



Champlan le 22/12/2023

Dossier 21.4.106

***EXAMEN DE DALLAGE – ENTREPOT – 3-9
PORT DE SANTES***

CPA EXPERTS

RAPPORT D'INTERVENTION

SOMMAIRE

1.	GENERALITES.....	3
1.1	Contexte	3
1.2	Objet de la demande	3
1.3	Contexte géologique (rappel)	4
1.4	Risques naturels.....	4
1.4.1	Phénomène de retrait-gonflement des sols argileux (rappel)	4
2.	INVESTIGATIONS EFFECTUEES SUR SITE	5
2.1	Sondages carottés et sondages à la tarière.....	5
2.1.1	Intérieur : Carottages en dallage.....	5
2.1.2	Intérieur : Sondage à la tarière	6
2.1.3	Extérieur : Sondage carotté	7
2.2	Sondage pressiométrique.....	8
2.3	Sondages au pénétromètre dynamique	9
2.4	Niveau d'eau	11
3.	ESSAIS EN LABORATOIRE RELATIFS AU BETON	11
3.1	Description des carottes prélevées	12
3.2	Mesure de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau	12
3.3	Mesure de résistance à la compression	13
3.4	Mesure de résistance à la traction par fendage.....	13
3.5	Dosage en ciment et estimation du rapport E/C	14
3.5.1	Dosage en ciment	14
3.5.2	Estimation du rapport E/C.....	15
3.6	Dosage en fibres	16
3.7	Examen MEB	17
4.	ESSAIS EN LABORATOIRE RELATIFS AU SOL	21
4.1	Description du Sondage carotté.....	21
4.2	Mesures de teneur en eau	21
4.3	Limites d'Atterberg et classification GTR	22
4.4	Essais œdométriques	22
5.	SYNTHESE DES RESULTATS	23
5.1	Sol.....	23
5.2	Béton	24
	ANNEXE 1 : IMPLANTATION DES SONDAGES	25
	ANNEXE 2 : PHOTOGRAPHIES DES ZONES DE SONDAGE.....	27
	ANNEXE 3 : SONDAGE CAROTTE RELATIF AU SOL	36
	ANNEXE 4 : SONDAGE PRESSIOMETRIQUE.....	44
	ANNEXE 5 : SONDAGES AU PENETROMETRE DYNAMIQUE	46
	ANNEXE 6 : DESCRIPTION DES CAROTTES BETON.....	55
	ANNEXE 7 : LIMITES D'ATTERBERG.....	74
	ANNEXE 8 : RESULTATS DES ESSAIS OEDOMETRIQUES	77

A la demande du cabinet CPA expert, 112 bis rue Cardinet, 75017 Paris, la société Rincent BTP Services Recherche-Expertise, ZA L'Orme Saint Germain, 9/11 chemin de Chilly, 91160 Champlan, a procédé à des investigations de types carottage en dallage, essais de pénétration dynamique et pressiométriques en extérieure dans l'entrepôt de Tikamoon à Santes

1. GENERALITES

1.1 Contexte

D'après les informations communiquées, l'entrepôt sis 3-9 port de Santes (Figure 1) comporte un dallage qui a fait l'objet d'une réfection en 2019. Cela aurait consisté entre autres en un rabotage sur 15 cm du revêtement existant. Le site d'environ 27000m² est actuellement exploité par la société Tikamoon.

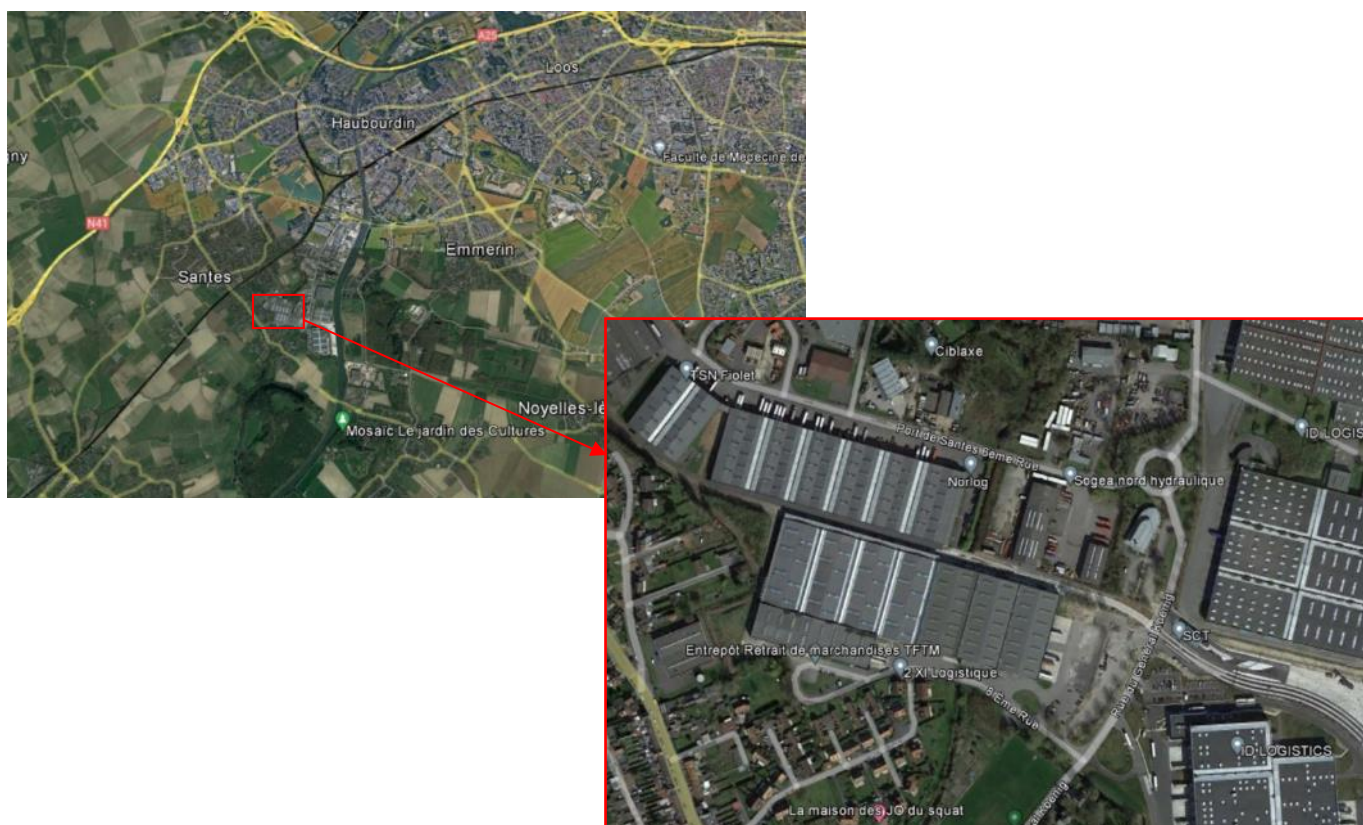


Figure 1 : localisation du site

Le dallage en béton de fibres métalliques est l'objet de fissuration, raison pour laquelle une expertise est actuellement en cours.

1.2 Objet de la demande

Il a été demandé de procéder à des sondages carottés destinés à examiner le béton constitutif du dallage via divers essais en laboratoire ainsi que le sol support.

1.3 Contexte géologique (rappel)

D'après la carte géologique au 1/50000^{ème} feuille de Lille (Figure 2), le site se trouverait au droit d'une zone d'ancien marais (Marais de Santes). Le sol support est constitué par des alluvions de la Deûle dont la nature et la puissance sont très variables. D'après la notice de cette carte géologique : « *Il peut s'agir d'argiles grises ou jaunâtres, de sables et de sables argileux parfois glauconieux dans lesquels s'intercalent des passes de tourbe et des lits de graviers* ».



Figure 2 : Carte géologique au 1/50000^{ème} – feuille de Lille – source BRGM

1.4 Risques naturels

1.4.1 Phénomène de retrait-gonflement des sols argileux (rappel)

La zone étudiée se situe sur un secteur à l'aléa retrait/gonflement des argiles, le site se trouverait dans une zone d'exposition moyenne (Figure 3).

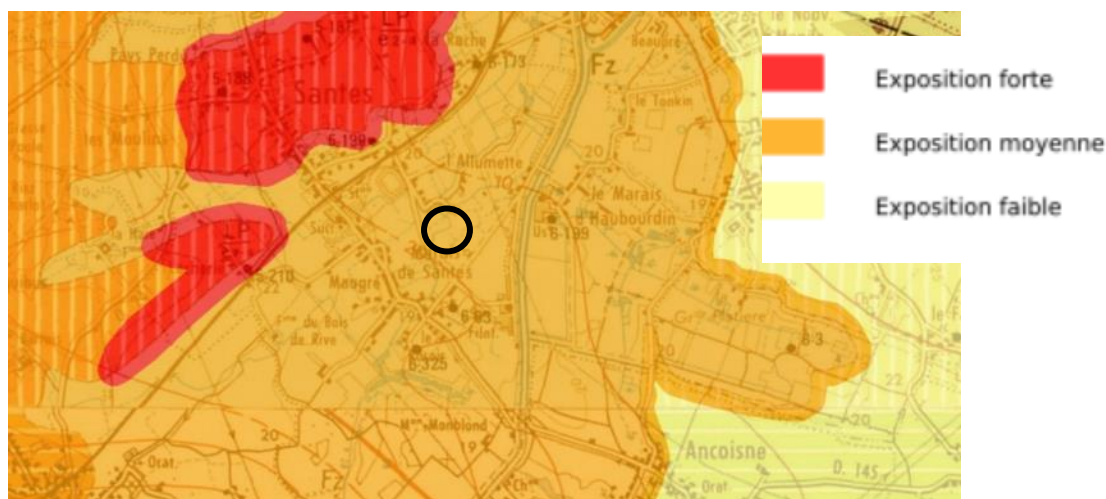


Figure 3 : Carte d'exposition à l'aléa retrait-gonflement des argiles – source BRGM

2. INVESTIGATIONS EFFECTUEES SUR SITE

Les investigations sur site ont été réalisées le 12/07/2023 et 13/07/2023 et ont consisté en l'exécution des investigations suivantes :

- 18 carottages traversants en diamètre 92mm réalisés à l'aide d'une carotteuse électrique Hilti 220V ;
- un sondage à la tarière (ST) de 1m de profondeur / surface du dallage
- huit essais de pénétration dynamique réf, P1 à P8 poussés à 2,5m ou au refus exécutés par les trous de carottages ;
- Un sondage pressiométrique PR situé en extérieur à proximité du bâtiment E de 9m de profondeur avec essais tous les mètres ;
- Un sondage carotté poussé à 8m de profondeur.

L'implantation des sondages a été effectuée en présence des parties et reportée en annexe 1 avec les photographies correspondantes.

2.1 Sondages carottés et sondages à la tarière

2.1.1 Intérieur : Carottages en dallage

Il a été réalisé 18 carottages de 92mm de diamètre extérieur répartis en trois zones et implantés avec l'ensemble des parties présentes sur site comme suit :

- Zone saine (1U) /bâtiment ;
- Zone avec fissuration dite « en triangle » (2U) /bâtiment ;
- Zone avec fissuration dite « de retrait » (1U) /bâtiment.

Deux carottages supplémentaires ont été réalisés sur fissures en bâtiment B (C1 et C7) afin d'observer leurs profondeurs facies.

L'implantation de ces sondages est fournie en annexe 1 et les photographies correspondantes sont reportées en annexe 2.

Le tableau 1 ci-après synthétise les observations effectuées sur site ainsi que les longueurs de carotte correspondant à l'épaisseur de dallage, les carottes étant toutes traversantes.

Bâtiment	Carottage	Zone	Diamètre extérieur (mm)	Longueur (mm)	Remarques
F	C1	Triangle	92	143	Fissure verticale traversante plus ouverte en partie haute
	C2		92	141	
	C3		92	146	
	C4	Sain	92	152	
	C5		92	149	
	C6	Retrait	92	159	
	C7		92	152	Fissure verticale traversante plus ouverte en partie haute
	C8		92	159	
	C9	Triangle	92	140	
	C10		92	144	
B	C11	Triangle	92	148	
	C12		92	153	
	C13	Triangle	92	155	
	C14		92	148	
	C15	Sain	92	156	
	C16		92	155	
	C17	Retrait	92	158	
	C18		92	158	
			Moyenne	151	
			écart-type	6	

Tableau 1 : synthèse des observations sur site sur carottes

2.1.2 Intérieur : Sondage à la tarière

Le sondage réalisé (ST) a été réalisé via le trou de carottage C2 et a permis de mettre en évidence les différents constituant du sol sous dallage sur une profondeur de l'ordre de 1m.

Le tableau 2 ci-après indique la nature des terrains rencontrés.


Profondeur (cm)	Nature des terrains	Photographie échantillons sur site
0 – 14	Béton	
14 - 19	Ancien béton	
19 - 104	Remblais gravelo limoneux	
104 - 114	Marne blanche calcaire	

Tableau 2 : Nature des terrains via le sondage à la tarière effectué en carottage C2

Il convient de noter le fait qu'il s'agit d'un relevé ponctuel et qu'il peut ne pas être représentatif de l'ensemble du terrain sous-jacent au dallage.

2.1.3 Extérieur : Sondage carotté

Les échantillons prélevés ont permis d'établir la coupe du terrain jusqu'à une profondeur de 8m au droit du sondage Carotté SC dont l'implantation est indiquée en annexe 1.

Le tableau 3 ci-après synthétise la nature des terrains rencontrés. Il convient de rappeler que le niveau de dessus voirie extérieur se situe à -1,20m par rapport au dessus de dalle béton de l'entrepôt. Les profondeurs indiquées en tableau 3 se réfèrent au dessus voirie.

Profondeur (m)	Nature des terrains
0 – 0,1	Enrobé bitumineux
0,1 - 0,4	Béton
0,4 - 0,8	Remblai sablo-limoneux marron avec morceaux de brique
0,8 - 1,1	Marne blanche calcaire/remblai
1,1 - 1,4	Remblai graveleux-sableux avec limon noir et morceaux de brique
1,4 - 1,7	Remblai graveleux
1,7 - 2,0	Argile verte à marron limoneuse
2,0 - 4,0	Argile verte à marron limoneuse légèrement sableuse
4,0 - 5,0	Argile verte à marron limoneuse légèrement sableuse, Couleur grisâtre ponctuellement
5,0 - 6,0	Argile verte, marron et grise limoneuse légèrement sableuse
6,0 - 8,0	Argile verte, marron et grise limoneuse sableuse

Tableau 3 : Nature des terrains observés via le sondage carotté extérieur au bâtiment SC

La photographie des échantillons est reportée en annexe 3.

2.2 Sondage pressiométrique

Un sondage pressiométrique noté PR à proximité du sondage carotté a été effectué jusqu'à 9m de profondeur avec un essai tous les mètres.

Les résultats de ces sondages sont fournis en annexe 4 sous forme de diagramme représentant les variations de la pression de fluage p_f^* , de la pression limite p_l^* , du module pressiométrique E_M exprimés en MPa en fonction de la profondeur, le dessus de la voirie extérieure correspond au niveau « 0 » (-1,20m/Dallage).

Il convient de noter le fait que la foration au tricône permet d'établir une coupe de sol qui ne peut être qu'indicative, Néanmoins, compte tenu de la proximité du sondage carotté (SC), il a été choisi de reporter les natures de sol issues de SC pour le sondage pressiométrique PR.

Le tableau 4 ci-après synthétise les valeurs moyennes et les écarts-types issus des sondages pressiométriques réalisés.

Sondage	toit/TN (m)	base/TN (m)	Epais- seur (m)	Faciès	E (MPa)		pf* (MPa)		pl*(MPa)	
					Moyenne	écart- type	Moyenne	écart- type	Moyenne	écart- type
PR	0	0,1	0,1	Enrobé bitumineux						
	0,1	0,4	0,3	Béton						
	0,4	1,7	1,3	Remblais sablo-limo- neux marron avec présence de marne blanche calcaire et morceaux de brique	23,3	10,3	0,9	0,8	1,2	0,8
	1,7	4	2,3	Argile verte à marron limoneuse légèrement sableuse (*)	3,0	2,1	0,1	0,1	0,3	0,3
	4	8	4	Argile verte, marron et grise limoneuse sa- bleuse	25,3	2,8	0,6	0,1	1,0	0,14

(*) valeur vraisemblablement sous-évaluée compte tenu d'une valeur pressiométrique anormalement faible vers 3m de profondeur : cela correspondant cependant à un sol peu compact

Tableau 4 : synthèse des mesures pressiométriques

2.3 Sondages au pénétromètre dynamique

Les résultats des essais de pénétration dynamique P1 à P8 sont fournis en annexe 5 sous forme de 2 graphes représentant respectivement :

- Le nombre de coups nécessaires à l'enfoncement de la pointe du pénétromètre par tranches de 10 cm en fonction de la profondeur ;
- La résistance dynamique exprimée en MPa en fonction de la profondeur s'en déduit à partir de l'application de la formule de battage dite « des Hollandais », Il convient d'indiquer que cette valeur est uniquement indicative en raison des incertitudes liées aux conditions d'application (influence du frottement du train de tige, des pertes d'énergie ...).

Le niveau « 0 » mentionné sur ces graphiques correspond au-dessus du dallage soit +1,20m/dessus du terrain extérieur. Pour mémoire, les essais de pénétration dynamique ont été effectués directement depuis les trous de carottages. Le tableau 5 ci-après rappelle leurs localisations.

Bâtiment	Pénétrodynami- que	Carottage	Zone		Bâtiment	Pénétrodynami- que	Carottage	Zone
F	P1	C1*	Triangle		B	P5	C12	Triangle
	P2	C5	Sain			P6	C13	Triangle
	P3	C9	Retrait			P7	C15	Sain
	P4	C8	Triangle			P8	C18	Retrait

(*) Carotte fissurée

Tableau 5 : localisation des essais de pénétration dynamique

Les figures 5 et 6 ci-après reportent l'ensemble des résultats des essais de pénétration pour chacun des deux bâtiments. Tous les sondages exécutés en bâtiment F ont rencontrés le refus

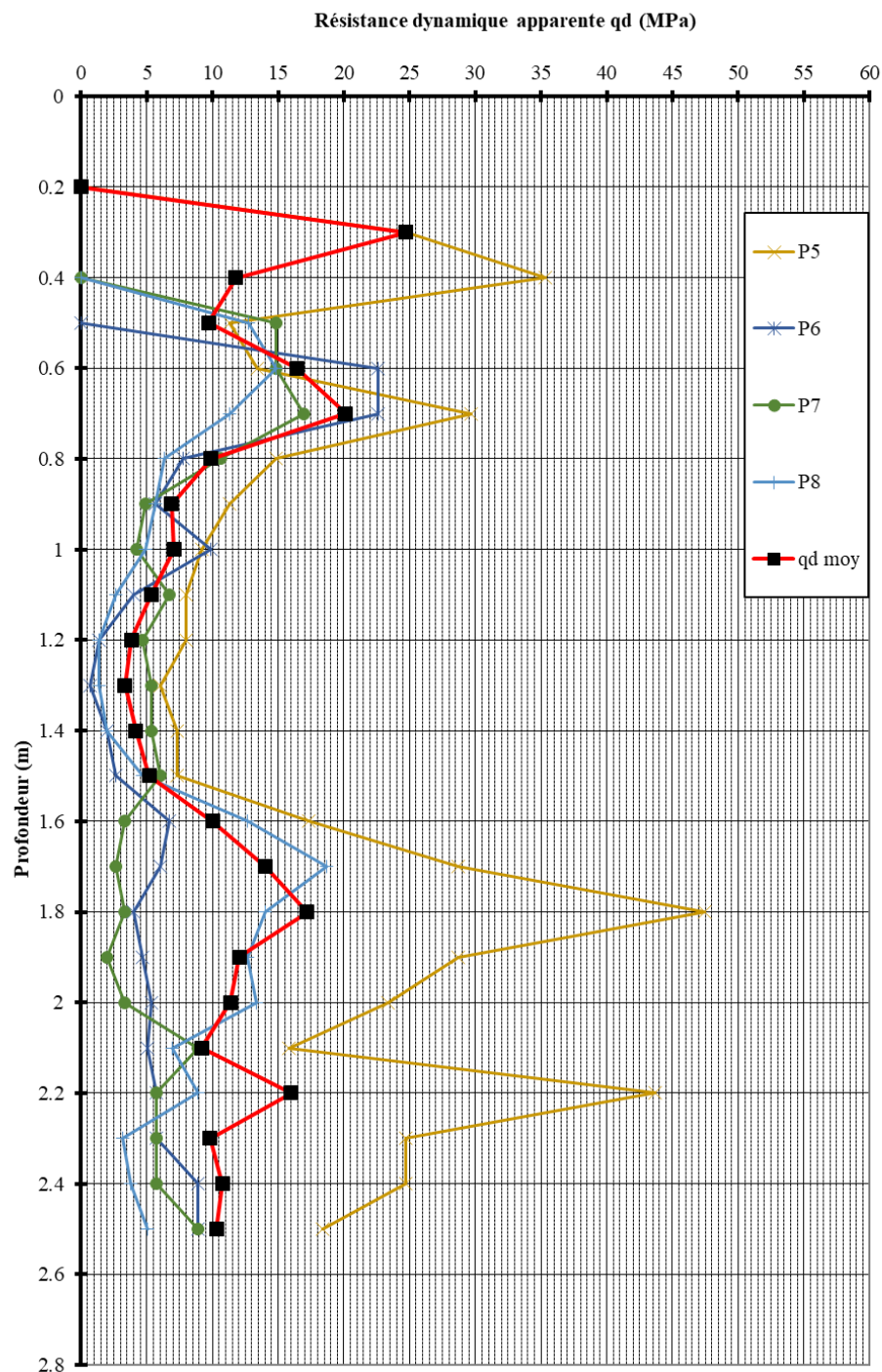


Figure 5 : synthèse des essais de pénétration dynamique en bâtiment B

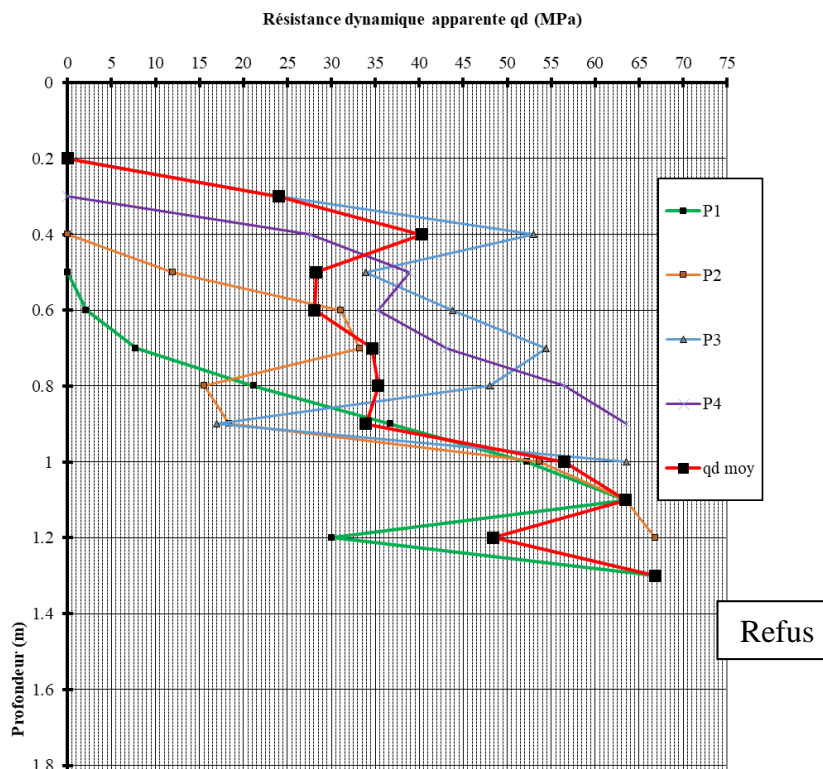


Figure 6 : synthèse des essais de pénétration dynamique : bâtiment F

2.4 Niveau d'eau

Les niveaux d'eau en fin de forage pressiométrique et carottés ont été noté vers -2,1m/dessus voirie soit -3,3m/dessus du dallage. Il convient de noter le fait qu'il s'agit de mesures ponctuelles qui fournissent seulement une indication lors de la réalisation des sondages

Seule une étude hydrogéologique associée à un suivi piézométrique permettrait de préciser les fluctuations saisonnières de cette nappe et de définir les niveaux d'eau de référence au droit du site.

3. ESSAIS EN LABORATOIRE RELATIFS AU BETON

Les essais suivants ont été effectués sur béton :

- Description des échantillons prélevés ;
- Mesures de masse volumique apparente et de porosité accessible à l'eau selon les recommandations AFREM ;
- Mesures de résistance à la compression ;
- Mesures de résistance à la traction par fendage ;
- Détermination du dosage en ciment par la méthode des inerts et par la méthode de la silice soluble en conformité avec les recommandations GrandDubé puis estimation du rapport E/C
- Dosages en fibres ;
- Examens MEB (microscopie électronique à balayage couplé à spectrométrie aux rayons X) destinés à rechercher la présence d'éventuels éléments pathogènes ;

3.1 Description des carottes prélevées

Les carottes prélevées ont été photographiées et font l'objet des descriptions reportées en annexe 6. L'ensemble des carottes a montré un aspect de sous-face rugueuse, sans polyane.

Pour mémoire, l'épaisseur moyenne mesurée pour l'ensemble des deux bâtiments est égale à 151 mm (écart-type 6mm) – cf. tableau 1

3.2 Mesure de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau

La porosité accessible à l'eau et la masse volumique apparente du béton ont été mesurées par pesée hydros-tatique selon le mode opératoire recommandé par l'AFPC-AFREM.

La masse volumique humide : M_{vh} , est déterminée à l'aide de la relation :

$$M_{vh} = \frac{m_i}{m_i - m_e}$$

avec :

- m_i : masse de l'échantillon imbibé ;
- m_e : masse de l'échantillon imbibé dans l'eau.

La masse volumique apparente M_{vapp} , est déterminée avec la relation suivante, après séchage à l'étuve de l'échantillon afin de déterminer sa masse sèche m_s :

$$M_{vapp} = \frac{m_s}{m_i - m_e}$$

La porosité accessible à l'eau n , exprimée en %, est alors calculée via la relation suivante :

$$n = 100 \cdot \frac{m_i - m_s}{m_i - m_e}$$

Les résultats obtenus sont présentés en tableaux 6 et 7 ci-après :

numéro d'échantillon	Zone	masse volumique apparente humide (kg/m ³)	masse volumique apparente sèche (kg/m ³)	Porosité ouverte accessible à l'eau(%)
1	Triangle	2381	2214	16,7
2		2401	2250	15,2
3		2386	2229	15,7
4	Sain	2406	2267	13,9
5		2401	2255	14,6
6	Retrait	2411	2272	13,9
7		2402	2260	14,2
8		2418	2280	13,8
9	Triangle	2405	2274	13,1
10		2430	2291	14,0
		moyenne:	2259	14,5
		écart-type:	23	1,1

Tableau 6 : résultats des masses volumiques et porosités accessibles à l'eau – bâtiment F

numéro d'échantillon	Zone	masse volumique apparente humide (kg/m³)	masse volumique apparente sèche (kg/m³)	Porosité ouverte accessible à l'eau(%)
11	Triangle	2425	2276	14,9
12		2421	2272	15,0
13	Triangle	2414	2267	14,7
14		2439	2301	13,7
15	Sain	2428	2279	14,8
16		2420	2267	15,3
17	Retrait	2431	2290	14,1
18		2463	2321	14,2
moyenne:			2284	14,6
écart-type:			19	0,5

Tableau 7 : résultats des masses volumiques et porosités accessibles à l'eau - Bâtiment B

3.3 Mesure de résistance à la compression

Parmi les carottes prélevées, 8 d'entre elles ont fait l'objet d'un sciage et d'un surfacage préalablement à la mesure de la résistance à la compression.

Le tableau 8 ci-après fournit les résultats bruts obtenus ainsi que ceux obtenus après correction géométrique selon les recommandations de la norme NF EN13791C/N 2021.

Batiment	N°éch	Zone	D mm	H mm	force de rupture kN	Rc brut MPa	élancement	K1	K2	fc, is (MPa)
F	C3	Triangle	92	139	374,4	56,3	1,51	1,08	0,91	55,3
	C5	Sain	92	144	384,7	57,87	1,57	1,08	0,92	57,4
	C8	Retrait	92	150	419,3	63,08	1,63	1,08	0,93	63,4
	C10	Triangle	92	137	431,3	64,88	1,49	1,08	0,91	63,4
									moyenne	59,9
									écart-type:	4,2
B	C12	Triangle	92	142	411,7	61,93	1,54	1,08	0,92	61,2
	C14	Triangle	92	137	377,4	56,77	1,49	1,08	0,91	55,5
	C16	Sain	92	149	343,4	51,66	1,62	1,08	0,93	51,8
	C18	Retrait	92	144	422,9	63,62	1,57	1,08	0,92	63,1
									moyenne	57,9
									écart-type:	5,2

Tableau 8 : Mesures de résistance à la compression

3.4 Mesure de résistance à la traction par fendage

Huit autres carottes ont fait l'objet d'essai de mesure de la résistance à la traction par fendage. Il convient de rappeler le fait qu'il s'agit ici d'un béton fibré (métallique). Le tableau 9 ci-après fournit les résultats en traction directe obtenus via la relation mentionnée dans la norme NF EN 12390-6 rappelée ci-après :

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times D}$$

Batiment	N°éch	Zone	D mm	H mm	force de rupture kN	RT brut MPa
F	C2	Triangle	92	140	130,8	6,5
	C4	Sain	92	147	121,3	5,7
	C6	Retrait	92	150	138,6	6,4
	C9	Triangle	92	130	90,4	4,8
					moyenne	5,8
					écart-type:	0,8
B	C11	Triangle	92	142	99,7	4,9
	C13	Triangle	92	142	118,7	5,8
	C15	Sain	92	146	78,5	3,7
	C17	Retrait	92	156	117,1	5,2
					moyenne	4,9
					écart-type:	0,9

Tableau 9 : Mesures de résistances à la traction par fendage et contrainte de traction directe correspondante

3.5 Dosage en ciment et estimation du rapport E/C

3.5.1 Dosage en ciment

Le dosage du ciment a été effectué par la méthode de la silice soluble et par la méthode des inertes sur les échantillons C7 et C18.

La méthode de la silice soluble consiste à effectuer un broyage permettant d'obtenir une poudre de granulométrie inférieure à 315 µm. Sur cette poudre, il est pratiqué une attaque acide à l'acide nitrique dilué, la fraction soluble est alors recueillie. La silice soluble est dosée sur cette fraction par titration à la quinoléine. Le dosage en ciment est ensuite déterminé grâce à la relation :

$$\text{dosage en ciment} = \frac{\text{masse volumique de l'échantillon} \times \% \text{ silice soluble}}{\% \text{ de silice soluble contenue dans le ciment}} \quad (1)$$

avec :

- masse volumique apparente de l'échantillon déterminée en laboratoire (cf. tableaux 6 et 7)
- % par dosage (cf. § 3.5)
- % de silice soluble contenue dans le ciment fonction de la nature du ciment, en l'occurrence, CEM III/A d'après les informations communiquées pour lequel il a été choisi une valeur moyenne de 28%

L'application de la relation (1) a permis de déterminer les dosages en ciment mentionné en tableau 10.

Par ailleurs, le dosage en ciment a également été effectué selon la méthode des inertes : la fraction insoluble recueillie à l'issue du broyage et de l'attaque acide est calcinée à 975°, Une fraction de poudre est également utilisée afin de déterminer les quantités d'eau liée aux hydrates et de CO₂ issus soit de la fraction calcaire des granulats (lorsque ceux-ci présentent une fraction carbonatée), soit d'un phénomène de carbonatation de la pâte cimentaire,

La teneur en ciment peut alors être calculée via l'une des deux relations :

$$[C]\% = 100 - \{ \text{Insoluble} + \text{perte au feu } 975^\circ + (([CO_2] - 1) \times 1,27) \} \quad \text{si } [CO_2] > 1\%$$

$$[C]\% = 100 - \{ \text{Insoluble} + \text{perte au feu } 975^\circ \} \quad \text{si } [CO_2] < 1\%$$

L'application de la relation précédente a permis de déterminer les dosages en ciment reportés en tableau 10:

Echantillon	7	18
% SiO ₂ béton	4,09	3,86
Masse volumique	2260	2321
%SiO ₂ ciment considéré	28	28,00
C en kg/m³ (Si soluble)	330	320
Insoluble (%)	27,67	28,19
PAF (%)	28,51	28,94
CO ₂ (%)	24,16	23,34
C en kg/m³ (inertes)	326	336
moyenne de C:	328	328
C moyen en kg/m³ arrondi à :	330	330

Tableau 10 : dosage en ciment : résultats obtenus

Les dosages en ciment obtenus indiqués dans le tableau précédent comportent une incertitude de $\pm 30 \text{ kg/m}^3$ liée à l'influence des granulats et de la méthode sur la précision de la mesure.

3.5.2 Estimation du rapport E/C

L'estimation du rapport E/C comporte les phases d'analyse suivantes :

- dosage en ciment (recherche de [C])
- analyse permettant de déterminer les quantités d'eau perdues lors de l'élévation de température.

Cette eau correspond :

- à l'eau libre (pour une température inférieure à 80°C)
- à l'eau liée aux hydrates (température comprise entre 80°C et 630°C)

Le tableau 11 fournit les résultats obtenus :

Echantillon	7	18
C moyen en kg/m³ arrondi à:	330	330
eau liée (%)	3,7	4,4
Masse volumique saturée (kg/m ³)	2402	2463
Masse volumique sèche (kg/m ³)	2260	2321
masse d'eau libre	142	142
masse d'eau liée	84	102
air occlus (*)	30	30
eau absorbée par les granulats (**)	18	18
eau de gâchage (kg/m³)	178	196
rapport E/C	0,54	0,60

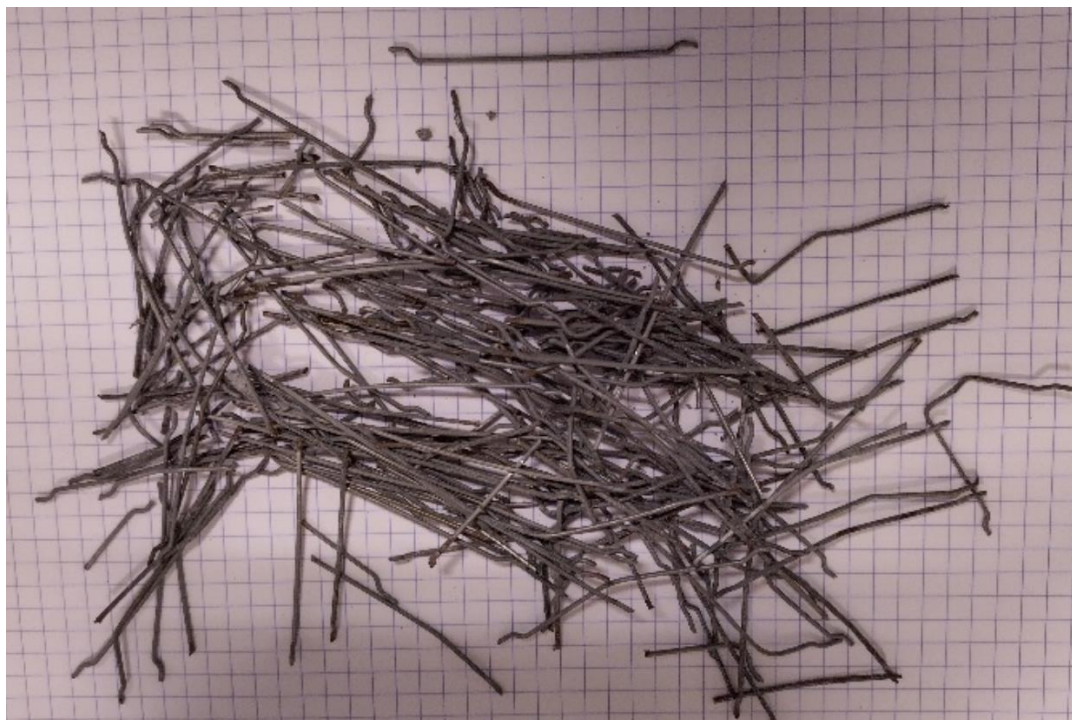
(*) quantité d'air occlus conventionnellement estimée à 30 l/m³ de béton

(**) calculé en considérant une absorption moyenne des granulats de 1,0 % et un dosage en granulats de 1800 kg/m³,

Tableau 11 : évaluation du rapport E/C : résultats obtenus

3.6 Dosage en fibres

Le dosage en fibre a été effectué à partir de 4 carottes prélevées sur site selon les principes de la norme NF EN 14721+A1. Les fibres métalliques ont été extraites pour chaque carotte puis pesées. La longueur de ces dernières est de 60mm. Il s'agit ici de fibre comportant un crochet d'ancrage aux deux extrémités : elles étaient visuellement toutes de même type (cf. photographie 1)



Photographie 1 : photographie des fibres extraites en C10

Les résultats des dosages sont indiqués dans le tableau 12 ci-après. L'observation des flancs de carotte ne montrait pas de présence de « paquets de fibres » : ils apparaissaient régulièrement et aléatoirement répartis.

Bâti- ment	Échantil- lon	Zone	Hau- teur (mm)	Dia- mètre (mm)	Masse totale de l'échantillon (g) (*)	Volume (l)	Masse de fibres m (g)	Teneur en fibres $C_f(**)$ (kg/m ³)
F	C5	Sain	144	92	2254	0,96	39	41
	C10	Triangle	137	92	2160	0,91	61	67
B	C12	Triangle	142	92	2230	0,94	32	34
	C18	Retrait	144	92	2279	0,96	37	39

(*) à teneur en eau naturelle

(**) Une incertitude de l'ordre de 1 kg/m³ est à considérer sur la mesure de C_f

Tableau 12 : Dosage en fibres métalliques

3.7 Examen MEB

L'examen au microscope électronique à balayage (MEB+EDS) avait pour objectif de recherche d'éventuels traces d'éléments pathogènes type ettringite ou gel d'alcali-réaction. Cette analyse a été effectuée à l'aide d'un MEB Hirox couplé à un spectromètre aux rayons X Bruker sur les échantillons 11 et 16 (bâtiment F) et les échantillons 1 et 4 (bâtiment B).

Les observations correspondantes sont respectivement fournies en planches 1 à 4

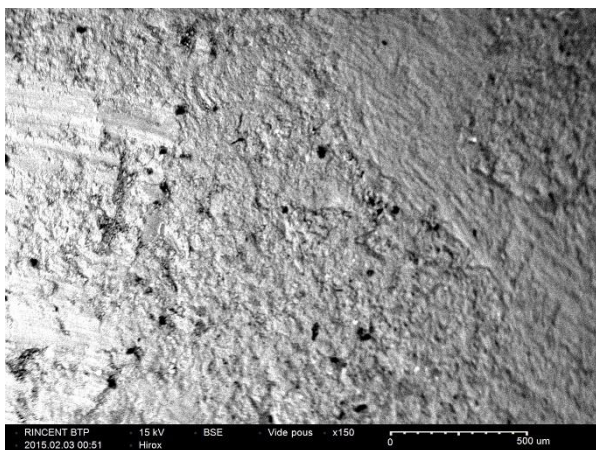


Planche 1a : Examen MEB x 150 : vue générale : l'ensemble apparaît globalement cohérent

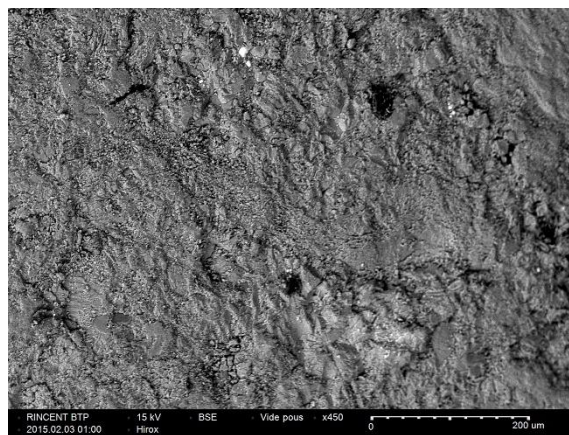


Planche 1b : Examen MEB x 450 : vue de la pâte liante – absence d'éléments pathogènes

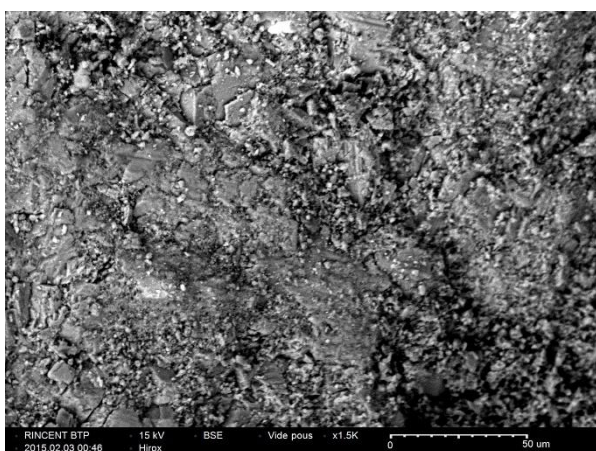


Planche 1c : Examen MEB x 1500 : absence d'éléments pathogènes type ettringite ou gel d'alcali réaction

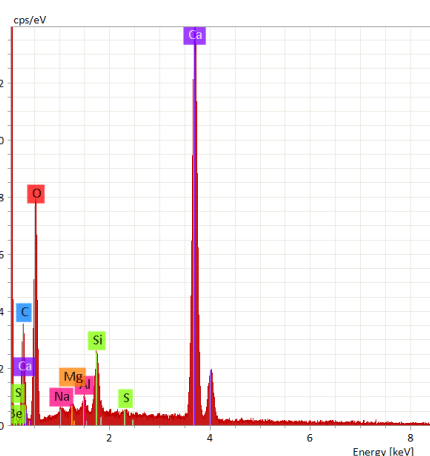


Planche 1d : spectre EDS sur vue de la planche 1c : structure classique de liant cimentaire – absence d'éléments pathogènes

Planche 1 : échantillon bâtiment B – carotte C11 – examen à 2cm environ de la surface : absence d'éléments pathogènes

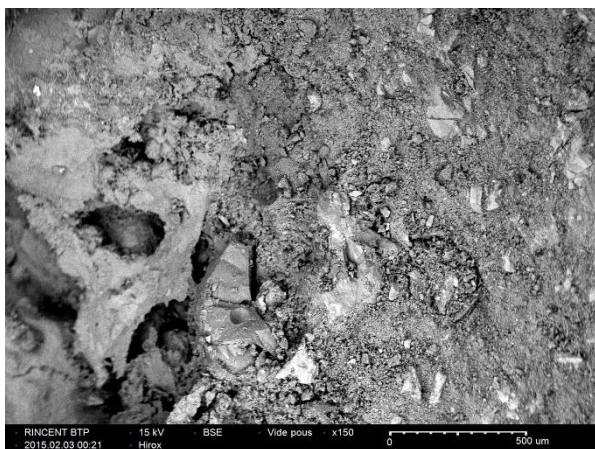


Planche 2a : Examen MEB x 150 : vue générale : porosité élevée au contact d'une vacuole



Planche 2b : Examen MEB x 400 : agrandissement vue 2a

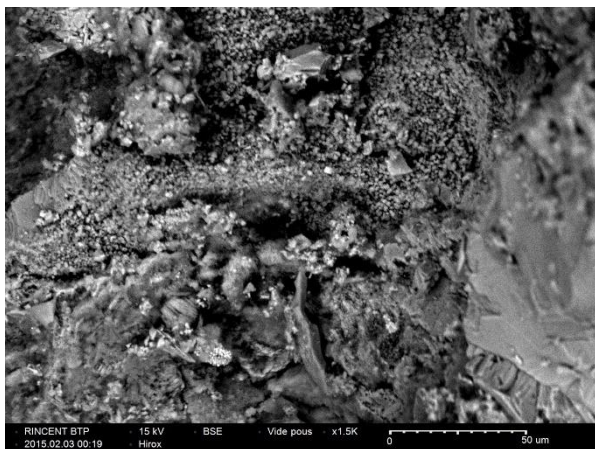


Planche 2c : Examen MEB x 1500 : absence d'éléments pathogènes type ettringite ou gel d'alcali réaction

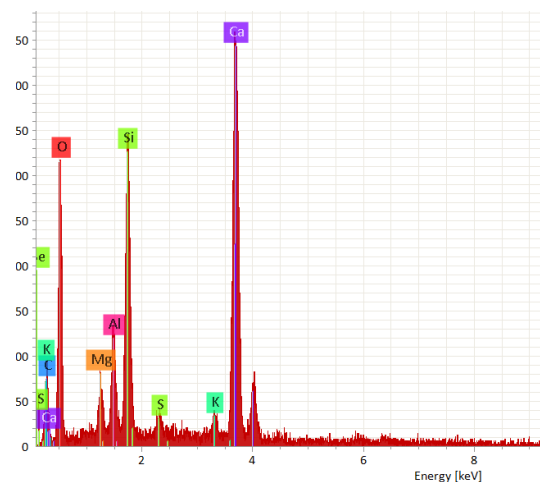


Planche 2d : spectre EDS sur vue de la planche 2a : absence d'éléments pathogènes

Planche 2: échantillon bâtiment B – carotte C16 – examen à 2cm environ de la surface : absence d'éléments pathogènes

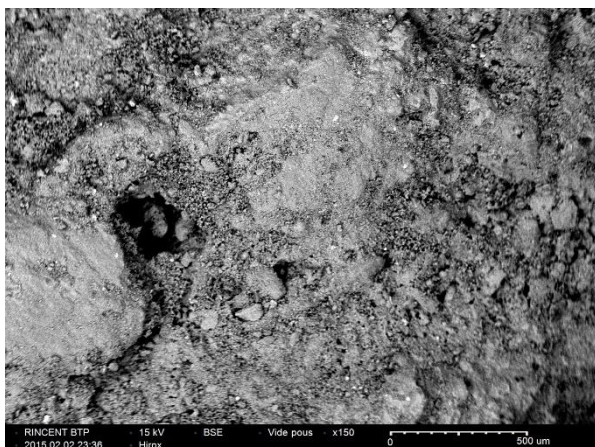


Planche 3a : Examen MEB x 150 : vue générale : présence d'une vacuole ½ millimétrique

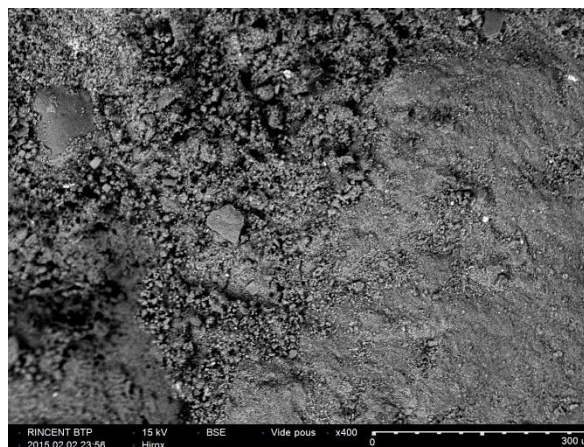


Planche 3b : Examen MEB x 400 : vue de la pâte liante – absence d'éléments pathogènes

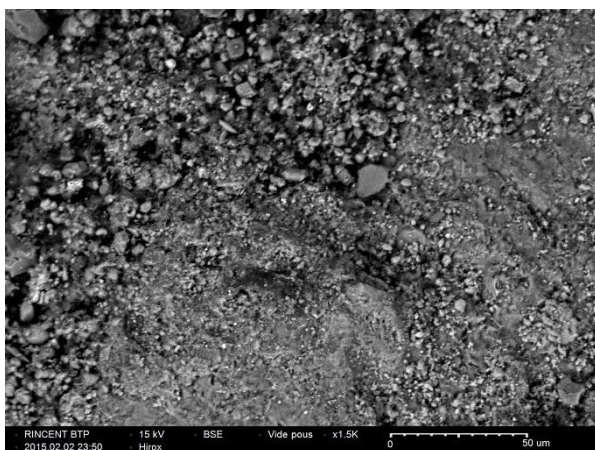


Planche 3c : Examen MEB x 1500 : absence d'éléments pathogènes type ettringite ou gel d'alcali réaction

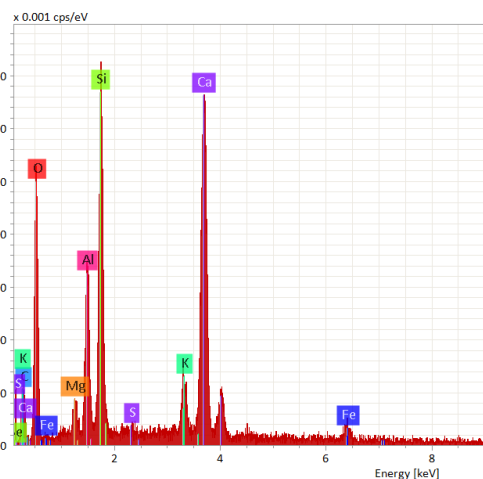


Planche 3d : spectre EDS sur vue de la planche 3c : structure classique de liant cimentaire – absence d'éléments pathogènes

Planche 3: échantillon bâtiment F – carotte C1 – examen à 2cm environ de la surface, dans la zone de fissure : absence d'éléments pathogènes

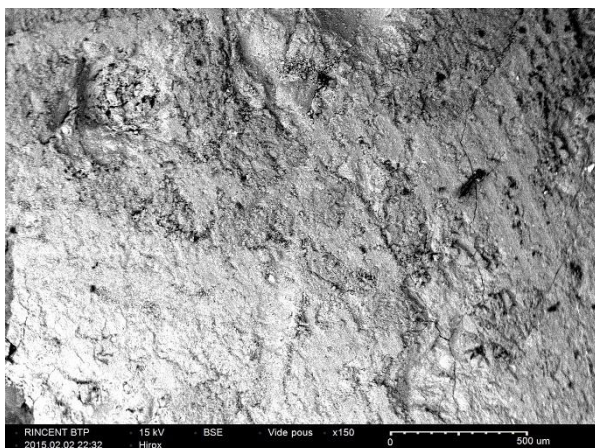


Planche 4a : Examen MEB x 150 : vue générale : l'ensemble apparaît globalement cohérent

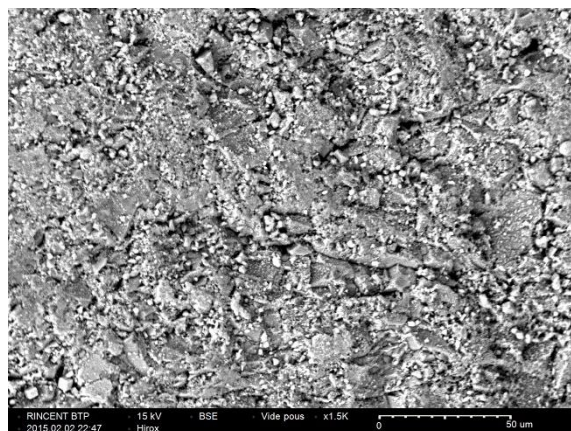


Planche 4b : Examen MEB x 1500: vue de la pâte liante – absence d'éléments pathogènes

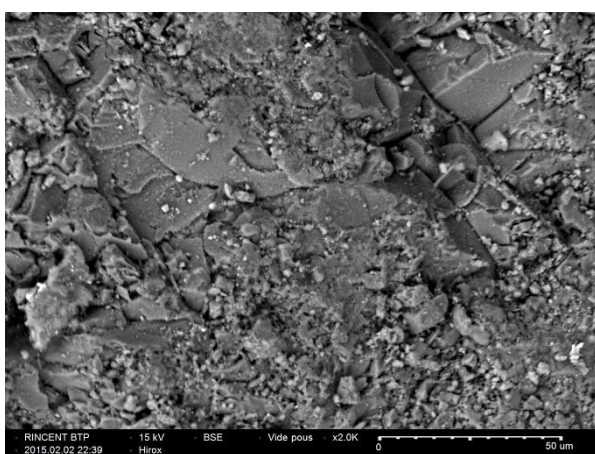


Planche 4c : Examen MEB x 2000 : absence d'éléments pathogènes type ettringite ou gel d'alcali réaction

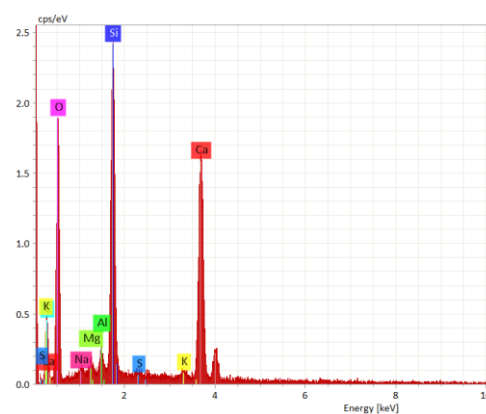


Planche 4d : spectre EDS sur vue de la planche 4a : structure classique de liant cimentaire – absence d'éléments pathogènes

Planche 4: échantillon bâtiment F – carotte C4 – examen à 2cm environ de la surface : absence d'éléments pathogènes

4. ESSAIS EN LABORATOIRE RELATIFS AU SOL

Les essais relatifs au sol ont été conduits sur des échantillons issus de la carotte prélevée en extérieur de bâtiment et ont comporté les essais suivants :

- Description de la carottes prélevée établissement d'une coupe (cf. § 2.1.3) ;
- Mesures de teneur en eau avec mesures de masses volumiques sèches (γ_d) et spécifique (γ_s) afin de juger du degré de saturation du sol à divers niveaux ;
- Examen GTR (hors proctor) y inclus mesure des limites d'Atterberg afin de juger d'un éventuel risque de gonflement par report sur le diagramme de Casagrande ;
- Essais de compressibilité œdométrique

4.1 Description du Sondage carotté

La description de la carotte prélevée est reportée en tableau 3 - § 2.1.3 : les photographies correspondantes sont fournies en annexe 3.

4.2 Mesures de teneur en eau

Il a été procédé à des mesures de masses volumiques sèches (γ_d) et spécifique (γ_s) pour chaque nature de terrain puis ensuite à des déterminations de teneur en selon la norme NF P 94 500 sur 16 échantillons prélevés par carottage à plusieurs profondeurs en SC

Les résultats obtenus sont fournis en tableau 13. A titre purement indicatif, le degré de saturation S a été estimé et a été intégré à ce tableau

nature du terrain	prof moyenne (m)	W (%)	γ_d (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	S (%)
remblai	0,5	0,16	15,70	25,70	0,66
	1	0,26			1,06
	1,3	0,18			0,73
argile verte et marron limo- neuse à sableuse	2	0,22	17,10	26,30	1,06
	2,5	0,20			0,95
	3	0,19			0,94
	3,5	0,21			1,05
	4	0,18			0,89
	4,5	0,18			0,86
	5	0,18			0,89
argile verte et grise limo- neuse à sableuse	5,5	0,17	17,90	26,40	0,97
	6	0,16			0,90
	6,5	0,16			0,90
	7	0,16			0,87
	7,5	0,17			0,93
	8	0,17			0,95

Tableau 13 : mesure de teneur en eau W% ; (γ_d et γ_s et estimation du degré de saturation S

Les graphiques issus de ce tableau 13 représentant les variations de teneur en eau et de degré de saturation en fonction de la profondeur sont présentés en figure 7.

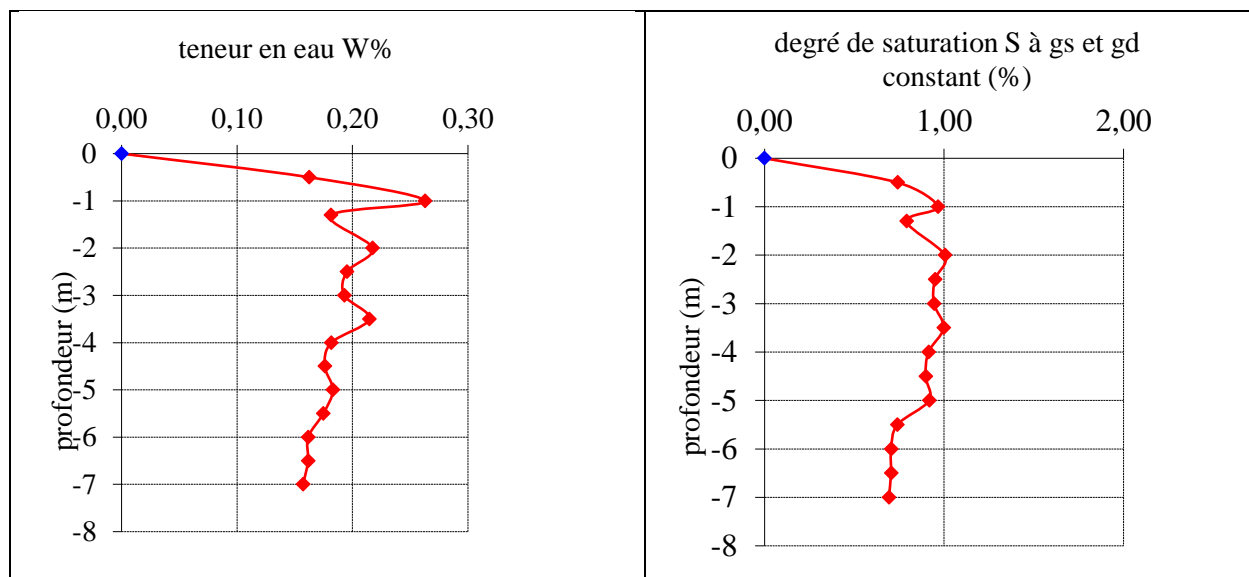


Figure 7 : SC : variations de la teneur en eau et du degré de saturation en fonction de la profondeur

4.3 Limites d'Atterberg et classification GTR

Les échantillons de sol ont fait l'objet de mesures destinées à classer les terrains selon les recommandations GTR (Guide pour les Terrassements Routiers).

Les résultats de ces essais sont fournis en annexe 7. Ils permettent de classer le sol comme étant de type F2 et F1 comme le montre le tableau 14 de résultats ci-après :

Localisation	Prof./TN (m)	Nature	Tamisé à 63 μ m (%)	WL (%)	Wp (%)	IP (%)	Classification
SC1	1,8	argile verte à marron limoneuse	95,9	38,4	20	18,4	F2
	3	argile verte à marron limoneuse légèrement sableuse	79	29,5	21,1	8,3	F1

Tableau 14 : classification GTR

4.4 Essais œdométriques

Il a été procédé à la réalisation de 3 essais œdométriques sur des échantillons prélevés par carottage à 0,8m, 3,5m et 6,5m. Les résultats sont reportés en annexe 8 et sont synthétisés en tableau 15

échantillon	profondeur (m/TN)	indice des vides	contrainte de préconsolida- tion	indice de gonflement	indice de compressibi- lité
		e0	σ'_p (kPa)	Cs	Cc
remblai marne blanche	0,8	0,565	40 à 200 (*)	0,001	0,047
argile légèrement sableuse	3 à 3,5	0,425	107	0,008	0,082
argile légèrement sableuse	6,5	0,386	188	0,008	0,067

(*) deux pentes sont constatées

Tableau 15 : résultats des essais de compressibilité oedométrique

5. SYNTHÈSE DES RESULTATS

5.1 Sol

Les sondages relatifs au sol ont mis en évidence la présence d'un sol argilo-sableux sur les 2 premiers mètres de profondeur devenant argileux avec la profondeur et dont les caractéristiques pressiométriques moyennes sont reportées en tableau 16 cohérent avec la nature des terrains mentionnée dans la carte géologique.

Les sondages au pénétromètre dynamique ont rencontré le refus dans le remblai en bâtiment F. En bâtiment B, ces sondages indiquent une résistance dynamique importante jusque vers -0.8m/surface dallage correspondant à un remblai. La résistance dynamique devient plus faible jusque vers -1,5m/dessus dallage correspondant à une nouvelle remontée de la résistance dynamique

toit/surf. Dallage	base/ surf. Dallage	ép. (m)	faciès	E Moy.	pf* moy	pl* moy	qd (MPa)
0	-0,8	0,8					15,4 (*)
-1,2	-1,3	0,1	Enrobé bitumineux				5,1 (**)
-1,3	-1,6	0,3	Béton				
-1,6	-2,9	1,3	Remblais sablo-limoneux marron avec présence de marne blanche calcaire et morceaux de brique	23,3	0,9	1,2	12,1
-2,9	-5,2	2,3	Argile verte à marron limoneuse légèrement sableuse	3,0	0,1	0,3	
-5,2	-9,2	4	Argile verte, marron et grise limoneuse sableuse	25,3	0,6	1,0	

(*) zone de remblai sous dallage – bâtiment B

(**) zone de sol meuble ou remblai meuble sous dallage – bâtiment B

Tableau 16 : synthèse des résultats pressiométriques et de pénétration dynamique bâtiment B

Il convient de rappeler que cette coupe est représentative des terrains rencontrés au droit des sondages et ne peut s'affranchir de variations de faciès local qui n'aurait pas été détectés compte tenu du caractère ponctuel des investigations.

Les essais en laboratoire ont montré que le sol était classé F1 à F2 : il s'agit de sol fin argileux. Le report des résultats des mesures des limites d'Atterberg dans le diagramme de Casagrande fourni en figure 7 montre que ce sol se situe en dehors de zone de risques potentiels de gonflement, que ce soit entre $-1.8\text{m/dessus voirie}$ ou -3m/dessus voirie :

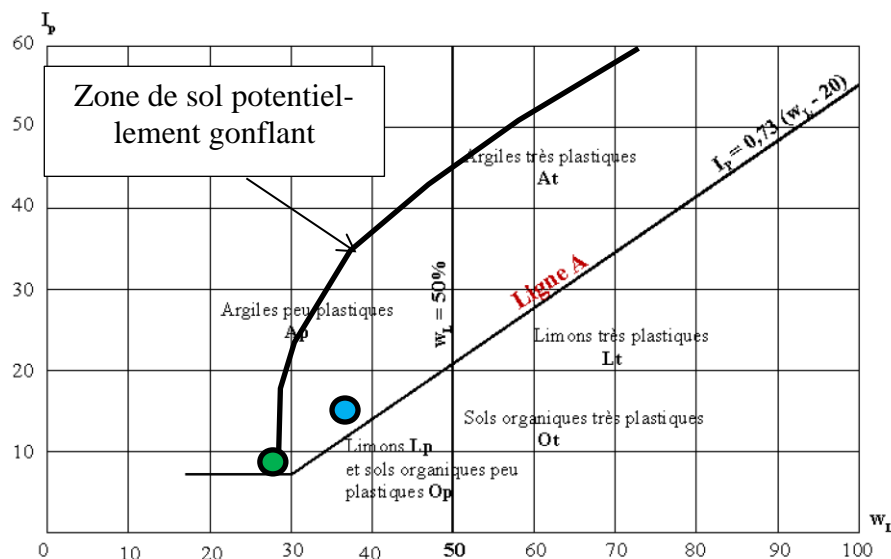


Figure 7 : report WL – IP sur le diagramme de Casagrande

Ces résultats sont cohérents avec les essais oedométriques conduisant à des coefficients de gonflements compris entre 0.001 et 0.008.

5.2 Béton

Les essais en laboratoire ont pu montrer :

- une épaisseur moyenne de dallage de 15,1 cm +/- 0.6 cm directement (sans polyane) sur un ancien béton d'épaisseur maximale repérée d'environ 16cm en C17.
- Une porosité ouverte accessible à l'eau moyenne de 14,5% (écart-type : 0,9%)
- Une résistance moyenne à la compression $f_{c,ts}$ variant entre 59.9MPa (écart-type : 4,2MPa) pour le bâtiment F et 57.9MPa (écart-type : 5,2MPa) pour le bâtiment B ;
- Une résistance moyenne à la traction de 5,3MPa variant entre 5.8 MPa (écart-type : 0.8 MPa) pour le bâtiment F et 4.9MPa (écart-type : 0.9MPa) pour le bâtiment B ;
- Un béton dosé à 330 kg/m³ (+/- 30 kg/m³) un rapport E/C de 0.54 à 0.6 : compte tenu des incertitudes de mesures, ces valeurs ne mettent pas en évidence de rejoin d'eau significatif
- Un dosage volumique de fibres métalliques variant entre 34 et 67 kg/m³
- L'absence d'éléments pathogènes

N. DUROT
Ingénieur

D. DUROT
Ingénieur

M. BOURDON
Ingénieur

ANNEXE 1 : IMPLANTATION DES SONDAGES



ANNEXE 2 : PHOTOGRAPHIES DES ZONES DE SONDAGE

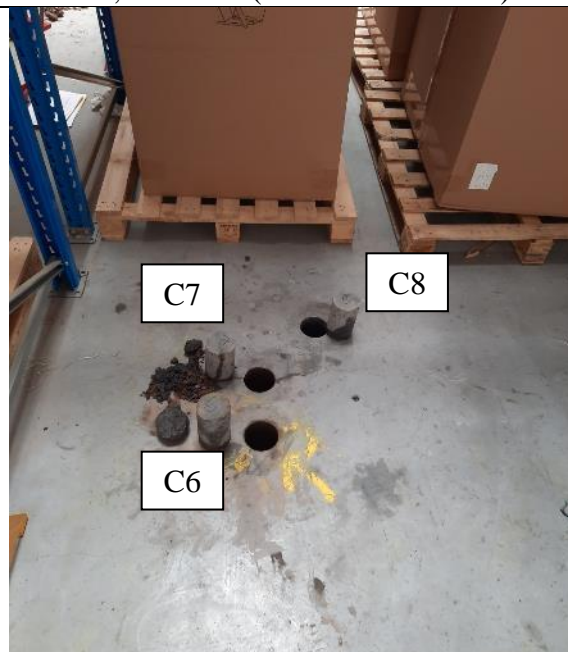
C1, C2 et C3 (zone dite triangle)



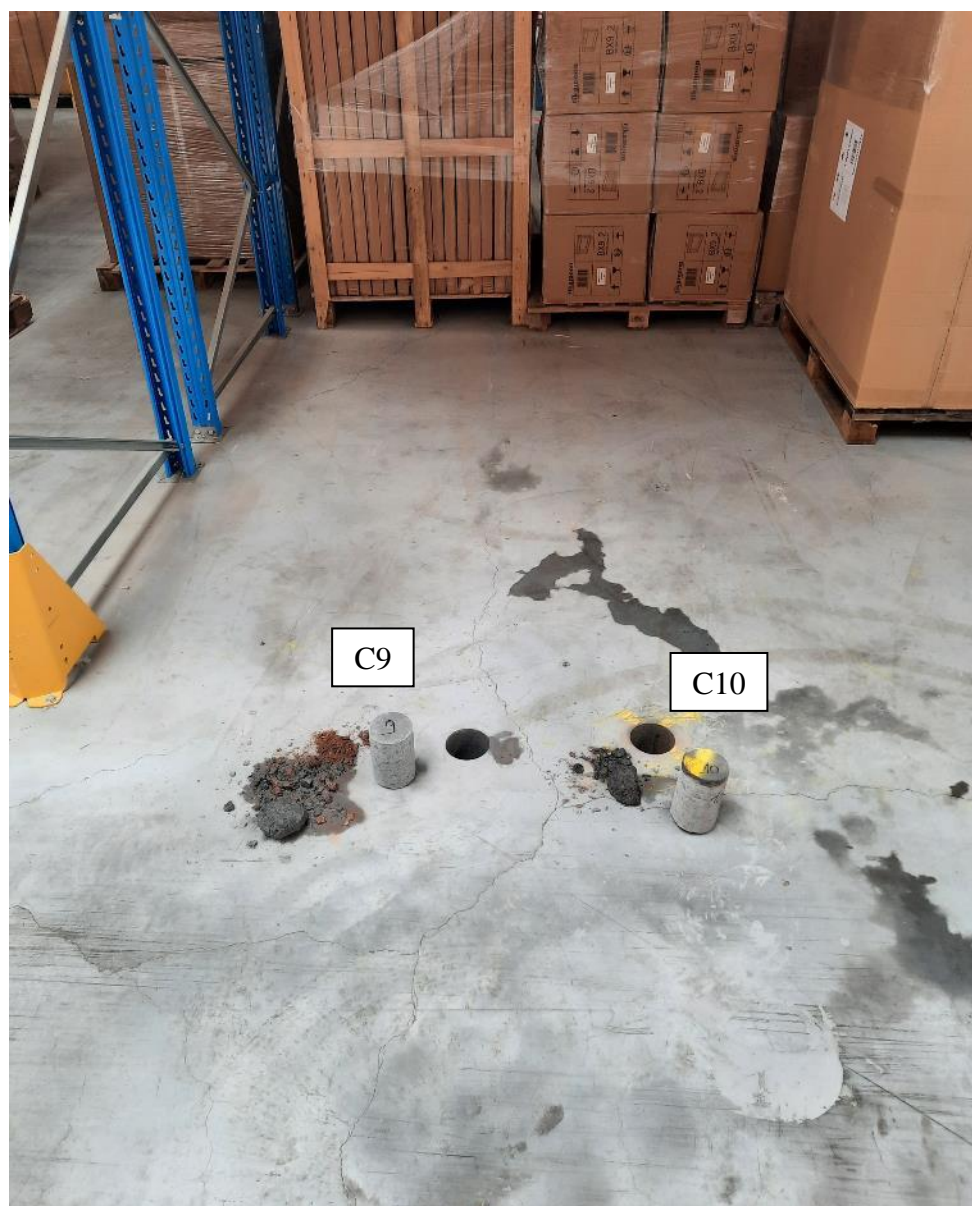
C4 et C5 (zone dite saine)



C6, C7 et C8 (zone dite de retrait)



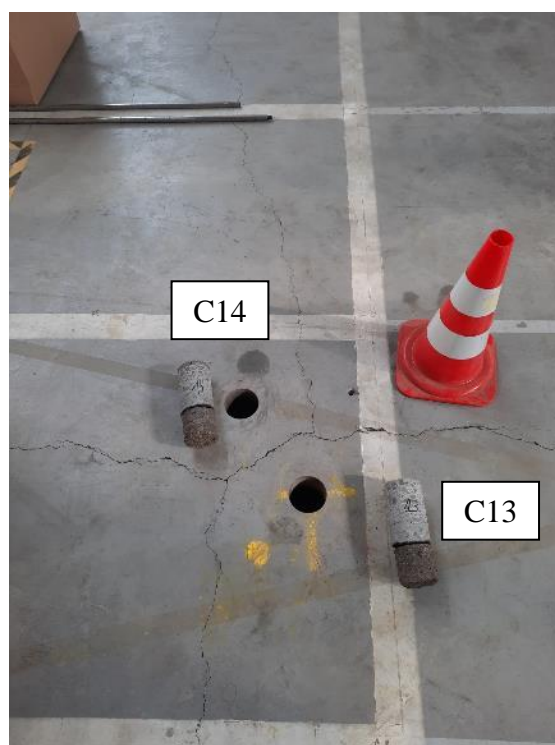
C9 et C10 (zone dite triangle)



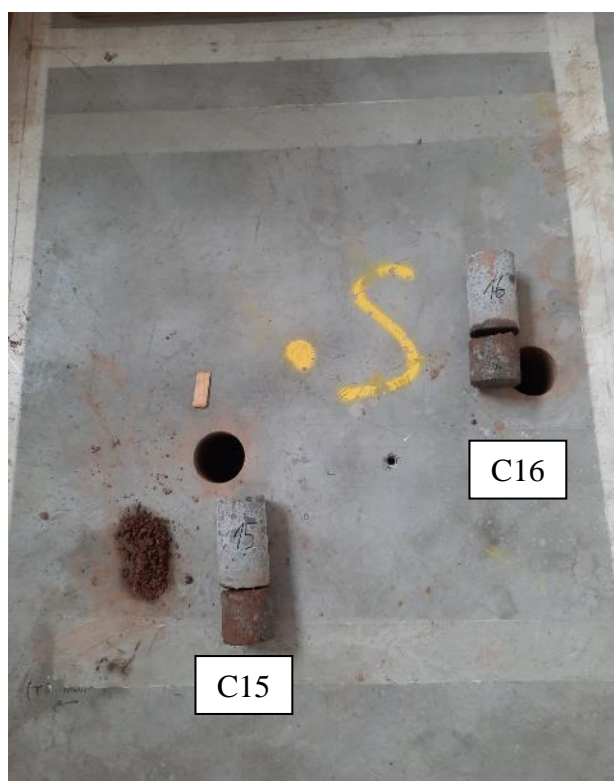
C11 et C12 (zone dite triangle)



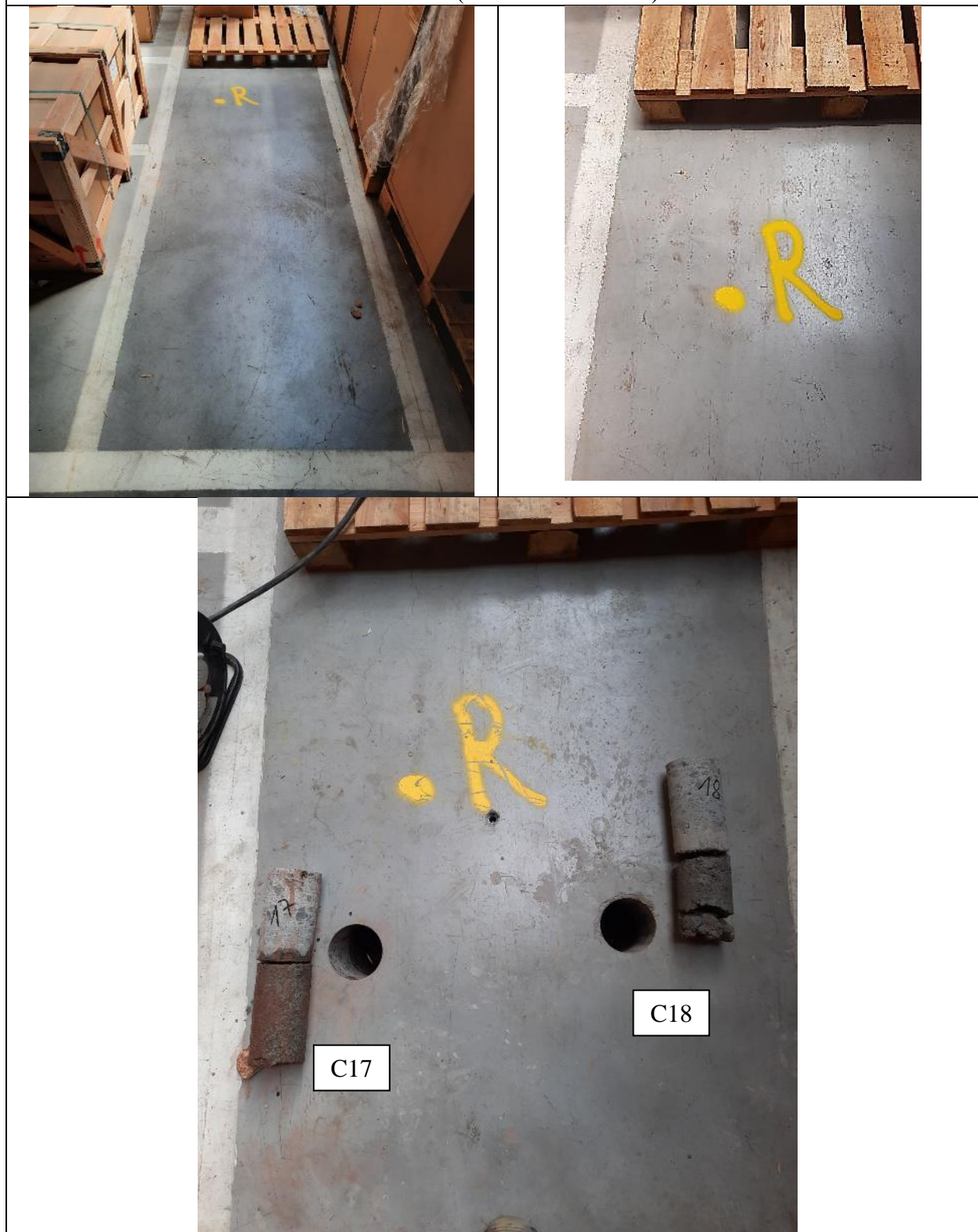
C13 et C14 (zone dite de triangle)



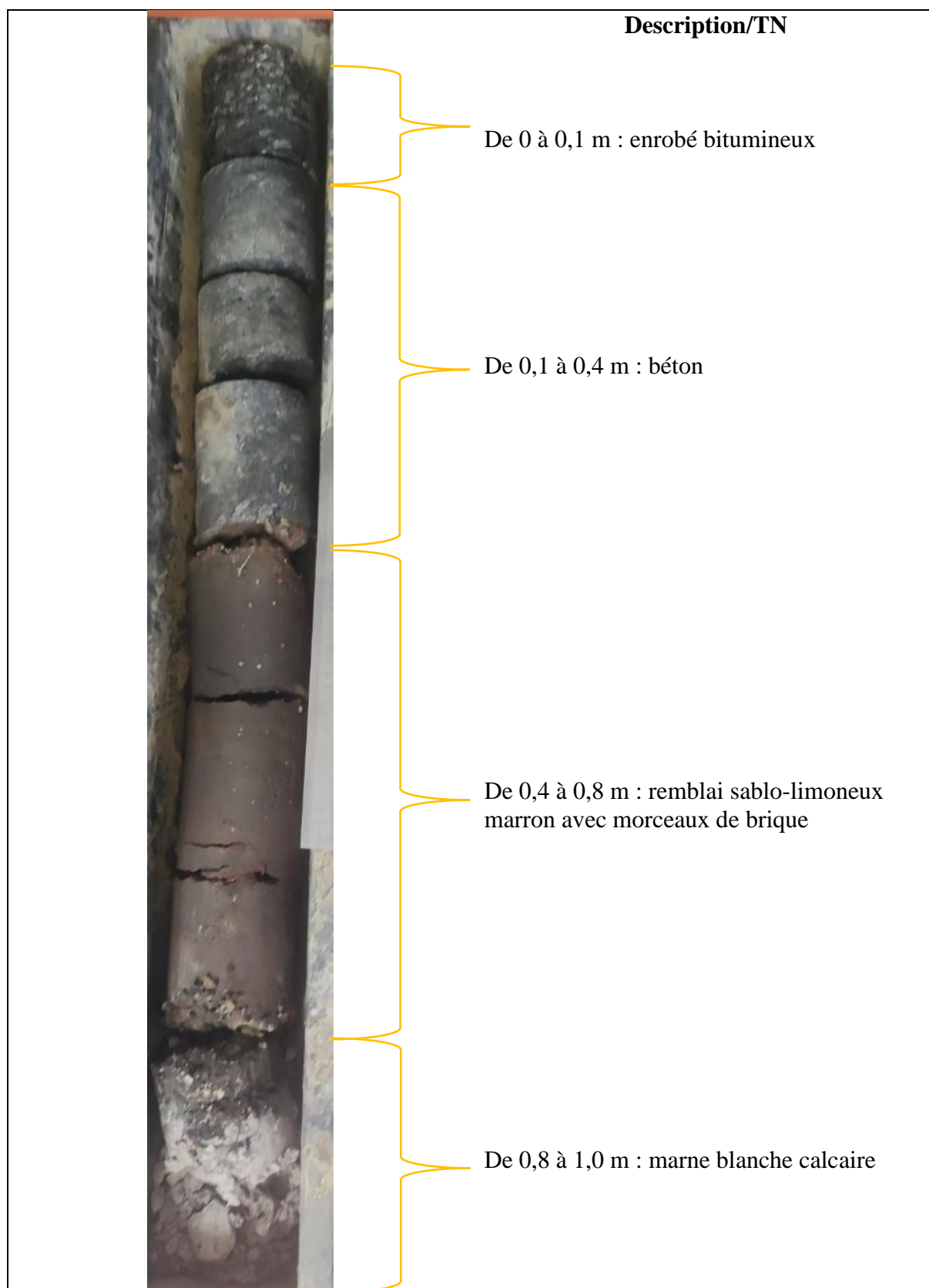
C15 et C16 (zone dite saine)

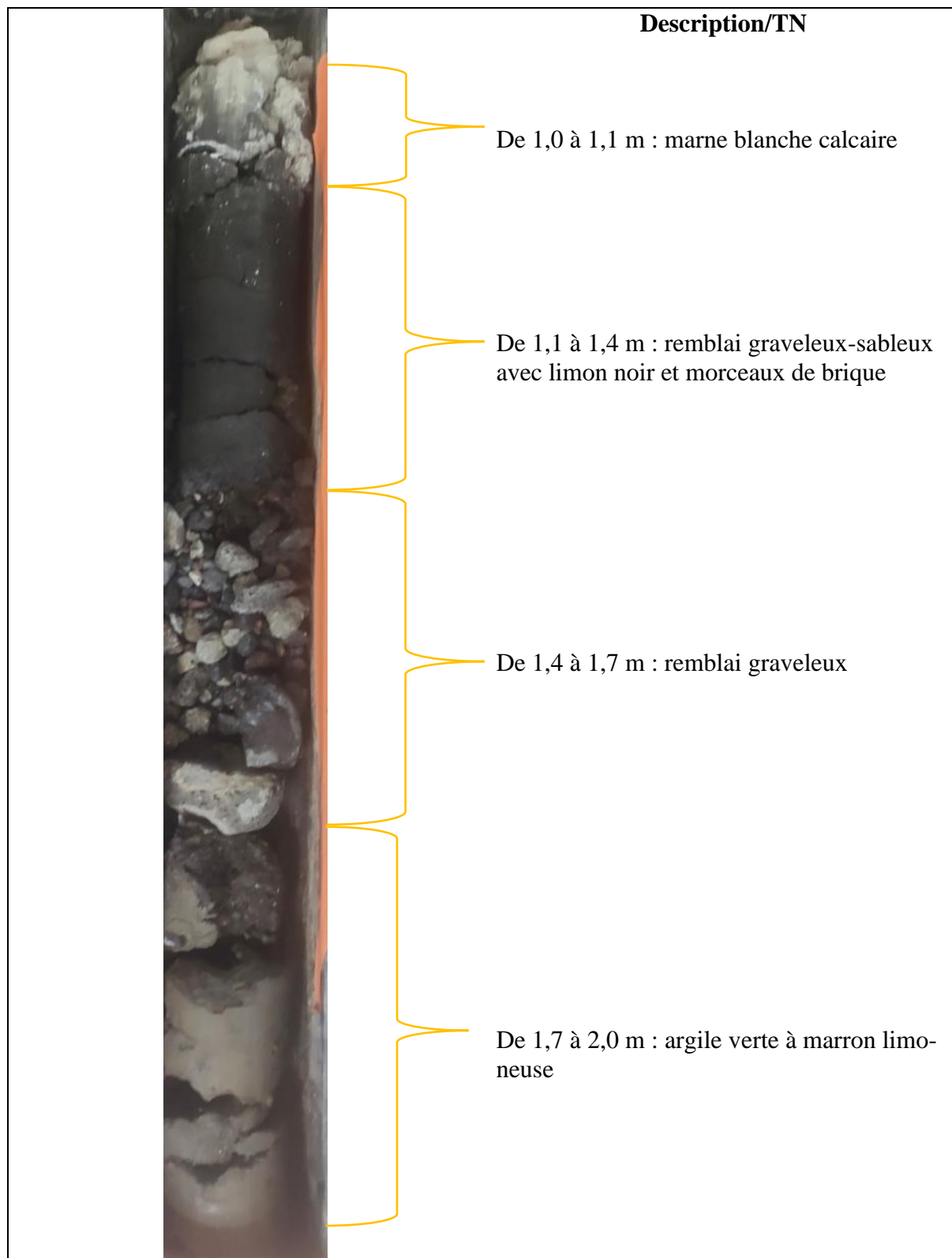



C17 et C18 (zone dite de retrait)





ANNEXE 3 : SONDAGE CAROTTE RELATIF AU SOL






	Description/TN
	<p data-bbox="802 1087 1349 1161">De 2,0 à 3,0m : argile verte à marron limo- neuse légèrement sableuse</p>

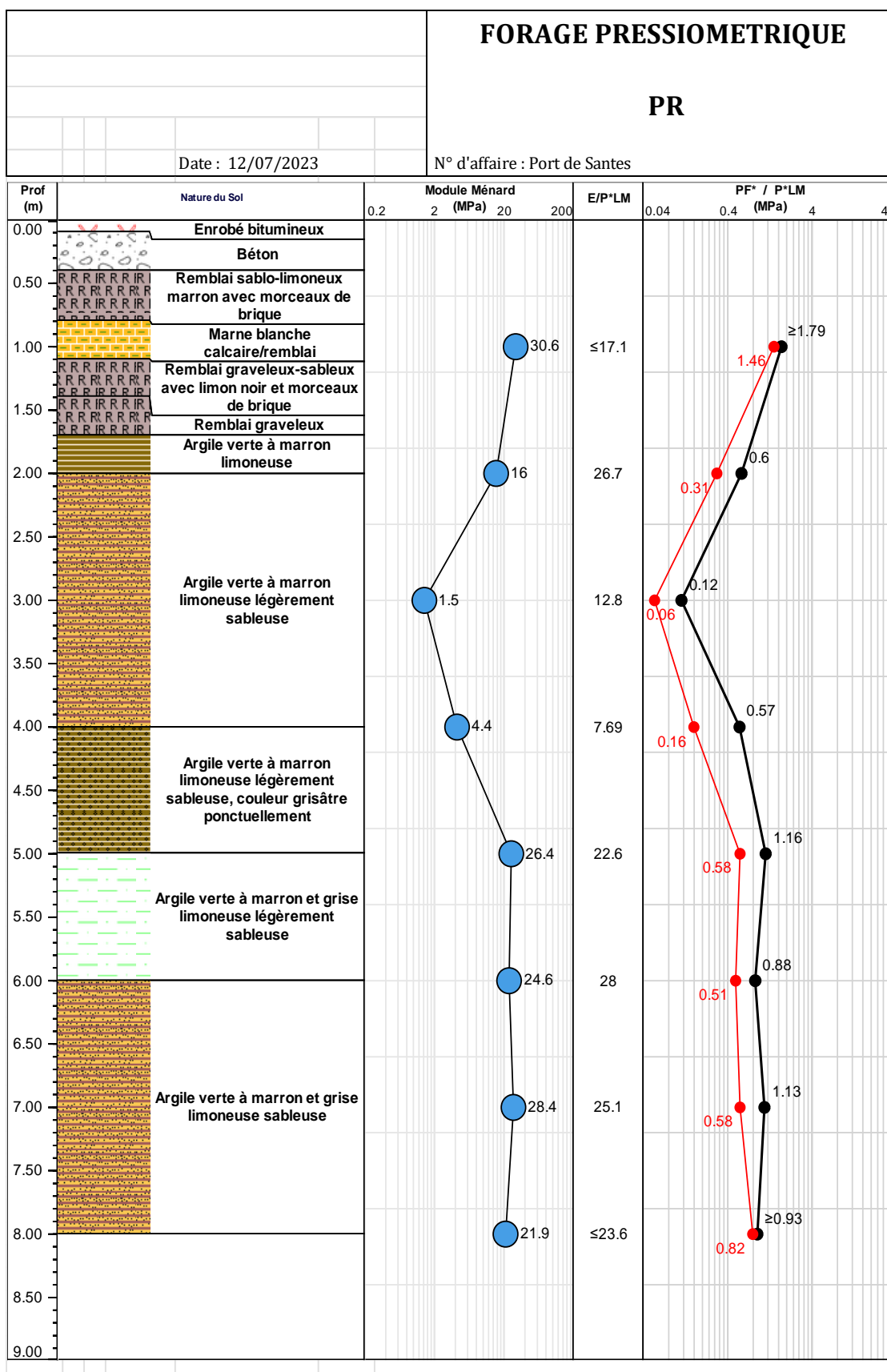
	Description/TN
	<p data-bbox="800 1087 1349 1161">De 3,0 à 4,0m : argile verte à marron limo- neuse légèrement sableuse</p>

	Description/TN
	<p data-bbox="800 1087 1365 1199">De 4,0 à 5,0m : argile verte à marron limoneuse légèrement sableuse, Couleur grisâtre ponctuellement</p>

	Description/TN
	<p data-bbox="802 1052 1364 1125">De 5,0 à 6,0m : argile verte, marron et grise limoneuse légèrement sableuse,</p>

<div>6 m</div> <div>7 m</div>	Description/TN
	<p>De 6,0 à 8,0m : argile verte, marron et grise limoneuse sableuse,</p>

ANNEXE 4 : SONDAGE PRESSIOMETRIQUE

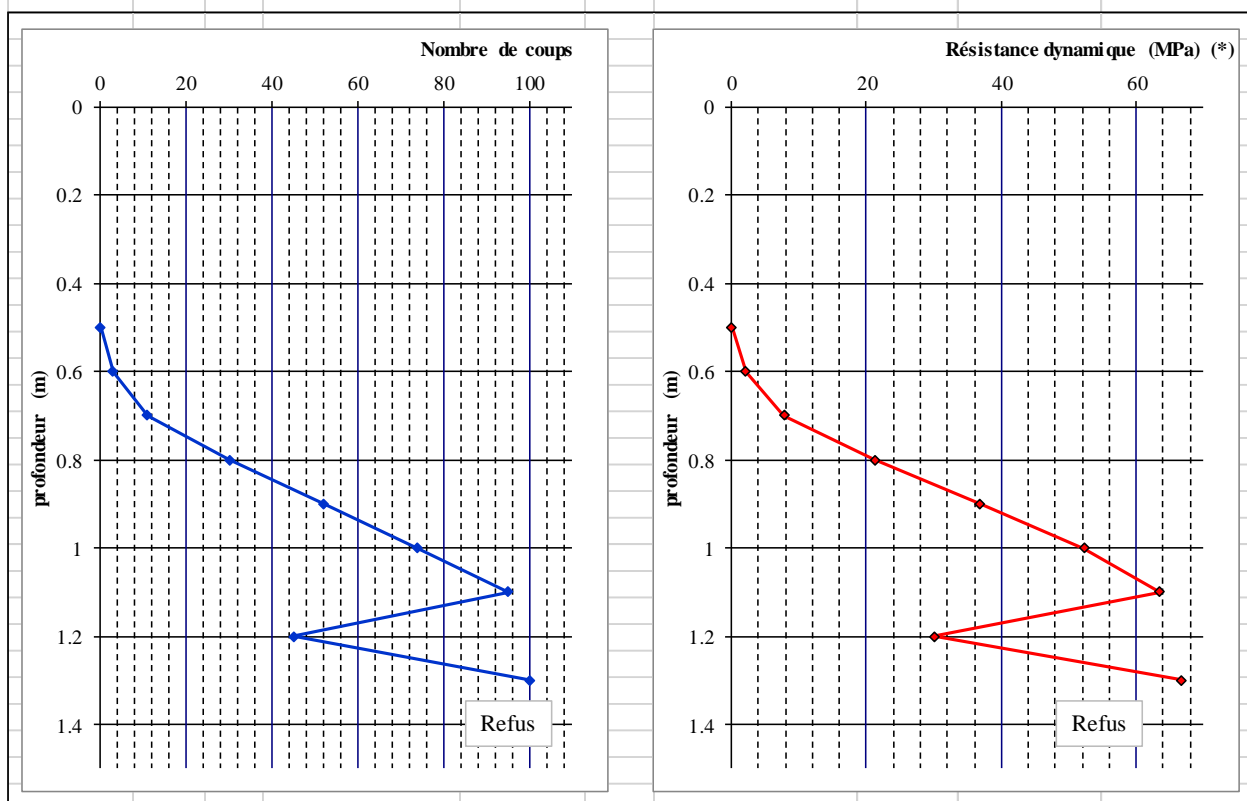


ANNEXE 5 : SONDAGES AU PENETROMETRE DYNAMIQUE

Essai de pénétration dynamique

Client : CPA Expert	Caractéristiques de l'appareil:	Localisation : C1
Lieu du chantier : 3-9 Port de Santes	Section pointe 962,1mm ²	
N° du dossier : 21.4.106	Mouton 30 kg	
date d'essai : 12/07/2023	Masse inerte 17,5 kg	
	Masse tige 2,933 kg	
	Hauteur de chute 20 cm	

RESULTATS DE L'ESSAI: P1

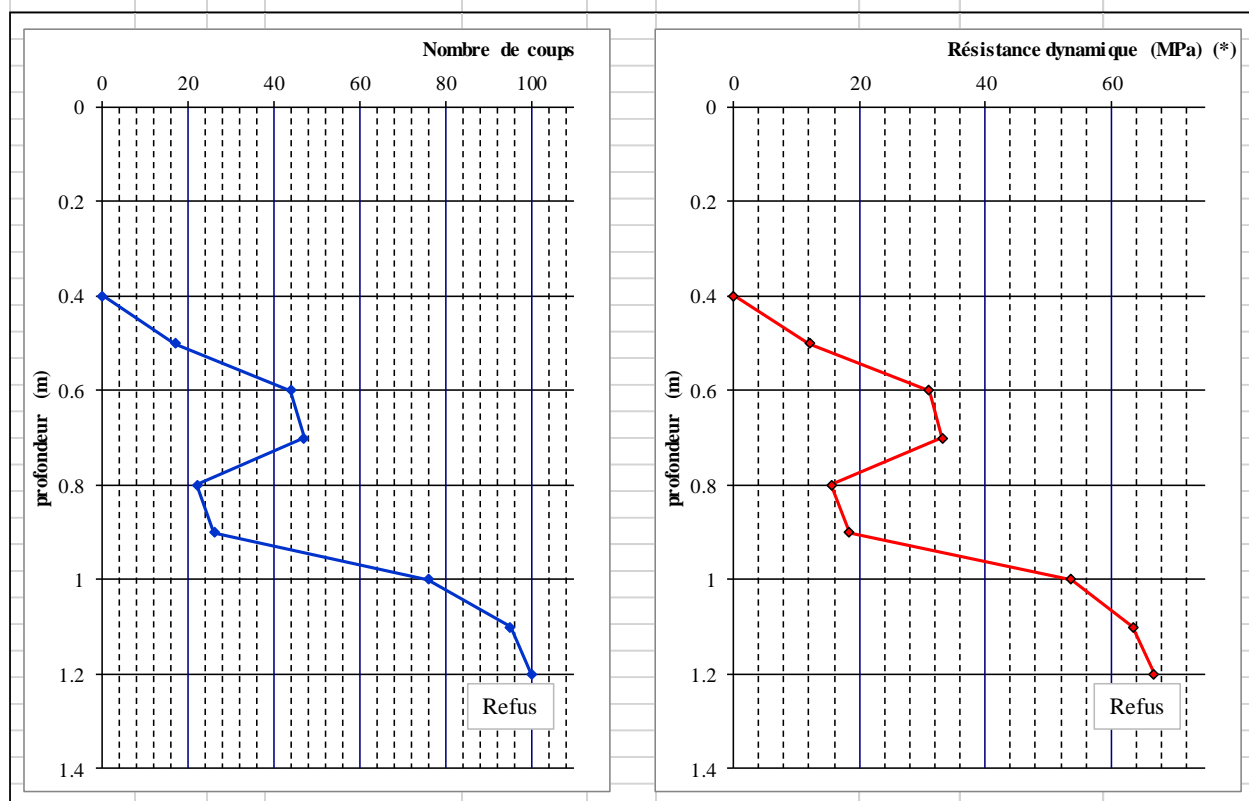


(*) valeur donnée à titre indicatif issue de l'application de la formule des Hollandais

Essai de pénétration dynamique

Client : CPA Expert	Caractéristiques de l'appareil:	Localisation : C5
Lieu du chantier : 3-9 Port de Santes	Section pointe 962,1mm ²	
N° du dossier : 21.4.106	Mouton 30 kg	
date d'essai : 12/07/2023	Masse inerte 17,5 kg	
	Masse tige 2,933 kg	
	Hauteur de chute 20 cm	

RESULTATS DE L'ESSAI: P2

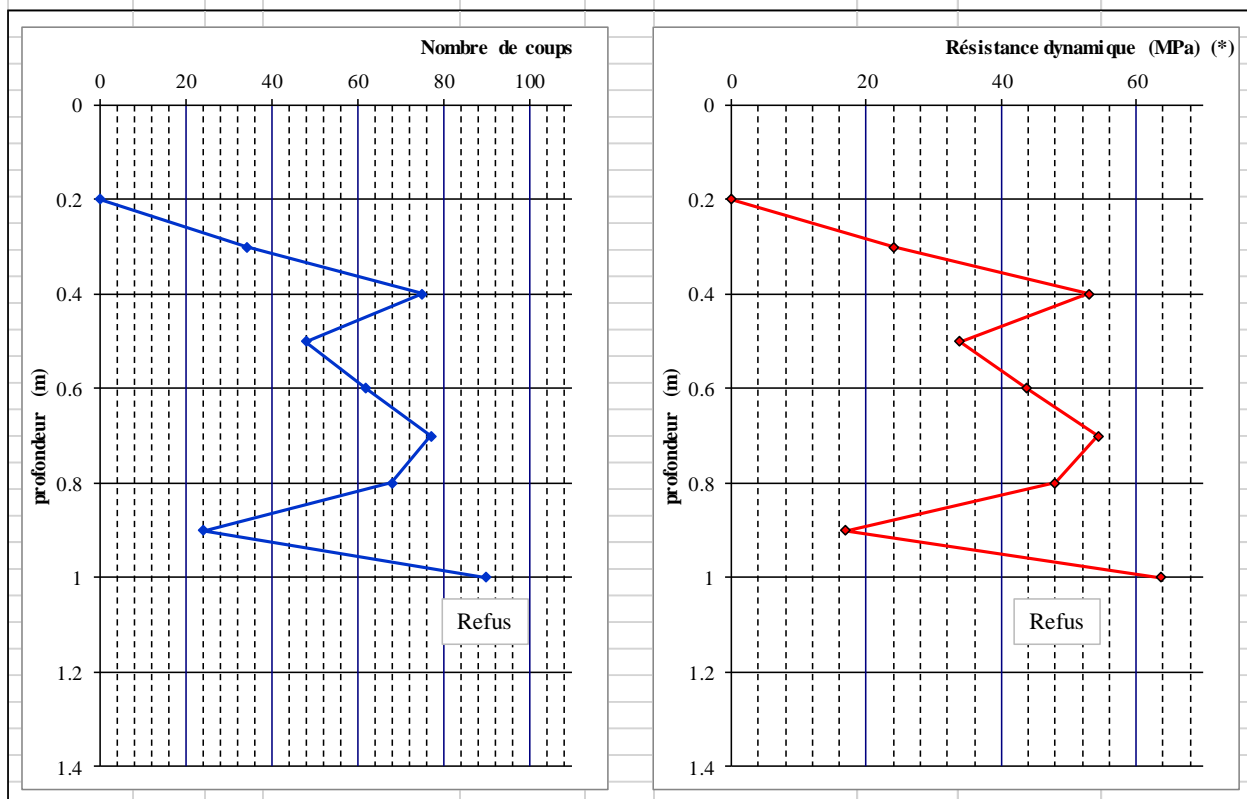


(*) valeur donnée à titre indicatif issue de l'application de la formule des Hollandais

Essai de pénétration dynamique

Client : CPA Expert	Caractéristiques de l'appareil:	Localisation : C9
Lieu du chantier : 3-9 Port de Santes	Section pointe 962,1mm ²	
N° du dossier : 21.4.106	Mouton 30 kg	
date d'essai : 12/07/2023	Masse inerte 17,5 kg	
	Masse tige 2,933 kg	
	Hauteur de chute 20 cm	

RESULTATS DE L'ESSAI: P3

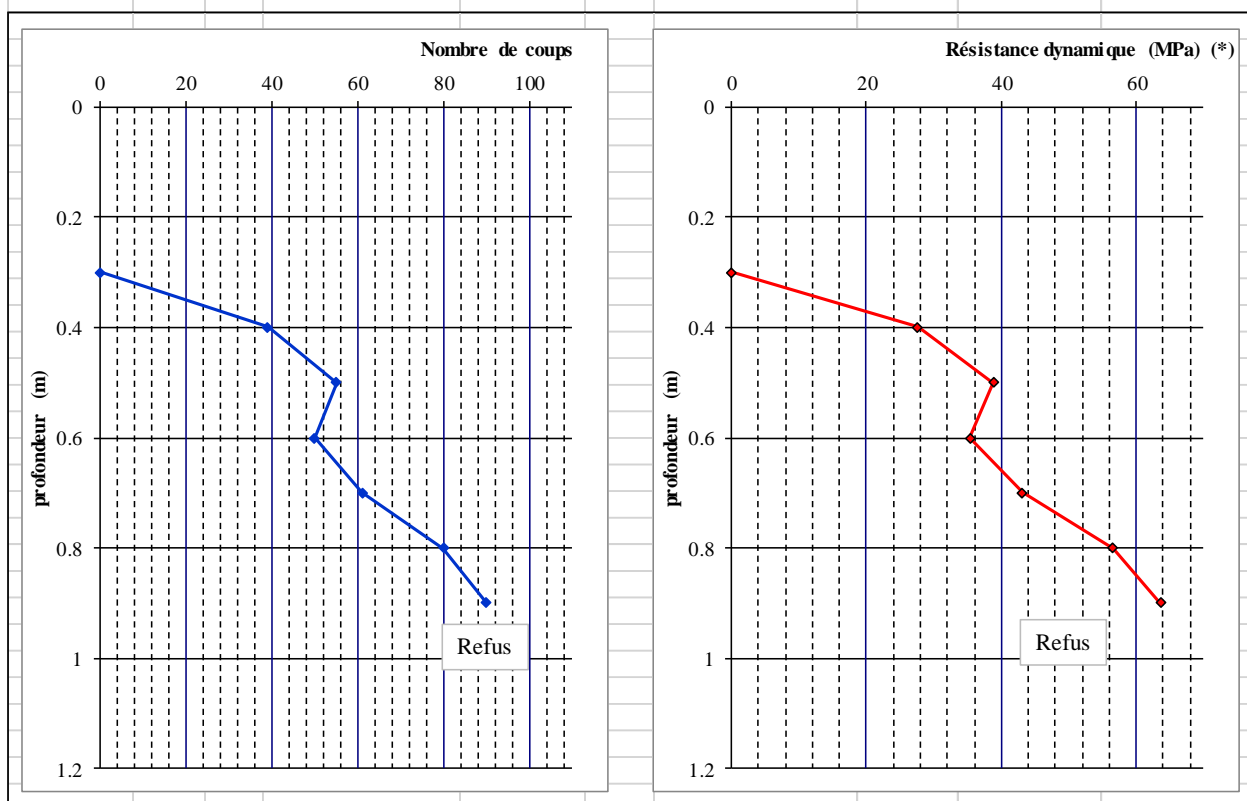


(*) valeur donnée à titre indicatif issue de l'application de la formule des Hollandais

Essai de pénétration dynamique

Client : CPA Expert	Caractéristiques de l'appareil:	Localisation : C8
Lieu du chantier : 3-9 Port de Santes	Section pointe 962,1mm ²	
N° du dossier : 21.4.106	Mouton 30 kg	
date d'essai : 12/07/2023	Masse inerte 17,5 kg	
	Masse tige 2,933 kg	
	Hauteur de chute 20 cm	

RESULTATS DE L'ESSAI: P4

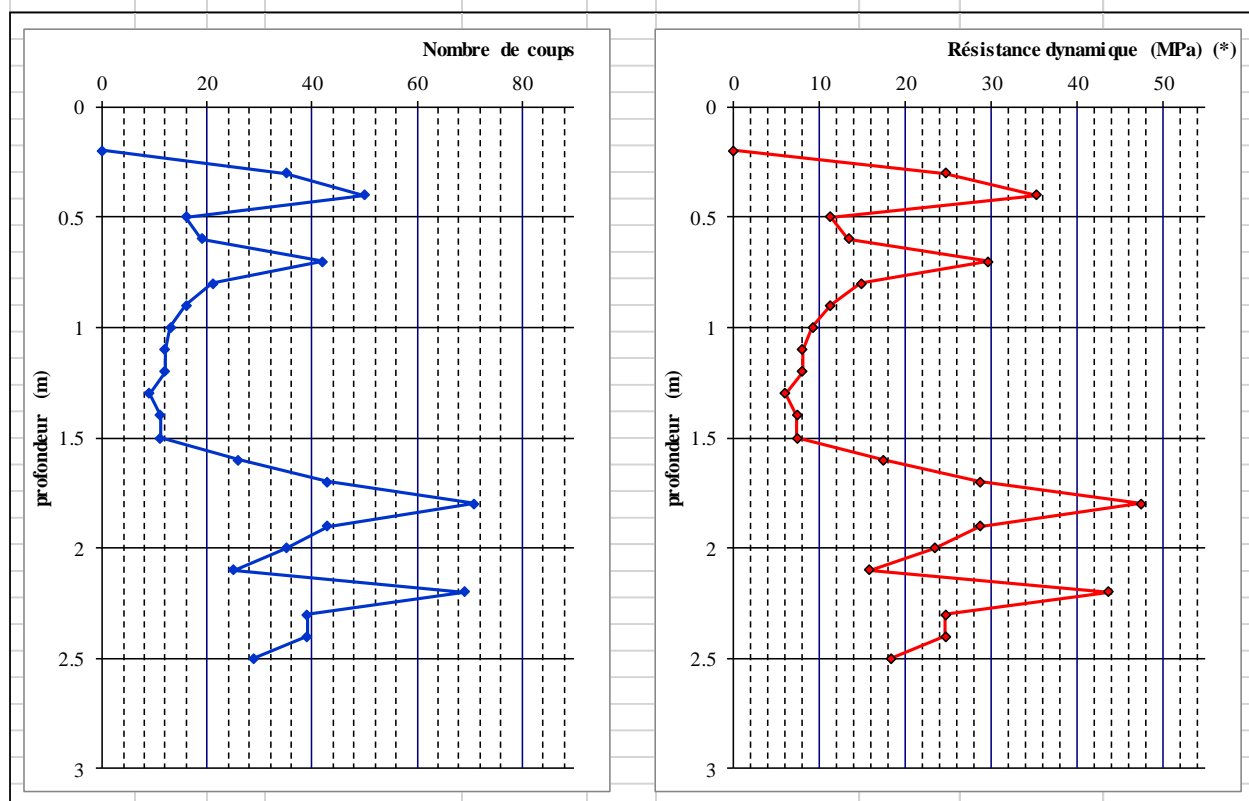


(*) valeur donnée à titre indicatif issue de l'application de la formule des Hollandais

Essai de pénétration dynamique

Client : CPA Expert	Caractéristiques de l'appareil:	Localisation : C12
Lieu du chantier : 3-9 Port de Santes	Section pointe 962,1mm ²	
N° du dossier : 21.4.106	Mouton 30 kg	
date d'essai : 12/07/2023	Masse inerte 17,5 kg	
	Masse tige 2,933 kg	
	Hauteur de chute 20 cm	

RESULTATS DE L'ESSAI: P5

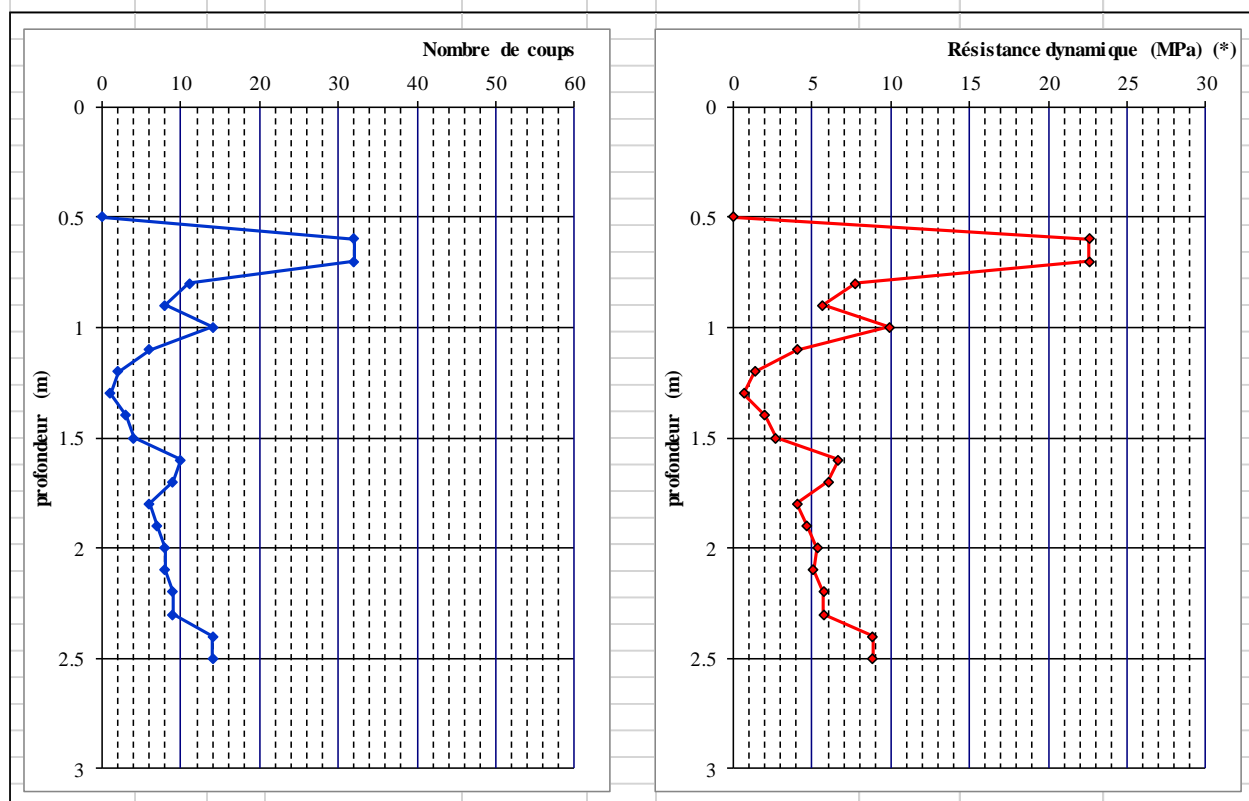


(*) valeur donnée à titre indicatif issue de l'application de la formule des Hollandais

Essai de pénétration dynamique

Client : CPA Expert	Caractéristiques de l'appareil:	Localisation : C13
Lieu du chantier : 3-9 Port de Santes	Section pointe 962,1mm ²	
N° du dossier : 21.4.106	Mouton 30 kg	
date d'essai : 12/07/2023	Masse inerte 17,5 kg	
	Masse tige 2,933 kg	
	Hauteur de chute 20 cm	

RESULTATS DE L'ESSAI: P6

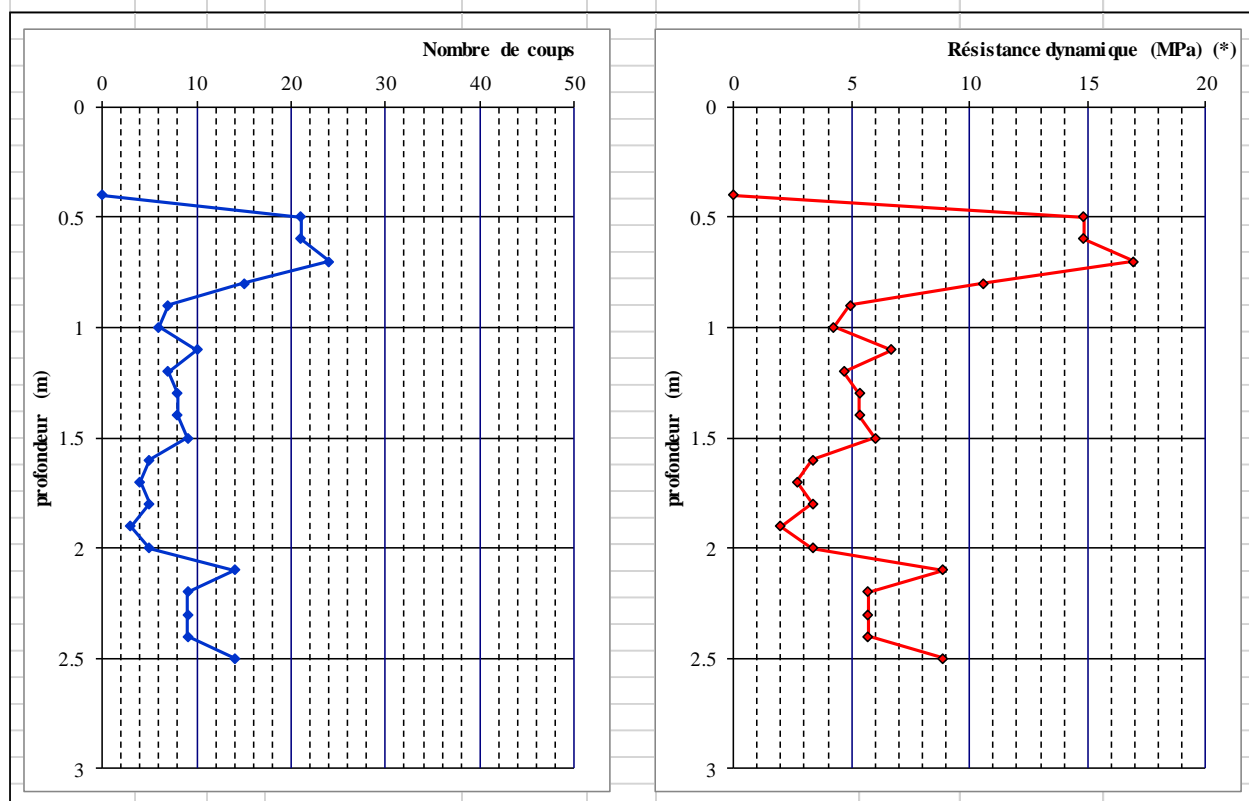


(*) valeur donnée à titre indicatif issue de l'application de la formule des Hollandais

Essai de pénétration dynamique

Client : CPA Expert	Caractéristiques de l'appareil:	Localisation : C15
Lieu du chantier : 3-9 Port de Santes	Section pointe 962,1mm ²	
N° du dossier : 21.4.106	Mouton 30 kg	
date d'essai : 12/07/2023	Masse inerte 17,5 kg	
	Masse tige 2,933 kg	
	Hauteur de chute 20 cm	

RESULTATS DE L'ESSAI: P7

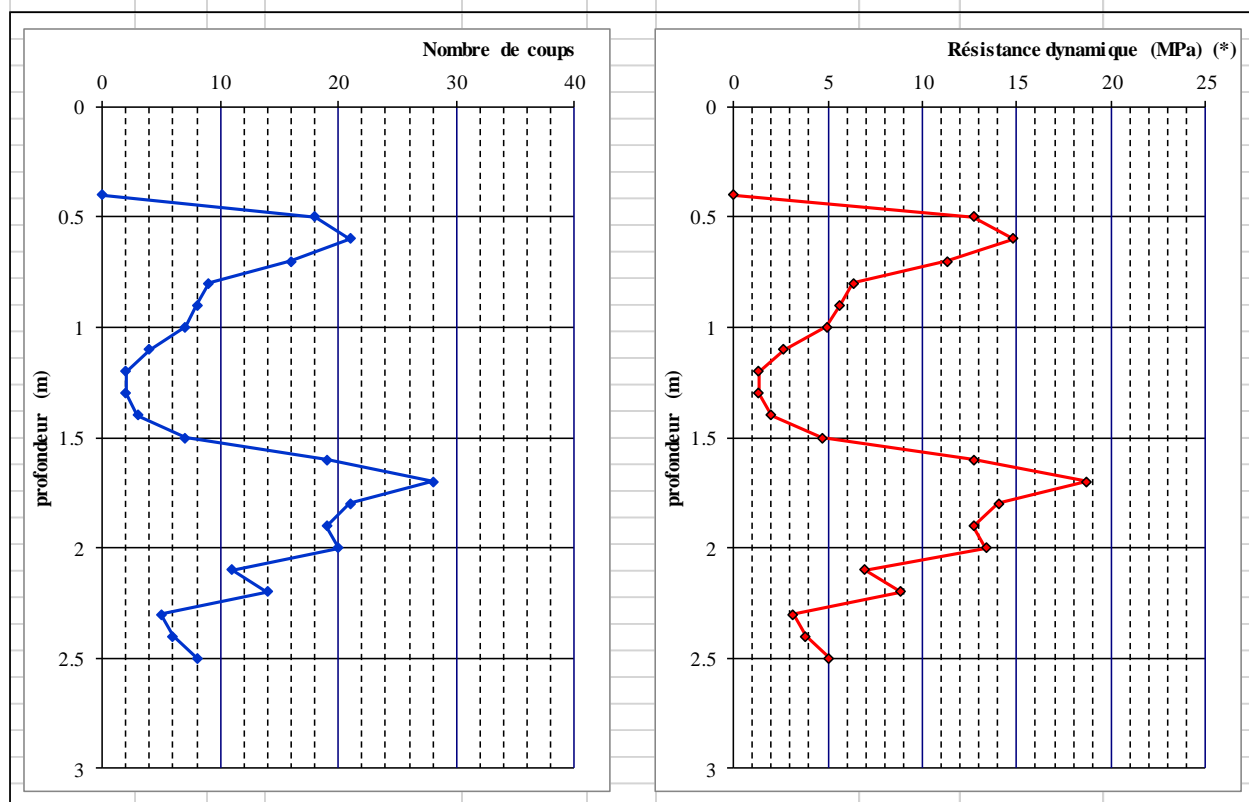


(*) valeur donnée à titre indicatif issue de l'application de la formule des Hollandais

Essai de pénétration dynamique

Client : CPA Expert	Caractéristiques de l'appareil:	Localisation : C18
Lieu du chantier : 3-9 Port de Santes	Section pointe 962,1mm ²	
N° du dossier : 21.4.106	Mouton 30 kg	
date d'essai : 12/07/2023	Masse inerte 17,5 kg	
	Masse tige 2,933 kg	
	Hauteur de chute 20 cm	

RESULTATS DE L'ESSAI: P8



(*) valeur donnée à titre indicatif issue de l'application de la formule des Hollandais

ANNEXE 6 : DESCRIPTION DES CAROTTES BETON

C1

Description :

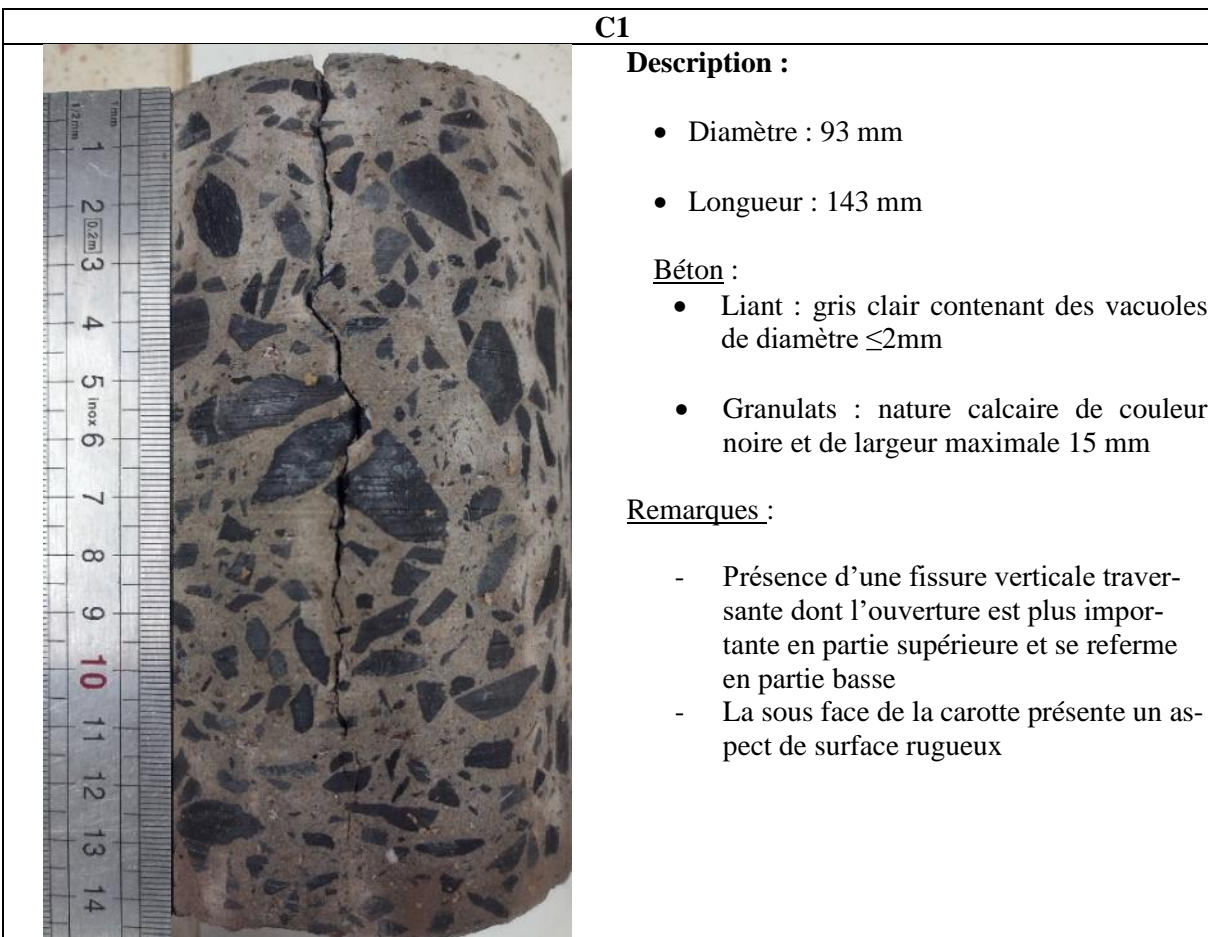
- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 143 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre $\leq 2\text{mm}$
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 15 mm

Remarques :

- Présence d'une fissure verticale traversante dont l'ouverture est plus importante en partie supérieure et se referme en partie basse
- La sous face de la carotte présente un aspect de surface rugueux



C2



Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 141 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre $\leq 2\text{mm}$
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 15 mm

Remarque :

La sous face de la carotte présente un aspect de surface rugueux

C3



Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 146 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 4 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 19 mm

Remarque :

La sous face de la carotte présente un aspect de surface rugueux

C4



Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 152 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 5 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 15 mm

Présence d'un ancien béton sur épaisseur de 5 cm environ

Remarque :

La sous face de la carotte supérieure présente un aspect de surface rugueux.

C5



Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 149 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 4 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 16 mm

Présence d'un ancien béton sur épaisseur de 4 cm environ

Remarque :

La sous face de la carotte supérieure présente un aspect de surface rugueux

C6



Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 159 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 7 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 20 mm

Présence d'un ancien béton sur épaisseur de 4 cm environ

Remarque :

La sous face de la carotte supérieure présente un aspect de surface rugueux

C7



Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 152 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 6 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 18 mm

Présence d'une fissure verticale ouverte depuis la surface sur une profondeur de 6 cm environ

Présence d'un ancien béton sur épaisseur de 4 cm environ

Remarques :

- Présence d'une fissure verticale traversante dont l'ouverture est plus importante en partie supérieure et se referme en partie basse
- La sous face de la carotte présente un aspect de surface rugueux

C8



Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 159 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 10 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 18 mm

Remarque :

La sous face de la carotte présente un aspect de surface rugueux

C9



Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 140 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 8 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 21 mm

Présence d'un ancien béton sur épaisseur de 3 à 4 cm environ

Remarque :

La sous face de la carotte supérieure présente un aspect de surface rugueux

C10



Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 144 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 4 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 18 mm

Présence d'un ancien béton sur épaisseur de 3 à 4 cm environ

Remarque :

La sous face de la carotte supérieure présente un aspect de surface rugueux

C11

Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 148 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 6 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 16 mm

Présence d'un ancien béton sur épaisseur de 3 à 4 cm environ

Remarque :

La sous face de la carotte supérieure présente un aspect de surface rugueux



C12



Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 153 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 7 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 18 mm

Présence d'un ancien béton sur épaisseur de 3 à 4 cm environ

Remarque :

La sous face de la carotte supérieure présente un aspect de surface rugueux

C13



Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 155 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 3 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 16 mm

Présence d'un ancien béton sur épaisseur de 8 cm environ

Remarque :

La sous face de la carotte supérieure présente un aspect de surface rugueux

C14

Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 148 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 4 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 16 mm

Présence d'un ancien béton sur épaisseur de 8,5 cm environ

Remarque :

La sous face de la carotte supérieure présente un aspect de surface rugueux



C15

Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 156 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 4 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 21 mm

Présence d'un ancien béton sur épaisseur de 8,5 cm environ

Remarque :

La sous face de la carotte supérieure présente un aspect de surface rugueux



C16



Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 155 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 5 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 21 mm

Présence d'un ancien béton sur épaisseur de 9 cm environ

Remarque :

La sous face de la carotte supérieure présente un aspect de surface rugueux

C17

Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 158 mm

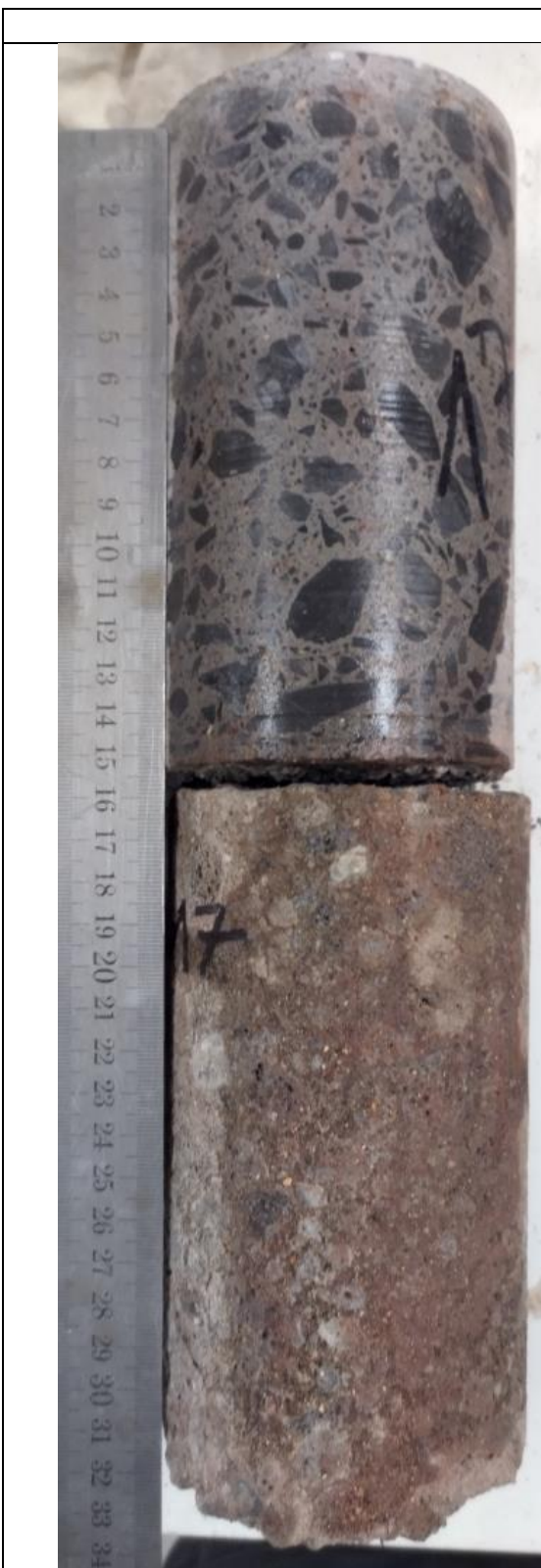
Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 6 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 21 mm

Présence d'un ancien béton sur épaisseur de 16,5 cm environ

Remarque :

La sous face de la carotte supérieure présente un aspect de surface rugueux



C18

Description :

- Diamètre : 93 mm
- Longueur : 158 mm

Béton :

- Liant : gris clair contenant des vacuoles de diamètre ≤ 8 mm
- Granulats : nature calcaire de couleur noire et de largeur maximale 16 mm

Armatures :

Enrobage : 110 mm ; diamètre : 6 mm
Enrobage : 128 mm ; diamètre : 6 mm

Présence d'un ancien béton sur épaisseur de 15 cm environ

Remarque :

La sous face de la carotte supérieure présente un aspect de surface rugueux



ANNEXE 7 : LIMITES D'ATTERBERG

PROCES VERBAL D'ESSAI
Détermination des limites d'Atterberg- NF P 94-051

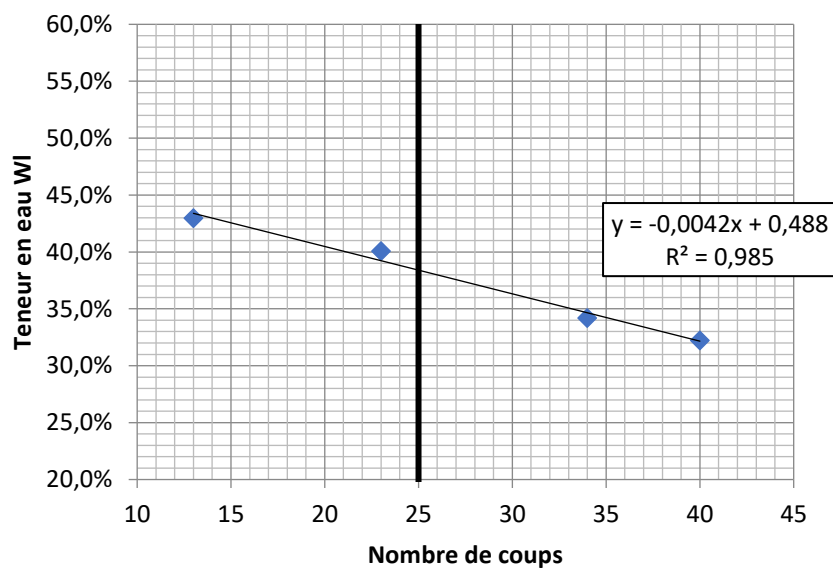
Client :	Date de prélèvement :
Chantier : Sante	
Mode de prélèvement : Carottage	Profondeur (m) : 1.8
Matériau : argile verte à marron limo- neuse	Opérateur : YL

Limite de liquidité - Méthode à la tare de Casagrande - NF P 94-051

Mesure n°	Nb de coups	Teneur en eau (%)
1	40	32,2%
2	34	34,2%
3	23	40,1%
4	13	43,0%
	W_L (%)	38,4%

**Limite de plasticité au rouleau
NF P 94-051**

Mesure n°	Teneur en eau (%)
1	19,6%
2	19,6%
3	20,7%
	W_P (%)
	20,0%


Synthèse des résultats

Teneur en eau naturelle	W_{nat} =	20,0%
Limite de liquidité	W_L =	38,4%
Limite de plasticité	W_P =	20,0%

Paramètres d'état

Indice de plasticité	I_P =	18,4
Indice de consistance	I_C =	1,0

PROCES VERBAL D'ESSAI

Détermination des limites d'Atterberg- NF P 94-051

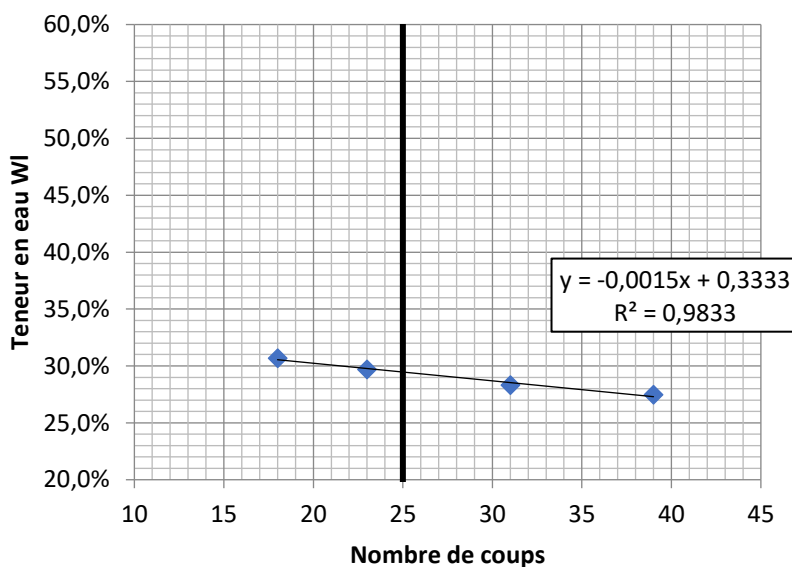
Client :	Date de prélèvement :
Chantier : Sante	
Mode de prélèvement : carottage	Profondeur (m) : 3
Matériau : Argile verte légèrement sableuse	Opérateur : YL

Limite de liquidité - Méthode à la tare de Casagrande - NF P 94-051

Mesure n°	Nb de coups	Teneur en eau (%)
1	39	27,5%
2	31	28,3%
3	23	29,7%
4	18	30,7%
	W_L (%)	29,5%

Limite de plasticité au rouleau NF P 94-051

Mesure n°	Teneur en eau (%)
1	21,1%
2	20,5%
3	21,7%
	W_P (%)
	21,1%



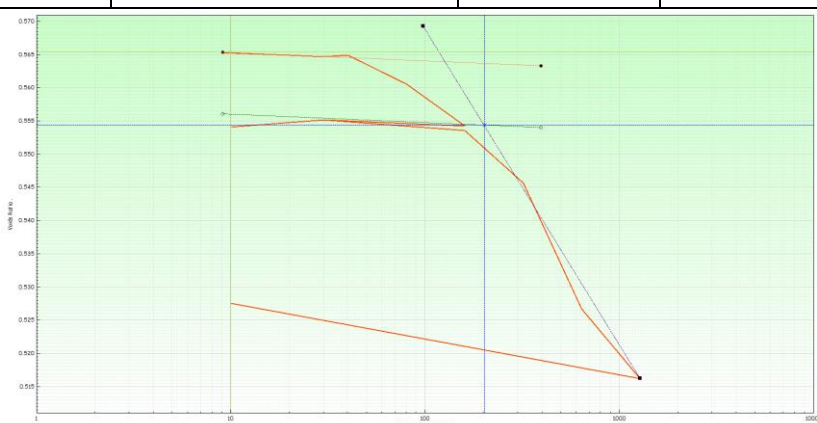
Synthèse des résultats

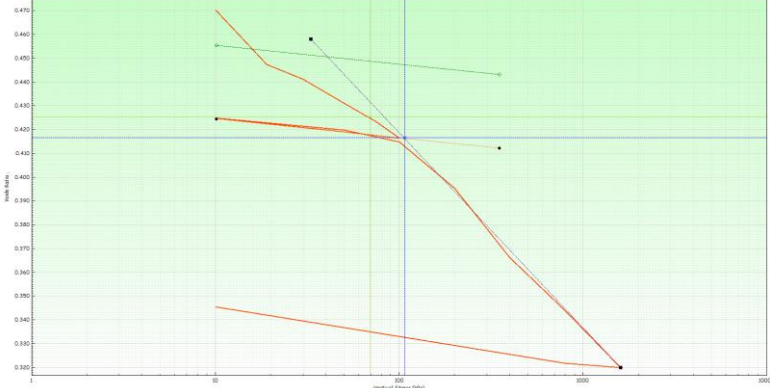
Teneur en eau naturelle	W_{nat} =	19,5%
Limite de liquidité	W_L =	29,5%
Limite de plasticité	W_P =	21,1%

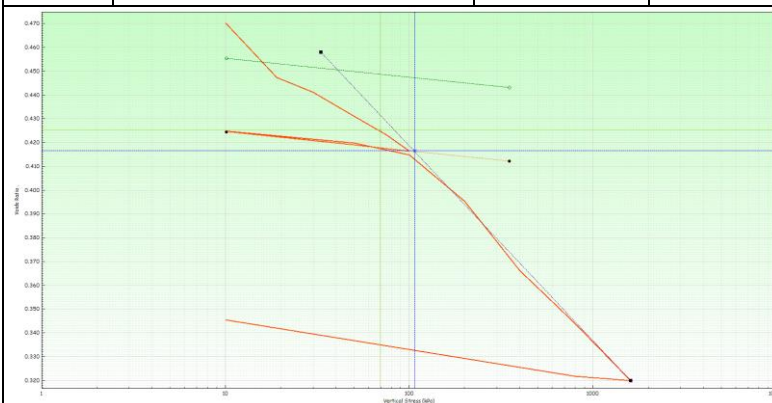
Paramètres d'état

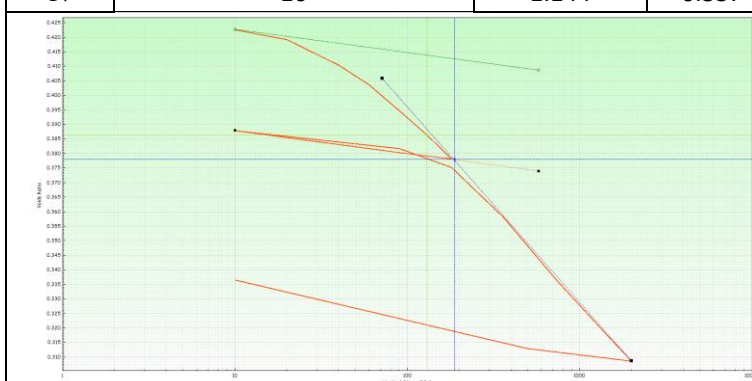
Indice de plasticité	I_P =	8,3
Indice de consistance	I_C =	1,2

ANNEXE 8 : RESULTATS DES ESSAIS OEDOMETRIQUES

PROCES VERBAL D'ESSAI									
Essai de compressibilité à l'oedomètre - XP P 94-090-1									
Client :		CPA Experts		Date de prélèvement :					
Chantier :		Santes		Date de l'essai :			16/08/2023		
Sondage n°:		C1		Profondeur (m) :			0.8		
Matériau :		Remblai marne blanche			Opérateur :		Y. LEMAIRE		
Caractéristiques de l'éprouvette									
Diamètre : 70 mm		Hauteur : 20 mm		Aire : 38,48 cm²		Volume : 76,97 cm³			
Identification des éprouvettes de sol									
Avant essai						Après consolidation			
ρ (t/m³)	ρ _d (t/m³)	ρ _s estimée (t/m³)		W (%)	e	Sr (%)	ρ _d (t/m³)	W (%)	Sr (%)
2.06	1.70	2.70		21.3	0.562	100	1.73	20.2	100
Palier n°	σ'v kPa			Δh mm		e	Cv (m²/s)		
1	9			-0.038		0.565			
2	20			-0.033		0.565			
3	30			-0.03		0.565			
4	40			-0.033		0.565			
5	80			0.023		0.561			
6	160			0.103		0.554			
7	30			0.092		0.555			
8	10			0.105		0.554			
9	30			0.092		0.555			
10	160			0.112		0.554			
11	320			0.213		0.546	4.6x10 ⁻⁶		
12	639			0.456		0.527	3.1x10 ⁻⁷		
13	1277			0.59		0.516	1.0x10 ⁻⁷		
14	10			0.445		0.528			
							Résultats		
Indice des vides du sol en place									
e ₀ =							0.565		
Contrainte effective verticale									
σ'v0 =							10 kPa		
Contrainte de préconsolidation									
σ'p =							40/200 kPa		
Indice de gonflement									
Cs =							0.001		
Indice de compression									
Cc =							0.047		

PROCES VERBAL D'ESSAI									
Essai de compressibilité à l'oedomètre - XP P 94-090-1									
Client :		CPA Experts			Date de prélèvement :				
Chantier :		Santes			Date de l'essai :				
Sondage n°:		SC1			Profondeur (m) :				
Matériau :		Argile légèrement sableuse			Opérateur :				
					Y. LEMAIRE				
Caractéristiques de l'éprouvette									
Diamètre : 70 mm		Hauteur : 20 mm			Aire : 38,48 cm²		Volume : 76,97 cm³		
Identification des éprouvettes de sol									
Avant essai							Après consolidation		
ρ (t/m³)	ρ _d (t/m³)	ρ _s estimée (t/m³)		W (%)	e	Sr (%)	ρ _d (t/m³)	W (%)	Sr (%)
2.11	1.77	2.70		18.2	0.500	99	1.97	13.0	100
Palier n°	σ'v kPa			Δh mm		e	Cv (m²/s)		
1	10			0.393		0.47			
2	19			0.698		0.447			
3	30			0.782		0.441			
4	50			0.915		0.431			
5	75			1.02		0.423			
6	100			1.111		0.416			
7	50			1.076		0.419			
8	10			1		0.425			
9	50			1.065		0.42			
10	100			1.132		0.415			
11	200			1.393		0.395			
12	399			1.781		0.366	1.4x10 ⁻⁶		
13	799			2.078		0.344	1.4x10 ⁻⁶		
14	1598			2.397		0.32	1.5x10 ⁻⁶		
15	799			2.375		0.322			
16	10			2.059		0.345			
							Résultats		
							Indice des vides du sol en pla		
							e ₀ = 0.425		
							Contrainte effective vertical		
							σ'v0 = 70 kPa		
							Contrainte de préconsolidati		
							σ'p = 107 kPa		
Indice de gonflement									
Cs = 0.008									
Indice de compression									
Cc = 0.082									



PROCES VERBAL D'ESSAI									
Essai de compressibilité à l'oedomètre - XP P 94-090-1									
Client :		CPA Experts			Date de prélèvement :				
Chantier :		Santes			Date de l'essai :				
Sondage n°:		SC1			Profondeur (m) :				
Matériau :		Argile légèrement sableuse			Opérateur :				
					Y. LEMAIRE				
Caractéristiques de l'éprouvette									
Diamètre : 70 mm		Hauteur : 20 mm			Aire : 38,48 cm²		Volume : 76,97 cm³		
Identification des éprouvettes de sol									
Avant essai						Après consolidation			
ρ (t/m³)	ρ _d (t/m³)	ρ _s estimée (t/m³)		W (%)	e	Sr (%)	ρ _d (t/m³)	W (%)	Sr (%)
2.11	1.77	2.70		18.2	0.500	99	1.97	13.0	100
Palier n°	σ'v kPa			Δh mm		e	Cv (m²/s)		
1	10			-0.07		0.423			
2	20			-0.023		0.419			
3	40			0.103		0.41			
4	60			0.198		0.404			
5	90			0.324		0.395			
6	130			0.442		0.386			
7	180			0.557		0.378			
8	90			0.526		0.38			
9	10			0.42		0.388			
10	90			0.507		0.382			
11	180			0.598		0.375			
12	360			0.839		0.358			
13	720			1.138		0.337	7.2x10 ⁻⁷		
14	1438			1.412		0.318	1.6x10 ⁻⁶		
15	1997			1.539		0.309	5.2x10 ⁻⁷		
16	499			1.476		0.313			
17	10			1.144		0.337			
							Résultats		
							Indice des vides du sol en pla		
							e ₀ = 0.386		
							Contrainte effective vertical		
							σ'v0 = 130 kPa		
							Contrainte de préconsolidatio		
							σ'p = 188 kPa		
							Indice de gonflement		
							Cs = 0.008		
							Indice de compression		
Cc = 0.067									