

B 3 G 2

**Bureau d'études de Géologie,
Géophysique et Géotechnique**

AVANT-PROJETS-FONDATIONS-HYDROLOGIE-GEOPHYSIQUE-EXPERTISES

S.A.S. D'INGENIEURS CONSEILS
AU CAPITAL DE 10 000,00 EUROS

Saint Vit, le 15 Octobre 2019

Notre Référence : BN/2019/17729

VOIRIES LOTISSEMENT 65 PARCELLES

Rue de Besançon

25-MONTFERRAND LE CHATEAU

ETUDE GEOTECHNIQUE

Cette étude géotechnique de type G2 AVP (selon la norme NF P 94-500) a été réalisée à la demande du bureau JDBE et pour le compte de la CM CIC Aménagement Foncier.

Elle a pour but de reconnaître la nature et les caractéristiques du terrain au droit du projet de création de voiries d'un futur lotissement, en vue de déterminer :

- les structures des voiries ;
- les possibilités et conditions d'infiltration des EP.

GENERALITES

Le terrain est situé à l'angle de la rue de Besançon et de la rue du Pré aux Loups à MONTFERRAND LE CHATEAU (25).

Il est actuellement occupé par un champ de culture.



Vue aérienne.

Géologiquement le proche sous-sol est constitué par des argiles d'altération qui recouvrent un substratum calcaire à marneux du jurassique.

Le projet consiste en la création de voiries sur un linéaire total d'environ 620 ml.

Si cela est possible, il est envisagé que les eaux de pluie soient infiltrées in situ.

Notre mission a comporté la réalisation de 4 sondages géotechniques au pénétromètre et de 6 sondages géologiques avec tests d'infiltration, et 2 analyses en laboratoire.

L'implantation de ces investigations est donnée sur le plan joint en annexe.

.../...

P E N E T R O M E T R E

Les essais de pénétration ont été réalisés en mode dynamique avec un appareil spécialisé Géotool R790.

Les résultats sont présentés sous forme de diagrammes joints en annexe, qui expriment les variations de la résistance dynamique en fonction de la profondeur.

Leur analyse permet de reconnaître :

- En surface, sur environ 0,20 m, une **couche superficielle de terre végétale** dont les valeurs de la résistance dynamique R_d sont de l'ordre de 8-10 à 70-80 bars.
- Ensuite, jusqu'à des profondeurs qui varient entre 0,60 à 2,00 m voire au moins 3,00 m, un **horizon meuble lenticulaires**, dont les valeurs de la résistance R_d , **très faibles à moyennes**, sont comprises entre 15-20 et 60-80 bars.
On observe en P4, une frange consistante en tête ($R_d = 80$ à 110 bars). On note également au-delà de -2,00 m, en P2 et P4, que les valeurs de R_d tendent à chuter ($R_d = 20-30$ bars).
- Au-delà, localement en P1 et P3, un **horizon compact**, dont les valeurs de la résistance R_d , **bonnes**, sont supérieures 100 bars, et croissent rapidement avec la profondeur avant de provoquer le refus à la pénétration.

Il s'agit des premiers termes du substratum calcaire.

Ces sondages sont restés secs (*sondages à l'aveugle*).

.../...

SONDAGES GEOLOGIQUES

Les sondages de reconnaissance géologique ont été réalisés à la tarière hélicoïdale Ø 64 mm à l'aide d'un atelier spécialisé GEO 205.

Les résultats sont présentés sur les fiches jointes en annexe.

On notera principalement :

- En surface, 20 à 40 cm de **terre végétale**.
- Ensuite jusqu'à -1,20 à -1,60 m voire au moins 3,00 m en S4, un horizon **meuble** constitué de **limon ± argileux, d'argile et d'argile plastique brune**, brun clair à brun ocre, parfois à blocs (S1) ou quelques cailloutis (S3).
- Au-delà, le **substratum calcaire** parfois d'abord fracturé et/ou altéré puis compact.

Ces sondages sont tous restés secs.

.../...

ESSAIS D'INFILTRATION

A l'intérieur des 6 sondages géologiques, nous avons procédé à des tests d'infiltration des eaux. Les résultats de ces essais sont synthétisés dans le tableau suivant qui donne pour chaque sondage la valeur du coefficient de perméabilité k , en m/s.

N°	Valeur du coefficient de perméabilité k (m/s)	Type de sol
S1	1.10^{-6} m/s	Argile sur calcaire compact
S2	5.10^{-5} m/s	Calcaire fracturé en blocs sur calcaire compact
S3	1.10^{-6} m/s	Argile sur calcaire compact
S4	1.10^{-7} m/s	Argile $\pm$ plastique
S5	1.10^{-5} m/s	Calcaire altéré sur calcaire compact
S6	5.10^{-7} m/s	Limon argileux sur calcaire compact

D'après la classification suivante, dans les sondages géologiques, les valeurs de perméabilité sont **très faibles** de l'ordre de 10^{-7} m/s à **moyennes** de l'ordre de 10^{-5} m/s.

La présence de limon, d'argile ou de calcaire compact peut expliquer les valeurs faibles à très faibles de perméabilité.

La présence de calcaire fracturé et/ou altéré peut expliquer les valeurs plus favorables de perméabilité.

- $k < 10^{-7}$ m / s imperméabilité,
- 10^{-7} m / s $< k < 10^{-6}$ m / s perméabilité très faible,
- 10^{-6} m / s $< k < 10^{-5}$ m / s perméabilité faible,
- 10^{-5} m / s $< k < 10^{-4}$ m / s perméabilité moyenne,
- 10^{-4} m / s $< k < 10^{-3}$ m / s perméabilité élevée,
- $k > 10^{-3}$ m / s perméabilité forte.

.../...

Avis sur l'infiltration des EP :

Les valeurs du coefficient de perméabilité k qui ont été mesurées sont **très faibles à moyennes** de l'ordre de 10^{-7} à 10^{-5} m/s.

Par conséquent, l'infiltration des eaux de pluies dans le sous-sol sera **envisageable mais très délicate** (*contexte karstique et perméabilité variable*).

On pourrait envisager la création de **bassins, tranchées ou puits d'infiltration** qui devront être descendues d'au moins 1,00 m dans les **calcaires en essayant de recouper un maximum de fissures**.

On proscrira toute infiltration dans les argiles et calcaires très compacts.

A titre indicatif ces tranchées seront remplies sur 1 m par des matériaux drainant propres de type 40-80 mm, enrobés dans un géotextile anticontaminant, ce qui leur permettra de jouer le rôle de bassin tampon avec un taux d'emmagasinement de 40 %.

Par exemple, une tranchée de 1,50 m de profondeur, de 1 m de large par 5 m de long, remplie sur au moins 1 m par des matériaux drainants propres de type 40-80 mm pourra emmagasiner 2 m^3 .

Toutefois, **les capacités d'infiltration d'un tel système seront réduites**, et ces 2 m^3 ne pourront le plus souvent être infiltrés qu'en quelques heures à 1-2 jours **dans les zones rocheuses fracturées**.

Les capacités d'infiltration seront **faibles voire négligeables** dans les **zones rocheuses compactes**.

Par conséquent, **on devra impérativement prévoir un trop plein relié à un exutoire**, afin d'éviter les débordements, en particulier en cas d'orage.

Dans le cas contraire, **les dispositifs tels que tranchées, puits, bassins devront être dimensionnés pour pouvoir infiltrer et tamponner les volumes d'eaux à infiltrer**.

.../...

On notera que les eaux injectées en partie haute du site sont susceptibles de ressortir en contrebas. On proscrira toute infiltration en amont de construction (existante ou projetée) notamment avec sous-sol.

Il serait préférable que tout dispositif soit situé à une distance minimale de **8 m de tout bâtiment ou plateforme**, et à **5 m minimum de toute limite de propriété**.

En effet toute infiltration dans le substratum calcaire pourrait réactiver des anomalies karstiques profondes (entraînement des fines en profondeur provoquant affaissement en surface même pour des zones non chargées telles que espaces verts, parkings...), et toute infiltration proche de constructions ou voiries risquerait d'entraîner les fines des plateformes.

Une fois l'emplacement retenu on pourrait réaliser des essais d'infiltration en vraie grandeur type Matsuo (avec excavation à la pelle mécanique), afin d'affiner les valeurs de perméabilité et dimensionner au mieux les dispositifs.

Selon les valeurs de perméabilité au droit de l'emplacement retenu, on pourra par exemple associer des puits en fond de bassins pour optimiser la perméabilité au sein du substratum calcaire en recoupant un maximum de fissures.

Il s'agit de principes généraux d'infiltration. Une étude plus poussée de dimensionnement des ouvrages d'infiltration devra être réalisée par un BE spécialisé ou un hydrogéologue agréé, avec prise en compte des constructions existantes et futures, et gestion du risque karstique.

.../...

LABORATOIRE

- TENEUR EN EAU :

Nous avons réalisé des analyses de laboratoire (*teneur en eau W*) sur des échantillons prélevés dans les sondages S2, S3 et S6.

Sondage	Profondeur	Nature des matériaux	Masse humide (g)	Masse sèche (g)	Teneur en eau W (%)
S2	0,30 à 1,00 m	Argile plastique brun clair	104	85	22,4%
S3	0,50 à 1,30 m	Argile plastique brun clair à quelques cailloutis	117	95	23,2%
S6	0,30 à 1,20 m	Limon argileux brun clair à brun ocre	120	100	20,0%

On note que ces matériaux présentent des **teneurs en eau assez homogènes**, de l'ordre de 20,00 à 23,2 %, témoignant de terrains argileux plutôt dans un état hydrique moyen à humide.

- ANALYSE GTR :

Nous avons réalisé des analyses de laboratoire pour déterminer la classification GTR sur des échantillons prélevés dans les sondages S2 et S3.

Sondage	Profondeur	Nature des matériaux	GTR92
S2	de 0,30 m à 1,00 m	Argile plastique brun clair	A4
S3	de 0,50 à 1,30 m	Argile plastique brun clair à quelques cailloutis	A4

Ces matériaux sont classés A4 selon le GTR92, D'après nos analyses, ces matériaux argileux sont très **plastiques** et **sujets aux phénomènes de retrait-gonflement**.

.../...

Remarque :

D'après le site www.georiques.gouv.fr, le terrain étudié se situe en zone d'aléa moyen vis-à-vis du retrait gonflement.



Ces sols sont très peu perméables. S'ils changent de teneur en eau, c'est extrêmement lentement et **avec d'importants retraits ou gonflements.**

Ces matériaux sont donc très sensibles aux variations hydriques, et leurs portances peuvent chuter considérablement en présence d'eau. En période pluvieuse ils ont tendance à se gorger d'eau et perdre toute consistante.

En l'état la réutilisation des matériaux in situ n'est pas envisageable compte tenu de leur sensibilité **aux variations hydriques et du risque de matelassage**. De plus leur hétérogénéité (limona argileux, argile, argile plastique) ne permettra pas une sélection de matériaux susceptibles d'être traité (*sous réserve également d'essais d'aptitude au traitement validant une possible réutilisation*).

D'un point de vue technico-économique nous **déconseillons fortement donc la réutilisation des matériaux argileux** in situ très hétérogènes tant en nature qu'en consistance, avec des teneurs en eau variables localement et avec une sensibilité importante aux phénomènes de retrait-gonflement.

Les éventuels matériaux **calcaires extraits** pourront quant à eux être **réutilisés en blocage, à condition d'être propres (sans argiles) et suffisamment bien triés ($\phi < 200-300$ mm)**. Des analyses granulométriques seraient alors nécessaires. On pourrait également opter pour ne réutiliser que les éléments grossiers des matériaux calcaires extraits en cloutage des fonds de forme argileux.

.../...

CONCLUSIONS

Les résultats des sondages et essais précédents ont mis en évidence sous une couche superficielle de **terre végétale**, la présence jusqu'à 0,60 à au moins 3,00 m de profondeur, de **terrains meubles** constitués de limons argileux, argiles limoneuses, argiles, argiles plastiques localement à quelques blocs ou cailloutis.

Au-delà, on observe un **substratum calcaire** parfois d'abord fracturé et/ou altéré puis compact.

Aucun de ces sondages et essais n'a révélé la présence d'eau.

Structure des voiries légères :

Après décapage des limons mous et/ou argiles molles et compactage du fond de forme, **les voiries légères** pourront être mises en place sur une plateforme constituée de :

- géotextile anticontaminant (*voire cloutage des fonds de forme limoneux ou argileux lâches avec du brut de minage 0-300 à 0-500 mm, notamment par temps pluvieux*) ;
- matériaux de blocage type 0-200 mm, épaisseur :
35 cm minimum (*en cas de fond de forme limoneux ou argileux*)
ou localement, calcaire en place déstructuré* au brise roche, épaisseur : 20-25 cm ;
- grave calibrée type 0-31,5 mm, épaisseur :
20 cm si blocage sur fond de forme argileux
30 cm si fond de forme rocheux déstructuré*
- couche de surface (enrobé ou autre...)

**En cas de fond de forme rocheux le géotextile n'est plus nécessaire, par contre on veillera à bien déstructurer le rocher pour permettre l'accroche de la couche de 0/31,5 mm sous dallage (à réaliser en 2 passes de 15 cm = une pour l'accroche et l'autre pour refermer sous couche de surface de la voirie).*

Des essais à la plaque vérifieront que :

$$k > 5 \text{ bars / cm, EV2} > 500 \text{ bars avec EV2 / EV1} < 2.$$

.../...

Remarque :

On veillera également à ce que la structure soit dimensionnée au hors gel. Si l'on veut s'en affranchir pour éviter des surépaisseurs de structures, on sera conscient d'éventuelles possibles déformations dans le temps.

Si toutes les passées ou les poches lâches argileuses ne sont pas purgées ou renforcées par cloutage, des déformations dans le temps sont à craindre. Des reprises et réfections seraient alors à prévoir.

Il faut prévoir des problèmes de portance et de traficabilité en période pluvieuse. Il faudra alors avoir recours à la mise en œuvre d'un blocage plus épais et/ou d'un cloutage systématique en brut de minage.

Le chantier pourrait alors devenir rapidement boueux et difficilement praticable par temps de pluie.

Terrassements :

Les terrassements dans, limons et argiles pourront être réalisés par des moyens traditionnels suffisamment puissants, voire adaptés à leur caractère collant.

En revanche, l'utilisation de matériels d'extraction de forte puissance et de moyens spécifiques (brise roche par exemple...) pourra être nécessaire pour l'extraction des terrains calcaires et/ou de blocs indurés.

Les eaux de pluies et de ruissellement tendront à s'accumuler dans les différentes dépressions ou fouilles (*effet cuvette*), et devront être soigneusement drainées et évacuées hors de l'emprise du chantier.

Les matériaux limoneux et argileux sont en effet sensibles à l'eau, et leurs caractéristiques mécaniques tendent à chuter lorsqu'ils sont détrempés.

Il sera nécessaire de bien maîtriser toutes les venues d'eau en cours de chantier et en phase définitive (drainage périphérique).

A ce stade de l'étude nous ne pouvons définir les débits d'exhaure, et toutes les venues d'eau susceptibles d'être rencontrées.

.../...

En cas de talutages :

Dans les limons et argiles, les talus **provisoires** devront être couchés avec une pente Horizontale / Verticale de 3H / 2V voire 3H / 1V en cas de terrains lâches.

Dans le rocher compact ou fracturé, les talus pourront être sub-verticaux, avec un léger fruit de type 1H / 5V selon leur hauteur, et à condition de purger les blocs instables.

Il conviendra d'éviter toutes surcharges même temporaires en amont des talus.

Les **talus définitifs** devront être :

- couchés avec une pente Horizontale / Verticale de 3H / 2V ;
- d'une hauteur maximale de 3,00 m ;
- végétalisés ;
- si besoin conforté en pieds par des gabions ;
- **drainés de manière correcte** (*drains ou fossé étanche, collecte et évacuation des eaux vers un exutoire ou ouvrages d'infiltration*) .

Sujétions d'exécution :

Notons que la réalisation d'un cloutage implique un terrassement supplémentaire d'environ 20 cm pour permettre l'incorporation des éléments grossiers dans les fonds de formes. Une fois ces fonds de forme renforcés on pourra monter la structure en blocage puis en tout-venant.

Si un cloutage n'est pas réalisé, notamment localement dans les secteurs de fond de forme plus consistant, il conviendra quand même de purger toute poche molle ou lâche, et de les substituer par du blocage type 0/200 mm.

Lors de la réalisation des travaux (terrassements, compactage...), on prendra toutes les précautions qui s'imposent afin de garantir la stabilité des existants avoisinants (bâtiment, voiries, réseaux...) et des talus (provisoires et définitifs).

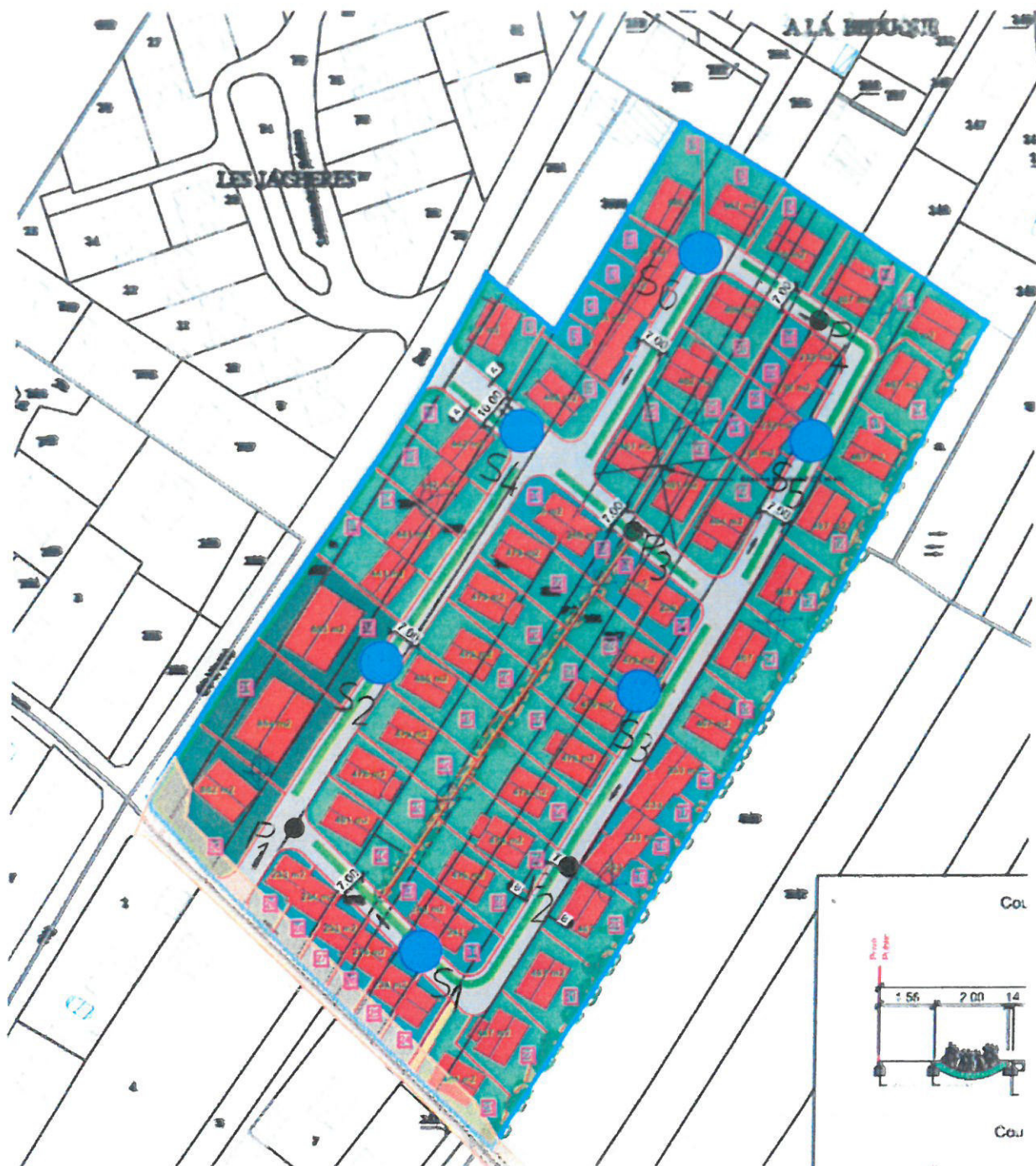
Selon la configuration définitive du projet (profil, NF...), le présent rapport devra être suivi d'une étude G2PRO, G3 et/ou G4 (selon l'enchaînement des missions géotechniques de la norme NF P 94-500).

Nous restons à la disposition des concepteurs pour préciser et adapter nos conclusions.

B. NICEY

DOCUMENTS ANNEXES

Voiries Lotissement 65 Parcelles 25-MONTFERRAND LE CHATEAU



B 3 G 2
N°17729

- Sondage pénétrométrique (P)
- Sondage géologique avec essai d'infiltration (S)

B 3 G 2

10, Rue de la Coupotte - 25410 Saint-Vit

Tel : 03-81-87-60-41 / Fax : 03-81-87-59-95

e-mail : b3g2@b3g2.fr

DIAGRAMME DE PENETRATION

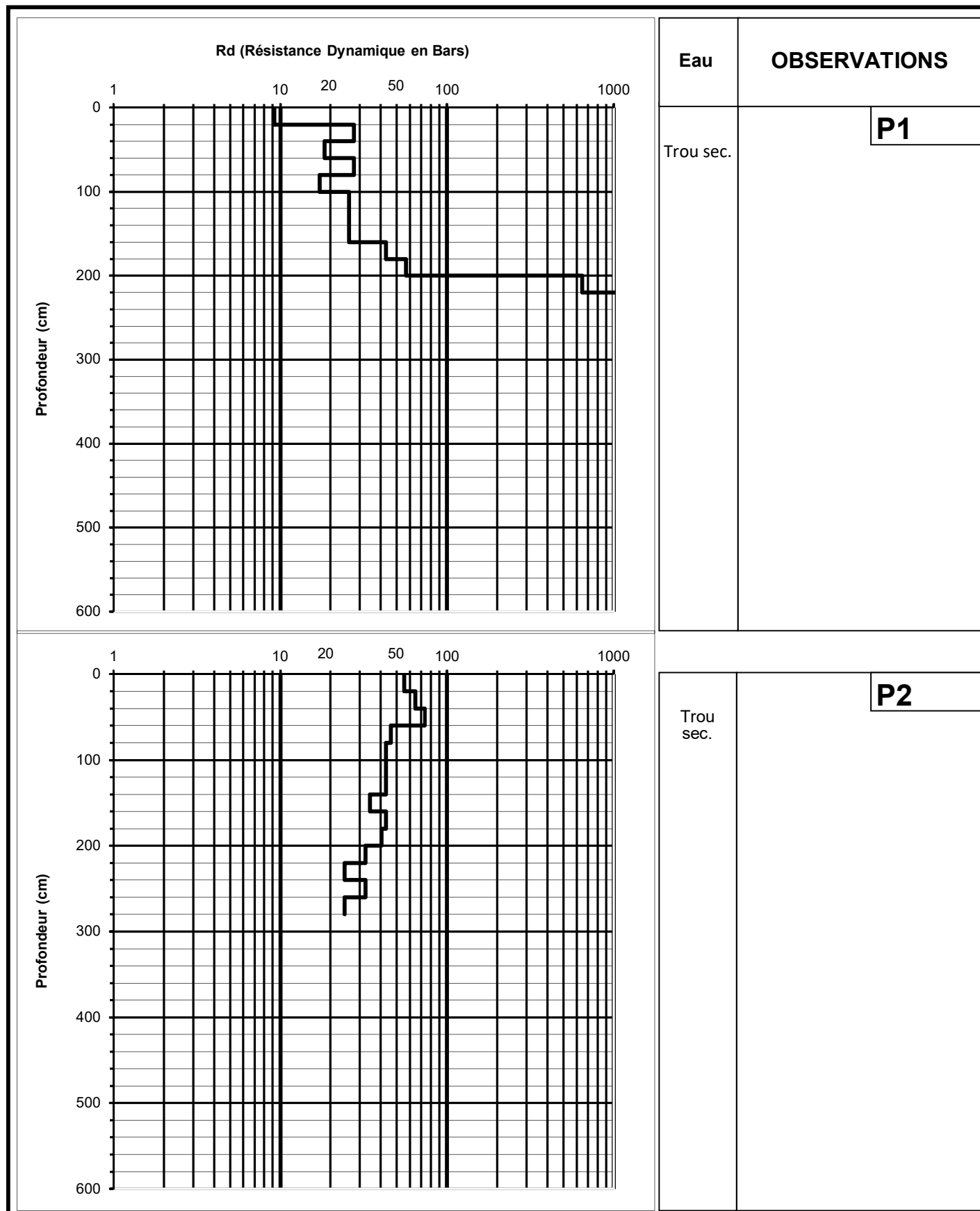
PENETROMETRE DYNAMIQUE GEOTOOL R790

M : 64 Kg, H : 75 cm, Ø cône : 50 mm

Dossier N° : 17 729

Affaire : Voiries 25-MONTFERRAND LE CHÂTEAU

Date : 25/09/2019



B 3 G 2

10, Rue de la Coupotte - 25410 Saint-Vit

Tel : 03-81-87-60-41 / Fax : 03-81-87-59-95

e-mail : b3g2@b3g2.fr

DIAGRAMME DE PENETRATION

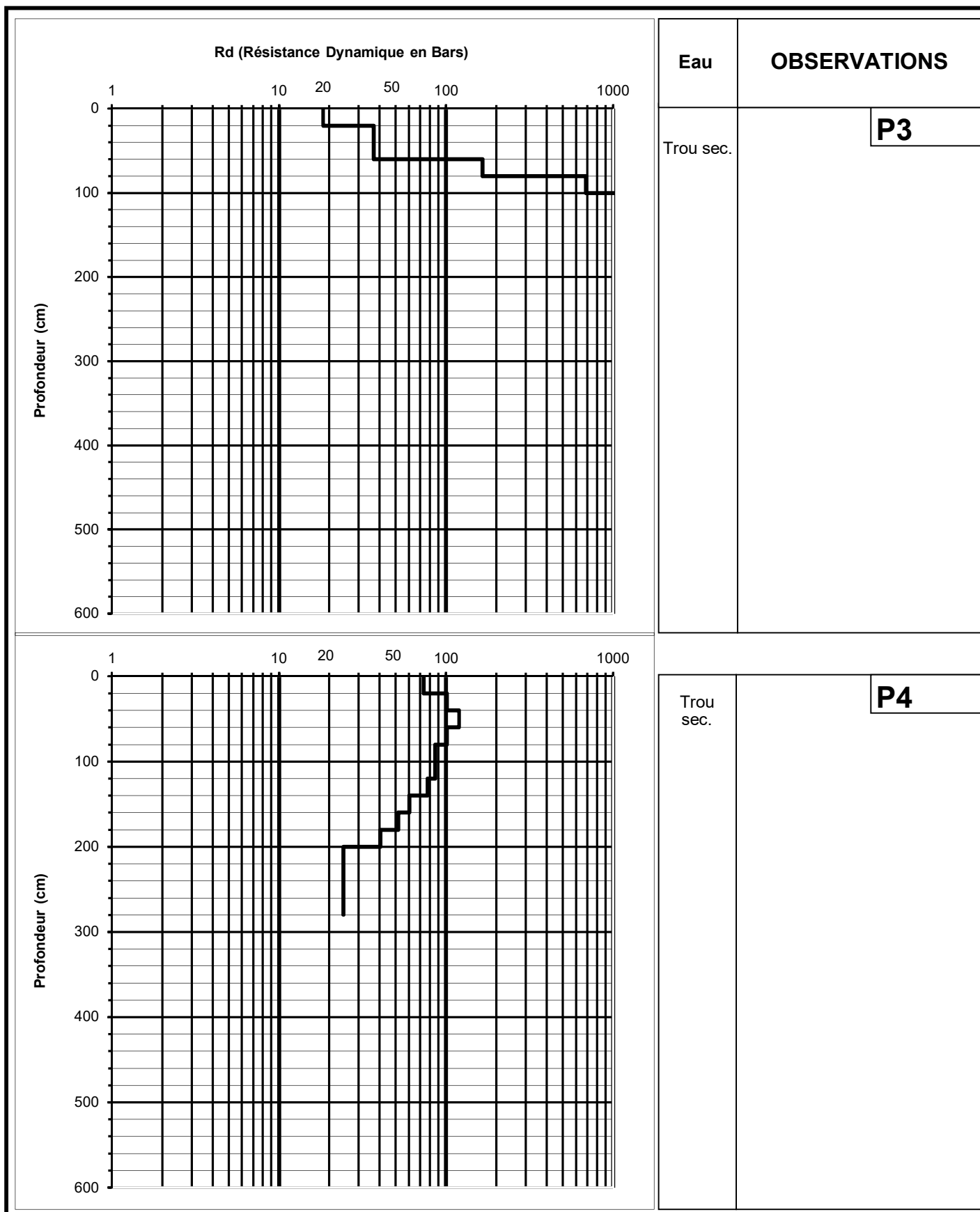
PENETROMETRE DYNAMIQUE GEOTOOL R790

M : 64 Kg, H : 75 cm, Ø cône : 50 mm

Dossier N° : 17 729

Affaire : Voiries 25-MONTFERRAND LE CHÂTEAU

Date : 25/09/2019



Dossier N° : 17729

Affaire : Voiries Lotissement 65 Parcelles 25-MONTFERRAND LE CHATEAU

Date : 25/09/2019

Prof	Nature du terrain	Eau	Outil	Observations
0-	Terre végétale <i>jusqu'à 0,20 m</i>	Trou sec.	T A R I E R E H E L I C O I D A L E Ø 64 mm	Test d'infiltration des eaux : Perméabilité : $k = 1.10^{-6}$ m/s
0.5-	Limon argileux brun <i>jusqu'à 0,50 m</i>			
	Argile ± plastique brune <i>jusqu'à 0,90 m</i>			
1-	Bloc calcaire <i>jusqu'à 1,00 m</i>			
1.5-	Argile brune à blocs <i>jusqu'à 1,60 m</i>			
2-	Calcaire compact <i>jusqu'à 2,50 m</i>			
2.5-				
3-				

Dossier N° : 17729

Affaire : Voiries Lotissement 65 Parcelles 25-MONTFERRAND LE CHATEAU

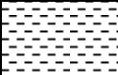
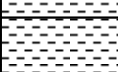
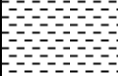
Date : 25/09/2019

	Prof	Nature du terrain	Eau	Outil	Observations
	0-	Terre végétale <i>jusqu'à 0,30 m</i>	Trou sec.	T A R I E R E H E L I C O I D A L E Ø 64 mm	Test d'infiltration des eaux : Perméabilité : $k = 5.10^{-5}$ m/s
	0.5-	Limon argileux à argile ± plastique brun clair <i>jusqu'à 1,00 m</i>			
	1-				
	1.5-	Blocs calcaires <i>jusqu'à 2,10 m</i>			
	2-				
	2.5-	Calcaire compact à quelques passées fracturées <i>jusqu'à 3,00 m</i>			
	3-				

Dossier N° : 17729

Affaire : Voiries Lotissement 65 Parcelles 25-MONTFERRAND LE CHATEAU

Date : 25/09/2019

	Prof	Nature du terrain	Eau	Outil	Observations
	0-	 Terre végétale <i>jusqu'à 0,20 m</i>	Trou sec.	T A R I E R E H E L I C O I D A L E Ø 64 mm	Test d'infiltration des eaux : Perméabilité : $k = 1.10^{-6}$ m/s
	0.5-	 Argile limoneuse brun ocre <i>jusqu'à 0,50 m</i>			
	1-	 Argile plastique brun clair à quelques cailloutis <i>jusqu'à 1,30 m</i>			
	1.5-	 Calcaire compact <i>jusqu'à 2,50 m</i>			
	2-				
	2.5-				
	3-				

Dossier N° : 17729

Affaire : Voiries Lotissement 65 Parcelles 25-MONTFERRAND LE CHATEAU

Date : 25/09/2019

	Prof	Nature du terrain	Eau	Outil	Observations
	0-	Terre végétale <i>jusqu'à 0,40 m</i>	Trou sec.	T A R I E R E H E L I C O I D A L E Ø 64 mm	Test d'infiltration des eaux : Perméabilité : $k = 1.10^{-7}$ m/s
	0.5-	Argile légèrement limoneuse brun clair <i>jusqu'à 0,80 m</i>			
	1-	Argile brun clair <i>jusqu'à 1,20 m</i>			
	1.5-				
	2-	Argile plastique brun clair <i>jusqu'à 3,00 m</i>			
	2.5-				
	3-				

Dossier N° : 17729

Affaire : Voiries Lotissement 65 Parcelles 25-MONTFERRAND LE CHATEAU

Date : 25/09/2019

	Prof	Nature du terrain	Eau	Outil	Observations
	0-	Terre végétale <i>jusqu'à 0,20 m</i>	Trou sec.	T A R I E R E H E L I C O I D A L E Ø 64 mm	Test d'infiltration des eaux : Perméabilité : $k = 1.10^{-5} \text{ m/s}$
	0.5-	Argile limoneuse brune <i>jusqu'à 1,20 m</i>			
	1-				
	1.5-	Calcaire altéré à interbanks argileux brun clair <i>jusqu'à 2,10 m</i>			
	2-				
	2.5-	Calcaire à interbanks argilo-marneux brun clair <i>jusqu'à 2,70 m</i>			
	3-	Calcaire compact <i>jusqu'à 3,00 m</i>			

Dossier N° : 17729

Affaire : Voiries Lotissement 65 Parcelles 25-MONTFERRAND LE CHATEAU

Date : 25/09/2019

	Prof	Nature du terrain	Eau	Outil	Observations
	0-	Terre végétale <i>jusqu'à 0,30 m</i>	Trou sec.	T A R I E R E H E L I C O I D A L E Ø 64 mm	Test d'infiltration des eaux : Perméabilité : $k = 5.10^{-7}$ m/s
	0.5-	Limon argileux brun clair à brun ocre <i>jusqu'à 1,20 m</i>			
	1-				
	1.5-	Calcaire fracturé en blocs <i>jusqu'à 1,50 m</i>			
	2-	Calcaire compact <i>jusqu'à 2,50 m</i>			
	2.5-				
	3-				

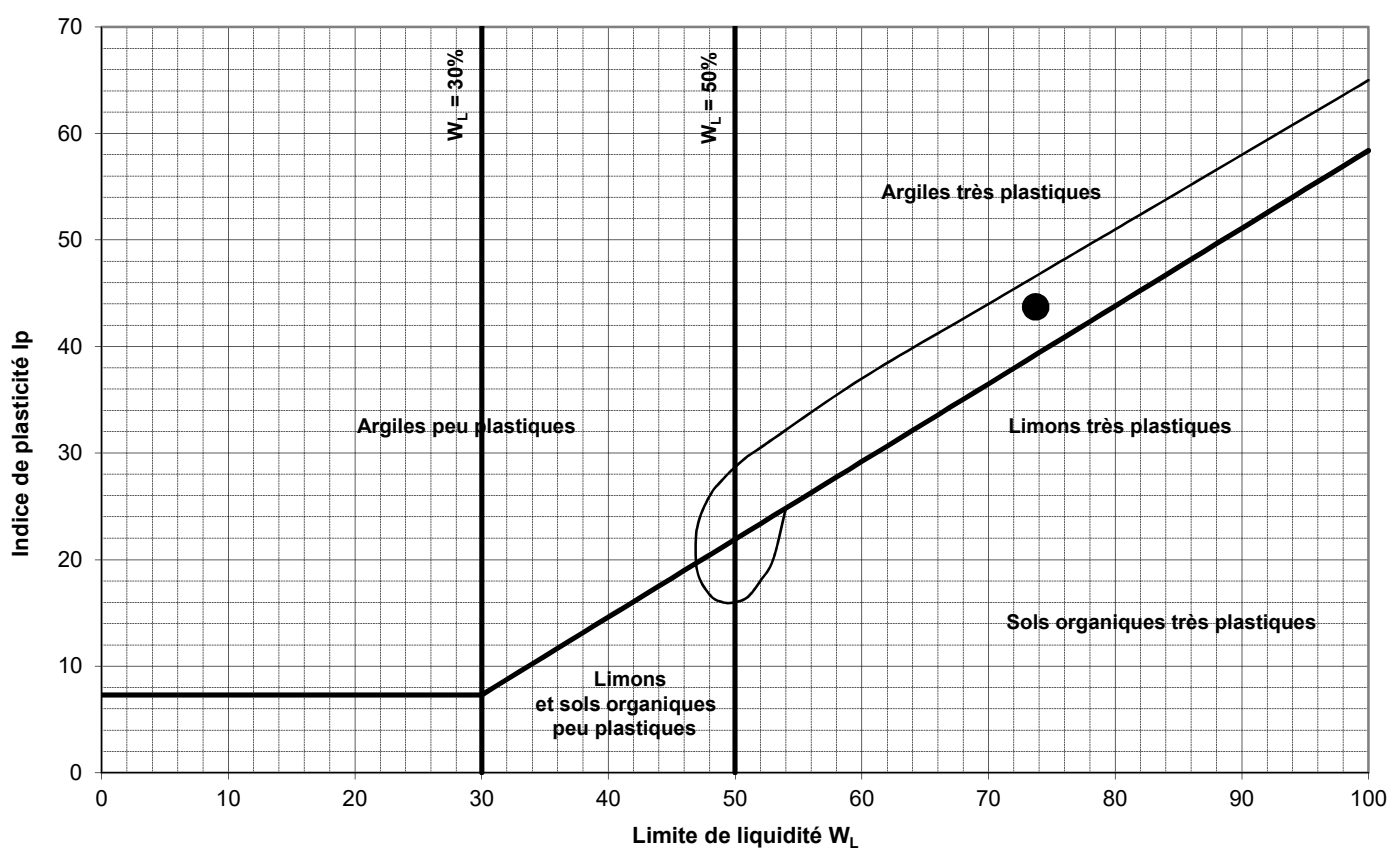
B 3 G 2

Diagramme de Casagrande

Dossier : 17729

Affaire : Montferrand le Château 25

Objet : Voiries Lotissement 65 Parcelles



Sondage	Profondeur (m)	Nature du terrain	Classe GTR	W (%)	W_L (%)	W_P (%)	I_p	I_c
S2	0,30 à 1,00 m	Argile ± plastique brun clair	A4	22,4	73,7	30,0	43,7	1,17

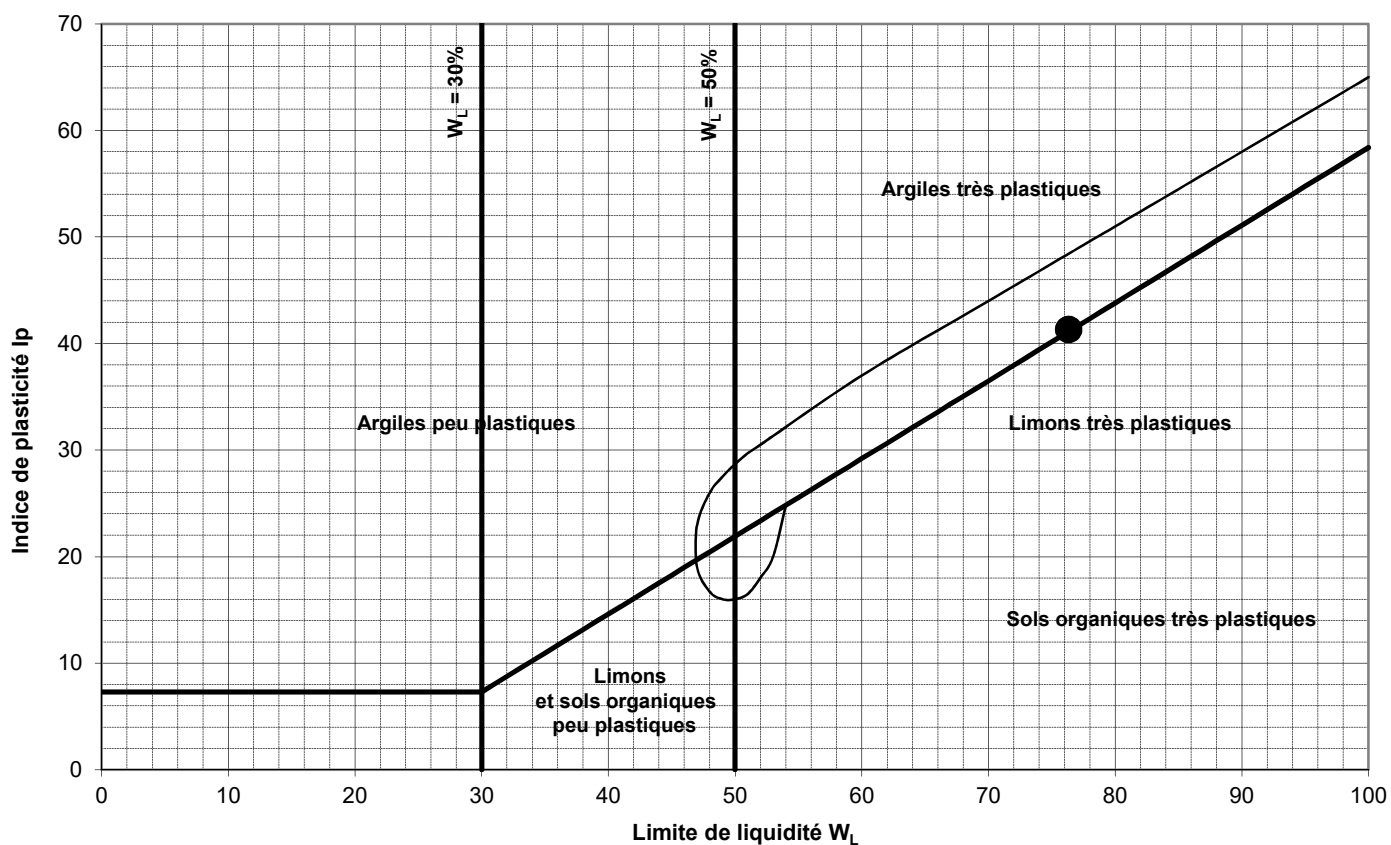
B 3 G 2

Diagramme de Casagrande

Dossier : 17729

Affaire : Montferrand le Château 25

Objet : Voiries Lotissement 65 Parcelles



Sondage	Profondeur (m)	Nature du terrain	Classe GTR	W (%)	W_L (%)	W_P (%)	I_p	I_c
S3	0,50 à 1,30 m	Argile plastique brun clair à quelques cailloutis	A4	23,2	76,3	35,0	41,3	1,29