

**SNC SH SAINT BONNET**  
 SNC au capital de 1000 €  
 17, rue Duquesne - 69006 LYON  
 RCS LYON 878 917 814 00013  
 TVA INTRA. FR 29878 917 814



**ATELIER 4+**  
 ARCHITECTES  
 31, rue Mazenod - 69003 LYON  
 04 78 14 02 00  
 N° ordre des architectes 502734  
 SIRET : 393 430 254 00073

**STONEHEDGE**

**SNC SH SAINT BONNET**  
 17 rue Duquesne 69006 LYON

PIECES ECRITES

**Annexe 10**

**Etude géotechnique**

**Annexes Cerfa 14734-03**

**Parc d'activités**  
 Rue des Frères Lumière  
 69720 SAINT-BONNET-DE-MURE

N° AFFAIRE 16322

INDICE H

DATE **mardi 27 octobre 2020**

**lesateliers 4+**  
 Les ATELIERS 4+ Lyon  
 31 Rue Mazenod - 69003 Lyon  
 04 78 14 02 00 - lyon@la4p.fr



**GÉOTECHNIQUE**  
sciences de la terre sas

## GEOTECHNIQUE SAS

672, rue des Mercières  
69140 RILLIEUX-LA-PAPE

Tel : 04 78 88 75 83  
Fax : 04 78 97 40 38  
contact69@geotechnique-sas.com

**STONE  
HEDGE**

ETUDES  
RECONNAISSANCES  
ANALYSES  
AUSCULTATION

## RAPPORT D'ETUDE MISSION GEOTECHNIQUE G2 AVP

Bâtiment d'activités et bureaux  
Rue des Frères Lumière  
**SAINT BONNET DE MURE (69)**

Client :  
STONEHEDGE PROMOTION  
17, rue Duquesne  
69006 LYON

Dossier 2019-09-251				Fichier : 2019-09-251 FP 001
C				
B				
A	13/11/2019	F. PEYRAL	J. SANCHEZ	Rapport définitif
O	30/10/2019	F. PEYRAL	J. SANCHEZ	Rapport provisoire
Indice	Date	Établi par	Validé par	Modification / Observations

# PLAN DU RAPPORT

1.	INTRODUCTION .....	2
2.	CONDITIONS DE SITE ET DESCRIPTION DE L'OUVRAGE .....	2
2.1	Conditions de site .....	2
2.2	Description de l'ouvrage.....	6
2.3	Remblais sur site .....	7
3.	CONTENU DES RECONNAISSANCES.....	12
4.	CONTEXTE GEOTECHNIQUE .....	12
4.1	Remblais.....	12
4.2	Terre végétale .....	12
4.3	Graves argileuses à sableuses de couleur rouge.....	13
4.4	Graves sableuses de couleur beige .....	14
4.5	Hydrogéologie.....	15
4.6	Sismicité .....	15
5.	ANALYSE ET RECOMMANDATIONS POUR LES TERRASSEMENTS ET LES PLATES-FORMES .....	16
5.1	Recommandations générales.....	16
5.2	Terrassements .....	16
5.3	Couche de forme bâtiment et voiries .....	18
5.4	Stabilité des talus .....	19
5.5	Pré dimensionnement des voiries lourdes .....	19
6.	ANALYSE ET RECOMMANDATIONS POUR LES FONDATIONS.....	20
6.1	Types de fondations.....	20
6.2	Calcul de la capacité portante.....	20
6.3	Calcul des tassements au droit des appuis.....	21
6.4	Dispositions constructives.....	21
7.	ANALYSE ET RECOMMANDATIONS POUR LES DALLAGES.....	21
7.1	Tassements sous les dallages .....	21
7.2	Paramètres pour le dimensionnement des dallages .....	22
	ANNEXES .....	23

## 1. INTRODUCTION

A la demande et pour le compte de la société STONEHEDGE PROMOTION, GEOTECHNIQUE SAS a réalisé une étude géotechnique de type G2 AVP selon la norme NF-P-94-500 de novembre 2013 (voir annexe), au droit du projet d'un bâtiment d'activités et de bureaux et des parkings et voiries associés, situé au droit de la ZAC de La Plaine, avenue des Frères Lumière sur la commune de SAINT BONNET DE MURE (69).

Cette étude a pour objet de vérifier :

- le contexte géologique et hydrogéologique,
- les caractéristiques géotechniques des terrains en place,
- les conditions de réalisation des fondations, des terrassements, du dallage et des voiries.

Nos conclusions sont basées sur :

- l'étude du contexte géologique et hydrogéologique du site,
- la réalisation de sondages et essais in situ,
- la réalisation d'essais en laboratoire.

Documents en notre possession :

- plan de masse référencé 010-IndB du 08/08/2019,
- plan de masse référencé 010-IndF du 23/09/2019,
- plan cadastrale du site,
- étude faune/ flore version 2 réalisée par BIOTOPE en date du 03/09/2019.

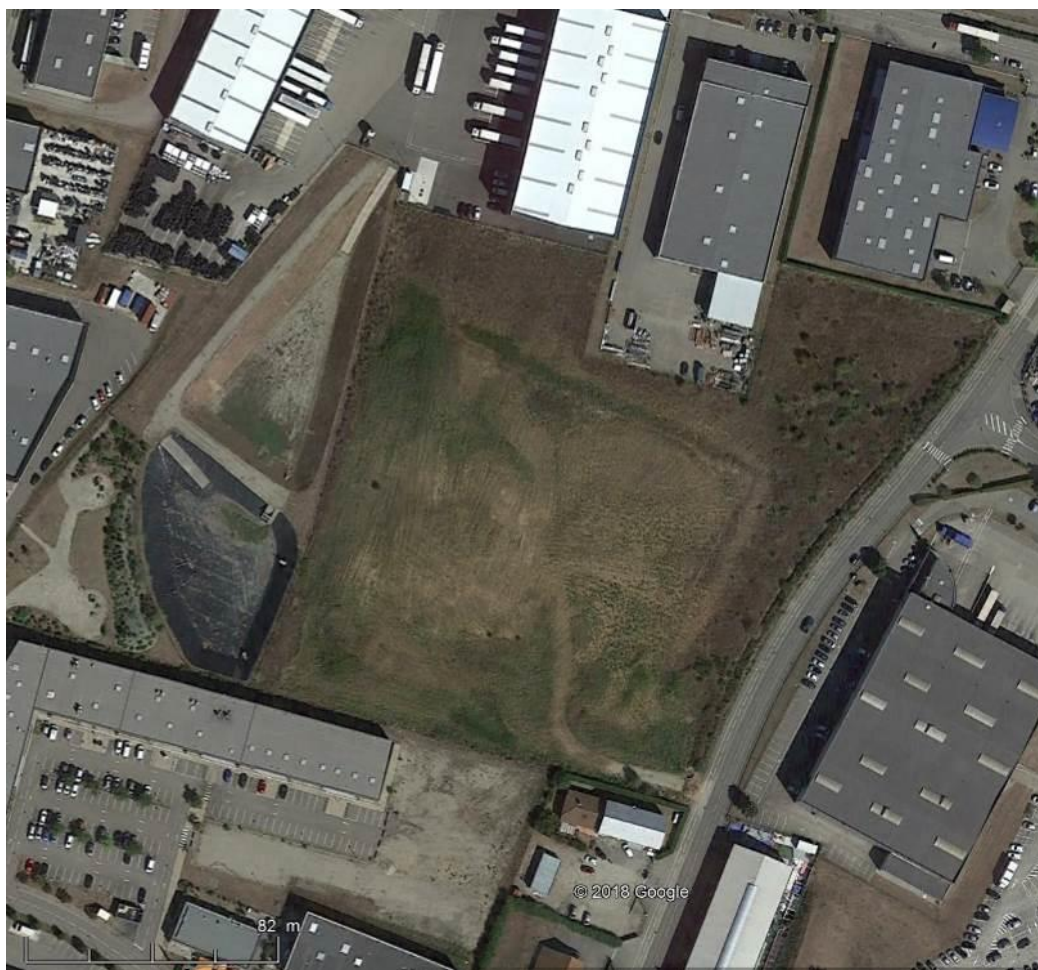
## 2. CONDITIONS DE SITE ET DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

### 2.1 Conditions de site

La zone réservée à l'implantation du projet est située sur la commune de SAINT BONNET DE MURE (69), avenue des Frères Lumière, sur les parcelles n°26 et 146, section AM. Le terrain a une superficie totale de 18 588 m<sup>2</sup> environ pour une surface de bâtiment de l'ordre de 10 658 m<sup>2</sup> environ.

Le terrain est délimité au Nord et au Sud par divers bâtiments d'activités existants et leurs voiries/parking respectifs, à l'Est par l'avenue des Frères Lumière, et à l'Ouest par des bassins de rétention d'eaux pluviales.

La zone d'étude est constituée d'anciennes parcelles agricoles.

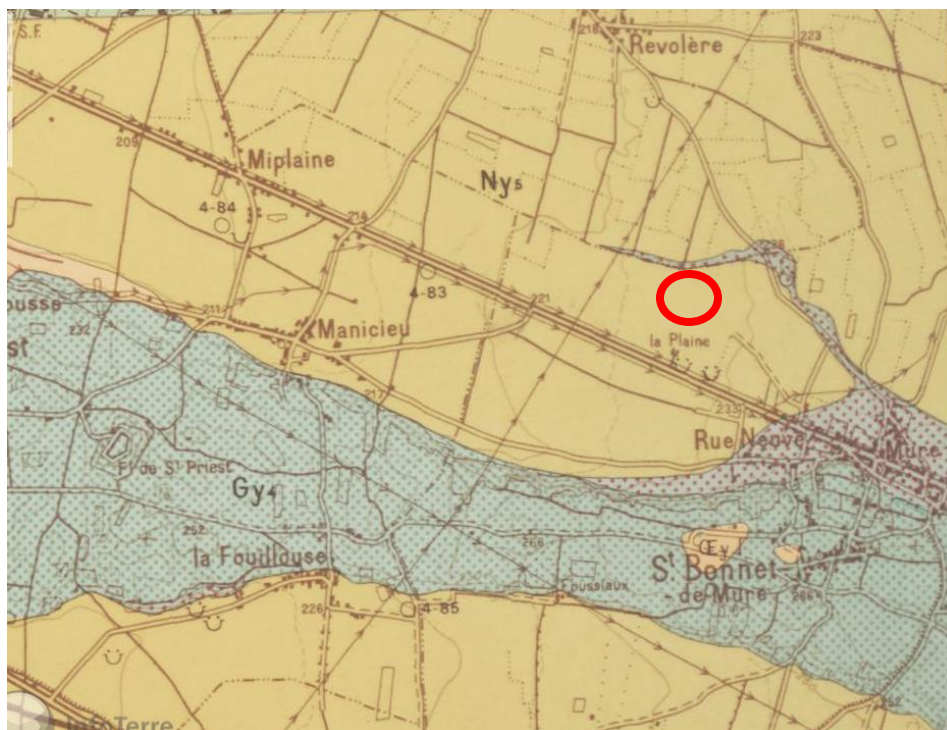


Vue du site (Google Earth)

Le terrain se situe à une altitude comprise entre 227 et 228 m NGF. Le terrain est plat dans son ensemble.

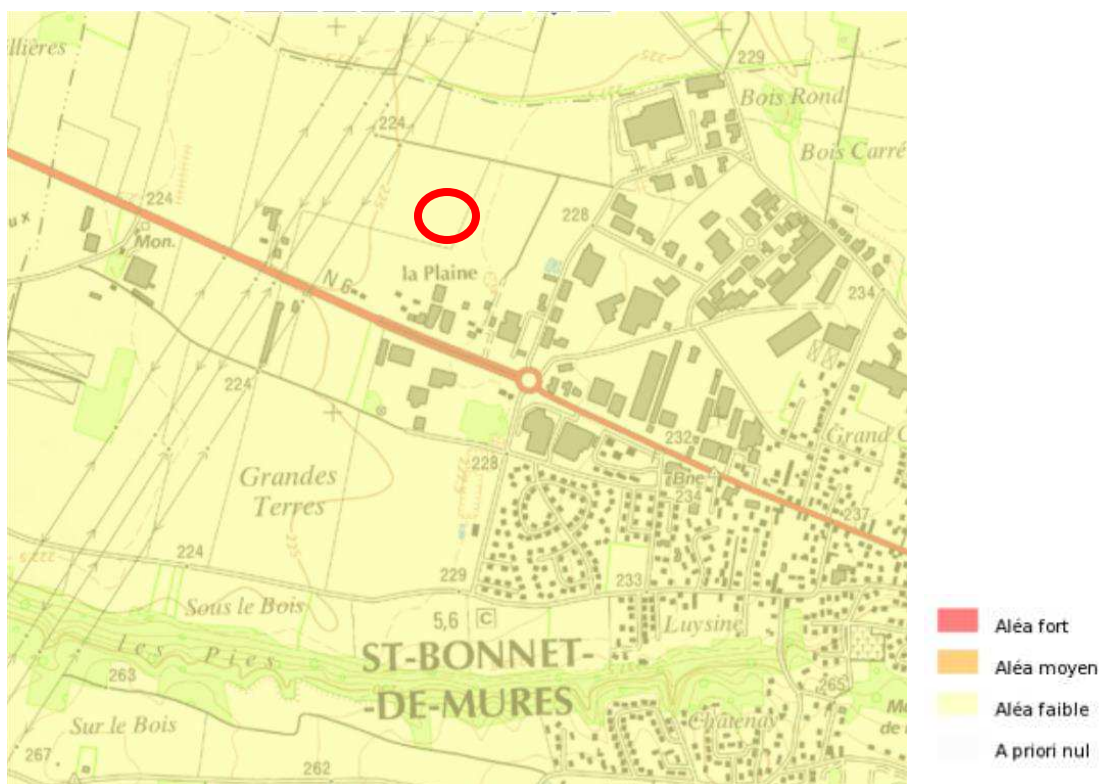
D'après la carte géologique n°722 au 1/50000<sup>ème</sup> de Givors, les terrains attendus au droit du projet sont des alluvions fluvio-glaciaire wurmiennes (graves sableuses à argileuses).





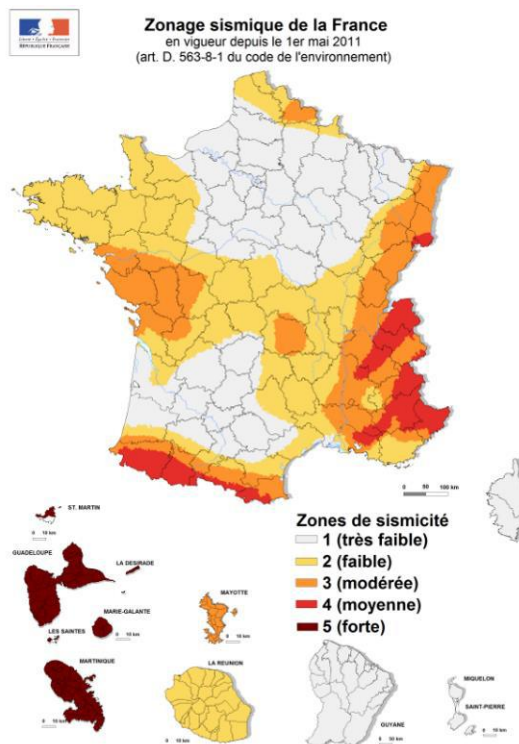
Carte géologique

Le terrain se situe en zone d'aléa à priori faible vis-à-vis du risque de retrait / gonflement des argiles, d'après la carte éditée par le BRGM.



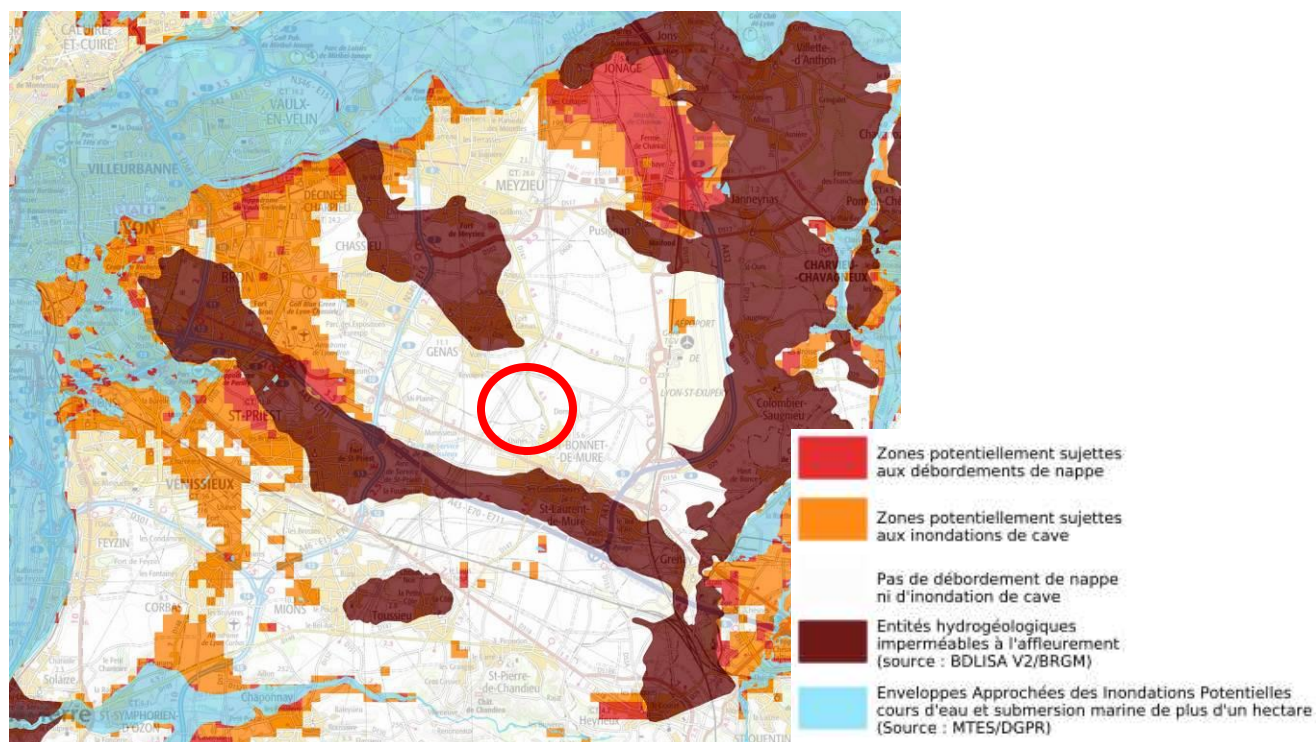
Carte de retrait / gonflement des argiles

Le site se trouve en zone 3 « risque modérée » selon le zonage sismique de la France établi par la délégation aux risques majeurs du ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.



Carte sismique de la France

Le site se trouve en sensibilité faible concernant le risque de remontée de nappe.



Carte de risque de remontée de nappe



## 2.2 Description de l'ouvrage

Le projet consiste en la réalisation de deux bâtiments d'activités et de bureaux en R+1 maximum sans sous-sol, associés à des zones de voiries et parkings pour véhicules légers et poids lourds. Les bâtiments seront en charpente métallique avec 8 m de hauteur sous poutre selon les informations transmises.

Le projet est prévu à la cote altimétrique 227.80 m NGF selon le client.

Il ne nous a pas été communiqué de descentes de charges, celles-ci sont estimées en première approche à 50 tonnes par appui. La surcharge sur le dallage est prévue de 3 t/m<sup>2</sup>.

Il est prévue une circulation de 20 PL / jours sur la voirie.

Ci-dessous le plan indice F du projet, en date du 23/09/2019 :



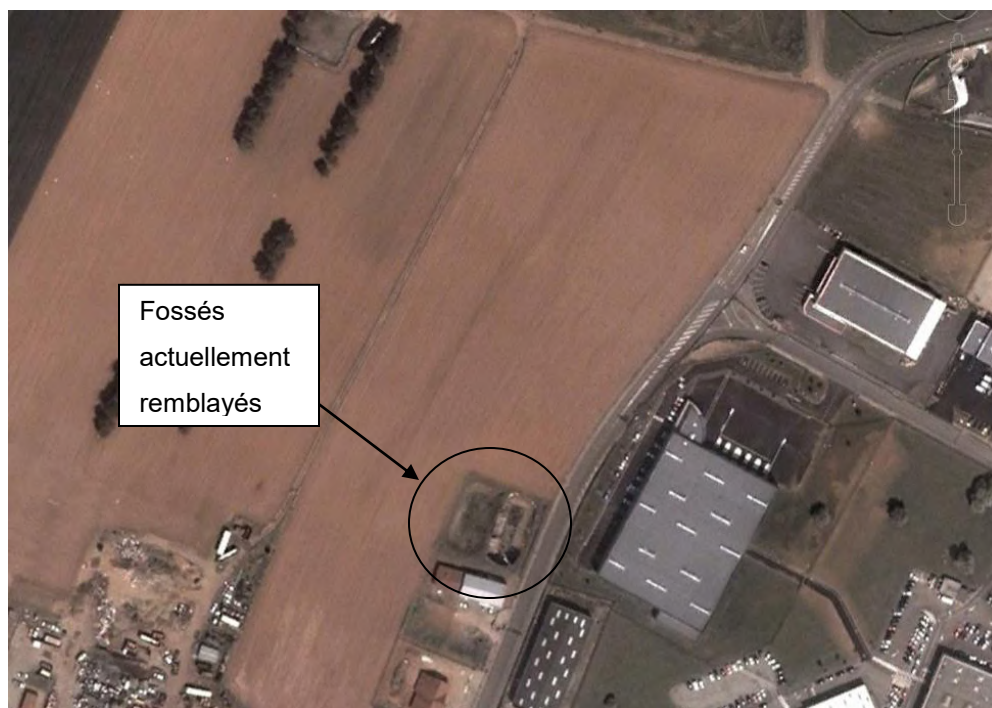


### 2.3 Remblais sur site

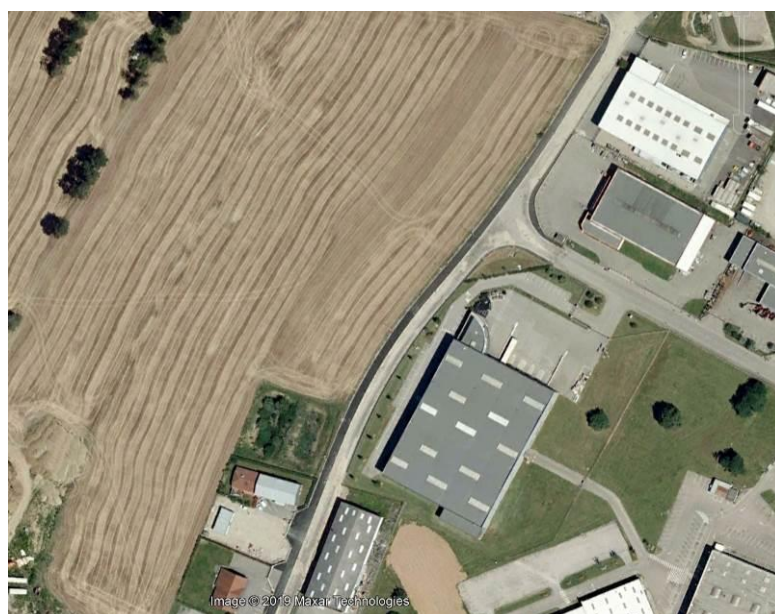
Grâce notamment aux photos satellites du site, il a été observé que cette parcelle (une des dernières libres de la ZAC) a été un lieu de mise en dépôt et de récupération de graves par des entreprises et autres terrassiers depuis plusieurs années.

Il a été observé ce type d'activité le jour des sondages sur site, les terrains étant décapés en surface puis les sols prélevés jusqu'à environ 1.5 m de profondeur, remplacés ensuite par des matériaux impropres de type limons graveleux sombres avec éléments végétaux.

Ci-dessous les photos satellites du site depuis 2002, les emprises des zones à priori remaniées sont indiquées :

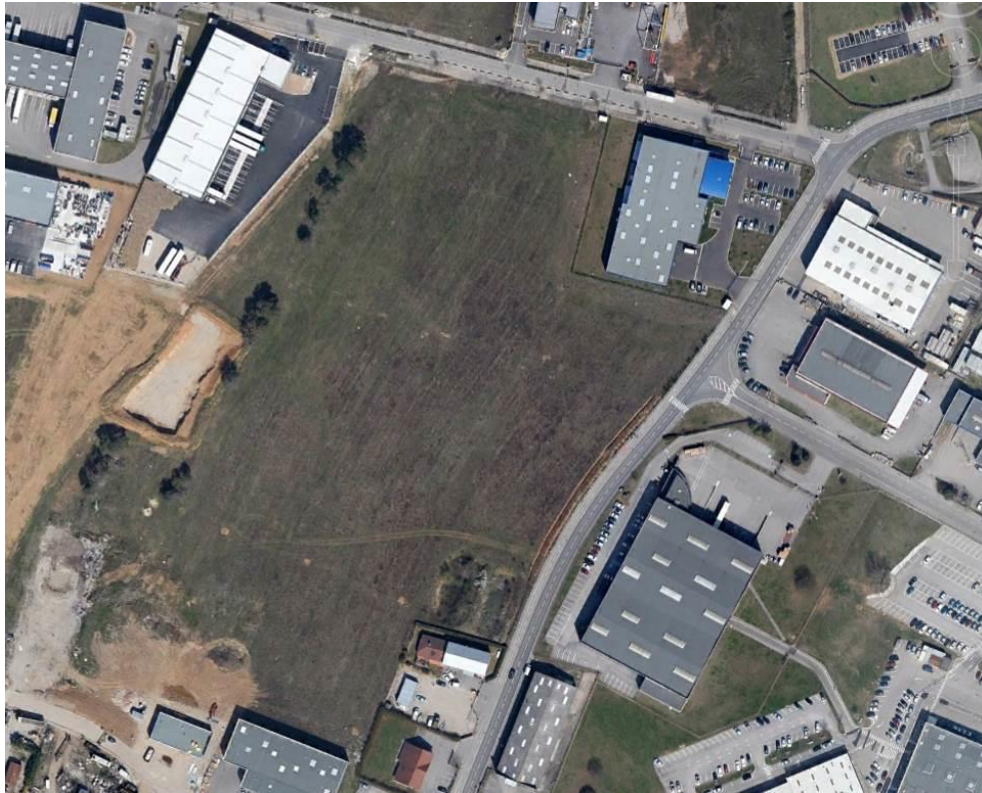


Site en 2002



Site en 2007



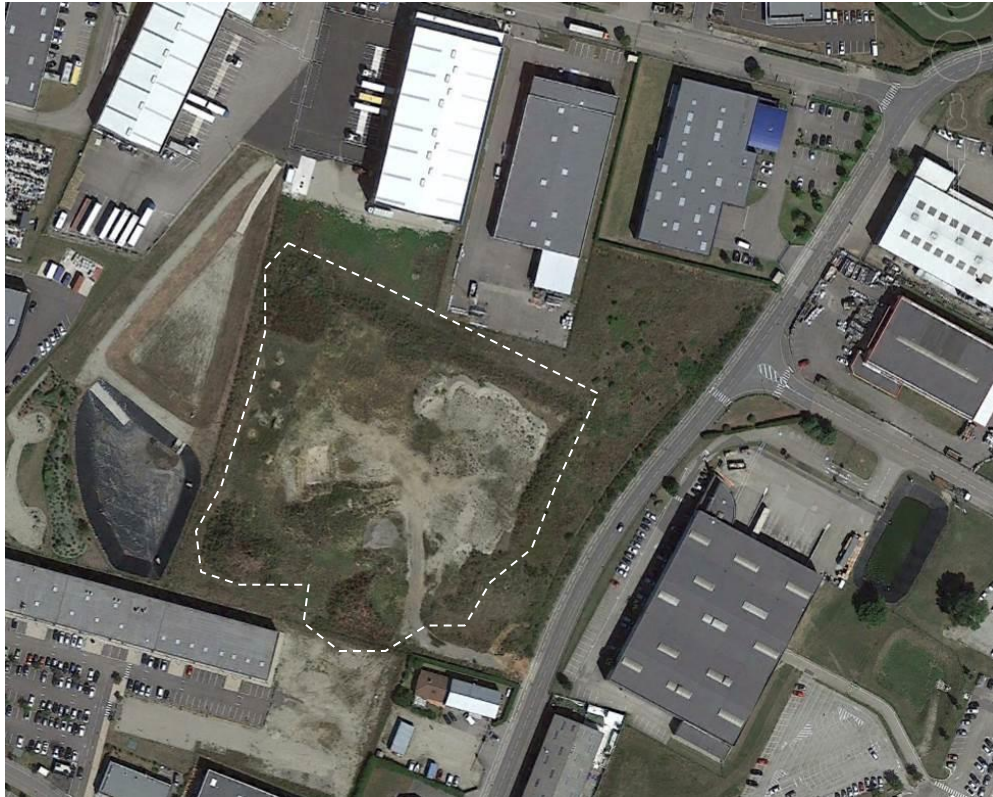


Site en 2012

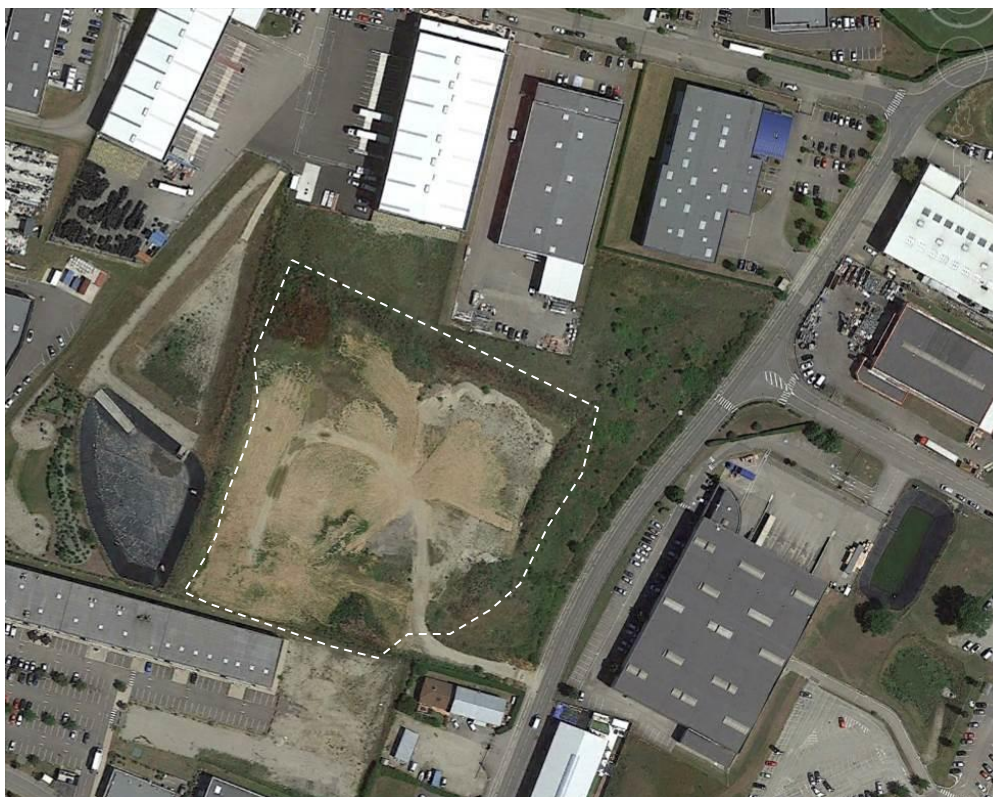


Site en 2015



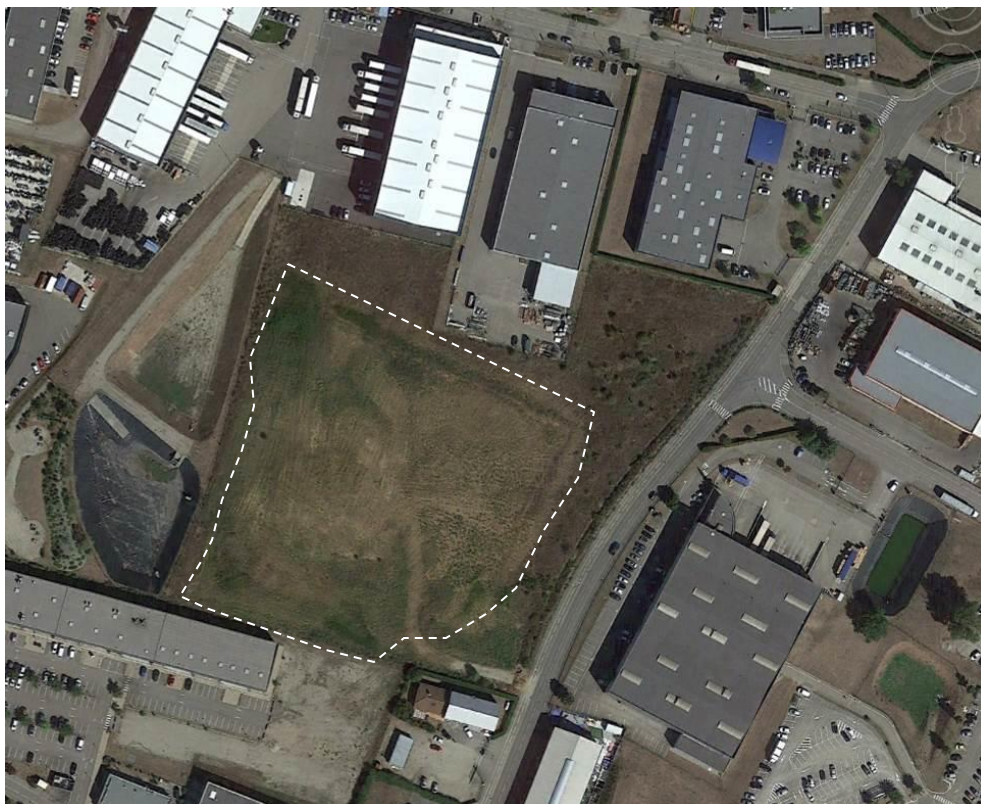


Site en 2016



Site en 2017





Site en 2018



Vue du projet avec zone remaniée





Emprunt et substitution par remblai de qualité médiocre le jour de notre intervention

### 3. CONTENU DES RECONNAISSANCES

Les travaux de reconnaissance ont été réalisés pour cette mission G2 AVP du 10 au 17 octobre 2019. Ils comportent :

- 3 sondages destructifs avec essais pressiométriques (SP 1 à 3), descendus à 8 m de profondeur, avec essais tous les 1.5 m,
- 3 sondages de reconnaissance à la pelle hydraulique descendus de 2.9 à 3.0 m de profondeur (PM1 à PM3), avec prélèvements d'échantillons pour analyses en laboratoire,
- 6 essais au pénétromètre dynamique lourd descendus entre 1.3 et 6.2 m de profondeur, au refus,
- des analyses suivantes en laboratoire ont été effectuées : 6 teneurs en eau, 3 analyses granulométriques, 1 essais Proctor, 2 mesures d'indice CBR après immersion, 3 dosages en sulfates.

### 4. CONTEXTE GEOTECHNIQUE

Les différents sondages et essais réalisés ont permis d'identifier les horizons de sol décrits ci-après, ainsi que leurs caractéristiques.

#### 4.1 Remblais

Comme vu précédemment, le site a été remanié depuis plusieurs années à priori par des emprunts de matériaux. Ces remblais sont constitués de matériaux divers allant des graves limoneuses marron à beiges, parfois difficilement différenciables des formations naturelles de surface, à des limons sombres avec déchets végétaux.

Cette formation se situe à priori sur une grande partie du site (voir photo satellites précédemment) et a une profondeur pouvant atteindre jusqu'à 1.5 m environ.

Comme les opérations d'emprunts étaient encore actives sur le site après note départ, la superficie et la profondeur des zones remaniées ne peut pas être connue avec précision et peut être amenée à évoluer avant le début des travaux.

#### 4.2 Terre végétale

Les sondages réalisés présentent un horizon superficiel constitué de terre végétale en surface sur une dizaine de centimètres,



### 4.3 Graves argileuses à sableuses de couleur rouge

La base de cette formation est rencontrée jusqu'à 1.35 m de profondeur au maximum (PM2), et moins de 1 m en moyenne. Cette formation se présente généralement sous la forme de galets de diamètre inférieur à 20 cm en général, dans une matrice argilo-sableuse de couleur rouille à ocre.

#### 4.3.1 Essais de laboratoire

	PM1 – 0.1 à 0.4 m	PM2 – 0.8 à 1.35 m		PM3 – 0.8 à 1 m
Lithologie	Grave argilo-sableuse rouge	Grave argilo-sableuse rouge		Grave argilo-sableuse rouge
Identification GTR	C1A1	C1B5		C1B5
W% (%)	12.9	17.1		13.6
Passant à 0.08 µm (%)	42.1	14.2		13.5
Dmax (mm)	200	200		200
VBS	0.7	1.2		0.8
Densité à l'OPN (t/m3)	-	1.7		-
Teneur en eau à l'OPN (%)	-	14.5		-
Sulfates (%)	0.004	0		-
Aptitude au traitement : Dosage de chaux (%), Dosage de L.H. (%)	-	2% chaux	5% ciment	-
Gonflement moyen CRBi après traitement	-	0.093% 50.3	0.034% 55.3	-
Aptitude au traitement	-	oui	oui	-

#### 4.3.2 Caractéristiques géotechniques

Cet horizon présente des caractéristiques mécaniques moyennes ponctuellement à bonnes et excellentes :

	Valeur minimale	Valeur moyenne	Valeur maximale
Résistance dynamique Rd (MPa)	1	7	15
Module pressiométrique Em (MPa)	12.1	14.1	16.9
Pression limite nette PI (MPa)	1.53	1.66	1.80

#### 4.4 Graves sableuses de couleur beige

On rencontre ces graves sableuses sous les formations de surface, sous l'horizon de terre végétal et les remblais. Ces matériaux souvent compacts sont constitués principalement de graves sableuses de couleur beige, contenant des éléments de diamètre 200 mm maximum.

Ils n'ont été rencontrés que très localement au droit des sondages à la pelle PM3, PM7 et PM8.

Leur base est située au-delà de la profondeur des sondages pressiométriques, à plus de 8 mètres.

##### 4.4.1 Essais de laboratoire

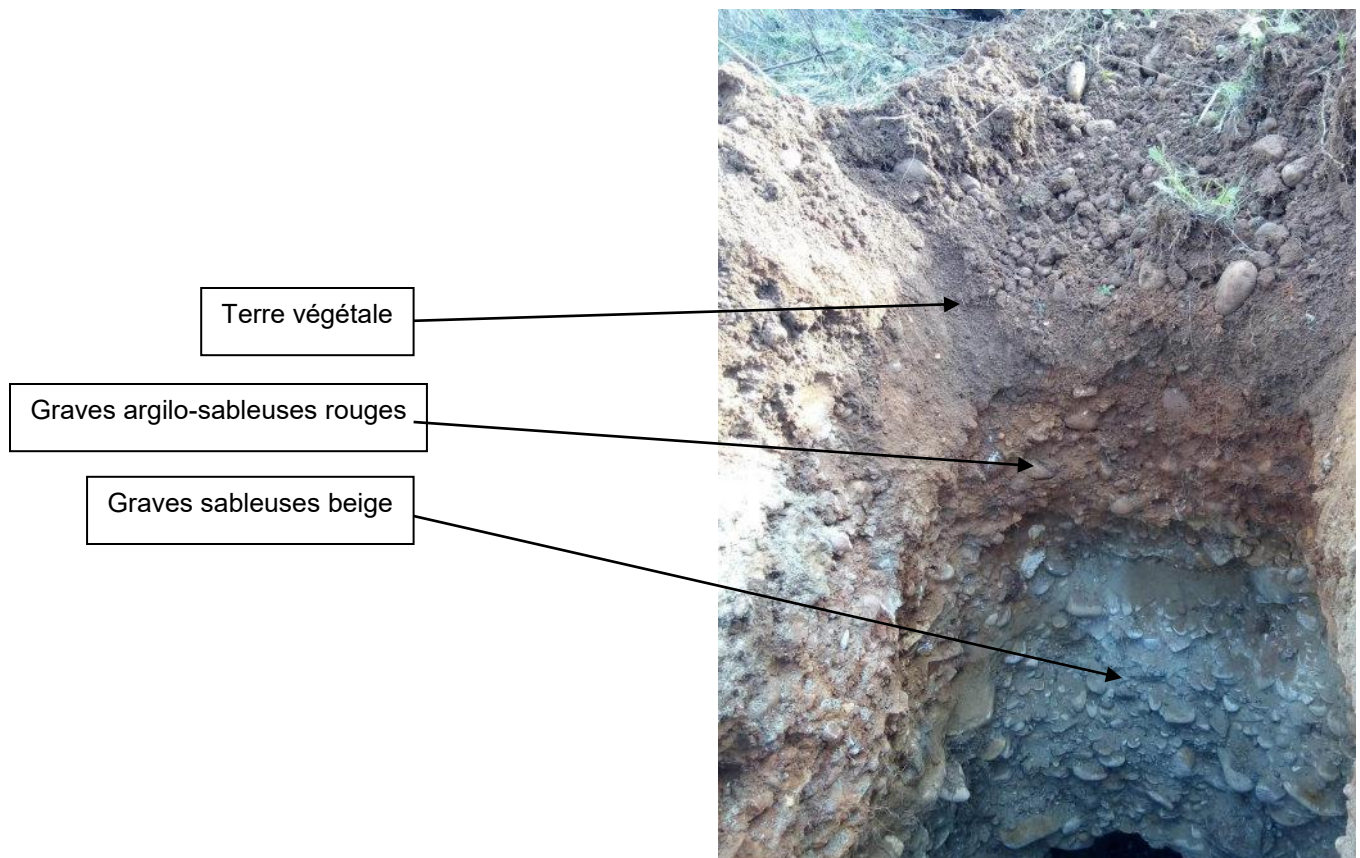
	PM1 - 2.5 m	PM2 – 1.6 m	PM2 - 1.8-2.0 m	PM2 – 2.5 m	PM3 – 1.4 m	PM3 – 2.3 m
Identification	-	-	En cours	-	-	-
Lithologie	<b>Grave - sableuse beige</b>	<b>Grave - sableuse beige</b>	<b>Grave - sableuse beige</b>	<b>Grave - sableuse beige</b>	<b>Grave - sableuse beige</b>	<b>Grave - sableuse beige</b>
W% (%)	1.99	3.27	1.9	2.70	3.64	2.83
Passant à 0.08 µm (%)	-	-	2.2	-	-	-
Dmax (mm)	-	-	200	-	-	-
VBS	-	-	0.1	-	-	-
Sulfates (%)	-	-	0	-	-	-

##### 4.4.2 Caractéristiques géotechniques

Cet horizon présente des caractéristiques mécaniques moyennes ponctuellement à bonnes et excellentes :

	Valeur minimale	Valeur moyenne	Valeur maximale
Résistance dynamique Rd (MPa)	10	20	70
Module pressiométrique Em (MPa)	26.6	43.2	55.3
Pression limite nette PI (MPa)	2.41	3.12	3.75





*Profils général du site : Vue de la coupe de sol au droit du sondage à la pelle PM3*

#### 4.5 Hydrogéologie

Il n'a pas été relevé de niveau d'eau dans les sondages réalisés lors de notre campagne de reconnaissance géotechnique.

Les fiches d'ouvrages géologiques du secteur disponibles sur Infoterre (site du BRGM) indiquent un niveau de nappe vers 20 m de profondeur.

Des circulations d'eau superficielles peuvent par ailleurs se produire en période pluvieuse.

Il appartient donc aux responsables du projet de se faire communiquer par les services compétents le niveau des plus hautes eaux au droit du projet afin de vérifier les risques d'inondation. **Un diagnostic hydrogéologique peut également être effectué par un bureau d'études spécialisé, afin de déterminer ce niveau des plus hautes eaux.**

#### 4.6 Sismicité

Le site se trouve en zone 3 « risque modéré » selon le zonage sismique de la France établi par la délégation aux risques majeurs du ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

L'accélération gravitationnelle est de  $1.1 \text{ m/s}^2$ .

L'ouvrage est de catégorie d'importance II, soit un coefficient d'importance de 1.

Le coefficient de sol est de 1.35, compte-tenu que nous sommes sur un sol de classe B.

## 5. ANALYSE ET RECOMMANDATIONS POUR LES TERRASSEMENTS ET LES PLATES-FORMES

### 5.1 Recommandations générales

- L'ensemble des terrassements doit être réalisé conformément au Guide Technique pour la Réalisation des Remblais et des Couches de Formes.
- La terre végétale sera décapée et stockée sur site pour réutilisation sur les espaces verts.
- Les plates-formes seront fermées avant chaque période de pluie et chaque arrêt de chantier.
- Les fonds de forme seront pentés dans la mesure du possible et l'eau évacuée dans des fossés provisoires ou définitifs.
- Les réseaux naturels des fossés seront réaménagés avant les opérations de terrassement.
- On adaptera la profondeur du décaissement en fonction de la cote projet et de l'épaisseur de l'ensemble remblais - couche de forme.

### 5.2 Terrassements

La réalisation d'opérations de déblai / remblai sera à priori nécessaire sur une hauteur d'ordre métrique à infra-métrique afin de caler la plate-forme bâtiment à la cote voulue.

#### 5.2.1 Nature et réutilisation des matériaux

Les matériaux de surface du site, mis à jour par les terrassements, seront :

- des matériaux de remblais récents, restant à identifier au moment des travaux, des graves argilo-sableuses de surface (couleur rouge) C1B5 à C1A1,
- des graves sableuses plus en profondeur (couleur beige) D3.

Les matériaux de remblai devront faire l'objet d'analyses pour vérifier leurs conditions de ré-emploi. Les matériaux impropres (végétaux, plâtres éventuels...) seront éliminés.

Les graves sableuses D3 sont insensibles à l'eau et sont les meilleurs matériaux pour réemploi en remblai et couche de forme.

Les matériaux C1A1/C1B5 à l'état hydrique sec sont réutilisables en remblais avec un compactage intense et une humidification.

Les matériaux C1A1/C1B5 à l'état hydrique très sec ne sont pas réutilisables en l'état mais peuvent être ramenés à un état sec ou moyen par humidification.

Les matériaux C1A1/C1B5 sont réutilisables en couche de forme, avec un traitement au liant hydraulique et l'application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté. Une humidification est nécessaire pour les matériaux à l'état hydrique sec à très sec.

Un traitement à la chaux est nécessaire pour les matériaux à l'état hydrique humide.

Il est déconseillé de travailler l'hiver. Tout épisode pluvieux engendrera l'arrêt du chantier.

### 5.2.2 Faisabilité d'un traitement

Les résultats des analyses chimiques effectuées en phase G2 AVP indiquent que les taux en sulfate sont admissibles pour un traitement à la chaux des matériaux gravo-argileux rouges du site.

Sur la base de l'essai Proctor réalisé sur les graves argilo-sableuses rouges (teneur en eau OPN = 14.5%), nous proposons le tableau de préconisations suivant en termes de dosages de traitement à la chaux :

<b>Teneur en eau (fraction 0/20 mm)</b>	< 8.7 %	8.7 à 13 %	13 à 16 %	16 à 18.1 %	> 18.1%
<b>État hydrique</b>	Très sec	Sec	Moyen	Humide	Très humide
<b>Dosage (remblai) &gt; CaO</b>	-	-	0 à 1 %	1 à 2 %	-
<b>Dosage (C.D.F.) &gt; CaO &gt; Ciment</b>	-	-	0 à 1 % 5 %	1 à 2 % 5 %	-

Les résultats des essais CBR immergé traités à la chaux donnent des indices de gonflement faibles (< 5%). Sur ce critère, le traitement à la chaux de ces matériaux est donc envisageable.

La chaux sera utilisée pour réduire la teneur en eau des matériaux, pour faciliter leur mise en œuvre et pour obtenir les compacités souhaitées, lors de la réalisation des travaux, si les états hydriques sont devenus humides en raison de conditions météorologiques défavorables.

Les essais CBR immergés traités ont été réalisés après humidification des matériaux, afin de simuler des conditions automnales avec nécessité d'un traitement à la chaux ou ajout d'eau lors du traitement au ciment. L'ajout de chaux seule (dosage 2 %) ou de ciment seul (dosage 5 %) augmente les capacités portantes du matériau, par rapport à l'état naturel. Après immersion, la teneur en eau augmente et la capacité portante est améliorée. Le gonflement du matériau est faible.

Les traitements à la chaux seule et au ciment seul sont adaptés sur ce type de matériaux, cependant, il sera nécessaire de réaliser une étude de traitement complète en phase G3 avant démarrage du chantier afin de vérifier les teneurs optimales avec le liant qui sera proposé par l'entreprise.

En cours de chantier, des dosages de sulfates devront être réalisés sur les matériaux à traiter à la chaux.

Il sera nécessaire de protéger les plates-formes traitées des arrivées d'eau, par fermeture immédiatement après le traitement à l'aide de compacteurs ou par enduit pour les protéger des intempéries (enduit de cure gravillonné éventuellement clouté).

### **5.2.3 Classe de l'arase terrassement**

Après élimination de la terre végétale, les matériaux naturels de surface en l'état actuel permettront d'atteindre de bonnes portances au moment de la mise en œuvre de la couche de forme.

Cependant, les graves argilo-sableuses rouges sont des matériaux très sensibles à l'eau. Leur état hydrique pourra varier rapidement en fonction des conditions météorologiques.

Il est nécessaire de vérifier une portance (EV2) de 30 MPa au minimum en arase dans tous les cas, même sous la future couche de forme des zones de déblais. Des purges avec substitution ou des traitements des arases pourront s'avérer nécessaires en cas de pluie.

Les fonds de forme seront pentés dans la mesure du possible et l'eau sera évacuée dans des fossés provisoires ou définitifs.

**Au droit des zones récemment remblayées, nous conseillons soit de purger les matériaux, soit de vérifier la portance par essais pénétrométriques pour vérifier leur compacité sur l'épaisseur mise en œuvre.**

**Si les résultats montrent un compactage correct, ces matériaux pourront éventuellement être laissés en place. Dans le cas contraire une solution de recompactage de ces matériaux par couches successives pourrait être envisagée, sous réserve de les identifier au préalable**

**Nous restons à la disposition du client pour effectuer cette prestation complémentaire si besoin.**

### **5.3 Couche de forme bâtiment et voiries**

Une couche de forme sera mise en œuvre sous les voiries et sous le dallage bâtiment. Sur une PST2 / AR1 (EV2 > 30 MPa en arase) et pour un objectif de plateforme de classe PF2+, il sera nécessaire de mettre en œuvre :

- soit une couche de 0.35 m de matériaux de graves argilo-sableuses rouges du site, traités au liant hydraulique éventuellement associé à de la chaux au droit des bâtiments et des voiries PL ;
- soit une couche de forme en matériaux granulaires d'apport de qualité D3 ou des matériaux gravelo-sableux beige D3 du site, sur 0.50 m d'épaisseur.

Au droit des voiries lourdes, l'épaisseur de couche de forme pourra être épaissie si nécessaire pour garantir la mise hors gel en fonction de la structure de chaussée retenue.

Ces solutions permettront d'obtenir les critères de réception par essais à la plaque suivants :

- portance sous dallage :

EV2 > 70 MPa sur matériaux granulaires,

EV2 > 100 MPa, sur matériaux traités

Coefficient de Westergaard Kw > 60 MPa/m



- portance sous voiries PL:

EV2 > 80 MPa,

EV2 / EV1 < 2,2 sur matériaux granulaires

- portance sous voiries et parkings VL :

EV2 > 60 MPa,

EV2 / EV1 < 2,2 sur matériaux granulaires

#### **5.4 Stabilité des talus**

En phase provisoire, les talus en déblais et en remblais peuvent être taillés à 1 (horizontal) pour 1 (vertical) pour une hauteur maximale de 2 m et seront recouverts d'un polyane pour éviter une érosion régressive en cas de fortes pluies.

Les talus de déblai définitifs de hauteur inférieure à 2 m pourront être réalisés avec une pente de 3 (horizontal) pour 2 (vertical) dans les matériaux du site.

Une étude de stabilité est nécessaire en phase d'exécution pour les talus supérieurs à 2 m ou pour raidir les talus mentionnés ci-dessus.

Tous les talus devront faire l'objet d'une végétalisation (terre végétale + semis) et être aménagés avec descentes d'eau et fossés. De plus, si des arrivées d'eau sont mises en évidence lors de la réalisation des talus, il conviendra de les capter par un système d'épis drainants, raccordés au fossé de pied de talus et à un exutoire.

#### **5.5 Pré dimensionnement des voiries lourdes**

Les structures de chaussées proposées ci-dessous pourront être optimisées par l'entreprise spécialisée sous réserve de vérifier la résistance au gel / dégel de l'ensemble couche de forme / structure de chaussée. Les choix de l'entreprise chargée des travaux devront être validés par le géotechnicien dans le cadre de sa mission G4 de suivi géotechnique des travaux.

Nous supposons la circulation de 20 PL/jour sans accroissement. Nous proposons la structure suivante, à mettre en place sur une PF2+ (80 MPa minimum) (logiciel Struct-Urb).

##### **5.5.1 Structure GB3**

- une couche de base de 8 cm de GB3,
- une couche de surface de 8 cm de type BBSG classe 2 au minimum.

##### **5.5.2 Vérification au gel-dégel**

Pour la structure envisagée en graves bitumes, sur une couche de forme en matériaux traités et un hiver rigoureux non exceptionnel, la structure sera hors gel pour une épaisseur minimale de couche de forme granulaire de 0.7 m.

Les calculs complets sont disponibles en annexe.

## 6. ANALYSE ET RECOMMANDATIONS POUR LES FONDATIONS

La justification des fondations est donnée ci-dessous selon le D.T.U 13.12 (fondations superficielles).

### 6.1 Types de fondations

Au regard des caractéristiques mécaniques issues des essais pressiométriques et pénétrométriques, nous constatons que les terrains de surface (hors remblais récemment mis en oeuvre) sont portants. Des fondations superficielles (voir semi-profondes en fonction de l'épaisseur des remblais) seront adaptées au terrain. Nous conseillons de descendre les semelles sur les graves sableuses beiges, atteintes en moyenne à 1 m de profondeur par rapport au niveau de la plate-forme avec un approfondissement à prévoir au niveau des zones remblayées.

Dans tous les cas, les fondations seront descendues à 0.7 m de profondeur minimum sous le niveau fini de la plate-forme (cote hors gel).

Localement, si des matériaux mous ou des remblais décompactés sont rencontrés en fond de fouille, ils devront être purgés et remplacés par des gros bétons.

Pour des raisons de stabilité, la largeur de ces semelles ne pourra être inférieure à 0.4 m et sera suffisante pour limiter les contraintes sous celles-ci.

### 6.2 Calcul de la capacité portante

La contrainte de rupture est donnée sous une charge verticale centrée par :

$$q_l = k_p \cdot P_{le}^* \times i_{\delta\beta} + q_0$$

avec :

- $k_p$  : facteur de portance géométrique
- $P_{le}^*$  : pression limite nette équivalente calculée comme la moyenne des pressions limites nettes existant sur une profondeur égale à 1.5 x la largeur de la fondation sous celle-ci, limitée à 1.5 x la valeur minimale de  $P_{le}$  sur cet intervalle (MPa).
- $q_0$  : contrainte totale verticale au niveau de la base de la fondation, ici négligeable.
- $i_{\delta\beta}$  : est un coefficient minorateur qui tient compte de l'inclinaison des charges et de la géométrie du terrain sous la semelle.

On vérifiera pour chaque combinaison d'action la relation :

$$q_{ref} \leq 1/\gamma_q \cdot k_p \cdot P_{le}^* \times i_{\delta\beta} + q_0$$

- avec :
- $\gamma_q = 2$  à ELU
  - $\gamma_q = 3$  à ELS

Au droit du projet, les contraintes admissibles ( $q_{ref}$ ) par le sol seront limitées à **0.30 MPa à l'ELS** et 0.45 MPa à l'ELU, à 1 m de profondeur en moyenne sous le terrain naturel actuel, et plus profondément au droit des zones remblayées

### 6.3 Calcul des tassements au droit des appuis

Les tassements sont donnés par :  $s = s_c + s_d$

où  $s_c$  est le tassement volumique et  $s_d$  le tassement déviatorique :

$$s_c = \frac{\alpha}{9.E_s} (q - \sigma'_{v0}).l_c.B$$
$$s_d = \frac{2}{9.E_d} (q - \sigma'_{v0}).B_o \left( L_d \cdot \frac{B}{B_o} \right)^\alpha$$

avec :

- $\alpha$  : coefficient rhéologique dépendant de la nature et de la structure du sol,
- $E_s$  : module pressiométrique équivalent dans la zone volumique (MPa),
- $E_d$  : module pressiométrique équivalent dans la zone déviatorique (MPa),
- $B$  : largeur de la fondation (m) et  $B_o$  = dimension de référence égale à 0.6 m,
- $q$  : contrainte verticale appliquée au sol par la fondation (MPa),
- $\sigma'_{v0}$  : contrainte verticale totale, à la base de la fondation avant travaux (MPa),
- $l_c, L_d$  : coefficients de forme.

Les tassements absolus sous appuis, dans les conditions précédemment citées, seront inférieurs au centimètre pour des charges ponctuelles jusqu'à 50 tonnes.

### 6.4 Dispositions constructives

- Les fouilles devront être réalisées en période sèche et assainie. Toute venue d'eau dans les fouilles et en fond d'excavation sera éliminée par pompage. Les fonds de fouille devront être recompactés avant la réalisation des fondations ou des dallages.
- Les bords de fouille devront être élargis ou soutenus pendant les travaux.
- Le drainage des fondations pourra être réalisé avec mise en œuvre de matériaux compactés sains, et évacuation des eaux de drainage par pompage ou méthode gravitaire.
- Les fondations seront maintenues hors gel.

## 7. ANALYSE ET RECOMMANDATIONS POUR LES DALLAGES

### 7.1 Tassements sous les dallages

Les tassements sous les dallages ( $W$ ) sont calculés à l'aide des formules :

$$W = \sum_i W_i$$

et

$$W_i = \frac{\alpha_i \cdot h_i (q' - \sigma'_{v0})}{E_{hi}}$$

avec :

- $\alpha_i$  : coefficient rhéologique fonction de la nature de la couche i
- $h_i$  : épaisseur de la couche i (m)
- $q'$  : surcharge (kPa)
- $\sigma'_{vo}$  : contrainte effective verticale calculée avant travaux (kPa)
- $E_{hi}$  : module pressiométrique harmonique de la couche i (MPa)

Pour une surcharge répartie de 3 t/m<sup>2</sup> au droit des bâtiments et sous réserve de vérifier que les matériaux récemment mis en remblai au droit du site ne sont pas sous la plateforme bâtiment, on obtient des tassements absolus inférieurs à 1 centimètre, ce qui est admissible pour ce type d'ouvrage.

## 7.2 Paramètres pour le dimensionnement des dallages

Les essais pressiométriques réalisés permettent de déterminer les modules de déformation des sols supports en vue de l'application du DTU 13.3, pour permettre le calcul des déformations des dallages et l'optimisation de leur dimensionnement. Le tableau ci-après présente les modules de déformation que nous proposons de retenir pour les horizons du sol support des dallages.

	Couche de forme	Graves limono-sableuses rouges	Graves sableuses beiges
Module de déformation moyen	63 MPa (*)	12 MPa	50 MPa
Epaisseur moyenne de la couche	0.35 ou 0.5 m	< 1.5 m	> 5 m

(\*) : Formule utilisée :  $E_s = 0.9 \times EV_2$

Fait à Rillieux-la-Pape, le 13 novembre 2019

**Chargée d'affaires**  
**Fabien PEYRAL**

**Responsable d'agence**  
**Josiane SANCHEZ**



## **ANNEXES**

- Annexe 1 : Qualifications générales
- Annexe 2 : Classification des missions géotechniques types
- Annexe 3 : Plan d'implantation des sondages
- Annexe 4 : Résultats des sondages
- Annexe 5 : Essais en laboratoire
- Annexe 6 : Calculs de la structure de voirie
- Annexe 7 : Calcul de tassement sous fondation

## **Annexe 1 : Qualifications générales**

Ce rapport a été préparé afin d'aider à définir les propriétés du sol au droit du projet et d'assister l'ingénieur à projeter les fondations de l'ouvrage en fonction des caractéristiques des horizons géotechniques.

La définition du sol permettra le dimensionnement de ces fondations en fonction de la solution ou du procédé retenu et des conditions d'exécution des travaux.

Le but de ce rapport est limité au projet et à la localisation décrite ci-avant. Notre description du projet image notre compréhension des aspects techniques, des caractéristiques du sol et des ouvrages.

Dans le cas d'une modification du projet et des solutions proposées, nous devrions en être informés afin de revoir ces nouvelles dispositions et de modifier et approuver à nouveau les conclusions de ce rapport.

Nous recommandons que toutes les opérations de construction en relation avec les terrassements et les fondations soient inspectées par un ingénieur géotechnicien afin d'assurer que les dispositions constructives soient totalement accomplies pendant les travaux.

L'analyse et les recommandations soumises dans ce rapport sont basées sur les résultats obtenus à partir des sondages dont l'emplacement est indiqué sur le plan d'implantation joint en annexe, et sur toutes les informations données dans ce rapport.

Ce rapport ne tient pas compte des variations entre sondages.

## **Annexe 2 : Conditions générales des missions d'ingénierie géotechnique (version novembre 2013)**

### **1. Cadre de la mission**

Par référence à la norme NF P 94-500 sur les missions d'ingénierie géotechnique (en particulier extrait de 2 pages du chapitre 4 joint à toute offre et à tout rapport), il appartient au maître d'ouvrage et à son maître d'œuvre de veiller à ce que toutes les missions d'ingénierie géotechnique nécessaires à la conception puis à l'exécution de l'ouvrage soient engagées avec les moyens opportuns et confiées à des hommes de l'Art.

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique suit la succession des phases d'élaboration du projet, chacune de ces missions ne couvrant qu'un domaine spécifique de la conception ou de l'exécution.

En particulier :

- Les missions d'études géotechniques préalables (étude de site G1 ES, étude des Principes Généraux de Construction G1 PGC), Les missions d'études géotechniques de conception (étude d'avant-projet G2 AVP, étude de projet G2 PRO et étude G2 DCE/ACT), Les missions étude et suivi géotechniques d'exécution (G3), de supervision géotechnique d'exécution (G4) sont réalisées dans l'ordre successif.
- Exceptionnellement, une mission confiée à notre société peut ne contenir qu'une partie des prestations décrites dans la mission type correspondante après accord explicite, le client confiant obligatoirement le complément de la mission à un autre prestataire spécialisé en ingénierie géotechnique.
- L'exécution d'investigations géotechniques engage notre société uniquement sur la conformité des travaux exécutés à ceux contractuellement commandés et sur l'exactitude des résultats qu'elle fournit.
- Toute mission d'ingénierie géotechnique n'engage notre société sur son devoir de conseil que dans le cadre strict, d'une part, des objectifs explicitement définis dans notre proposition technique sur la base de laquelle la commande et ses avenants éventuels ont été établis, d'autre part, du projet du client décrit par les documents graphiques ou plans cités dans le rapport.
- Toute mission d'étude géotechnique préalable G1 phase ES ou PGC, d'étude géotechnique de conception G2 AVP, ou de diagnostic géotechnique exclut tout engagement de notre société sur les quantités, coûts et délais d'exécution des futurs ouvrages géotechniques. De convention expresse, la responsabilité de notre société ne peut être engagée que dans l'hypothèse où la mission suivante d'étude géotechnique de projet lui est confiée.
- Une mission d'étude géotechnique de conception G2 AVP, de projet G2 PRO et G2 DCE/ACT engage notre société en tant qu'assistant technique à la maîtrise d'œuvre dans les limites du contrat fixant l'étendue de la mission et la (ou les) partie(s) d'ouvrage(s) concerné(s).

La responsabilité de notre société ne saurait être engagée en dehors du cadre de la mission d'ingénierie géotechnique objet du rapport. En particulier, toute modification apportée au projet ou à son environnement nécessite la réactualisation du rapport géotechnique dans le cadre d'une nouvelle mission.

## **2. Recommandations**

Il est précisé que l'étude géotechnique repose sur une investigation du sol dont la maille ne permet pas de lever la totalité des aléas toujours possibles en milieu naturel. En effet, des hétérogénéités, naturelles ou du fait de l'homme, des discontinuités et des aléas d'exécution peuvent apparaître compte tenu du rapport entre le volume échantillonné ou testé et le volume sollicité par l'ouvrage, et ce d'autant plus que ces singularités éventuelles peuvent être limitées en extension. Les éléments géotechniques nouveaux mis en évidence lors de l'exécution, pouvant avoir une influence sur les conclusions du rapport, doivent immédiatement être signalés à l'ingénierie géotechnique chargée de l'étude et suivi géotechniques d'exécution (mission G3) afin qu'elle en analyse les conséquences sur les conditions d'exécution voire la conception de l'ouvrage géotechnique.

Si un caractère évolutif particulier a été mis en lumière (notamment glissement, érosion, dissolution, remblais évolutifs, tourbe), l'application des recommandations du rapport nécessite une validation à chaque étape suivante de la conception ou de l'exécution. En effet, un tel caractère évolutif peut remettre en cause ces recommandations notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant leur mise en œuvre.

## **3. Rapport de la mission**

Le rapport géotechnique constitue le compte-rendu de la mission d'ingénierie géotechnique définie par la commande au titre de laquelle il a été établi et dont les références sont rappelées en tête. A défaut de clauses spécifiques contractuelles, la remise du rapport géotechnique fixe la fin de la mission.

Un rapport géotechnique et toutes ses annexes identifiées constituent un ensemble indissociable. Les deux exemplaires de référence en sont les deux originaux conservés : un par le client et le second par notre société. Dans ce cadre, toute autre interprétation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle ne saurait engager la responsabilité de notre société. En particulier l'utilisation même partielle de ces résultats et conclusions par un autre maître d'ouvrage ou par 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 et pourra entraîner des poursuites judiciaires.

Extrait de la norme NF P 94-500 révisée en novembre 2013.

## **4. Classification et enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique**

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

L'enchaînement et la définition synthétique des missions d'ingénierie géotechnique sont donnés dans les tableaux 1 et 2. Deux ingénieries géotechniques différentes doivent intervenir : la première pour le compte du Maître d'Ouvrage ou de son mandataire lors des étapes 1 à 3, la seconde pour le compte de l'entreprise lors de l'étape 3.



**Tableau 2 – Classification des missions types d'ingénierie géotechnique**

**EXTRAIT DE LA NORME NF P 94-500**

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

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

#### **ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)**

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

##### Phase Étude de Site (ES)

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

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

##### Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

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

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

#### **ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)**

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

##### Phase Avant-projet (AVP)

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

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

##### Phase Projet (PRO)

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

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

##### Phase DCE / ACT

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

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



### ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)

#### ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

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

##### Phase Étude

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

##### Phase Suivi

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

#### SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

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

##### Phase Supervision de l'étude d'exécution

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

##### Phase Supervision du suivi d'exécution

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

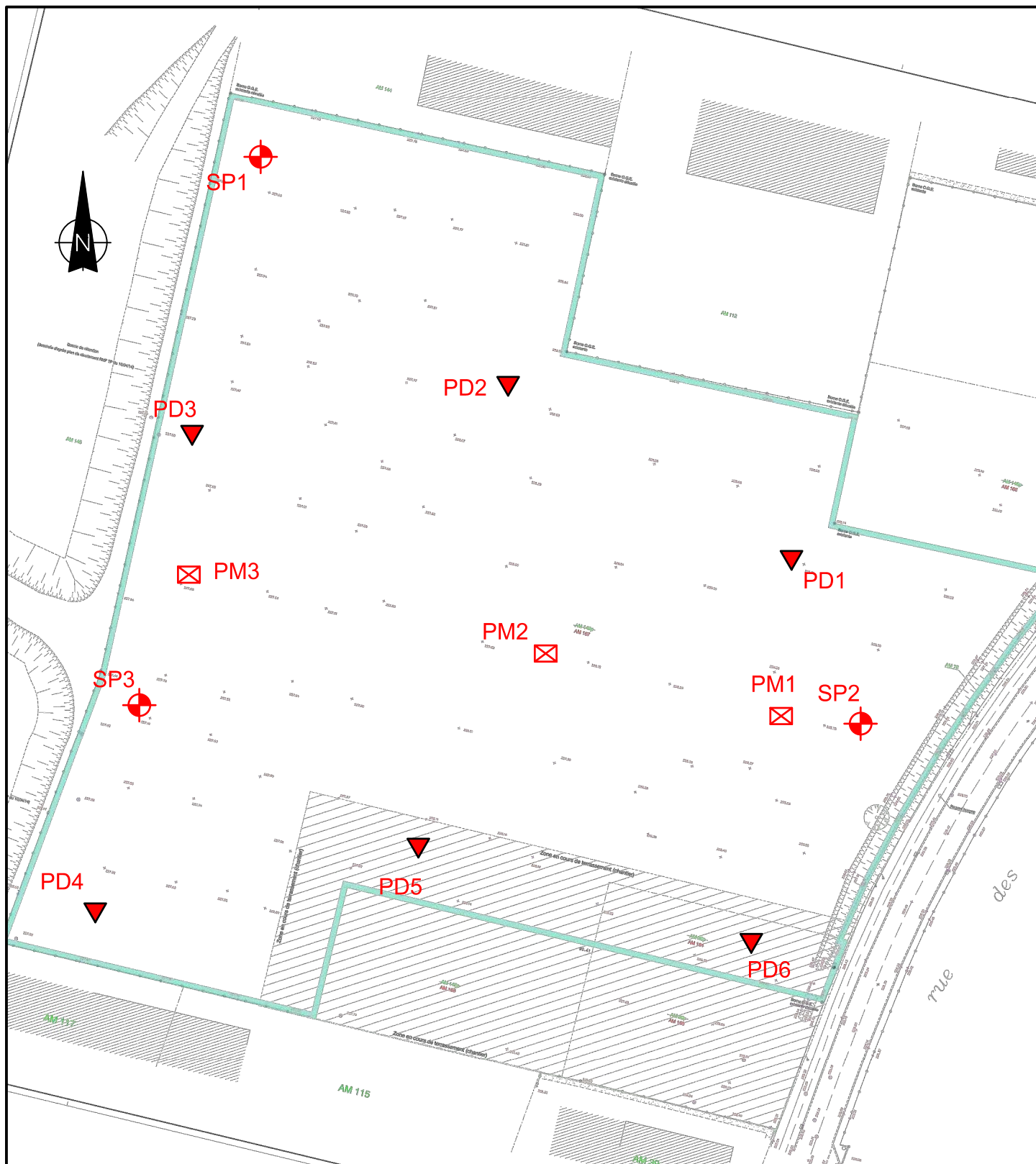
#### DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

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

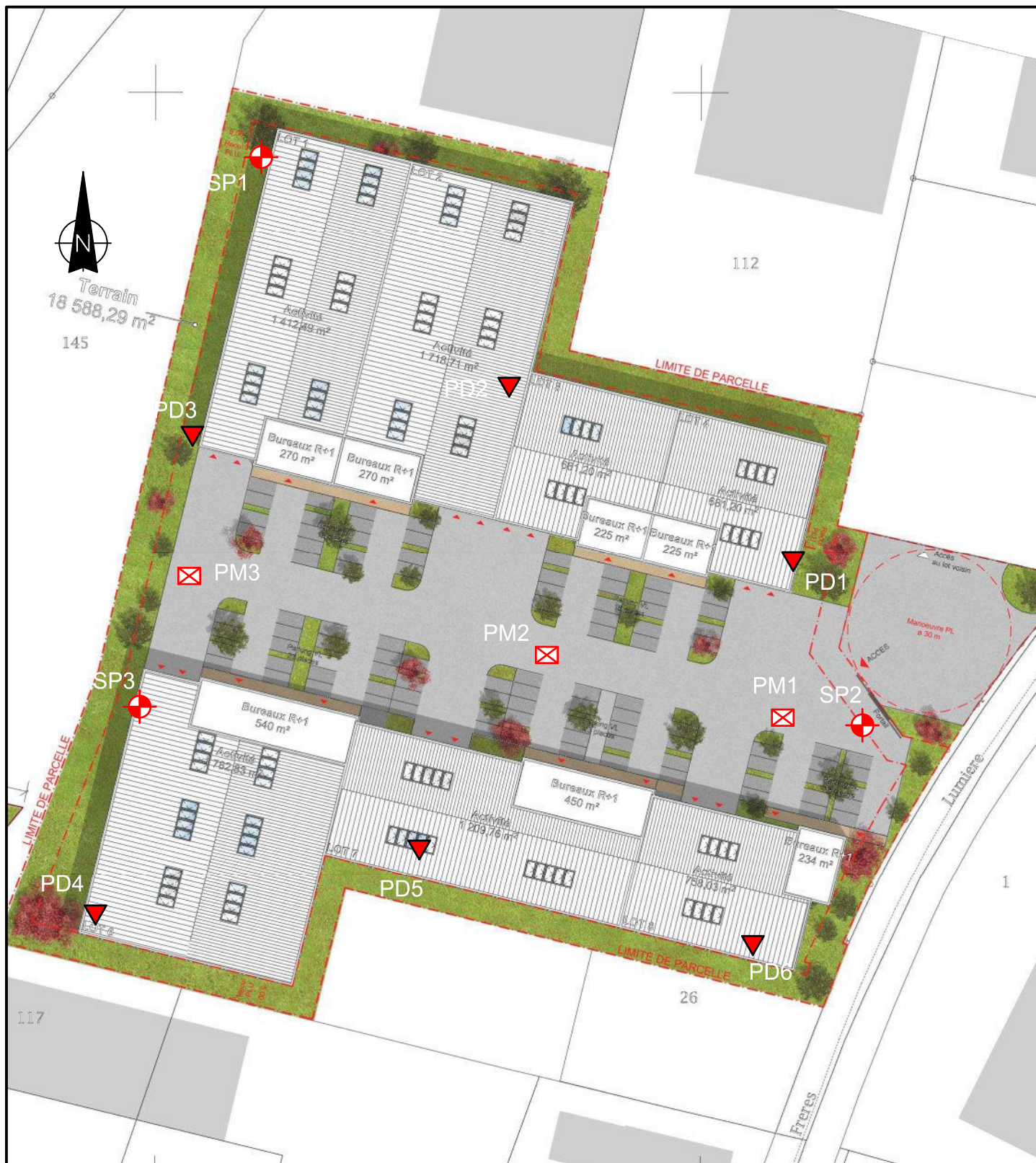
### **Annexe 3 : Plan d'implantation des sondages**






☒	3	PELLE	-
▼	6	PÉNÉTRIMÉTRIQUE	-
⊕	3	PRESSIOMÉTRIQUE	-
REP.	NB.	TYPE DE SONDAGE	DATE(S) D'EXÉCUTION DES SONDAGES

	ÉCHELLE 1 : 1000	ST BONNET DE MURE (69) PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES	31-10-19
	CLIENT : STONE HEDGE PROMOTION		ind 0
	A4	AFFAIRE N° 2019-09-251	plan 1



☒	3	PELLE	-
▼	6	PÉNÉTROMÉTRIQUE	-
⊕	3	PRESSIOMÉTRIQUE	-
REP.	NB.	TYPE DE SONDAGE	DATE(S) D'EXÉCUTION DES SONDAGES

 <b>GÉOtechnique</b> sciences de la terre sas <b>GEOTECHNIQUE SAS</b> 672 rue des Mercières - 69140 RILLIEUX LA PAPE Tél. 04 78 88 75 83 - contact69@geotechnique-sas.com	ÉCHELLE 1 : 1000	ST BONNET DE MURE (69) PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES	31-10-19
	CLIENT : STONE HEDGE PROMOTION		ind 0
	A4	<b>AFFAIRE N° 2019-09-251</b>	plan 1

## **Annexe 4 : Résultats des sondages**



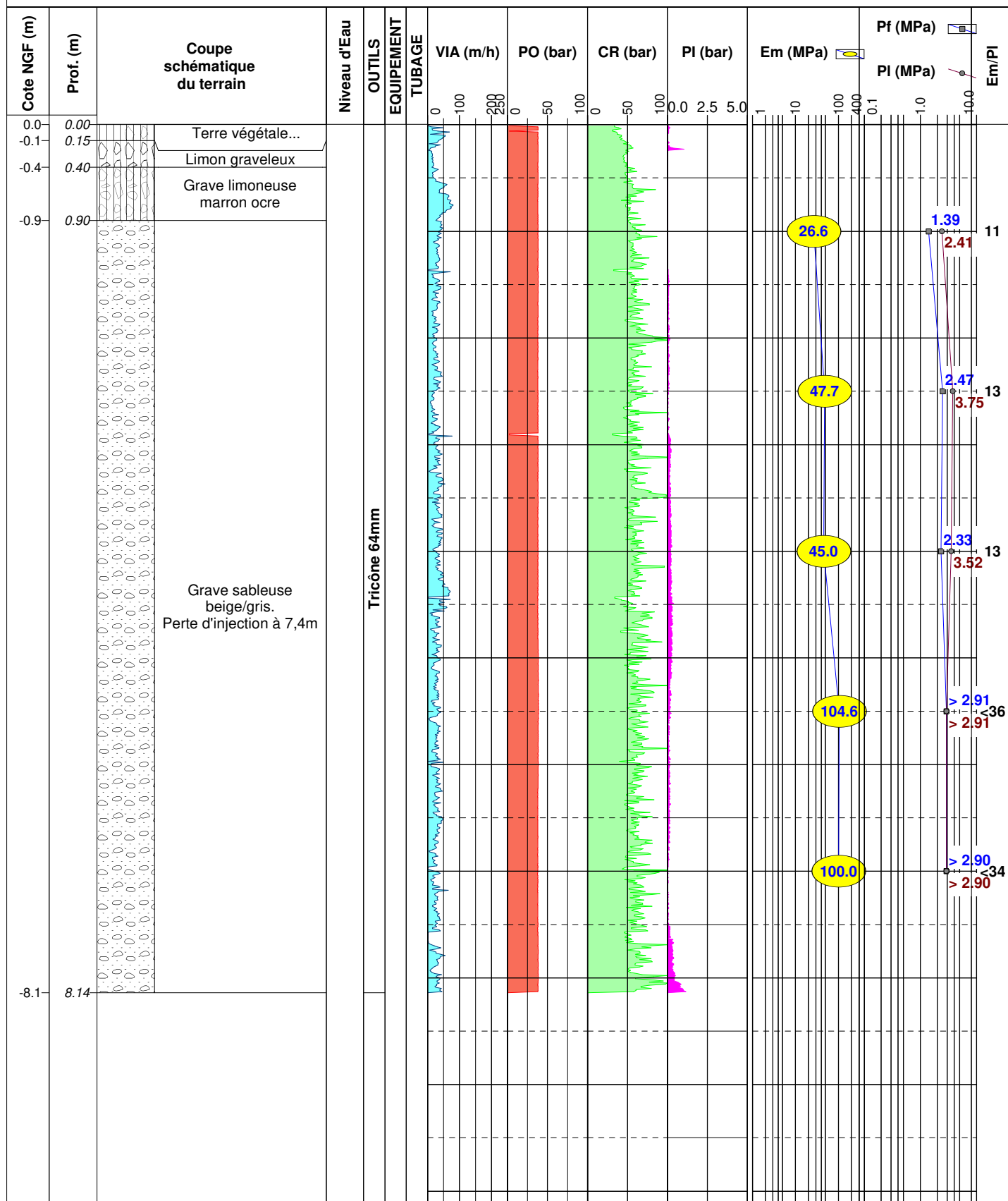
**Type :**

Machine : EMCI 450

Echelle : 1 / 50

*Remarque :*

Page: 1 / 1



**Type :**

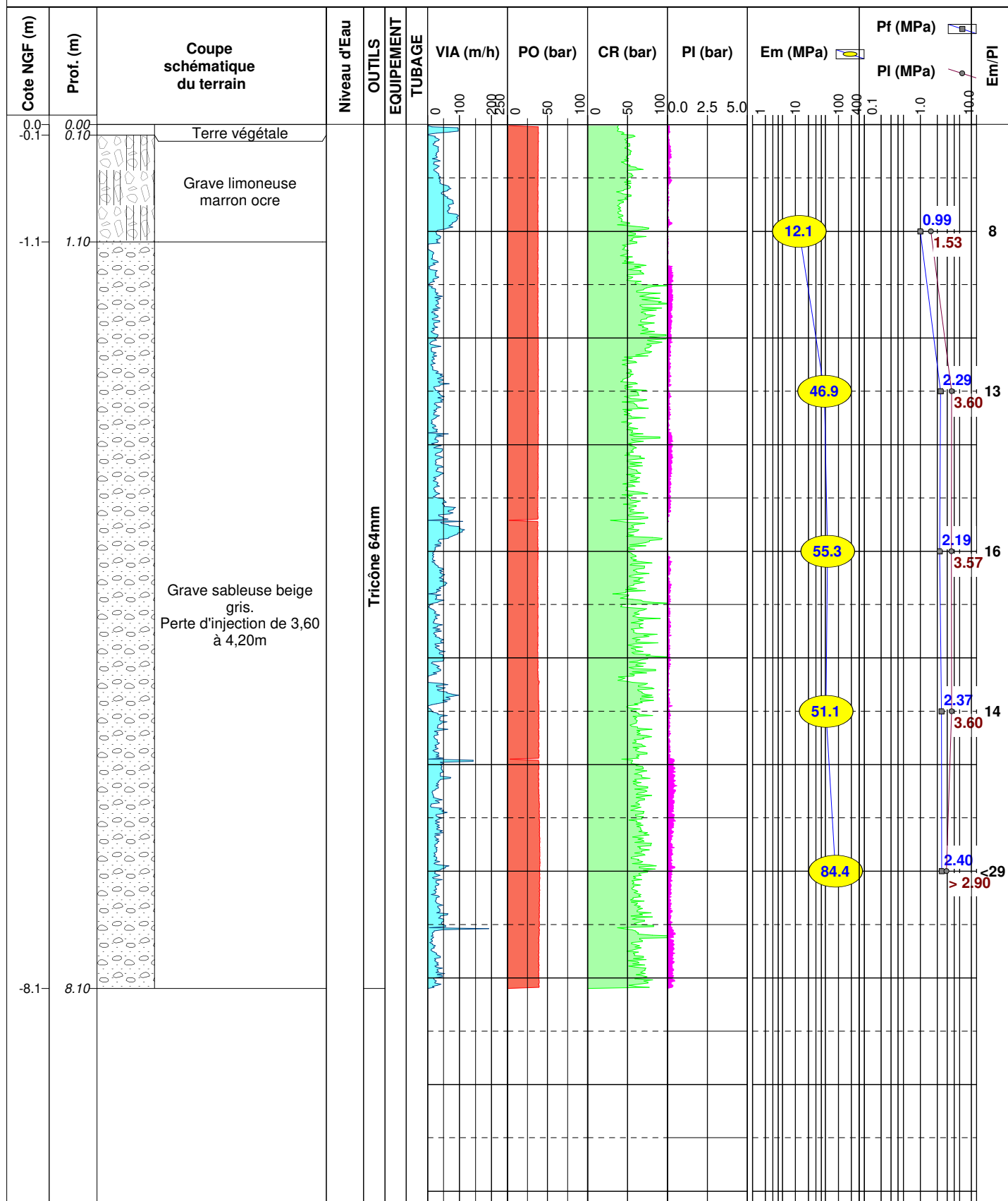
*Inclinaison :*

Echelle : 1 / 50

**Etude : St Bonnet de Mure**

*Remarque :*

Page: 1 / 1



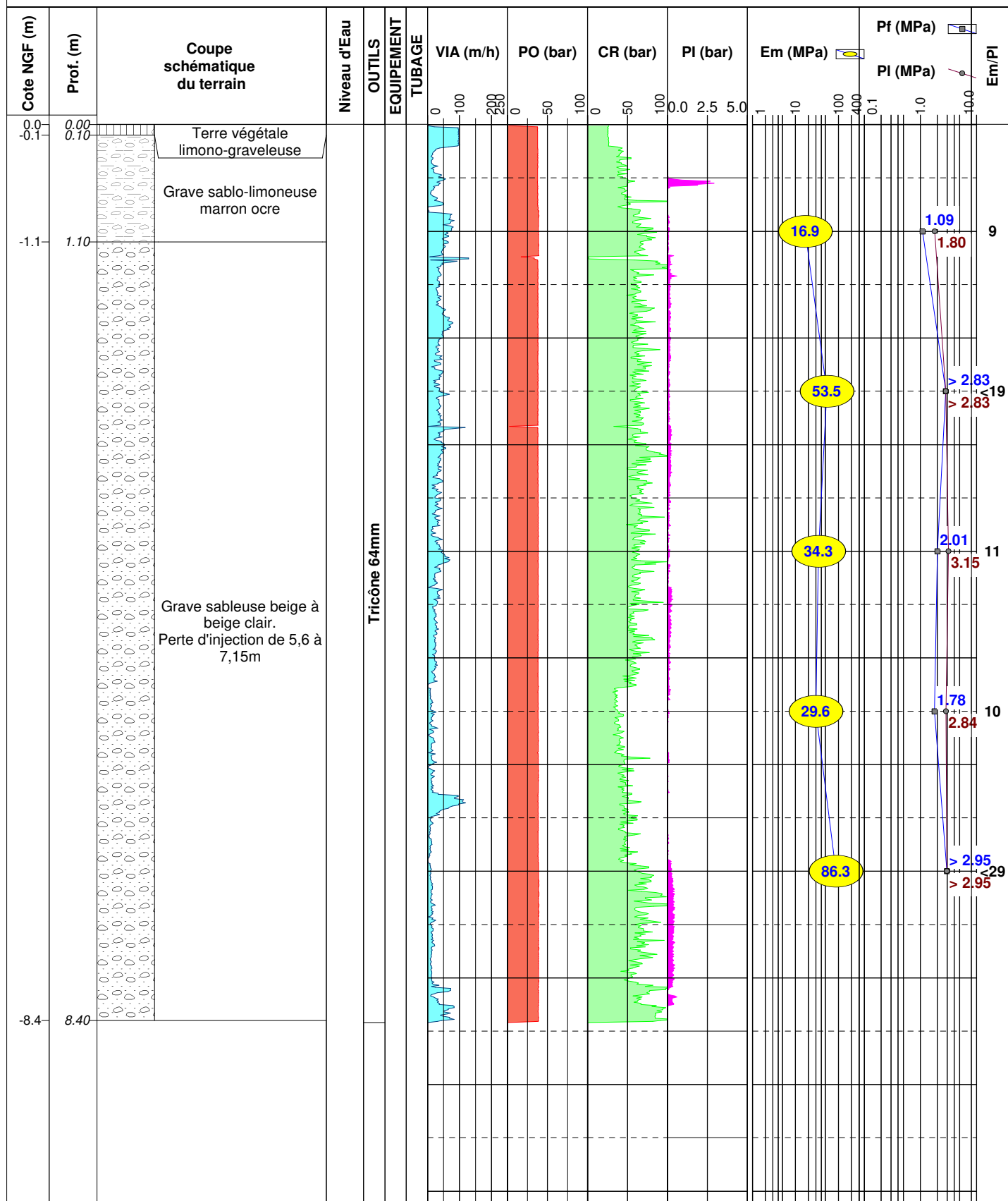
**Type :**

Machine : EMCI 450

Echelle : 1 / 50

*Remarque :*

Page: 1 / 1







**SONDAGE : PD1**

Type : **Pénétromètre dynamique**

X :

Y :

Z : 228,20 m

Inclinaison :

Machine : APAFOR

Date : 17/10/19

Début : 0,00 m

Fin : 6,19 m

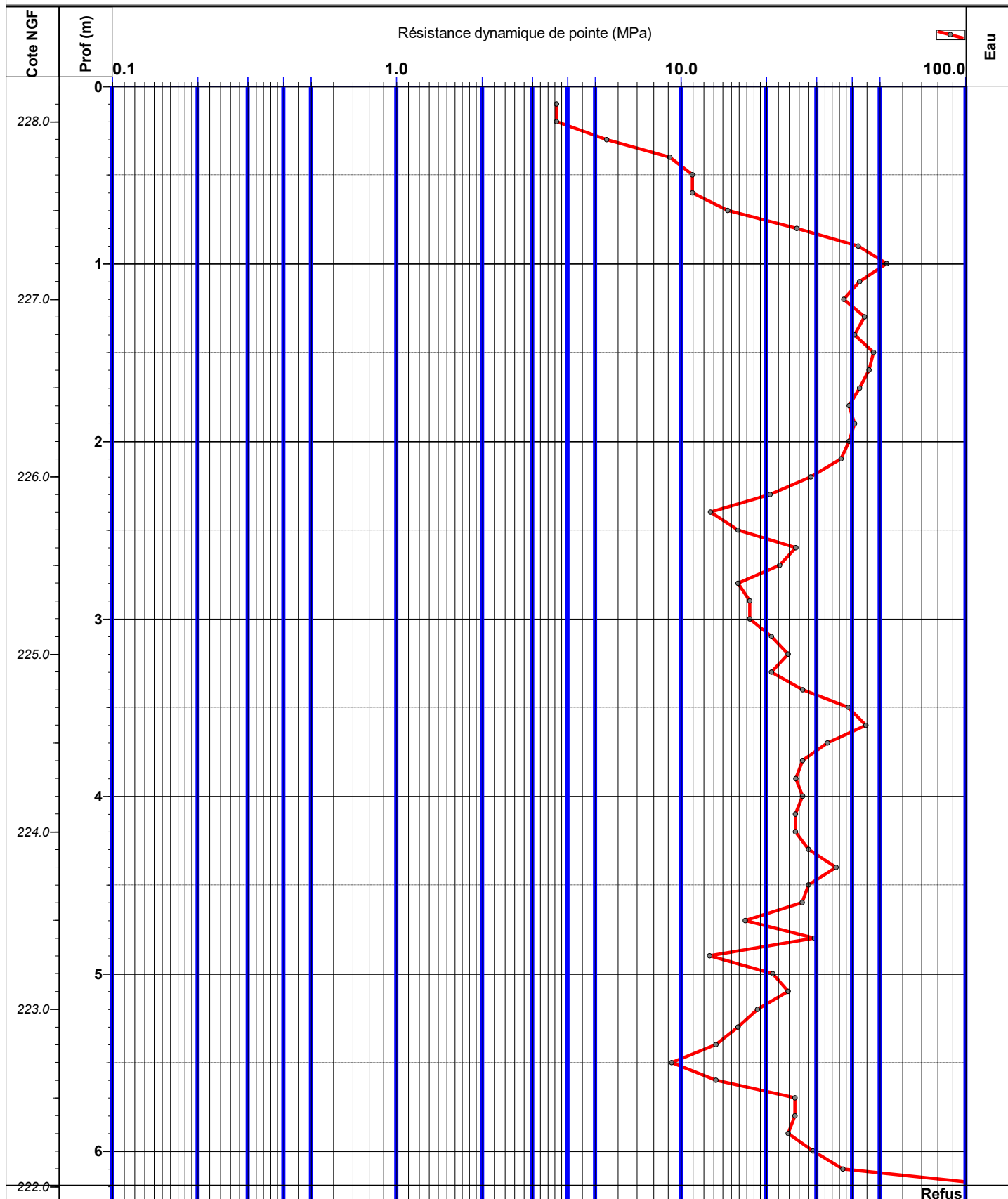
Echelle : 1 / 30

Client : **STONEHEDGE**

Etude : **SAINT BONNET DE MURE (69)**

Remarque :

Page: 1 / 1





**SONDAGE : PD2**

Type : **Pénétromètre dynamique**

X :

Y :

Z : 228,00 m

Inclinaison :

Machine : APAFOR

Date : 17/10/19

Début : 0,00 m

Fin : 2,39 m

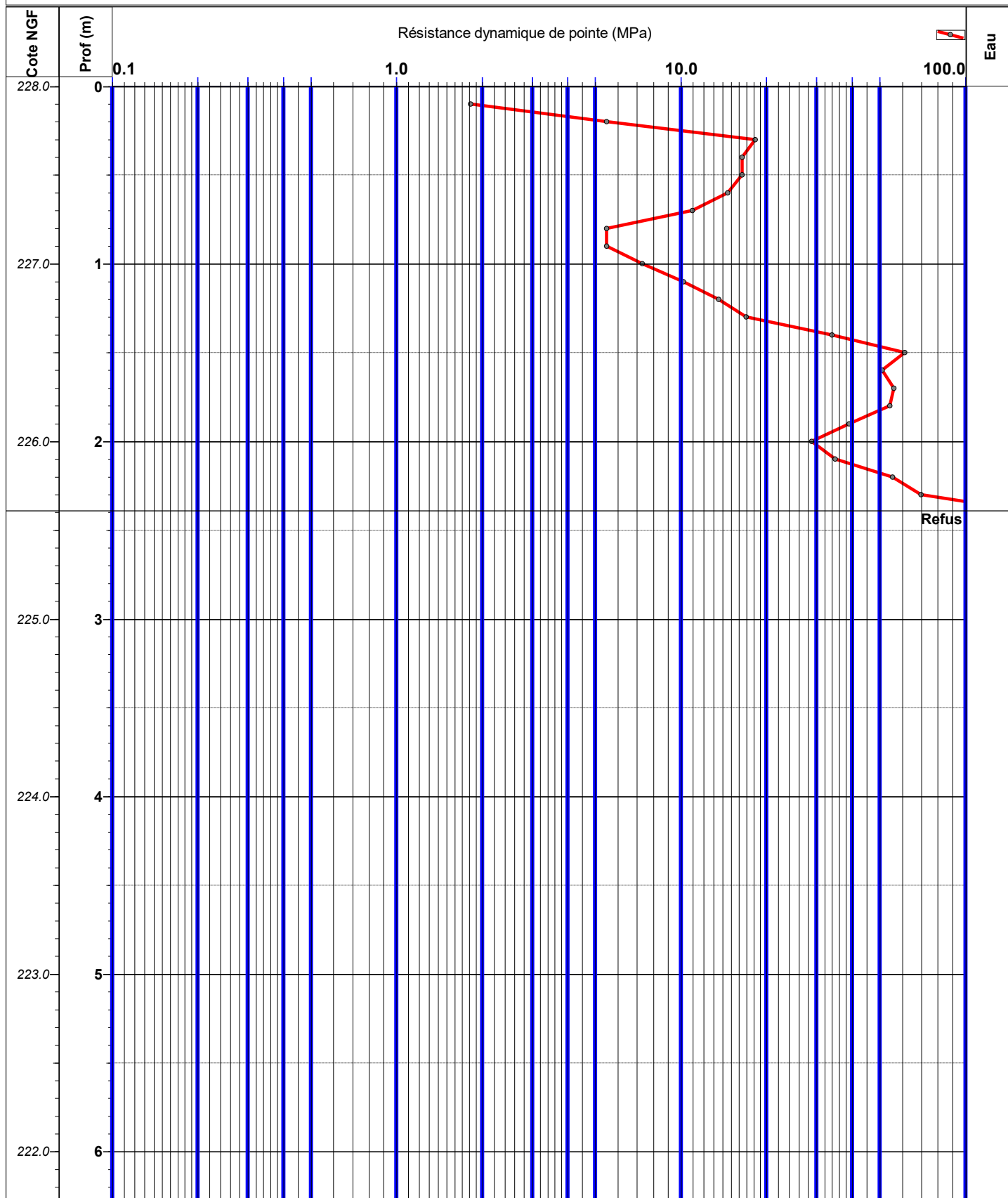
Echelle : 1 / 30

Client : **STONEHEDGE**

Etude : **SAINT BONNET DE MURE (69)**

Remarque :

Page: 1 / 1





**SONDAGE : PD3**

Type : **Pénétromètre dynamique**

X :

Y :

Z : 227,70 m

Inclinaison :

Machine : APAFOR

Date : 17/10/19

Début : 0,00 m

Fin : 4,90 m

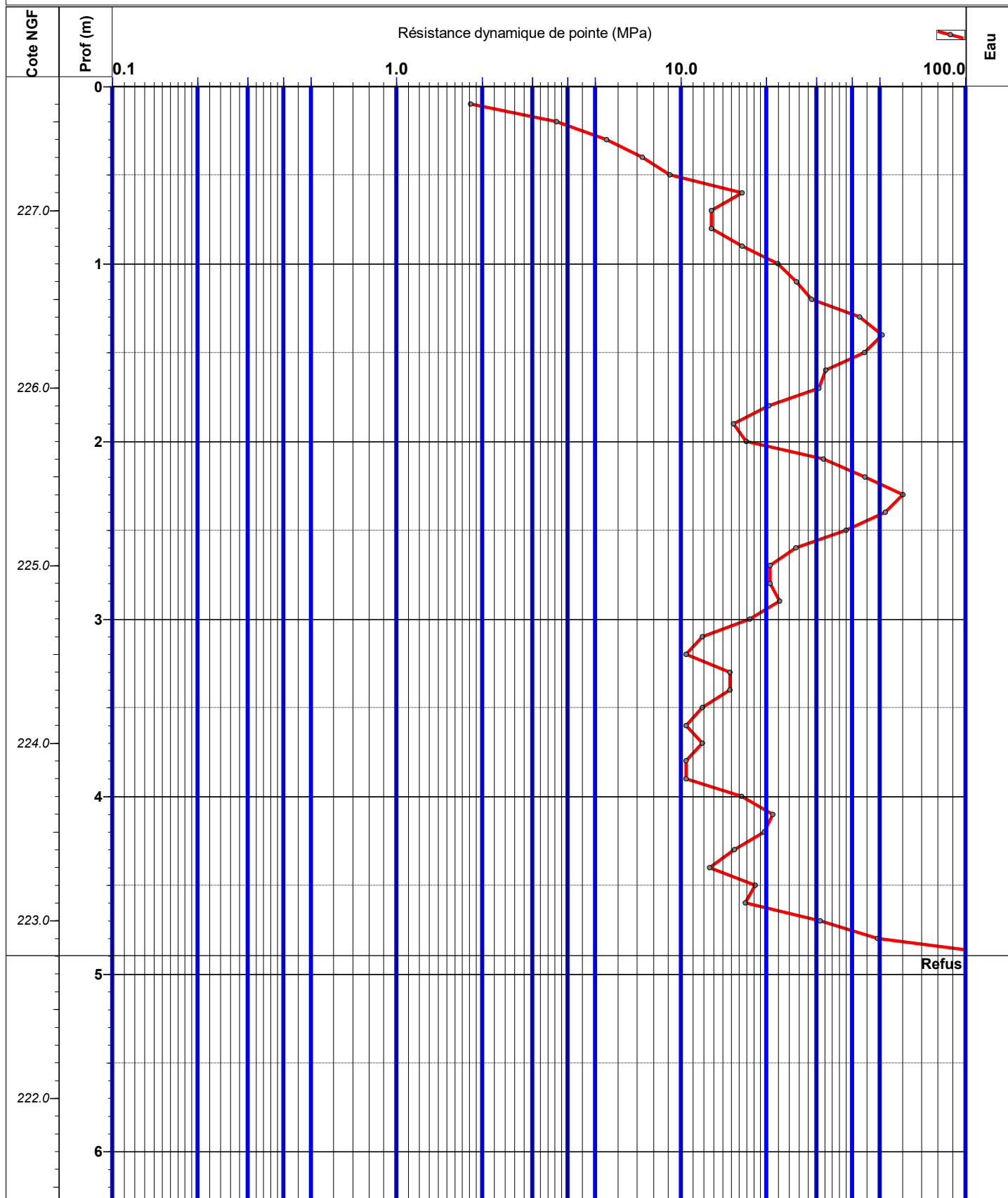
Echelle : 1 / 30

Client : **STONEHEDGE**

Etude : **SAINT BONNET DE MURE (69)**

Remarque :

Page: 1 / 1







**SONDAGE : PD4**

Type : **Pénétromètre dynamique**

X :

Y :

Z : 227,60 m

Inclinaison :

Machine : APAFOR

Date : 17/10/19

Début : 0,00 m

Fin : 1,25 m

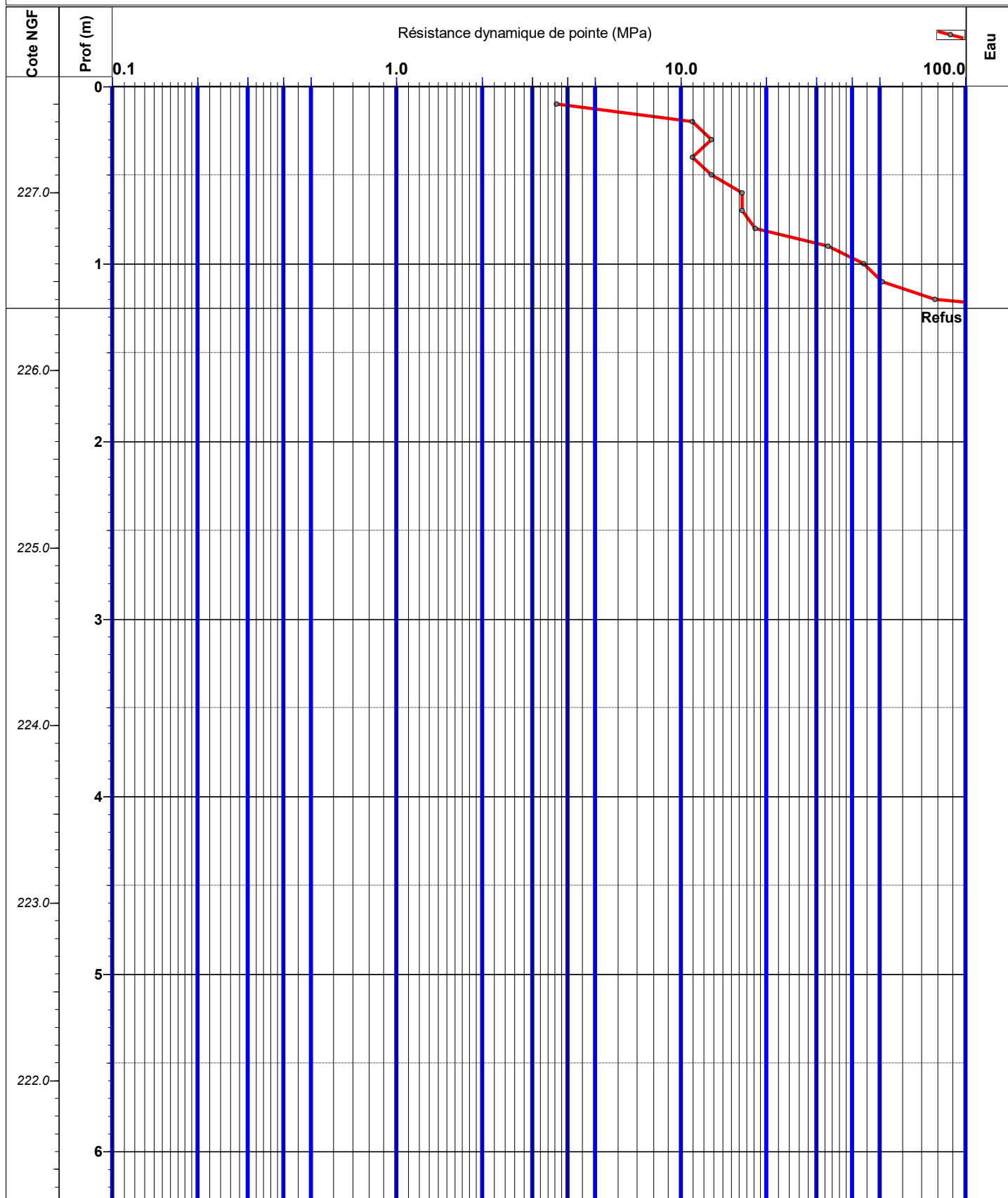
Echelle : 1 / 30

Client : **STONEHEDGE**

Etude : **SAINT BONNET DE MURE (69)**

Remarque :

Page: 1 / 1





**SONDAGE : PD5**

Type : **Pénétromètre dynamique**

X :

Y :

Z : 228,00 m

Inclinaison :

Machine : APAFOR

Date : 17/10/19

Début : 0,00 m

Fin : 5,70 m

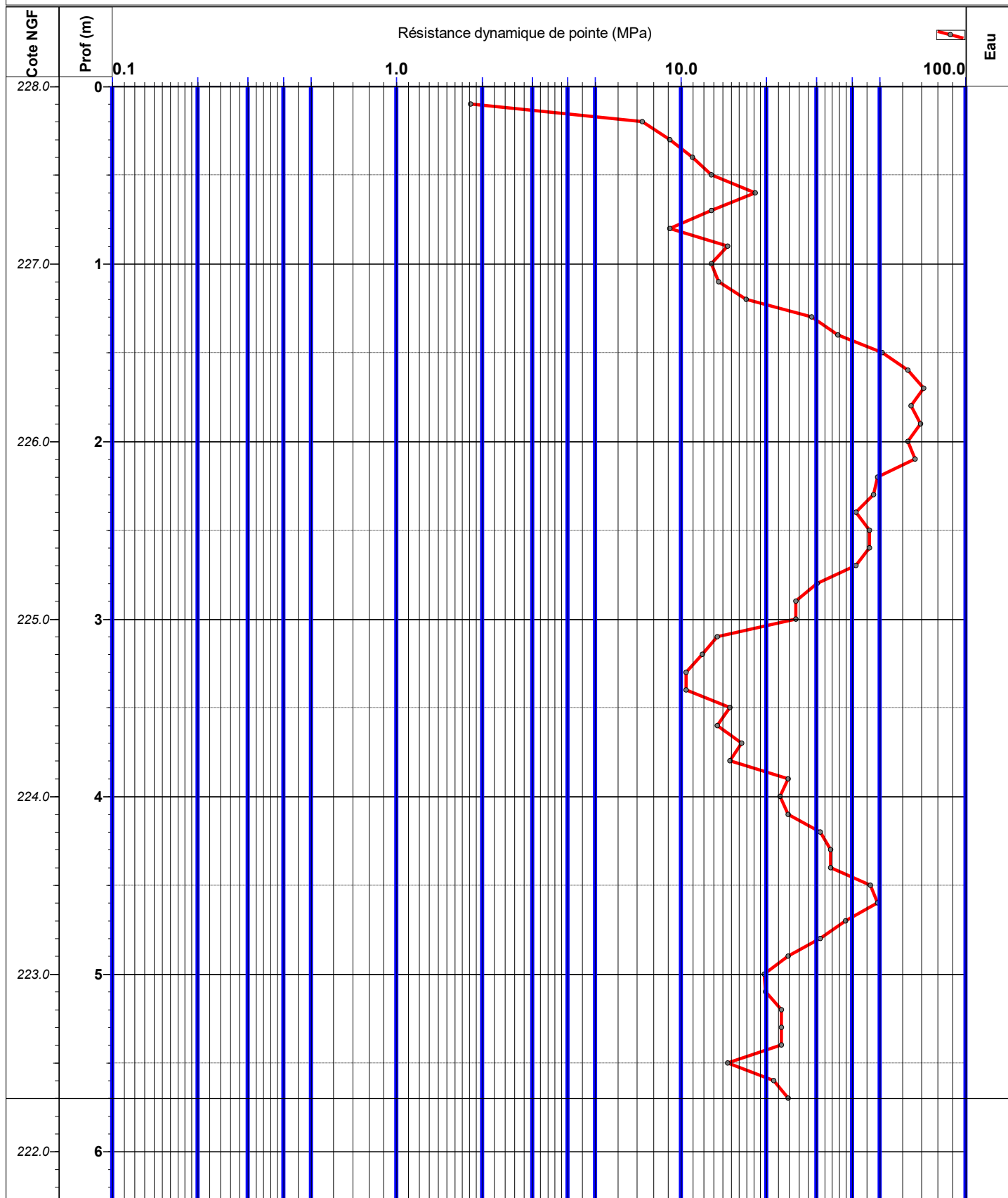
Echelle : 1 / 30

Client : **STONEHEDGE**

Etude : **SAINT BONNET DE MURE (69)**

Remarque :

Page: 1 / 1





**SONDAGE : PD6**

Type : **Pénétromètre dynamique**

X :

Y :

Z : 228,35 m

Inclinaison :

Machine : APAFOR

Date : 17/10/19

Début : 0,00 m

Fin : 2,79 m

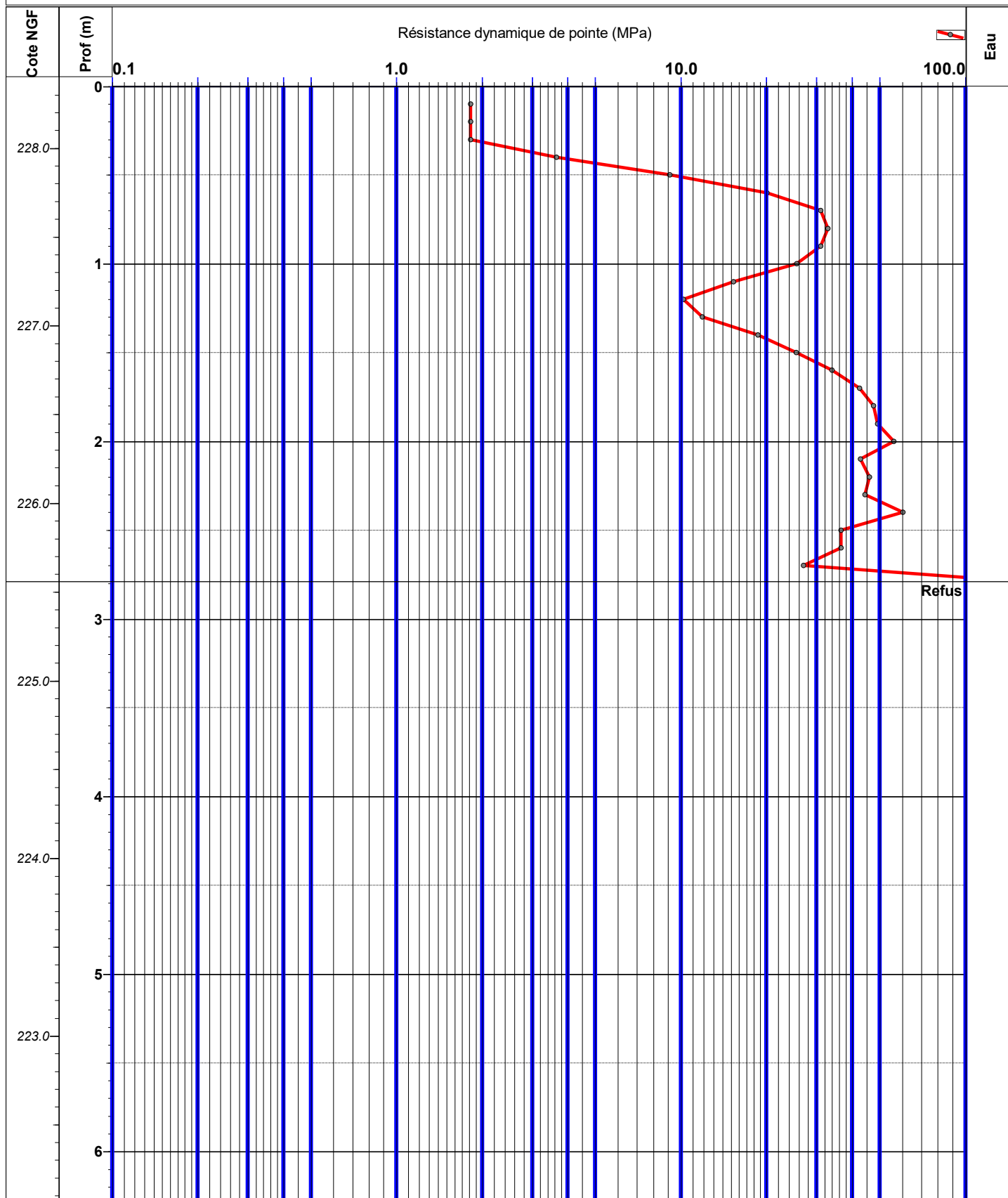
Echelle : 1 / 30

Client : **STONEHEDGE**

Etude : **SAINT BONNET DE MURE (69)**

Remarque :

Page: 1 / 1





[illegible]

[illegible]

[illegible]



## **Annexe 5 : Essais en laboratoire**



**GÉotechnique**  
sciences de la terre sas

**GEOTECHNIQUE SAS**

672 rue des Mercières - 69140  
RILLIEUX LA PAPE - 04 78 88 75 83

Chantier : SAINT BONNET DE MURE

Date : 31/10/2019

N°dossier : 2019-09-251

Client : STONEHEDGE PROMOTION

Nos réf :

## TENEUR EN EAU NF P 94 - 050

Maître d'œuvre : STONEHEDGE PROMOTION

Opérateur : LSs

Maître d'ouvrage : STONEHEDGE PROMOTION

Date des essais : octobre-19

Date des prélèvements : octobre-19

Sondage	Profondeur (m/TN)	Identification visuelle	W%
PM 1	0.4	Sable limono-graveleux rougeatre	4.59 %
PM 1	2.5	Sable limono-graveleux beige	2.00 %
PM 2	1.6	Sable limono-graveleux brun	3.27 %
PM 2	2.5	Sable limono-graveleux brun	2.70 %
PM 3	1.4	Sable limono-graveleux beige	3.64 %
PM 3	2.3	Sable limono-graveleux beige	2.83 %

Observations :

## ESSAIS D'IDENTIFICATION SUR SOLS

Nature des matériaux : Grave argilo-sableuse rougeatre

Date du prélèvement : 17/10/2019

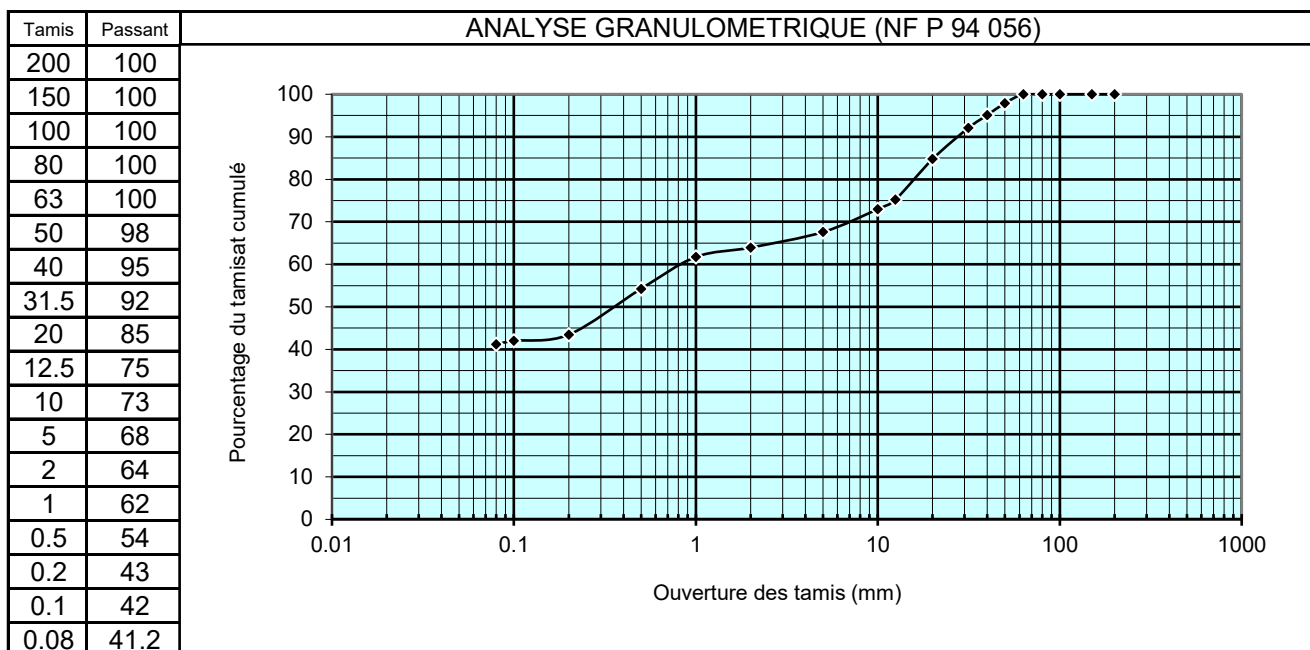
 Provenance des matériaux : **PM1**

Date des essais : 30/10/2019

Profondeurs : 0.1 à 0.4 m

Opérateurs : LSS

Observations : Couleur rougeatre



### AUTRES PARAMETRES D'IDENTIFICATION

Norme	Essai	Résultat	Spécification
NF P 94 056	Passant à 0,08 mm sur fraction 0/50 =	42.1%	
NF P 94 056	D max =	200.0 mm	
NF P 94 056	Coefficient d'uniformité Cu =		
NF P 94 050	Teneur en eau sur 0/20	12.9 %	
NF P 94 068	Valeur au bleu VBS =	0.7	
NF P 94 051	Limites d'Atterberg wL =		
NF P 94 051	Limites d'Atterberg wP =		
NF P 94 051	Indice de plasticité Ip =		
NF P 94 051	Indice de consistance Ic =		
NF EN 933-8	Equivalent de sable ES =		
NF P 94 078	Indice Portant Immédiat (IPI / pd)	/	t/m <sup>3</sup>
<b>CLASSIFICATION GTR :</b>		<b>C1 A1</b>	

Observations :

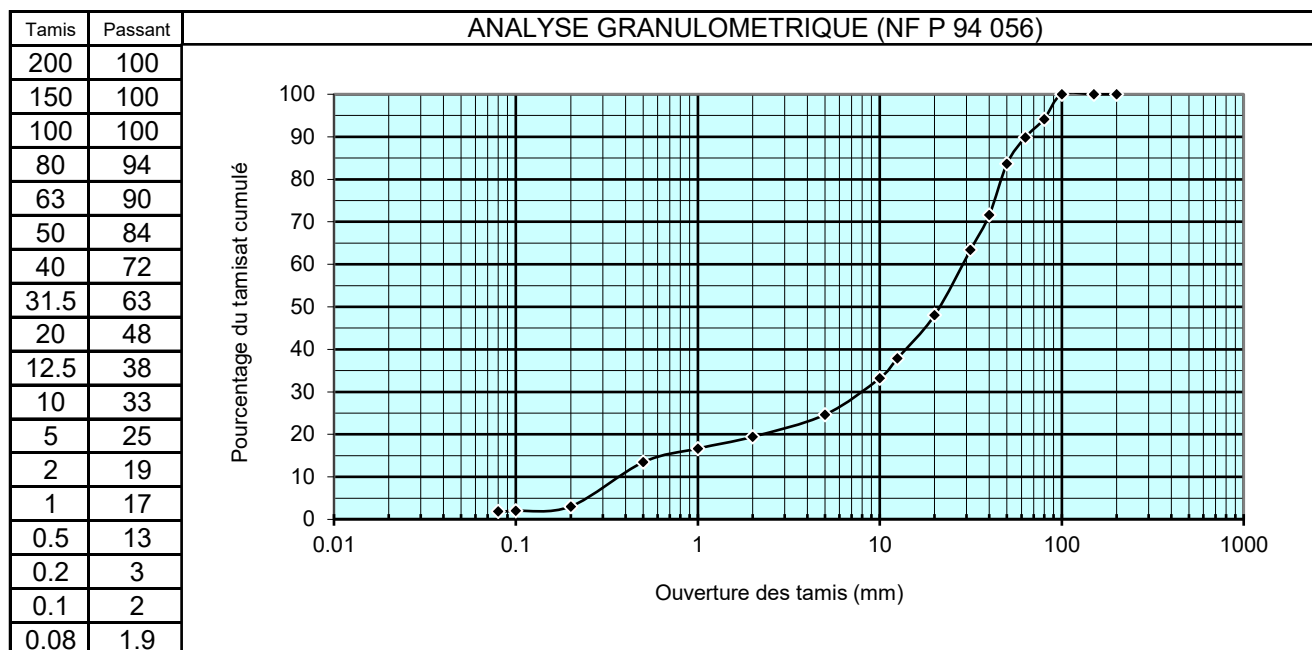
## ESSAIS D'IDENTIFICATION SUR SOLS

 Nature des matériaux : Grave sableuse beige  
 Provenance des matériaux : **PM1**  
 Profondeurs : 1.8 à 2 m  
 Observations : Couleur beige

Date du prélèvement : 17/10/2019

Date des essais : 04/11/2019

Opérateurs : LSS



### AUTRES PARAMETRES D'IDENTIFICATION

Norme	Essai	Résultat	Spécification
NF P 94 056	Passant à 0,08 mm sur fraction 0/50 =	2.2%	
NF P 94 056	D max =	200.0 mm	
NF P 94 056	Coefficient d'uniformité Cu =		
NF P 94 050	Teneur en eau sur 0/20	1.9 %	
NF P 94 068	Valeur au bleu VBS =	0.1	
NF P 94 051	Limites d'Atterberg wL =		
NF P 94 051	Limites d'Atterberg wP =		
NF P 94 051	Indice de plasticité Ip =		
NF P 94 051	Indice de consistance Ic =		
NF EN 933-8	Equivalent de sable ES =		
NF P 94 078	Indice Portant Immédiat (IPI / pd)	/	t/m <sup>3</sup>
<b>CLASSIFICATION GTR :</b>		<b>D3</b>	

Observations :



## ESSAIS D'IDENTIFICATION SUR SOLS

Nature des matériaux : Grave argilo-sableuse rougeatre

Date du prélèvement : 17/10/2019

Provenance des matériaux :

**PM2**

Date des essais : 30/10/2019

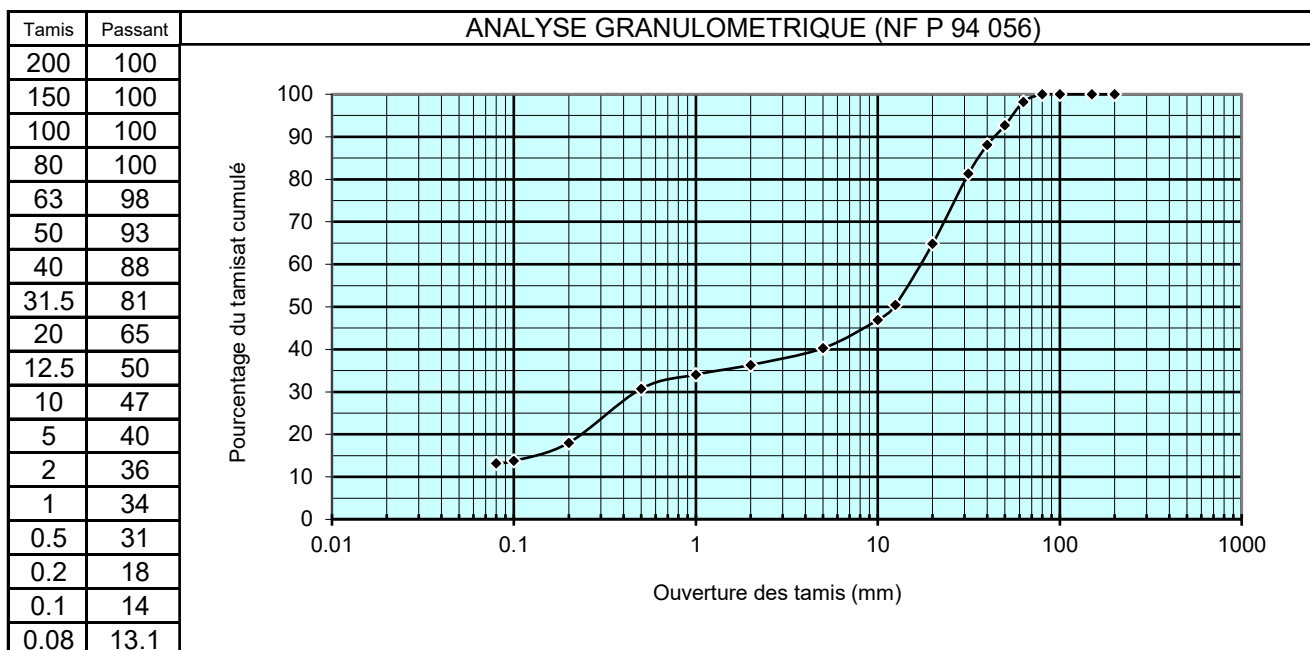
Profondeurs :

0.8 à 1.35 m

Opérateurs : LSS

Observations :

Couleur rougeatre



### AUTRES PARAMETRES D'IDENTIFICATION

Norme	Essai	Résultat	Spécification
NF P 94 056	Passant à 0,08 mm sur fraction 0/50 =	14.2%	
NF P 94 056	D max =	200.0 mm	
NF P 94 056	Coefficient d'uniformité Cu =		
NF P 94 050	Teneur en eau sur 0/20	17.1 %	
NF P 94 068	Valeur au bleu VBS =	1.2	
NF P 94 051	Limites d'Atterberg wL =		
NF P 94 051	Limites d'Atterberg wP =		
NF P 94 051	Indice de plasticité Ip =		
NF P 94 051	Indice de consistance Ic =		
NF EN 933-8	Equivalent de sable ES =		
NF P 94 078	Indice Portant Immédiat (IPI / pd)	/	t/m <sup>3</sup>
<b>CLASSIFICATION GTR :</b>		<b>C1 B5</b>	

Observations :

## ESSAIS D'IDENTIFICATION SUR SOLS

Nature des matériaux : Grave argilo-sableuse rougeatre

Date du prélèvement : 17/10/2019

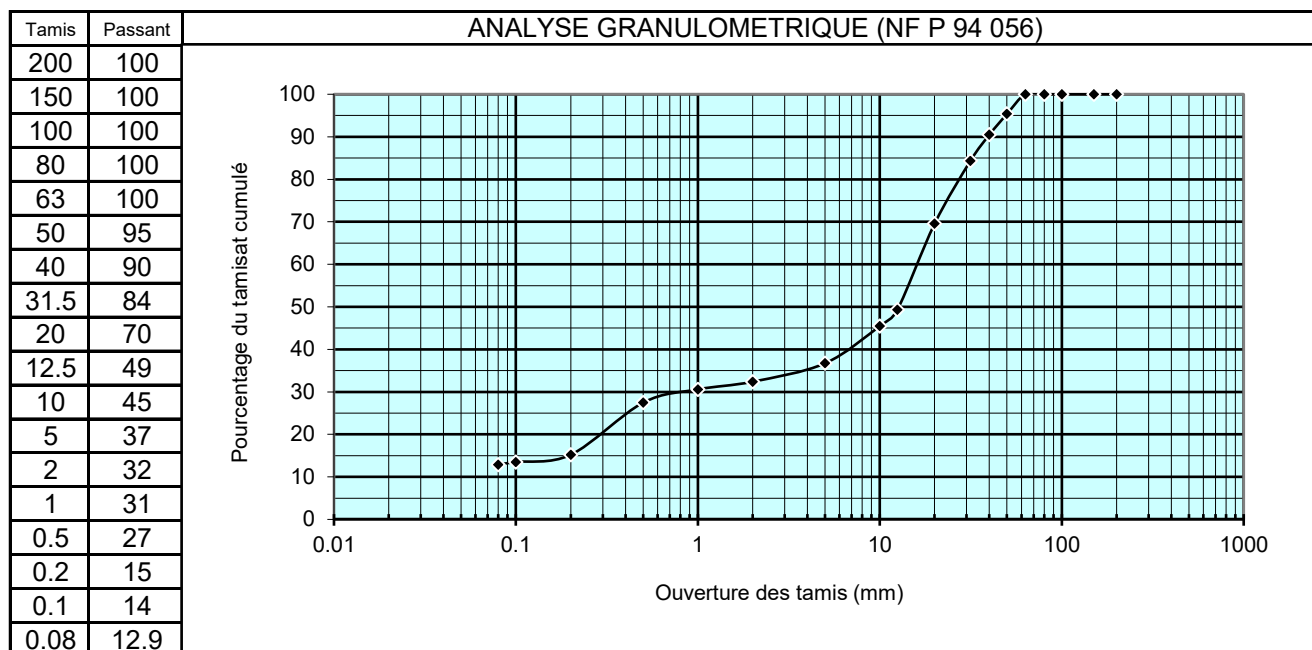
 Provenance des matériaux : **PM3**

Date des essais : 30/10/2019

Profondeurs : 0.8 à 1.0 m

Opérateurs : ATH

Observations : Couleur rougeatre



### AUTRES PARAMETRES D'IDENTIFICATION

Norme	Essai	Résultat	Spécification
NF P 94 056	Passant à 0,08 mm sur fraction 0/50 =	13.5%	
NF P 94 056	D max =	200.0 mm	
NF P 94 056	Coefficient d'uniformité Cu =		
NF P 94 050	Teneur en eau sur 0/20	13.6 %	
NF P 94 068	Valeur au bleu VBS =	0.8	
NF P 94 051	Limites d'Atterberg wL =		
NF P 94 051	Limites d'Atterberg wP =		
NF P 94 051	Indice de plasticité Ip =		
NF P 94 051	Indice de consistance Ic =		
NF EN 933-8	Equivalent de sable ES =		
NF P 94 078	Indice Portant Immédiat (IPI / pd)	/	t/m <sup>3</sup>
<b>CLASSIFICATION GTR :</b>		<b>C1 B5</b>	

Observations :



**GÉotechnique**  
sciences de la terre sas

**GEOTECHNIQUE SAS**  
672 rue des Mercières - 69140  
RILLIEUX LA PAPE - 04 78 88 75 83

Chantier : **ST BONNET DE MURE**

N°dossier : **2019-09-251**

Client : **STONEHEDGE PROMOTION**

Chargé d'étude : **FPn**

## SULFATES (XP P 18-581)

Date des essais :

04/11/2019

Opérateur : MDm

Sondage	Prof.	Description	Prise éch.	Mesure	Coeff. Diluer	Résultat mg/l SO4 <sup>2-</sup>	Résultat en %
PM1	0.4 m	Graves argilo-sableuses rouge	25g/l d'eau	1	-	1	0.004
PM1	1.8 - 2 m	Graves argilo-sableuses beige	25g/l d'eau	0	-	0	0
PM2	0.8 - 1.35 m	Graves argilo-sableuses rouge	25g/l d'eau	0	-	0	0
			25g/l d'eau				
			25g/l d'eau				
			25g/l d'eau				
			25g/l d'eau				
			25g/l d'eau				
			25g/l d'eau				
			25g/l d'eau				
Formules	Résultat en % = Résultat en mg / 25						
<u>Observations :</u>							

date approbation L11



**GÉOtechnique**  
sciences de la terre sas

**GEOTECHNIQUE SAS**  
672 rue des Mercières  
69140 RILLIEUX LA PAPE  
04 78 88 75 83

Chantier : **ST BONNET DE MURE**

Date : **07/11/2019**

N°dossier : **2019-09-251**

Client : **STONEHEDGE PROMOTION**

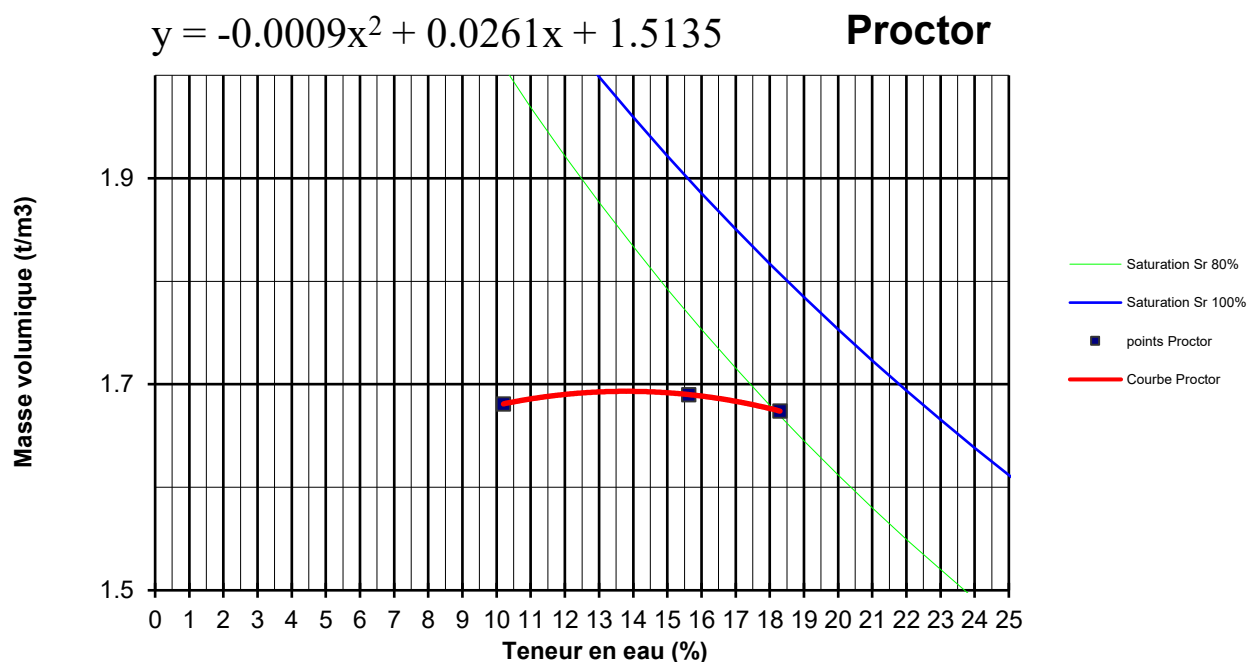
Nos réf : **FPn001**

## COMPTE RENDU D'ESSAI PROCTOR NF P 94 093

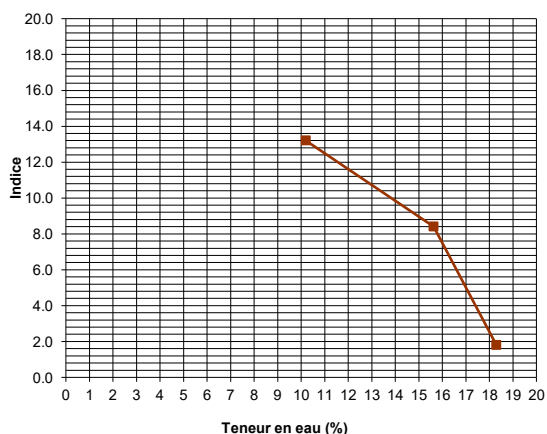
Nature des matériaux : Grave argilo-sableuse rouge  
Classification GTR : C1B5  
Provenance des matériaux : PM2  
Profondeur : 0.8 à 1.2 m  
Observations : Couleur rouge

Date du prélèvement : 17/10/2019  
Date des essais : 06/11/2019  
Opérateurs : LSS

Teneur en eau	10.2	15.6	18.3				%		Energie : Normale
Masse volumique sèche	1.68	1.69	1.67				t/m <sup>3</sup>		Moule : Proctor
Teneur en eau							%		
Masse volumique sèche							t/m <sup>3</sup>		ρs estimée 2.70 t/m3
Poinçonnement IPI	13.2	8.4	1.8						W% naturelle 17.1 %



### Poinçonnement



### Résultats :

Sur la fraction 0/20    ρd OPN= 1.70 t/m3  
                                  W OPN= 14.5 %

% de la fraction 20/D    0 %

Sur la fraction 0/D    ρd ' OPN= 1.70 t/m3  
                                  W' OPN= 14.5 %

### Observations :





## POINCONNEMENT CBR ou IPI - Immersion NF P 94-078

Provenance échantillon : **PM2 - 0.8 à 1.35 m**

Date du prélèvement : 17/10/2019

Nature du matériau : **Grave sablo-argileuse C1B5**  
**+1% eau + 2% CaO**

Date de l'essai : 12/11/2019

Opérateurs : LSS

### CONFECTION DU MOULE

INDICE :  
ENERGIE :



CBR  
normale

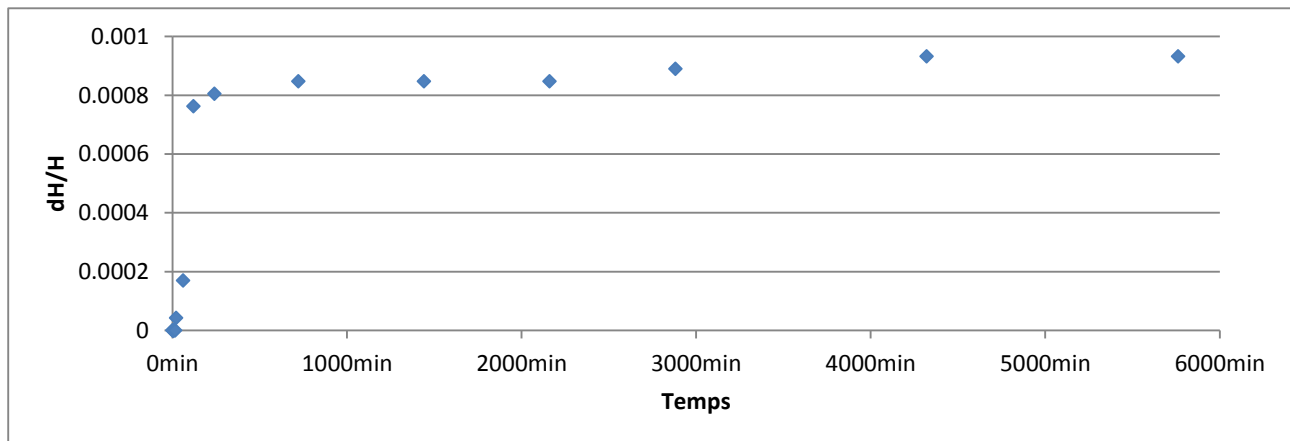


IPI  
modifiée

Moule	Poids total humide :	11643
	Poids du moule :	7694
	Poids du sol humide :	3949
	Volume du moule :	2114
	$\rho_{\text{humide}} (t/m^3)$ :	1.868
	$\rho_{\text{sèche}} (t/m^3)$ :	<b>1.627</b>

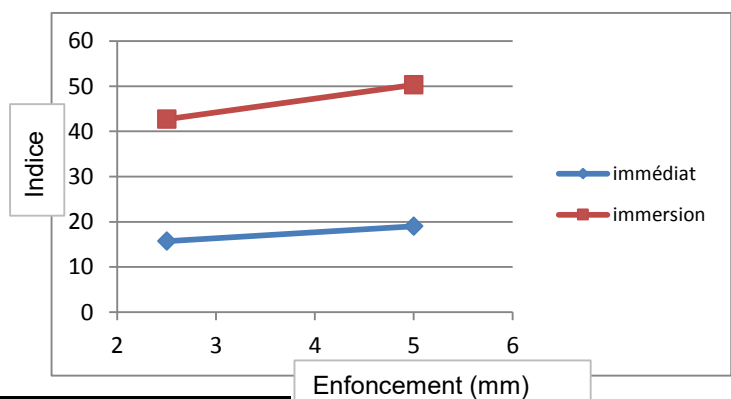
Teneur en eau	PH :	465
	PS :	405
	W%:	<b>14.8%</b>

	Lecture	Indice
E 2.5 mm	35	15.7
E 5 mm	63	19
Indice immédiat	<b>19</b>	



### MOULE APRES IMMERSION

Teneur en eau	PH :	656
	PS :	556
	W%:	<b>18.0%</b>



	Lecture	Indice
E 2.5 mm	95	42.7
E 5 mm	167	50.3
Indice immersion	<b>50.3</b>	

### Déformation

$$G = \Delta H/H * 100$$

$$G = \mathbf{0.093\%}$$

Remarque :

## POINCONNEMENT CBR ou IPI - Immersion NF P 94-078

 Provenance échantillon : **PM2 - 0.8 à 1.35 m**

Date du prélèvement : 17/10/2019

 Nature du matériau : **Grave sablo-argileuse C1B5  
+1% eau + 5% ciment**

Date de l'essai : 12/11/2019

Opérateurs : LSS

### CONFECTION DU MOULE

 INDICE :  
 ENERGIE :

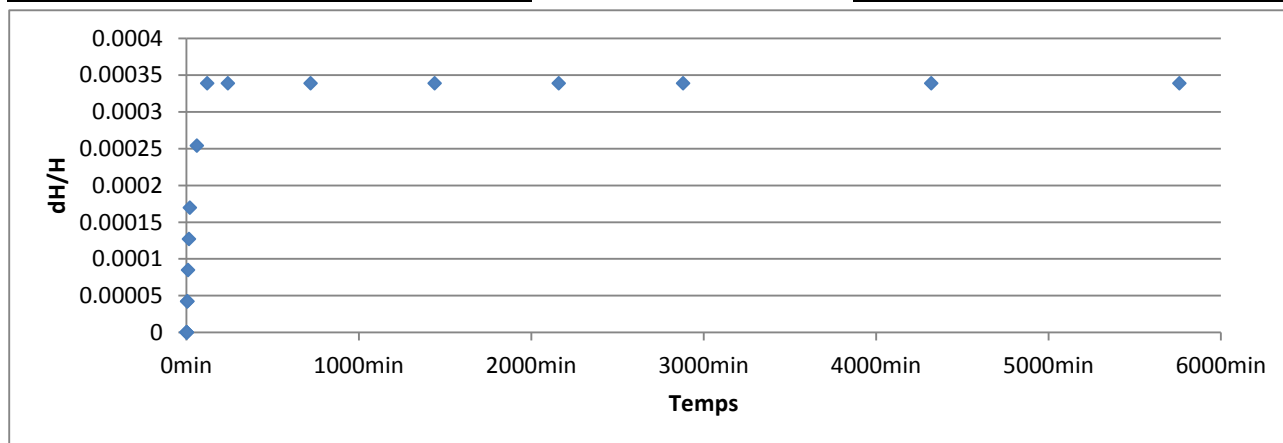
 CBR  
normale

 IPI  
modifiée

Moule	Poids total humide :	12244
	Poids du moule :	7960
	Poids du sol humide :	4284
	Volume du moule :	2114
	$\rho_{\text{humide}} (t/m^3)$ :	2.026
	$\rho_{\text{sèche}} (t/m^3)$ :	<b>1.799</b>

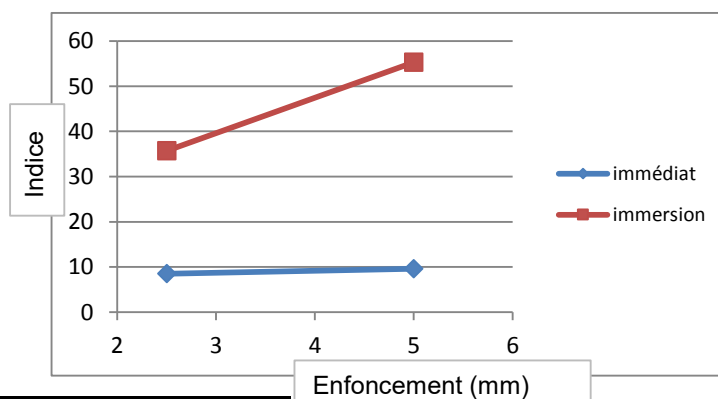
Teneur en eau	PH :	348
	PS :	309
	W%:	<b>12.6%</b>

	Lecture	Indice
E 2.5 mm	19	8.5
E 5 mm	32	9.6
Indice immédiat	<b>9.6</b>	



### MOULE APRES IMMERSION

Teneur en eau	PH :	653
	PS :	579
	W%:	<b>12.8%</b>



	Lecture	Indice
E 2.5 mm	110	35.7
E 5 mm	254	55.3
Indice immersion	<b>55.3</b>	

#### Déformation

$$G = \Delta H/H * 100$$

$$G = \mathbf{0.034\%}$$

Remarque :

## **Annexe 6 : Calculs de la structure de voirie**

**TITRE DE L'ETUDE :**

Saint Bonnet de Mure

**Date :** 30/10/2019

**Variante :**

**Enregistrée sous :** Etude pas encore enregistrée

**DONNEES :**

**Type de voie :** Voie de distribution

**Type d'aménagement :** Section courante

**Chantier :** Standard (Q1)

**Trafic initial à la mise en service (par sens, par voie et par jour) :** 25 Poids Lourds

**Durée de service :** 20 ans

**Taux de croissance :** 0 % par an

**Plate-forme :** PF2+

**VALEURS INTERMEDIAIRES :**

**Nombre Cumulé de Poids Lourds :** 182 500

**Risque de calcul :** 25 %

**CAM :** 0,60

**NE arrondi :** 200 000

**GEL :**

**En condition de chantier standard (qualité Q1) :**

**Indice de Gel de Référence corrigé :** 110 °C.j

**Indice de Gel Admissible :** 115 °C.j =====> Chaussée protégée au gel

Q1 / PF2+	Norme	Classe	Epaisseur
Enrobés			8 cm
GB3	NF P 98-138	3	8 cm Total = 16 cm



**Commentaire du matériau : GB3**

**Commentaire de la structure : Enrobés/GB3**

Pour les épaisseurs entre 8 et 10 cm, prévoir obligatoirement une GB en 0/14.

Pour les épaisseurs entre 12 et 15 cm, prévoir obligatoirement une GB en 0/20.

L'épaisseur d'enrobés a été fixée en principe à :

6 cm pour NE entre 10 000 et 100 000, sauf pour PF2 et PF2+ où on a choisi 4 cm entre 10 000 et 60 000,

8 cm au delà de 100 000.

**Station météo de référence : Lyon (69)**

**Type d'hiver : Hiver Rigoureux Non Exceptionnel**

**Indice de Gel brut : 110 °C.j**

**Correction taille d'agglomération : 1 (< à 100 000 Habitants)**

**Sol support**

**Gélivité : Très Gélif**

**Pente de la courbe de gonflement : Infinie**

**Quantité de gel admis par le sol support : 0**

**Plateforme**

**Epaisseur : 60 cm**

**Couche de forme : Non Traitée**

**Quantité de gel admis par la partie non gélive de la plateforme : 6,171428**

**Apport mécanique de la chaussée**

**En condition de chantier standard (qualité Q1) : 0**

**TITRE DE L'ETUDE :**

Saint Bonnet de Mure

**Date :** 30/10/2019

**Variante :**

**Enregistrée sous :** Etude pas encore enregistrée

**DONNEES :**

**Type de voie :** Voie de distribution

**Type d'aménagement :** Section courante

**Chantier :** Standard (Q1)

**Trafic initial à la mise en service (par sens, par voie et par jour) :** 25 Poids Lourds

**Durée de service :** 20 ans

**Taux de croissance :** 0 % par an

**Plate-forme :** PF2+

**VALEURS INTERMEDIAIRES :**

**Nombre Cumulé de Poids Lourds :** 182 500

**Risque de calcul :** 25 %

**CAM :** 0,60

**NE arrondi :** 200 000

**GEL :**

**En condition de chantier standard (qualité Q1) :**

**Indice de Gel de Référence corrigé :** 110 °C.j

**Indice de Gel Admissible :** 125 °C.j =====> Chaussée protégée au gel

Q1 / PF2+	Norme	Classe	Epaisseur
Enrobés			8 cm
GB3	NF P 98-138	3	8 cm Total = 16 cm

**Commentaire du matériau : GB3**

**Commentaire de la structure : Enrobés/GB3**

Pour les épaisseurs entre 8 et 10 cm, prévoir obligatoirement une GB en 0/14.

Pour les épaisseurs entre 12 et 15 cm, prévoir obligatoirement une GB en 0/20.

L'épaisseur d'enrobés a été fixée en principe à :

6 cm pour NE entre 10 000 et 100 000, sauf pour PF2 et PF2+ où on a choisi 4 cm entre 10 000 et 60 000,

8 cm au delà de 100 000.

**Station météo de référence : Lyon (69)**

**Type d'hiver : Hiver Rigoureux Non Exceptionnel**

**Indice de Gel brut : 110 °C.j**

**Correction taille d'agglomération : 1 (< à 100 000 Habitants)**

**Sol support**

**Gélivité : Très Gélif**

**Pente de la courbe de gonflement : Infinie**

**Quantité de gel admis par le sol support : 0**

**Plateforme**

**Epaisseur : 55 cm**

**Couche de forme : Traitée**

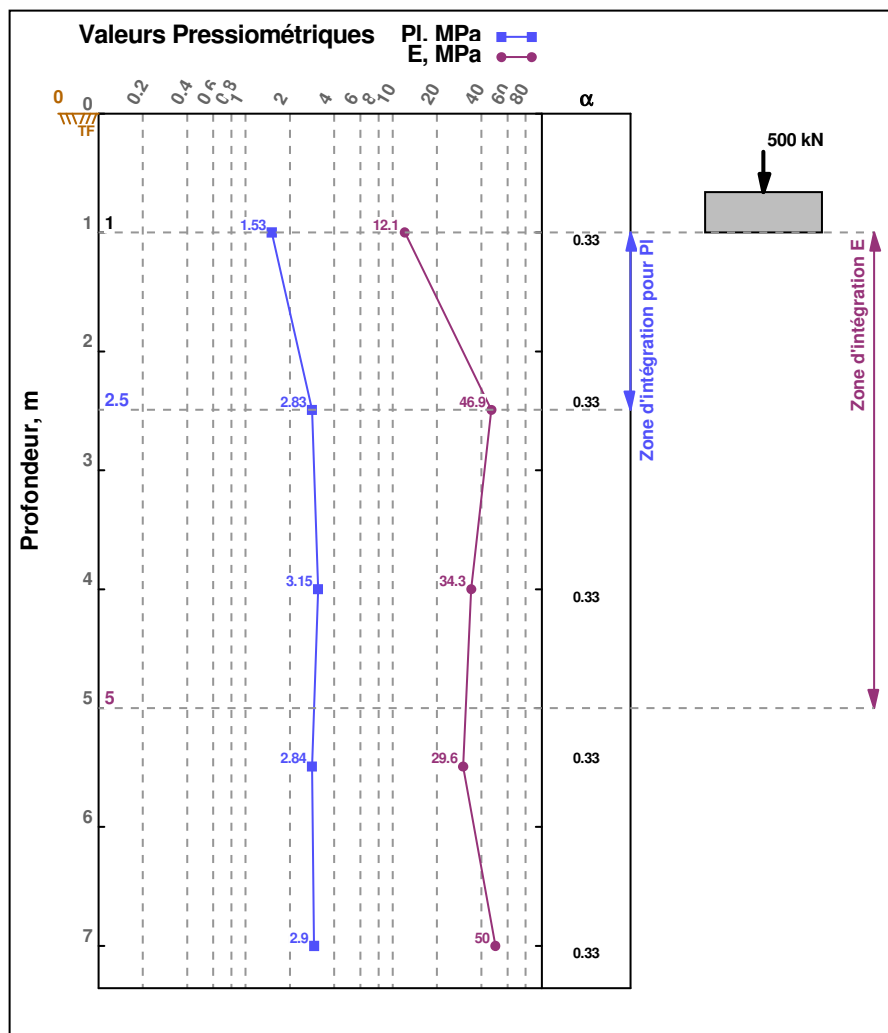
**Quantité de gel admis par la partie non gélive de la plateforme : 6,515385**

**Apport mécanique de la chaussée**

**En condition de chantier standard (qualité Q1) : 0**

## **Annexe 7 : Calcul de tassement sous fondation**





### Fondation : Semelle carrée

Côté : 1 m

Aire : 1 m<sup>2</sup>

Encastrement : 1 m

Base de la fondation : 1 m

### Paramètres des sols

Type de sol sous la fondation :

Sables et graves

Poids des terres au-dessus de la fondation :

après travaux = 20 kN/m<sup>3</sup>

avant travaux = 20 kN/m<sup>3</sup>

Contrainte verticale finale  $q'_0$  : 20 kPa (calculée)

Contrainte verticale initiale  $\sigma'_{v0}$  : 20 kPa (calculée)

$\alpha = 0.33$  (fixé)

Cohésion sous la fondation : 0 kPa

Angle de frottement sous la fondation : 0 °

Fichier : Sans titre.gfd



GEOFOND© V1.22 du 08/06/2018 développé par GEOS  
site web : <http://www.geos.fr> e-mail : [logiciels@geos.fr](mailto:logiciels@geos.fr)

GEOS Ingénieurs Conseils, 310 Avenue Marie Curie  
Bât. Europa 2, Archamps Technopole, 74160 ARCHAMPS

Tél : 04 50 95 38 14  
Fax : 04 50 95 99 36

### Données :

N°	Etat-limite	F (kN)	$\delta$ (°)	$e_B$ (°)	$e_L$ (m)	$V_d$ (kN)	$H_d$ (kN)	$M_x$ (kN.m)	$M_y$ (kN.m)
1	ELS Q.P.C.T.	500	0	0	0	500	0	0	0

### Capacité portante suivant la NF P 94-261 :

N°	$h_r$ (m)	$D_e$ (m)	$k_p$	$p_{le}$ (MPa)	$i_\delta$	$i_{\delta\beta}$	$q_u$ (kPa)	$A'$ (m <sup>2</sup> )	$\gamma'_{r,v}$	$R_{v;d}$ (kN)	Excentricité	$R_{h;d}$ (kN)
1	1.5	0.527	1.29	2.08	1	1	2689	1	2.3	994.3 vérifié	vérifié	Non calc. (EL\$)

### Tassements suivant la NF P 94-261 :

N°	$q_{ref}$ (kPa)	$E_c$ (MPa)	$E_d$ (MPa)	$\lambda_c$	$\lambda_d$	$S_c$ (cm)	$S_d$ (cm)	$S_f$ (cm)	$S_{def}$ (cm)
1	500	13.8	21.6	1.1	1.12	0.14	0.364	0.504	0.71

2019-09-251 \_ FP 31/10/2019 10:23

**SAINT BONNET DE MURE (69)**

Bâtiment STONEHEDGE

**FIGURE**

**1**