1,10	25,21 à 21,23	0,60 à >1,90 (P7)
Gneiss très altéré	P3, P4, P5 et P6	Cailloutis pulvérulents à sains avec une matrice limoneuse	1,10 à 1,40	24,41 à 22,47	0,70 (P6)
Gneiss altéré	P6	Cailloutis sains avec une matrice limoneuse	1,80	21,77	

##### → Contexte hydrogéologique :

	Sondages	Profondeur (m/TN)	Cote NGF (m)
Niveaux d'eau	P6 et P7	-1,70 (P6) à -2,45 m/TN (P7) (21,87 à 19,38 m NGF)	
Circulation d'eau	Tous	Terre végétale fraîche ; Arène gneissique localement fraîche ; Arène gneissique peu évoluée humide en aval (P7) ; Gneiss altéré frais en aval (P6)	
Parois des sondages	Tous	Stables	

*Remarque :* l'arène gneissique et dans une moindre mesure l'arène gneissique peu évoluée peuvent être sensibles aux variations de teneur en eau. Celles-ci peuvent engendrer des variations plus ou moins brusques de la portance.

### 3.2 - ANALYSES DE LABORATOIRE (ANNEXE 2)

Considérant la nature et la structure du sous-sol et la configuration du projet, nous avons effectué :

- 3 séries d'analyses de laboratoire dont :
  - ✓ 3 analyses granulométriques par tamisage ;
  - ✓ 3 déterminations de la Valeur au Bleu du Sol.
- 13 mesures de teneur en eau naturelle à partir des échantillons prélevés.

L'objectif de ces analyses est d'établir leurs classifications GTR dans l'optique :

- d'une éventuelle réutilisation en remblai ou en couche de forme ;
- du dimensionnement des structures de chaussée à envisager pour les voiries et parkings.

Ces échantillons possèdent les caractéristiques suivantes :

Sondage / Echantillon	Profondeur du prélèvement (m/TN)	Caractérisation visuelle
P1 / P1-1 (GTR)	0,40 à 0,80	<u>Arène gneissique</u> : limon argileux à cailloutis pulvérulents
P1 / P1-2	0,80 à 1,40	<u>Arène gneissique peu évoluée</u> : limon à cailloutis pulvérulents à sains
P2 / P2-1	0,40 à 1,10	<u>Arène gneissique</u> : limon argileux à cailloutis pulvérulents
P2 / P2-2	1,10 à 1,80	<u>Arène gneissique peu évoluée</u> : limon à cailloutis pulvérulents à sains
P3 / P3-1	0,60 à 1,40	<u>Arène gneissique</u> : limon argileux à cailloutis pulvérulents, frais
P3 / P3-2	1,40 à 2,10	<u>Gneiss très altéré</u> : cailloutis pulvérulents à sains, avec matrice limoneuse
P4 / P4-1 (GTR)	0,50 à 1,30	<u>Arène gneissique peu évoluée</u> : limon argileux à cailloutis pulvérulents
P5 / P5-1	0,45 à 1,10	<u>Arène gneissique peu évoluée</u> : limon argileux à cailloutis pulvérulents
P5 / P5-2	1,10 à 1,50	<u>Gneiss très altéré</u> : cailloutis pulvérulents à sains, avec matrice limoneuse
P6 / P6-1 (GTR)	0,50 à 1,10	<u>Arène gneissique peu évoluée</u> : limon argileux à cailloutis pulvérulents
P6 / P6-2	1,10 à 1,80	<u>Gneiss très altéré</u> : cailloutis pulvérulents à sains, avec matrice limoneuse
P7 / P7-1	0,60 à 1,60	<u>Arène gneissique peu évoluée</u> : limon argileux à cailloutis pulvérulents et grosses racines, humide
P7 / P7-2	1,60 à 2,50	<u>Arène gneissique peu évoluée</u> : limon argileux à cailloutis pulvérulents et racines, humide

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

Les résultats de ces classifications, reportés en annexe 2, peuvent être résumés dans le tableau ci-dessous :

N° échantillon	Passant cumulé à 80 µm (%)	Passant cumulé à 2 mm (%)	Diamètre maximal (mm)	VBS	Classification GTR
<b>P1-1</b> (Arène gneissique)	22,7	59,5	30	0,56	<b>B<sub>5</sub></b>
<b>P4-1</b> (Arène gneissique peu évoluée)	16,8	49,3	33	0,46	<b>B<sub>5</sub></b>
<b>P6-1</b> (Arène gneissique peu évoluée)	24,7	49,4	49	1,79	<b>B<sub>6</sub></b>

Les matériaux issus de l'arène gneissique (Ech. P1-1) et de l'arène gneissique peu évoluée (Ech. P4-1 et P6-1) correspondent à des sols sableux et graveleux avec des fines, de classe B<sub>5</sub> (arène gneissique plus ou moins évoluée) à B<sub>6</sub> (arène gneissique peu évoluée). Leur D<sub>max</sub> est inférieur à 50 mm, le passant à 80 µm est compris entre 12 et 35 %, avec une VBS inférieure ou égale à 1,5 en B<sub>5</sub> et supérieure à 1,5 en B<sub>6</sub>. La proportion de fines et la faible plasticité de ces dernières, rapprochent beaucoup le comportement de ces sols à celui des sols A<sub>1</sub> qui ont un passant à 80 µm supérieur à 35 %. Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau, en particulier lorsque leur teneur en eau est proche de leur teneur en eau à l'Optimum Proctor. Le temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique est relativement court mais peut tout de même varier assez largement. Lors des terrassements de masse, la présence d'éléments grossiers pourra entraîner un classement en C<sub>1/2</sub>B<sub>5</sub> ou C<sub>1/2</sub>B<sub>6</sub>.

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

Nous avons mesuré les teneurs en eau naturelle des échantillons prélevés dans l'arène gneissique, l'arène gneissique peu évoluée et le gneiss très altéré lors de notre campagne de sondages. Les valeurs obtenues sont reportées dans le tableau ci-dessous :

Échantillons : (Arène gneissique)	P1-1	P2-1	P3-1
Teneur en eau (W <sub>n</sub> , %)	<b>11,9</b>	<b>6,3</b>	<b>13,5</b>

Échantillons : (Arène gneissique peu évoluée)	P1-2	P2-2	P4-1	P5-1	P6-1	P7-1	P7-2
Teneur en eau (W <sub>n</sub> , %)	<b>9,8</b>	<b>11,1</b>	<b>9,7</b>	<b>11,6</b>	<b>17,5</b>	<b>21,7</b>	<b>29,0</b>

Échantillons : (Gneiss très altéré)	P3-2	P5-2	P6-2
Teneur en eau (W <sub>n</sub> , %)	<b>11,9</b>	<b>10,8</b>	<b>10,9</b>

Les échantillons ont été prélevés en début janvier 2019.

Les échantillons prélevés dans l'arène gneissique (P1-1/P2-1/P3-1) présentent une teneur en eau naturelle comprise entre 6,3 et 13,5%.

Les échantillons prélevés dans l'arène gneissique peu évoluée (P1-2/P2-2/P4-1/P5-1/P6-1/P7-1/P7-2) présentent une teneur en eau naturelle comprise entre 9,7 et 29%. Il faut noter que les mesures de teneur en eau élevées sont localisées dans le sondage le plus en aval du site (P7).

Les échantillons prélevés dans le granite très altéré (P3-2/P5-2/P6-2) présentent une teneur en eau naturelle comprise entre 10,8 et 11,9%.

## **4 - GEOTECHNIQUE**

### **4.1 - SYNTHÈSE DES RESULTATS**

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 0,40 et 0,60 m.
- Du point de vue géologique, le sous-sol se caractérise par un gneiss altéré, se débitant en cailloutis sains avec une matrice limoneuse, atteint ponctuellement dès 1,80 m de profondeur, soit à la cote NGF 21,77 m. Il est généralement recouvert par un gneiss très altéré, se débitant en cailloutis pulvérulents à sains avec une matrice limoneuse, apparaissant généralement entre 1,10 et 1,40 m de profondeur, soit entre les cotes NGF 24,41 à 22,47 m. Cet ensemble est généralement scellé par une arène gneissique peu évoluée limoneuse à limono-argileuse, à cailloutis pulvérulents à sains, localement à racines, et/ou par une arène gneissique limono-argileuse à cailloutis pulvérulents. Leur épaisseur totale est comprise entre 0,60 et plus de 1,90 m.
- Du point de vue hydrogéologique, la terre végétale était généralement fraîche, l'arène gneissique était localement fraîche, l'arène gneissique peu évoluée était humide en aval du site et le gneiss altéré était frais également en aval. Ainsi, uniquement en aval du site (P6 et P7), des niveaux d'eau ont été relevés dès -1,70 à -2,45 m/TN, soit entre les cotes NGF 21,87 et 19,38 m.
- Les parois des sondages sont restées stables.
- Du point de vue géotechnique, la nature du sous-sol est globalement homogène, mais sa structure est hétérogène, avec une extension discontinue de l'arène gneissique et du granite très altéré. De plus, l'arène gneissique et dans une moindre mesure l'arène gneissique peu évoluée peuvent être sensibles aux variations de teneur en eau.
- Selon nos essais en laboratoire,
  - ✓ l'arène gneissique, sol sableux et graveleux avec fines de classe B<sub>5</sub>, présentait une teneur en eau naturelle comprise entre 6,3 et 13,5%.
  - ✓ l'arène gneissique peu évoluée, sol sableux et graveleux avec fines de classe B<sub>5</sub> à B<sub>6</sub>, présentait une teneur en eau naturelle comprise entre 9,7 et 29%. Il faut noter que les mesures de teneur en eau élevées sont localisées dans le sondage le plus en aval du site.
  - ✓ le granite très altéré, présentait une teneur en eau naturelle comprise entre 10,8 et 11,9%.

**Au vu des résultats de nos investigations, dans le cadre de la création d'un lotissement, nous donnons un avis géotechnique favorable à la réalisation du projet de voiries. Les points développés ci-dessous permettront d'adapter le projet aux contraintes géologique, hydrogéologique et géotechnique mises 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.
- La terre végétale, l'arène gneissique et l'arène gneissique peu évoluée pourront se terrasser avec des engins classiques de terrassement. Dès le gneiss très altéré atteint, une pelle mécanique puissante munie d'un godet rocher et une dent de ripper deviendra nécessaire. Pour les terrassements importants dans le gneiss altéré atteint, l'utilisation du Brise Roche Hydraulique sera à envisager.
- 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 l'arène gneissique et l'arène gneissique peu évoluée, et de 1/1 dès le gneiss très altéré atteint. 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 - CONDITIONS DE RE-EMPLOI DES MATÉRIAUX DE DEBLAIS EN REMBLAIS**

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

### **5.1 - LE RE-EMPLOI DES MATERIAUX DU SITE EN REMBLAIS**

Les matériaux déblayés seront principalement issus de l'arène gneissique et de l'arène gneissique peu évoluée. Ces derniers correspondent à des sols sableux et graveleux avec fines de classe B<sub>5</sub> à B<sub>6</sub>. En cas de réutilisation, la classification GTR du gneiss très altéré voire du gneiss altéré devra être vérifiée afin de connaître ses conditions de ré-emploi. La teneur en eau des matériaux sera également vérifiée avant le démarrage du chantier et régulièrement pendant les travaux, afin de vérifier leur validité avec des compactages optimaux et d'adapter si nécessaire leur mode de mise en oeuvre.

Des dispositions pourront être nécessaires pour ramener les matériaux à une teneur en eau compatible avec un compactage optimal (aération ou arrosage).

Les modes de mise en œuvre de l'arène gneissique et de l'arène gneissique peu évoluée (sols sableux et graveleux avec fines de classe B<sub>5</sub> à B<sub>6</sub>) 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 régalaie 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, les matériaux éventuellement trop humides seront décapés. 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. Une vérification par la réalisation de planches d'essai est impérative.*
- ✓ *La qualité du compactage sera validée par un géotechnicien par la réalisation d'essais au gamma-densitomètre ou d'essais à la plaque. On retiendra comme valeur de référence :  $\rho_d \geq 95\% \rho_{OPN}$  ou  $EV2 \geq 50MPa$  et  $EV2/EV1 < 2$ .*
- ✓ *L'utilisation en remblai de matériaux non analysés (gneiss très altéré et gneiss altéré) au cours de la présente étude, nécessitera la réalisation au préalable, d'analyses et d'essais de laboratoire complémentaires pour leur identification GTR.*
- ✓ *Les matériaux grossiers pouvant empêcher un compactage optimal des couches seront purgés.*

### **5.2 - LE REEMPLOI DES MATERIAUX EN COUCHE DE FORME**

La Partie Supérieure des Terrassements (PST) de masse correspondra à des matériaux de classe B<sub>5</sub> à B<sub>6</sub>. 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 à 4. Ces différents cas sont présentés en annexe 4.

Les conditions d'utilisation des matériaux issus de l'arène gneissique et de l'arène gneissique peu évoluée en couche de forme sont présentées en annexe 5.

En cas de traitements, la détermination des adjuvants de traitement et leur dosage nécessiteront 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")

La terre végétale sera décapée sur l'emprise des voiries.

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

La réalisation d'une couche de forme est ici impérative. Elle pourra être constituée avec les matériaux extraits sur le site (arène gneissique et arène gneissique peu évoluée) comme développé au paragraphe précédent. On pourra aussi utiliser des matériaux granulaires, insensibles à l'eau (sols de la classe B<sub>31</sub> ou D<sub>21</sub> par exemple). Les conditions d'utilisation de ces matériaux en couche de forme sont présentées en annexe 5.

Compte tenu du projet les voiries devront supporter le passage de 250 véhicules/jour/sens. Nous considérerons donc une classe de trafic **TC<sub>0</sub>**. Considérant la nature du projet, le taux de croissance annuel sera considéré comme nul.

Au choix, nous proposons les structures de chaussées suivantes (sur une plate-forme de type PF2) :

- structure n°1 (GB3/GB3) :
  - ✓ 6 cm de BB en couche de roulement ;
  - ✓ 8 cm de GB classe 3 ;
- structure n°2 (GNT B2) :
  - ✓ 4 cm de BB en couche de roulement ;
  - ✓ 11 cm de GNT type B<sub>2</sub> ;
  - ✓ 25 cm de GNT type B<sub>2</sub>.

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 :  
Benjamin MAUREL




Vérifié par :  
Samy BOUSSEFFA



**ANNEXE 1**

**Coupes des sondages à la pelle mécanique**

**Sondage à la tarière hélicoïdale P1 - Cote NGF: 25,53 m**

Prof. (en m)	Nappe	Log	Prof. (en m)	Cote NGF (m)	Lithologie	Ech.
0,50			0,40	25,13	Terre végétale : limon argileux brun à radicelles, frais	
			0,80	24,73	Arène gneissique: limon argileux marron à cailloutis pulvérulents	P1-1 (GTR)
1,00			1,40	24,13	Arène gneissique peu évoluée: limon marron à cailloutis de gneiss pulvérulents à sains	P1-2
1,50					<i>Arrêt volontaire</i>	
2,00						


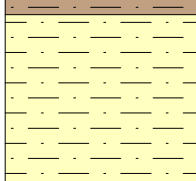
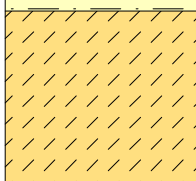
*Parois du sondage : stables*

*Circulation d'eau : terre végétale fraîche*

*Niveau d'eau en fin d'investigations : /*

*Profondeur du refus : non atteint*

**Sondage à la tarière hélicoïdale P2 - Cote NGF: 25,80 m**

Prof. (en m)	Nappe	Log	Prof. (en m)	Cote NGF (m)	Lithologie	Ech.
0,50			0,40	25,40	Terre végétale : limon argileux brun à radicelles, frais	
			1,10	24,70	Arène gneissique: limon argileux marron à cailloutis pulvérulents	P2-1
1,50			1,80	24,00	Arène gneissique peu évoluée: limon marron à cailloutis de gneiss pulvérulents à sains	P2-2
2,00					<i>Arrêt volontaire</i>	

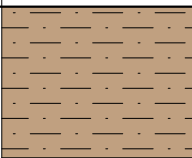
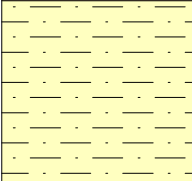
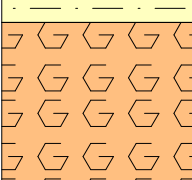

*Parois du sondage : stables*

*Circulation d'eau : terre végétale fraîche*

*Niveau d'eau en fin d'investigations : /*

*Profondeur du refus : non atteint*

**Sondage à la tarière hélicoïdale P3 - Cote NGF: 25,50 m**

Prof. (en m)	Nappe	Log	Prof. (en m)	Cote NGF (m)	Lithologie	Ech.
0,50					Terre végétale : limon argileux brun à racicules, frais	
1,00			0,60	24,90	Arène gneissique: limon argileux marron à cailloutis pulvérulents, frais	P3-1
1,50			1,40	24,10		
2,00			2,10	23,40	Gneiss très altéré: cailloutis pulvérulents à sains à matrice limoneuse grise-blanchâtre	P3-2
					<i>Quasi-refus à la progression de la pelle mécanique</i>	


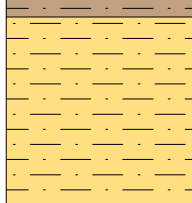


*Parois du sondage : stables*

*Circulation d'eau : terre végétale et arène gneissique fraîches*

*Niveau d'eau en fin d'investigations : /*

*Profondeur du refus : quasi-refus dès -2,10 m/TN (23,40 m NGF)*

**Sondage à la tarière hélicoïdale P4 - Cote NGF: 25,71 m**

Prof. (en m)	Nappe	Log	Prof. (en m)	Cote NGF (m)	Lithologie	Ech.
0,50					Terre végétale : limon argileux brun à racicules, frais	
1,00			0,50	25,21	Arène gneissique peu évoluée: limon argileux marron à cailloutis pulvérulents	P4-1 (GTR)
1,50			1,30	24,41		
2,00			1,60	24,11	Gneiss très altéré: cailloutis sains à matrice limoneuse beige	
					<i>Quasi-refus à la progression de la pelle mécanique</i>	



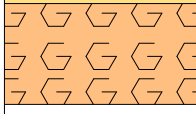
*Parois du sondage : stables*

*Circulation d'eau : terre végétale fraîche*

*Niveau d'eau en fin d'investigations : /*

*Profondeur du refus : quasi-refus dès -1,60 m/TN (24,11 m NGF)*

**Sondage à la tarière hélicoïdale P5 - Cote NGF: 24,95 m**

Prof. (en m)	Nappe	Log	Prof. (en m)	Cote NGF (m)	Lithologie	Ech.
0,50			0,45	24,50	Terre végétale : limon argileux brun à radicelles	P5-1
1,00			1,10	23,85	Arène gneissique peu évoluée: limon argileux marron à cailloutis pulvérulents	
1,50			1,50	23,45	Gneiss très altéré: cailloutis pulvérulents à sains à matrice limoneuse beige <i>Arrêt volontaire</i>	P5-2
2,00						



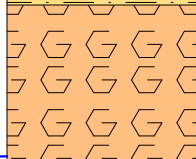

*Parois du sondage : stables*

*Circulation d'eau : /*

*Niveau d'eau en fin d'investigations : /*

*Profondeur du refus : non obtenue*

**Sondage à la tarière hélicoïdale P6 - Cote NGF: 23,57 m**

Prof. (en m)	Nappe	Log	Prof. (en m)	Cote NGF (m)	Lithologie	Ech.
0,50			0,50	23,07	Terre végétale : limon argileux brun à radicelles, frais	P6-1 (GTR)
1,00			1,10	22,47	Arène gneissique peu évoluée: limon argileux marron-beige à cailloutis pulvérulents	
1,50			1,80	21,77	Gneiss très altéré: cailloutis sains à pulvérulents à matrice limoneuse beige <i>Refus à la progression de la pelle mécanique au toit du gneiss altéré</i>	P6-2
2,00					Gneiss altéré: cailloutis sains à matrice limoneuse beige, frais	


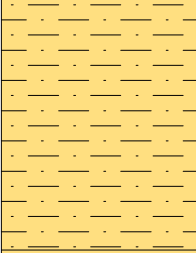
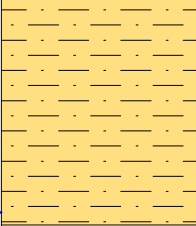

*Parois du sondage : stables*

*Circulation d'eau : terre végétale et gneiss altéré frais*

*Niveau d'eau en fin d'investigations : -1,70 m/TN (21,87 m NGF)*

*Profondeur du refus : Refus dès -1,80 m/TN (21,77 m NGF)*

**Sondage à la tarière hélicoïdale P7 - Cote NGF: 21,83 m**

Prof. (en m)	Nappe	Log	Prof. (en m)	Cote NGF (m)	Lithologie	Ech.
0,50			0,60	21,23	Terre végétale : limon argileux brun à radicelles, frais	
1,00			1,60	20,23	Arène gneissique peu évoluée: limon argileux marron-beige à cailloutis pulvérulents et grosses racines, humide	P7-1
2,00			2,50	19,33	Arène gneissique peu évoluée: limon argileux marron à cailloutis pulvérulents et racines, humide	P7-2
2,50					Arrêt volontaire	
3,00						

*Parois du sondage : stables*

*Circulation d'eau : terre végétale fraîche ; arène gneissique peu évoluée humide*

*Niveau d'eau en fin d'investigations : -2,45 m/TN (19,38 m NGF)*

*Profondeur du refus : non obtenue*

**ANNEXE 2**

**Identifications GTR des matériaux**

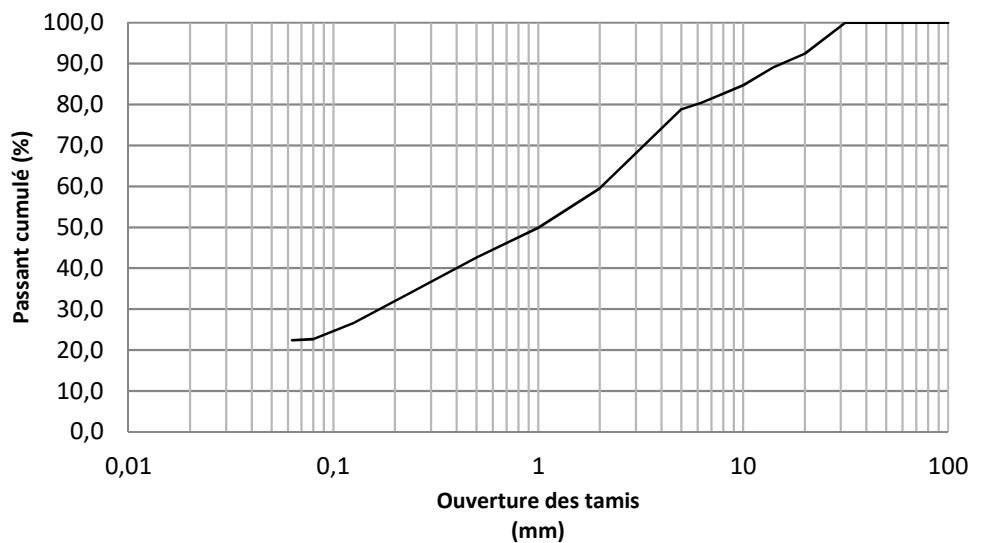
Classification GTR de matériaux

Projet	BATI AMENAGEMENT	Référence	3215
N° d'échantillon	P1-1	Profondeur (m)	0,40 - 0,80
Mode de prélèvement	Pelle mécanique	Date de prélèvement	08/01/2019

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

Dmax (mm)	30	Température étuvage	105 °C
-----------	----	---------------------	--------

Ouverture tamis (mm)	Passant cumulé (%)
100	100,0
63	100,0
50	100,0
31,5	100,0
20	92,5
14	89,0
10	84,7
6,3	80,4
5	78,8
2	59,5
1	49,9
0,5	42,6
0,25	34,6
0,125	26,6
0,08	22,7
0,063	22,4



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

m <sub>h</sub> (g)	2360,35	m <sub>s</sub> (g)	2199,05	Wn (%)	11,9
--------------------	---------	--------------------	---------	--------	------

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

VBS	0,56
-----	------

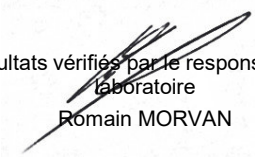
Classification GTR (NF P 11-300)

B <sub>5</sub>
----------------

Date de réalisation : 18/01/2019

Essais réalisés par : RM

Observations :

Résultats vérifiés par le responsable du laboratoire  
  
 Romain MORVAN

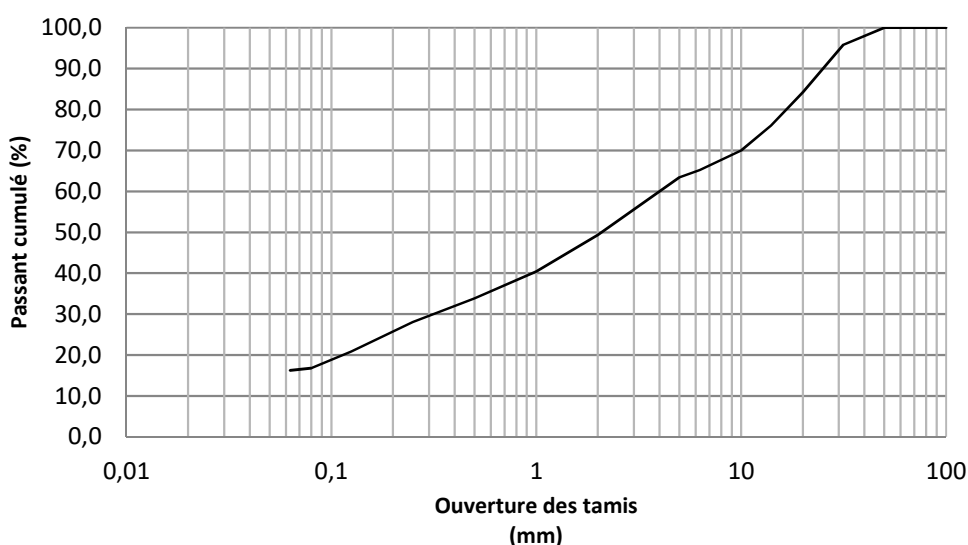
Classification GTR de matériaux

Projet	BATI AMENAGEMENT	Référence	3215
N° d'échantillon	P4-1	Profondeur (m)	0,50 - 1,30
Mode de prélèvement	Pelle mécanique	Date de prélèvement	08/01/2019

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

Dmax (mm)	33	Température étuvage	105 °C
-----------	----	---------------------	--------

Ouverture tamis (mm)	Passant cumulé (%)
100	100,0
63	100,0
50	100,0
31,5	95,8
20	84,2
14	76,1
10	70,0
6,3	65,2
5	63,4
2	49,3
1	40,4
0,5	33,9
0,25	28,0
0,125	20,9
0,08	16,8
0,063	16,2



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

m <sub>h</sub> (g)	2489,83	m <sub>s</sub> (g)	2344,38	Wn (%)	9,7
--------------------	---------	--------------------	---------	--------	-----

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

VBS	0,46
-----	------

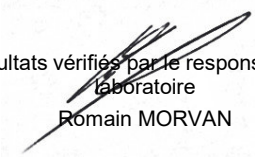
Classification GTR (NF P 11-300)

B <sub>5</sub>
----------------

Date de réalisation : 18/01/2019

Essais réalisés par : RM

Observations :

Résultats vérifiés par le responsable du laboratoire  
  
 Romain MORVAN

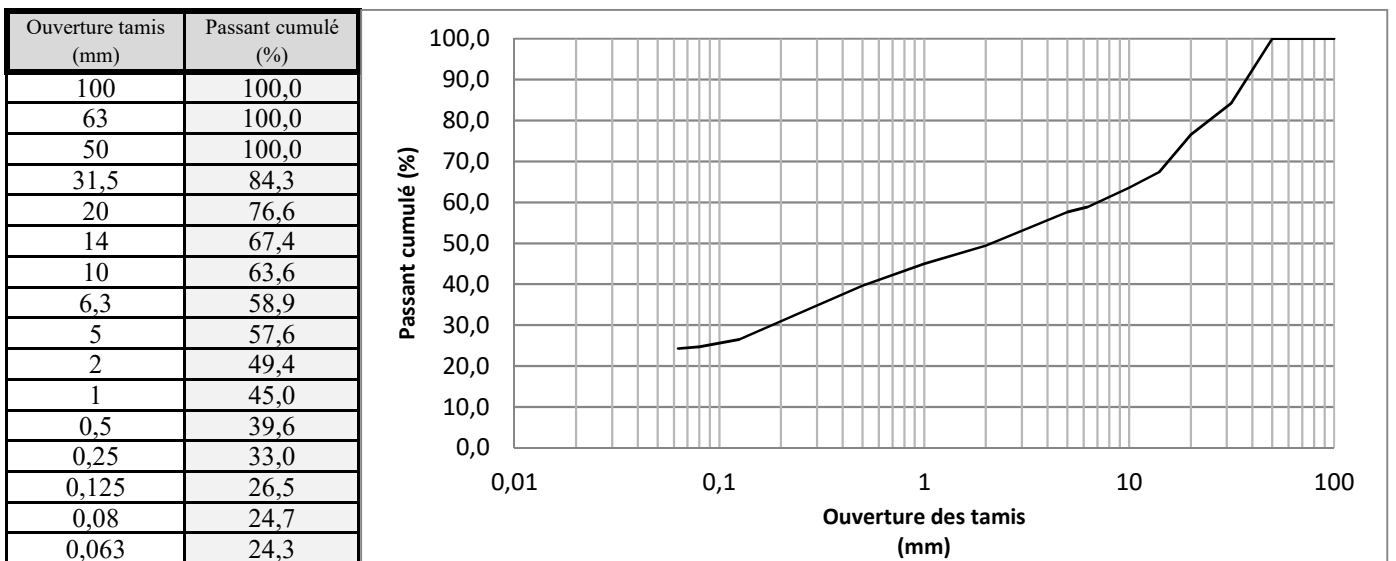


Classification GTR de matériaux

Projet	BATI AMENAGEMENT	Référence	3215
N° d'échantillon	P6-1	Profondeur (m)	0,50 - 1,10
Mode de prélèvement	Pelle mécanique	Date de prélèvement	08/01/2019

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

Dmax (mm)	49	Température étuvage	105 °C
-----------	----	---------------------	--------



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

m <sub>h</sub> (g)	4563,9	m <sub>s</sub> (g)	4013,10	Wn (%)	17,5
--------------------	--------	--------------------	---------	--------	------

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

VBS	1,79
-----	------

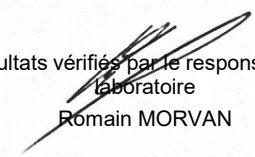
Classification GTR (NF P 11-300)

B <sub>6</sub>
----------------

Date de réalisation : 18/01/2019

Essais réalisés par : RM

Observations :

Résultats vérifiés par le responsable du laboratoire  
  
 Romain MORVAN

**ANNEXE 3**

**Conditions de réemploi des matériaux de déblais en  
remblai**

## CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

### B<sub>5</sub> (états m, s et ts)

Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai	Code							
					E	G	W	T	R	C	H	
<b>B<sub>5m</sub></b>	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	<b>Solution 1 : arrosage</b> W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage moyen	0	0	3	0	0	2	0	
				<b>Solution 2 : utilisation en l'état</b> C : compactage intense	0	0	0	0	0	1	0	
<b>B<sub>5s</sub></b>	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 <sub>5m</sub>  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	<b>Solution 1 : humidification</b> W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen	0	0	4	0	1	2	0	
				<b>Solution 2 : utilisation en l'état</b> C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0	0	0	0	0	1	2	
		-	évaporation importante	<b>Solution 1 : extraction frontale et arrosage</b> 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	
				<b>Solution 2 : humidification</b> W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen	0	0	4	0	1	2	0	
<b>B<sub>5ts</sub></b>	<b>Sols normalement inutilisables en l'état</b> Mais leur humidification dans la masse peut être envisagée pour les ramener à l'état B <sub>5s</sub> , voire B <sub>5m</sub>				NON							

## CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

### B<sub>5</sub> (états th et h)

Sol	Observations générales	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H	
<b>B<sub>5</sub>th</b>	<b>Sols normalement inutilisables en l'état</b>			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				
<b>B<sub>5</sub>h</b>	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	<b>Solution 1 : traitement</b> T : traitement avec un réactif adapté C : compactage moyen	0 0 0 1 0 2 0
				<b>Solution 2 : utilisation en l'état</b> C : compactage faible H : remblai de hauteur faible	0 0 0 0 0 3 1
		-	évaporation importante	<b>Solution 1 : extraction en couche - aération</b> 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
				<b>Solution 2 : aération et traitement</b> 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

### B<sub>6</sub> (états s et ts)

Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai	Code							
					E	G	W	T	R	C	H	
<b>B<sub>6</sub>s</b>	Pour ces sols, il faut compenser l'insuffisance de la teneur en eau par un compactage intense, un arrosage, ou une humidification avec un malaxage soigné et une quantité d'eau importante	++	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON							
		+	pluie faible	E : extraction en couches 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	<b>Solution 1 : humidification</b> W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen		0	0	4	0	1	2	0
				<b>Solution 2 : utilisation en l'état</b> C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)		0	0	0	0	0	1	2
		-	évaporation importante	<b>Solution 1 : arrosage</b> W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur faible (≤ 5 m)		0	0	3	0	0	1	1
				<b>Solution 2 : extraction frontale - arrosage</b> 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
				<b>Solution 3 : humidification</b> W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage intense		0	0	4	0	1	1	0
<b>B<sub>6</sub>ts</b>	<b>Sols normalement inutilisables en l'état</b> Leur humidification pour changer d'état doit être décidée à l'appui d'une étude spécifique				NON							

## CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI




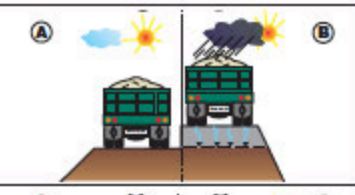

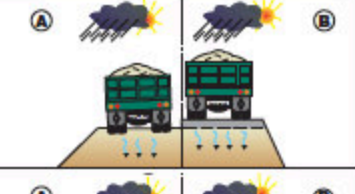

### B<sub>6</sub> (états th, h et m)

Sol	Observations générales	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H	
<b>B<sub>6</sub>th</b>	<b>Ces sols sont normalement inutilisables dans l'état</b> en raison de leur portance quasi nulle. Le drainage ou la mise en dépôt provisoire peut permettre de les ramener à l'état (h)			NON	
<b>B<sub>6</sub>h</b>	<p>Ces sols sont très difficiles à mettre en oeuvre en raison de leur portance faible.</p> <p>La fraction grenue n'est pas suffisante pour modifier sensiblement le comportement de la fraction argileuse. Ils sont sujets au "matelassage", ce qui est à éviter au niveau des arases de terrassement</p>	+	pluie faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai, avec des garanties de qualité suffisantes  <b>Solution 1 : traitement</b> T : traitement à la chaux seule C : compactage moyen	NON
		=	ni pluie, ni évaporation importante	<b>Solution 2 : utilisation en l'état</b> C : compactage faible H : remblai de hauteur faible (≤ 5 m)	0 0 0 2 0 2 0
		-	évaporation importante	<b>Solution 1 : extraction en couche - aération</b> 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
				<b>Solution 2 : traitement</b> T : traitement à la chaux seule C : compactage moyen	0 0 0 2 0 2 0
<b>B<sub>6</sub>m</b>	<p>Ces sols ne posent pas de problème d'utilisation en remblai sauf par pluie forte</p> <p>En l'absence de pluie, ils présentent en général une bonne traficabilité du fait de la présence d'une fraction granulaire importante</p>	++	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	<b>Solution 1 : utilisation en l'état</b> C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0 0 0 0 0 1 2
				<b>Solution 2 : arrosage pour maintien de l'état</b> W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage moyen	0 0 3 0 0 2 0
				<b>Solution 3 : extraction frontale</b> E : extraction frontale C : compactage intense	2 0 0 0 0 1 0

**ANNEXE 4**

**Type 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		<b>Sols</b> A, B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , B <sub>3</sub> , B <sub>4</sub> , C <sub>1</sub> se trouvant dans un état hydrique (th).  <b>Contexte</b> 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.	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		<b>Sols</b> Matériaux des classes A, B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , B <sub>3</sub> , B <sub>4</sub> , C <sub>1</sub> , R <sub>10</sub> , R <sub>15</sub> et certains matériaux C <sub>2</sub> , R <sub>8</sub> et R <sub>10</sub> dans un état hydrique (h).  <b>Contexte</b> 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).	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 granuleux 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		<b>Sols</b> Matériaux des classes A, B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , B <sub>3</sub> , B <sub>4</sub> , C <sub>1</sub> , R <sub>10</sub> , R <sub>15</sub> et certains matériaux C <sub>2</sub> , R <sub>8</sub> et R <sub>10</sub> dans un état hydrique (m).  <b>Contexte</b> 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).	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		<b>Sols</b> Mêmes matériaux que dans le cas de PST 2.  <b>Contexte</b> 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).	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		<b>Sols</b> Mêmes matériaux qu'en PST 1 sous réserve que la granularité permette leur traitement.  <b>Contexte</b> 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.	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		<b>Sols</b> B <sub>1</sub> et D <sub>1</sub> et certains matériaux rocheux de la classe R <sub>10</sub> .  <b>Contexte</b> PST en matériaux sableux fins insensibles à l'eau, hors nappe, posant des problèmes de traficabilité.	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		<b>Sols</b> Matériaux des classes D <sub>1</sub> , R <sub>11</sub> , R <sub>17</sub> , R <sub>22</sub> , R <sub>27</sub> , R <sub>32</sub> , R <sub>37</sub> , R <sub>42</sub> , R <sub>47</sub> , R <sub>52</sub> ainsi que certains matériaux C <sub>2</sub> , R <sub>21</sub> , R <sub>8</sub> et R <sub>10</sub> .  <b>Contexte</b> PST en matériaux graveleux ou rocheux insensibles à l'eau mais posant des problèmes de réglage et/ou de traficabilité.	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 5**

**Conditions de réemploi des matériaux de déblais  
en couche de forme**

# CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN COUCHE DE FORME

**B<sub>51</sub>, B<sub>52</sub>**

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
<b>B<sub>51</sub>h et B<sub>52</sub>h</b>	La grande sensibilité à l'eau des sols de cette classe implique nécessairement de les traiter pour les utiliser en couche de forme. 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.	+	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					
<b>B<sub>51</sub>m et B<sub>52</sub>m</b>	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					
<b>B<sub>51</sub>s et B<sub>52</sub>s</b>		+	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.

# CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN COUCHE DE FORME

**B<sub>6</sub>**

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
<b>B<sub>6</sub>h</b>	La sensibilité à l'eau et la plasticité des sols de cette classe impliquent nécessairement un traitement pour pouvoir 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)				
				= OU -	pas de pluie					
<b>B<sub>6</sub>m</b>	Ce traitement peut être soit un traitement avec des liants hydrauliques pour les moins argileux et les plus secs d'entre eux soit plus généralement un traitement associant chaux + liant hydraulique. Lorsqu'ils sont dans un état sec et que leur plasticité impose un traitement chaux + liant hydraulique, la chaux peut avantageusement être introduite sous forme de chaux éteinte ou mieu de lait de chaux.	+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant	NON					
				= OU -	pas de pluie					
<b>B<sub>6</sub>s</b>	Ces sols se traitent le plus généralement en place ou éventuellement en centrale après les avoir préalablement 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					

(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.

**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.