

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTES DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS	viii
INTRODUCTION.....	1
PREMIÈRE PARTIE :	2
PRÉSENTATION DU PROJET ET DU CADRE D'ÉTUDE ET GÉNÉRALITÉS SUR LES FONDATIONS	2
CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DU PROJET ET DU CADRE D'ÉTUDE.....	3
1.1 Projet.....	3
1.2 Localisation géographique	4
1.2.1 Tracé de l'autoroute AIBD-MBOUR-THIES	4
1.2.2 Localisation du pont sur la rivière Somone.....	6
1.3 Contexte géologique.....	7
CHAPITRE 2 : GÉNÉRALITÉS SUR LES FONDATIONS.....	10
2.1 Classification des fondations.....	10
2.2.1 Fondations superficielles.....	10
2.2.1.1 Semelles filantes.....	11
2.2.1.2 Radiers.....	11
2.2.1.3 Semelles isolées.....	11
2.2.2 Fondations profondes	11
2.2.2.1 Définition	11
2.2.2.2 Classification des pieux.....	12
2.2.2.3 Principe de fonctionnement des pieux	13
Conclusion Partielle	15
DEUXIÈME PARTIE :	16
INVESTIGATIONS GÉOTECHNIQUES ET DIMENSIONNEMENT DES FONDATIONS DU PONT DU PK23 + 325 AU PK23 + 335	16
CHAPITRE 3 : INVESTIGATIONS GÉOTECHNIQUES.....	17
Introduction.....	17
3.1 Culée vers Dakar	17
3.1.1 Sondages carottés et pressiométriques	17

3.1.1.1 Sondages carottés	18
3.1.1.2 Sondages pressiométriques	18
3.1.1.3 Essais de laboratoire	24
3.2 Culée vers Mbour	30
3.2.1 Sondages carottés et pressiométriques	30
3.2.1.1 Sondages carottés	30
3.2.1.2 Résultats des sondages pressiométriques	33
3.2.1.3. Essais de laboratoire	37
CHAPITRE 4 : DIMENSIONNEMENT DES FONDATIONS PROFONDES ET SUPERFICIELLES AVEC LE LOGICIEL GEOFOND.....	42
Introduction	42
4.1.1 GEOFOND-Fondations Superficielles.....	42
4.1.2 GEOFOND-Fondations Profondes	43
4.2 Dimensionnement de la fondation superficielle du pont au niveau de la culée vers Dakar au PK23+325	43
4.2.1 Justification de la fondation superficielle.....	43
4.2.2 Paramètres du dimensionnement.....	43
4.3 Dimensionnement des fondations profondes de la culée vers Mbour au PK23+335.	45
4.3.1 Justification des fondations profondes	46
4.3.2 Paramètres du dimensionnement.....	47
4.3.3 Résultats du dimensionnement.....	48
CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS	50
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	51
Sources Internet.....	51
hal.archives-ouvertes.fr/cel-01795511/document	52
LISTE DES NORMES CITEES	52

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Tracé de l'autoroute AIBD-MBOUR-THIES (www.ageroute.sn , 2016).....	5
Figure 2 : Plan de localisation de la rivière de Somone (Google earth, 2018).....	6
Figure 3 : Localisation du pont sur la rivière Somone (Google earth, 2018).....	7
Figure 4 : Carte géologique de la presqu'île du Cap Vert et du plateau de Thiès (Roger et al., 2009, modifiée)	8
Figure 5 : Colonne stratigraphique synthétique de la série méso-cénozoïque au Nord du Horst de Diass (Roger et al., 2009)	9
Figure 6 : Classification des fondations (Fascicule 62 titre V)	10
Figure 7 : Les différents types de fondations superficielles (Reiffsteck, 2010, modifiée).....	11
Figure 8 : Les différentes parties d'un pieu (PLUMELLE (2004-2005) modifiée. Cours sur les pieux: chapitre XV, 22 pages)	12
Figure 9 : Schéma de classification des pieux (Labiouse, 2000)	13
Figure 10 : Définition du pieu isolé selon son mode de fonctionnement (btp-cours.com/les-fondations-profondes/2/)	14
Figure 11 : Pieu isolé et groupement de pieux (btp-cours.com/les-fondations-profondes/2/)	15
Figure 12 : Plan d'implantation des sondages.....	18
Figure 13 : Dispositif pressiomètre Ménard (hal.archives-ouvertes.fr/cel-01795511/document)	19
Figure 14 : Exemple de courbe pressiométrique Ménard (Géotec-Afrique SENELABO, 2019)	20
Figure 15 : Coupes de sondage carotté et pressiométrique (PK 23+325)	23
Figure 16 : Bâti de cisaillement (http://arvor-geo.fr)	28
Figure 17 : Cellule œdométrique (http://arvor-geo.fr)	28
Figure 18 : Coupe de sondage carotté SC3 (culée vers Mbour).....	32
Figure 19 : Coupe de sondage pressiométrique (PK23+335).....	37
Figure 20 : Présentation du logiciel GEOFOND (Manuel Géofond, 2014).....	42
Figure 21 : Discordance notée sur les parois de la fouille.....	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Essais de laboratoire au PK 23+325	24
Tableau 2 : Résultats des sondages carottés et pressiométriques (PK 23+325).....	21
Tableau 3 : Classification des sols selon l'indice de plasticité (Philipponnat et Hubert, 2004).....	25
Tableau 4 : Tableau récapitulatif des essais de laboratoire (PK23+325).....	26
Tableau 5 : Tableau récapitulatif des essais de laboratoire.....	27
Tableau 6 : Tableau récapitulatif des essais mécaniques (PK23+325).....	29
Tableau 7 : Tableau récapitulatif des essais mécaniques (PK23+325).....	29
Tableau 8 : Appréciation du sol selon la compressibilité (Philipponnat et Hubert, 2004)	30
Tableau 9 : Essais de laboratoire au PK 23+335.....	38
Tableau 10 : Tableau récapitulatif des sondages carottés	31
Tableau 11 : Résultats de l'essai pressiométrique SP1 (PK23+335).....	34
Tableau 12 : Résultats de l'essai pressiométrique SP4 (PK23+335).....	35
Tableau 13 : Résultats de l'essai pressiométrique SP5 (PK23+335).....	36
Tableau 14 : Résultats des essais d'identification (PK23+335).....	39
Tableau 15 : Tableau récapitulatif des résultats des essais mécaniques (PK23+335)	40
Tableau 16 : Résultats des essais de résistance à la compression simple	41
Tableau 17 : Valeurs de la contrainte de rupture q'u sous la base de la semelle.....	44
Tableau 18 : Contraintes admissibles.....	44
Tableau 19 : Contraintes de référence.....	45
Tableau 20 : Valeurs de la capacité portante à l'ELS et à l'ELU	48

LISTES DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

<p>γ_h et γ_d : Densité apparente</p> <p>ϕ : l'angle de frottement interne</p> <p>u : pression interstitielle</p> <p>q'_u : contrainte de rupture</p> <p>q'₀ : contrainte effective verticale hors fondations</p> <p>γ_q : coefficient de sécurité</p> <p>q'α : Contrainte admissible</p> <p>Q_{tu} : charge limite</p> <p>C_c : Coefficient de Compressibilité</p> <p>Q_{tc} : charge de fluage en traction</p> <p>D : longueur de la fondation enterrée dans le sol</p> <p>B : largeur de la fondation.</p> <p>D_e : hauteur d'encastrement</p> <p>W_w : l'eau évaporée lors de l'étuvage</p> <p>I_p : Indice de Plasticité</p> <p>W_p : Limite de plasticité</p> <p>Q_s : effort de frottement latéral</p> <p>E_m : module pressiométrique</p> <p>PI : pression limite</p> <p>P : poids</p> <p>C : cohésion</p> <p>P_g : Pression de gonflement</p> <p>V.B.S : Valeur de bleu de méthylène d'un sol</p> <p>PK : Point Kilométrique</p> <p>ELS : Etat Limite de Service</p> <p>AFNOR : Association Française de Normalisation</p> <p>AGEROUTE : Agence des Travaux et de Gestion des Routes</p> <p>AIBD : Aéroport International Blaise Diagne</p> <p>ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie</p> <p>CWE : China International Water & Electric Corporation</p> <p>PSE : Plan Sénégal Emergent</p> <p>RGPHAE : Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage</p>	<p>γ_s : Poids volumique des grains solides</p> <p>σ'_p : Pression de préconsolidation</p> <p>i_{δβ} : coefficient réducteur</p> <p>q'ref : Contrainte de référence sous la semelle</p> <p>Q_u : charge limite</p> <p>Q_{pu} : charge limite de pointe ;</p> <p>Q_{su} : Charge limite de frottement latéral</p> <p>Q_c : charge de fluage</p> <p>W% : Teneur en eau.</p> <p>W_a : poids des grains solides</p> <p>W_L : Limite de liquidité</p> <p>Q_p effort de pointe</p> <p>Q_{gu} : charge limite d'un groupe de pieux</p> <p>Q_{ui} : charge limite de chaque pieu isolé</p> <p>P_f : pression de fluage</p> <p>V : volume</p> <p>F_s : coefficient de sécurité</p> <p>kp : facteur de portance</p>
--	---

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'amélioration de la mobilité urbaine dans la région de Dakar et du désengorgement des voies surchargées, le Gouvernement du Sénégal, à travers le Plan Sénégal Emergent (PSE), a mis en place un vaste programme de construction d'infrastructures routières et autoroutières de nouvelle génération. Parmi ces projets, le prolongement de l'autoroute à péage Dakar-Diamniadio permet de relier la ville nouvelle de Diamniadio et les villes de Mbour et Thiès en passant par le nouvel Aéroport International Blaise Diagne (AIBD) de Diass.

Cette autoroute, qui doit franchir la rivière Somone, nécessite la conception d'un ouvrage d'art de franchissement (pont).

Le dimensionnement du pont passe par le pré-dimensionnement des éléments principaux de l'ouvrage (fondations, appuis, éléments porteurs) par application des règles de la résistance des matériaux puis par la vérification de l'ouvrage et des parties de l'ouvrage aux états limites sous certaines conditions de charges.

C'est dans ce cadre que l'Institut des Sciences de la Terre, en collaboration avec l'AGERROUTE et GEOTEC-Afrique, nous a proposé de travailler sur le sujet intitulé : DIMENSIONNEMENT DES FONDATIONS DU PONT (PK23+325 AU PK23+335) DU TRONÇON SOMONE-MBOUR DE L'AUTOROUTE A PEAGE AIBD-MBOUR-THIES.

Le mémoire est structuré en deux parties et comprend quatre chapitres :

- la première partie est composée de deux chapitres : le chapitre 1 présente le projet et le cadre d'étude tandis que le chapitre 2 est consacré aux généralités sur les fondations ;
- la deuxième partie comprend deux chapitres : le chapitre 3 présente les résultats des investigations géologiques et géotechniques, le chapitre 4 se rapporte au dimensionnement des fondations du pont au PK 23+335.

Le mémoire se termine par une conclusion générale et des recommandations.



A decorative border in the shape of a scroll, with a blue outline and rounded corners. It frames the main title text.

PREMIÈRE PARTIE :
PRÉSENTATION DU PROJET ET DU
CADRE D'ÉTUDE ET GÉNÉRALITÉS
SUR LES FONDATIONS

CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DU PROJET ET DU CADRE D'ÉTUDE

Introduction

La construction de l'autoroute AIBD-MBOUR-THIES fait partie des grands travaux permettant au Sénégal de disposer de l'un des meilleurs réseaux routiers en Afrique. Les travaux en cours d'exécution s'inscrivent également dans la stratégie de croissance accélérée. Cette autoroute de dernière génération fait appel à de nouvelles compétences et méthodes d'organisation dans les grandes entreprises de la construction du Sénégal.

1.1Projet

Le projet de l'autoroute AIBD-MBOUR-THIES prend son origine à l'Est de l'échangeur de Diamniadio, continue à l'Aéroport International Blaise Diagne (AIBD) de Diass, et se poursuit jusqu'à Mbour puis Thiès.

Cette autoroute, qui est construite en référence aux standards les plus élevés, est un atout de taille pour l'économie du pays, la compétitivité de Dakar comme pôle industriel, aéroportuaire et maritime de toute la sous-région.

L'autoroute, d'une longueur de 55 km, comprend deux parties (CCTP, 2011) :

- ❖ La partie Sud : Thiambokh-Mbour sur 39 km d'autoroute en 2x2 voies extensibles en 2x3 voies et reliant le nouvel aéroport et Mbour. Elle comporte des particularités :
 - la RN1, à hauteur du village de Thiky ;
 - la route Sindia-Popenguine, à hauteur de Kignabour ;
 - la rivière Somone ;
 - la route Nguékhokh-Ngaparou ;
 - la RN1, à près d'un km du village de Gandigal ;
 - la route de Malicounda-Bambara, à hauteur de la station SENELEC de Gandiagal ;
 - la RN1, à hauteur du village de Keur Balla Lô.

Les aménagements prévus sur la partie Sud sont les suivants :

- 3 échangeurs (Sindia-Popenguine, Mbour Ouest, Mbour Nord) ;
 - 12 passages supérieurs et inférieurs ;
 - 4 giratoires (Sindia, Ngékhokh, Malicounda, Mbour).
- ❖ La partie Est : AIBD-Thiambokh-Thiès sur 16 km d'autoroute en 2x2 voies extensibles en 2x3 voies traversant en grande partie la forêt classée de Thiès. Elle rejoint le contournement sud de Thiès à hauteur de son intersection avec la route Thiès-Sindia.

Les aménagements prévus sur la partie Est sont les suivants :

- 1 grand échangeur carrefour (bifurcation de Thiambokh) ;
- 3 passages supérieurs et inférieurs ;
- 1 giratoire.

Ces travaux portent sur une voirie de 7 km en 2x2 voies permettant de relier l'autoroute à une partie de l'aéroport.

Dans le cadre de ce mémoire, la zone d'étude concerne la partie Sud plus précisément la rivière Somone.

Au niveau de la culée vers Dakar au PK 23+325, les données suivantes ont été communiquées par LUX PLAN :

- charge au niveau de la culée : 16 000 kN ;
- largeur de la semelle : 4,0 m ;
- longueur de la semelle : 30,00 m ;
- structure : en béton armé.

Au niveau de la culée vers Mbour au PK 23+335, les données suivantes ont été communiquées par LUX PLAN :

- fondations profondes par pieux ;
- charge verticale maximum à l'ELS en tête de pieux : 1 775 kN ;
- charge horizontale maximum à l'ELS en tête de pieux : 385 kN ;
- structure : en béton armé.

➤ Financement du projet

Le projet est financé par la coopération sino-sénégalaise. Le financement des études, travaux et équipements est assuré à hauteur de 85 % par un accord de prêt entre l'Etat du Sénégal et EXIM Bank China. Le contrôle des travaux, les impenses et 15 % du financement sont à la charge du Sénégal.

1.2 Localisation géographique

1.2.1 Tracé de l'autoroute AIBD-MBOUR-THIES

L'autoroute AIBD-MBOUR-THIES (figure 1), situé à 77 km de Dakar, relie Diamniadio, AIBD, Diass, Mbour et Thiès (ville carrefour).

La région administrative de Thiès est l'une des quatorze du Sénégal. Elle se situe à l'Ouest du pays, en couronne autour de la région de Dakar.

La commune de Diamniadio, située à 35 kilomètres de la ville de Dakar, se trouve dans le département de Rufisque. Elle constitue un véritable nœud de communications entre la capitale Dakar et plusieurs villes du pays (Thiès, Mbour).



Figure 1 : Tracé de l’autoroute AIBD-MBOUR-THIES (www.ageroute.sn, 2016)

➤ **Relief**

La région présente un relief relativement plat excepté le plateau de Thiès qui culmine à 105 m d’altitude, le massif de Diass qui s’élève à 90 m d’altitude et la cuvette de Thiès qui s’étend sur une superficie de 65 km² et mesure 128 m d’altitude (ANSD, 2017).

➤ **Climat**

La région se situe dans une zone de transition soumise à l’influence des alizés maritimes et de l’harmattan. Elle présente un climat de type soudano sahélien au Sud et Sud-Est, et plus sahélien au Nord et Nord-Est. Le climat de la zone Ouest est de type subsaharien. La température la plus basse est enregistrée durant le mois de février (18 °C) tandis que la température la plus élevée est notée durant le mois d’octobre (35 °C) (ANSD, 2017). Les précipitations moyennes annuelles se situent entre 400 et 600 mm.

1.2.2 Localisation du pont sur la rivière Somone

Le passage supérieur de l'autoroute AIBD-Mbour-Thiès se trouve sur la rivière de Somone (figure 2) plus précisément au niveau du PK23+335 (figure 3).

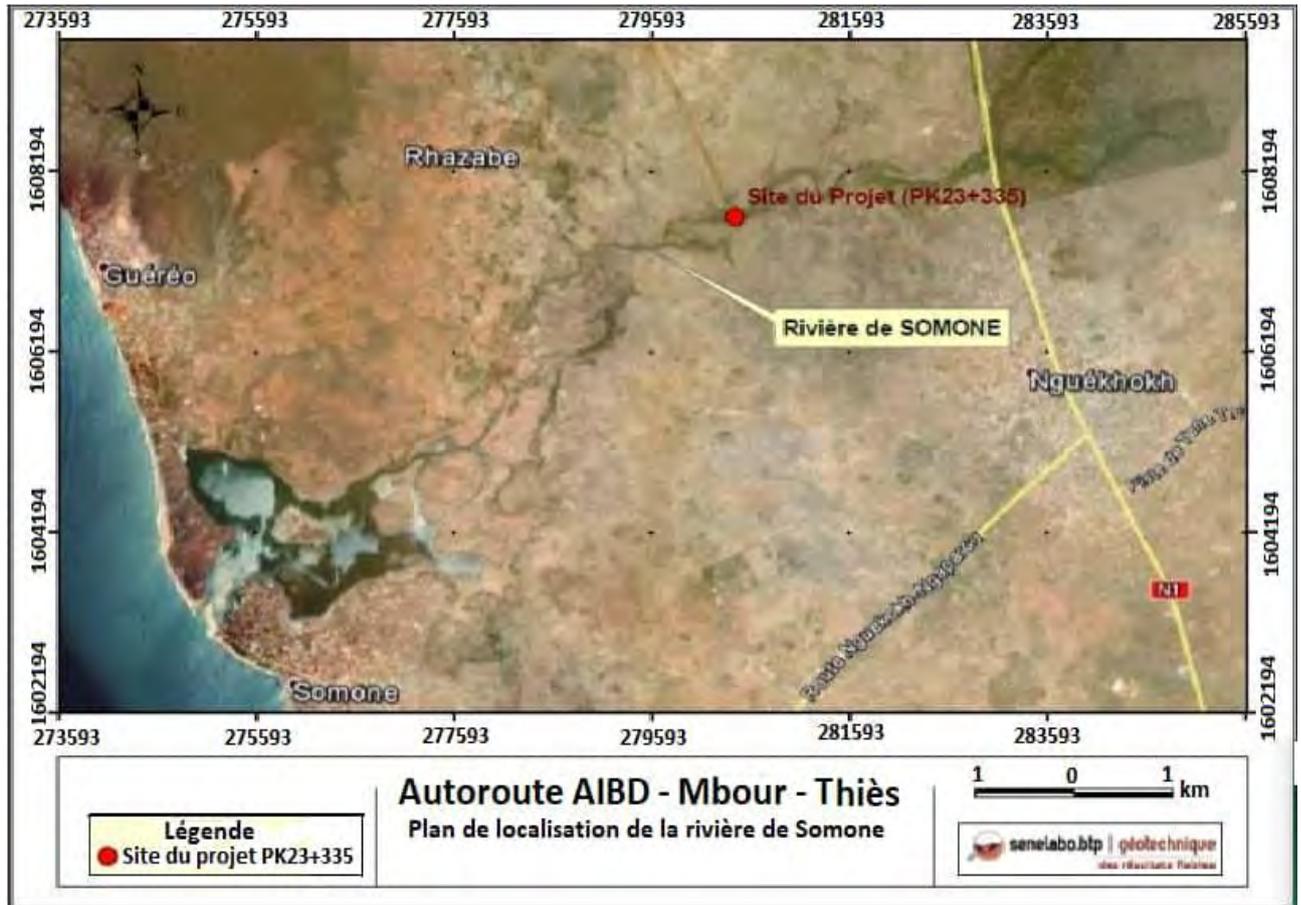


Figure 2 : Plan de localisation de la rivière de Somone (Google earth, 2018)

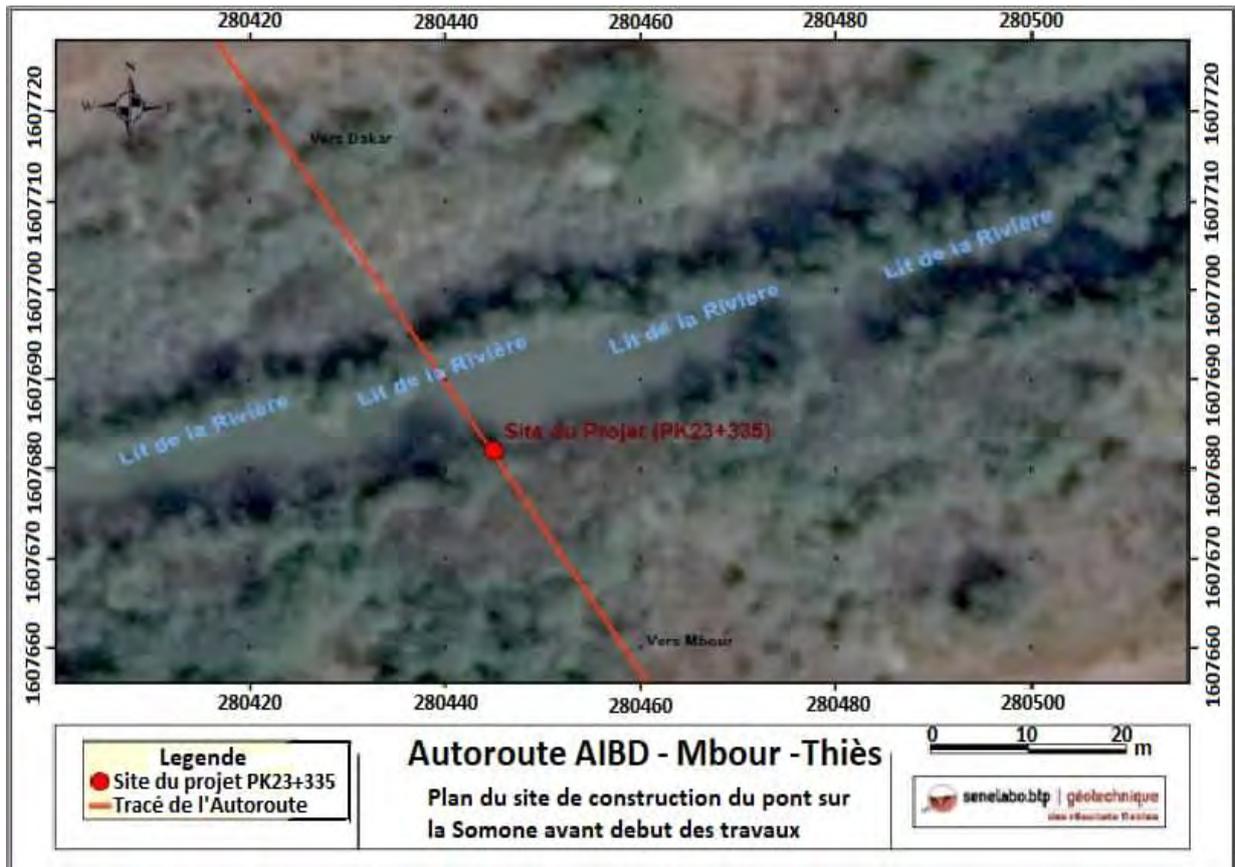


Figure 3 : Localisation du pont sur la rivière Somone (Google earth, 2018)

1.3 Contexte géologique

La zone d'étude est située sur le horst de Diass. Ce horst, d'orientation NNE-SSW, est limité à l'Est et à l'Ouest par des couloirs déprimés correspondant à ses retombées. Il est caractérisé par des formations du Campano-Maastrichtien, du Tertiaire et du Quaternaire du Bassin sénégal-mauritanien (Roger et al., 2009).

Ces formations sont essentiellement constituées de grès, de sables, et d'argiles sableuses du Campano-Maastrichtien, de calcaires coquillers et de calcaires grès-argileux à grès calcaires du Paléocène recouverts par les marnes et les calcaires sublithographiques de l'Eocène inférieur et moyen. A la latitude du horst de Diass, ces formations sont recouvertes par des cuirasses ferrugineuses du Pliocène et vers Pout par des sables fins blancs du Quaternaire.

Cette zone est découpée par des failles subméridiennes qui délimitent le horst et les grabens. Ces failles sont parfois associées à des manifestations volcaniques survenues à l'Oligo-Miocène et au Miocène (figures 4 et 5).

Carte géologique simplifiée de la presqu'île du Cap Vert et du plateau de thiès

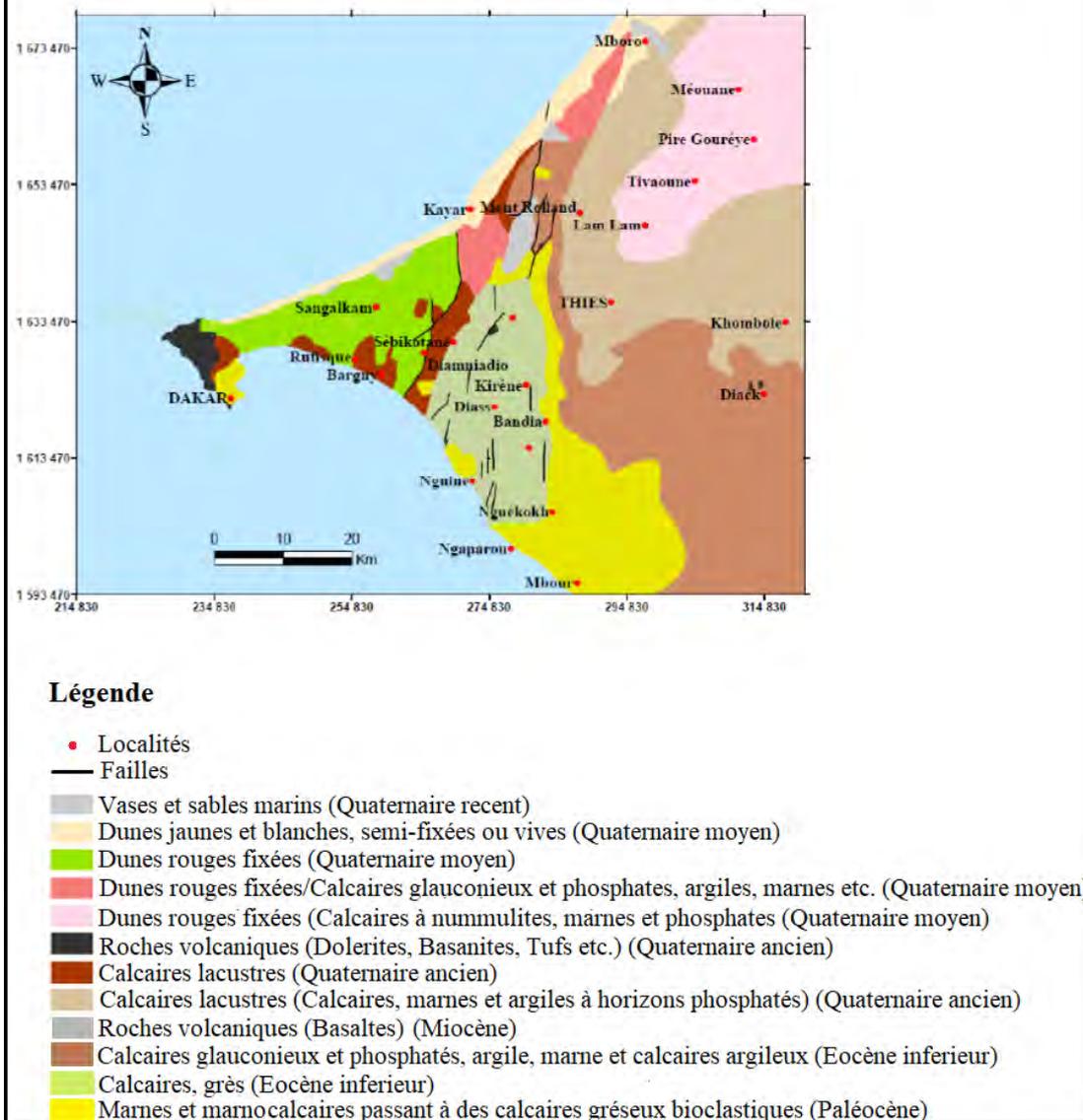


Figure 4 : Carte géologique de la presqu'île du Cap Vert et du plateau de Thiès (Roger et al., 2009, modifiée)

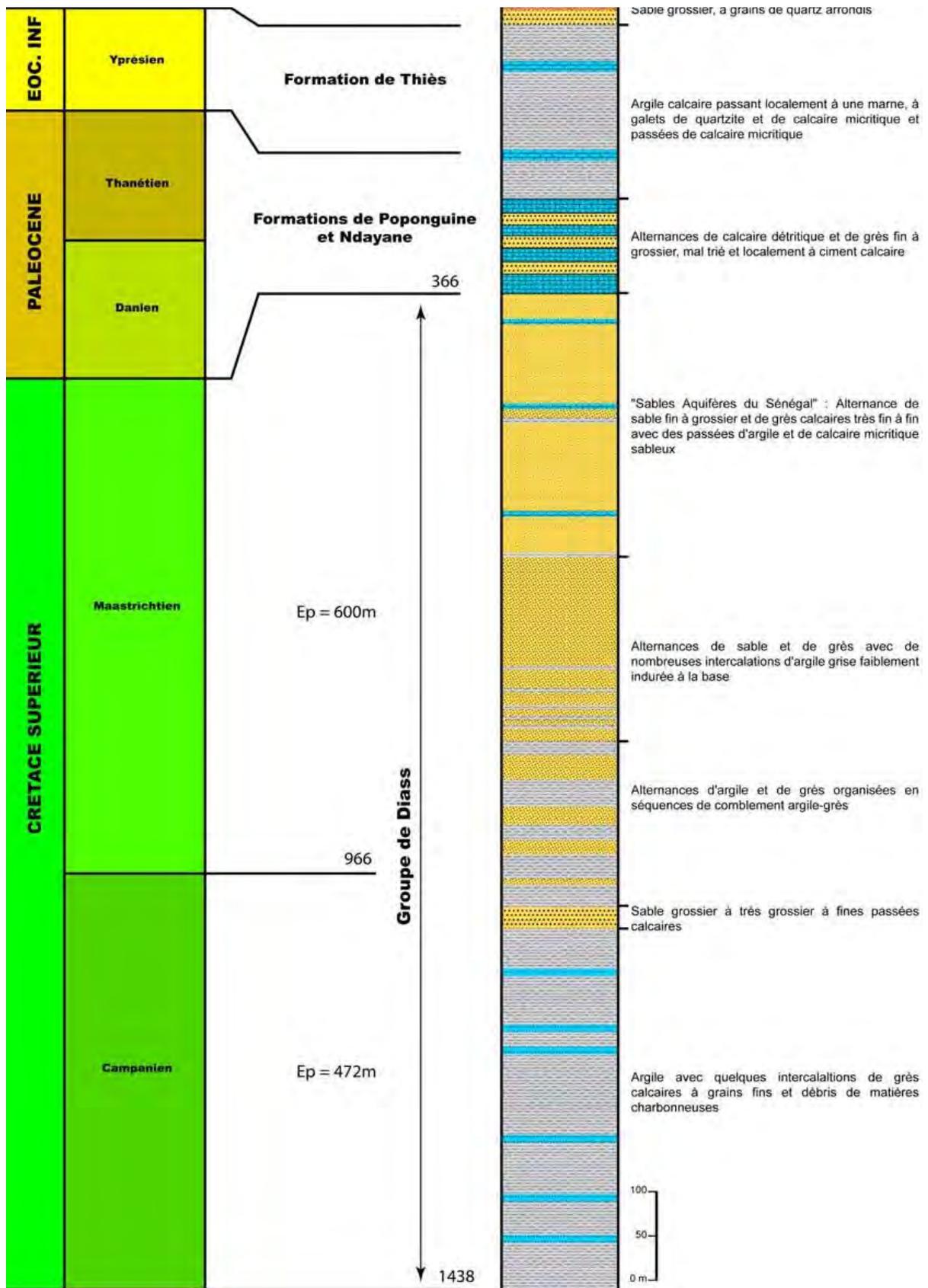


Figure 5 : Colonne stratigraphique synthétique de la série méso-cénozoïque au Nord du Horst de Diass (Roger et al., 2009)

CHAPITRE 2 : GÉNÉRALITÉS SUR LES FONDATIONS

Introduction

Un ouvrage quelle que soient sa forme et sa destination, prend toujours appui sur un sol d'assise. Les éléments qui jouent le rôle d'interface entre l'ouvrage et le sol s'appellent fondations. Les fondations reportent les charges permanentes (poids propre de l'ouvrage) et les charges d'exploitation à une profondeur convenable et les répartissent sur une couche de terrain de résistance adéquate.

2.1 Classification des fondations

D'après le Fascicule 62 titre V, il est possible de distinguer trois types de fondations (figure 6) :

- fondations superficielles : $D/B \leq 4$ et $0,8 \text{ m} \leq D < 3,0 \text{ m}$
D : profondeur d'ancrage
B : largeur de la semelle de fondation
- fondations semi-profondes ou puits : $4 \leq D/\Phi \leq 10$ et $3,0 \text{ m} \leq D < 8,0 \text{ m}$
 Φ : diamètre de la tête du puits ($\Phi \geq 0,60 \text{ m}$)
- fondations profondes ou pieux : $10 \leq D/\Phi \leq 50$ et $8,0 \text{ m} \leq D \leq 30,0 \text{ m}$
 Φ : diamètre du pieu (Φ variable : 0,6 ; 0,9 ; 1,0 ou 1,2 m)

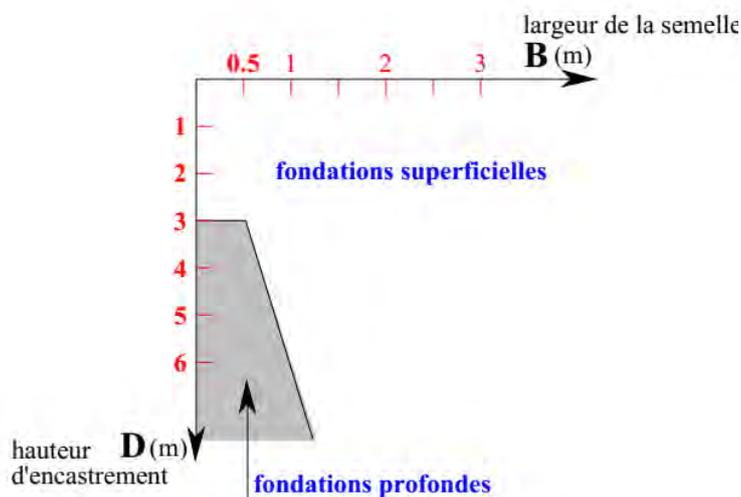


Figure 6 : Classification des fondations (Fascicule 62 titre V)

2.2.1 Fondations superficielles

Une fondation superficielle transmet directement les efforts sur les couches proches de la surface du sol. Elle est adaptée à un terrain de bonne qualité, ce qui signifie que le sol doit posséder une bonne capacité portante. Le terrain doit aussi présenter une résistance au

cisaillement suffisante sans tassements excessifs. Il existe trois types de fondations superficielles : les semelles filantes, les radiers et les semelles isolées (figure 7).

2.2.1.1 Semelles filantes

La semelle continue ou filante reçoit un mur généralement continu et des poteaux situés sur une même ligne. La longueur de la semelle est grande par rapport à sa largeur (2 à 15 fois).

2.2.1.2 Radiers

Un radier est une dalle plane constituant l'ensemble des fondations d'un bâtiment. Il couvre l'emprise de l'ouvrage. Il comporte parfois des débords ou consoles extérieures.

Comme toute fondation, le radier transmet les charges du bâtiment, sur l'ensemble de sa surface, au sol. Il a une très bonne liaison d'où une rigidité de la base du bâtiment et permet une atténuation des tassements.

Le radier est utilisé lorsque la capacité portante du sol est faible mais aussi lorsque le sous-sol du bâtiment est inondable.

2.2.1.3 Semelles isolées

Les semelles isolées sont les fondations des poteaux. Leurs dimensions de surface sont homothétiques à celles du poteau que la fondation supporte. Ces semelles peuvent être de forme carrée ou rectangulaire. Dans le cadre de cette étude, au niveau de la culée du pont vers Dakar, il a été proposé une semelle rectangulaire.

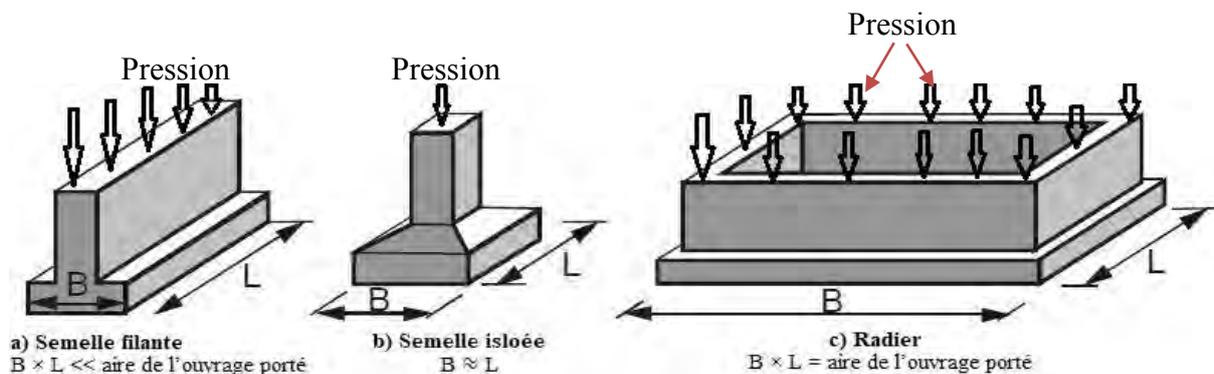


Figure 7 : Les différents types de fondations superficielles (Reiffsteck, 2010, modifiée)

2.2.2 Fondations profondes

2.2.2.1 Définition

Lorsque les couches de terrain capables de supporter l'ouvrage sont à une grande profondeur, on réalise des fondations profondes. Ces dernières serviront d'intermédiaire pour la transmission des charges jusqu'au bon sol (maçonnerie.bilp.fr).

Il existe de nombreux types de fondations profondes, qui diffèrent par leur mode d'installation et de fonctionnement. Les plus courants sont les fondations en pieux. Un pieu est une fondation élancée, qui reporte les charges de la structure sur des couches de terrain de caractéristiques mécaniques suffisantes pour éviter la rupture du sol. Il peut être battu, foncé ou foré (avec ou sans refoulement du sol). Les parties principales d'un pieu sont : la tête, la pointe, et le fût compris entre la tête et la pointe (figure 8).

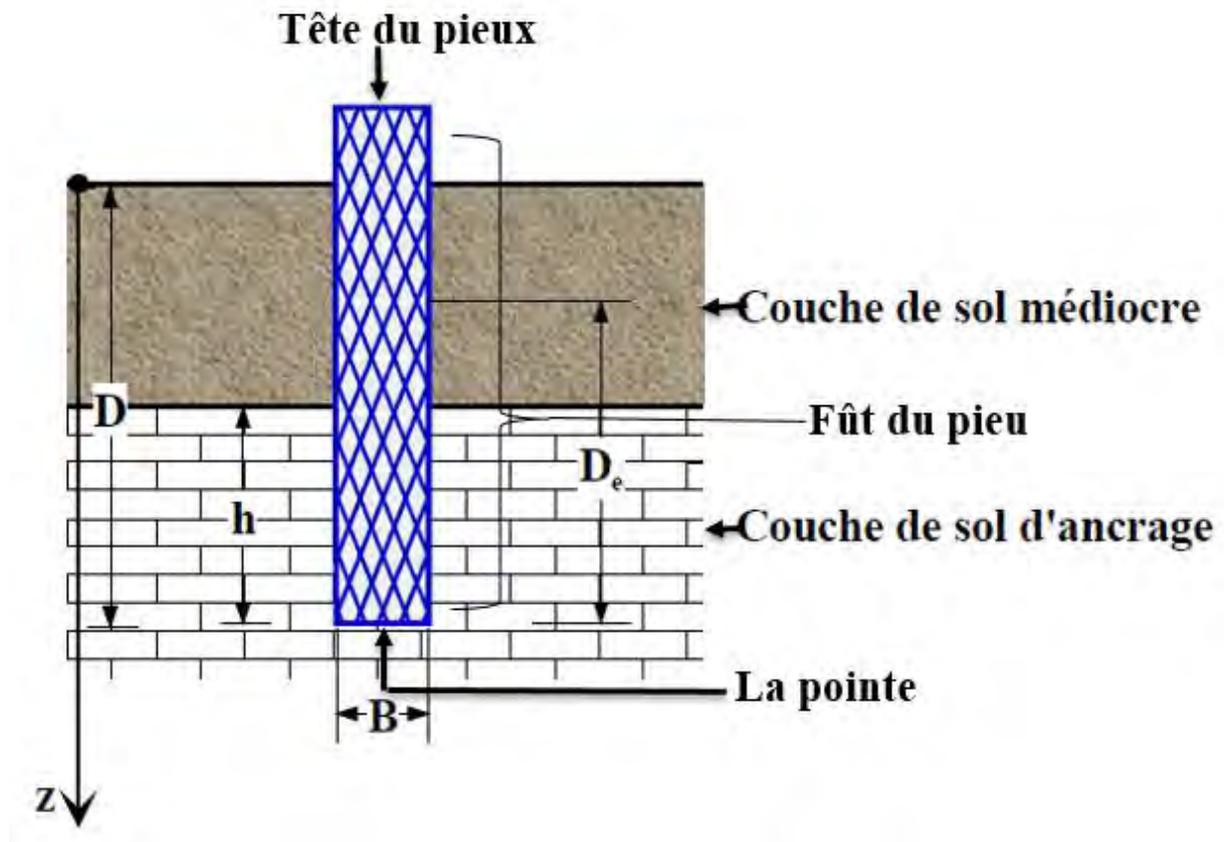


Figure 8 : Différentes parties d'un pieu (Plumelle, 2005)

2.2.2.2 Classification des pieux

Traditionnellement, on classe les pieux (figure 9) :

- Suivant la nature du matériau constitutif : bois, métal, béton ;
- Suivant le mode d'introduction dans le sol :
 - pieux battus, façonnés à l'avance et mis en place, le plus souvent, par battage,
 - pieux forés, exécutés en place par bétonnage dans un forage, à l'abri ou non d'un tube métallique.

Pour l'évaluation de la force portante, notamment, il est plus important de considérer le type de sollicitation imposée au sol par la mise en place du pieu. C'est ainsi que l'on distingue :

- les pieux dont la mise en place provoque un refoulement du sol ;
- les pieux dont l'exécution se fait après extraction du sol du forage et qui, de ce fait, ne provoquent pas de refoulement du sol ;
- certains pieux particuliers dont le comportement est intermédiaire.

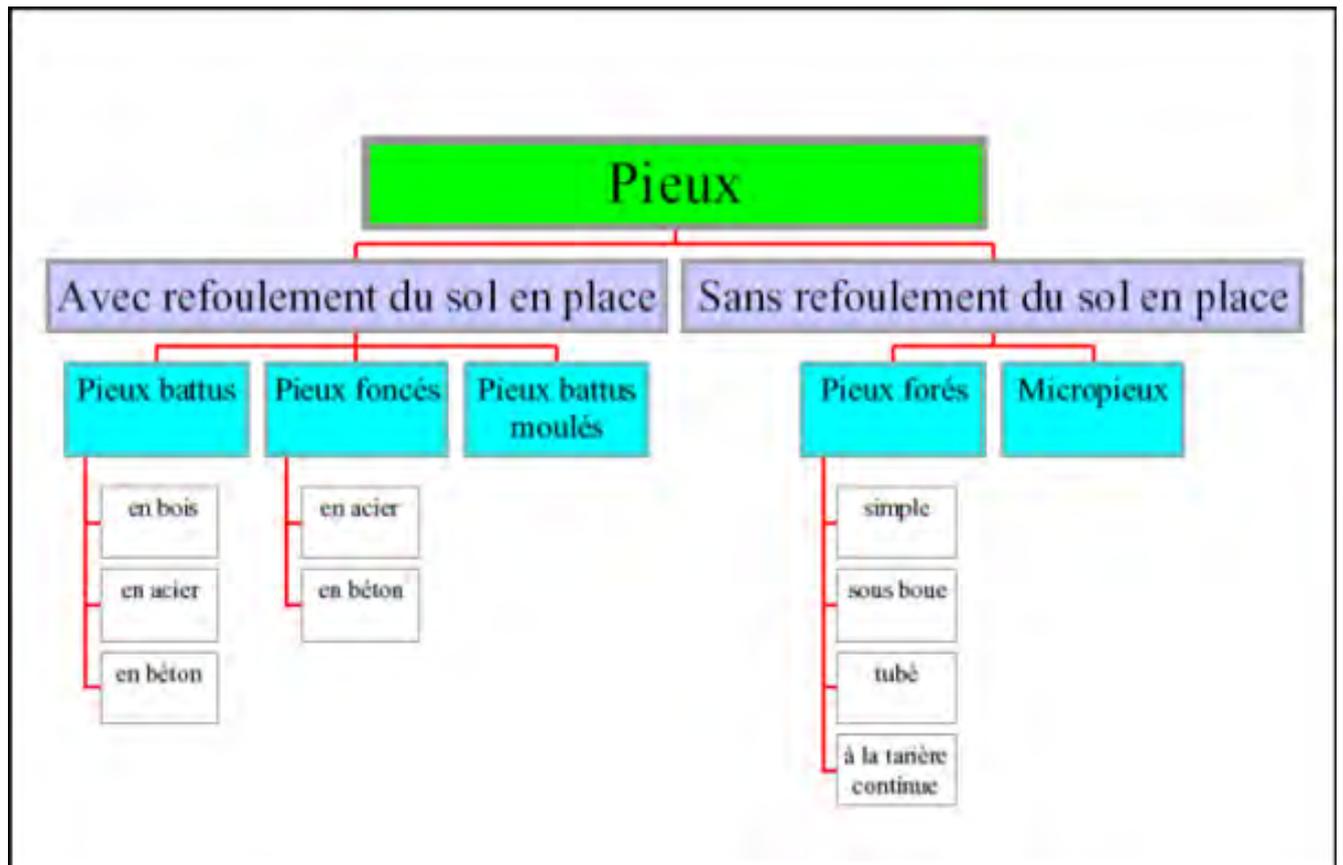


Figure 9 : Schéma de classification des pieux (www.slideshare.com)

2.2.2.3 Principe de fonctionnement des pieux

❖ Cas d'un pieu isolé

Les pieux permettent la transmission des charges vers les couches du sol ayant de bonnes caractéristiques physiques et mécaniques (figure 10). Le report des charges de la structure vers le sol se fait par l'appui de sa base en contact avec le sol résistant (effort de pointe noté Q_p) et le frottement latéral entre le sol et le pieu (effort de frottement latéral noté Q_s). On note que l'effort de pointe est conditionné par la section de la base du pieu et par la résistance du substratum rocheux. L'effort de frottement est conditionné par deux phénomènes qui sont la surface de contact pieu-sol et le coefficient de frottement pieu-sol (btp-cours.com).

Le frottement latéral n'est mobilisable qu'en cas de déplacement relatif entre le pieu et le sol avoisinant. Et si le pieu a tendance à s'enfoncer dans un sol stable, le frottement sol-pieu crée un effort vertical ascendant et le frottement est alors dit frottement positif. Dans l'autre cas, c'est-à-dire que lorsque le pieu reste figé et le sol a tendance à tasser alors le frottement est appelé frottement négatif. Ceci a pour effet de surcharger le pieu et dans ce cas de figure le pieu est chemisé par un tubage pour diminuer l'effet du frottement négatif (btp-cours.com).

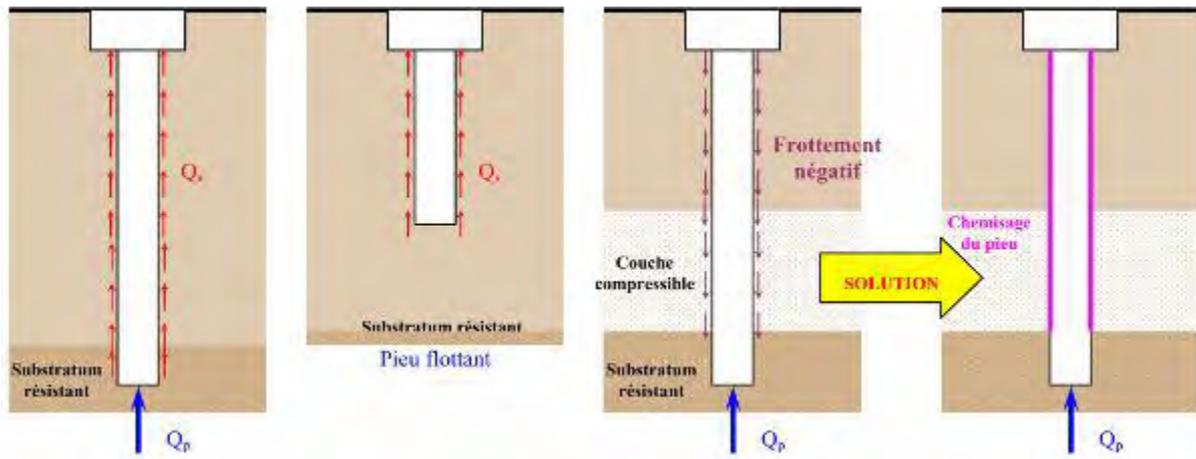


Figure 10 : Définition du pieu isolé selon son mode de fonctionnement (btp-cours.com/les-fondations-profondes/2/)

❖ Cas de groupes de pieux

Lorsque les pieux sont suffisamment rapprochés, il ne suffit pas de vérifier la résistance d'un pieu isolé. En effet, il arrive que la charge limite d'un groupe de pieux Q_{gu} soit inférieure à la somme des charges limites de chaque pieu isolé Q_{ui} (figure 11).

Le coefficient d'efficacité du groupe de pieu se définit comme suit :

$$C_e = \frac{Q_{gu}}{\sum Q_{ui}}$$

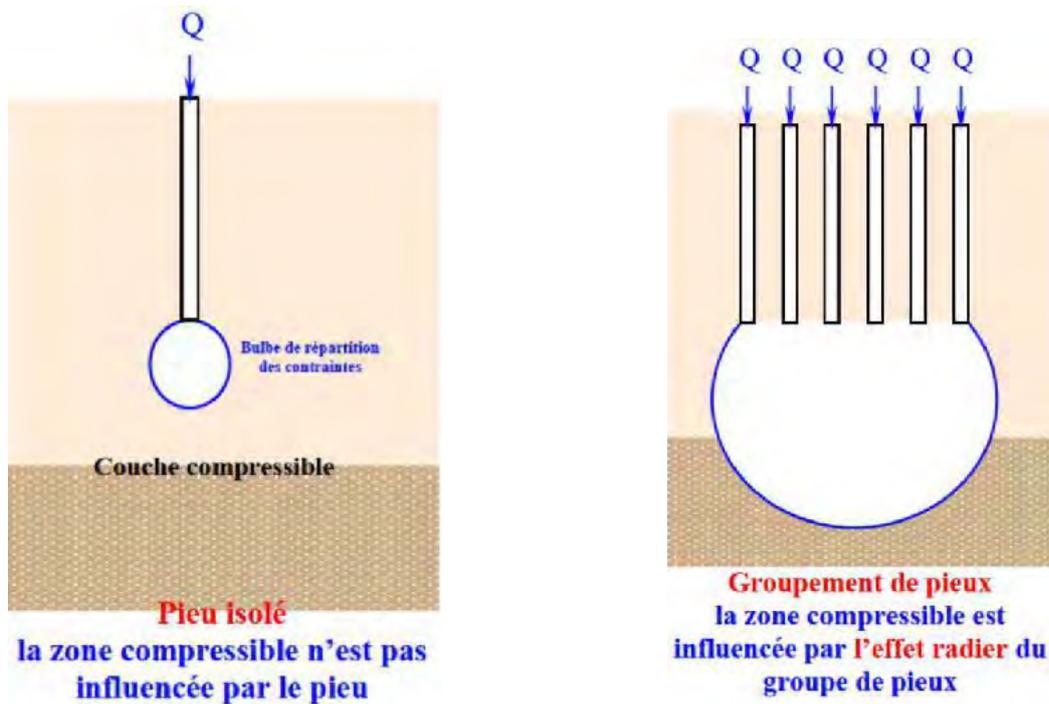


Figure 11 : Pieu isolé et groupement de pieux (btp-cours.com/les-fondations-profondes/2/)

La diffusion de contraintes en profondeur sous un groupe de pieux est différente de celle sous un pieu isolé. Cela a pour conséquence de transmettre les contraintes en profondeur bien au-delà de celles générées par un pieu isolé.

Conclusion Partielle

Dans la région de Thiès, le horst de Diass présente une géologie assez particulière. Le pont de l'autoroute enjambe la rivière Somone dont le lit est caractérisé en profondeur par la présence de marnocalcaires karstifiés. La réalisation des fondations du pont nécessite, par conséquent, d'importantes investigations géologiques et géotechniques pour déterminer la profondeur d'ancrage des fondations, avec le maximum de sécurité.

DEUXIÈME PARTIE :
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).

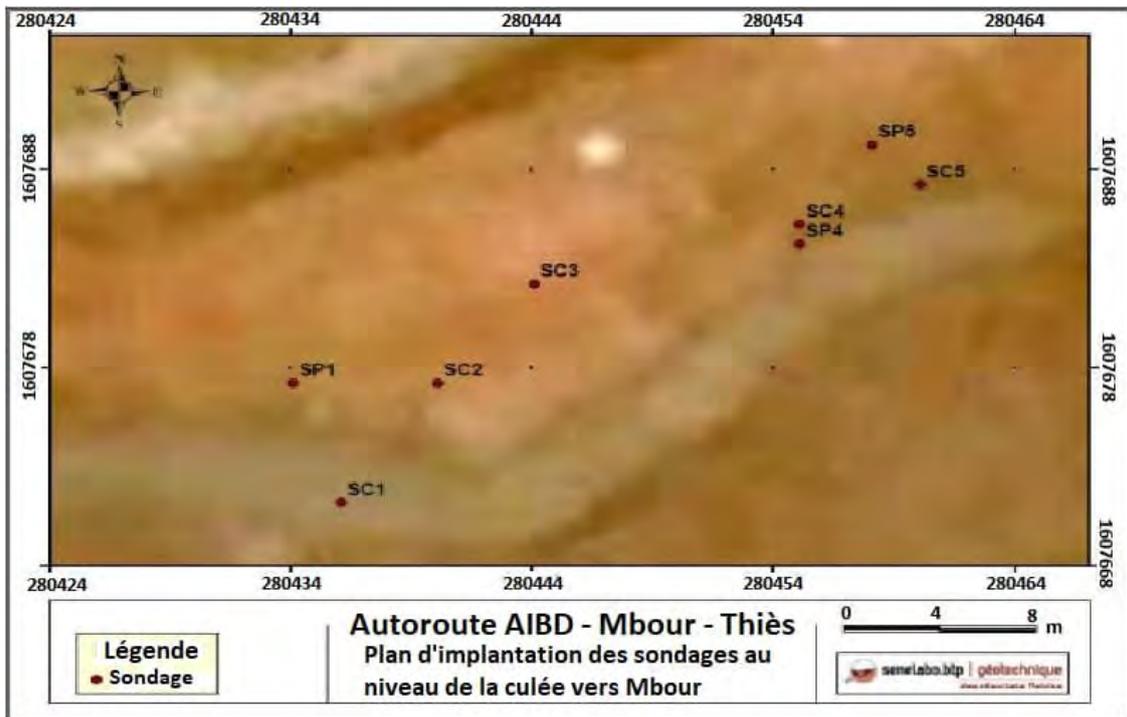


Figure 12 : Plan d'implantation des sondages

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.

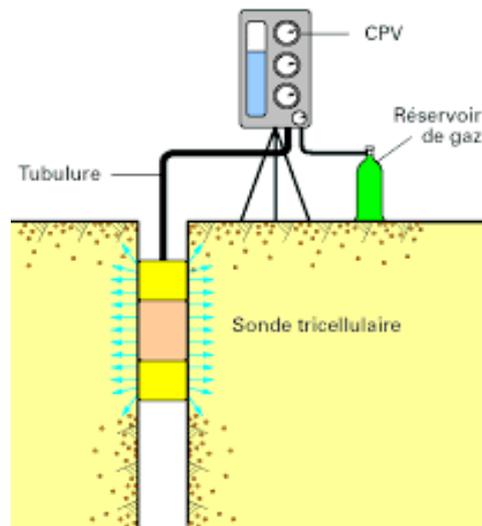


Figure 13: Dispositif pressiomètre Ménard (hal.archives-ouvertes.fr/cel-01795511/document)

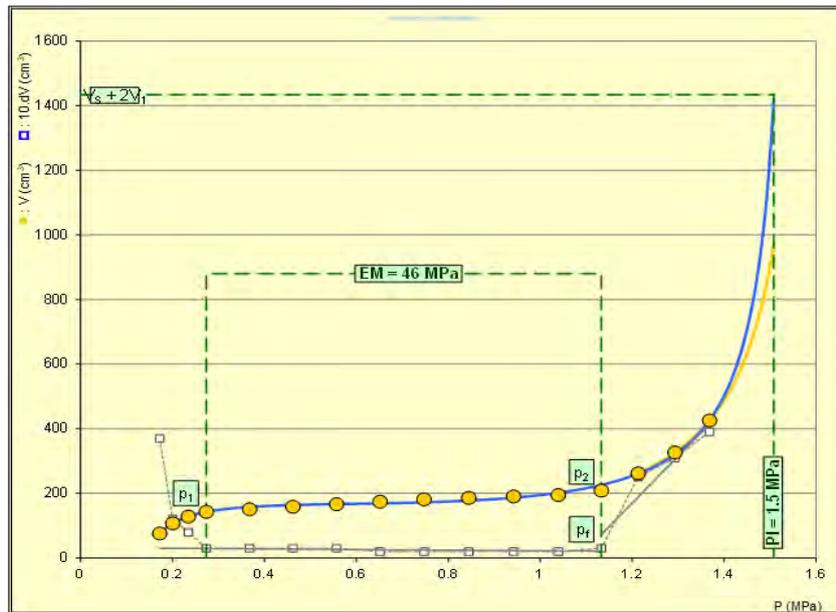


Figure 14: Exemple de courbe pressiométrique Ménard (Géotec-Afrique SENELABO, 2019)

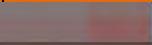
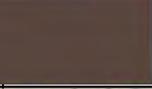
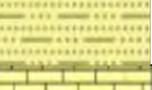
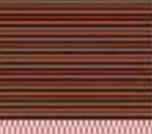
❖ Résultats des essais pressiométriques

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	PI* 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 qui couvrent des sables argileux et des argiles sableuses.



Dossier:

X:

Y:

Z:

PK 23+325

sondage : **SP-P5**

Date début: 29/05/2013

Date fin: 01/06/2013

Echelle: 1/200

N° PV: 1

Operateur E. DIOP

N° Affaire: **GT/2013-348**

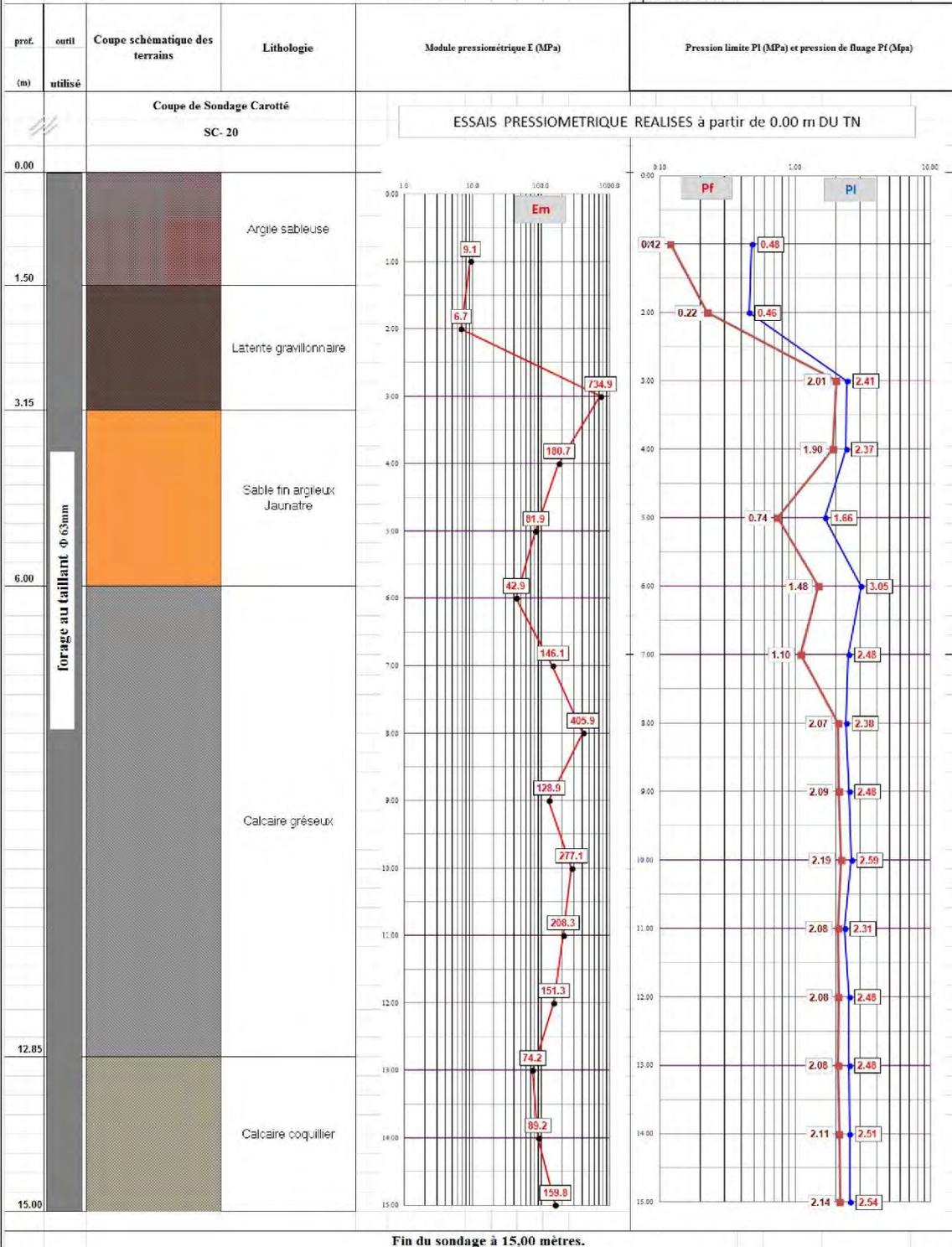


Figure 15 : Coupe de sondage carotté et résultat d'essai pressiométrique (PK 23+325)

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 AIBD MBOUR THIES
N°Régistre		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/m ³)	vh	2,139
	vd	1,899
Masse volumique des grains solides (t/m ³)	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
	lc	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)	γ _h	2	2	
	γ _d	2	2	
Masse volumique des grains solides (t/m ³)	γ _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
	80 μm	75	60	44,7
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.

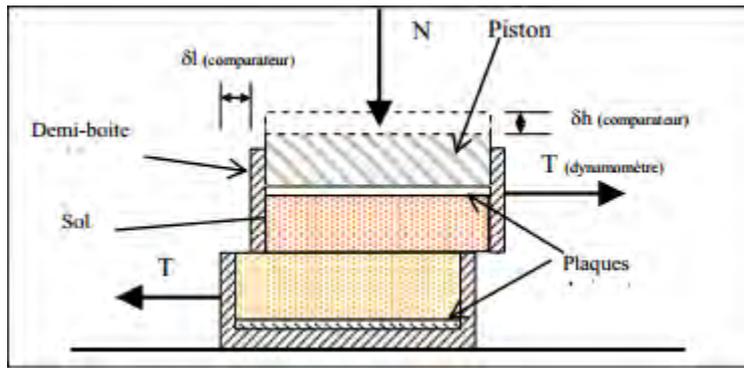


Figure 16 : Bâti de cisaillement (<http://arvor-geo.fr>)

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).

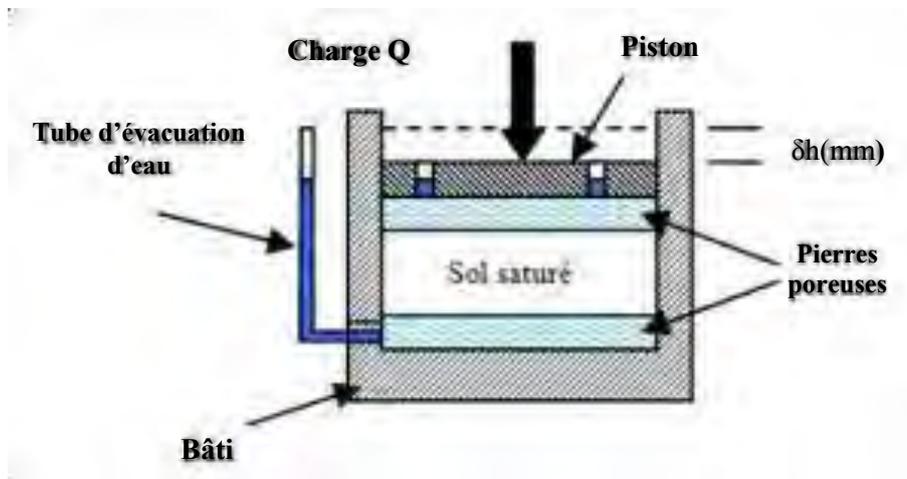


Figure 17 : Cellule œdométrique (<http://arvor-geo.fr>)

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
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+eo) 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 ($C_c/1+e_0$)	Appréciation du sol
$C_c/1+e_0 < 0,015$	Sol incompressible
$0,015 < C_c/1+e_0 < 0,05$	Sol peu compressible
$0,05 < C_c/1+e_0 < 0,20$	Sol moyennement compressible
$C_c/1+e_0 > 0,20$	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 (P_l^*) 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).

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.

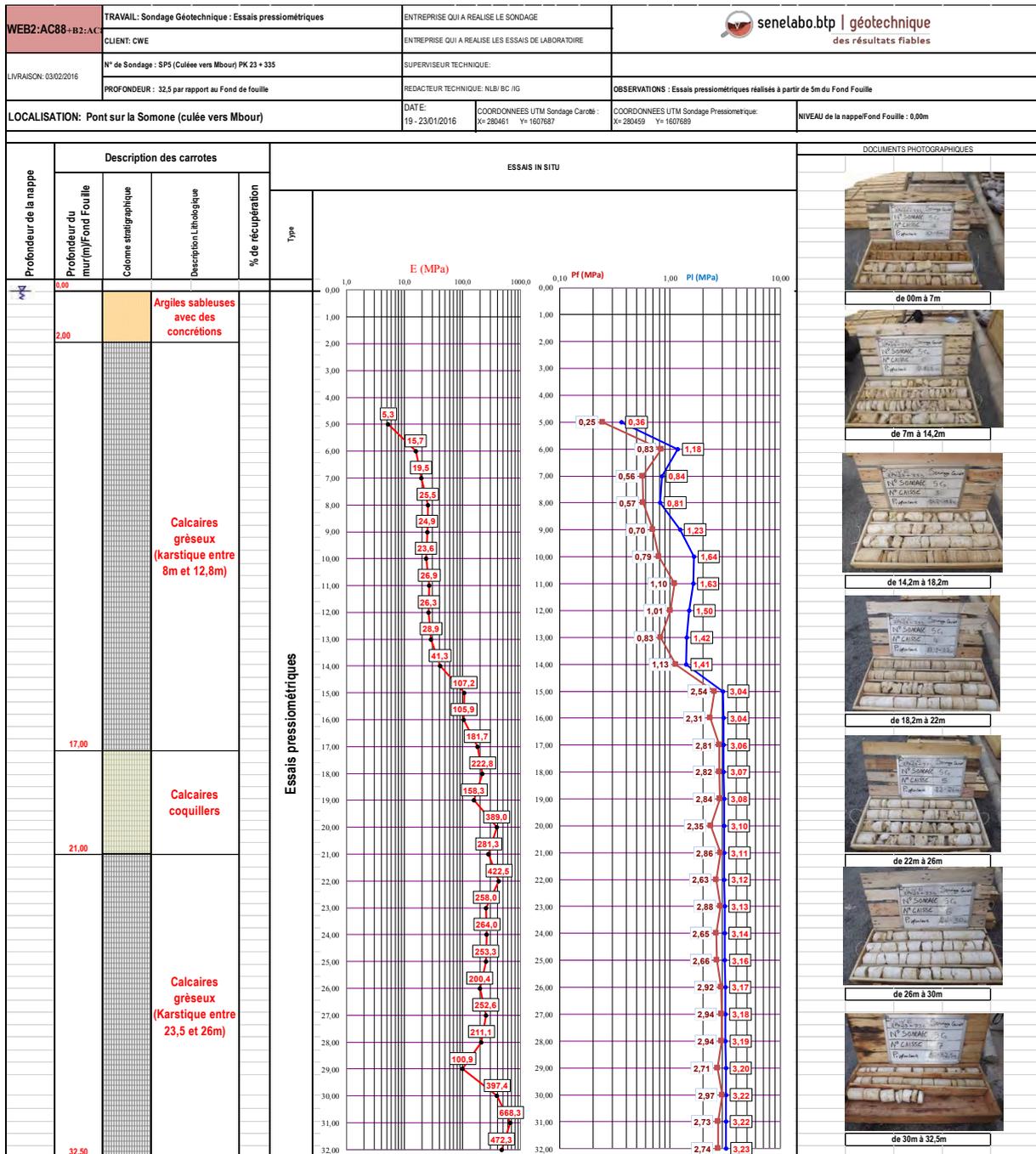


Figure 19 : Coupe de sondage pressiométrique (PK23+335)

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)	Dmax	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
Coéfficient 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 $Cc / (1+e_0)$ égal à 0,043 pour SC1 et $Cc / (1+e_0)$ 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.

CHAPITRE 4 : DIMENSIONNEMENT DES FONDATIONS PROFONDES ET SUPERFICIELLES AVEC LE LOGICIEL GEOFOND

Introduction

Le logiciel **GEOFOND**, développé par la société GEOS INGENIEURS CONSEILS, est protégé au titre des droits d'auteurs appliqués aux logiciels informatiques. C'est un logiciel de dimensionnement des fondations qui s'articule autour de deux modules de calculs : le module fondations superficielles et le module fondations profondes (figure 20).

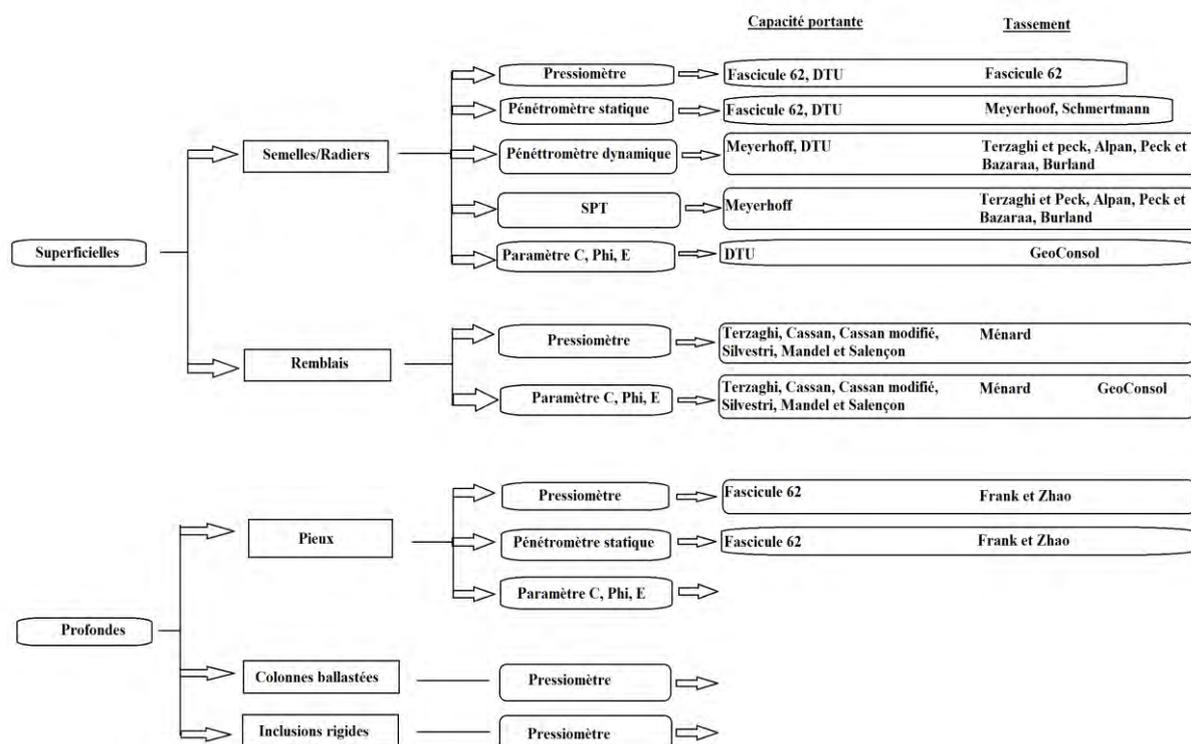


Figure 20 : Présentation du logiciel GEOFOND (Manuel Géofond, 2014)

4.1.1 GEOFOND-Fondations Superficielles

Le logiciel GEOFOND-Fondations Superficielles permet de calculer la capacité portante et les tassements de fondations superficielles, semelles ou remblais, selon différentes méthodes : la méthode du Fascicule 62 titre V, celle du DTU 13.2 et de la Norme NF P94 261 (Eurocode 7), mais aussi avec les méthodes de Terzaghi & Peck, Peck & Bazaraa, Burland, Schmertmann, Meyerhoff. Selon les données d'entrée disponibles, ce module offre le choix d'utiliser : la méthode pressiométrique, la méthode œdométrique, l'essai au pénétrömètre statique, l'essai au pénétrömètre dynamique, l'essai SPT, et les paramètres mécaniques C, ϕ et E.

Le logiciel GEOFOND-Fondations Superficielles permet de réaliser des calculs paramétriques notamment les calculs de tassements pour différentes largeurs de semelle. Il permet également une approche des capacités portantes et tassements par les méthodes probabilistes, c'est à dire non pas sous forme d'une valeur déterministe, mais sous forme d'une distribution, afin de pouvoir retenir des valeurs de capacités portantes ou de tassements en fonction d'une probabilité de dépassement.

4.1.2 GEOFOND-Fondations Profondes

Ce logiciel permet de calculer la capacité portante de fondations profondes en laissant le choix à l'utilisateur parmi les référentiels existants : le Fascicule 62 titre V, le DTU 13.2 et la norme NF P94 262 (Eurocode7). Les tassements sont calculés par la méthode de Frank & Zhao, en fonction du type d'essais à disposition : pressiomètre ou pénétromètre statique.

Un module « groupe de pieux » a été associé aux fondations profondes, il permet de vérifier les déplacements, les efforts et les moments maximaux dans un groupe de pieux.

Il permet aussi de calculer la capacité portante et le tassement de sol renforcés par des colonnes ballastées, et ce par différentes méthodes, telles que celles de PRIEBE, COPREC-SOFFONS, FHWA, ... Le calcul du tassement de sols renforcés par des inclusions rigides a également été ajouté.

4.2 Dimensionnement de la fondation superficielle du pont au niveau de la culée vers Dakar au PK23+325

Au niveau de la culée vers Dakar, il a été proposé une semelle rectangulaire de dimensions 5,8 m x 31,8 m dont la base se situerait à 2 m de profondeur par rapport à la plate-forme de travail constituée par le fond de l'excavation (fouille en pleine masse) dans le substratum calcaire peu profond, en purgeant au préalable les sables argileux et les argiles sableuses instables en présence permanente d'eau.

4.2.1 Justification de la fondation superficielle

Définition de la fondation

La fondation pourra être de type semelle isolé ou radier. Compte tenu des observations faites sur la base des sondages, il a été vérifié ici une semelle rectangulaire de dimensions 4,0 m x 30,0 m, dont la base est à 2,5 m de profondeur par rapport au terrain naturel.

4.2.2 Paramètres du dimensionnement

La contrainte de rupture $q'u$ sous la base des semelles est donnée par la formule :

$$q'u = i_{\delta\beta} \cdot k_p \cdot P l e^* + q'0$$

Avec :

$i_{\delta\beta}$: coefficient réducteur fonction de la pente du terrain et de l'inclinaison de la charge ($i_{\delta\beta} = 1$ pour un sol horizontal et une charge verticale)

k_p (facteur de portance) = 0,807

P_{le}^* (pression limite nette équivalente) = 0,801 MPa

q'_0 (contrainte effective verticale hors fondations après travaux) = 27 kPa

D'où, par application numérique, les résultats consignés dans le tableau 17.

Tableau 10 : Valeurs de la contrainte de rupture q'_u sous la base de la semelle

Contrainte de rupture	q'_u (MPa)
Contrainte de rupture – SP1 (15m)	0,947
Contrainte de rupture – SP5 (25m)	0,397

Les contraintes admissibles ou contraintes de calcul (tableau 18) se déduisent de la formule suivante :

$$q'_\alpha = \frac{1}{\gamma_q} (q'_u - q'_0) + q'_0$$

avec γ_q : coefficient de sécurité égal à 2 à l'ELU et 3 à l'ELS

Tableau 11 : Contraintes admissibles

Etat limite	E.L.S	E.L.U.
Contrainte admissible q'_α (MPa) – SP1 (15 m)	0,346	0,496
Contrainte admissible q'_α (MPa) - SP5 (25m)	0,162	0,221

Les contraintes de référence calculées en tenant compte de la géométrie de la semelle et des charges appliquées sont données dans le tableau 19.

Tableau 12 : Contraintes de référence

Etat limite	E.L.S	E.L.U	Observations
Contrainte de référence sous la semelle q_{ref} (MPa)	0,133	0,200	$q_{ref} < q_a$ à l'ELS et à l'ELU d'où la fondation est justifiée

4.2.3 Résultats du dimensionnement

En définitive on retient pour le dimensionnement de cet ouvrage une semelle de dimensions 4,0 m x 30,0 m à 2,5 m de profondeur. Les valeurs de la contrainte admissible q_a (à l'ELS et à l'ELU) mobilisable à la base de la semelle sont respectivement :

$$q_a \text{ (ELS)} = 0,162 \text{ MPa}$$

$$q_a \text{ (ELU)} = 0,221 \text{ MPa}$$

Compte tenu des charges, les tassements prévisionnels avec la méthode pressiométrique sont inférieurs à 1 cm.

Pour cet ouvrage, les valeurs de la capacité portante du sol trouvées montrent que le type de fondation proposé est vérifié (fondation superficielle par semelle).

4.3 Dimensionnement des fondations profondes de la culée vers Mbour au PK23+335

Au niveau de la culée vers Mbour, il a été proposé une semelle rectangulaire de dimensions 5,8 m x 31,8 m dont la base se situerait à 3,15 m de profondeur par rapport au terrain naturel sur l'horizon latéritique décrit sur la base des observations faites sur les échantillons du sondage carotté ponctuel.

Les observations faites au moment de l'ouverture de la fouille sur les parois et le fond de celle-ci au niveau de la culée vers Mbour, montrent une hétérogénéité de la formation latéritique décrite dans le sondage carotté. Cet horizon latéritique renferme une cuirasse sous forme de rognons à l'intérieur de la masse de latérite argileuse et repose en discordance sur des sables argileux à argiles sableuse beiges (figure 21).

L'épaisseur de la formation latéritique n'étant pas uniforme sur l'ensemble de la culée, une mission complémentaire a été proposée et devra permettre de :

- Augmenter le nombre de sondages au niveau de la culée vers Mbour;
- Définir le ou les systèmes de fondation adaptés aux sols rencontrés et aux conditions hydrogéologiques du site ainsi qu'aux constructions projetées ;
- Fournir les recommandations relatives aux terrassements.

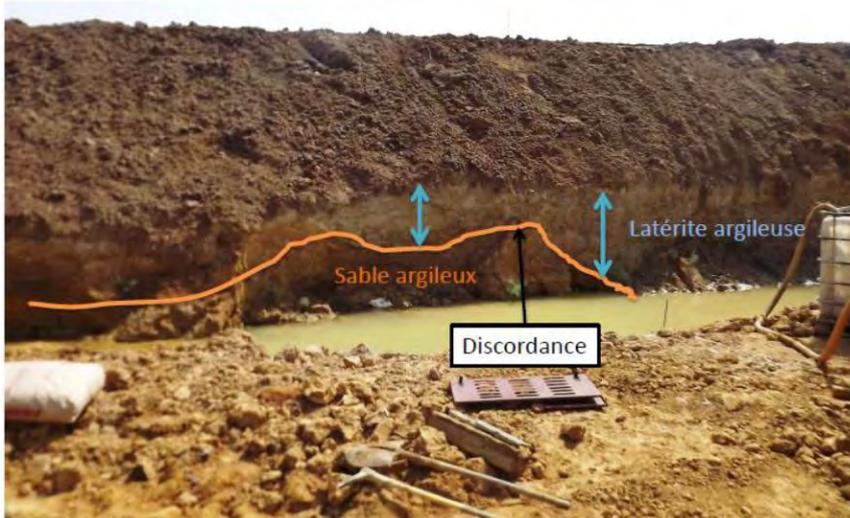


Figure 21 : Discordance notée sur les parois de la fouille

La charge maximale qui doit être supportée par les fondations nous a été communiquée par le bureau de contrôle LUX PLAN.

Pour ce projet, nous vérifierons un système de fondation profonde par pieux. Le choix de ce système de fondation repose sur les observations faites sur la base des sondages carottés, de la nature des formations rencontrées, des conditions hydrogéologiques du site et de l'instabilité des formations de sables argileux vis-à-vis de la présence permanente des eaux de la rivière et de la nappe. Ces formations sablo-argileuses à argilo-sableuses reposant en discordance sur le substratum calcaire peuvent atteindre par endroits 5,4 m de profondeur par rapport au fond de fouille actuel et environ 8,0 m de profondeur par rapport au TN.

Pour le calcul des fondations, ce sont les valeurs des paramètres pressiométriques les plus défavorables qui ont été prises en compte pour des raisons de sécurité (SP5).

4.3.1 Justification des fondations profondes

Définition des fondations

Hypothèses de calcul :

Type de pieu : foré à la boue

Diamètre : 1 m

Longueur : 12,30 m

Paramètres de calcul : $K_p = 1,1$

$P_{le}^* = 1,56 \text{ MPa}$

L'état limite ultime (ELU) correspond à un événement qui n'a qu'une très faible probabilité de se produire et permet de calculer tout ce qui a trait à la sécurité des personnes et/ou à la sécurité de la structure. Pour cette raison, des coefficients de sécurité sont pris en compte et permettent ainsi de majorer les charges s'appliquant sur les structures lorsque celles-ci sont préjudiciables et de minorer la résistance structurelle des matériaux. Les coefficients de sécurité permettent de prendre en compte les incertitudes des charges appliquées et des caractéristiques des matériaux.

L'état limite de service (ELS) correspond à un événement ayant la probabilité de se produire une fois au cours de la vie de l'ouvrage et est axé sur le confort des utilisateurs, notamment par la vérification de la déformation et de la vibration de la structure et sur la durabilité de l'ouvrage en s'assurant que la structure ne subit pas de déformation irréversible.

4.3.2 Paramètres du dimensionnement

Le document de référence utilisé pour le calcul des fondations profondes est le Fascicule 62 Titre V. En compression, la charge limite Q_u et la charge de fluage Q_c sont respectivement définies par les formules suivantes :

$Q_u = Q_{pu} + Q_{su}$ avec :

Q_{pu} : charge limite de pointe ;

Q_{su} : Charge limite de frottement latéral ;

$Q_c = 0,5 Q_{pu} + 0,7 Q_{su}$: pour un pieu mis en place sans refoulement de sol ;

$Q_c = 0,7 Q_{pu} + 0,7 Q_{su}$: pour un pieu mis en place avec refoulement de sol.

Informations sur les charges appliquées

Culée :

Q ELS quasi permanente = 60,35 MN

Q ELU Fondamentale = 90,53 MN

4.3.3 Résultats du dimensionnement

Après calcul, les valeurs respectives de la capacité portante à l'ELS et à l'ELU sont les suivantes (tableau 20) :

Tableau 13 : Valeurs de la capacité portante à l'ELS et à l'ELU

Partie d'ouvrage		Culée
Sondage pressiométrique considéré		SP5
Diamètre pieu (m)		1.00
Longueur pieu (m)		12.30
Nombre de pieux mini (N)		34
PIEU FORE BOUE		
Charge limite de pointe	Q_{pu}	1.35
Charge limite de frottement latéral	Q_{su}	2.90
Charge limite en compression	$Q_u = Q_{pu} + Q_{su}$	4.25
Charge limite en traction	$Q_{tu} = Q_{su}$	2.90
Charge de fluage en compression	$Q_c = 0,5*Q_{pu} + 0,7*Q_{su}$	2.71
Charge de fluage en traction	$Q_{tc} = 0,7*Q_{su}$	2.03
Coefficient de Converse-Labarre	C_e	1.00
Combinaisons	Charge en tête des pieux (MN)	Capacité portante groupe pieu (MN)
ELU Combinaisons fondamentales Max	90.53	103.21
ELS Combinaisons quasi-permanentes Max	60.35	65.69

En définitive on retiendra pour l'option en fondation profonde au niveau de la culée, que les charges de 6035 tonnes à l'ELS peuvent être reprises par un groupe de pieux caractérisé par :

Nombre = 34

Diamètre = 1 m

Longueur = 12,30 m

Charge maximale ELU fondamentale = 103,21 MN

Charge maximale ELS quasi-permanente = 65,69 MN

Dans notre calcul, le coefficient d'efficacité C_e pour le groupe de pieux est pris égal à 1 car les pieux sont ancrés dans un sol résistant où l'effet du groupe est négligeable.

Pour cet ouvrage, les valeurs de la capacité portante du sol trouvées montrent que les fondations profondes par un groupe de 34 pieux de diamètre 1 m et de longueur 12,30 m ancrés dans le substratum calcaire gréseux sont vérifiées.

Le choix de ce type de fondation se justifie aussi par la présence de sables argileux instables en présence de la nappe.

Le choix définitif du système de fondation devra prendre en compte l'existence possible d'anomalie supposée avec les chutes partielles de l'outil notées au cours des sondages SC1 (entre 3,80 m - 6,50 m et entre 14,50 m – 17 m) et SC4 (entre 3 m – 3,40 m ; 4,50 m – 5,50m et 11,80 m – 12,50 m) et la présence de karsts notée par endroits dans les sondages.

Conclusion partielle

Les résultats des sondages carottés et pressiométriques ainsi que des essais de laboratoire ont permis de dimensionner les fondations du pont, du PK23+325 au PK23+335.

Au niveau de la culée vers Dakar, les résultats du calcul des contraintes avec le logiciel Géofond donnent, pour une semelle rectangulaire de dimensions 4,0 m x 30,0 m et de profondeur 2,5m par rapport au terrain naturel, les valeurs de la contrainte admissible à l'ELS et à l'ELU qui sont respectivement de 0,162MPa et 0,221MPa.

Au niveau de la culée vers Mbour, les charges de 6035 tonnes à l'ELS peuvent être reprises par un groupe de 34 pieux de diamètre 1m, de longueur 12,30 m et de charges maximum à l'ELU et à l'ELS respectivement de 103,21 MN et de 65,69 MN.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS

La construction de l'autoroute à péage AIBD-MBOUR-THIES vise à améliorer les conditions de déplacement des personnes et des biens mais aussi à développer le tourisme dans l'Ouest du Sénégal. Cependant le franchissement de la rivière Somone nécessite la construction d'un pont du PK 23+325 au PK 23+335.

Les investigations géologiques et géotechniques ont révélé l'hétérogénéité des sols au niveau des deux culées du pont.

La culée vers Dakar (PK23+325) est fondée superficiellement sur une semelle rectangulaire de dimensions 4,0 m x 30,0 m, à 2,5 m de profondeur sur un sol latéritique.

Pour la culée vers Mbour (PK23+335), le même type de fondation a été proposé mais les observations faites après l'ouverture de la fouille sur les parois et le fond de celle-ci montrent une hétérogénéité du sol d'assise à 2,5 m. Le sol latéritique renferme une cuirasse sous forme de rognons à l'intérieur de la masse de latérite argileuse et repose en discordance sur des sables argileux et des argiles sableuses beiges. Le modèle géotechnique élaboré permet de retenir des fondations profondes par pieux. Le logiciel GEOFOND est utilisé pour le dimensionnement des pieux. Les valeurs de la capacité portante des sols conviennent pour un groupe de 34 pieux de diamètre 1 m et ancrés dans les calcaires gréseux à 12,30 m de profondeur.

Au terme de ce travail, nous formulons les recommandations suivantes :

- Choisir un type de ciment adéquat étant donné que l'eau est saline ;
- Procéder à un bon recépage des pieux pour être sûre que les dimensions prédéfinies sont respectées ;
- Bien vibrer le béton mis en place à tous les niveaux ;
- Bien exécuter les essais de laboratoire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AGERROUTE (2016). Tracé de l'autoroute AIBD-MBOUR-THIES

ANSD (2017). Rapport définitif RGPHAE (Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage) de Thiès, 108 pages

Fascicule n° 62-Titre V (2004). Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil, n° 6021, 188 pages.

CCTP (2011). Cahier des clauses techniques particulières, Dossier d'appel d'offres relatif aux travaux de construction de l'autoroute AIBD-MBOUR-THIES, 241 pages.

GEOS INGENIEURS CONSEILS SA. GEOFOND (2014), Module Sup, Manuel d'utilisation, 128 pages.

KASSOUL A. (2016). Cours Fondations, Ossatures Bâtiment (2015-2016) : MASTER Génie Civil, 54 pages.

PHILIPONNAT G. et HUBERT B. (2004). Fondations et ouvrages en terre, Editions Eyrolles, n° 5913, Paris, 548 pages.

PLUMELLE C. (2005). Cours sur les pieux : chapitre XV, 22 pages.

REIFFSTECK P. (2010). Fondation des ouvrages. Cours LCPC, 80 pages.

ROGER J., NOËL B.J., BARUSSEAU J.P., SERRANO O., NEHLIG P., DUVAIL C. (2009). Notice explicative de la carte géologique du Sénégal à 1/500 000, feuilles nord-ouest, nord-est et sud-ouest. Ministère des Mines, de l'Industrie et des PME, Direction des Mines et de la Géologie, Dakar, 61 pages.

Sources Internet

www.afnor.org

fr.slideshare.com

www.ageroute.sn

www.arvor-geo.fr

www.cours-genie-civil.com

www.coursgeologie.com

www.maconnerie.bilp.fr

www.memoireonline.com

hal.archives-ouvertes.fr

www.googleearth.com

www.Cours_fondations-profondes1_procedes-generaux-de-construction.com

hal.archives-ouvertes.fr/cel-01795511/document

LISTE DES NORMES CITEES

AFNOR P11-211 – DTU 13.11 – Fondations superficielles

NF P 94-116 : Essai de pénétration au carottier ;

NF P 94-110 : Essai pressiométrique

NF P 94-050 : Teneurs en eau pondérale des matériaux ;

NF P 94-056 : Analyses granulométriques par tamisage;

NF P 94-051 : Limites d'Atterberg ;

NF P 94-053 : Masse volumique de grains solides

NF P 18-554 : Masse volumique apparente

NF P18-662-9 : Capacité d'absorption du bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux ;

NF P 94-071-1 : Cisaillements rectilignes directs à la boîte ;

NF P 94-090-1 : Compressibilité à l'odomètre

NF P 94-420 : Essai de résistance en compression simple

NF P94 261 : Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations superficielles

NF P94 262 : Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations profondes

A large, horizontal, blue-outlined scroll shape with decorative curls at the top and bottom corners. The text is centered within this scroll.

ANNEXES CULEE VERS DAKAR

**Annexes 1 : coupe de sondage carotté et
pressiométrique**

Dossier:

X:

Date début: 29/05/2013

Y:

Date fin: 01/06/2013

Z:

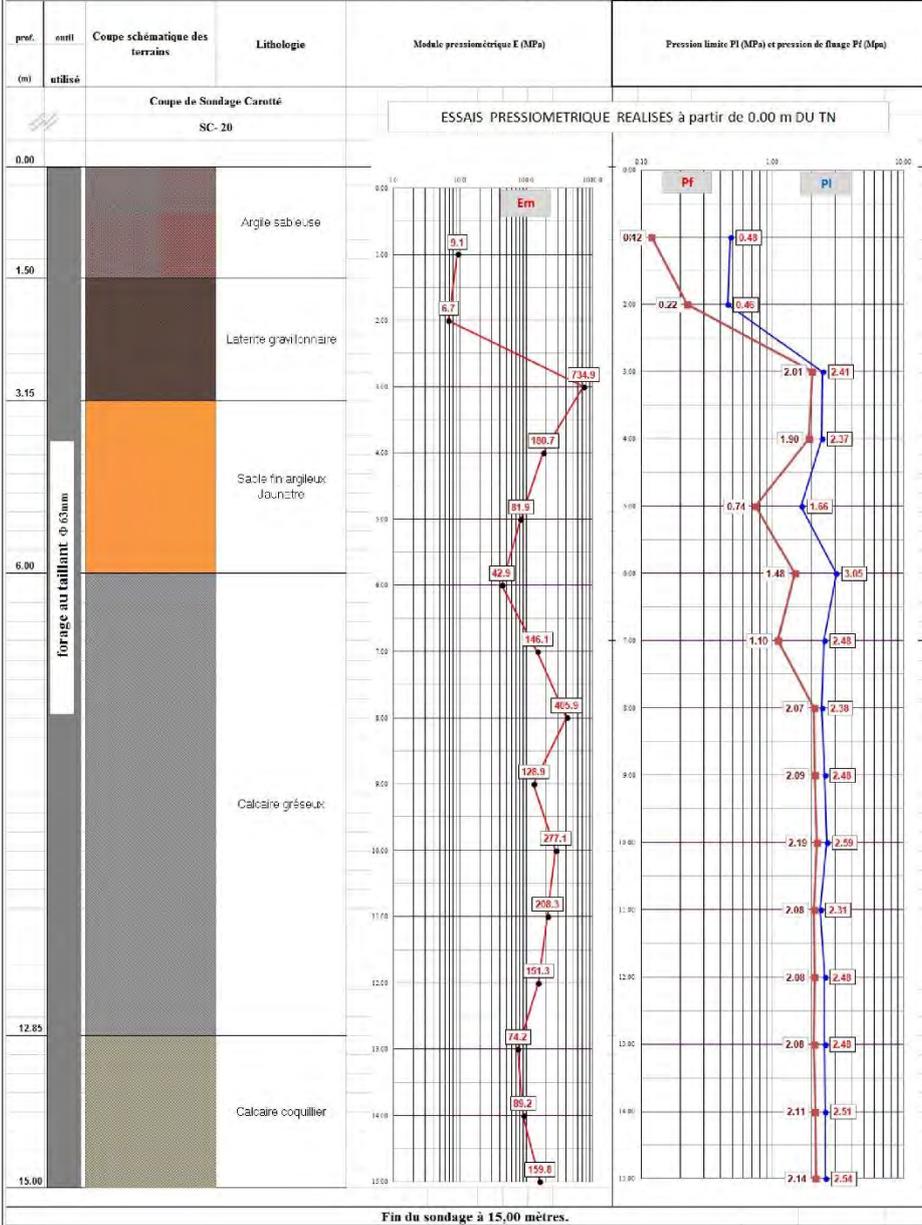
Echelle: 1/200

N° Affaire: **G1/2013-348**

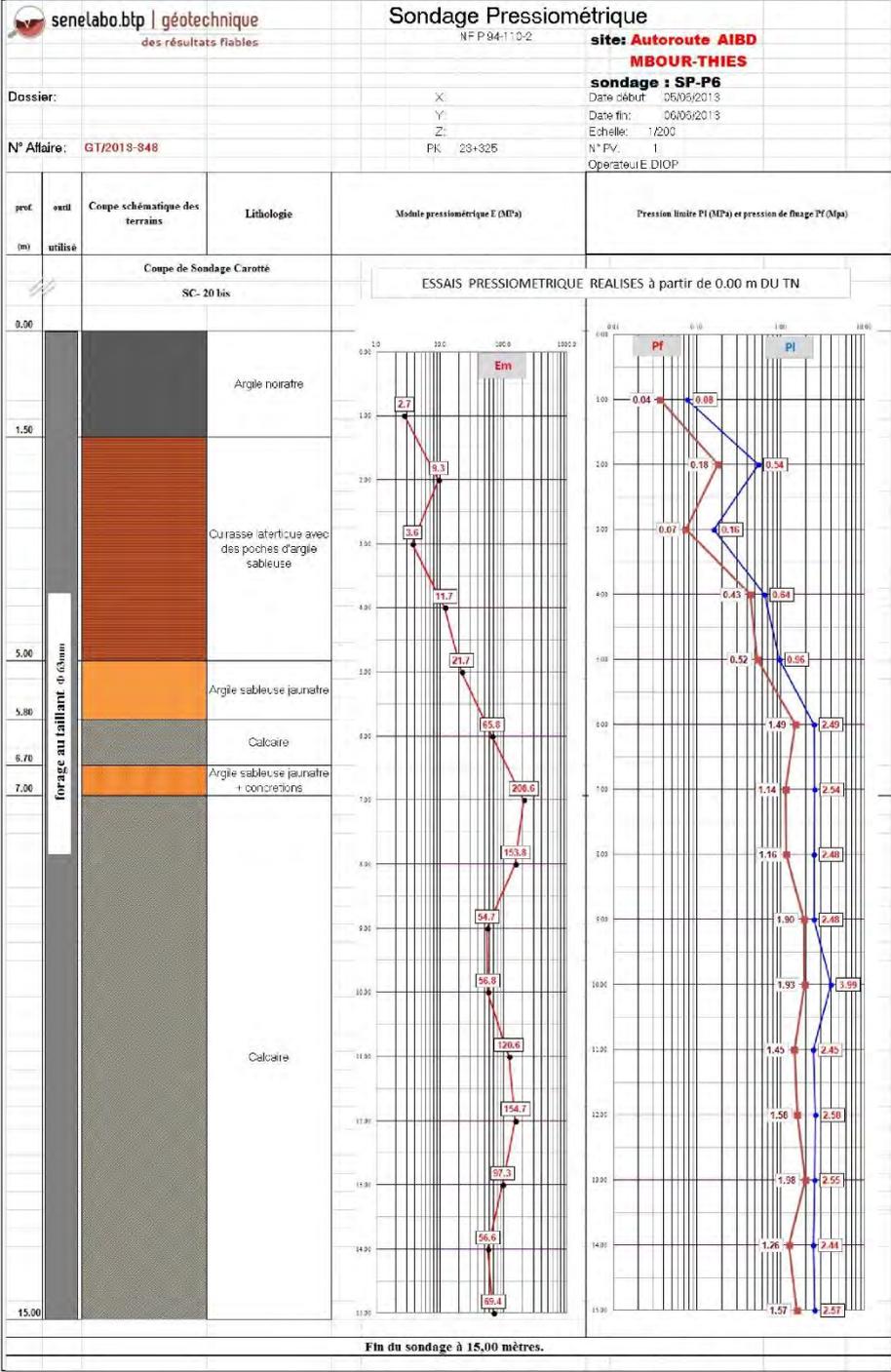
FK: 23+326

N° PV: 1

Opérateur: E.DIOP



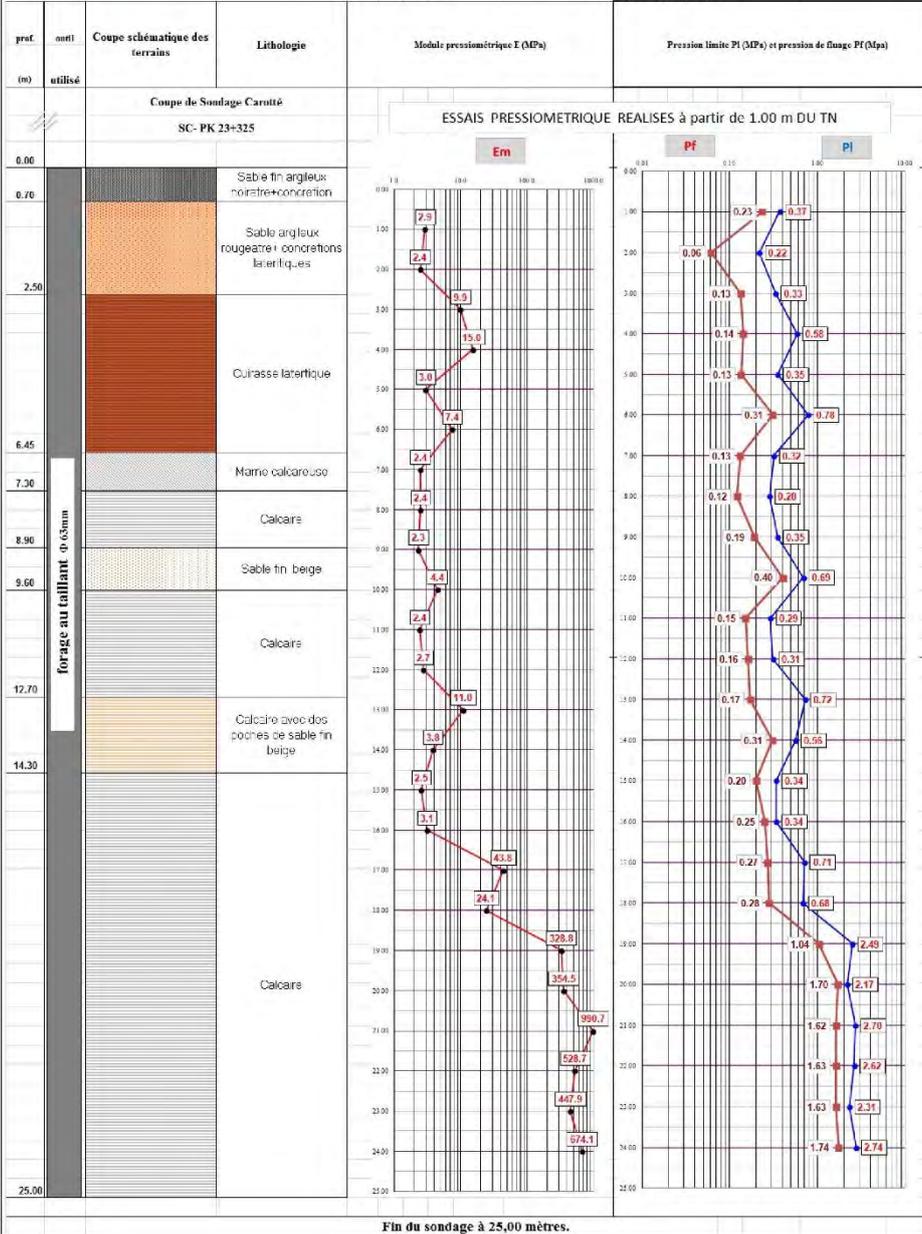
Fin du sondage à 15,00 mètres.



Dossier: _____
N° Affaire: **G172013 348**

X: _____
Y: _____
Z: _____
PK: **23+325**

Sondage : SP-P5
Date début: 06/09/2018
Date fin: 10/09/2018
Echelle: 1/200
N° Pv: 1
Operateur: W BARRY



RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL

CLIENT	N° DOSSIER	TITRE DU PROJET OU CHANTIER	VISA ING.	DATE ESSAIS
CWE		AUTOROUTE AIBD MBOUR THIES	Samb	20/06/2013
N° REGISTRE	N° SONDAGE	N° ECHANT.	PROFONDEUR (m)	DESCRIPTION SOMMAIRE
	SC 20		0,00 - 1,50 m	Argile sableuse
				OPERATEUR
				Maxim

Teneur en eau w (%)	Equivalent de sable (ES)	Essai au bleu (≥ 100g)	Limites d'Atterberg (%)				Classification des sols (GTR)	Densité apparente (t/m ³)		Poids spécifique γ _s
			W _L	W _p	I _p	I _c		γ _b	γ _d	
NFP94-050	NFP 18-598	NFP 94-068	NFP 94-051				NFP 11-300	NFP 94-033		NFP 94-054
12.63		3	61.764	18.97	42.797	1.15		2.139	1.899	2.600

ESSAI PROCTOR			ESSAI CBR	
Densité sèche max. (t/m ³)	Teneur en eau optimale (%)	γ _d (95% OPM)	w (%) de saturation	Gonflement (%)

argile	limon	sable fin	sable grossier	gravier	cailloux
--------	-------	-----------	----------------	---------	----------



Ouv. tamis (mm)	16	12.5	8	6.3	5	3.15	2	1	0.5	0.25	0.125	0.08
Passants (%)	100.0	95.7	90.6	85.4	79.2	61.8	45.7	36.5	34.5	31.6	21.3	18.5

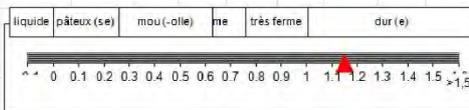
Ouv. tamis (mm)	0.073	0.053	0.039	0.025	0.018	0.013	0.009	0.006	0.004	0.002
Passants (%)										

CLIENT	N° DOSSIER	TITRE DU PROJET OU CHANTIER	VISA NO.	DATE ESSAIS
CWE		AUTOROUTE AIBD MBOURTHIES	Samb	20/06/2013

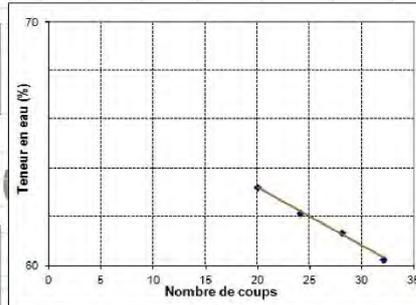
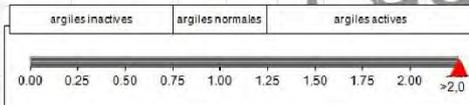
N° REGISTRE	N° SONDAGE	N° ECHANT	PROFONDEUR (m)	DESCRIPTION SOMMAIRE	OPERATEUR
	SC 20		0,00 -1,50 m	Argile sableuse	Maxim

	1- Limite de Liquidité				2- Limite de Plasticité	
Nombre de coups	20	24	28	32		
N° de la Tare						
Poids Total Humide	78.24	88.7	80.6	88.89	64	64.67
Poids Total Sec	67.41	75.42	68.87	75.08	61.9	62.51
Poids total tare	50.28	54.06	49.76	52.17	50.83	51.12
Poids net de l'eau	10.83	13.28	11.73	13.81	2.1	2.16
Poids matériau sec	17.13	21.36	19.11	22.91	11.07	11.39
Teneur en eau (%)	63.22	62.172	61.38	60.279	18.9702	18.964
Limites et indices	$W_L = 61.764$	$W_P = 18.967$	$I_P = 42.8$	$I_c = 1.15$	$A =$	

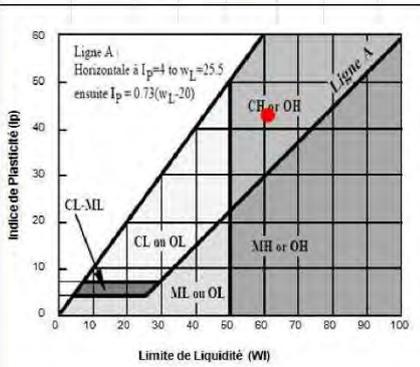
3- Echelle de consistance (Ic)



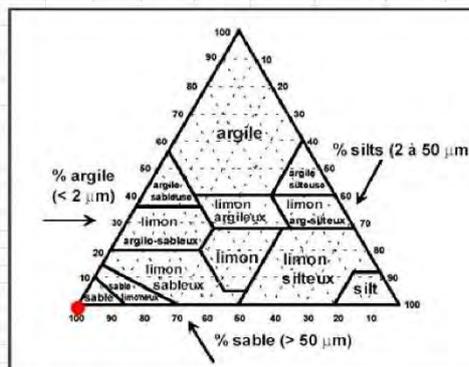
4- Echelle d'activité (A)



5- Diagramme de plasticité



6- Classification triangulaire des sols fins



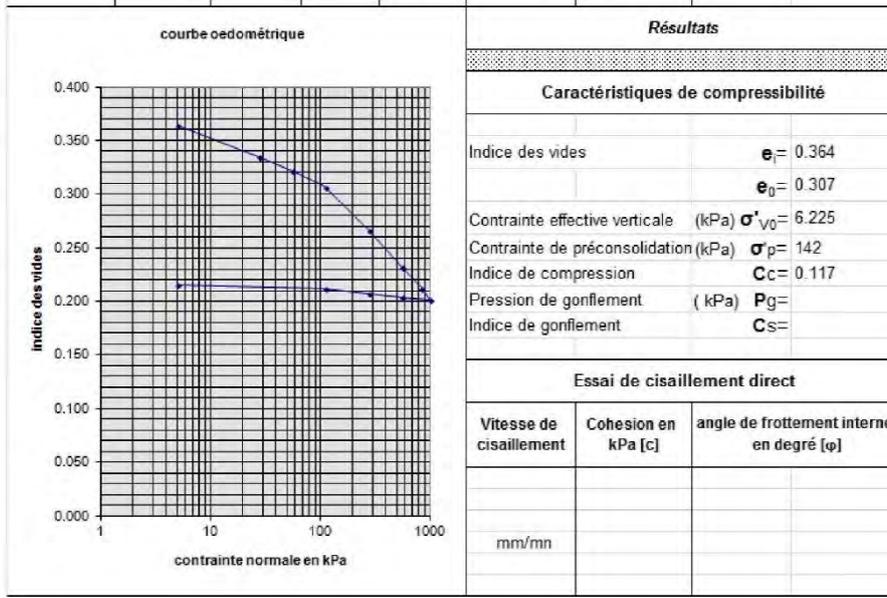
Nomenclature des sols selon SN 670'010a (1993)

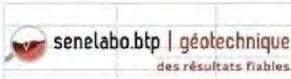
CL-ML: Limon argileux avec sable et/ou grave OL: Limon organique, graveleux et/ou sableux OH: Argile limoneuse organique, graveleuse et/ou sableuse
 CL: Limon argileux, graveleux et/ou sableux ML: Limon graveleux ou sableux MH: Limon graveleux et/ou sableux de haute plasticité

PROJET ou CHANTIER : ROUTE AIBD MBOUR	Nature du sol :	N° Registre :
SITE :	date d'arrivée au laboratoire :	N° Sondage :
	date des essais :	SC20

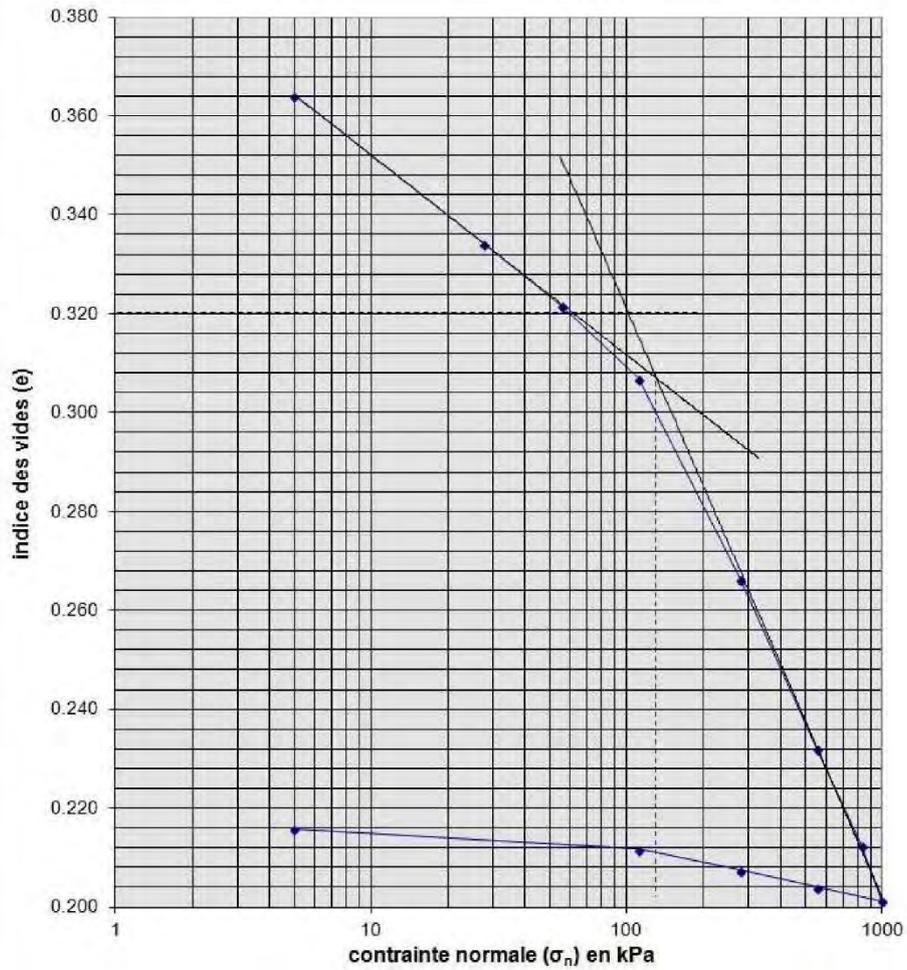
Caractéristiques de l'éprouvette		avant l'essai	après l'essai	N° Echantillon :
Diamètre : D	en mm	D ₀ = 50.47		Profondeur éprouvette (m) = 0.00 - 1.50m
Hauteur : H	en mm	H _i = 20		
Masse volumique sèche	en Mg/m ³	γ _{sd} = 1.83	γ _{sd} =	Expérimentateur : CHARLIE
Poids spécifique	en MG/m ³	γ _s = 2.50		
Teneur en eau	en %	W _i =	W _f = 15.94	N° Bâti : 6
Degré de saturation	en %	S _{ri} = #VALEUR!	S _{rf} = 109.43	

Date	heure (début) de palier	palier n°	σ _v (kPa)	Δh (10 ⁻² mm)	e	e corrigé
		1	5	0.0	0.552	0.364
		2	28	43.0	0.522	0.334
		3	56	61.0	0.509	0.322
		4	111	82.0	0.494	0.307
		5	277	140.0	0.454	0.266
		6	555	189.0	0.419	0.232
		7	830	217.0	0.400	0.212
		8	1000	233.0	0.389	0.201
		9	555	229.0	0.391	0.204
		10	277	224.0	0.395	0.208
		11	111	218.0	0.399	0.212
		12	5	212.0	0.403	0.216



	Procès verbal d'essai à l'oedomètre		
	Essai de compressibilité sur sols fins saturés avec chargement par paliers Essai réalisé conformément à la norme XP 94-090-1		
PROJET ou CHANTIER :	Nature du sol :	N° Registre :	
ROUTE AIBD MBOUR TH			
SITE :	date d'arrivée au laboratoire :	N° Sondage :	
	date des essais :	22/07/2013	SC20
	Profondeur de prélév. =	0,00 - 1,50m	N° Echantillon :
	éprouvette (m)		

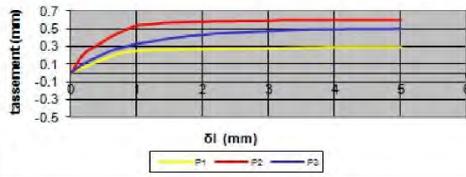
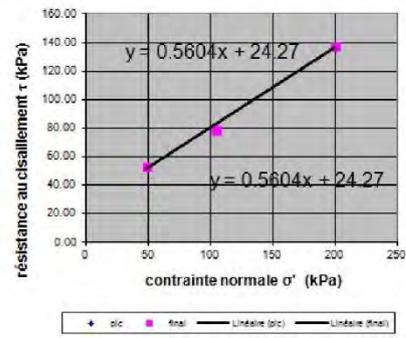
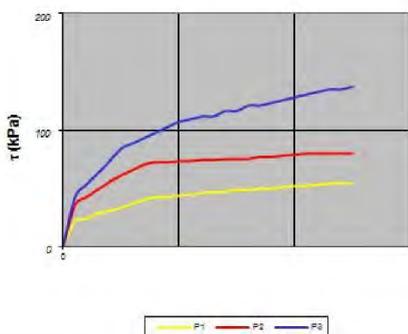
courbe oedométrique



ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE – CISAILLEMENT DIRECT

(réalisé conformément à la norme NF P 94-071-1)

Projet / Chantier:		AUTOROUTE AIBD MBOUR THIES											
Site:	CWE			Date essai:	21/06/2013								
N° Sondage:	SC20	Prof. :	0,00m - 1,50m	N°Registre									
Caractéristiques de l'éprouvette					ρ_s								
Hauteur =	20 mm	Largeur, diamètre =	60 mm	mesuré =	2.700 T/m ³								
N°	Avant essai					Après consolid		Après cisaillement		Paramètres de résistance au cisaillement			
	ρ_h (T/m ³)	ρ_d (T/m ³)	w (%)	e	Sr	ρ_d (T/m ³)	t_{100} (mn)	w (%)	σ' (kPa)	$\tau_{f,p}$ (kPa)	$\delta l_{f,p}$ (mm)	$\tau_{f,f}$ (kPa)	$\delta l_{f,f}$ (mm)
1	2.18	1.936	12.6	0.3947				15.1	48.61	53.635		53.635	
2	2.14	1.899	12.6	0.4218				13.8	104.18	79.286		79.286	
3	2.10	1.862	12.6	0.4501				14.9	200.02	137.58		137.58	
4													



Résultats	cohésion (kPa)		angle frottement interne Φ' (°)	
	$c_{uu,p}$	$c_{uu,f}$	$\Phi_{uu,p}$	$\Phi_{uu,f}$
	24.27	24.27	29.3	29.3

RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL

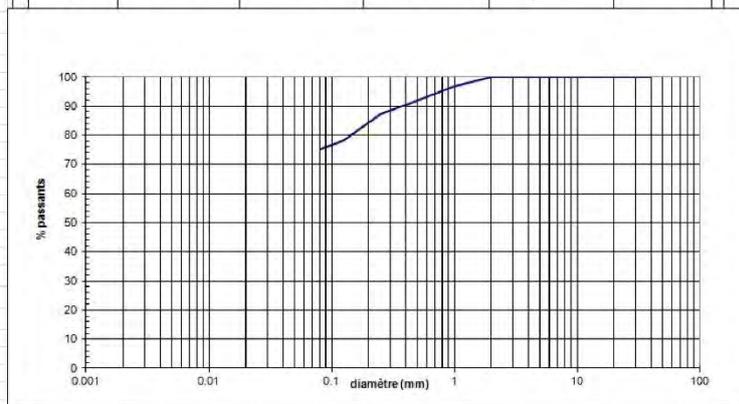
CLIENT	N° DOSSIER	TITRE DU PROJET OU CHANTIER	VISA ING.	DATE ESSAIS
CWE		AUTOROUTE AIBD MBOUR THES	Samb	27/06/2013

N° REGISTRE	N° SONDAGE	N° ECHANT.	PROFONDEUR (m)	DESCRIPTION SOMMAIRE	OPERATEUR
	SC 20 B		0,00 -1,50 m	Argile noiratre	Maxim

Teneur en eau w (%)	Equivalent de sable (ES)	Essai au bleu (g/100g)	Limites d'Atterberg (%)				Classification des sols (GIR)	Densité apparente (t.m ³)		Poids spécifique γ_s
			W _L	W _P	I _p	I _c		γ_h	γ_d	
NFP94-050	NFP 18-598	NFP 94-068	NFP 94-051				NFP 11-300	NFP 94-053		NFP 94-054
19		5.8	51.117	16.36	34.759	0.92			2.500	

ESSAI PROCTOR			ESSAI CBR	
Densité sèche max. (t/m ³)	Teneur en eau optimale (%)	γ_d (95% OPM)	w (%) de saturation	Gonflement (%)

argile	limon	sable fin	sable grossier	gravier	cailloux
--------	-------	-----------	----------------	---------	----------

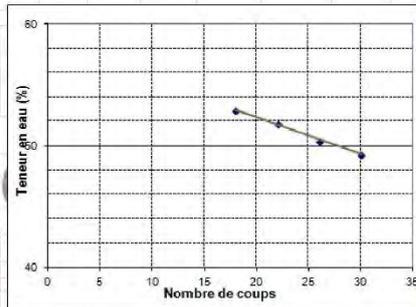


Ouv. tamis (mm)	40	25	10	6.3	5	3.15	2	1	0.5	0.25	0.125	0.08
Passants (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.9	91.9	87.4	78.2	75.2
Ouv. tamis (mm)		0.073	0.053	0.039	0.025	0.018	0.013	0.009	0.006	0.004	0.002	
Passants (%)												

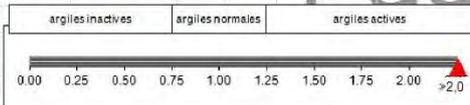
CLIENT	N° DOSSIER	TITRE DU PROJET OU CHANTIER		VISA ING.	DATE ESSAIS
CWE		AUTOROUTE ABD MBOUR THES		Samb	27/06/2013
N° REGISTRE	N° SONDAGE	N° ECHANT.	PROFONDEUR (m)	DESCRIPTION SOMMAIRE	OPERATEUR
	SC20 B		0,00 -1,50 m	Argile noiratre	Maxim

	1- Limite de Liquidité				2- Limite de Plasticité	
Nombre de coups	18	22	26	30		
N° de la Tare						
Poids Total Humide	85.86	86.01	79.07	88.98	84.71	62.92
Poids Total Sec	76.51	75.11	69.05	78.09	63.33	61.27
Poids total tare	58.84	54.08	49.17	56.01	54.97	51.09
Poids net de l'eau	9.35	10.9	10.02	10.89	1.38	1.65
Poids matériau sec	17.67	21.03	19.88	22.08	8.36	10.18
Teneur en eau (%)	52.91	51.831	50.4	49.321	16.5072	16.20825
Limites et indices	$W_L = 51.117$	$W_P = 16.358$	$I_P = 34.76$	$I_c = 0.92$	$A =$	

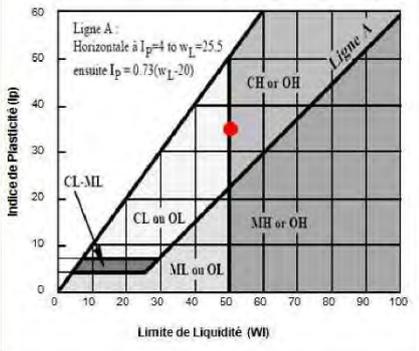
3- Echelle de consistance (Ic)



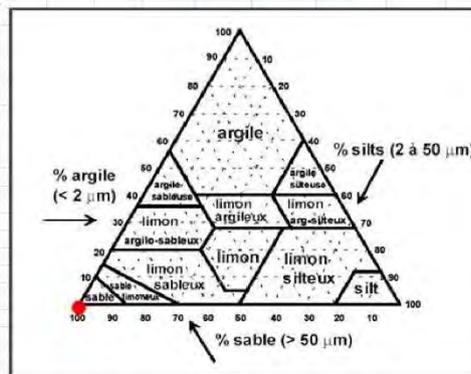
4- Echelle d'activité (A)



5- Diagramme de plasticité



6- Classification triangulaire des sols fins

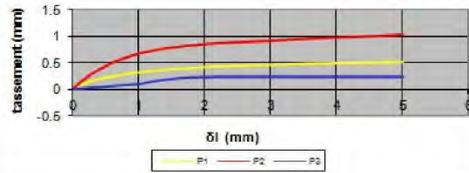
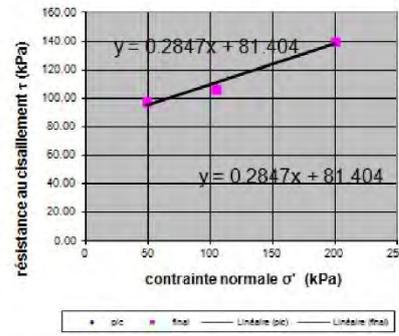
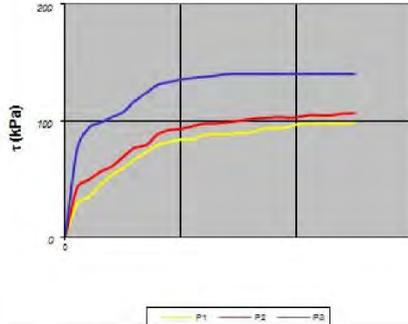


Nomenclature des sols selon SN 670'010a (1993)		
CL-ML: Limon argileux avec sable et/ou gravie	OL: Limon organique, graveleux et/ou sableux	CH: Argile limoneuse, graveleuse et/ou sableuse
CL: Limon argileux, graveleux et/ou sableux	ML: Limon graveleux ou sableux	OH: Argile limoneuse organique, graveleuse et/ou sableuse
		MH: Limon graveleux et/ou sableux de haute plasticité

ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE – CISAILLEMENT DIRECT

(réalisé conformément à la norme NF P 94-071-1)

Projet / Chantier:		AUTOROUTE AIBD MBOUR THIES											
Site:		CWE		Date essai: 03/07/2013									
N° Sondage:	SC20 B	Prof.:	0,00m - 1,50m	N°Registre	Vitesse de cis. = 0,5 mm/mn								
<i>Caractéristiques de l'éprouvette</i>				ρ_s									
Hauteur = 20 mm		Largeur, diamètre = 60 mm		mesuré = 2.700 T/m3	estimé =								
N°	Avant essai					Après consolid		Après cisaillement		Paramètres de résistance au cisaillement			
	ph (T/m ³)	pd (T/m ³)	w (%)	e	Sr	pd (T/m ³)	t ₁₀₀ (mn)	w (%)	σ' (kPa)	$\tau_{f,p}$ (kPa)	$\delta l_{f,p}$ (mm)	$\tau_{f,f}$ (kPa)	$\delta l_{f,f}$ (mm)
1	2.01	1.692	19.0	0.5956				23.9	48.61	97.942		97.942	
2	1.85	1.552	19.0	0.7396				23.2	104.18	106.8		106.8	
3	1.67	1.400	19.0	0.9281				20.2	200.02	139.92		139.92	
4													



Résultats	cohésion (kPa)		angle frottement interne Φ (°)	
	cuu _p	cuu _f	Φ_{uu_p}	Φ_{uu_f}
	81.4	81.4	15.85	15.85

RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL

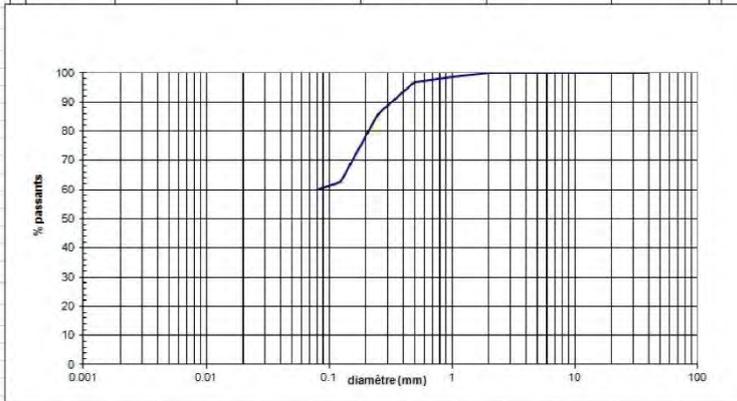
CLIENT	N° DOSSIER	TITRE DU PROJET DU CHANTIER	VISA ING.	DATE ESSAIS
CWE		AUTOROUTE AIBD MBOUR THES	Samb	27/06/2013

N° REGISTRE	N° SONDAGE	N° ECHANT.	PROFONDEUR (m)	DESCRIPTION SOMMAIRE	OPERATEUR
	SC20 B		5,00 -5,80 m	Argile sableuse	Maxim

Teneur en eau w (%)	Equivalent de sable (ES)	Essai au bleu (g/100g)	Limites d'Atterberg (%)				Classification des sols (GIR)	Densité apparente (t/m ³)		Poids spécifique γ_s
			W _L	W _P	I _p	I _c		γ_b	γ_d	
NFP94-050	NFP 18-598	NFP 94-068	NFP 94-051				NFP 11-300	NFP 94-053		NFP 94-054
6.8		2	28.916	13.07	15.845	1.40				2.600

ESSAI PROCTOR			ESSAI CBR	
Densité sèche max (t/m ³)	Teneur en eau optimale (%)	γ_s (95% OPM)	w (%) de saturation	Gonflement (%)

argile	limon	sable fin	sable grossier	gravier	cailloux
--------	-------	-----------	----------------	---------	----------



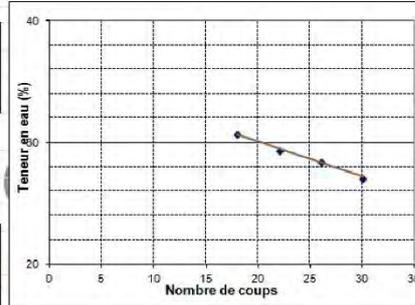
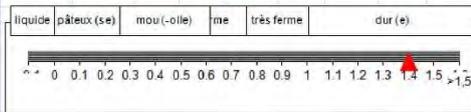
Ouv. tamis (mm)	40	25	10	6.3	5	3.15	2	1	0.5	0.25	0.125	0.08
Passants (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.6	96.7	86.0	82.6	59.9
Ouv. tamis (mm)		0.073	0.053	0.039	0.025	0.018	0.013	0.009	0.006	0.004	0.002	
Passants (%)												

CLIENT	N° DOSSIER	TITRE DU PROJET DU CHANTIER	VISA ING.	DATE ESSAIS
CWE		AUTOROUTE AIBD MBOURTHES	Samb	27/06/2013

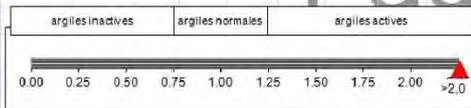
N° REGISTRE	N° SONDAGE	N° ECHANT	PROFONDEUR (m)	DESCRIPTION SOMMAIRE	OPERATEUR
	SC20 B		5,00 -5,80 m	Argile sableuse	Maxim

	1- Limite de Liquidité				2- Limite de Plasticité	
Nombre de coups	18	22	26	30		
N° de la Tare						
Poids Total Humide	80.77	86.81	91.15	85.43	59.02	67.83
Poids Total Sec	73.67	78.38	82.59	78.12	58.09	66.48
Poids total tare	50.54	49.71	52.48	51.18	50.81	56.38
Poids net de l'eau	7.1	8.43	8.56	7.31	0.93	1.35
Poids matériau sec	23.13	28.67	30.11	26.94	7.28	10.1
Teneur en eau (%)	30.7	29.404	28.43	27.134	12.7747	13.36634
Limites et indices	$W_L = 28.916$	$W_P = 13.071$	$I_P = 15.85$	$I_c = 1.40$	$A =$	

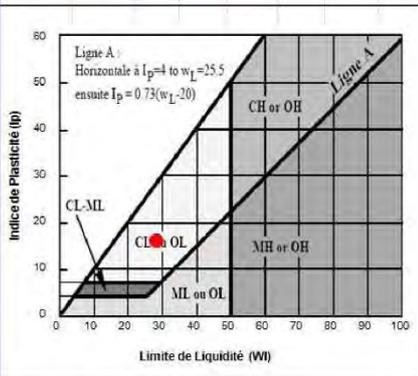
3- Echelle de consistance (Ic)



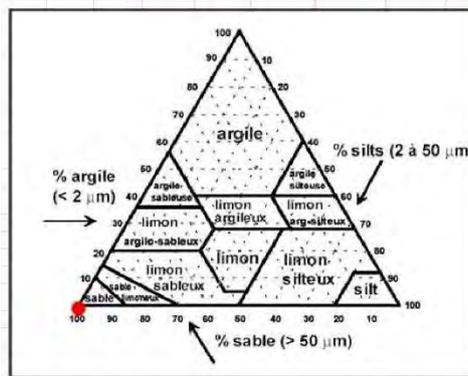
4- Echelle d'activité (A)



5- Diagramme de plasticité



6- Classification trianulaire des sols fins



Nomenclature des sols selon SN 670'010a (1993)

CL-ML: Limon argileux avec sable et/ou gravie OL: Limon organique, graveleux et/ou sableux
 CL: Limon argileux, graveleux et/ou sableux ML: Limon graveleux ou sableux

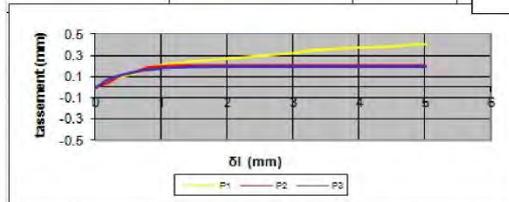
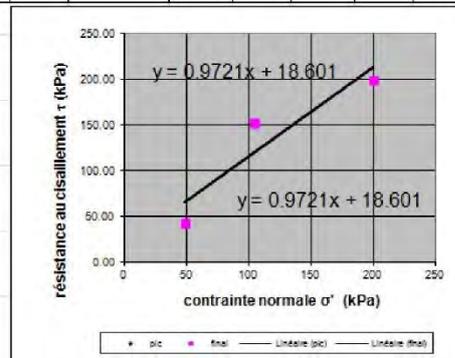
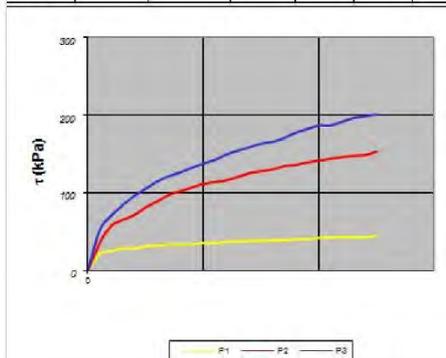
CH: Argile limoneuse, graveleuse et/ou sableuse

OH: Argile limoneuse organique, graveleuse et/ou sableuse
 MH: Limon graveleux et/ou sableux de haute plasticité

ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE – CISAILLEMENT DIRECT

(réalisé conformément à la norme NF P 94-071-1)

Projet / Chantier:		AUTOROUTE AIBD MBOUR THIES											
Site:	CWE			Date essai:	28/06/2013								
N° Sondage:	SC20 B	Prof.:	6,20m - 7,10m	N°Registre									
Caractéristiques de l'éprouvette					ρ_s								
Hauteur =	20 mm	Largeur, diamètre =	60 mm	mesuré =	2.700 T/m ³ estimé =								
N°	Avant essai					Après consolid		Après cisaillement		Paramètres de résistance au cisaillement			
	ph (T/m ³)	pd (T/m ³)	w (%)	e	Sr	pd (T/m ³)	t ₁₀₀ (mn)	w (%)	σ' (kPa)	$\tau_{f,p}$ (kPa)	$\delta l_{f,p}$ (mm)	$\tau_{f,f}$ (kPa)	$\delta l_{f,f}$ (mm)
1	2.10	1.963	6.8	0.3754				15.4	48.61	44.307		44.307	
2	2.28	2.132	6.8	0.2664				11.5	104.18	153.91		153.91	
3	2.35	2.197	6.8	0.2289				11.3	200.02	200.55		200.55	
4													



Résultats	cohésion (kPa)		angle frottement interne Φ (°)	
	cuu _p	cuu _f	$\Phi_{uu,p}$	$\Phi_{uu,f}$
	18.6	18.6	44.2	44.2

RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL

CLIENT	N° DOSSIER	TITRE DU PROJET OU CHANTIER	VISA ING.	DATE ESSAIS
CWE		AUTOROUTE ABD MBOUR THIES	Samb	27/06/2013

N° REGISTRE	N° SONDAGE	N° ECHANT.	PROFONDEUR (m)	DESCRIPTION SOMMAIRE	OPERATEUR
	SC 20 B		6,70 - 7,00 m	Argile jaunâtre + concrétion	Maxim

Teneur en eau w (%)	Equivalent de sable (ES)	Essai au bleu (g/100g)	Limites d'Atterberg (%)				Classification des sols (GIR)	Densité apparente (t.m ³)		Poids spécifique γ_s
			W _L	W _P	I _p	I _c		γ_h	γ_d	
NFP94-050	NFP 18-598	NFP 94-068	NFP 94-051				NFP 11-300	NFP 94-053		NFP 94-054
8.9		2.3	36.76	14.56	22.203	1.25			2.500	

ESSAI PROCTOR		ESSAI CBR	
Densité sèche max. (t/m ³)	Teneur en eau optimale (%)	γ_d (95% OPM)	w (%) de saturation
			Gonflement (%)

argile	limon	sable fin	sable grossier	gravier	cailloux
--------	-------	-----------	----------------	---------	----------

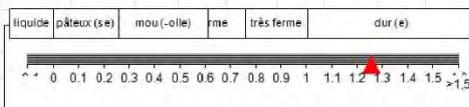


Ouv. tamis (mm)	25	16	10	6.3	5	3.15	2	1	0.5	0.25	0.125	0.08
Passants (%)	100.0	87.9	76.9	69.2	66.9	62.7	60.4	58.3	56.8	53.3	45.9	44.7
Ouv. tamis (mm)		0.073	0.053	0.039	0.025	0.018	0.013	0.009	0.006	0.004	0.002	
Passants (%)												

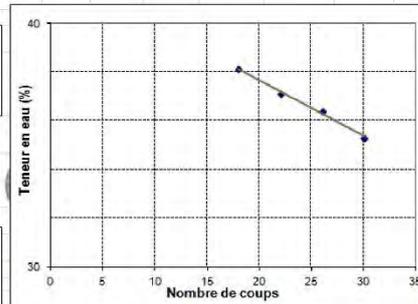
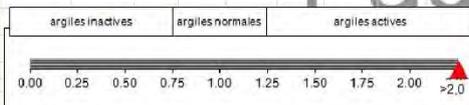
CLIENT	N° DOSSIER	TITRE DU PROJET OU CHANTIER		VISA ING.	DATE ESSAIS
CWE		AUTOROUTE AIBD MBOUR THES		Samb	27/06/2013
N° REGISTRE	N° SONDAGE	N° ECHANT.	PROFONDEUR (m)	DESCRIPTION SOMMAIRE	OPERATEUR
	SC 20 B		6,70 -7,00 m	Argile jaunatre +concrétion	Maxim

	1- Limite de Liquidité				2- Limite de Plasticité	
Nombre de coups	18	22	26	30		
N° de la Tare						
Poids Total Humide	80.83	84.42	84.89	86.48	63.39	67.58
Poids Total Sec	72.39	75.07	74.54	78.02	61.87	66.01
Poids total tare	50.26	49.89	46.13	54.08	51.49	55.16
Poids net de l'eau	8.44	9.35	10.35	8.46	1.52	1.57
Poids matériau sec	22.13	25.18	28.41	23.94	10.38	10.85
Teneur en eau (%)	38.14	37.133	36.43	35.338	14.6435	14.47005
Limites et indices	$W_L = 36.76$	$W_P = 14.557$	$I_P = 22.2$	$I_c = 1.25$	$A =$	

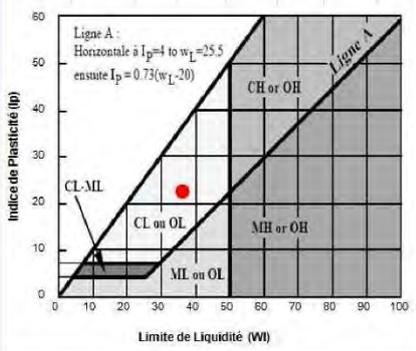
3- Echelle de consistance (Ic)



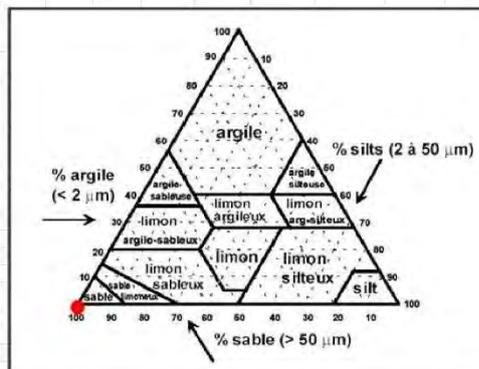
4- Echelle d'activité (A)



5- Diagramme de plasticité

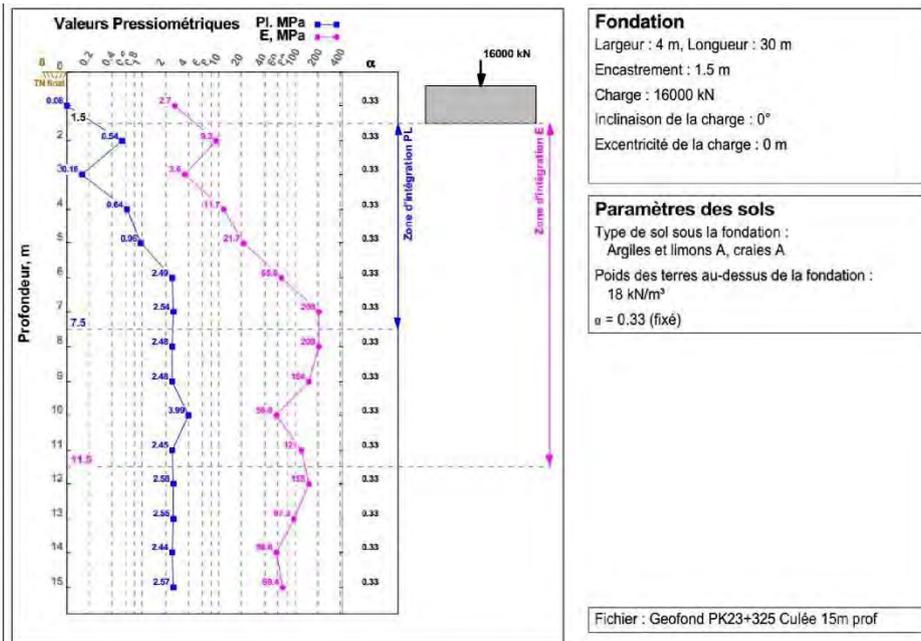


6- Classification triangulaire des sols fins



Nomenclature des sols selon SN 670'010a (1993)			CH: Argile limoneuse, graveleuse et/ou sableuse
CL-ML: Limon argileux avec sable et/ou gravie	OL: Limon organique, graveleux et/ou sableux	OH: Argile limoneuse organique, graveleuse et/ou sableuse	
CL: Limon argileux, graveleux et/ou sableux	ML: Limon graveleux ou sableux	MH: Limon graveleux et/ou sableux de haute plasticité	

Annexes 3 : Note de calcul Geofond



Fondation
 Largeur : 4 m, Longueur : 30 m
 Encastrement : 1.5 m
 Charge : 16000 kN
 Inclinaison de la charge : 0°
 Excentricité de la charge : 0 m

Paramètres des sols
 Type de sol sous la fondation :
 Argiles et limons A, craies A
 Poids des terres au-dessus de la fondation :
 18 kN/m³
 $\alpha = 0.33$ (fixé)

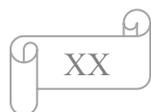
Fichier : Geofond PK23+325 Culée 15m prof

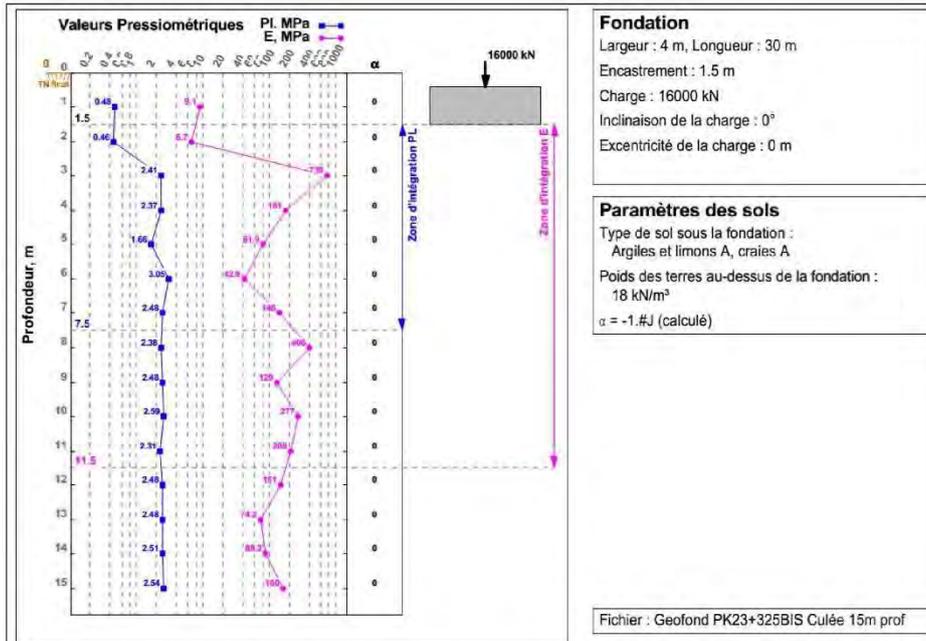
Résultats de calcul : Capacité portante

Par la méthode du Fascicule 62
 $q_{ref}(ELS) = 0.133 \text{ MPa}$; $q_{ref}(ELU) = 0.2 \text{ MPa}$ Art. B.2.2
 $P_{le}^* = 0.801 \text{ MPa}$ Ann. E.2.2
 $D_e = 0.222 \text{ m}$ Ann. E.2.4
 $q'_0 = 27 \text{ kPa}$ Art. B.3.1
 $k_p = 0.807$ Ann. B.1.3
 $i_{\beta} = 1$ Ann. F.1
 $q^*_u = 0.673 \text{ MPa}$ Ann. B.1.2
 Capa. portante(ELS) = 0.242 MPa : vérifié Art. B.3.1
 Capa. portante(ELU) = 0.35 MPa : vérifié Art. B.3.1

Résultats de calcul : Tassement

Par la méthode du Fascicule 62 Ann. F.2.3
 $e'v_0 = 27 \text{ kPa}$
 $E_c = 5.77 \text{ MPa}$
 $E_d = 12.5 \text{ MPa}$
 $\gamma_c = 1.42$
 $\gamma_d = 2.23$
 $S_c = 0.383 \text{ cm}$
 $S_d = 0.277 \text{ cm}$
 $S_f = 0.66 \text{ cm}$





Fondation
 Largeur : 4 m, Longueur : 30 m
 Encastrement : 1.5 m
 Charge : 16000 kN
 Inclinaison de la charge : 0°
 Excentricité de la charge : 0 m

Paramètres des sols
 Type de sol sous la fondation :
 Argiles et limons A, craies A
 Poids des terres au-dessus de la fondation :
 18 kN/m³
 $\alpha = -1. \#J$ (calculé)

Geofond@V1.12 du 09/11/07 développé par Geos
<http://www.geos.fr> e-mail : info@geos.fr

GEOS INGENIEURS CONSEILS SA, Bâtiment Athena
 Parc d'Affaires International, 74160 ARCHAMPS - FRANCE

TEL : 04 50 95 38 14
 FAX : 04 50 95 99 36

Résultats de calcul : Capacité portante

Par la méthode du Fascicule 62
 $q_{ref}(ELS) = 0.133 \text{ MPa}$; $q_{ref}(ELU) = 0.2 \text{ MPa}$
 $P_{le}^* = 1.79 \text{ MPa}$
 $D_e = 0.401 \text{ m}$
 $q'_0 = 27 \text{ kPa}$
 $k_p = 0.813$
 $i_{\beta} = 1$
 $q'_u = 1.48 \text{ MPa}$
 Capa. portante(ELS) = 0.512 MPa : vérifié
 Capa. portante(ELU) = 0.755 MPa : vérifié

Art. B.2.2
 Ann. E.2.2
 Ann. E.2.4
 Art. B.3.1
 Ann. B.1.3
 Ann. F.1
 Ann. B.1.2
 Art. B.3.1
 Art. B.3.1

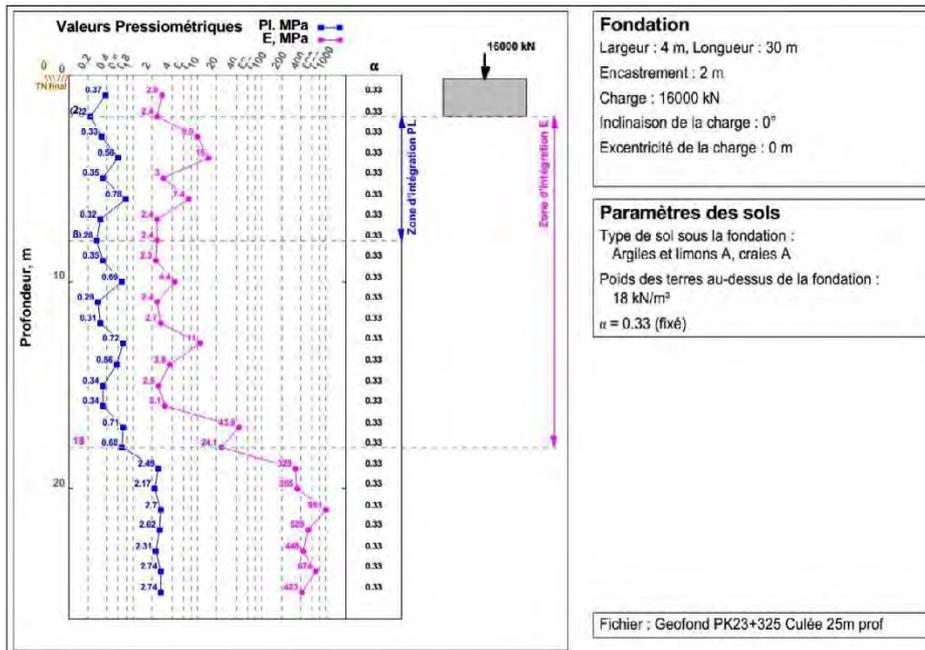
Par la méthode du DTU 13.12
 $P_{le}^* = 0.669 \text{ MPa}$
 $k_p = 0.881$
 $i_{\beta} = 1$
 $q'_u = 0.616 \text{ MPa}$
 Capa. portante(ELS) = 0.205 MPa : vérifié
 Capa. portante(ELU) = 0.308 MPa : vérifié

Résultats de calcul : Tassement

Par la méthode du Fascicule 62
 $q'_0 = 27 \text{ kPa}$
 $E_c = 65.7 \text{ MPa}$
 $E_d = 103 \text{ MPa}$
 $\gamma_c = 1.42$
 $\gamma_d = 2.23$
 $S_c = 0 \text{ cm}$
 $S_d = 0 \text{ cm}$
 $S_f = 0 \text{ cm}$

Ann. F.2.3

IG	17/12/2014 21:05	PASSAGE SUPERIEUR AU PK23+325 CWE	FIGURE SP1
		CWE AUTOROUTE AIBD-THIES	



Fondation
 Largeur : 4 m, Longueur : 30 m
 Encastrement : 2 m
 Charge : 16000 kN
 Inclinaison de la charge : 0°
 Excentricité de la charge : 0 m

Paramètres des sols
 Type de sol sous la fondation :
 Argiles et limons A, craies A
 Poids des terres au-dessus de la fondation :
 18 kN/m³
 $\alpha = 0.33$ (fixé)

Geofond® V1.12 du 09/11/07 développé par Geos GEOS INGENIEURS CONSEILS SA, Bâtiment Athena TEL : 04 50 95 38 14
<http://www.geos.fr> e-mail : info@geos.fr Parc d'Affaires International, 74160 ARCHAMPS - FRANCE FAX : 04 50 95 99 36

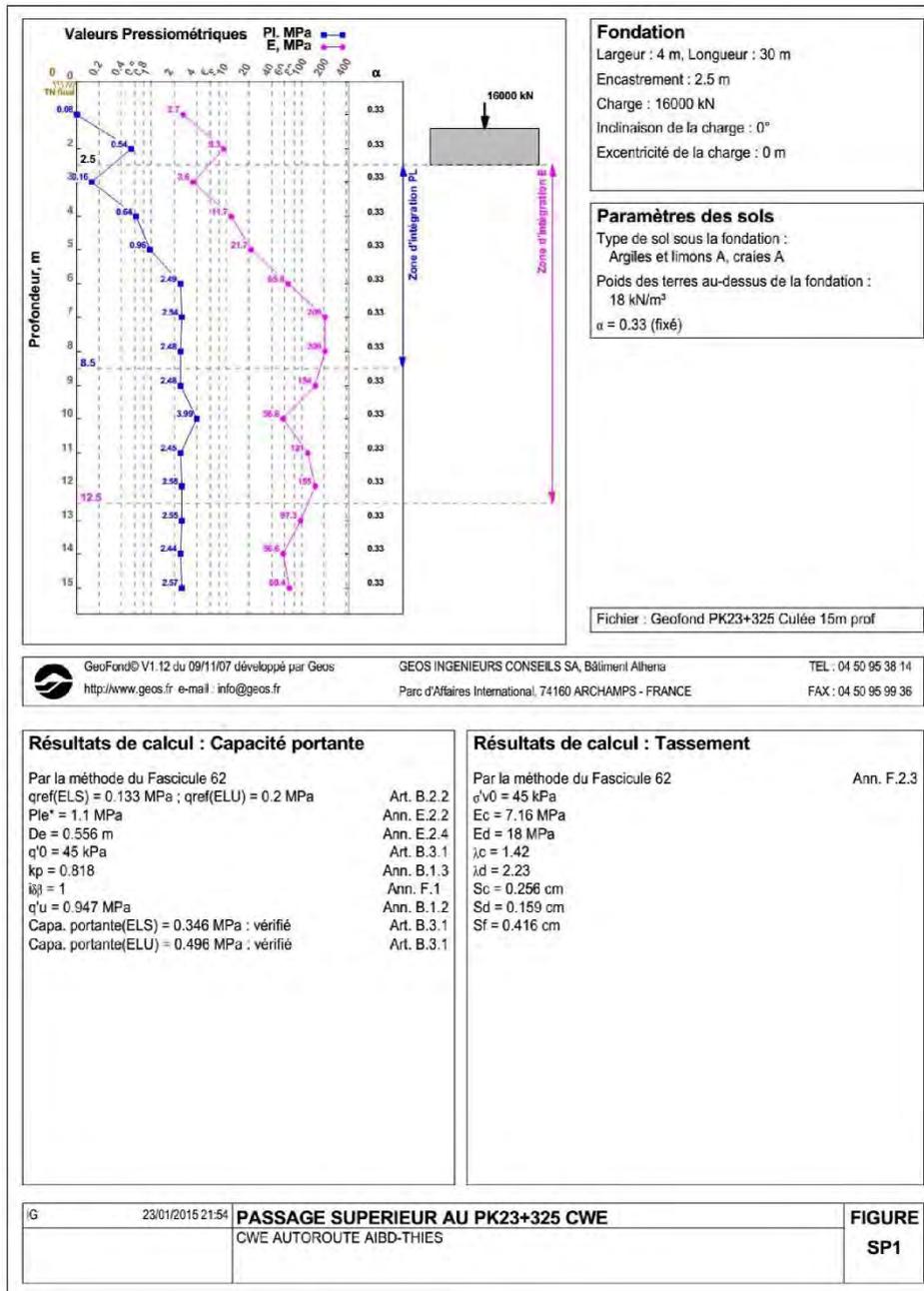
Résultats de calcul : Capacité portante

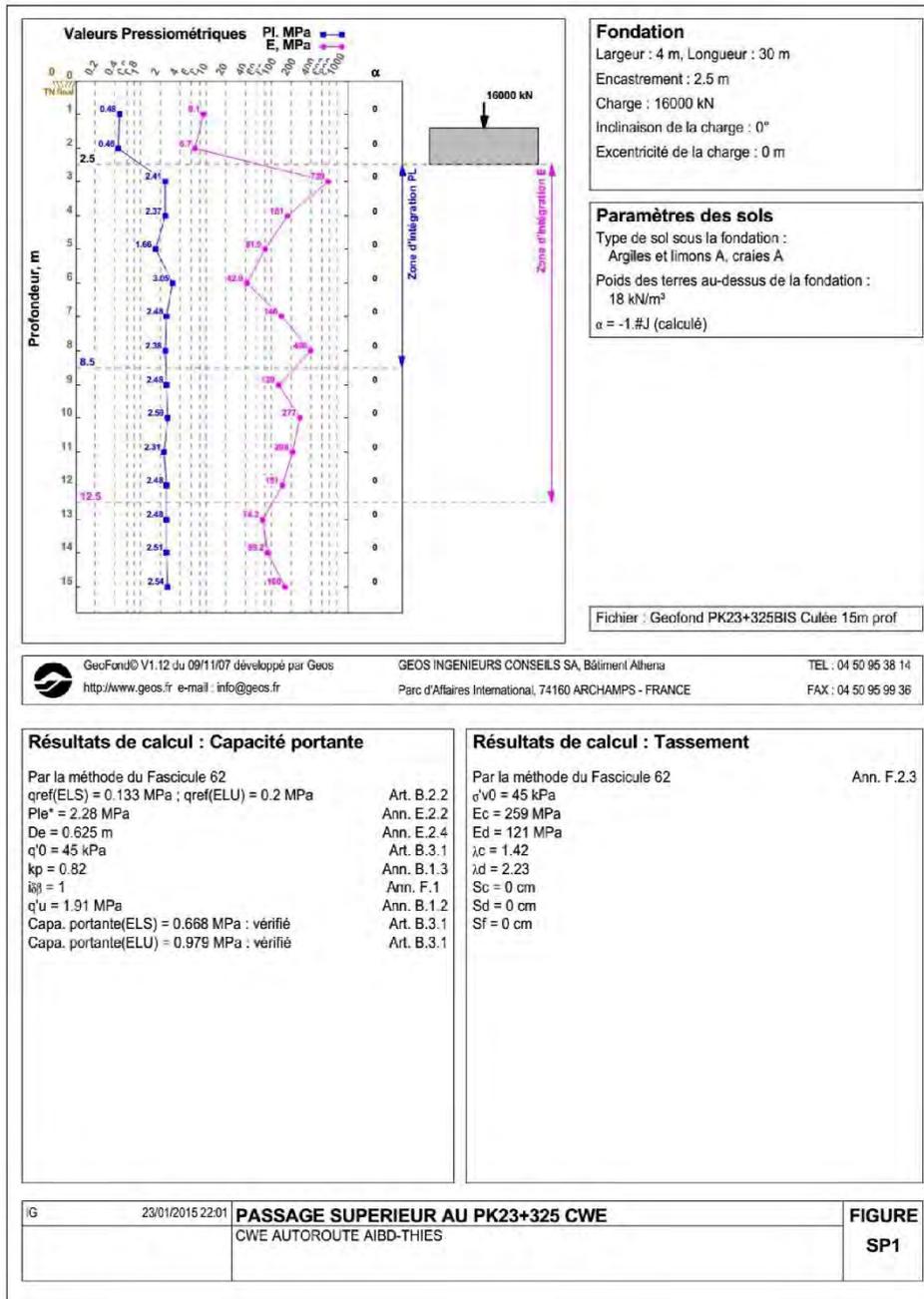
Par la méthode du Fascicule 62
 $q_{ref}(ELS) = 0.133 \text{ MPa}$; $q_{ref}(ELU) = 0.2 \text{ MPa}$ Art. B.2.2
 $P_{le}^* = 0.401 \text{ MPa}$ Ann. E.2.2
 $D_e = 1.66 \text{ m}$ Ann. E.2.4
 $q'_0 = 36 \text{ kPa}$ Art. B.3.1
 $k_p = 0.854$ Ann. B.1.3
 $i_{0\beta} = 1$ Ann. F.1
 $q'_u = 0.378 \text{ MPa}$ Ann. B.1.2
 Capa. portante(ELS) = 0.15 MPa : vérifié Art. B.3.1
 Capa. portante(ELU) = 0.207 MPa : vérifié Art. B.3.1

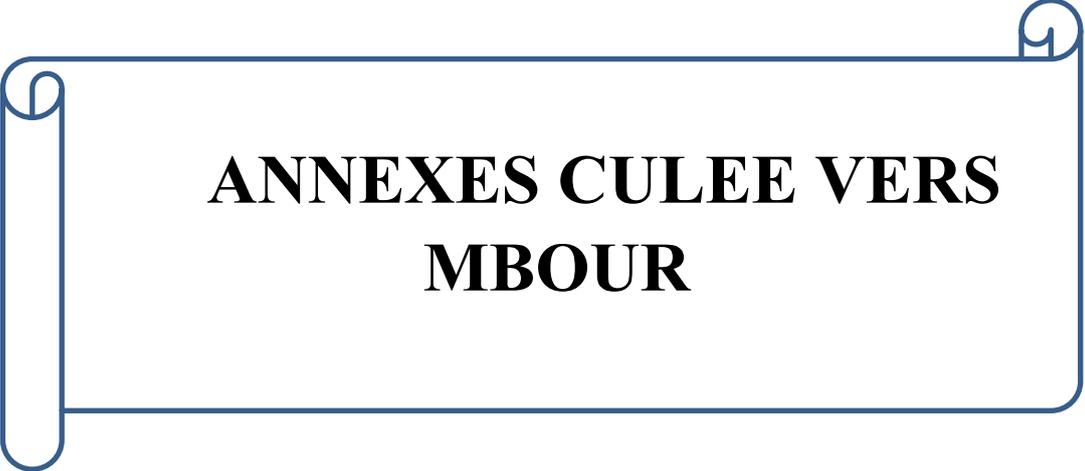
Résultats de calcul : Tassement

Par la méthode du Fascicule 62 Ann. F.2.3
 $c'_v0 = 36 \text{ kPa}$
 $E_c = 7.71 \text{ MPa}$
 $E_d = 4.76 \text{ MPa}$
 $\gamma_c = 1.42$
 $\gamma_d = 2.23$
 $S_c = 0.262 \text{ cm}$
 $S_d = 0.664 \text{ cm}$
 $S_f = 0.926 \text{ cm}$

GT/2013-348_IG 21/12/2014 22:45 **PASSAGE SUPERIEUR AU PK23+325 CWE** **FIGURE**
 CWE AUTOROUTE AIBD-THIES 2eme phase **SP5**

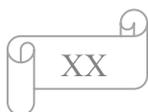




A decorative border in the shape of a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip on the top and right, all in a dark blue color. The scroll ends are curled.

**ANNEXES CULEE VERS
MBOUR**

Annexe 4 : Coupe de sondage carotté



SC1 PK23+335 Culée vers Mbour		TRAVAIL: Sondage Géotechnique :												
		CLIENT: CWE												
LOCALISATION: AIBD-MBOUR-THIES Lot1/PK23+335		PROFONDEUR : 32,15 m par rapport au Fond de fouille				OBSERVATIONS								
		DIMENSION: S/Plan				NIVEAU PHREATIQUE								
		ESSAIS DE CLASSIFICATION DES ECHANTILLONS										DOCUMENTS PHOTOGRAPHIQUES		
Profondeur du mur(m)/Fond de Fouille	Description des carottes	Description Lithologique	% de récupération	Granulométrie				Limite / VBS	Densité	Essai de cisaillement rectiligne		Essai oedométrique		
				Echantillonnage	Dmax (mm)	% passant à 5 mm	% passant à 2 mm	% passant à 80 µm	VBS	seche max. t/m3	C (kPa)	φ (°)	σ'p (kPa)	
3,2		Argiles sableuses beiges	0-3,2m	5	99	98	32	1,42	1,9	19,180	35	90	0,06	 <p>Echantillon de 00 à 8m</p>
12,5		Calcaires gréseux karstiques												 <p>Echantillon de 8 à 13m</p>
21,6		Calcaires coquilliers												 <p>Echantillon de 13 à 19,22m</p>
25		Calcaires gréseux												 <p>Echantillon de 19,22 à 22,7</p>
26		Calcaires coquilliers												 <p>Echantillon de 22,7 à 27m</p>
32,15		Calcaires gréseux												 <p>Echantillon de 27 à 32,15m</p>

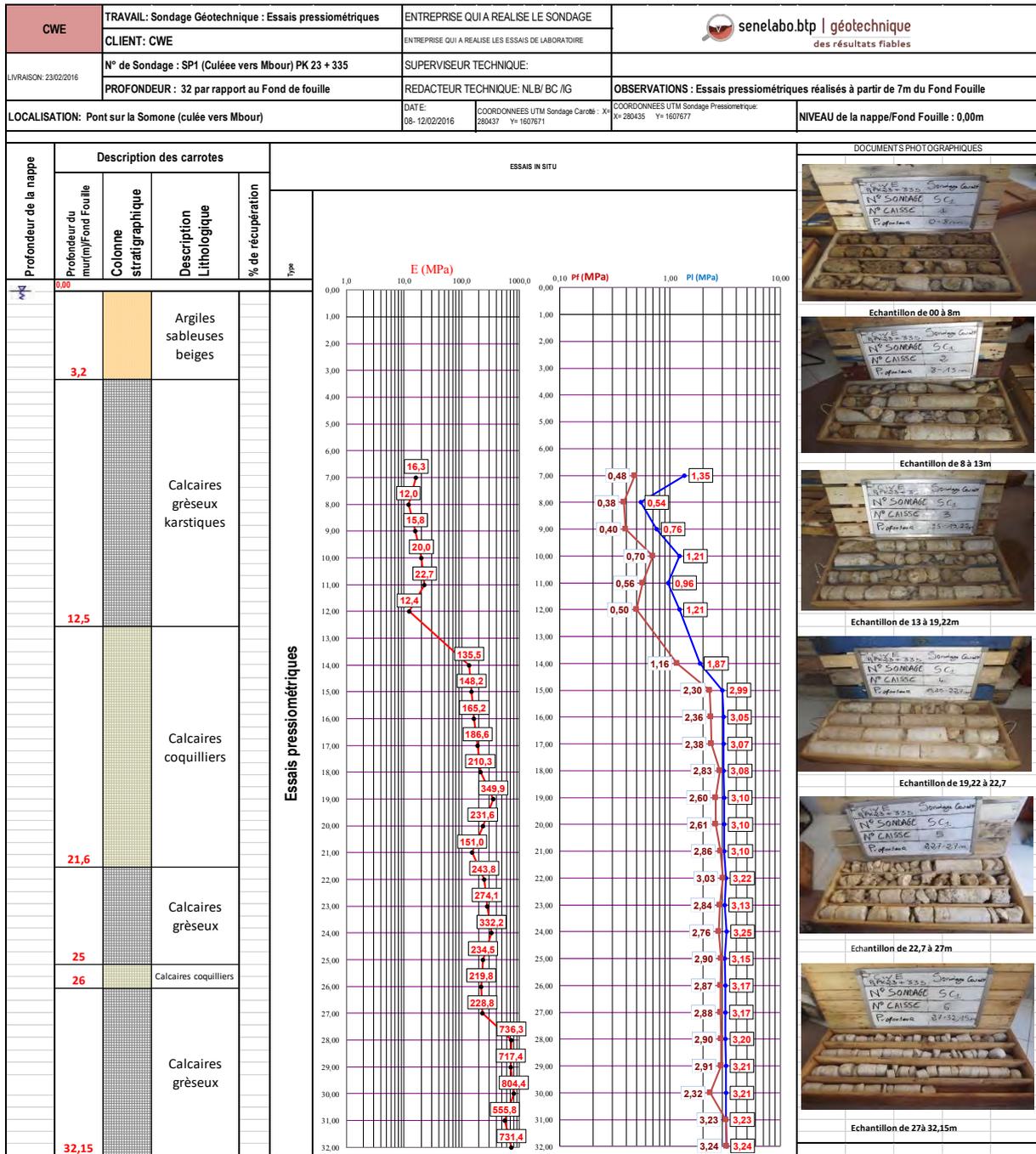
SC2 P2PK23+335 Culée vers Mbour		TRAVAIL: Sondage Géotechnique : CLIENT: CWE PROFONDEUR : 32,2 m par rapport au Fond de fouille DIMENSION: S/Plan			senelabo.btp géotechnique des résultats fiables		OBSERVATIONS													
LOCALISATION: AIBD-MBOUR-THIES Lot1		COORDONNEES UTM: X= 280424 Y=1607678			NIVEAU PHREATIQUE															
Description des carottes				Echantillons		ESSAIS DE CLASSIFICATION DES ECHANTILLONS						DOCUMENTS PHOTOGRAPHIQUES								
Profondeur du mur(m)/Fond de Fouille	Colonne stratigraphique	Description Lithologique	% de récupération	Type	Perforation	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					
5,4		Argiles marrons avec des concrétions				Essais en cours											 <p>Echantillon de 00,00 à 8,1m</p>			
						Essais en cours												 <p>Echantillon de 8,1 à 14,1m</p>		
						Essais en cours													 <p>Echantillon de 14,1 à 18m</p>	
						Essais en cours														 <p>Echantillon de 18 à 21,7m</p>
						Essais en cours														
20		Calcaires gréseux (Karstiques entr19m et 20m)				Essais en cours						 <p>Echantillon de 26,7 à 30,7m</p>								
22		Calcaires coquillers				Essais en cours							 <p>Echantillon de 30,7 à 32,20m</p>							
32.2		Calcaires gréseux (Karstique de 23,20m à 26,70m)				Essais en cours														

SC3 PK23+335 Culée vers Mbour		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		ESSAIS DE CLASSIFICATION DES ECHANTILLONS						DOCUMENTS PHOTOGRAPHIQUES																																		
Profondeur du mur(m)/Fond de Fouille	Colonne stratigraphique	Description Lithologique	% de récupération	Type	Perforation	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																															
3,7		Argiles marrons à beige avec des concrétions				Essais en cours										 <p>Echantillons de 0,0 à 7,3m</p>																														
																							 <p>Echantillons de 7,3 à 13,6m</p>																							
																																			 <p>Echantillons de 13,6 à 17,4m</p>											
																																														 <p>Echantillons de 17,4 à 21,9m</p>
17,4		Calcaires gréseux (Karstiques entre 8,7m et 13m)														 <p>Echantillons de 25,5 à 29,4m</p>																														
																	22		Calcaires coquillers													 <p>Echantillons de 29,4 à 32,3m</p>														
32,3		Calcaires gréseux ((Karstique de 23,80m à 26,30m)																																												

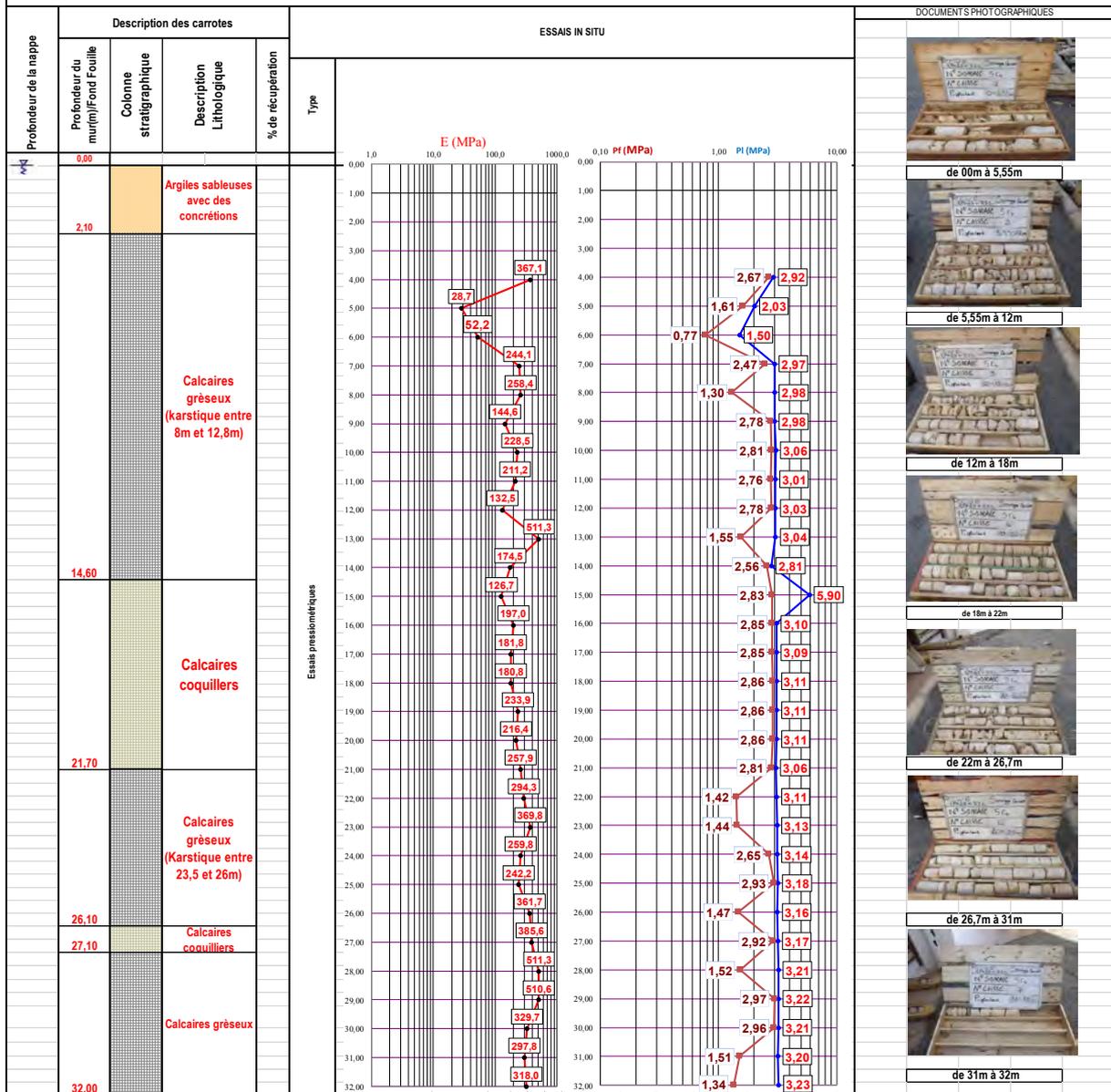
SC4 PK23+335 Culée vers Mbour		TRAVAIL: Sondage Géotechnique :												
		CLIENT: CWE												
LOCALISATION: AIBD-MBOUR-THIES Lot1		PROFONDEUR : 32 m par rapport au Fond de fouille			OBSERVATIONS									
		DIMENSION: S/Plan			NIVEAU PHREATIQUE									
		COORDONNEES UTM: X= 280456 Y= 1607687												
Description des carottes		Echantillons		ESSAIS DE CLASSIFICATION DES ECHANTILLONS						DOCUMENTS PHOTOGRAPHIQUES				
Profondeur du mur(m)/Fond de Fouille	Colonne stratigraphique	Description Lithologique	% de récupération	Type	Perforation	Granulométrie			Limite. IP	Densité sèche max.t/m	w OPM (%)	CBR (95% OPM à 4t)	Classe GTR	Analyse Chimique
						Dmax (mm)	% passant à 50 mm	% passant à 2 mm						
2,1		Argile sableuse beige avec des concrétions latéritiques				Essais en cours								
14,6		Calcaires gréseux karstiques												
21,7		Calcaires coquilliers												
26,1		Calcaires gréseux karstiques												
27,1		Calcaires coquilliers												
32		Calcaires gréseux												

SC5 PK23+335 Culée vers Mbour		TRAVAIL: Sondage Géotechnique : CLIENT: CWE PROFONDEUR : 32,5 par rapport au Fond de fouille DIMENSION: S/Plan				senelabo.btp géotechnique des résultats fiables											
LOCALISATION: AIBD-MBOUR-THIES Lot1		COORDONNEES UTM: X=280454 Y=160769				OBSERVATIONS NIVEAU PHREATIQUE											
Profondeur du mur(m)/Fond de Fouille	Description des carottes			% de récupération	Echantillons Type	Perforation	ESSAIS DE CLASSIFICATION DES ECHANTILLONS						DOCUMENTS PHOTOGRAPHIQUES				
	Colonne stratigraphique	Description Lithologique					Granulométrie			Limite. IP	Densité	W OP M (%)		CB R	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					
2		Argiles sableuses avec des concrétions					Essais en cours										
17		Calcaires gréseux (karstique entre 8m et 12,8m)															
21		Calcaires coquillers															
32,5		Calcaires gréseux (Karstique entre 23,5 et 26m)															
																	
																	
																	

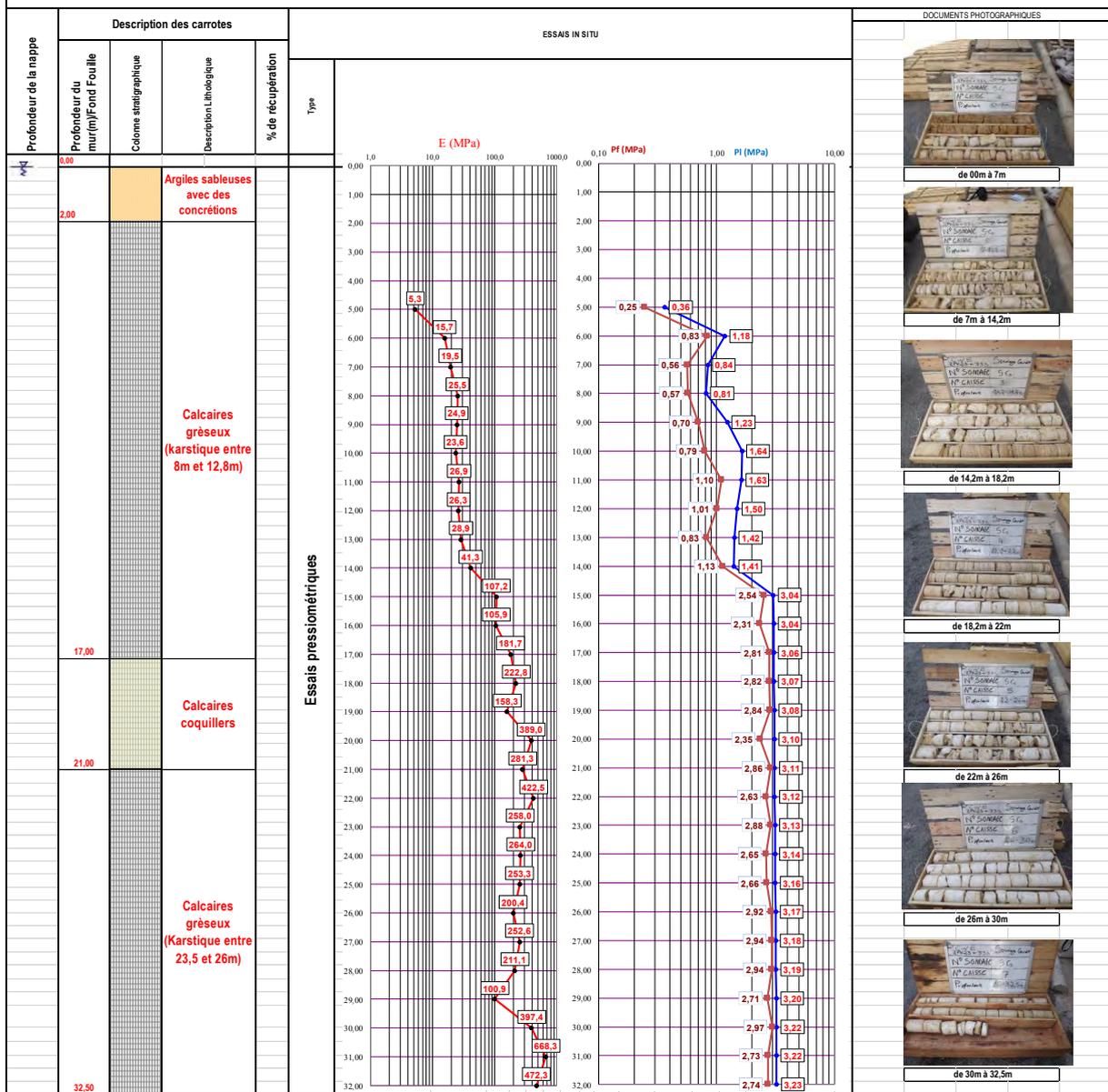
Annexes 5 : Coupe de sondage pressiométrique



CWE	TRAVAIL: Sondage Géotechnique : Essais pressiométriques	ENTREPRISE QUI A REALISE LE SONDAGE	 des résultats fiables
	CLIENT: CWE	ENTREPRISE QUI A REALISE LES ESSAIS DE LABORATOIRE	
LIVRAISON: 03/02/2016	N° de Sondage : SP4 (Culée vers Mbour) PK 23 + 335	SUPERVISEUR TECHNIQUE:	
	PROFONDEUR : 32,00 par rapport au Fond de fouille	REDACTEUR TECHNIQUE: NLB/ BC/ IG	OBSERVATIONS : Essais pressiométriques réalisés à partir de 4m du Fond Fouille
LOCALISATION: Pont sur la Somone (culée vers Mbour)	DATE: 25 - 30/01/2016	COORDONNEES UTM Sondage Carote: X= 280456 Y= 1607685	COORDONNEES UTM Sondage Pressiométrique: X= 280456 Y= 1607684
			NIVEAU de la nappe Fond Fouille : 0,00m



WEB2:AC88-B2:AC	TRAVAIL: Sondage Géotechnique : Essais pressiométriques	ENTREPRISE QUI A REALISE LE SONDAGE	
	CLIENT: CWE	ENTREPRISE QUI A REALISE LES ESSAIS DE LABORATOIRE	
LIVRAISON: 03/02/2016	N° de Sondage : SP5 (Culée vers Mbour) PK 23 + 335	SUPERVISEUR TECHNIQUE:	
	PROFONDEUR : 32,5 par rapport au Fond de fouille	REDACTEUR TECHNIQUE: NLI/BC/IG	OBSERVATIONS : Essais pressiométriques réalisés à partir de 5m du Fond Fouille
LOCALISATION: Pont sur la Somone (culée vers Mbour)	DATE: 19-23/01/2016	COORDONNEES UTM Sondage Caroté : X= 280461 Y= 1607687	COORDONNEES UTM Sondage Pressiométrique: X= 280459 Y= 1607689
			NIVEAU de la nappe/Fond Fouille : 0,00m



Annexe 6 : Feuille des essais de laboratoire

RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL

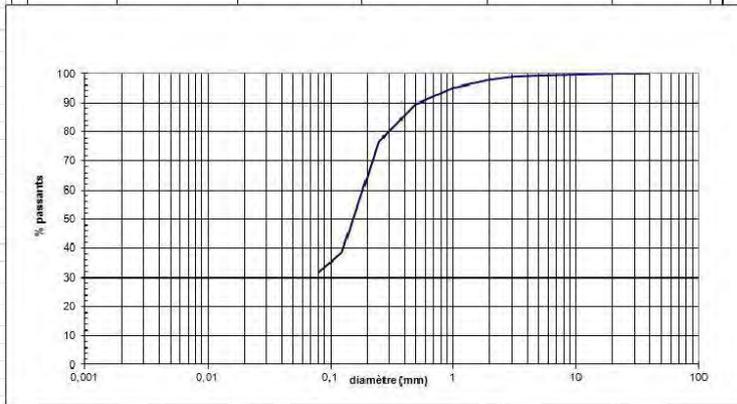
CLIENT	N° DOSSIER	TITRE DU PROJET OU CHANTIER	VISA ING	DATE ESSAIS
CVE		Culée vers Mbour	M.DIALLO	21/01/2016

N° REGISTRE	N° SONDAGE	N° ECHANT.	PROFONDEUR (m)	DESCRIPTION SOMMAIRE	OPERATEUR
	SC1 PK23-335	Argile sableuse beige	00 à 3,20m		BA

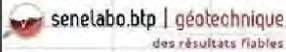
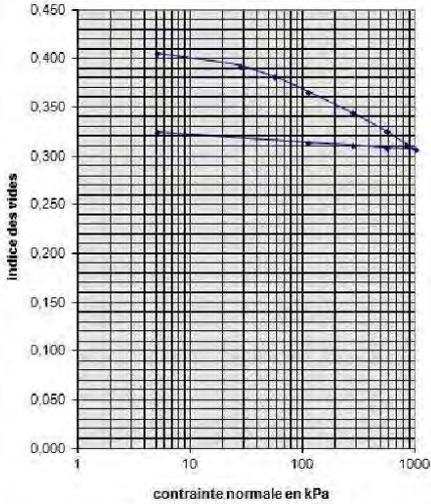
Teneur en eau w (%)	Equivalent de sable (ES)	Essai au bleu (g/100g)	Limites d'Atterberg (%)				Classification des sols (GTR)	Densité apparente (t/m ³)		Poids spécifique γ_s
			W _L	W _P	I _p	I _c		γ_h	γ_a	
NFP94-050	NFP 18-598	NFP 94-068	NFP 94-051				NFP 11-300	NFP 94-053	NFP 94-054	
1,45		1,42					1,928	1,900	2,670	

ESSAI PROCTOR			ESSAI CBR	
Densité sèche max. (t/m ³)	Teneur en eau optimale (%)	γ_d (95% OPM)	w (%) de saturation	Gonflement (%)

argile	limon	sable fin	sable grossier	gravier	cailloux
--------	-------	-----------	----------------	---------	----------

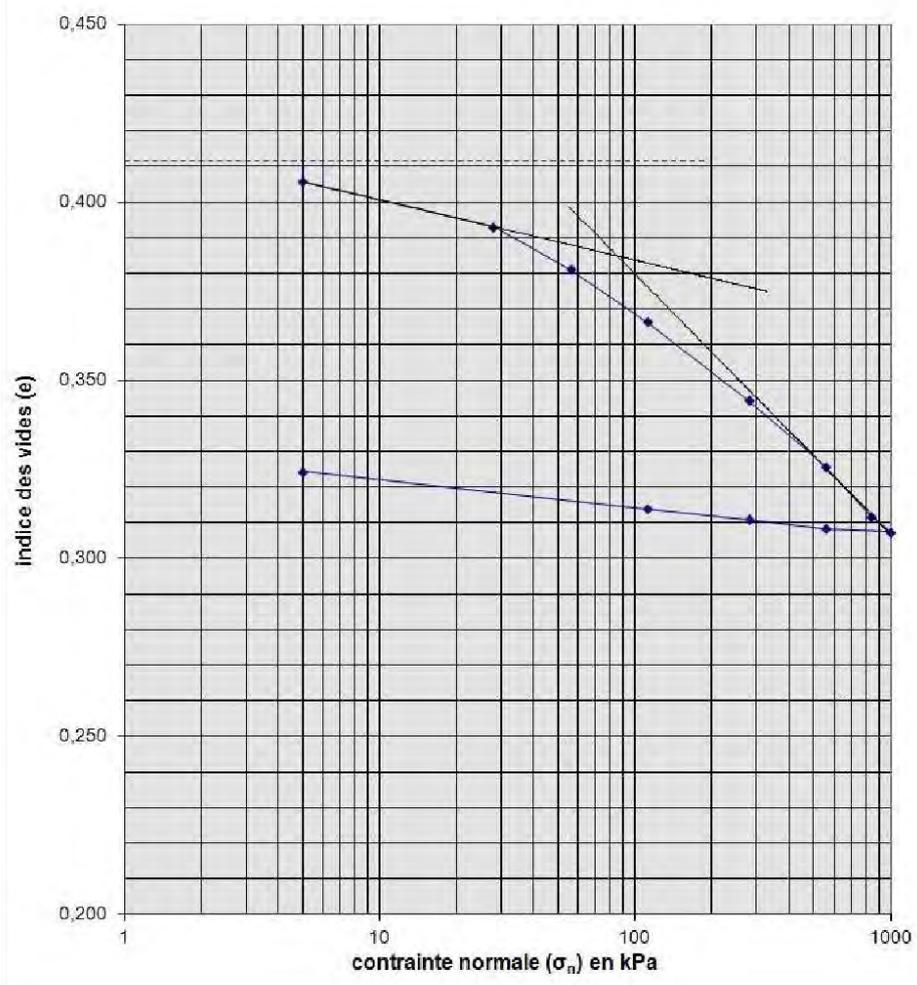


Ouv. tamis (mm)	40	31,5	25	20	5	3,15	2	1	0,5	0,25	0,125	0,08
Passants (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	99,4	98,8	97,8	95,0	89,4	78,8	38,5	31,9
Ouv. tamis (mm)		0,075	0,053	0,039	0,025	0,018	0,013	0,009	0,006	0,004	0,002	
Passants (%)												

		Procès verbal d'essai à l'oedomètre Essai de compressibilité sur sols fins saturés avec chargement par paliers Essai réalisé conformément à la norme XP 94-090-1					
PROJET ou CHANTIER :		Nature du sol :		Argile sableuse brune		N° Register :	
CWE							
SITE :		date d'arrivée au laboratoire :				N° Sondage :	
Culée vers Mbour		date des essais :		12/01/2016		SC1 PK23+335	
Caractéristiques de l'éprouvette			avant l'essai		après l'essai		N° Echantillon :
Diamètre : D	en mm	D ₀ =	50,47				Profondeur
Hauteur : H	en mm	H _i =	20				éprouvette (m) =
Masse volumique sèche	en Mg/m ³	γ _{sd} =	1,90		γ _{sat} =		00m à 3,2m
Poids spécifique	en MG/m ³	γ _s =	2,67				Expérimentateur :
Teneur en eau	en %	W _i =			W _f =		13,47
Degré de saturation	en %	S _{ri} =	#VALEUR!		S _{rf} =		88,65
						N° Bâti :	
						1	
Date	heure (début) de palier	palier n°	σ_v (kPa)	Δh (10⁻² mm)	e	e corrigé	
		1	5	0,0	0,439	0,406	
		2	28	17,5	0,427	0,393	
		3	56	34,0	0,415	0,381	
		4	111	54,5	0,400	0,366	
		5	277	85,0	0,378	0,344	
		6	565	111,0	0,359	0,326	
		7	830	130,1	0,345	0,312	
		8	1000	136,5	0,341	0,307	
		9	565	135,0	0,342	0,308	
		10	277	131,5	0,344	0,311	
		11	111	127,5	0,347	0,314	
		12	5	113,0	0,358	0,324	
courbe oedométrique					Résultats		
					Caractéristiques de compressibilité		
Indice des vides					e _f = 0,406		
					e ₀ = 0,384		
Contrainte effective verticale (kPa)					σ'v0 = 30,4		
Contrainte de préconsolidation (kPa)					σp = 90		
Indice de compression					Cc = 0,06		
Pression de gonflement (kPa)					Pg =		
Indice de gonflement					Cs =		
Essai de cisaillement direct							
Vitesse de cisaillement	Cohesion en kPa [c]		angle de frottement interne en degré [φ]				
mm/mn							

 des résultats fiables	Procès verbal d'essai à l'oedomètre		
	Essai de compressibilité sur sols fins saturés avec chargement par paliers Essai réalisé conformément à la norme XP 94-090-1		
PROJET ou CHANTIER :	Nature du sol :	Argile sableuse brune	N° Register :
CWE	date d'arrivée au laboratoire :		N° Sondage :
SITE :	date des essais :	12/01/2016	SC1 PK23+335
Culée vers Mbour	Profondeur de prélév. =	00m à 3.2m	N° Echantillon :
	éprouvette (m)		

courbe oedométrique

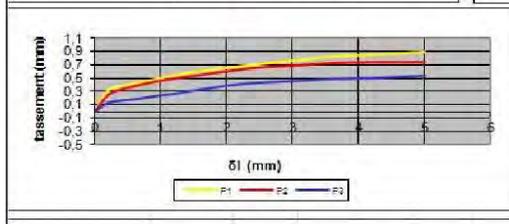
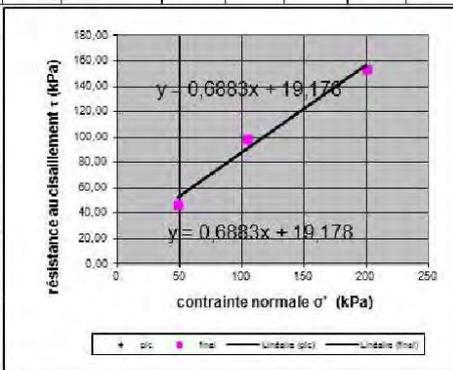
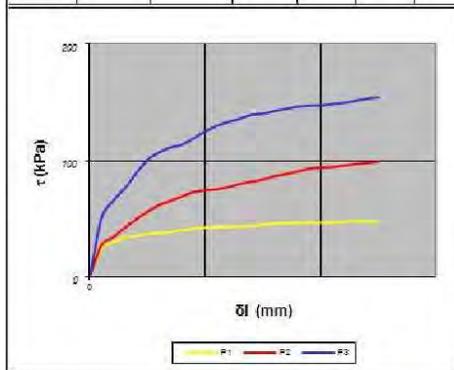


ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE – CISAILLEMENT DIRECT

(réalisé conformément à la norme NF P 94-071-1)

Projet / Chantier: Autoroute Thiès-Mbour		CLIENT : CWE	
Site: Culée vers Mbour		Date essai: 12/01/2016	
N° Sondage: SC1 PK23+335	Prof.: 0,0m à 3,2m	N°Registre	Vitesse de cis. = 0.5 mm/mn

Caractéristiques de l'éprouvette						ρ_s							
Hauteur = 20 mm		Largeur, diamètre = 60 mm		mesuré = 2,700 T/m ³		estimé =							
N°	Avant essai					Après consolid		Après cisaillement	Paramètres de résistance au cisaillement				
	ph (T/m ²)	pd (T/m ³)	w (%)	e	Sr	pd (T/m ²)	t ₁₀₀ (mn)	w (%)	σ' (kPa)	$\tau_{f,p}$ (kPa)	$\delta l_{f,p}$ (mm)	$\tau_{f,f}$ (kPa)	$\delta l_{f,f}$ (mm)
1	2,04	2,012	1,45	0,3416					48,61	47,572	5	47,572	5
2	2,06	2,026	1,45	0,3326					104,18	98,874	3,2	98,874	5
3	2,13	2,095	1,45	0,289					200,02	153,91	2,6	153,91	5
4													



Résultats	cohésion (kPa)		angle frottement interne Φ' (°)	
	CUU _p	CUU _f	Φ_{Uu_p}	Φ_{Uu_f}
	19,178	19,178	34,53	34,53

RAPPORT D'ESSAIS SUR ECHANTILLON DE SOL

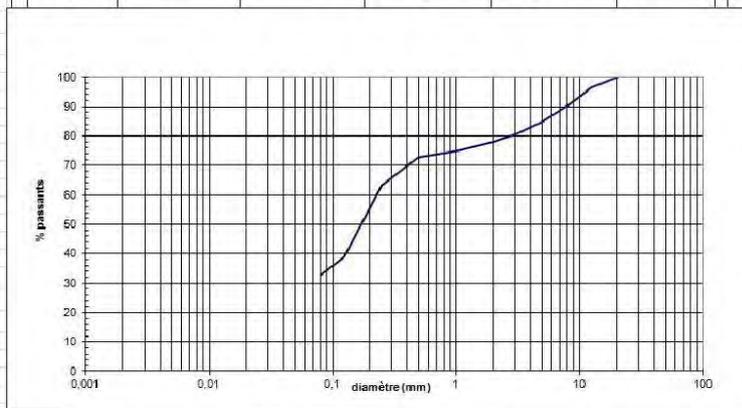
CLIENT	N° DOSSIER	TITRE DU PROJET OU CHANTIER	VISA / NG	DATE ESSAIS
CWE		Clôture vers Mbour	M.DIALLO	12/01/2016

N° REGISTRE	N° SONDAGE	N° ECHANT.	PROFONDEUR (m)	DESCRIPTION SOMMAIRE	OPERATEUR
	SC4 PK23+335	Argile sableuse beige avec concrétion	00 à 2.10m		BA

Teneur en eau w (%)	Equivalent de sable (ES)	Essai au bleu (g/100g)	Limites d'Atterberg (%)				Classification des sols (GTR)	Densité apparente (t/m ³)		Poids spécifique γ_s
			W _L	W _p	I _p	I _c		γ_b	γ_d	
NFP 94-050	NFP 18-598	NFP 94-068	NFP 94-051				NFP 11-300	NFP 94-053		NFP 94-054
2.39	1.41						1.863	1.820	2.680	

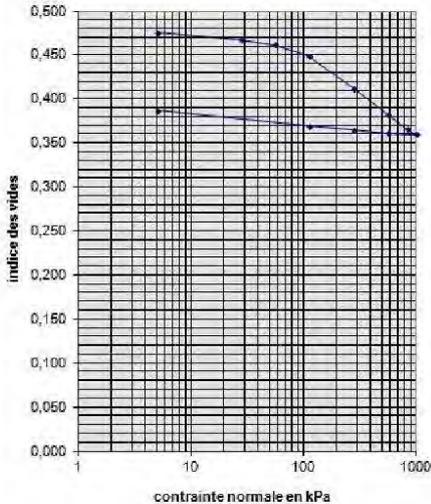
ESSAI PROCTOR			ESSAI CBR	
Densité sèche max (t/m ³)	Teneur en eau optimale (%)	γ_d (95% OPM)	w (%) de saturation	Gonflement (%)

argile	limon	sable fin	sable grossier	gravier	cailloux
--------	-------	-----------	----------------	---------	----------



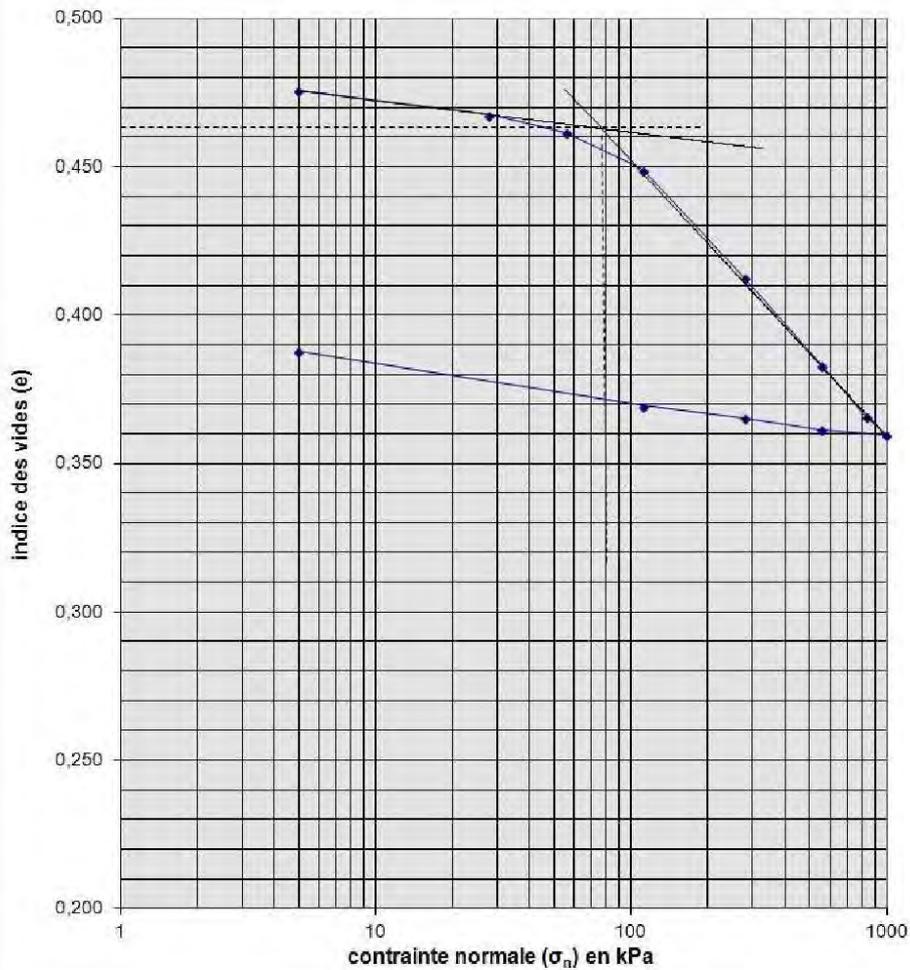
Ouv. tamis (mm)	20	12.5	10	8	5	3.15	2	1	0.5	0.25	0.125	0.08
Passants (%)	100.0	96.4	93.2	90.5	84.7	81.0	78.0	74.7	72.7	63.4	39.0	32.9

Ouv. tamis (mm)	0.073	0.053	0.039	0.025	0.018	0.013	0.009	0.006	0.004	0.002
Passants (%)										

		Procès verbal d'essai à l'oedomètre Essai de compressibilité sur sols fins saturés avec chargement par paliers Essai réalisé conformément à la norme XP 94-090-1				
PROJET ou CHANTIER :		Nature du sol : argile sableuse beige + concrétion latéritique		N° Registre :		
CWE						
SITE :		date d'arrivée au laboratoire :		N° Sondage :		
Culée vers Mbour		date des essais :		12/01/2016		
				SC4 PK23 +335		
Caractéristiques de l'éprouvette		avant l'essai		après l'essai		
				N° Echantillon :		
Diamètre : D	en mm	D ₀ =	50,47	Profondeur éprouvette (m) =		
Hauteur : H	en mm	H _i =	20	00,00 à 2,10m		
Masse volumique sèche	en Mg/m ³	γ _d =	1,82	Expérimentateur :		
Poids spécifique	en MG/m ³	γ _s =	2,68			
Teneur en eau	en %	W _f =	14,30	N° Bâti :		
Degré de saturation	en %	S _r =	#VALEUR!	2		
Date	heure (début) de palier	palier n°	σ_v (kPa)	Δh (10⁻² mm)	e	e corrigé
		1	5	0,0	0,490	0,475
		2	28	10,5	0,482	0,467
		3	56	18,5	0,476	0,461
		4	111	35,0	0,464	0,449
		5	277	83,0	0,427	0,413
		6	555	122,0	0,398	0,383
		7	830	145,0	0,381	0,366
		8	1000	153,0	0,375	0,360
		9	555	151,0	0,376	0,361
		10	277	145,8	0,380	0,365
		11	111	140,0	0,384	0,370
		12	5	116,0	0,403	0,388
courbe oedométrique					Résultats	
					Caractéristiques de compressibilité	
					Indice des vides e = 0,475 e₀ = 0,462 Contrainte effective verticale (kPa) σ'_{v0} = 19,11 Contrainte de préconsolidation (kPa) σ_p = 80 Indice de compression C_c = 0,09 Pression de gonflement (kPa) P_g = Indice de gonflement C_s =	
					Essai de cisaillement direct	
					Vitesse de cisaillement mm/mn	Cohesion en kPa [c]

PROJET ou CHANTIER :	Nature du sol :	argile sableuse beige + concrétion latéritique	N° Register :
CWE	date d'arrivée au laboratoire :		N° Sondage :
SITE :	date des essais :	12/01/2016	SC4 PK23 +333
Culée vers Mbour	Profondeur de prélév. :	= 00,00 à 2,10m	N° Echantillon :
	éprouvette (m)		

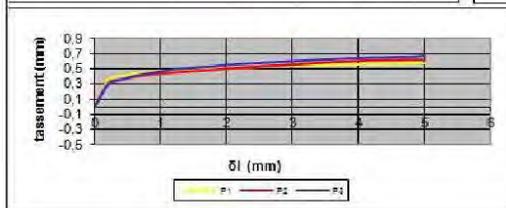
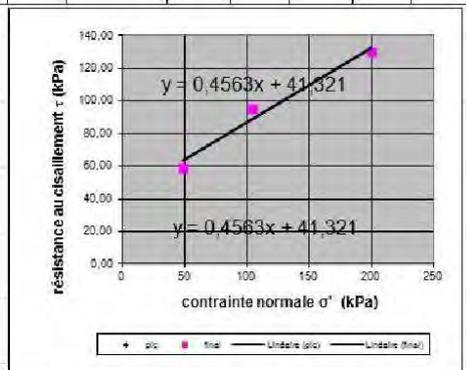
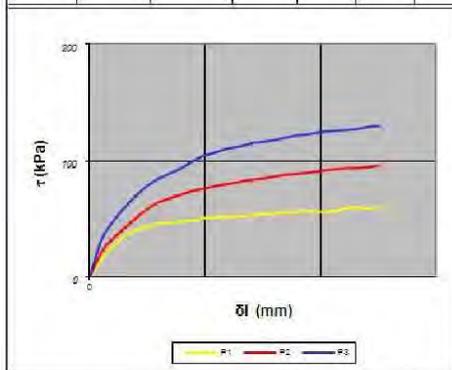
courbe oedométrique



ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE – CISAILLEMENT DIRECT

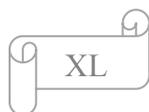
(réalisé conformément à la norme NF P 94-071-1)

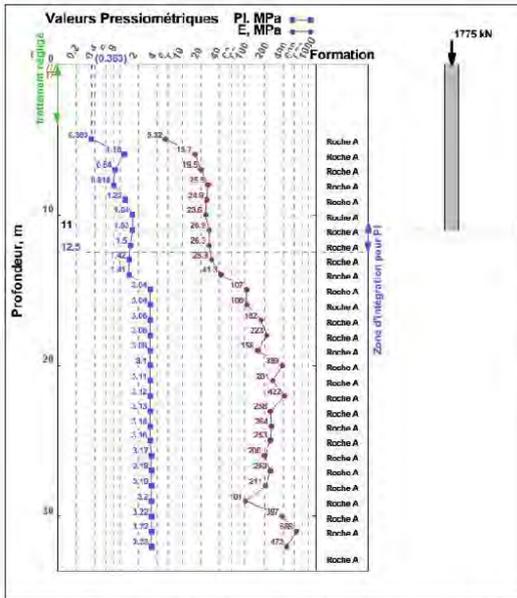
Projet / Chantier: Autoroute Thiès-Mbour		CLIENT		CWE										
Site: Culée vers Mbour		Date essai:		12/01/2016										
N° Sondage: SC4 PK23+335	Prof.: 00,00 à 2,1m	N°Registre	Vitesse de cis. = 0,5 mm/mn											
Caractéristiques de l'éprouvette				ρ_s										
Hauteur =	20 mm	Largeur, diamètre =	60 mm	mesuré =	2,700 T/m3									
N°	Avant essai					Après consolid		Après cisaillement		Paramètres de résistance au cisaillement				
	ρ_h (T/m ³)	ρ_d (T/m ³)	w (%)	e	Sr	ρ_d (T/m ³)	t_{100} (mn)	w (%)	σ' (kPa)	$\tau_{r,p}$ (kPa)	$\delta l_{r,p}$ (mm)	$\tau_{r,r}$ (kPa)	$\delta l_{r,r}$ (mm)	
1	2,11	1,770	19,3	0,5258					48,61	59,231	5	59,231	5	
2	2,15	1,805	19,3	0,4963					104,18	95,61	3,2	95,61	5	
3	2,17	1,816	19,3	0,4867					200,02	130,12	2,6	130,12	5	
4														



Résultats	cohésion (kPa)		angle frottement interne Φ (°)	
	cuu _p	cuu _r	$\Phi_{uu,p}$	$\Phi_{uu,r}$
	41,32	41,32	24,53	24,53

Annexe 7 : Notes de calcul Geofond





Pieu
 Type de pieu : Foré boue
 Module de Young E : 23000 MPa
 Prof. Base : 11 m
 Largeur B : 1 m
 Périmètre : 3.14 m ; aire : 0.785 m²
 Encastr. formation porteuse : 11 m
 Hauteur où le frottement est négligé : 4 m
 mise en oeuvre sans refoulement du sol

Charge :

	Min (MN)	Max (MN)
Q(ELS) Quasi-Permanent :		1.775
Q(ELS) Rare :		
Q(ELU) Fondamental :		2.6625
Q(ELU) Accidentel :		

Fichier : CWE_SP5_PK23+335_Prof V3

Résultats de calcul : Capacité portante
 Par la méthode du Fascicule 62
 $p_p = 1, p_s = 1$
 $Q_{su} = 2.9 \text{ MN}$ Ann. C.2.5
 $P_{le} = 1.56 \text{ MPa}$ Art. E.2.2 $k_p = 1.1$ Ann. C.3.2
 $q_u = 1.71 \text{ MPa}$ Ann. C.3.2 $Q_{pu} = 1.35 \text{ MN}$ Ann. C.2.6
 $Q_c = 2.7 \text{ MN}$ Ann. C.2.3 $Q_u = 4.24 \text{ MN}$ Ann. C.2.2
 $Q_{tc} = 2.03 \text{ MN}$ Ann. C.2.3 $Q_{tu} = 2.9 \text{ MN}$ Ann. C.2.2
 $Q_{max}(\text{ELU Fondamental}) = 3.03 \text{ MN} > 2.6625 \text{ MN}$: Cond. vérifiée
 $Q_{max}(\text{ELU Accidentel}) = 3.54 \text{ MN}$
 $Q_{max}(\text{ELS Rare}) = 2.45 \text{ MN}$
 $Q_{max}(\text{ELS Quasi Permanent}) = 1.93 \text{ MN} > 1.775 \text{ MN}$: Cond. vérifiée
 $Q_{min}(\text{ELU Fondamental}) = -2.07 \text{ MN}$
 $Q_{min}(\text{ELU Accidentel}) = -2.23 \text{ MN}$
 $Q_{min}(\text{ELS Rare}) = -1.45 \text{ MN}$
 $Q_{min}(\text{ELS Quasi Permanent}) = 0 \text{ MN}$

Résultats de calcul : Tassement
 Sous une contrainte $q_{ref} = 2.26 \text{ MPa}$
 Par la méthode de Frank & Zhao
 $q_l(1') = 1.71e+003 \text{ kPa}$
 $q_p(11) = 429 \text{ kPa}$
 $q_{u(11)} = 337 \text{ kN}$
 Tassement D = 2.3 mm

