

**INVESTIGATIONS GÉOTECHNIQUES ET
DIMENSIONNEMENT DES FONDATIONS DU
PONT DU PK23 + 325 AU PK23 + 335**

CHAPITRE 3 : INVESTIGATIONS GÉOTECHNIQUES

Introduction

Dans le cadre de la construction d'un pont de l'autoroute AIBD-Mbour-Thiès, sur la rivière Somone, du PK 23+325 au PK 23+335, des études géotechniques ont été réalisées pour dimensionner les fondations du pont, en situant leur profondeur d'ancrage. Deux campagnes d'investigations géotechniques ont été effectuées sur le site. Pour chacune de ces campagnes, des sondages carottés et pressiométriques ont été exécutés afin de déterminer les caractéristiques des terrains en place.

3.1 Culée vers Dakar

3.1.1 Sondages carottés et pressiométriques

Au niveau de la culée vers Dakar (PK 23+325), GEOTEC-Afrique a réalisé (figure 12) :

- deux (02) sondages carottés (NF P 94-116) jusqu'à 15 m de profondeur afin de prélever des échantillons pour les essais de laboratoire et de réaliser la coupe synthétique des terrains traversés ;
- un (01) sondage carotté jusqu'à 25 m de profondeur afin de prélever des échantillons pour les essais de laboratoire et de réaliser la coupe synthétique des terrains traversés ;
- deux (02) sondages pressiométriques (NF P 94-110) de 15 m de profondeur, afin de définir la nature pétrographique des terrains et de mesurer la pression limite (p_l^*) et le module pressiométrique (E) ;
- un (01) sondage pressiométrique de 25 m de profondeur, afin de définir la nature pétrographique des terrains et de mesurer la pression limite (p_l^*) et modules pressiométriques (E).

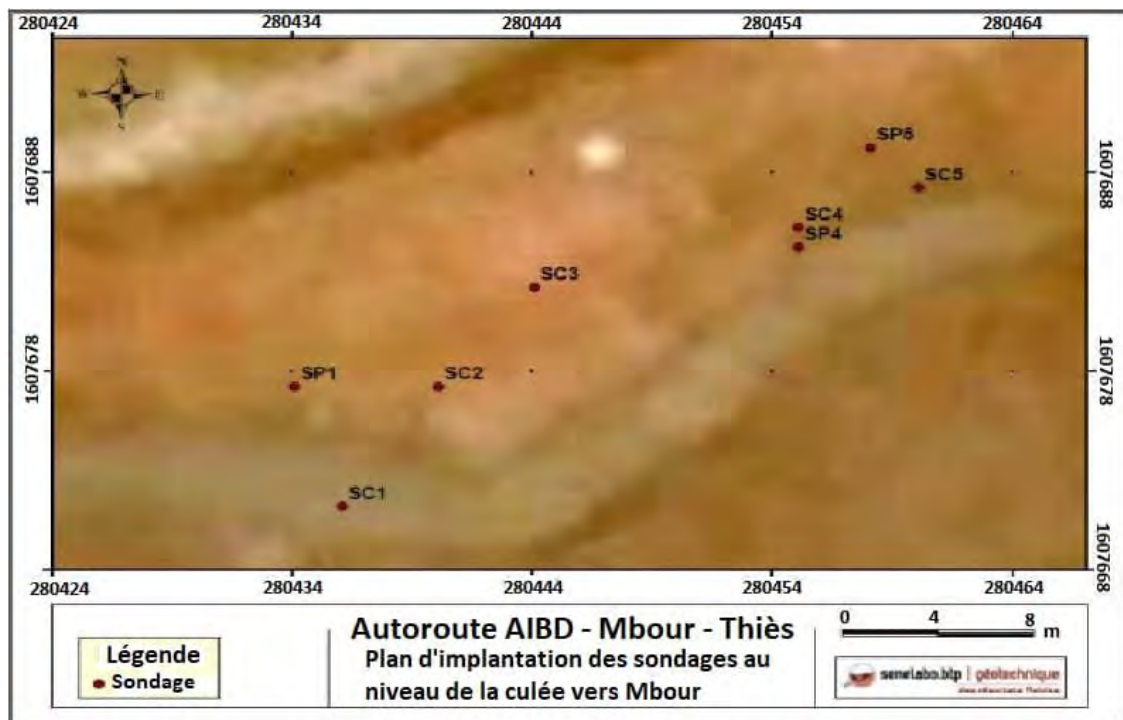


Figure 12 : Plan d'implantation des sondages

3.1.1.1 Sondages carottés

Le principe des sondages carottés (NF P94-116) est de découper un cylindre de terrain le plus intact possible afin de faire des observations et d'exécuter des essais sur les échantillons représentatifs. Le découpage des terrains peut être fait par fonçage ou battage (carottier poinçonneur) ou par rotation (carottier rotatif). Un carottier rotatif a été utilisé dans le cadre de cette étude.

Au niveau de la culée vers Dakar, trois sondages carottés ont été réalisés afin de prélever des échantillons pour les essais de laboratoire et donner la coupe lithologique des terrains rencontrés.

3.1.1.2 Sondages pressiométriques

❖ Principe de l'essai

L'essai pressiométrique de type Ménard (NF P94-110) est un essai de déformation du terrain en place effectué grâce à une sonde cylindrique dilatable radialement introduite dans un forage (figure 13). Cet essai est praticable dans tous les types de sols et de roches et c'est le seul essai fournissant à la fois un critère de rupture et un critère de déformabilité du sol. Il permet d'obtenir une courbe de variation des déformations volumétriques du sol en fonction de la contrainte appliquée, et de définir une relation contrainte-déformation du sol en place dans l'hypothèse d'une déformation plane.

Trois (3) caractéristiques du sol sont ainsi déduites (figure 14) :

- le module pressiométrique E_m qui définit le comportement pseudo-élastique du sol,
- la pression limite P_l qui caractérise la résistance à la rupture du sol,
- la pression de fluage P_f qui définit la limite entre les comportements pseudo-élastique et plastique.

Le forage est réalisé de telle sorte que sa paroi demeure pratiquement intacte, que son diamètre soit adapté à celui de la sonde et que les sols environnants soient le moins perturbés. Avant d'effectuer un essai, il faut étalonner la sonde, en la gonflant à l'air libre, pour obtenir la résistance propre de la sonde.

Puis, après avoir placé la sonde au niveau souhaité, on y injecte de l'eau afin d'appliquer une pression radiale croissante par paliers successifs, sur les parois du sol. A chaque palier, on procède à trois (3) lectures de variation de volume d'eau injecté à 15, 30 et 60 secondes.

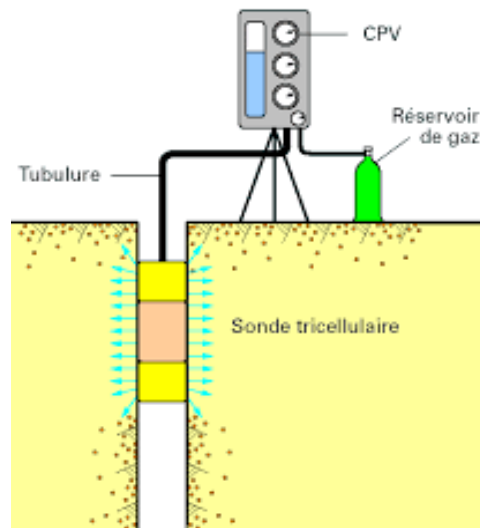


Figure 13: Dispositif pressiomètre Ménard (hal.archives-ouvertes.fr/cel-01795511/document)

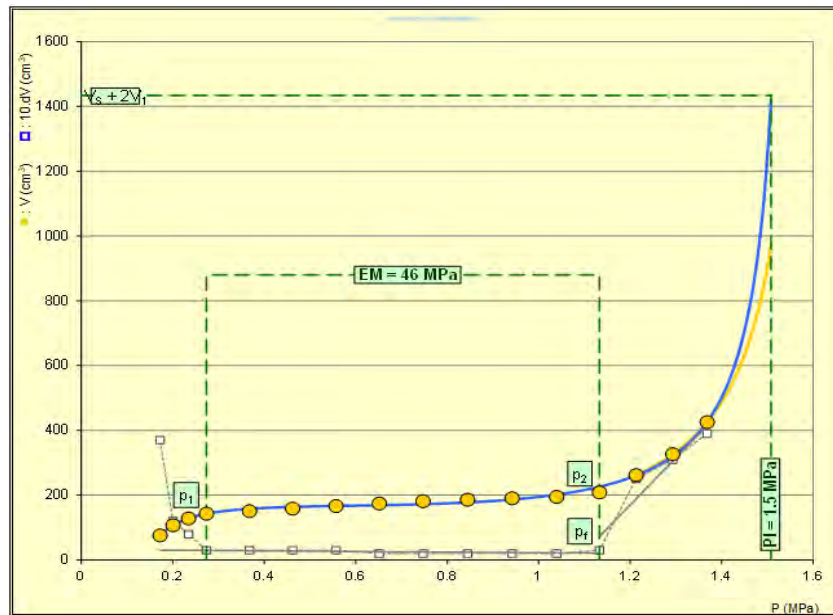


Figure 14: Exemple de courbe pressiométrique Ménard (Géotec-Afrique SENELABO, 2019)

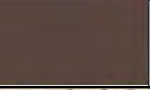
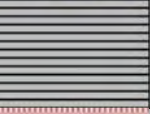
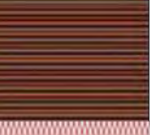
❖ Résultats des essais pressiométriques

A l'emplacement de l'ouvrage, trois (3) sondages pressiométriques ont été effectués au niveau de la culée vers Dakar (PK 23+325), à une profondeur d'investigation allant jusqu'à 15 m afin de déterminer les caractéristiques mécaniques des sols en place. Les résultats de ces sondages pressiométriques sont récapitulés dans le tableau 1 tandis que la figure 15 montre un profil pressiométrique.

Remarque :

La nappe n'a pas été rencontrée au droit des sondages jusqu'à 25 m de profondeur. On ne peut cependant pas exclure la présence de circulations anarchiques, liées à des chenaux d'écoulement préférentiels. Le régime hydrologique de surface est susceptible de varier, en fonction de la saison et de la pluviosité.

Tableau 1 : Résultats des sondages carottés et pressiométriques (PK 23+325)

N° de sondage	De (m)	A (m)	Description Lithologique	Figurés	Epoque	Pl* moyen (MPa)	EM moyen (MPa)
SC1	0	1,5	Argiles sableuses		Pliocène	0,48	9,1
SC1	1,5	3,15	Latérite gravillonnaire			1,4	370,8
SC1	3,15	6	Sables fins argileux jaunâtres		Miocène continental	2,36	101,8
SC1	6	15	Marnocalcaires			2,48	107,7
SC2	0	1,5	Argiles noirâtres		Pliocène	0,08	2,7
SC2	1,5	5	Cuirasse latéritique		Pliocène	0,45	8,2
SC2	5	5,8	Argiles sableuses jaunâtres		Miocène	0,96	21,7
SC2	5,8	6,7	Marnocalcaires		Eocène	2,57	123,3
SC2	6,7	7					
SC2	7	15					
SC5	0	0,7	Sables fins argileux noirâtres avec concrétions		Pliocène	0,37	2,9
SC5	0,7	2,5	Sables argileux rougeâtres avec concrétions			0,22	2,43
SC5	2,5	6,45	Cuirasse latéritique			0,51	
SC5	6,45	7,3	Marnocalcaires		Eocène	0,58	2,44
SC5	7,3	8,9					
SC5	8,9	9,6	Sables fins beiges			0,35	2,3
SC5	9,6	12,7	Marnocalcaires			0,84	117,67
SC5	12,7	14,3	Marnocalcaires avec des poches de sables fins beiges			0,64	7,37

Les coupes des sondages SC1, SC2 et SC5 montrent, de bas en haut, des marnocalcaires surmontés par des sables argileux et des argiles sableuses, puis une cuirasse latéritique que couvrent des sables argileux et des argiles sableuses.

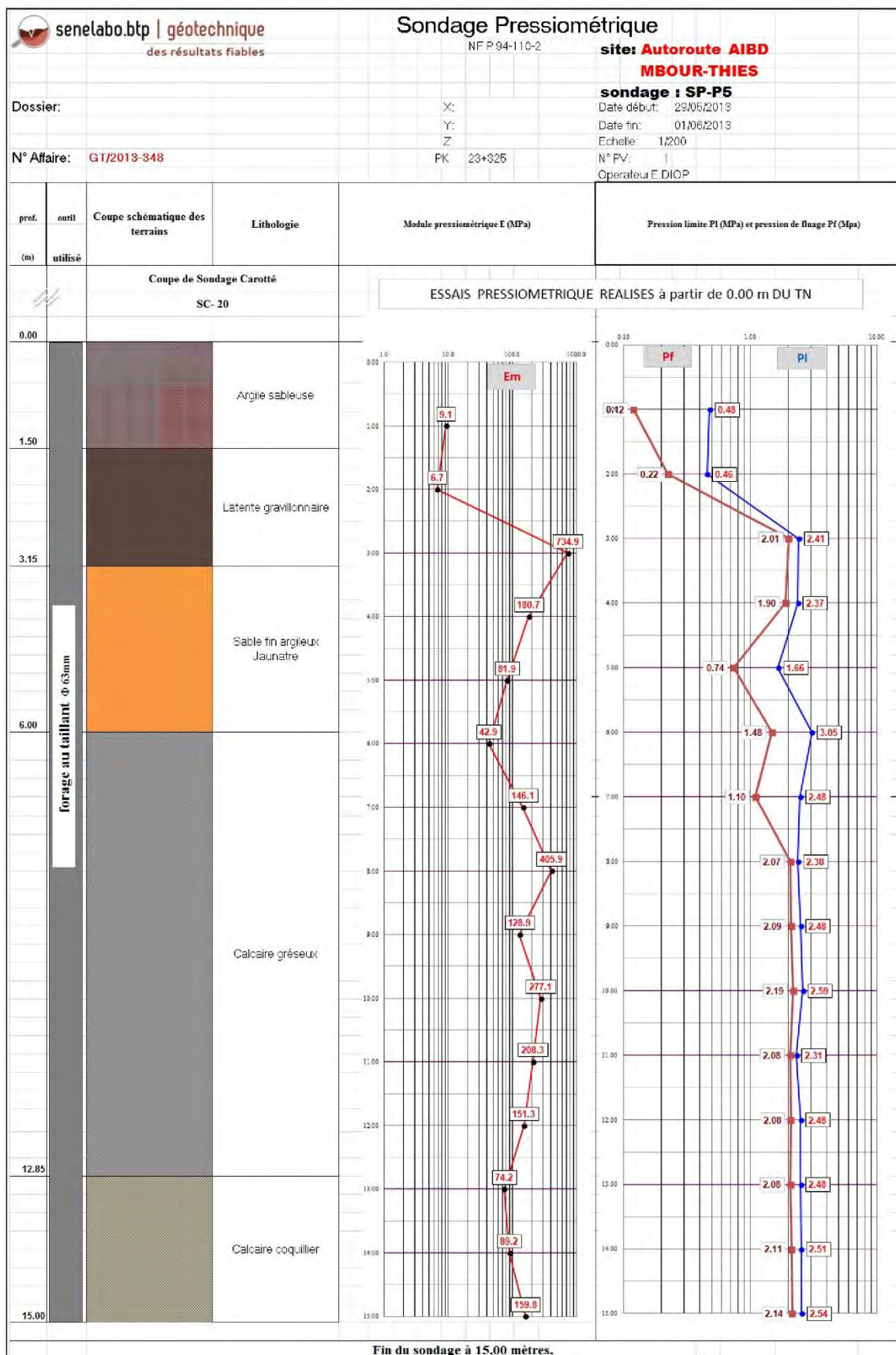


Figure 15 : Coupe de sondage carotté et résultat d'essai pressiométrique (PK 23+325)

3.1.1.3 Essais de laboratoire

Des essais de laboratoire ont été réalisés sur les échantillons prélevés (tableau 2).

Tableau 2 : Essais de laboratoire sur les échantillons prélevés au PK 23+325

Essais de laboratoire PK23+325			
	Nombre	Nom de l'essai	Norme
Essai d'identification	4	Teneur en eau	NF P 94-050
	4	Analyse granulométrique	NF P 94-056
	4	Limites d'Atterberg	NF P 94-051
	4	Masse volumique réel	NF P 94-053
	3	Masse volumique apparent	NF P 94-064
	4	Essai au bleu de méthylène	NF P18-662-9
Essai mécanique	4	Cisaillement rectiligne direct	NF P 94-071-1
	4	Compressibilité à l'œdomètre	NF P 94-090-1

❖ Essais d'identification complète

Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau permet de déterminer la proportion pondérale de l'eau contenue dans un échantillon de sol selon la norme NF P 94-050. C'est le rapport en pourcentage du poids de l'eau évaporée lors de l'étuvage W_w sur le poids des grains solides W_d . L'étuvage s'effectue par dessiccation de l'échantillon de sol pendant 24 heures à 105 °C. La teneur en eau permet d'apprécier l'état hydrique du sol.

La teneur en eau naturelle (w) se calcule à partir de la formule suivante :

$$W (\%) = \frac{\text{Poids d'eau}}{\text{Poids sec}} \times 100$$

Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est effectuée par tamisage selon la norme NF P 94-056. L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition pondérale des différents grains d'un échantillon de sol.

La courbe du pourcentage des tamisats cumulés en fonction de l'ouverture des tamis est appelée courbe granulométrique.

Limites d'Atterberg

La détermination des limites d'Atterberg est décrite par la norme NF P 94-051. La limite de liquidité se détermine à la coupelle de Casagrande et la limite de plasticité au rouleau. Cet

essai est réalisé sur la fraction de sol passant au tamis de 425 μm . Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état.

Les paramètres mesurés sont :

- La limite de liquidité W_L , est la teneur en eau (exprimée en %) qui correspond à une fermeture sur 1 cm après 25 chocs d'une rainure pratiquée dans l'échantillon de matériau contenu dans la coupelle. Elle correspond au passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique.

La limite de plasticité W_p , est la teneur en eau (exprimée en %) d'un rouleau de 15 cm qui se brise en petits tronçons de 1 à 2 cm de long au moment où son diamètre atteint 3 cm. C'est le passage de l'état plastique à l'état solide.

L'indice de plasticité I_p est le paramètre le plus utilisé pour caractériser l'argilosité des sols (tableau 3). Il définit leur degré de plasticité et s'exprime par la relation :
 $I_p = W_L - W_p$.

Tableau 1 : Classification des sols selon l'indice de plasticité (Philipponnat et Hubert, 2004)

Indice de plasticité I_p	Etat du sol
0 – 5	Non plastique
5 – 15	Moyennement plastique
15 – 40	Plastique
> 40	Très plastique

Masse volumique des grains solides

La détermination de la masse volumique d'un échantillon de grains solides (NF P 94-053) s'effectue sur la fraction de sol passant au tamis de 5 mm. Elle consiste à mesurer le volume propre des grains à l'exclusion des vides et à calculer le rapport entre leur masse et leur volume.

La masse volumique des grains solides s'exprime par la relation suivante :

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_s}$$

Masse volumique apparente

L'essai est réalisé suivant la norme NF P 18-554. La masse volumique apparente est la masse par unité de volume de l'échantillon de sol en tenant compte des vides entre les grains.

Essai au bleu de méthylène

L'essai au bleu de méthylène (NF P18-662-9), également appelé « essai au bleu », est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer la propreté d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol. Il permet aussi d'apprécier l'argilosité d'un sol. Le bleu de méthylène est en effet adsorbé préférentiellement par les argiles du type montmorillonite (argiles gonflantes) et les matières organiques. Les autres argiles (illites et kaolinites) sont peu sensibles au bleu.

Résultats synthétiques des essais d'identification complète

Les résultats des essais de laboratoire effectués sur les échantillons de sols prélevés dans les sondages carottés, sont récapitulés dans les tableaux 4 et 5.

Tableau 2 : Résultats des essais de laboratoire sur les échantillons d'argile sableuse (sondage SC2)

Tableau récapitulatif des essais		
Site		AUTOROUTE A10 MBOUR THIES
N°Registre		SC20
PK		PK 23+ 325
Profondeur (m)		0 -1,5m
Nature des Sols		Argile sableuse
Teneur en eau naturelle (%)	W	12,6
Masses volumiques(t/m³)	vh	2,139
	vd	1,899
Masse volumique des grains solides (t/m³)	vs	2,6
Analyse granulométrique et sédimentométrique	2 mm	45,7
	1 mm	36,5
	0,5 mm	34,5
	0,2 mm	31,6
	0,1 mm	21,3
	80µm	18,5
	2 µm	
Limites d'Atterberg (%)	WL	61,8
	WP	19
	IP	42,8
	Ic	1,15
Valeur au bleu (g/100g)	VBs	3

Tableau 3 : Résultats des essais de laboratoire sur les échantillons de sols (sondage SC2)

Tableau récapitulatif des essais				
Site		AUTOROUTE AIBD MBOUR THIES		
N°Registre		SC20B	SC20B	SC20B
PK				
Profondeur		0 -1.5m	5 -5.8m	6,7 -7m
Nature des Sols		Argile noirâtre	Argile sableuse	Argile sableuse jaunâtre + concrétions
Teneur en eau naturelle (%)	W	19	7	8,9
Masses volumiques (t/m ³)	y _h	2	2	
	y _d	2	2	
Masse volumique des grains solides (t/m ³)	y _s	3	3	2,5
Analyse granulométrique et sédimentométrique	2 mm	100	100	60,4
	1 mm	97	97	58,3
	0,5 mm	92	97	56,8
	0,2 mm	87	86	53,3
	0,1 mm	78	63	45,9
	80µm	75	60	44,7
	2 µm			
Limites d'Atterberg (%)	WL	51,1	29,9	36,8
	WP	16,4	13,1	14,6
	IP	34,76	16,85	22,2
	Ic	0,92	1,37	1,25
Valeur au bleu (g/100g)	VBs	5,8	2	2,3

Les résultats des essais effectués sur les échantillons montrent que ces sols ont une granularité variable avec des passants au tamis de 80 µm variant entre 18,5 et 75,2 %. Ces sols sont plastiques à très plastiques avec des valeurs d'indice de plasticité comprises entre 16,9 et 42,8.

❖ Essais mécaniques

Essai de cisaillement rectiligne direct

L'essai est décrit par la norme (NF P 94-071-1) et il a pour objectif de mesurer en laboratoire les caractéristiques mécaniques d'un échantillon de sol fin soumis à un cisaillement direct selon un plan imposé, à une vitesse suffisamment lente pour que la pression interstitielle u reste nulle tout au long de l'essai (figure 16). On en déduit à la rupture, la cohésion C et l'angle de frottement interne ϕ de l'échantillon de sol. Ces paramètres sont utilisés pour le dimensionnement des fondations, les calculs de vérification des coefficients de sécurité Fs à la rupture de talus et pour la détermination des actions de poussée et de butée sur les ouvrages de soutènement.

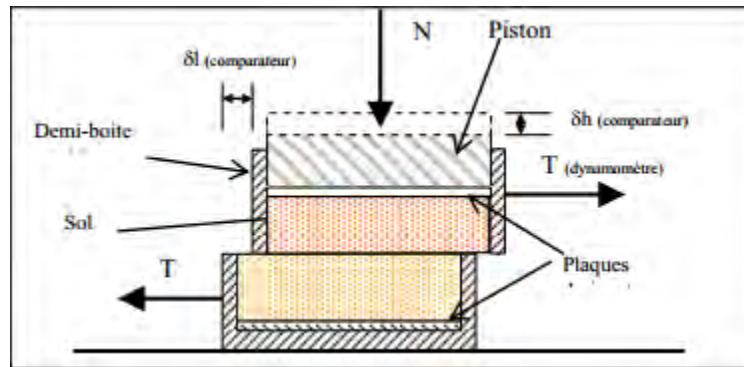


Figure 16 : Bâti de cisaillement (<http://arvor-geo.fr>)

Essai de compressibilité à l'œdomètre

L'essai de compressibilité à l'œdomètre est réalisé conformément à la norme NF P 94-090-1. Il consiste à mesurer le tassement au cours du temps d'une éprouvette cylindrique type galette placée dans une enceinte sans déformation latérale possible au fur et à mesure de l'application de différentes charges verticales. L'éprouvette est saturée d'eau au préalable au premier chargement et étant drainée en haut et en bas, elle est maintenue saturée pendant l'essai (figure 17).

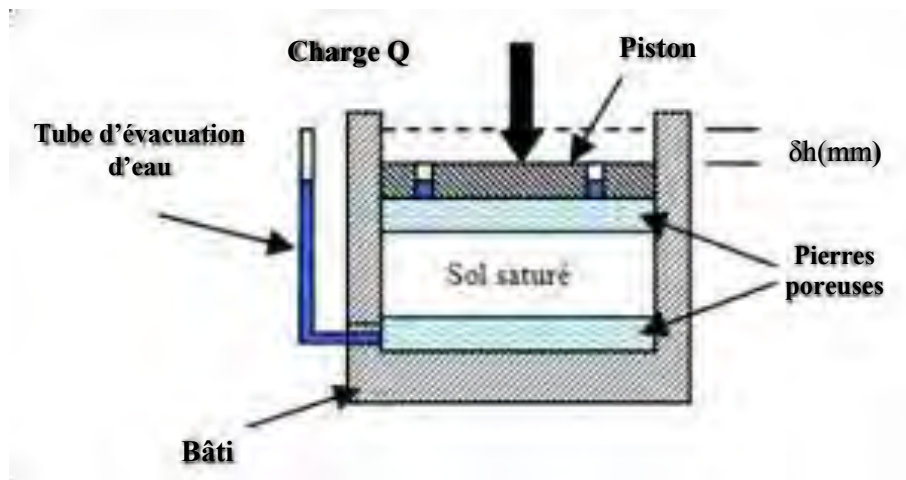


Figure 17 : Cellule œdométrique (<http://arvor-geo.fr>)

Essai de résistance en compression simple

L'essai de résistance en compression simple (NF P 94-420) consiste à appliquer sur une éprouvette cylindrique, une force croissante jusqu'à rupture de celle-ci afin de déterminer sa résistance à la compression. Cet essai est réalisé sur des éprouvettes cylindriques de dimensions 32 cm x 16 cm.

Résultats synthétiques des essais mécaniques

Les résultats des essais mécaniques sont donnés dans les tableaux 6 et 7.

Tableau 4 : Résultats des essais mécaniques sur les échantillons d'argile sableuse (sondage SC2)

Tableau récapitulatif des essais		
Site	AUTOROUTE AIBD MBOUR THIES	
N°Registre	SC20	
PK	PK 23+ 325	
Profondeur (m)	0 -1,5m	
Nature des Sols	Argile sableuse	
Cohésion (kPa)	C	24,3
Angle de frottement interne (°)	φ	29,3
Pression de préconsolidation(kPa)	σ'_p	142
Coefficient de compressibilité	Cc	0,1
Pression de gonflement (kPa)	Pg	-

Tableau 5 : Résultats des essais mécaniques sur les échantillons de sols (sondage SC2)

Tableau récapitulatif des essais				
Site	AUTOROUTE AIBD MBOUR THIES			
N°Registre	SC20B	SC20B	SC20B	SC20B
PK				
Profondeur	0 -1.5m	5 -5.8m	6,7 -7m	
Nature des Sols	Argile noirâtre	Argile sableuse	Argile sableuse jaunâtre + concrétions	
Cohésion (kPa)	C	81,4	18,6	
Angle de frottement interne(°)	φ	15,9	44,2	

Les résultats des essais de cisaillement donnent :

- Une cohésion de 24,3 kPa et un angle de frottement interne de 29,3° pour les échantillons d'argile sableuse prélevés entre 0,0 et 1,5 m de profondeur pour le premier sondage ;
- Une cohésion de 81,4 kPa et un angle de frottement interne de 15,9° pour les échantillons d'argile noirâtre prélevés entre 0,0 et 1,5 m de profondeur pour le deuxième sondage ;
- Une cohésion de 18,6 kPa et un angle de frottement interne de 44,2° pour les échantillons d'argile sableuse prélevés dans la cuirasse latéritique.

Les résultats des essais de compressibilité à l'œdomètre sur les échantillons d'argile sableuse prélevés entre 0,0 et 1,5 m de profondeur donnent un coefficient de compressibilité Cc de 0,1. Le rapport $(Cc/1+e_0)$ qui est de 0,089 montre que le sol est moyennement compressible (tableau 8). La pression de pré-consolidation est de 142 kPa.

Tableau 6 : Appréciation du sol selon la compressibilité (Philipponnat et Hubert, 2004)

Rapport ($C_c/1+e_o$)	Appréciation du sol
$C_c/1+e_o < 0,015$	Sol incompressible
$0,015 < C_c/1+e_o < 0,05$	Sol peu compressible
$0,05 < C_c/1+e_o < 0,20$	Sol moyennement compressible
$C_c/1+e_o > 0,20$	sol très compressible

3.2 Culée vers Mbour

3.2.1 Sondages carottés et pressiométriques

Pour la construction du pont sur la rivière Somone, au niveau de la culée vers Mbour (PK 23+335), GEOTEC-Afrique a réalisé plusieurs sondages ainsi que des essais de laboratoire. Cinq (05) sondages carottés ont été exécutés jusqu'à 32 m de profondeur, par rapport au fond de fouille actuel, afin de prélever des échantillons pour les essais de laboratoire et de donner la coupe lithologique des terrains. Trois (03) sondages pressiométriques de 32 m de profondeur, par rapport au fond de fouille actuel, ont été exécutés afin de définir la nature des terrains et de mesurer la pression limite (Pl^*) et le module pressiométrique (E_M) en fonction de la profondeur.

3.2.1.1 Sondages carottés

A l'emplacement de la culée vers Mbour, cinq (5) sondages carottés ont été exécutés afin de prélever des échantillons pour les essais de laboratoire et donner la coupe lithologique des terrains rencontrés (tableau 9).

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des sondages carottés

N° de sondage	De (m)	A (m)	Description lithologique
SC1	0	3,2	Sables argileux à argiles sableuses beiges avec des concrétions latéritiques
SC1	3,2	12,5	Calcaires gréseux karstiques
SC1	12,5	21,6	Calcaires coquilliers
SC1	21,6	25	Calcaires gréseux
SC1	25	26	Calcaires coquilliers
SC1	26	32	Calcaires gréseux
SC2	0	5,4	Sables argileux à argiles sableuses bruns à beiges avec des concrétions latéritiques
SC2	5,4	17	Calcaires gréseux karstiques
SC2	17	22	Calcaires coquilliers
SC2	22	26,8	Calcaires gréseux (karstique de 23,2 m à 26,7 m)
SC2	26,8	27,2	Calcaires coquilliers
SC2	27,2	30,7	Calcaires gréseux karstiques
SC2	30,7	32	Calcaires coquilliers
SC3	0	3,7	Sable argileux à argile sableuse brun à beige avec des concrétions latéritiques
SC3	3,7	17,4	Calcaires gréseux (karstiques entre 8,7 m et 13,0 m)
SC3	17,4	22	Calcaires coquilliers
SC3	22	26,3	Calcaires gréseux
SC3	26,3	26,6	Calcaires coquilliers
SC3	26,6	32	Calcaires gréseux karstiques
SC4	0	2,1	Sables argileux à argiles sableuses beiges avec des concrétions latéritiques
SC4	4 2,1	14,6	Calcaires gréseux karstiques
SC4	14,6	21,7	Calcaires coquilliers
SC4	21,7	26,1	Calcaires gréseux karstiques
SC4	26,1	27,1	Calcaires coquilliers
SC4	27,1	32	Calcaires gréseux
SC5	0	2	Sables argileux à argiles sableuses beiges avec des concrétions
SC5	2	17	Calcaires gréseux (karstiques entre 8,0 m et 12,8 m)
SC5	17	21	Calcaires coquilliers
SC5	21	25,9	Calcaires gréseux Karstique
SC5	25,9	26,4	Calcaires coquilliers
SC5	26,4	32	Calcaires gréseux

L'observation et la description lithologique des carottes de sondage permettent de distinguer essentiellement des terrains sablo-argileux à argilo-sableuses reposant en discordance sur un substratum calcaire gréseux alternant avec des calcaires coquilliers (figure18).

SC3 PK23+335 Culée vers Mbours				TRAVAIL: Sondage Géotechnique : CLIENT: CWE PROFONDEUR : 32,3 m par rapport au Fond de fouille DIMENSION: S/Plan				senelabo.btp géotechnique des résultats fiables										
				OBSERVATIONS														
LOCALISATION: AIBD-MBOUR-THIES Lot1				COORDONNEES UTM: X=280453 Y=1607689				NIVEAU PHREATIQUE										
Description des carottes		Echantillons	Perforation	ESSAIS DE CLASSIFICATION DES ECHANTILLONS								DOCUMENTS PHOTOGRAPHIQUES						
Profondeur du mur(m)/Fond de Fouille	Colonne stratigraphique			Description Lithologique	% de récupération	Granulométrie				Limite. IP	Densité		w OPM (%)	CBR	Classe GTR	Analyse Chimique		
		Dmax (mm)	% passant à 50 mm			% passant à 2 mm	% passant à 80 µm	Indice de plasticité	séche max.t/m			(95% OPM à 4)						
Type				Essais en cours														
3.7		Argiles marrons à beige avec des concrétions																Echantillons de 00 à 7,3m
17.4		Calcaires gréseux (Karstiques entre 8,7m et 13m)																Echantillons de 7,3 à 13,6m
22		Calcaires coquilliers																Echantillons de 13,6 à 17,4m
32.3		Calcaires gréseux ((Karstique de 23,80m à 26,30m)																Echantillons de 17,4 à 21,9m
																		Echantillons de 21,9 à 25,5m
																		Echantillons de 25,5 à 29,4m
																		Echantillons de 29,4 à 32,3m

Figure 18: Coupe de sondage carotté SC3 (culée vers Mbours)

Sur l'ensemble des cinq sondages réalisés la coupe lithologique est plus ou moins identique.

3.2.1.2 Résultats des sondages pressiométriques

A l'emplacement de l'ouvrage, il a été effectué trois (03) sondages pressiométriques jusqu'à une profondeur de 32 m, afin de déterminer les caractéristiques mécaniques des sols en place. Les résultats des sondages pressiométriques sont récapitulés dans les tableaux 10, 11 et 12.

Remarque :

Le PK23+335 est situé au niveau de la rivière la Somone où la nappe affleure (zone marécageuse avec présence permanente d'eau). Par ailleurs on ne peut pas exclure d'autres circulations d'eau liées à des chenaux d'écoulement préférentiels et la présence d'éventuel réseau karstique au niveau des formations calcaires. Le régime hydrologique de surface est susceptible de varier en fonction de la saison et de la pluviosité.

Tableau 10 : Résultats de l'essai pressiométrique SP1 (PK23+335)

SP1 au PK23+335 culée vers Mbour					
Profondeur (m) / Fond de fouille	EM(MPa)	PI* (MPa)	α	EM/PI*	Pf (MPa)
1	Remontée d'eau				
2	Remontée d'eau				
3	Remontée d'eau				
4	Remontée d'eau				
5	Remontée d'eau				
6	Remontée d'eau				
7	16,28	1,35	0,67	12,02	0,48
8	11,99	0,54	0,67	22,2	0,38
9	15,8	0,76	0,67	20,87	0,4
10	20,02	1,21	0,67	16,53	0,7
11	22,69	0,96	0,67	23,54	0,56
12	12,37	1,21	0,67	10,21	0,5
13	Remontée d'eau				
14	135,53	1,87	0,5	72,36	1,16
15	148,19	2,99	0,5	49,51	2,3
16	165,21	3,05	0,5	54,15	2,36
17	186,6	3,07	0,5	60,84	2,38
18	210,28	3,08	0,5	68,36	2,83
19	349,94	3,1	0,5	112,96	2,6
20	231,61	3,1	0,5	74,64	2,61
21	150,99	3,1	0,5	48,66	2,86
22	243,84	3,22	0,5	75,66	3,03
23	274,15	3,13	0,5	87,5	2,84
24	332,17	3,25	0,5	102,18	2,76
25	234,54	3,15	0,5	74,53	2,9
26	219,79	3,17	0,5	69,36	2,87
27	228,75	3,17	0,5	72,12	2,88
28	736,28	3,2	0,5	230,3	2,9
29	717,38	3,21	0,5	223,41	2,91
30	804,43	3,21	0,5	250,21	2,32
31	555,82	3,23	0,5	172,29	3,23
32	731,4	3,24	0,5	225,67	3,24

Tableau 11 : Résultats de l'essai pressiométrique SP4 (PK23+335)

SP4 au PK23+335 culée vers Mbour					
Profondeur (m) / Fond de fouille	E(MPa)	PI (MPa)	α	E/PI	Pf (MPa)
1	Remontée d'eau				
2	Remontée d'eau				
3	Remontée d'eau				
4	367,1	2,92	0,67	125,6	2,67
5	28,7	2,03	0,67	14,2	1,61
6	52,2	1,5	0,67	34,7	0,77
7	244,1	2,97	0,67	82,3	2,47
8	258,4	2,98	0,67	86,6	1,3
9	144,6	2,98	0,67	48,5	2,78
10	228,5	3,06	0,67	74,7	2,81
11	211,2	3,01	0,67	70,3	2,76
12	132,5	3,03	0,67	43,7	2,78
13	511,3	3,04	0,67	168,3	1,55
14	174,5	2,81	0,67	62,2	2,56
15	126,7	5,9	0,5	21,5	2,83
16	197	3,1	0,5	63,6	2,85
17	181,8	3,09	0,5	58,8	2,85
18	180,8	3,11	0,5	58,2	2,86
19	233,9	3,11	0,5	75,2	2,86
20	216,4	3,11	0,5	69,6	2,86
21	257,9	3,06	0,5	84,4	2,81
22	294,3	3,11	0,67	94,5	1,42
23	369,8	3,13	0,67	118,1	1,44
24	259,8	3,14	0,67	82,6	2,65
25	242,2	3,18	0,67	76,2	2,93
26	361,7	3,16	0,67	114,6	1,47
27	385,6	3,17	0,5	121,7	2,92
28	511,3	3,21	0,5	159,3	1,52
29	510,6	3,22	0,5	158,7	2,97
30	329,7	3,21	0,5	102,6	2,96
31	297,8	3,2	0,5	93,1	1,51
32	318	3,23	0,5	98,6	1,34

Tableau 12 : Résultats de l'essai pressiométrique SP5 (PK23+335)

SP5 au PK23+335 culée vers Mbour					
Profondeur (m) / Fond de fouille	E(MPa)	PI (MPa)	α	E/PI	Pf (MPa)
1	Remontée d'eau				
2	Remontée d'eau				
3	Remontée d'eau				
4	Remontée d'eau				
5	5,3	0,36	0,67	14,7	0,25
6	15,7	1,18	0,67	13,3	0,83
7	19,5	0,84	0,67	23,2	0,56
8	25,5	0,81	0,67	31,3	0,57
9	24,9	1,23	0,67	20,1	0,7
10	23,6	1,64	0,67	14,4	0,79
11	26,9	1,63	0,67	16,5	1,1
12	26,3	1,5	0,67	17,6	1,01
13	28,9	1,42	0,67	20,4	0,83
14	41,3	1,41	0,67	29,4	1,13
15	107,2	3,04	0,67	35,3	2,54
16	105,9	3,04	0,67	34,8	2,31
17	181,7	3,06	0,67	59,3	2,81
18	222,8	3,07	0,5	72,7	2,82
19	158,3	3,08	0,5	51,4	2,84
20	389	3,1	0,5	125,7	2,35
21	281,3	3,11	0,5	90,5	2,86
22	422,5	3,12	0,67	135,5	2,63
23	258	3,13	0,67	82,4	2,88
24	264	3,14	0,67	84	2,65
25	253,3	3,16	0,67	80,3	2,66
26	200,4	3,17	0,5	63,3	2,92
27	252,6	3,18	0,67	79,4	2,94
28	211,1	3,19	0,67	66,2	2,94
29	100,9	3,2	0,67	31,5	2,71
30	397,4	3,22	0,67	123,5	2,97
31	668,3	3,22	0,67	207,5	2,73
32	472,3	3,23	0,67	146	2,74

Une coupe de sondage pressiométrique est présentée sur la figure 19.

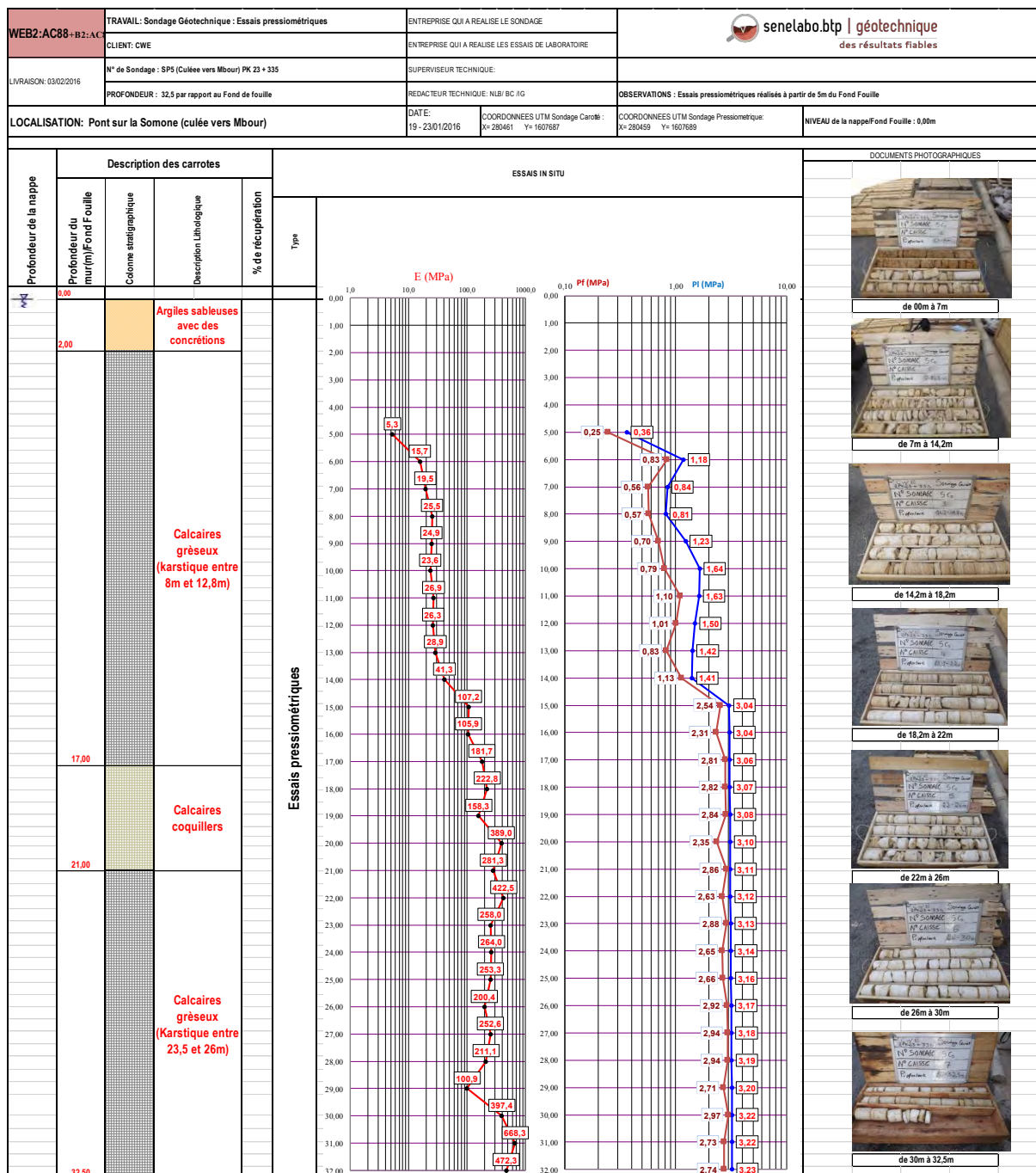


Figure 19 : Coupe de sondage pressiométrique (PK23+335)

3.2.1.3. Essais de laboratoire

Les essais d'identification et mécaniques réalisés sur les échantillons de sols sont présentés dans le tableau 13.

Tableau 13 : Essais de laboratoire sur les échantillons prélevés au PK 23+335

Essais de laboratoire PK23+335		
	Nom de l'essai	Norme
Essai d'identification	Teneur en eau	NF P 94-050
	Analyse granulométrique	NF P 94-056
	Limites d'Atterberg	NF P 94-051
	Masse volumique réel	NF P 94-053
	Masse volumique apparent	NF P 94-064
	Essai au bleu de méthylène	NF P18-662-9
Essai mécanique	Cisaillement rectiligne direct	NF P 94-071-1
	Compressibilité à l'œdomètre	NF P 94-090-1
	Résistance à la compression simple	NF P 94-420

❖ Résultats des essais d'identification complète

Les essais de laboratoire ont été effectués sur deux échantillons de sable argileux à argile sableuse et sur des échantillons de calcaire. Les résultats de ces essais sont récapitulés dans le tableau 14.

Tableau 7 : Résultats des essais d'identification sur les échantillons des sondages SC1 et SC4

		Tableau récapitulatif des essais	
Projet		Autoroute AIBD-Mbour-Thiès	
Site		PK 23+335 culée vers Mbour	
Numéro de sondage		SC1	SC4
Profondeur (m)		00,0 à 3,2	00,0 à 2,1
Teneur en eau naturelle (%)	W	1,5	2,4
Masse volumique apparent (t/m ³)	γ_h	1,9	1,9
	γ_d	1,9	1,8
Masse volumique des grains solides (t/m ³)	γ_s	2,7	2,7
Analyse Granulométrique (mm)	D _{max}	5	12,5
	5	99,4	84,7
	2	97,8	78
	1	95	74,7
	0,5	89,4	72,7
	0,2	76,8	63,4
	0,16	38,5	39
	0,08	31,9	32,9
Valeur au bleu	VBS (g/100g)	1,4	1,4

Les résultats des essais effectués sur les premiers échantillons analysés montrent que les sols ont une granularité variable avec des passants au tamis de 80 μ m respectivement de 31,9 % et 32,9 %.

❖ Résultats des essais mécaniques

Les résultats des essais mécaniques effectués sur les échantillons des sondages SC1 et SC4 sont consignés dans le tableau 15.

Tableau 8 : Résultats des essais mécaniques sur les échantillons des sondages SC1 et SC4

Tableau récapitulatif des essais			
Projet		Autoroute AIBD-Mbour-Thiès	
Site		PK 23+335 Cculée vers Mbour	
Numero sondage		SC1	SC4
Profondeur (m)		0 à 3,2	0 à 2,1
Cohésion (kPa)	C	19,2	41,3
Angle de frottement interne (°)	ϕ	34,5	24,5
Pression de préconsolidation (kPa)	σ'_p	90,0	80,0
Coefficient de compressibilité	Cc	0,1	0,1

Les essais de cisaillement sur les échantillons de sable argileux à argile sableuse donnent :

- Une cohésion de 19,2 kPa sur l'échantillon de SC1 et un angle de frottement interne de 34,5 ° ;
- Une cohésion de 41,3 kPa sur l'échantillon de SC4 et un angle de frottement interne moyen de 24,5°.

Les essais de compressibilité à l'œdomètre sur ces échantillons donnent :

- Une contrainte de préconsolidation de 90 kPa et un coefficient de compressibilité de 0,06 pour SC1;
- Une contrainte de préconsolidation de 8 kPa et un coefficient de compressibilité de 0,09 pour SC4.

Ceci montre que ces sols sont peu compressibles à moyennement compressibles avec un rapport $C_c / (1+e_0)$ égal à 0,043 pour SC1 et $C_c / (1+e_0)$ égal à 0,062 pour SC4.

Les résultats des essais de résistance à la compression simple sur les échantillons de roches calcaires de SC1 et SC4 sont donnés dans le tableau 16. Les éprouvettes ont des dimensions de 32 cmx16 cm.

Tableau 9 : Résultats des essais de résistance à la compression simple

Projet:

Culée vers Mbour PK 23+335

Résultats des essais de résistance à la compression simple

Sondage	Profondeur (m)	Nature des roches	Résistance en compression (MPa)
SC 1	3,2 – 12,5	Calcaires gréseux	12,74
	12,5 – 21,6	Calcaires coquilliers	7,05
SC 2	2,1 – 14,-6	Calcaires gréseux	17,32
	14,6 – 21,7	Calcaires coquilliers	9,62

Les carottes prélevées présentent un aspect plus ou moins compact pour les calcaires gréseux avec une valeur moyenne de résistance à la compression égale à 15,03 MPa et pour les calcaires coquilliers une valeur moyenne de 8,33 MPa.

Conclusion partielle

Les résultats des sondages carottés montrent que les terrains du horst de Diass sont constitués de sables argileux, d'argiles sableuses, et de calcaires coquilliers. Les calcaires karstifiés sont importants dans ce secteur. Les résultats des essais pressiométriques seront utilisés pour le dimensionnement des fondations du pont.