

SEfia

Sondage – Géotechnique
Environnement – Ingénierie
☎ : 01 48 53 62 40
✉ : contact@sefia.fr

91 – BURES-SUR-YVETTE

Rue Pierre de Coubertin

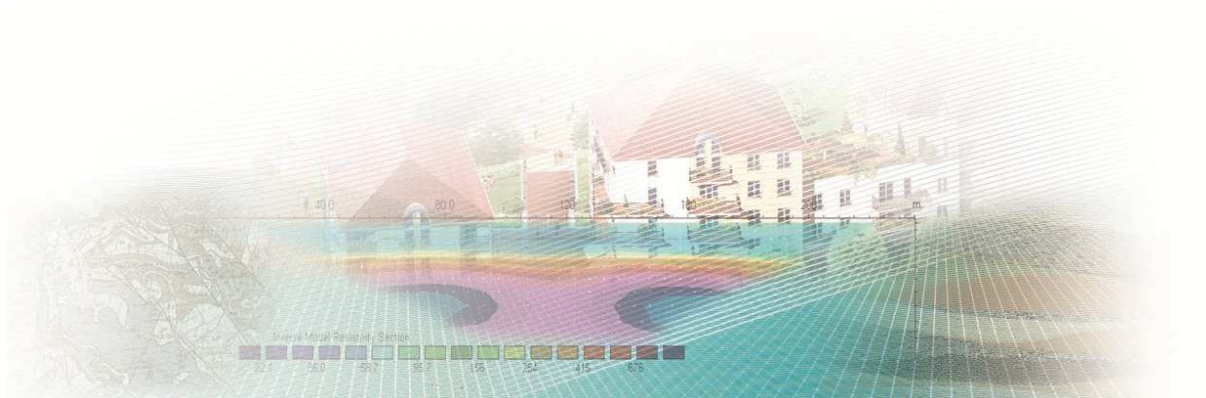
Création de courts de tennis

Dossier 14/09/7056/91

Maître d'Ouvrage **UNIVERSITE PARIS SUD**

ETUDE GEOTECHNIQUE

MISSION G2 AVP - NOVEMBRE 2014



MAITRE D'OUVRAGE	UNIVERSITE PARIS SUD
ARCHITECTE	
MAITRE D'ŒUVRE	
BET	
ENTREPRISE	

Le présent document est rédigé au sens des D.T.U. 11, 12, 13 et 14, notamment les D.T.U. 13.2 de juin 1978 et les documents techniques admis en matière de réglementation professionnelle

Les unités employées en matière de contrainte et leurs équivalences sont les suivantes :

$$0,1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa} = 100 \text{ kN/m}^2 = 10 \text{ T/m}^2 = 1 \text{ bar} = 1,0 \text{ kg/cm}^2$$

Mission géotechnique G2 AVP – Norme NF P 94-500 du 30 novembre 2013

G1	Etude géotechnique préalable		
	Etude de site (G1-ES)		
	Principes généraux de construction (G1-PGC)		
G2	Etude géotechnique de conception		
	Avant-projet (G2 – AVP)	X	
	Projet (G2 – PRO)		
	DCE/AT (G2 – DCE/AT)		
G3	Etude géotechnique d'exécution		
G4	Supervision géotechnique d'exécution		
	Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (G4 – SEGE)		
	Supervision du suivi géotechnique d'exécution (G4 – SSGE)		
G5	Diagnostic géotechnique		

Etape	Date	Indice	Auteur	Vérification	Fichier
Création du document	17/11/2014	0	L. LANGLOIS	JJ. MONTENOISE	Rap7056.doc

SOMMAIRE

I.	PRESENTATION DE LA MISSION	4
I.1	Données générales	4
I.2	Données géologiques	4
I.3	Programme d'investigations	6
II.	RESULTATS DE LA CAMPAGNE	7
II.1	Fiches de sondages	7
II.2	Résultats des essais pressiométriques	8
II.3	Résultats des essais de laboratoire	9
III.	COMMENTAIRES GEOTECHNIQUES	10
III.1	Nature des matériaux	10
III.2	Niveau aquifère	11
III.3	Compétences mécaniques	11
III.4	Classification GTR - Caractéristiques physiques	11
IV.	ADAPTATION AU SOL	12

I. PRESENTATION DE LA MISSION

I.1 DONNEES GENERALES

Dans le cadre d'un projet de création de courts de tennis, la direction du patrimoine immobilier de l'**UNIVERSITE PARIS SUD** nous a sollicités pour effectuer une étude de sols. Elle concerne une parcelle située rue Pierre de Coubertin, sur la commune de **BURES-SUR-YVETTE (91)**.

Lors de notre intervention de novembre 2014, l'emprise du projet correspondait à un terrain en herbe partiellement occupée par des installations sportives.

I.2 DONNEES GEOLOGIQUES

A. Contexte géologique

L'emprise du projet se place dans le contexte de la vallée de l'Yvette, à une cote altimétrique moyenne proche de 60 NGF. Les données géologiques, notamment la carte de **CORBEIL-ESSONNES** au 1/50 000^{ème} et les sondages réalisés sur le secteur font état de la lithologie suivante :

- Colluvions ;
- Argiles Vertes absentes ou résiduelles
- Marnes Supragypseuses.

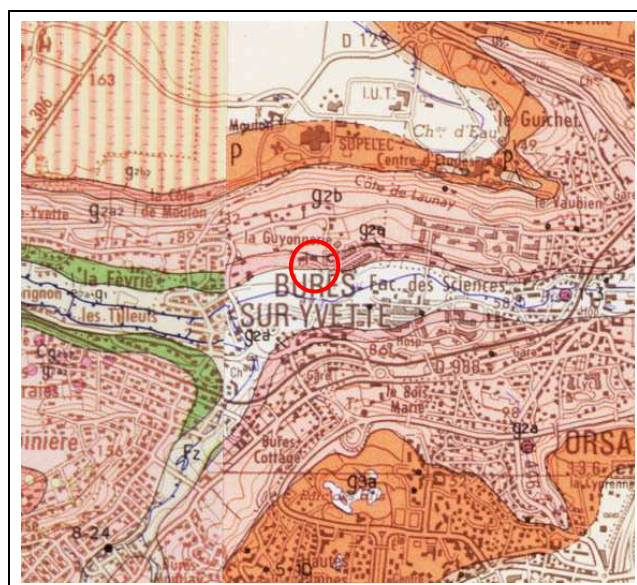






Figure 1 – Extrait de la carte géologique

B. Aléa retrait-gonflement

Au regard de la sensibilité des formations superficielles aux variations hydriques et aux phénomènes de retrait-gonflement, la carte établie par le BRGM place le secteur où se situe le projet en zone d'aléa fort, sur une échelle qui comporte 4 niveaux d'aléas compris entre « a priori nul » et « fort ».

Légende de la carte :

	Aléa a priori nul
	Aléa faible
	Aléa moyen
	Aléa fort

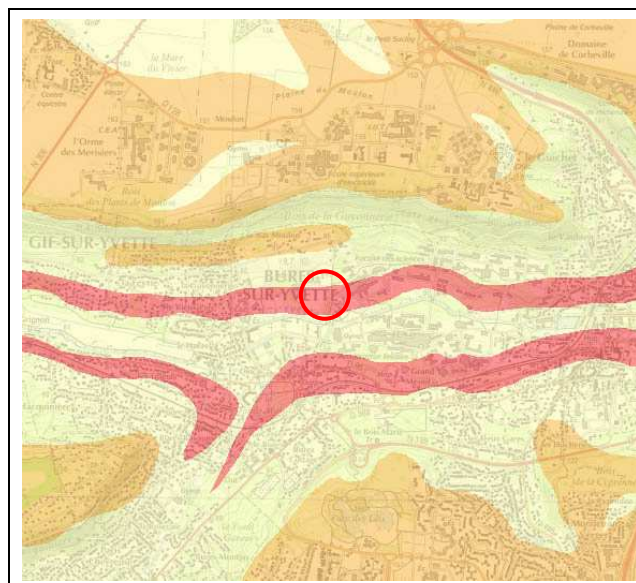


Figure 2 – Extrait de la carte des aléas retrait/gonflement

(Source : www.argiles.fr)

C. Données hydrogéologiques

Les données hydrogéologiques font référence à des circulations anarchiques pouvant se former à la faveur de la pente générale du secteur et de passages fortement argileux.

D'après la cartographie des aléas liés aux phénomènes de remontées de nappe, le BRGM place le site dans une zone d'aléa très faible.

Légende de la carte :

	Aléa très faible à inexistant
	Aléa très faible
	Aléa faible
	Aléa moyen
	Aléa fort
	Aléa très élevé, nappe affleurante

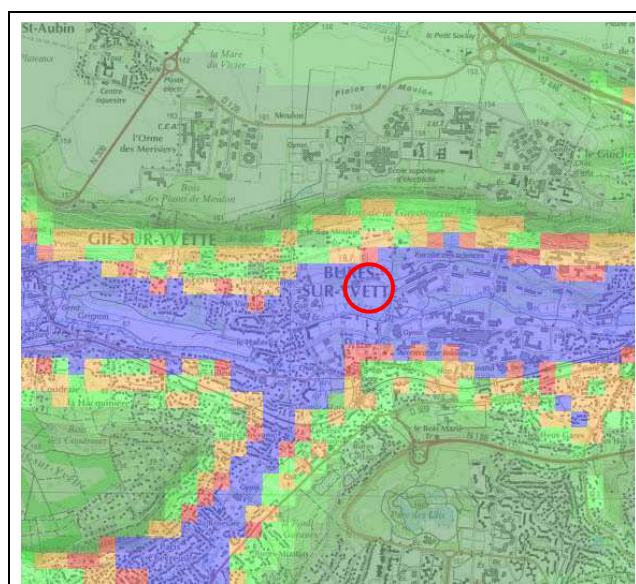


Figure 3 – Extrait de la carte des aléas liés aux remontées de la nappe (source www.inondationsnappes.fr)

I.3 PROGRAMME D'INVESTIGATIONS

Dans ce contexte, la reconnaissance des sols, mission de type G2 - Avant-projet au sens de la Norme NF P 94-500 du 30 novembre 2013, avait pour objectif de préciser la position et la nature des différentes assises du sous-sol, de tester leurs caractéristiques mécaniques au moyen d'essais in situ et de repérer d'éventuels niveaux aquifères pour définir au mieux la faisabilité du projet au regard des points suivants :

- La nature des terrains et leurs classifications au sens du Guide des Terrassements Routiers ;
- Leurs caractéristiques mécaniques (PI-E) ;
- Les conditions de réutilisation des matériaux du site en remblais technique.

A cet effet, conformément au plan d'implantation des sondages placé en annexe, nous avons réalisé les investigations suivantes :

1. **3 sondages pressiométriques**, Ø 64 mm, notés de **S1** à **S3**, menés à la tarière hélicoïdale jusqu'à 5,0 m/sol ;
2. **7 essais pressiométriques**, de type LOUIS MENARD, répartis sur les sondages afin de déterminer les caractéristiques mécaniques des assises traversées. Ces essais et leur interprétation ont été exécutés selon les directives AFNOR NF P 94-110-1 ;
3. **6 sondages pénétrométriques**, notés de **P1** à **P6**, réalisés à l'aide d'un pénétromètre dynamique léger ;
4. **2 prélèvements d'échantillons**, notés **E1** et **E2**, pour la réalisation d'essais de laboratoire portant sur la teneur en eau naturelle, les limites d'Atterberg, la valeur au Bleu de Méthylène, la granulométrie et l'indice Proctor Immédiat.

L'ensemble de ces investigations a été confié à une équipe de sondeurs, placée sous le contrôle d'un ingénieur géotechnicien.

II. RESULTATS DE LA CAMPAGNE

II.1 FICHES DE SONDAGES

A. Sondages pressiométriques

Les sondages **S1** à **S3** ont fait l'objet d'un levé que nous présentons sur les fiches synthétiques au 1/50^{ème} qui regroupent les informations suivantes :

- Description des terrains rencontrés dans le sondage
- Caractéristiques pressiométriques en 10^5 Pa où
 PI Pression limite
 E Module de déformation pressiométrique
- Remarques sur les éventuels niveaux d'eau
- Observations sur le mode et la conduite des forages

B. Sondages pénétrométriques

Les sondages pénétrométriques, notés de **P1** à **P6** ont également fait l'objet d'un levé que nous présentons sur une fiche synthétique qui précise la résistance dynamique de pointe (R_d , en 10^5 Pa) en fonction de la profondeur.

Le calcul de la résistance dynamique apparente en pointe est donné par la formule suivante (formule des "Hollandais") :

$$R_d = k n \quad \text{avec} \quad k = \frac{M^2 h}{S_e(M + P)}$$

où :

I Notation	Paramètres	
R_d	Résistance dynamique en pointe	Valeur calculée
N	Nombre de coups	Valeur mesurée
M	Masse mouton	30 kg
Me	Dispositif de battage	23 kg
Mt	Masse tige	3 kg
A	Section de la pointe	10 cm ²
H	Hauteur de chute	20 cm
E	Enfoncement	10 cm

Client: UNIVERSITE PARIS SUD

SONDAGE S1

X: 0.000

Y: 0.000

Sondage pressiométrique

Profondeur (m)	Description lithologique	Facies	PI* (bar)	Pf* (bar)	EM (bar)	EM/PI*
	Terre végétale 0.20 m					
	Sable fin limoneux à argileux, débris divers 0.70 m	Rb.				
1	Argile limono-sableuse brun clair 1.80 m	Colluvions	6.2 3.4		75	12.2
2	Argile sableuse brun clair 3.00 m		4.8 2.7		55	11.5
3						
4	Argile verte 5.00 m	Argiles Vertes de Romainville				
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Obs:

Client: UNIVERSITE PARIS SUD

SONDAGE S2

X: 0.000

Y: 0.000

Sondage pressiométrique

Profondeur (m)	Description lithologique	Facies	PI* (bar)	Pf* (bar)	EM (bar)	EM/PI*
1	Sable limoneux à argileux, meulière, débris divers	Remblais	11.2	7.0	145	12.9
2	Argile sableuse brune sableuse à blocs de meulière	Colluvions	8.7	5.7	100	11.6
3	Argile sableuse beige à cailloutis de silex et de meulière	Colluvions	8.9	5.5	90	10.1
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Obs:

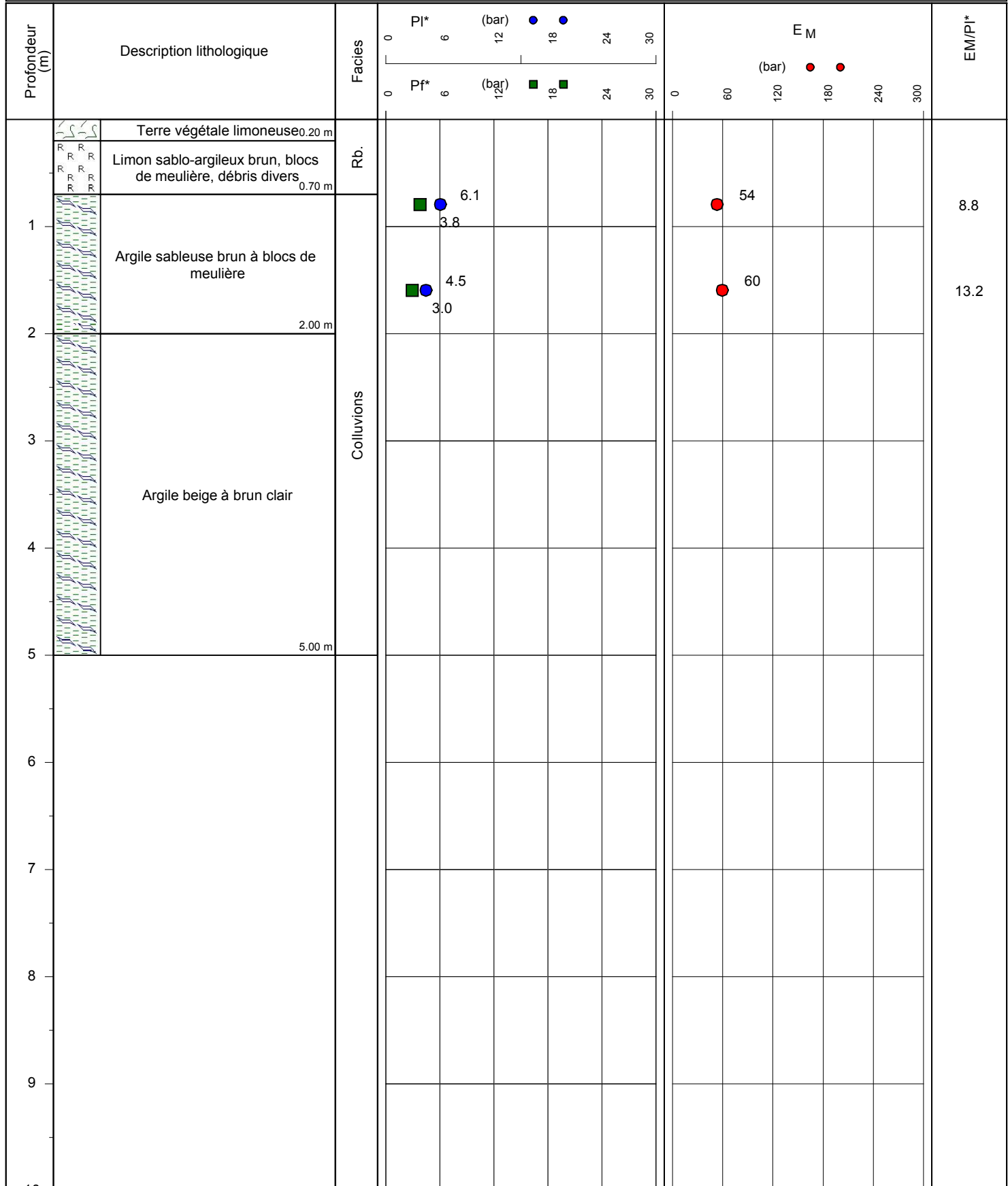
Client: UNIVERSITE PARIS SUD

SONDAGE S3

X: 0.000

Y: 0.000

Sondage pressiométrique



Obs:

Client: UNIVERSITE PARIS SUD

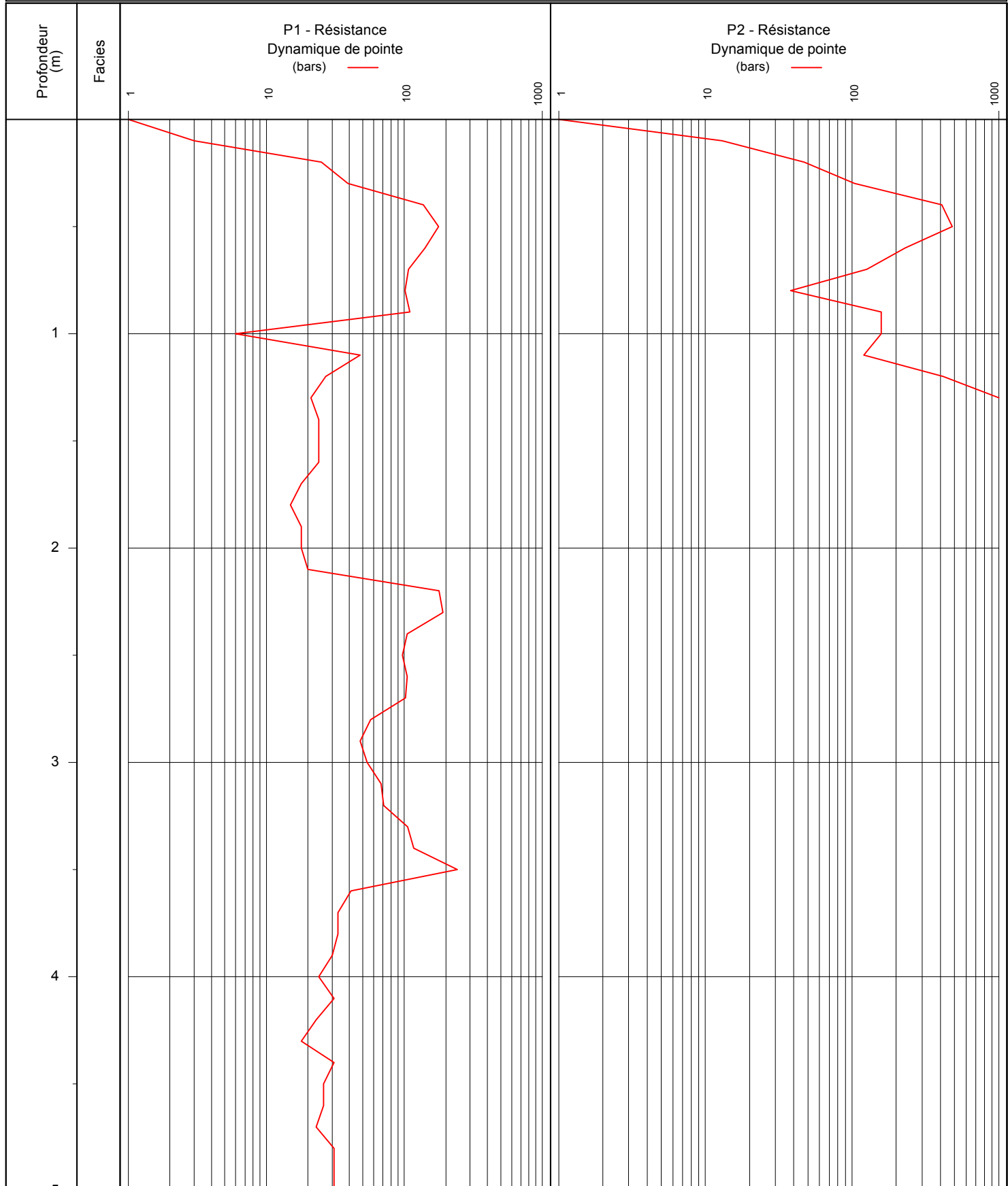
SONDAGE P1 - P2

X: 0.000

Y: 0.000

Z: 0.00

Sondage pénétrométrique



Obs:

Client: UNIVERSITE PARIS SUD

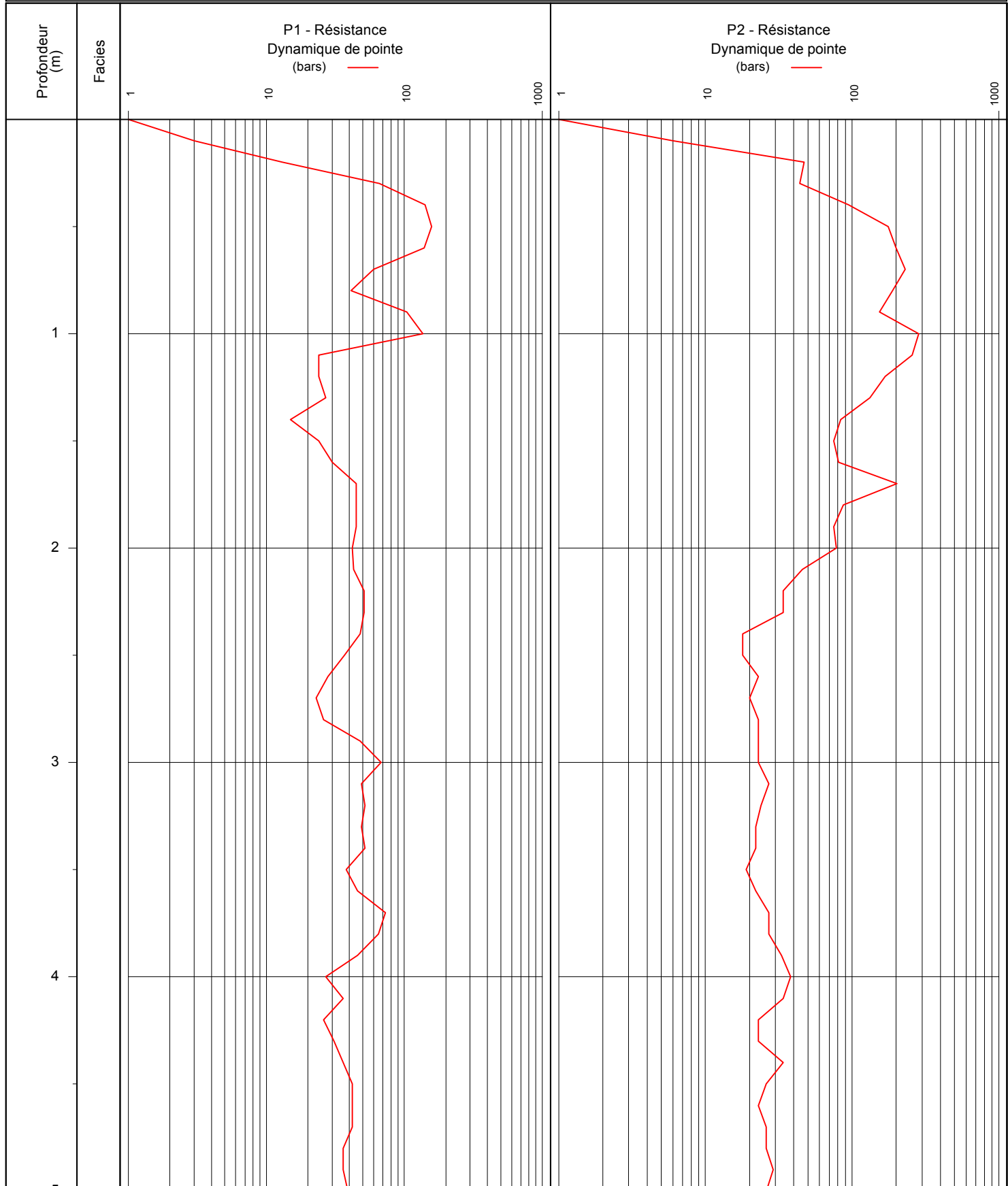
SONDAGE P3 - P4

X: 0.000

Y: 0.000

Z: 0.00

Sondage pénétrométrique



Obs:

Client: UNIVERSITE PARIS SUD

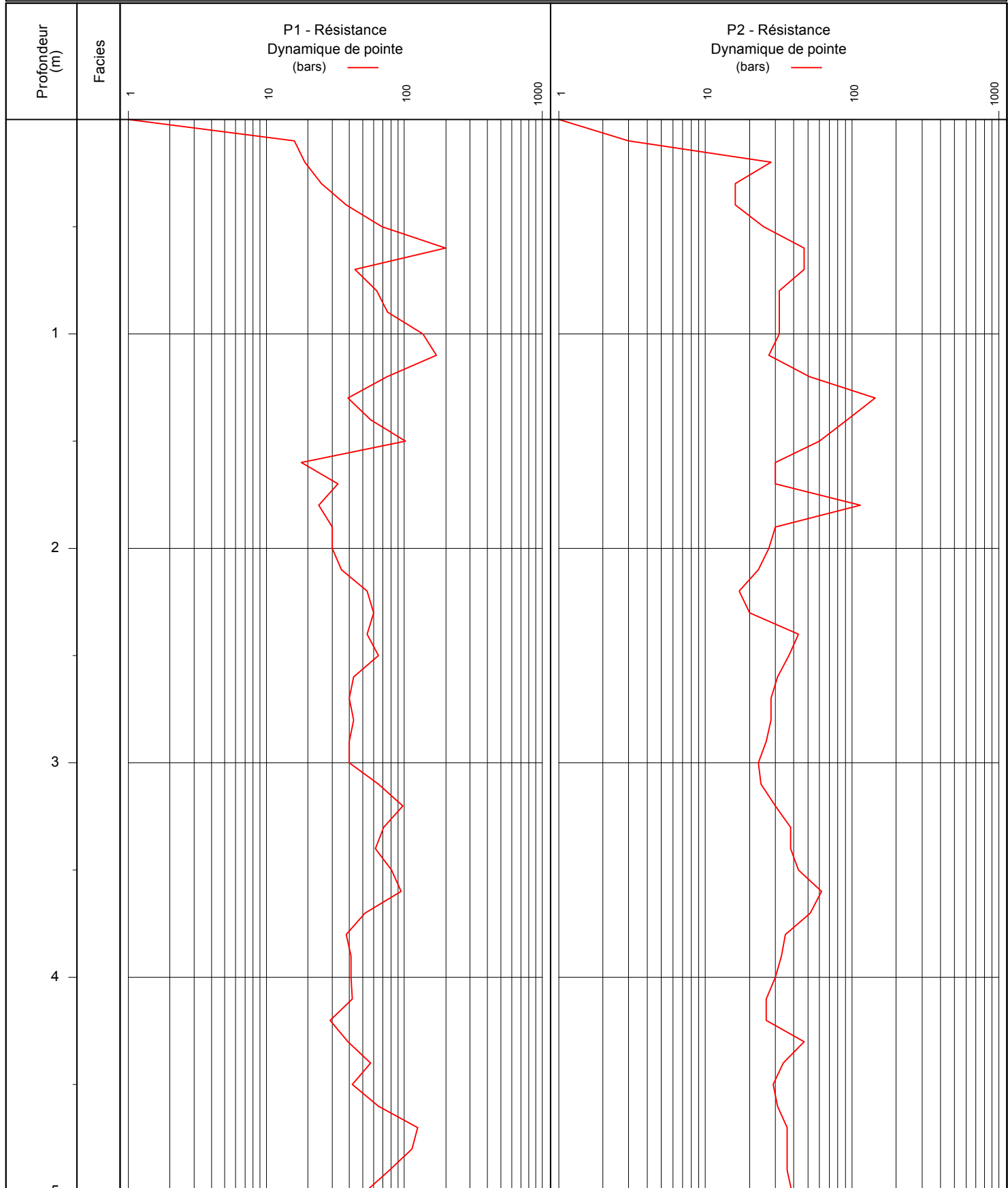
SONDAGE P5 - P6

X: 0.000

Y: 0.000

Z: 0.00

Sondage pénétrométrique



Obs:

II.2 RESULTATS DES ESSAIS PRESSIOMETRIQUES

Sur les sondages, nous avons réalisé, au niveau des assises traversées, une série d'essais lanternés au pressiomètre. Dans le tableau ci-après, nous avons regroupé les résultats de ces essais selon la Norme NFP 94110 où :

- P_f Pression de fluage nette $P_f = P_f - \sigma_h$
- P_l Pression limite de rupture nette calculée en fonction d'une régression linéaire et bornée par une fonction de la pression de fluage ($\min[\text{Reg}, F(P_f)]$)
- E Module de déformation pressiométrique dans le domaine élasto-plastique
- E/Pl Rapport traduisant l'état de consolidation des sols
- Classe Classe de sol D.T.U. 13-12
- α Coefficient rhéologique fonction de E/Pl .

Sondage	Profondeur de l'essai (m/sol)	Nature du matériau testé	Pf	Pl	E	E/Pl	Classe D.T.U.	α
			(10 ⁵ Pa)					
S1	0,8	Argile limono-sableuse	3,4	6,2	75	12,2	I	2/3
	1,6	Argile limono-sableuse	2,7	4,8	55	11,5	I	2/3
S2	0,8	Remblais sablo-limoneux	7,0	11,2	145	12,9	-	-
	1,6	Argile sableuse, meulières	5,7	8,6	100	11,6	I	2/3
	2,5	Argile sableuse, meulières	5,5	8,9	90	10,1	I	2/3
S3	0,8	Argile sableuse, meulières	3,8	6,1	54	8,8	I	2/3
	1,6	Argile sableuse, meulières	3,0	4,5	60	13,3	I	2/3

Tableau 1 – Résultats des essais pressiométriques

II.3 RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE

Les échantillons **E1** et **E2**, prélevés entre 0,1 et 0,4 m/sol, ont fait l'objet d'essais de laboratoire portant sur la mesure de la teneur en eau naturelle et la détermination des limites d'Atterberg (W_l , W_p , I_p et I_c) ou de la valeur au Bleu de Méthylène (VBS), de la granulométrie, de l'indice Proctor immédiat (IPI) et le dosage de la matière organique (Mo).

Les résultats renvoyés par ces essais sont les suivants :

Echantillon (m/sol)	Description	W (%)	VBS	IPI	Mo (%)
E1 (0,1 – 0,3)	Sable marron-beige, limoneux, graviers de silex, meulière, racines, débris de tuile	10,3	0,8	37	2
E2 (0,1 – 0,4)	Sable limoneux marron foncé à noirâtre, mottes de sable argileux ocre, débris de verre et de brique	15,0	-	4	4,1

Tableau 2 – Identification des matériaux

Echantillon	Teneur en eau W (%)	Limite de Liquidité W_l (%)	Limite de Plasticité W_p (%)	Indice de Plasticité I_p (%)	Indice de consistance I_c
E2	18,7	47,6	23,0	24,7	1,17

Tableau 3 – Limites d'Atterberg

	Ouverture (mm)	40	10	5	2,0	0,2	0,08	Dmax (mm)
E1	Tamisat (%)	100,0	82,4	75,2	66,7	46,3	23,9	42
E2		100,0	87,0	85,1	82,0	69,4	43,3	65

Tableau 4 – Analyse granulométrique

III. COMMENTAIRES GEOTECHNIQUES

III.1 NATURE DES MATERIAUX

L'interprétation des coupes de sondages se fait par remontée des sédiments, sur la différenciation mécanique des horizons traversés et sur l'analyse des diagraphies des forages. Cette interprétation peut ainsi conduire à des imprécisions sur la limite entre couches.

Nous présentons ci-après une description des horizons et faciès rencontrés par les sondages.

A. Les Remblais (Rb.)

Sous la terre végétale, les sondages ont traversé des sables plus ou moins limoneux à argileux bruns, insérant des débris de verre, de tuile, des morceaux de géotextile et des blocs pluricentimétriques de meulière. La présence des débris d'origine anthropique nous a conduits à rattacher ces matériaux à des Remblais, vraisemblablement déposés lors de la construction de la rue de Coubertin, qui se place en contrebas du terrain. Ces matériaux ont été identifiés sur des épaisseurs de 0,7 m (S1 et S3) à 1,4 m (S2). Des surépaisseurs entre points de sondage ne peuvent être écartées.

B. Les Colluvions

Elles correspondent aux argiles limoneuses à sableuses plus ou moins riches en blocs de meulière et de silex identifiées sous les remblais, jusqu'à 3,0 m/sol en S1 et jusqu'en fin de sondage, soit 5,0 m/sol, en S2 et en S3. Ces matériaux correspondent aux Argiles à Meulières de Brie remaniées par colluvionnement. Elles peuvent présenter d'importantes variations latérales en termes de faciès (argiles plus ou moins sableuses, poches de sables, blocs de meulières).

C. Les Argiles Vertes de Romainville

Le sondage S1 a touché cette formation vers 3,0 m/sol, qui se présente sous un faciès classique d'argile plastique verdâtre à fins nodules carbonatés.

III.2 NIVEAU AQUIFERE

En fin d'intervention, des niveaux d'eau en cours de stabilisation ont été relevés vers 2,3 m/sol en S1 et 3,6 m/sol en S2. L'éboulement des parois n'a pas permis de relever le niveau d'eau au droit du sondage S2.

Ces niveaux correspondent à des écoulements, en provenance du coteau nord de la vallée, qui se produise à la faveur de la pente générale au toit des Argiles Vertes de Romainville. D'une manière générale, ces circulations peuvent gagner en amplitude peu après une période de forte pluviométrie.

III.3 COMPETENCES MECANIQUES

L'hétérogénéité des Colluvions a également été constatée en termes de compétences mécaniques. Les essais pressiométriques exécutés sous les Remblais renvoient une pression limite moyenne de $6,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \pm 1,9$ pour un module pressiométrique moyen de $72 \cdot 10^5 \text{ Pa} \pm 19$. La pression limite mesurée dans les Remblais, vers 0,8 m/sol au droit du sondage S2 s'avère particulièrement élevée pour ce type de matériaux et semble révéler un certain degré de compactage.

III.4 CLASSIFICATION GTR - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Les essais réalisés sur l'échantillon E2 prélevé dans les Remblais, renvoient un indice de plasticité I_p de 16,9 % qui caractérise des sols d'assise peu plastiques. Avec une limite de liquidité de 33,2 %, la classification de Casagrande rattache les sols supports à des argiles peu plastiques.

Ces essais traduisent une sensibilité faible à modérée aux variations hydriques.

D'après les analyses, l'échantillon E1 correspond à un sable très silteux de classe B_5 dans un état hydrique « tht » (très humide) et l'échantillon E2 à un sable fin limoneux de classe A_2 dans un état hydrique « m » à « s » (moyen à sec). En raison d'une densité trop faible, la présence de blocs n'a pas été prise directement en compte pour établir cette classification.

Echantillon	Classe GTR
E1	$B_5\text{th}$
E2	$A_2\text{m/s}$

Tableau 5 - Classification GTR

IV. ADAPTATION AU SOL

Les arbres présents sur l'emprise des courts et à une distance inférieure à leur hauteur devront être abattus, soigneusement dessouchés et leur système racinaire sera neutralisé.

D'après les profils pénétrométriques, la compacité des Remblais du site se révèle être relativement bonne à partir de 0,4 m/sol actuel alors que celle des Colluvions argilo-sableuses s'avère médiocre jusqu'en fin de sondage. Les valeurs pressiométriques mesurées dans cet horizon sont toutefois suffisamment élevées pour conduire à une contrainte admissible surabondante au regard du projet. Il serait alors préférable de procéder à un décapage de la terre végétale et des Remblais sur une épaisseur minimale de 0,4 m de manière à ce que le fond de forme soit terrassé en tête du niveau compact de remblais. Pour éviter des tassements qui à terme compromettrait la planéité des courts de tennis, on peut procéder une injection gravitaire de coulis de ciment. Cette mesure ne viserait que les remblais dont l'épaisseur serait supérieure à 0,8 m.

La mise en œuvre de la couche de fondation des courts de tennis, nécessairement drainante, pourrait impliquer la réalisation d'une couche de forme. Cette dernière pourrait être constituée à partir des Remblais du site sous réserve d'un traitement au liant hydraulique et/ou à la chaux en raison d'une sensibilité marquée à l'eau, liée à une proportion d'argiles non négligeable. Toutefois, le dosage de la matière organique a révélé une teneur supérieure à 4 % pour l'échantillon E2 et de 2 % pour l'échantillon E1. Le traitement des sols à la chaux ou au ciment est proscrit lorsque la teneur en matière organique excède 3 %. Un contrôle rigoureux de la teneur en matière organique permettra de sélectionner les matériaux réutilisables.

Si la nature des matériaux du site n'était pas satisfaisante au regard des exigences du cahier des charges techniques relatif à la création des courts de tennis, la couche de forme serait alors uniquement traitée en matériaux d'apport insensible à l'eau, soigneusement compactés. La mise en œuvre d'un géotextile à la base de la couche de fondation et/ou de la couche de forme, si elles sont constituées de matériaux granulaires, permettra d'éviter les phénomènes de poinçonnement.

Nous restons à votre disposition pour tout renseignement complémentaire.

Ludwig LANGLOIS

ANNEXES

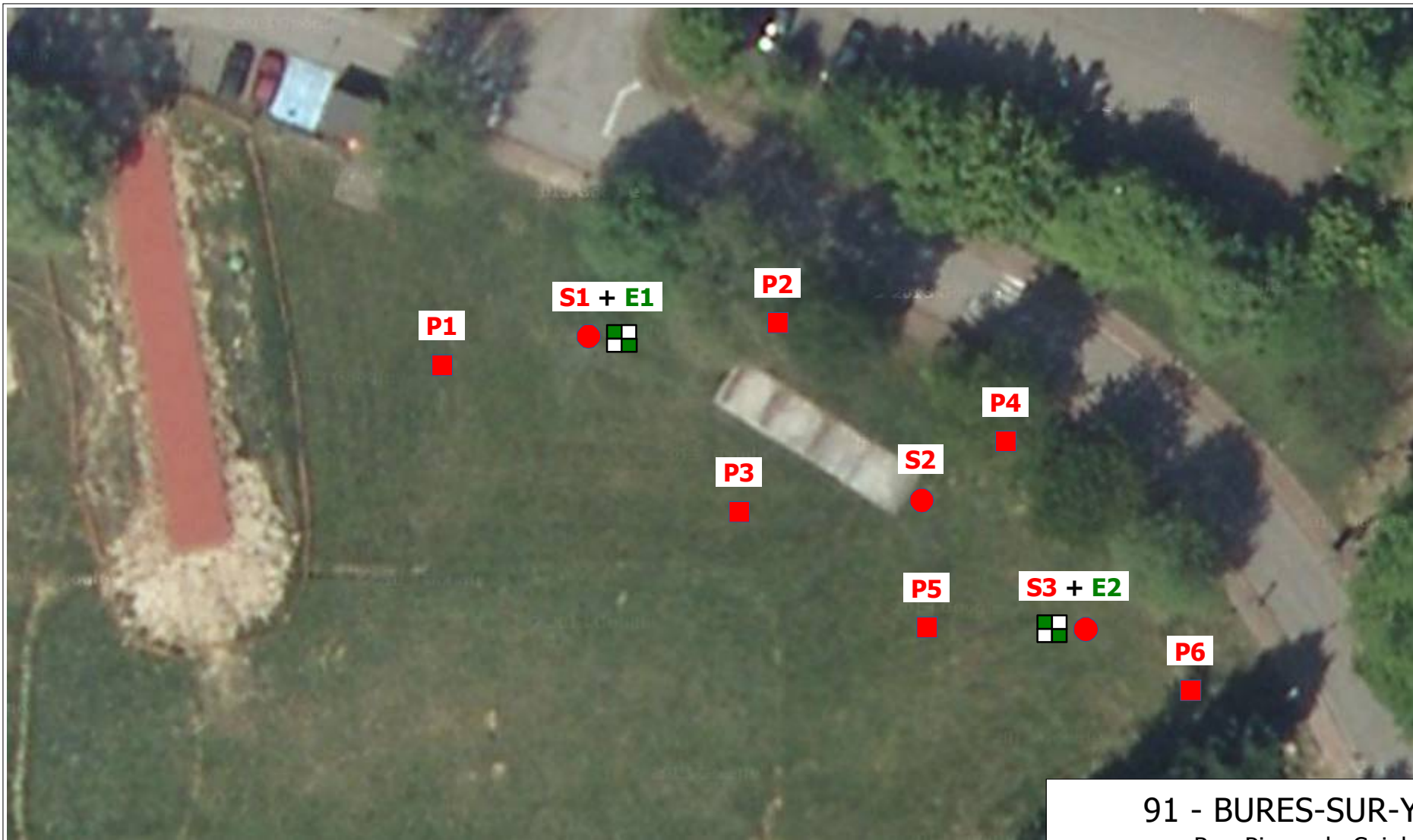
ANNEXE I – LISTE DES TABLEAUX DE DONNEES	14
ANNEXE II – PLAN D’IMPLANTATION SCHEMATIQUE DES SONDAGES	15
ANNEXE III – RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE	16

ANNEXE I – LISTE DES TABLEAUX DE DONNEES

Tableau 1 – Résultats des essais pressiométriques	8
Tableau 2 – Identification des matériaux	9
Tableau 3 – Limites d'Atterberg	9
Tableau 4 – Analyse granulométrique	9
Tableau 5 - Classification GTR	11

ANNEXE II – PLAN D’IMPLANTATION SCHEMATIQUE DES SONDAGES

IMPLANTATION SCHEMATIQUE DES SONDAGES



● Sondage pressiométrique ■ Sondage pénétrométrique

■ Echantillon de sol

91 - BURES-SUR-YVETTE
Rue Pierre de Cuiobertin

UNIVERSITE PARIS SUD

sefia

63 rue Victor Hugo
94700 MAISONS-ALFORT

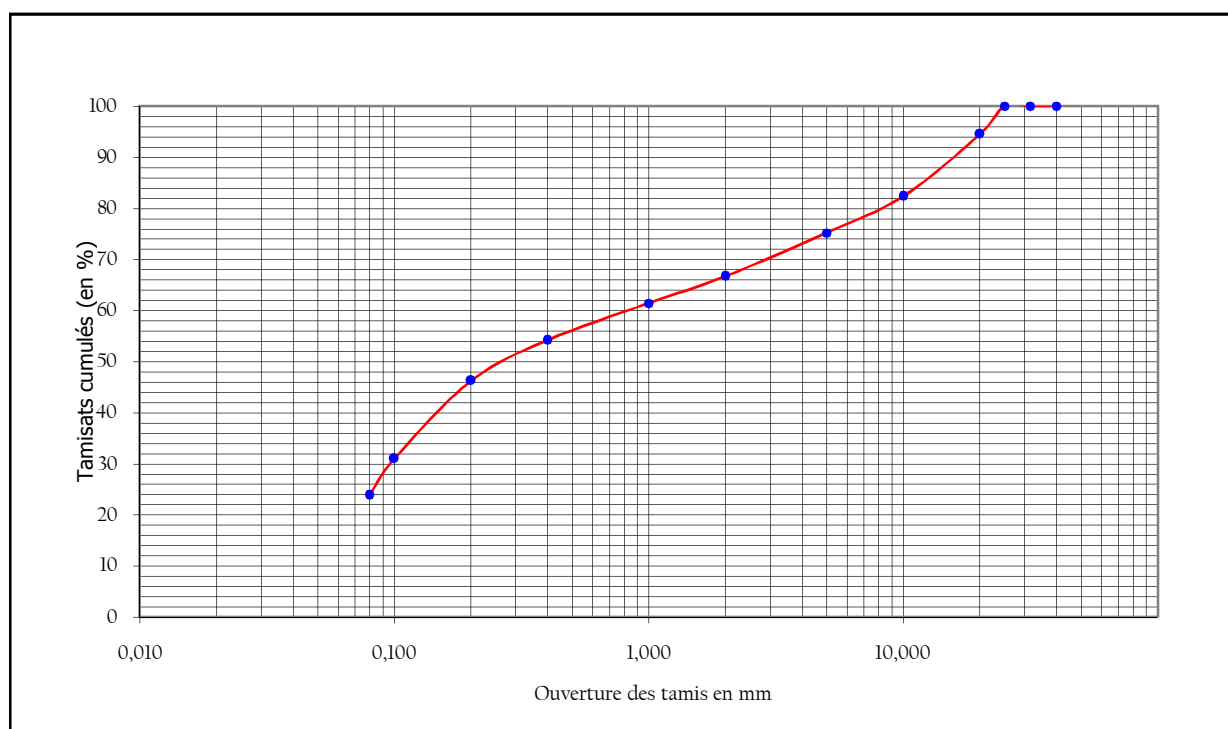
Tél: 0148536240 Fax: 0143392705 E-mail: contact@sefia.fr

ANNEXE III – RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE

Analyse granulométrique

selon la Norme NF P 94-041

Chantier : 91 - BURES-SUR-YVETTE	Température de séchage : 105 °C	Dossier : 14/09/7056/91
Sondage : E1 (0,1 - 0,4 m/sol)	Date d'essai : 14/11/2014	dmax = 42,0 mm



Tamis (mm)	Tamisat cumulé (%)
40,0	100,0
31,5	100,0
25,0	100,0
20,0	94,5
10,0	82,4
5,0	75,2
2,0	66,7
1,0	61,4
0,40	54,2
0,2	46,3
0,1	31
0,08	23,9

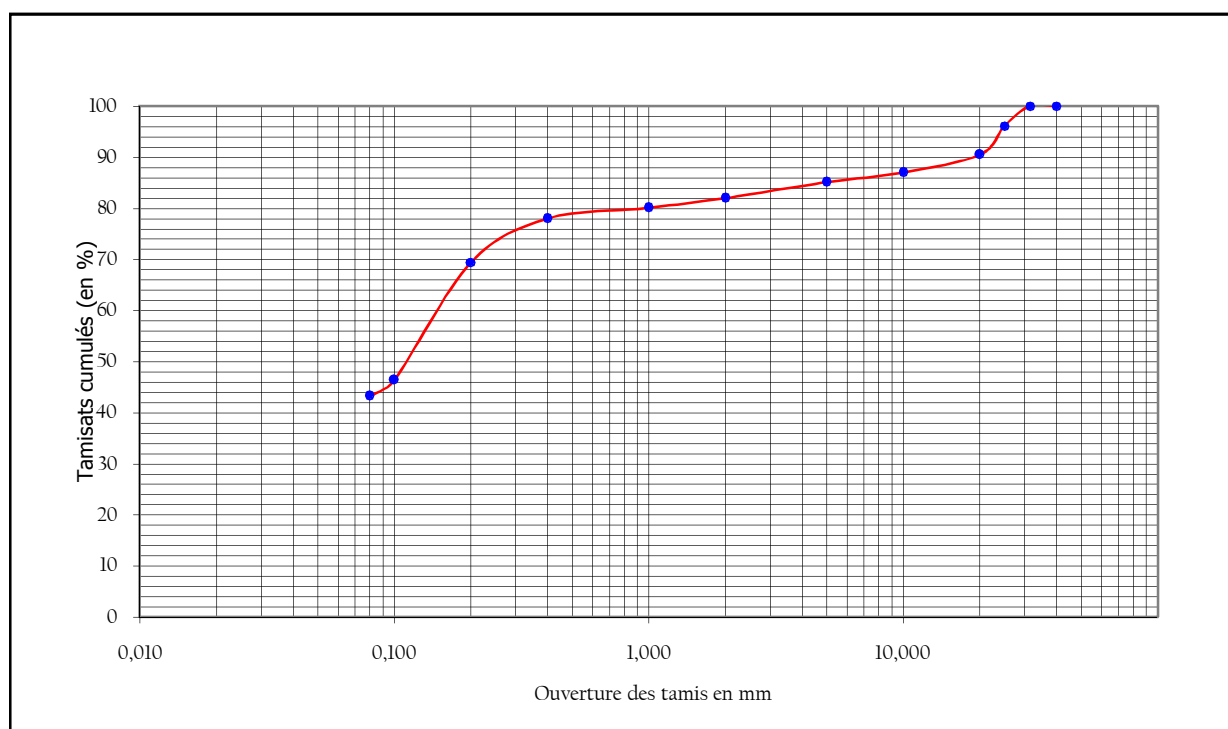
Matériau : Sable marron-beige limoneux à graivers de silex et meulières, rares racines et grains de quartz.

Grave	(2 mm - 20 mm)	33,3%
Sable	(0,08 - 2 mm)	42,8%
Argile	(<0,08 mm)	23,9%

Analyse granulométrique

selon la Norme NF P 94-041

Chantier : 91 - BURES-SUR-YVETTE	Température de séchage : 105 °C	Dossier : 14/09/7056/91
Sondage : E2 (0,1 - 0,4 m/sol)	Date d'essai : 14/11/2014	dmax = 65,0 mm



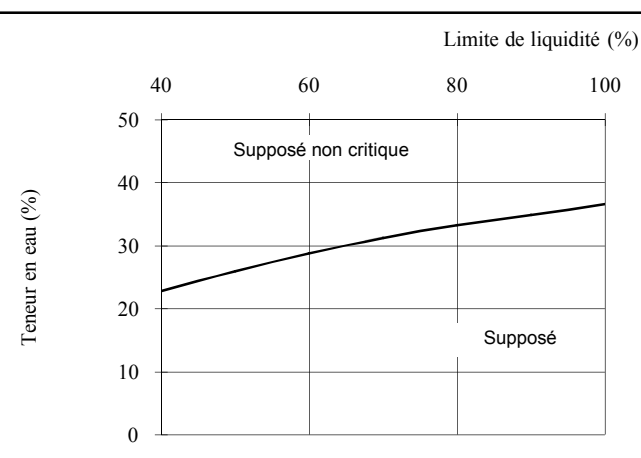
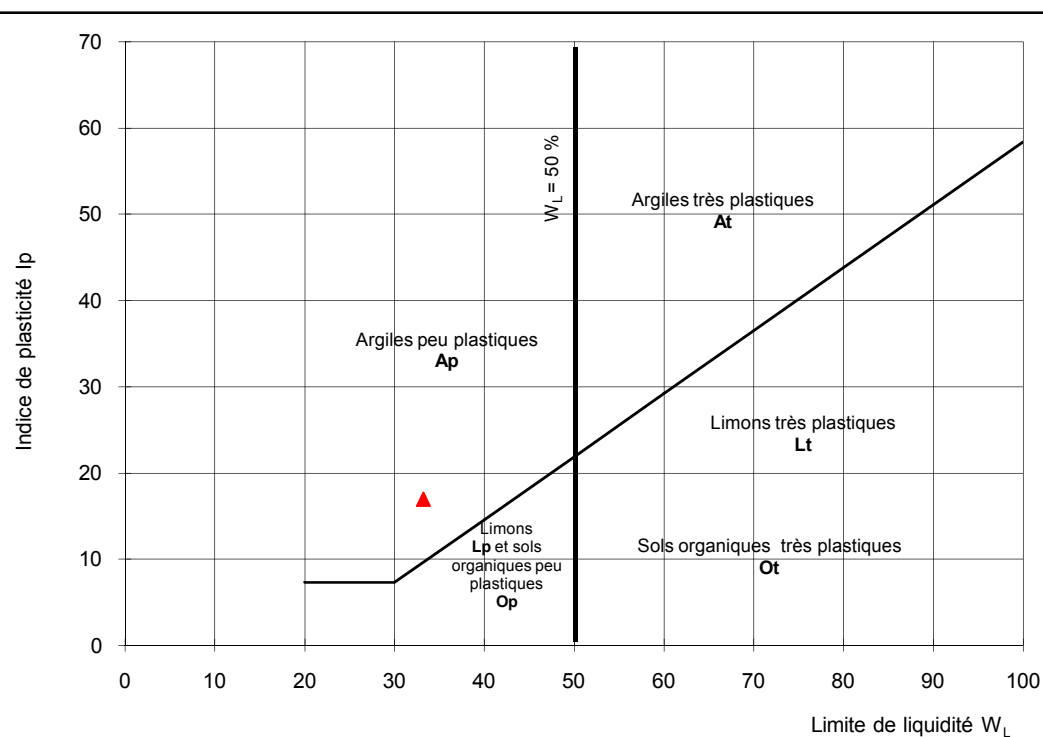
Tamis (mm)	Tamisat cumulé (%)
40,0	100,0
31,5	100,0
25,0	96,1
20,0	90,5
10,0	87,0
5,0	85,1
2,0	82,0
1,0	80,1
0,40	78
0,2	69,4
0,1	46,4
0,08	43,3

Matériau : Sable limoneux brun foncé à noirâtre, mottes de sable argileux à quartz, blocs de meulière, débris de verre, brique.

Grave	(2 mm - 20 mm)	18,0%
Sable	(0,08 - 2 mm)	38,7%
Argile	(<0,08 mm)	43,3%

CLASSIFICATION CASAGRANDE

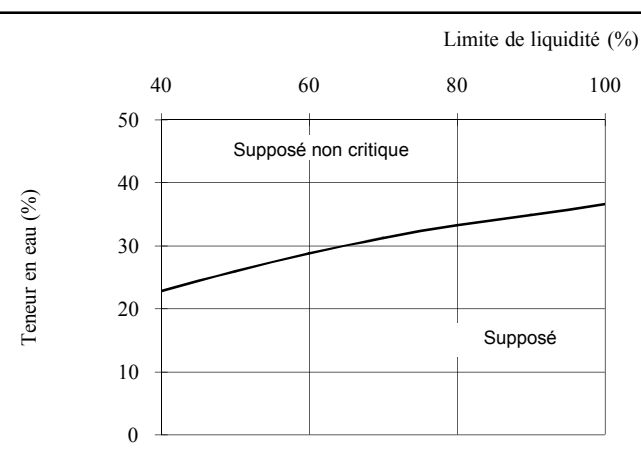
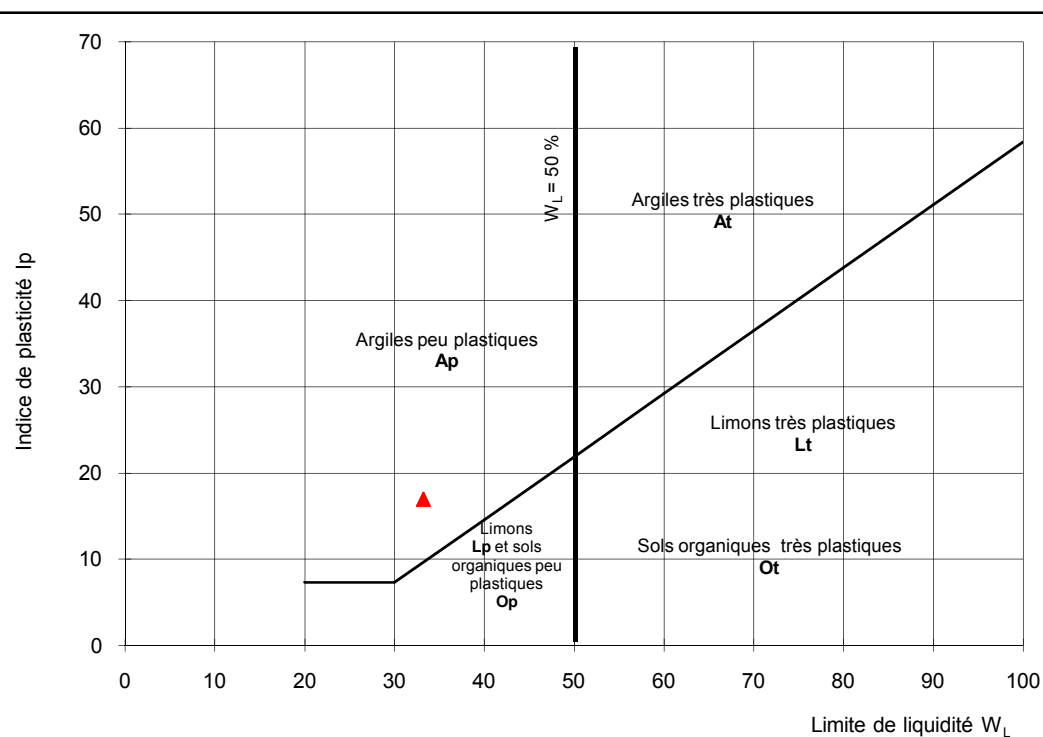
Prélèvement	E1			Limites d'Atterberg			
Etude	91 - BURE-SUR-YVETTE	Nature de l'échantillon	Sable limoneux	W_L en %	33,2	I_P	16,9
Client	UNIVERSITE PARIS SUD	Prélèvement en m/sol	0,1 - 0,3 m	W_P en %	16,3	I_L	-0,08
Dossier	14/09/7056/91	Teneur en eau naturelle en %	15,0	W_R en %		I_C	1,08
						I_s	



Teneur en eau minimale pour la limite de liquidité d'un sol (d'après Bara)

CLASSIFICATION CASAGRANDE

Prélèvement	E1			Limites d'Atterberg			
Etude	91 - BURE-SUR-YVETTE	Nature de l'échantillon	Sable limoneux	W_L en %	33,2	I_P	16,9
Client	UNIVERSITE PARIS SUD	Prélèvement en m/sol	0,1 - 0,3 m	W_P en %	16,3	I_L	-0,08
Dossier	14/09/7056/91	Teneur en eau naturelle en %	15,0	W_R en %		I_C	1,08
						I_s	



Teneur en eau minimale pour la limite de liquidité d'un sol (d'après Bara)