



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Telidji- Laghouat

FACULTE : GENIE CIVIL ET ARCHITECTURE
DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

MEMOIRE DE LICENCE (VOA)

Présentée par : BENNIL Karima

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Travaux Publics

OPTION : Voies et Ouvrages d'Art

Thème

**Etude de Sol/Projet : Réalisation d'un pont à
SAHLA EST-AIN SALAH**

Soutenu le :

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mr BENGUIT Ammar	MAA	Président
Mr ANNANE Abdellah	MAA	Examineur
Mr ZIREGUE Ahmed	MCA	Encadreur
Mr MAATALLAH Ali	Ingénieur	Co-encadreur

Année Universitaire 2022-2023

REMERCIEMENT

Toute notre parfaite gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui m'a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que je remercie mes professeurs Mr. Ahmed Ziregue, Mr. Sofien et Maatallah Ali pour leurs

Soutiens, leurs conseils judicieux et leurs grandes

Bienveillances durant l'élaboration de ce Mémoire. Ainsi j'exprime mon reconnaissance à tous les membres de jury

D'avoir accepté de lire ce manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme de cet ouvrage. Enfin, à tous ceux qui m'aide de près ou de loin pour la réalisation de cette mémoire.

DEDICACE

Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents que dieu les garde et les protège.

À mes frères. À mes sœurs.

Ainsi qu'à toute ma famille et mes amis

Sommaire

REMERCIEMENTS

DICACE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GÉNÉRALE01

CHAPITRE I

I.1 Introduction de génie civil03

I.2 Définition d'ouvrage d'art.....03

I.3.Les ponts03

I.3.1 Eléments constitués d'un pont03

I.4 La géotechnique04

I.5 L'étude de la géotechnique04

I.7 Présentation de la zone d'étude05

I.8 Climatologie de la région05

I.9 Caractéristiques des granulats06

I.9.1 Coefficient d'uniformité06

I.9.2 Coefficient de courbure06

I.10 Limite d'Atterberg07

CHAPITRE II

II.1 Essai au laboratoire9

II.1.1 Analyse granulométrique9

II.1.1.2But de l'essai9

II.1.1.3Principe de l'essai10

II.1.1.3 Matériel10

II.1.1.4 Mode opératoire10

II.1.2 Limite d'Atterberg (NF P 94-051)11

II.1.2.1 Définition et but de l'essai11

II.1.2.2 Principe de la méthode	11
II.1.2.3 Equipement nécessaire	12
II.1.2.4 Conduite de l'essai	12
II.1.2.5 Préparation de l'échantillon	12
II.1.2.6 Matériel nécessaire	12
II.2 Essais mécaniques	13
II.2.1 Essai cisaillement rectiligne (UU)	13
II.2.2 But de l'essai	13
II.2.3 Principe de l'essai	13
II.2.4 Matériel	14
II.3 Essai Œdomètre	15
II.3.1 Le but	15
II.3.2 Principe	16
II.3.3 Aparailage de l'aissai	16
II.3.4 Mode opératoire	16
II.4 Essais chimiques	17
II.4.1 Essai de détermination des insolubles	17
II.4.1.1 Définition	17
II.4.1.2 Objet	17
II.4.1.3 Matériel	17
II.4.1.4 Mode opératoire	17
II.4.2 Essai de détermination du taux de carbonates d'un sol	18
II.4.2.1 Définition et but de l'essai	18
II.4.2.2 Mode opératoire	18
II.4.3 Essai de détermination des sulfates	19
II.4.3.1 Mode opératoire	19

CHAPITRE III

III.1 Présentation du projet	22
III.1.2 Aspect géologique	22
III.2 Intervention sur site	24
III.2.1 Méthode de reconnaissance	24
III.3 Caractéristique géotechnique du sol	25
III.3.1 Essai réalisé sur les sondages carottés	25
III.3.2 Conclusion sur la géologie du site	33
III.3.3 Essais mécaniques	33
III.3.4 Essai cisaillement rectiligne	33
III.3.5 Essais chimiques sommaires	39
III.4 Adaptation du projet au sol de fondation	39
III.4.1 Mode de fondation recommandé	39
III.4.2 Type de fondation	39
III.4.3 Profondeur d'ancrage	39
III.5 Calcul du taux de travail des fondations	40
III.5.1 Méthode basée sur les essais de laboratoire	40
III.5.2 Méthode basée sur le pénétromètre dynamique	41
III.6 Stabilité vis-à-vis du tassement	42
III.7 Agressivité de sol	42
Conclusion Générale.....	43

LISTE DES FIGURES

Figure II.1 : Tamis	10
FigureII.2 : Étapes de travail	11
FigureII.3 : Etat du sol en fondation de la teneur en eau	11
Figure II.4 : Appareil de casagrande	12
Figure II.5 : Principe de l'essai de cisaillement direct.	14
Figure II.6 : Schéma de la boîte de cisaillement –Exemple avec la demi-boîte inferieure mobile	14
FigureII.7 : Appareil cisaillement	15
Figure II.8 : Essai insoluble	18
Figure II.9 : Essai carbonate	18
FigureIII.1 : Carte géologique de la région d'INSALAH	22
Figure III.2: Caisse de sondage N°01	24
Figure III.3: Caisse de sondage N°02	24
FigureIII.4 :Courbe d'analyse granulometrique	25
FigureIII.5 :Courbe d'analyse granulometrique	26
Figure III.6 : Abaque de casagrande SN°1	27
Figure III.7 : Abaque de casagrande SN°2	28
Figure III.8 : Essai pénétromètre dynamique	29
Figure III.9 : Courbe résistance dynamique	32
Figure III.10 : Courbe résistance dynamique	32

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Données climatiques à In Salah (climat désertique chaud-zone saharienne hyperaride	05
Tableau I.2 L'identification du sol en fonction de l'indice de consistance	07
TableauIII.1: Coordonnées GPS des sondages et PDL	22
TableauIII.2 Analyse granulométrique	26
TableauIII.3 : Limite d'Atterberg	26
Tableau III.4: Les résultats de l'essai pénétromètre dynamique	29
TableauIII.5 : Cisaillement rectiligne(UU)	33
Tableau III.6 : Résultats d'oedomètre	38
TableauIII.7: Analyse chimique sommaire	39
TableauIII.8: Valeurs de Q adm (cas radier général)	41
TableauIII.9: Calcul de tassement	42

ملخص: إن إنجاز أي مشروع يعتمد أساسا وقبل كل شيء على دراسة التربة دراسة مفصلة. في هذه المذكرة سنتحدث عن التربة بشكل مفصل وأيضا جملة التجارب المخبرية والميدانية لمشروع بناء جسر في منطقة عين صالح. لمعرفة ما إذا كانت التربة صالحة لاستقرار المشروع ومن بين النتائج المتوصل إليها خلال الدراسة ووفقا لاختبار الأودومتري œnométrique فإن التربة قابلة للانضغاط بشكل معتدل ($C_c=0.11$) وتعتبر تربة منتفخة أما طبيعة الأساسات المناسبة للمشروع عبارة عن أساسات سطحية التربة المدروسة عدوانية فيما يتعلق بالإسمنت المقاوم للكبريتات وهو أمر ضروري لصب البنى التحتية إجهاد التربة المسموح به البالغ 2.33 بار وتقدر التسوية ب 5.18cm هذه القيمة مقبولة

كلمات مفتاحية : ميكانيك التربة. الاختبار الجيوتقني. الاسمنت المقاوم للكبريتات

Résumé : La réalisation de tout projet dépend avant tout d'une étude détaillée du sol. Dans ce travail, nous parlerons en détail du sol, ainsi que des expériences réalisées en laboratoire et sur le terrain du projet de construction d'un pont dans la région d'Ain Saleh. Pour savoir si le sol est apte à porter cet ouvrage, parmi les résultats atteints lors de l'étude, selon le test œnométrique, le sol est moyennement compressible ($C_c = 0,11$). Il est considéré comme un sol gonflé

Quant à la nature des fondations adaptées au projet, il s'agit de fondations superficielles Le sol étudié est agressif vis-à-vis du ciment résistant aux sulfates nécessaire au coulage des sous-structures.

La contrainte de sol admissible est de 2,33bar et le tassement est estimé à 5,18cm. Cette valeur est acceptable.

Mots clés : Mécanique des sols. Essais géotechniques. Ciment résistant aux sulfates

Abstract: The completion of any project depends primarily and above all on a detailed study of the soil.

In this note, we will talk about the soil in detail, as well as the laboratory and field experiences of the project to build a bridge in the Ain Saleh area.

To find out if the soil is suitable for project stability, and among the results reached during the study, according to the oedométrique test, the soil is moderately compressible ($C_c = 0.11$). It is considered swollen soil

As for the nature of the foundations suitable for the project, they are superficial foundations; the studied soil is aggressive in relation to sulphate-resistant cement which is necessary for pouring substructures.

The permissible soil stress is 2.33bar and the settlement is estimated at 5.18cm This value is acceptable.

Key words: Geotechnical, testing soil mechanics, sulphate-resistant cement

Introduction Générale

L'étude de toutes ouvrages en génie civil, travaux public ou hydraulique se compose deux parties ; la superstructure et l'infrastructure. Ce qui concerne l'infrastructure qui est en relation avec le sol d'assise nécessite des données de ce terrain recevant cette infrastructure ; ces données sont la récolte d'une science nommés la mécanique des sols ou Meca-sols.

La Meca-sols ou l'étude géotechnique est une science qui permet l'étude de sols recevant les fondations d'un ouvrage et l'interaction sol et fondations. Cette science nous permet de récolter des données de différents paramètres de sol afin de les exploités dans le calcul de l'infrastructure de l'ouvrage En plus la détermination de la nature du sol. Cette science utilise les méthodes directes sur site et indirectes au laboratoire. Il comprend toutes les techniques de directes sur site et indirecte au laboratoire. Il comprend toutes les techniques de traitement des sols et d'excavation, les contraintes et difficultés existantes doivent être prises en compte et la plupart des informations sur le site doivent être obtenues à différents niveaux, selon le type et l'importance du projet.

Le sujet de notre projet qui est la réalisation d'un mur de soutènement est l'étude de sol est indispensable avant d'entamé toute études techniques de structure de notre mur de soutènement

CHAPITRE I

GENERALITÉS SUR LE GÉNIE CIVIL

I. Introduction au génie civil

Le génie civil est la somme des connaissances et des techniques associées à la conception, à l'application et à l'emploi de toutes les méthodes, équipements et moyens se rapportant au domaine de la construction.

C'est l'une des disciplines d'ingénierie qui travaille sur le principe de la conception, de la construction et de l'entretien et comprend avec elle les travaux de routes, de ponts, de voies ferrées, de canaux, d'assainissement, la construction de barrages et d'aéroports, et la construction de divers bâtiments. L'ingénierie peut être classée selon ses sous-disciplines ou selon les domaines de travail de la spécialisation en ingénierie civil. Le génie civil comprend les équipements de construction et les équipements de travaux publics, car les équipements de travaux publics sont un secteur stratégique et sensible du développement économique, car ce secteur a permis aux pays de se développer et d'établir effectivement des relations entre eux.

I.2 Définition d'ouvrage d'art

Pour élaborer des routes, on rencontre différents obstacles tels que les oueds ou rivières, les montagnes, les chemins de fer et les autres routes.

Pour les franchir, on construit des ouvrages artificiels, qui portent le nom : Ouvrages d'art. Ce terme est composé de deux mots : AE « Ouvrages » indiquant les constructions, AE « Art » indiquant l'importance de l'aspect esthétique et architectural dans ces constructions.

Exemples : ponts, Tunnels, Buses, Dalots. [1]

I.3 Les ponts : un pont est un ouvrage en élévation, construit in situ, permettant à une voie de circulation (dite voie portée) de franchir un obstacle naturel : rivière, vallée, ou artificiel : route, voie ferrée, canal..... [2]

La voie portée peut être :

- Une voie routière (pont-route),
- Piétonne (passerelle),
- Ferroviaire (pont-rail)
- Une voie d'eau (pont-canal)

I.3.1 Eléments constitués d'un pont :

Le pont est constitué essentiellement de 2 parties principales :

- Le tablier
- Les appuis. [5]

I.4. La géotechnique

La géotechnique fait appel aux techniques du génie civil, qu'elle applique à l'étude du sol et de la roche, c'est-à-dire aux matériaux naturels qui constituent l'écorce terrestre. Pour l'ingénieur, le sol se définit comme un agrégat peu compact, composé de minéraux, de matières organiques et de sédiments que l'on retrouve au-dessus du substrat rocheux. Les sols peuvent être fractionnés assez facilement en particules organiques ou minérales, contrairement à la roche, dont les grains minéraux sont retenus par une force cohésive et moléculaire très importante.

Aucune structure ne peut être conçue ou réalisée sans que l'on ait procédé, à un moment ou l'autre, à l'étude du sol ou de la roche de fondation et ce, que la structure soit érigée à la surface du sol ou dans le sol. La solidité, le coût et la performance d'une structure dépendent en grande partie de sa fondation.

L'énumération des principaux problèmes auxquels le géotechnicien doit faire face permet de se rendre compte de la grande étendue du domaine et aussi de son importance dans la conception et dans la réalisation de structures de tout genre. On peut dire de la géotechnique qu'elle allie les sciences physiques de base telles que la géologie et la pédologie, appliquées à l'hydraulique, aux techniques de construction et de bâtiment, à la construction routière et au génie minier. [3]

I.5. L'étude de la géotechnique

Démarche suggérée

A cause de la nature même du sol et de la roche, on utilise beaucoup, en géotechnique, les essais en laboratoire et sur le terrain. La meilleure façon de bien comprendre le comportement du sol et de la roche consiste à effectuer, sur plusieurs échantillons différents, les essais courants de classification et d'identification des propriétés mécaniques. Après plusieurs essais, on peut dire, de tel type de sol ou de roche, à quoi il ressemble, comment il devrait réagir, la quantité d'eau qu'il contient, quel sera son comportement sous l'effet d'une charge et quel devrait être l'ordre de grandeur des résultats de différents essais. Par la suite, à la seule vue d'un dépôt de sol ou de roche, l'ingénieur aura déjà une idée des problèmes qui risquent de se poser à cet endroit précis. Cette démarche permet également de juger de la valeur, du moins qualitative, des résultats d'essais en laboratoire et sur le terrain pour ce genre de matériau. Les deux types d'essais contribuent donc également à développer une certaine « intuition ». Bien entendu, en géotechnique comme dans tout autre domaine, on ne pourra jamais se passer complètement des données théoriques, empiriques et conceptuelles. [3]

I.7 Présentation de la zone d'étude

Ain Salah est une ville du Sud Algérien au cœur du Sahara. Elle est devenue wilaya déléguée en 2016 et wilaya en 2019.

In Salah culminant à 265 mètres d'altitude, est située dans le Centre du Sahara algérien, le plus vaste désert du monde, dans la dépression du Tidikelt, Elle est distante d'ALGER de 1300 km.

In Salah est desservie par un aéroport situé à 7 km au nord-est de la ville. [11]

I.8 Climatologie de la région

AIN SALAH a un climat désertique chaud typique du Sahara avec des étés très longs et extrêmement chauds et des hivers courts et modérément chauds. Le climat y est largement hyperaride et extrêmement sec toute l'année puisque les précipitations annuelles moyennes sont environ de 16mm. La sécheresse y est encore plus accentuée durant l'été où l'on enregistre 0 mm de précipitations entre mai et septembre. A des occasions exceptionnelles, des orages violents peuvent se produire à cause de masses d'air plus frais venant du Nord qui rencontre les masses d'air brûlant venues directement du désert surchauffé pendant la journée. En été, la chaleur est extrême et prend un caractère persistant : les températures moyennes maximales sont supérieures à 46 °C en juillet (le mois le plus chaud) mais tournent plutôt autour de 50 °C entre juin et septembre. Les températures sont très agréables et élevées en hiver mais seulement la journée car dans les étendues désertiques, il n'y a rien pour retenir la chaleur et températures minimales moyennes avoisinent 7 °C. Le ciel est dégagé et clair toute l'année et les journées couvertes restent très rares, si existantes. De ce fait, l'irradiation solaire figure parmi les plus élevées au monde et la durée d'ensoleillement annuelle y est estimée entre 3 700 et 4 000 h. La température moyenne journalière annuelle avoisine 26 °C à In Salah. L'humidité relative y est exceptionnellement faible toute l'année avec une moyenne annuelle d'environ 27 %, et particulièrement en saison chaude où le degré hygrométrique de l'air descend souvent en-dessous de 5 %. [11]

Tableau I.1 : Données climatiques à In Salah (climat désertique chaud-zone saharienne hyper-aride)

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	7,2	9,6	14,2	18,1	23,3	27,5	30,6	30,2	26,7	21,3	13,1	8,9	19,28
Température moyenne (°C)	14,7	17,2	22,4	26,6	31,4	35,7	38,5	37,8	34,3	28,8	20,6	16	27,05
Température maximale moyenne (°C)	22,2	24,9	30,5	35,2	39,6	43,8	46,4	45,3	41,9	36,2	28	23,2	34,83
Précipitations (mm)	3,1	0	6,2	9	3,1	3	0	3,1	3	3,1	0	0	14,1
Humidité relative (%)	41,3	35	27,2	22,8	17,9	13,1	11,9	12,4	16,2	23,5	30,9	41,9	24,51

Source : Climatologie globale à In Salah (2000-2015)⁴.

I.9 Caractéristiques des granulats

I.9.1 Classification granulaire

Les granulats sont classés par calibre moyennant des tamis à mailles carrées ou des passoires à trous ronds, dont les dimensions sont exprimées en millimètres. La classification est faite par analyse granulométrique par tamisage à sec ou sous l'eau (humide) sur une série de tamis ou de passoires posés d'une façon décroissante du haut au bas, selon la norme Française EN 933-1 :2012

Les granulats dont les dimensions s'étalent entre un petit diamètre D sont désignés par le terme granulat d/D ou la classe granulaire d/D . les granulats sont classés selon la norme Française NF P 18-101 comme suit : [4]

- **Filler 0/D** : $D \leq 0.08$ mm.
- **Sable 0/D** : $D \leq 6.3$ mm.
- **Gravillons d/D** : $d \geq 2$ mm et $D \leq 80$ mm
- **Cailloux d/D** : $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm
- **Grave 0/D** : 6.3 mm $< D \leq 80$ mm
- **Ballast** : $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm

I.9.2 Coefficient d'uniformité [5]

Le coefficient d'uniformité, appelé encore coefficient d'hazen C_u est le rapport du diamètre de la passoire (ou tamis) D_{60} à travers le quel passe 60% du sol, au diamètre de la passoire D_{10} à travers le quel passe 10% :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots\dots\dots I.1$$

- Si $C_u < 2$ la granularité est dite uniforme.
- Si $C_u > 2$ la granularité est dite étalée, variée.

I.9.3 Coefficient de courbure [5]

le coefficient de courbure C_C est le rapport du carrée du diamètre de la passoire (ou tamis) D_{30} à travers le quel passe 30% du sol, au produit des diamètres D_{60} et D_{10} :

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{60}D_{10}} \dots\dots\dots I.2$$

Si $C_C = 1$ la granularité est dite uniforme.

Si $2 < C_U < 3$ la granularité est dit étalée

Si $3 < C_u < 15$ la granularité est dite très étalée

Si $C_u > 15$ la granularité est dite plus étalée

I.10 Limite d'Atterberg

L'eau joue un rôle majeur dans le cas d'un sol meuble, sur les propriétés physiques du sol, car elle se situe entre un sol solide et un sol liquide, et cela dépend du pourcentage de la quantité d'eau. Principalement sur la teneur en eau (%W) et les limites de résistance, et ainsi possible de distinguer trois cas.

- L'état de liquidité dans lequel les particules de sol ne sont ni cohésives ni liées entre, et c'est ce qui facilite leur mouvement, elles se comportent donc comme des liquides, et leur résistance au cisaillement est faible au point de les négliger.
- Etat de plasticité : il est coulant sur les zones planes, il n'a pas une plus grande résistance, mais sous une faible force, il s'étale sans se casser.
- Etat solide : Dans ce cas, la forme du sol ne peut pas être modifiée, et on distingue deux cas
 - Etat solide avec retrait.
 - Etat solide sans retrait.

Le scientifique suédois a proposé de définir ces limites liés au pourcentage de la quantité d'eau :

Limite de liquidité W_L : C'est le passage de l'état liquide à l'état plastique;

Limite de plasticité W_P : C'est le passage de l'état plastique à l'état solide ;

Le terme de contraction de de l'état solide sans contraction.

Tableau I.2 L'identification du sol en fonction de I_c l'indice de consistance

Consistance du Sol	I_c	Identification en place
Liquide	$I_c < 0$	On peut facilement enfoncer le doigt sur plusieurs cm
Très Molle	0 à 0.25	Le pouce s'enfonce facilement sur plusieurs cm
Molle	0.25 à 0.5	Le pouce peut être enfoncé sur plusieurs cm avec un effort modéré.
Ferme	0.5 à 0.75	Empreinte avec le pouce, mais pénétration seulement avec un grand effort.
Très ferme	0.75 à 1	Facile à rayer avec l'ongle du pouce
Dure	$I_c > 1$	Difficile à rayer avec l'ongle du pouce.

CHAPITRE II

METHODES EXPERIMENTALES

II.1 Essais au laboratoire

Les essais de laboratoire ont pour but de déterminer les paramètres physique et mécanique du sol en vue d'estimer son état naturel. Les échantillons prélevés à partir (puits de reconnaissance, sondage carotté) ont été acheminés au laboratoire en vue de subir les essais suivant

II.1.1 Analyse granulométrique

Selon la norme **NFP 94-056** l'analyse granulométrique a pour objet la classification des granulats d'après les dimensions de leurs grains à l'aide d'une série de tamis normalisés à mailles carrés ou circulaires (passoires). En ce qui concerne les éléments inférieurs à 0.08mm, on procède à l'analyse par sédimentométrie. [6]

Les résultats sont exprimés sous forme d'une courbe granulométrique. Cette courbe contribue à l'identification du matériau et permet de prévoir certaines de ses propriétés. Elle est utilisée pour la classification des sols grenus, qui nécessite le calcul de deux coefficients :

- **Coefficient d'uniformité** : il est noté par C_u tel que

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots \dots \dots (II.1)$$

D_{60} est le diamètre du tamis qui laisse passer 60% de l'échantillon.

D_{10} est le diamètre du tamis qui laisse passer 10% de l'échantillon.

- **Coefficient de courbure** : Il est noté par C_c tel que :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60} \times D_{10})} \dots \dots \dots (II.2)$$

D_{30} est le diamètre du tamis qui laisse passer 30% de l'échantillon.

Pour

$C_u > 5$: La granulométrie est dite étalée (continue).

$C_u < 2$: La granulométrie est dite étroite (uniforme).

Pour un sol bien gradué : $C_u > 5$ et $1 < C_c < 3$ [10]

II.1.1.2 But de l'essai :

- Déterminer les dimensions des grains
- Déterminer les proportions de grains de même dimension
- Le bien utilisé des matériels dans laboratoire

II.1.1.3 Principe de l'essai :

La granulométrie ou analyse granulométrique consiste à fractionner des granulats au moyen d'une colonne de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissantes du haut vers le bas entre 80 mm et 0,063mm.

On appelle tamisât ou passant l'ensemble des grains qui passent à travers le tamis et refus l'ensemble des grains qui sont retenus sur le tamis.

- Etuve
- Balance
- Série de tamis

II.1.1.4 Mode opératoire :

1. Déterminer la prise d'essai « M » Selon $D_{\max}$
 - Si $D_{\max} > 4$: $M = \left(\frac{D_{\max}}{10}\right)^2 \text{Kg}$
 - Si $D_{\max} \leq 4$: $M = 200 \text{Kg}$
2. Sécher la prise d'essai
 - A $110 \pm 5^\circ\text{C}$ pour les matériaux non sensibles à la chaleur
3. Assurer que la mass constante « M »
 - La durée entre deux pesées successive (M_i et M_{i+1}) est au minimum 1 h
 - $R = (M_i - M_{i+1}) / M_i \times 100 < 0,1\%$
4. Après avoir préparé l'échantillon et connu son poids. préparons une série de tamis disposés par ordre décroissant.
5. Vider l'échantillon sur une série de tamis.
6. Agiter les tamis manuellement ou à l'aide d'un vibreur mécanique.
7. Nous pesons les rejets à chaque fois.



Figure II.1 : Tamis



Figure II.2 : étapes de travail

II.1.2 Limite d'Atterberg (NFP 94-051)

II.1.2.1 Définition et but de l'essai

Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état.

C'est un essai qui permet de déterminer la limite de liquidité et la limite de plasticité d'un sol, et de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau.

Notons que cet essai se fait uniquement sur les éléments fins du sol et il consiste à faire varier la teneur en eau de l'élément en observant sa consistance, ce qui nous permet de faire une classification du sol. Cet essai est réalisé sur la partie de sol passant au tamis de 400 μ m.

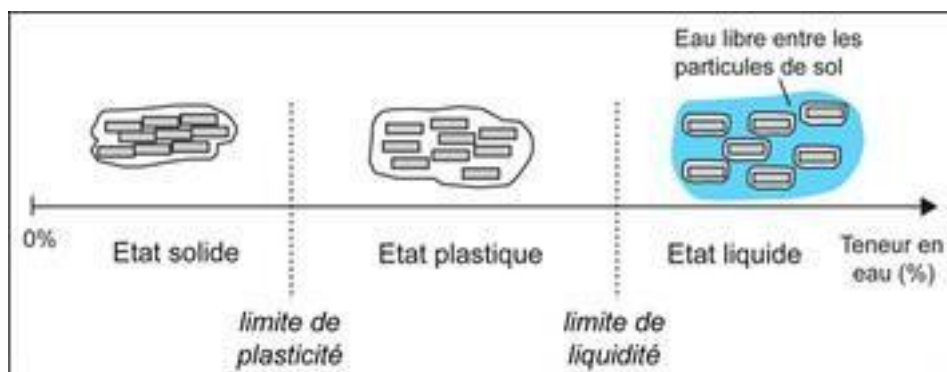


Figure II.3 : Etat du sol en fonction de la teneur en eau [5]

II.1.2.2 Principe de la méthode :

L'essai s'effectue en deux phases :

Recherche de la limite de liquidité à l'aide de l'appareil de Casagrande ou le cône de pénétration.

Recherche de la limite de plasticité par formation de rouleaux de 3 mm de diamètre.

II.1.2.3 Equipement nécessaire

Pour la préparation du sol :

- ☐ Tamis à mailles carrées de 0.4 mm d'ouverture,
- ☐ Bac de manutention (30 x 20 x 8 cm).
- ☐ Récipient de 2 l. [5]

II.1.2.4 Conduite de l'essai

II.1.2.5 Préparation de l'échantillon

1. prendre un échantillon représentatif du sol et le mettre à imbiber dans un récipient plein d'eau pendant 24 heures.
2. Tamiser ce matériau imbibé par voie humide sur un tamis de 0.4 mm, l'ensemble du tamisât des eaux de lavage étant ensuite décanté pendant 12 heures.
3. L'eau claire surnageant est siphonnée en prenant garde de ne pas entraîner de particules solides fines, l'eau excédentaire étant évaporée à l'étuve à 50 °C jusqu'à obtenir un mortier mou.

L'échantillon ainsi préparé doit contenir environ 200 g de particules solides. [5]

II.1.2.6 Matériel nécessaire :



Figure II.4 : Appareil de Casagrande [5]

II.2 Essais mécaniques (norme NFP 94-071-1)

II.2.1 Essai cisaillement rectiligne (UU)

Dans toute étude géotechnique, on doit déterminer les caractéristiques de cisaillement (c, φ) qui permettant de calculer le coefficient de sécurité pour la stabilité de terrain étudié ces caractéristiques peuvent être déduire des essais suivante :

- Pour les calculs à court terme, on utilise les essais de type UU ou CU (essai non drainé) qui nous donne les valeurs C_u et φ_u ;
- Pour les calculs à long terme, on utilise les essais de type CD (essai drainé) qui nous donne les valeurs C' et φ . [8]

II.2.2 But de l'essai

La conception des différents ouvrages (talus, soutènement, fondations) est influencée par la résistance au cisaillement des terrains. Cette conception doit conduire à éviter les ruptures ou les déformations trop importantes lorsque les ouvrages sont soumis à des charges maximales. Il est donc important de connaître la résistance ultime ou limite des terrains.

L'essai de cisaillement permet de tracer la courbe intrinsèque du sol étudié, et de déterminer ces paramètres de résistance au cisaillement, l'angle de frottement interne φ et la cohésion C . [8]

II.2.3 Principe de l'essai

L'échantillon de sol à étudier est placé entre deux demi-boîtes qui peuvent se déplacer horizontalement l'une par rapport à l'autre.

L'essai consiste à appliquer une charge verticale constante N par l'intermédiaire d'un piston. Puis on tire horizontalement la demi-boîte inférieure par une vitesse constante jusqu'à la rupture complète de l'échantillon. La force totale de cisaillement T est mesurée à l'aide d'un anneau dynamométrique fixé à la demi-boîte supérieure. On mesure les déplacements horizontaux Δl et verticaux Δh .

L'échantillon subit donc un cisaillement direct et rectiligne suivant un plan imposé sur lequel on exerce une contrainte normale déterminée.

La détermination de τ et σ lors de la rupture permet de préciser un point de la courbe intrinsèque du sol étudié. En réalisant plusieurs essais avec différentes valeurs de contraintes verticales, on peut déterminer le critère de rupture de Mohr-Coulomb et définir ses valeurs de cohésion c et d'angle de frottement φ . [8]

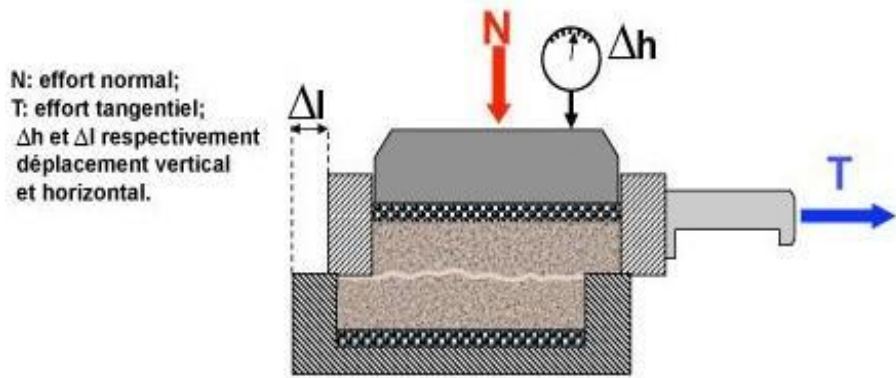


Figure II.5 : Principe de l'essai de cisaillement direct [8].

II.2.4 Matériel:

L'appareillage spécifique à l'essai comprend (voir figure 4) :

- le bâti,
- la boîte de cisaillement,
- le dispositif d'application de l'effort normal sur l'éprouvette,
- le dispositif produisant le déplacement relatif horizontal entre les deux demi-boîtes,
- le système de mesurage des efforts, des déplacements et du temps,
- série de poids,
- balance précise au 1/100 g.

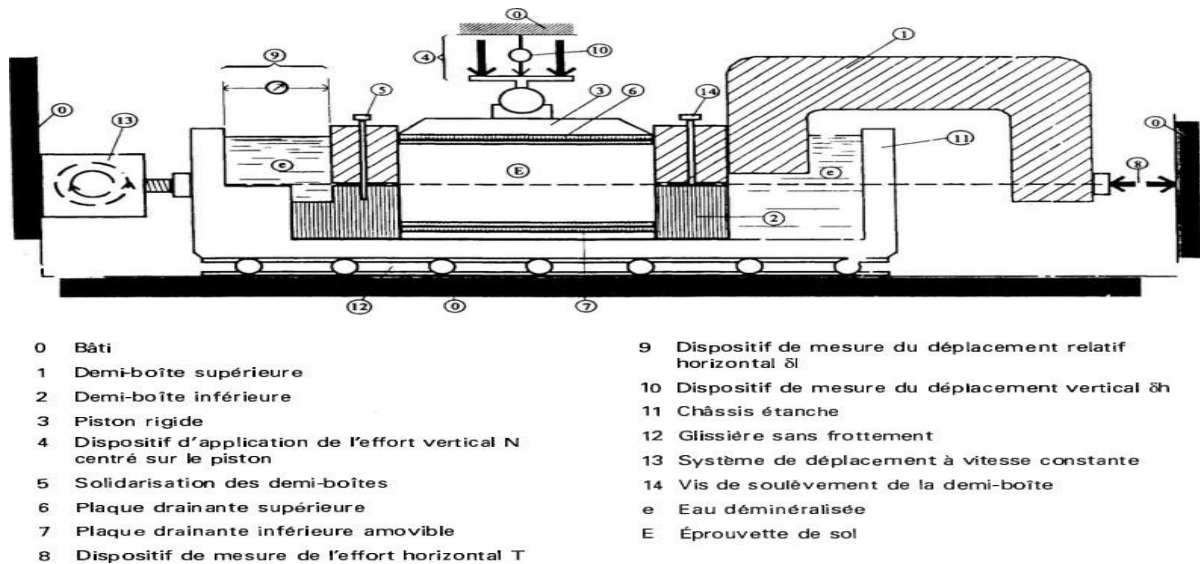


Figure II.6 : Schéma de la boîte de cisaillement –Exemple avec la demi-boîte inférieure mobile [8].



Figure II.7 : Appareil cisaillement

II.3 Essai Œdométrique (XPP 94-090-1)

L'essai œdométrique permet de mesurer le tassement au cours du temps d'une éprouvette cylindrique (intacte) type galette placée dans une enceinte sans déformation latérale possible au fur et à mesure de l'application de différentes charges verticales constantes.

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.

Cet essai permet d'établir, pour un échantillon donné, deux types de courbes :

- les courbes de consolidation, qui donnent le tassement de l'échantillon en fonction du temps sous application d'une contrainte constante.
- la courbe de compressibilité, qui indique le tassement total en fonction du logarithme de la contrainte appliquée (les courbes sont jointes en annexe). [9]

II.3.1 Le but

Pour évaluer les tassements d'un sol sous le poids d'une charge (fondation, remblai, etc.), il est nécessaire de connaître certaines caractéristiques du sol qui sont déterminées à l'aide de l'essai de compressibilité à l'œdomètre. Cet essai permet de prévoir l'amplitude des tassements des sols ainsi que leur évolution dans le temps sous une charge donnée en fournissant les caractéristiques du sol suivantes :

- L'indice de compression C_c
- L'indice de gonflement C_s

Chapitre II : Méthodes Expérimentales

- La contrainte de pré-consolidation du sol σ'_p
- Le module œdométrique E_{oed}
- Le coefficient de consolidation C_v
- La connaissance de ces trois grandeurs C_c , σ'_p et e_0 permet de calculer le tassement ΔH à long terme (ou drainé) d'une couche d'épaisseur H produit par une charge déterminée. [9]

II.3.2 Principe :

Cet essai a pour objet d'étudier la consolidation d'une éprouvette de sol saturée intact ou remanié, soumise à des charges verticales, drainée en haut et en bas et maintenues latéralement par une paroi rigide. Les variations de hauteur de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai en fonction de la durée d'application de la charge. [9]

II.3.3 Appareillage de l'essai

- Bâti de consolidation, supporte la cellule œnométrique, comportant un levier qui transmet les charges avec un rapport de 10.
- Cellule œnométrique comporte les éléments suivants :
 - Une bague œnométrique cylindrique rigide qui reçoit l'éprouvette.
 - Un piston permette de répartir l'effort appliqué sur l'éprouvette.
 - Deux pierres poreuses avec le papier filtrent. Ce dernier sert à protéger les pierres du colmatage dû aux grains fins.
- Série de poids.
- Comparateur au 1/100 mm
- Chronomètre.
- Balance précise au 1/100 g.

II.3.4 Mode opératoire

- a) Extraction de l'échantillon de son étui.
 - * Repérer le haut et le bas de la carotte (avant extraction)
 - * Exclure le bas et le haut systématiquement.
 - * Découper un cylindre ayant 2 fois à 4 fois la hauteur de l'éprouvette et commencer la taille.
- b) Forme de l'éprouvette
 - * IL s'agit d'obtenir une éprouvette non perturbée par le découpage
 - * Cylindrique aux dimensions exactes du moule.
 - * Les deux faces bien planes et parallèles.
- c) Dimensions de l'éprouvette $D=75\text{mm}$; $D=50\text{mm}$ (selon le diamètre a la carotte).
 - * Mise en place de l'éprouvette.
 - * Saturation de l'éprouvette.
 - * Chargement et déchargement de l'éprouvette.
 - * Calculs et résultats (graphique + détermination des paramètres) [11]

II.4 Essais chimiques

II.4.1 Essai de détermination des insolubles (norme NFP 15-461)

II.4.1.1 Définition :

Les insolubles sont les silicates: corps insolubles dans l'acide chlorhydrique.

II.4.1.2 Objet :

La présente norme a pour objet de définir les conditions d'exécution de l'essai chimique pour la détermination du taux d'insolubles.

Les solutions :

- Hcl
- NaoH
- Phénolphtaléine
- Bacl

II.4.1.3 Matériels :

- Balance
- Les cresets
- Les verreries
- Four a moufle 1100 Volume 06 Litres
- Plaque chauffante
- Agitateur Magnetique chauffant
- PH METRE

II.4.1.3 Mode opératoire :

1. Opérer sur 2 g d'échantillon.
2. Dans un bécher de 250 ml, délayer la prise d'essai avec 10 ml d'eau froide;
3. Ajouter en remuant constamment 25 ml d'un mélange à volumes égaux d'acide chlorhydrique ($d= 1.19$) et d'eau;
4. Chauffer rapidement pendant quelques instants jusqu'à ce que le liquide soit juste jaune clair;
5. Filtrer immédiatement la liqueur chaude sur filtre sans cendres;
6. Laver à l'eau bouillante jusqu'à disparition des ions Cl^- ;
7. Réserver le filtrat qui servira à la détermination de la teneur des ions SO_4^{2-} ;
8. Mettre le filtre et son contenu dans une capsule de 250 ml et recouvrir avec 100 ml de solution Na_2CO_3 à 5%;
9. Faire bouillir pendant un quart d'heure puis filtrer;
10. Laver à l'eau bouillante puis avec HCl à 1/2, enfin avec de l'eau distillée;
11. Calciner et peser. [11]



Figure II 8 : Essai Insolubles

II.4.2 Essai de détermination du taux de carbonates d'un sol (norme NFP 15-461)

II.4.2.1 Définition et but de l'essai : On détermine le taux de carbonates d'un sol pour déterminer le taux de calcaire. Une teneur en carbonate élevée signifie une faible teneur en minéraux argileux et généralement indique une résistance au cisaillement relativement élevée.

II.4.2.2 Mode opératoire :

On applique sur l'échantillon de sol un excès d'acide chlorhydrique et l'excès est dosé en retour par une solution d'hydroxyde de sodium d'où on détermine exactement le taux de carbonates existant dans le sol. [11]



Figure II 9 : Essai Carbonate

Chapitre II : Méthodes Expérimentales

II.4.3 Essai de détermination des Sulfates (norme bs 1377)

II.4.3.1 Mode opératoire

Les sulfates solubles dans l'eau, généralement trouvés dans les sols, sont le sulfate de sodium Na_2SO_4 et le sulfate de magnésium MgSO_4 . Le sulfate de calcium CaSO_4 , communément trouvé sous forme de gypse, est faiblement soluble dans l'eau mais il est promptement soluble dans l'acide chlorhydrique dilué. Le traitement à l'acide chlorhydrique est ainsi nécessaire si la quantité totale des sulfates est exigée.

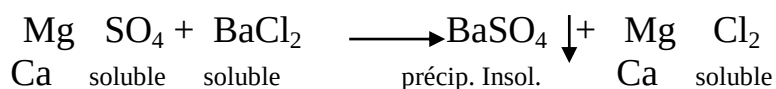
Les solubilités maximales approximatives dans l'eau des 3 sels mentionnés, exprimées en terme SO_3 par litre à environ 20°C , sont les suivantes:

Sulfate de sodium: 240 g/l

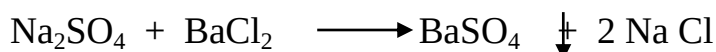
Sulfate de magnésium : 180 g/l

Sulfate de calcium : 1.2 g/l

Dans les méthodes gravimétriques décrites au 1.6.5, les sulfates dissous sont précipités sous forme de sulfate de baryum insoluble comme résultat d'une réaction avec le chlorure de baryum dans des conditions légèrement acides. La réaction chimique avec le sulfate de magnésium et le sulfate de calcium peut être représentée par l'équation:



La réaction est similaire avec le sulfate de sodium, mais l'équation est:



Le précipité de sulfate de baryum est filtré, séché et posé. A partir des masses atomiques, le pourcentage équivalent de SO_3 dans l'échantillon original est calculé :

Masse moléculaire du sulfate de baryum BaSO_4 :

Elément	Masse atomique (approx)	Nombre d'atome	
Ba	137	X1	=137
S	32	X1	= 39
O	16	X4	=64
Masse de SO_3		Masse moléculaire	
233			
S	32	X1	= 32
O	16	X3	= 48
		Masse SO_2 80	

Chapitre II : Méthodes Expérimentales

Ainsi la masse de SO_3 sera de $80 / 233 = 0.343$ fois la masse du sulfate de baryum précipité. Si la masse du précipité est m_4 et la masse du sol utilisé est m_3 , le % de SO_3 dans le sol utilisé est donné par:

$$(m_4 / m_3) \times 0.343 \times 100 \% = 34.3 \times (m_4 / m_3)$$

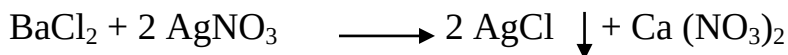
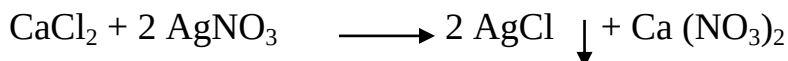
Si la masse m_3 n'était pas prise de l'échantillon original, mais de la fraction des passants à 2mm, le % calculé doit être multiplié par m_2 / m_1 pour le convertir en % de l'échantillon original, où m_1 = masse de l'échantillon avant tamisage, et m_2 = masse de l'échantillon passant au tamis de 2 mm.

Il est d'usage d'exprimer les sulfates en SO_3 . Le BRE DIGEST 174 (1975) et d'autres références qui donnent des conseils pratiques pour la mise en œuvre du béton dans les sols où les sulfates sont présents, basent leurs recommandations sur l'ion SO_3 .

L'addition de l'eau de brome durant l'étape de l'extraction de l'acide oxyde quelques éléments métalliques qui peuvent être présents et qui peuvent d'une certaine manière contaminer le sulfate de baryum.

Les oxydes sont insolubles dans une solution alcaline, et l'addition de l'ammoniac les fait précipiter, ainsi ils peuvent être enlevés avant la réaction avec le chlorure de baryum.

Durant la filtration finale, la présence de chlorure soluble restant est indiquée par la turbidité quand une goutte de l'eau de lavage est testée avec une solution de nitrate d'argent.



Le lavage doit continuer jusqu'à ce qu'il n'y ait pas de turbidité.

-Sécher, incinérer, calciner à 900°C pendant 15 minutes, passer au dessiccateur et peser: m_4 . [11]

CHAPITRE III

LES ESSAIS EXPÉRIMENTAL

III.1 Présentation du projet

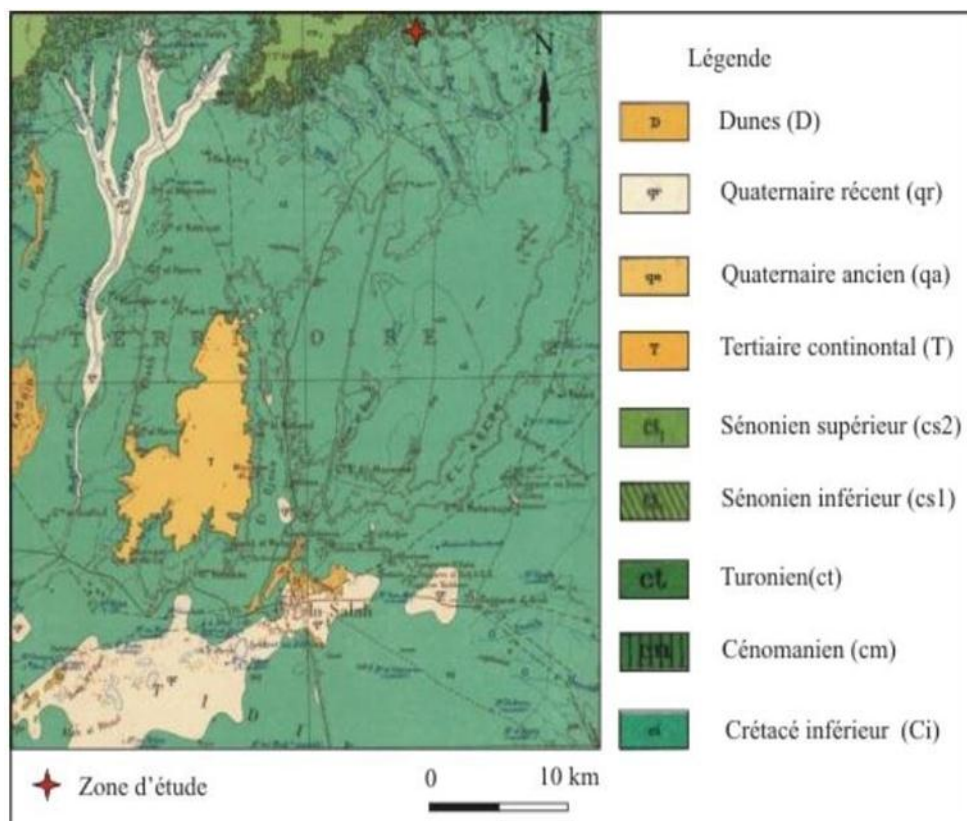
III.1 Nature et localisation du Projet

Le projet en question est un Pont qui sera réalisée à SAHLA EST sur le côté gauche de la route menant vers FOGARET ZOUA derrière le stade de matico de la localité d'ESAHLA EST. [11]

TableauIII.1: coordonnées GPS des sondages et PDL

N° Sondage ou PDL	X	Y
Sondage 01	0453803	3017365
Sondage 02	0453833	3017368
PDL 01	0453813	3017359
PDL 02	0453823	3017349
PDL3	0453833	3017360
PDL 04	0453845	3017362

III.1.2 Aspect géologique



FigureIII.1: Carte géologique de la région d'INS ALAH

La région d'In-Salah est caractérisée par des dépôts Quaternaire, constitué de sable de dune, dépôts de sel, Sebkha, dépôts alluvionnaires et des monticules d'argiles. Ces formations reposent sur le Secondaire (Continental intercalaire) constitué d'alternance de grès variés et d'argiles versicolores.

Le Tertiaire étant la plupart du temps absent et n'apparaît qu'au Nord de la région d'In-Salah, constitué essentiellement de dépôts lacustres variés, croûte calcaire est des sable. Pour la mémoire nous donne l'aperçue géologique ci-dessous :

Le Secondaire :

Crétacé Supérieur : constitué essentiellement de calcaires marin, ces formations surmontent les argiles versicolores à filons de gypse, des marnes vertes et des calcaires dolomitiques.

Crétacé inférieur : C'est la période géologique qui a recouvert les 2/3 de la région d'In-Salah. Il s'agit du continental intercalaire caractérisé par l'importance frappante des apports détritiques indiquant une véritable transgression à matériel terrigène qui s'étend sur le sahara cachant les formations Précambrienne. Il s'agit essentiellement de:

- Argiles rouges bariolées à passées grossièrement détritiques,
- Grés tendres grossiers souvent à ciment calcaire ;
- Grés en bancs massifs à stratification oblique entre croisée ;
- Grés variés en alternance avec des marnes et des argiles.

Le Tertiaire :

Constitué essentiellement de :

- Croûte calcaire et curasse férigineuse ;
- Dépôts lacustres variés ;
- Sable et gravier à stratification oblique. [11]

Le Quaternaire :

Le Quaternaire ancien : constitué essentiellement de dépôts alluvionnaires (alluvions, cailloux, gravillon de nature, forme et taille variés, et des monticules d'argiles.

Le Quaternaire récent : constitué essentiellement de dunes de sable, dépôts de sel et de Sebkha.

III.2 intervention sur site

III.2.1 Méthode de reconnaissance :

a) Sondage carotté

Les coupes lithologiques des sondages sont comme suit :

Sondage N°01 :(31R0455803E3017365N)

0.00-0.50m : Sable grossier rougeâtre ;

0.50-6.00m : Argile plastique marron.



Figure III.2: Caisse de sondage N°01

Sondage N°02 :(31R0453833E3017368N).

0.00-1.00m : Sable grossier rougeâtre ;

1.00-6.00m : Argile plastique marron.



Figure III.3: Caisse de sondage N°02

III.3 Caractéristique géotechnique du sol

Afin de déterminer les caractéristiques géotechniques du sol, des échantillons prélevés des différents faciès ont été soumis aux essais de Laboratoire suivants :

III.3.1 Essai réalisé sur les sondages carottés

a. Facies Meuble :

○ Analyse granulométrique

Les échantillons ont été prélevés au laboratoire à partir de faciès mous, et après le processus d'analyse granulaire, les distributions granulaires enregistrées dans le tableau suivant ont été obtenues.

L'analyse granulométrique a été effectuée sur des échantillons prélevés du faciès argileux, elle a donné les répartitions granulaires suivantes :

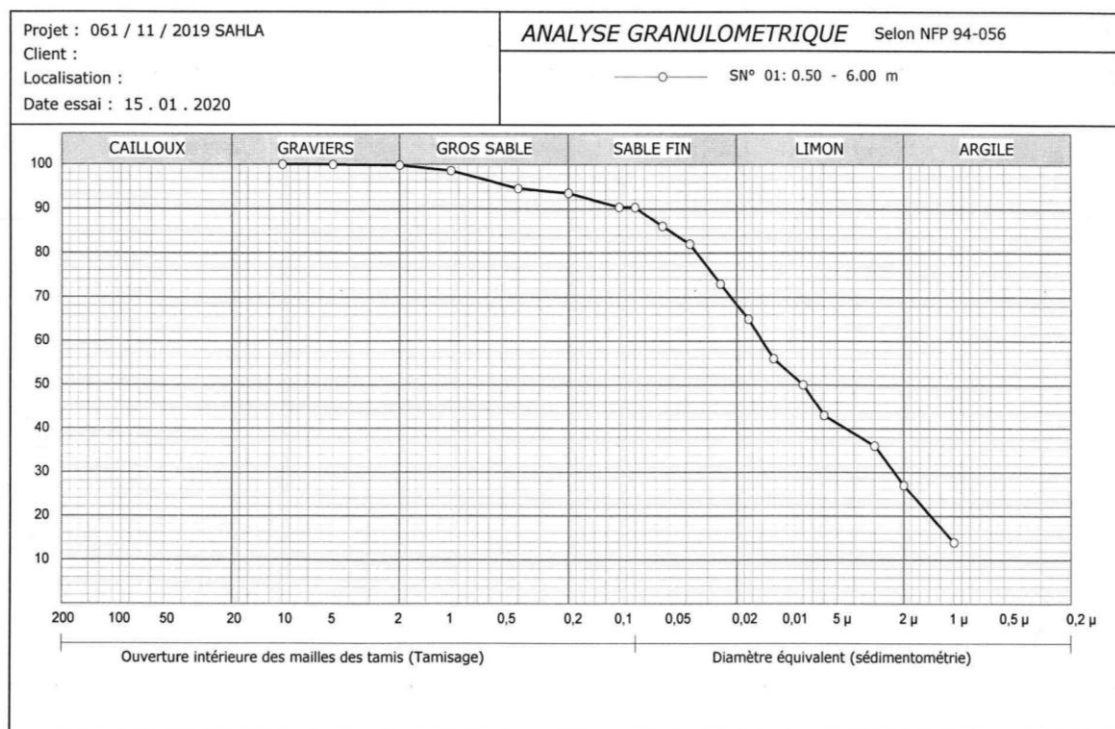


Figure III.4 : courbe d'analyse granulométrique

Chapitre III : Les Essais Experimental

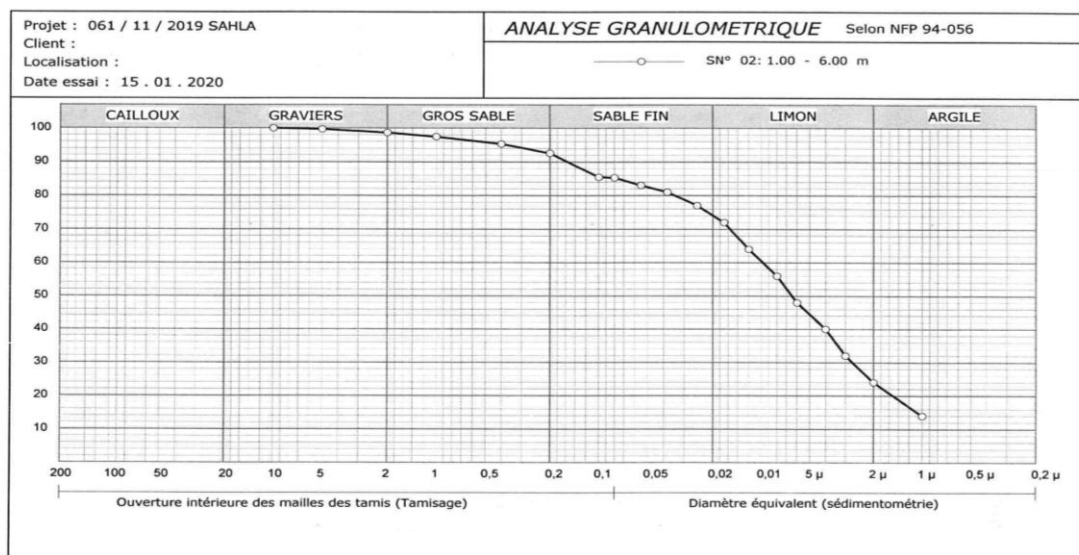


Figure III.5 : courbe d'analyse granulométrique

Tableau III.2 : analyse granulométrique

N° Sondage	Prof (m)	%Graviers	%Gros sable	%Sable fin	%Limon	%Argile
SN01	0.50-6.00	00	08	26	40	26
SN02	1.00-6.00	02	06	18	50	24

D'après ces résultats, on déduit qu'il s'agit d'un limon argileux sableux. Il est considéré comme sol **fin d'après le LCPC**.

- Limite d'Atterberg

Les mesures des limites d'Atterberg effectuées sur la fraction fine (éléments <0.4mm) du faciès marneux, ont donné les valeurs suivantes :

Tableau III.3 : limite d'Atterberg

N° Sondage	Prof(m)	Limite de liquidité (LL%)	Limite de plasticité (PL%)	Indice de plasticité (IP%)
SN01	0.50-6.00	64.41	32.56	31.85
SN02	1.00-6.00	60.38	31.30	29.08

De la courbe, on extrait la limite de liquidité, qui est le pourcentage d'eau de W%, correspondant à 25 coups N

Sondage n° : SN°01

Limite de Liquidité (%) : WL = 64,41

Limite de Plasticité (%) : WP = 32,56

Chapitre III : Les Essais Expérimental

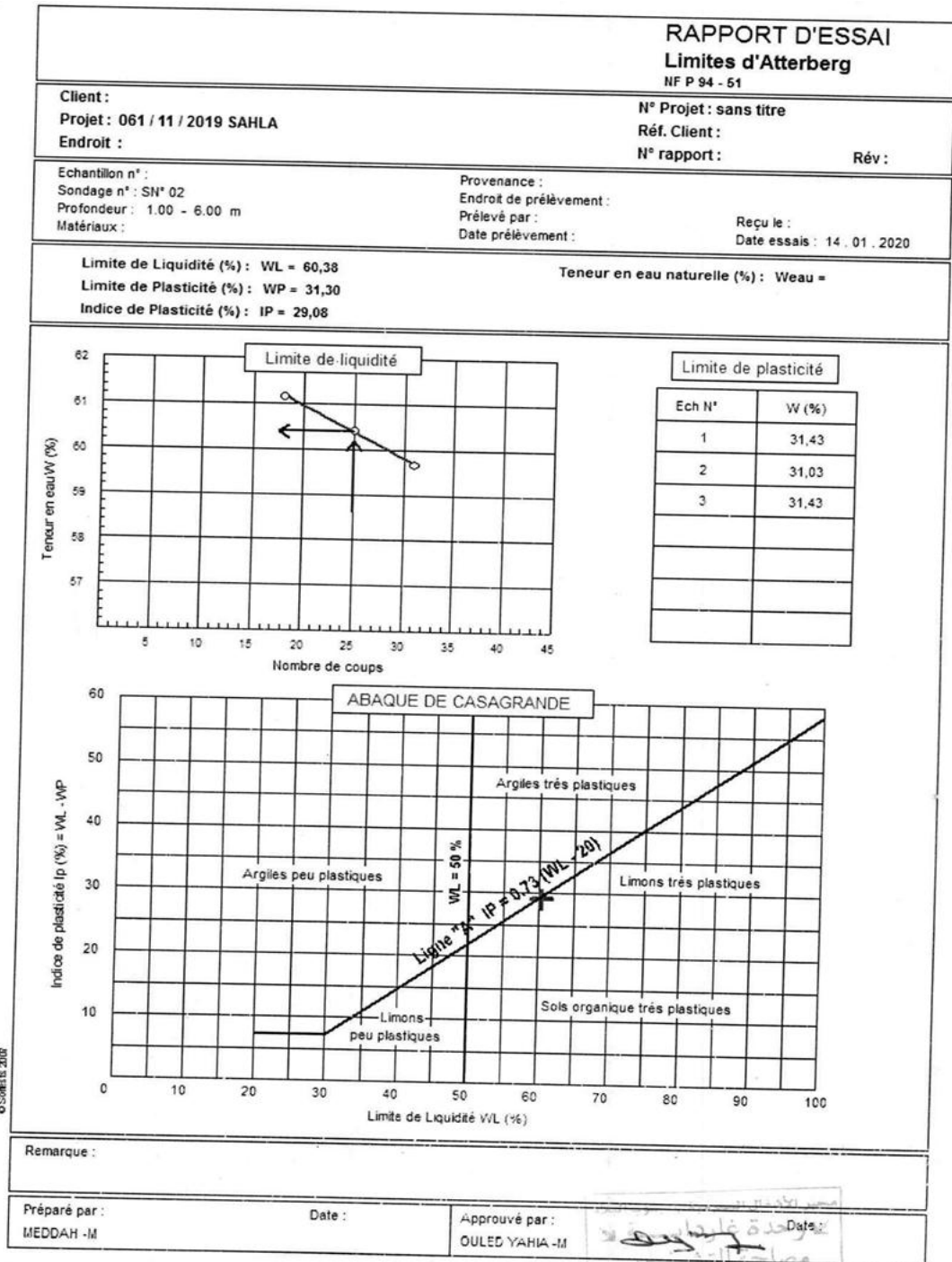


Figure III.7 : Abaque de Casagrande SN°2

b) Pénétromètre dynamique

Le domaine préférentiel d'utilisation des pénétromètres dynamiques est la reconnaissance qualitative des terrains lors d'une étude préliminaire. [11]



Figure III.8 : Essai pénétromètre dynamique

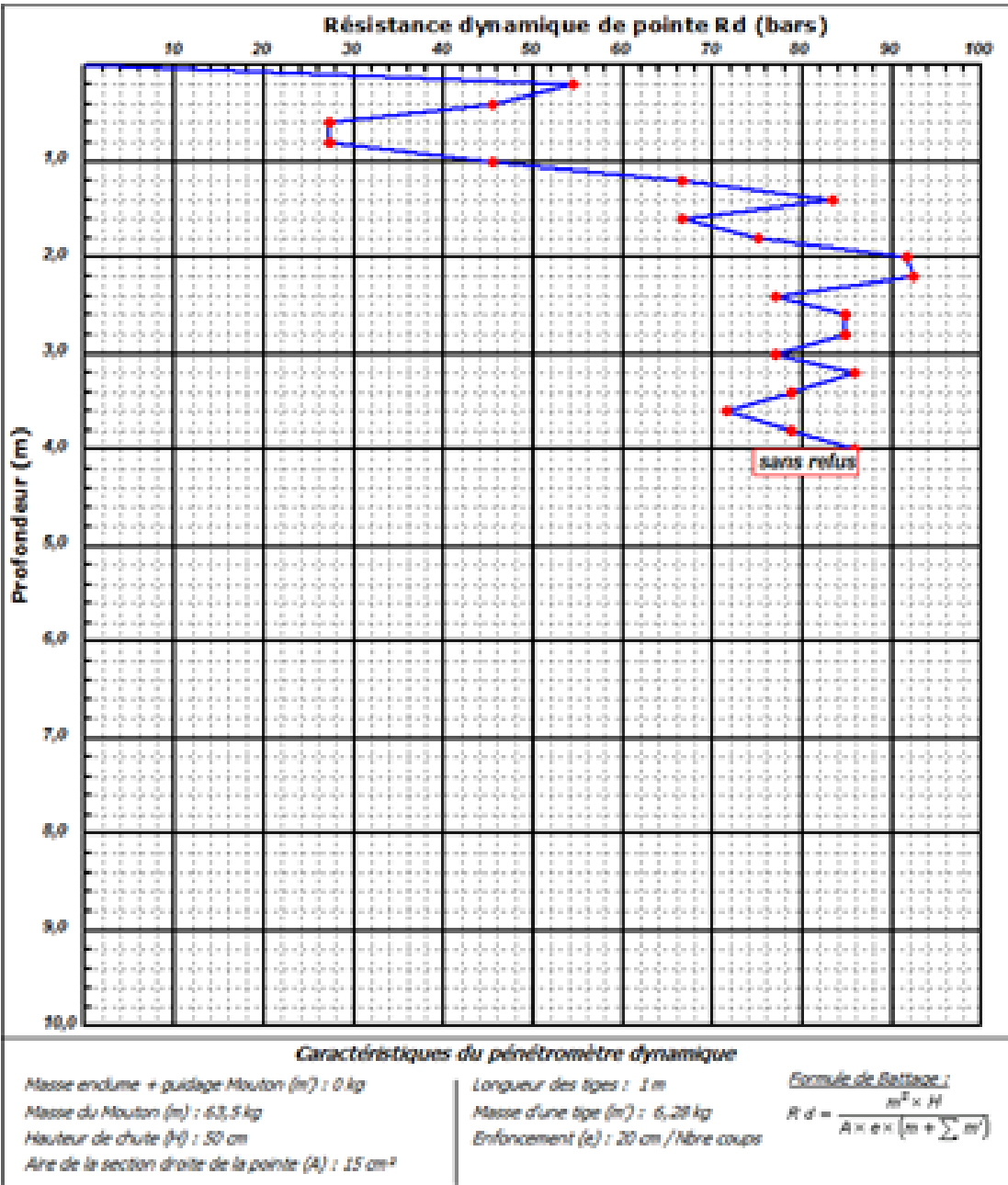
Les résultats de l'essai pénétromètre dynamique sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.4: les résultats de l'essai pénétromètre dynamique

Prof (m)	Rp (bars)				
	PDL01	PDL02	PDL03	PDL04	PDL05
0.20	54.49	63.58	27.24	36.33	54.49
0.40	45.41	36.33	36.33	45.41	45.41
0.60	27.24	27.24	45.41	63.58	27.24
0.80	27.24	27.24	63.58	90.83	27.24
1.00	45.41	36.33	90.83	81.74	45.41
1.20	66.66	66.66	74.99	83.33	66.66
1.40	83.33	83.33	83.33	74.99	83.33
1.60	66.66	83.33	74.99	83.33	66.66
1.80	74.99	74.99	74.99	83.33	74.99
2.00	91.66	58.33	83.33	83.33	91.66
2.20	92.37	76.97	76.97	84.67	92.37
2.40	76.97	69.27	84.67	69.27	76.97
2.60	84.67	84.67	69.27	92.37	84.67
2.80	84.67	84.67	76.97	84.67	84.67
3.00	76.97	76.97	69.27	84.67	76.97
3.20	85.82	78.67	71.52	85.82	85.82
3.40	78.67	85.82	85.82	71.52	78.67
3.60	71.52	71.52	78.67	78.67	71.52
3.80	78.67	78.67	71.52	78.67	78.67
4.00	85.82	85.82	78.67	71.52	85.82

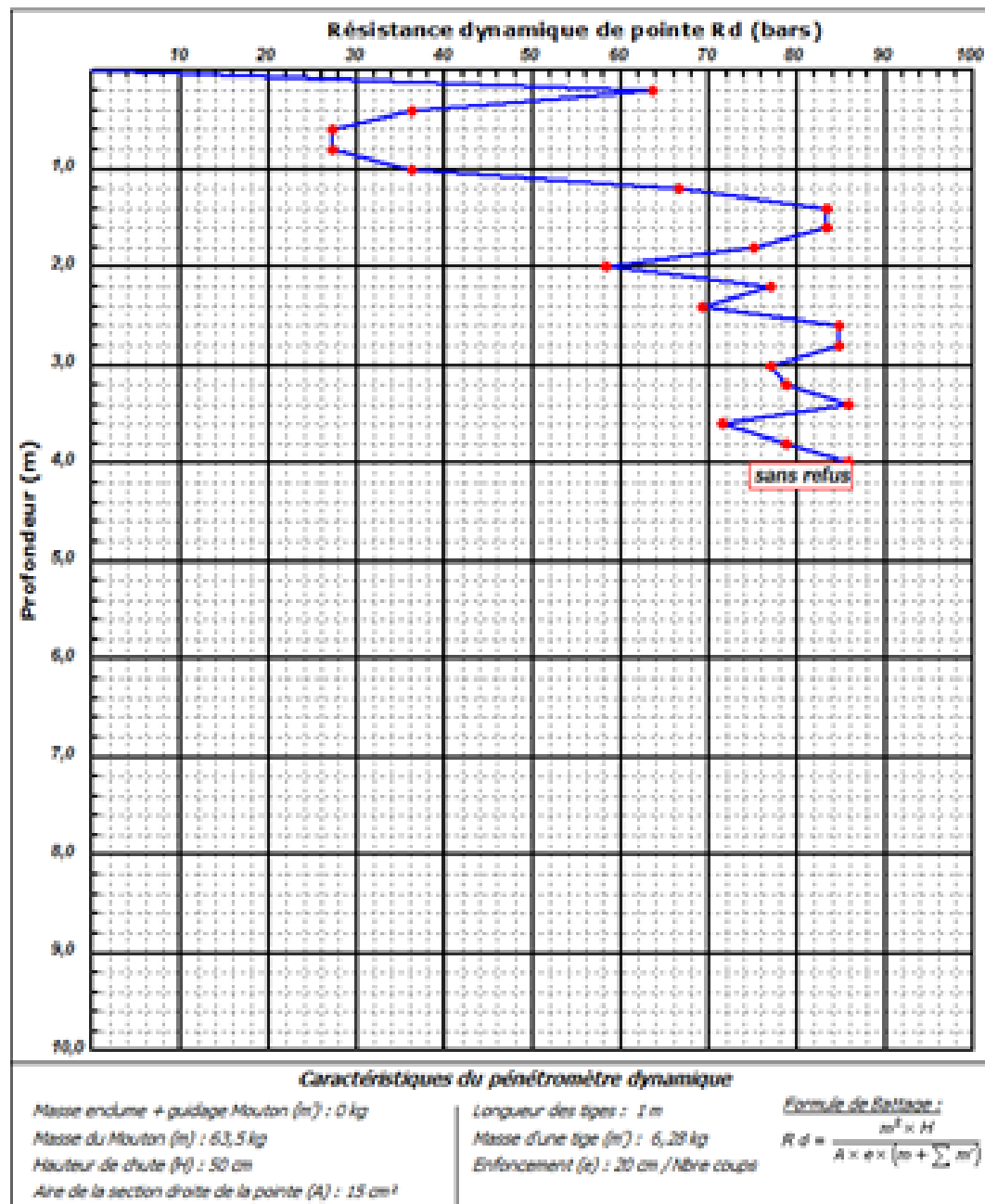
Pénétromètre dynamique

Essai N° : PDL1



Pénétromètre dynamique

Essai N° : PDL2



Chapitre III : Les Essais Expérimental

Pénétrromètre dynamique

Essai N° : PDL3

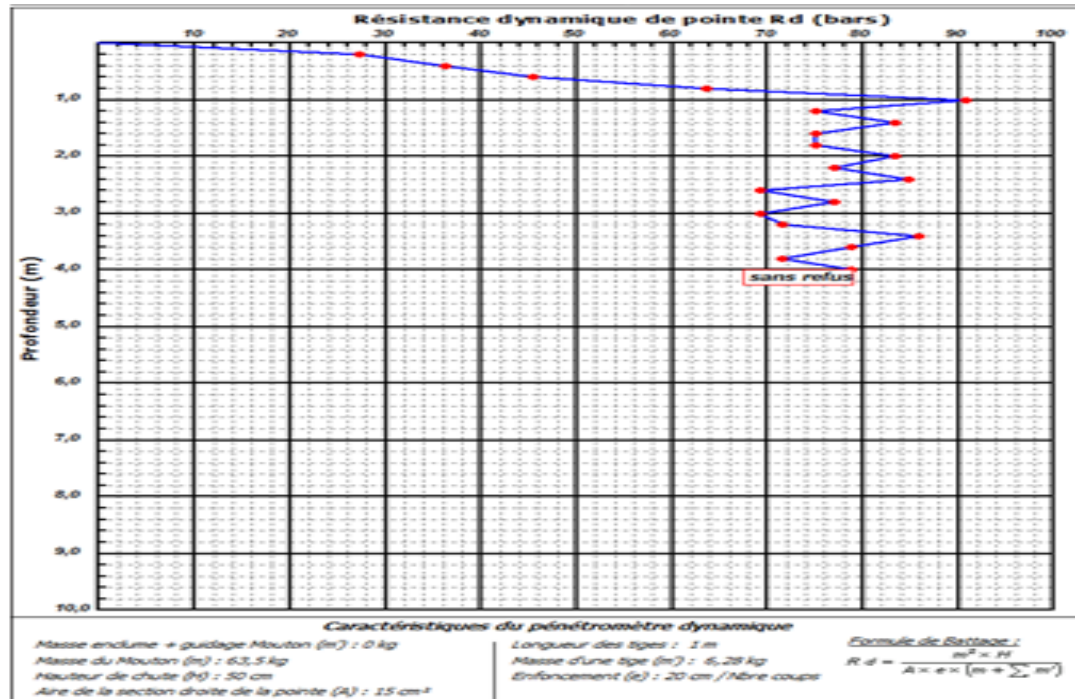


Figure III.9 : courbe résistance dynamique

Pénétrromètre dynamique

Essai N° : PDL4

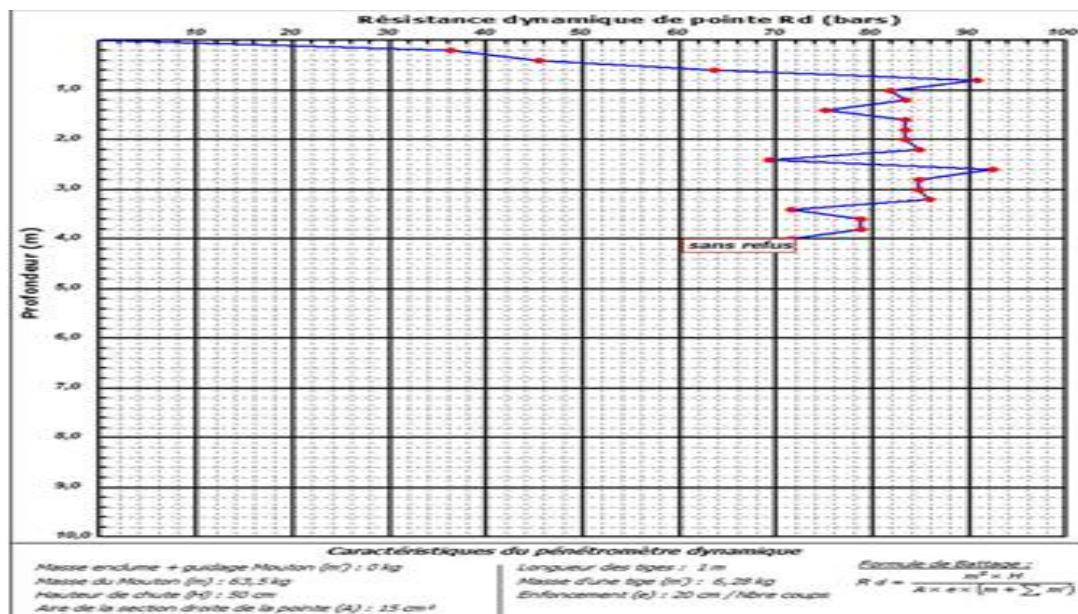


Figure III.10 : courbe résistance dynamique

III.3.2 Conclusion sur la géologie du site

Les résultats obtenus à partir de l'opération de sondage montrent que le terrain est formé d'une couche de sable suivie d'une couche d'argile plastique de couleur marron à rouge sombre dépassant les six (06) mètres de profondeur. [11]

III.3.3 Essais mécaniques

III.3.4 Essai cisaillement rectiligne

Essai cisaillement rectiligne (UU)

Les essais cisaillement rectiligne, non consolidé non drainé (UU) sont pour but de déterminer les caractéristiques intrinsèques du sol exprimées par son angle de

Frottement (Φ) et sa cohésion (C). [11]

Tableau III.5 : Cisaillement rectiligne(UU)

N° SONDAGE	Echantillon	L'angle de frottement interne (ϕ_{uu})	Cohésion (C_{uu}) (bars)
SN01	0.50-6.00	36.9	0.29
SN01	2.00-2.50	11.3	1.34
SN02	1.00-6 .00	34.5	0.42
SN02	1.70-2.00	29.3	0.54

Les résultats obtenus montrent que le sol travaille aux frottements et en cohésion.

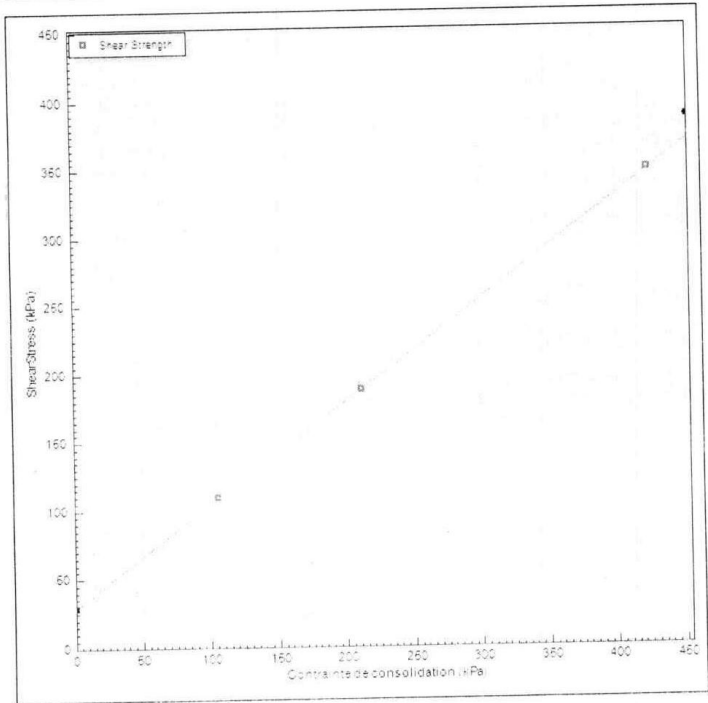
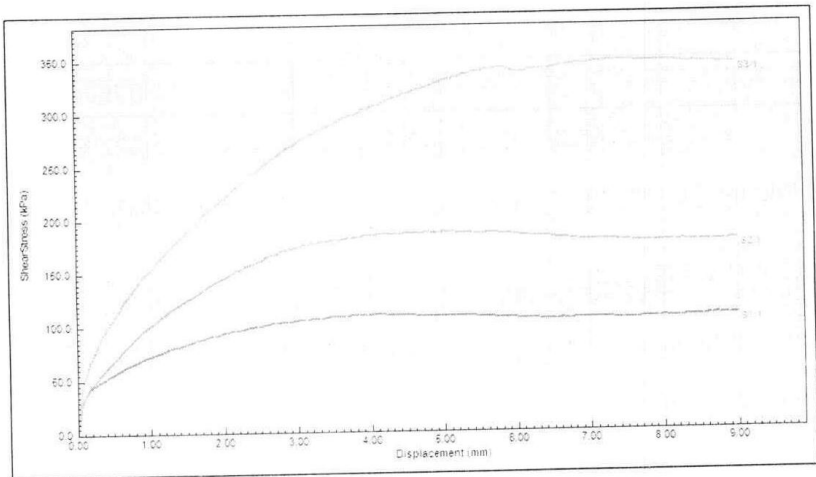


مختبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد



Laboratoire Des Travaux Publics Du Sud
ESSAIS DE CISAILEMENT RECTILIGNE A LA BOITE (UU)

Dossier N° : 61/11/2019-SAHLA
Chargé du dossier : A.MATALLAH
Sondage N° : S01
Profondeur : (0.50-6.00m)



C= 29.00 kPa
 $\Phi = 36.9^\circ$

Réalisé par	Vérifié	Approuvé par	Date
Dj-Zineb		Brahim.H A	01/02/2020

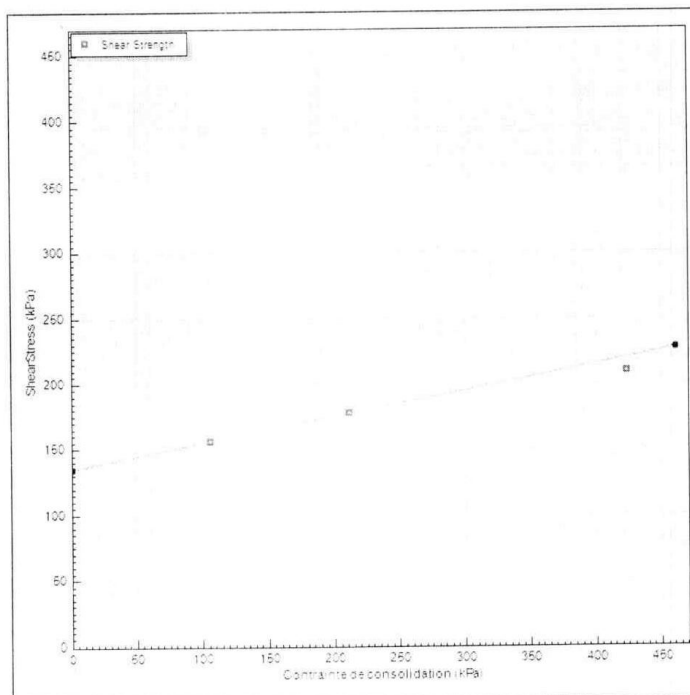
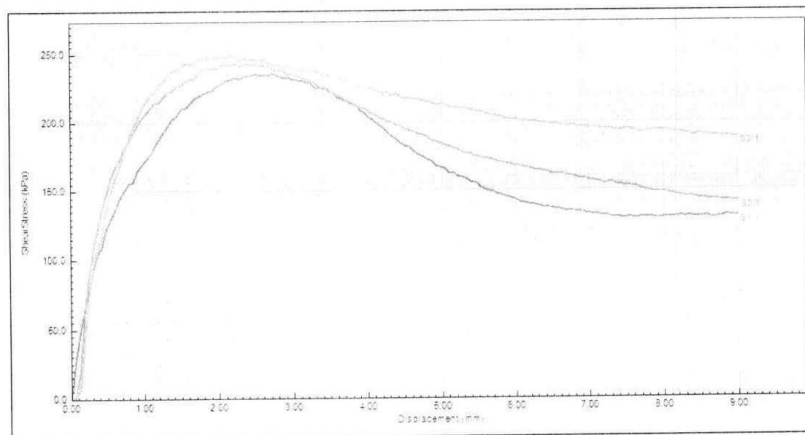


مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد



Laboratoire Des Travaux Publics Du Sud ESSAIS DE CISAILEMENT RECTILIGNE A LA BOITE (UU)

Dossier N° : 61/11/2019-SAHLA
Chargé du dossier : A.MATALLAH
Sondage N° : S01
Profondeur : (2.00-2.50m)



$C = 134.52 \text{ kPa}$

$\Phi = 11.3^\circ$

Réalisé par	Vérifié	Approuvé par	Date
Dj-Zineb		Brahim.H A	01/02/2020



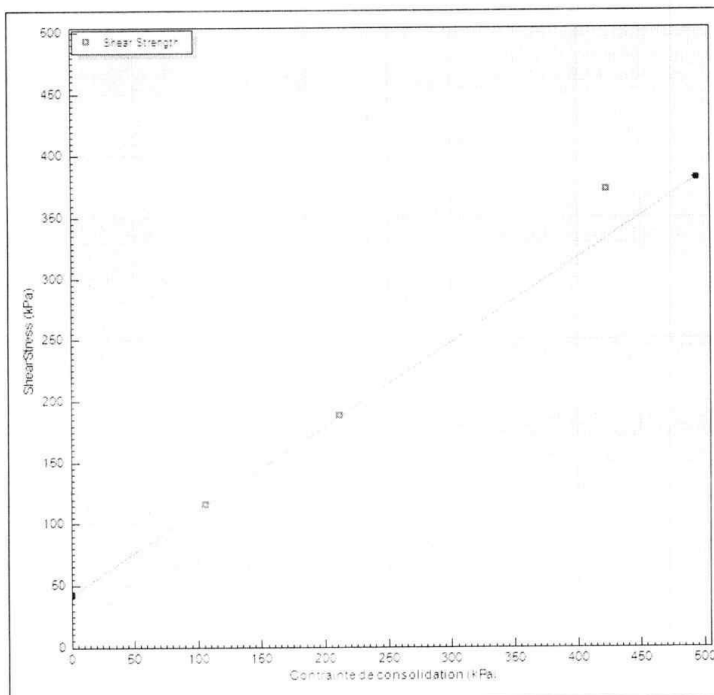
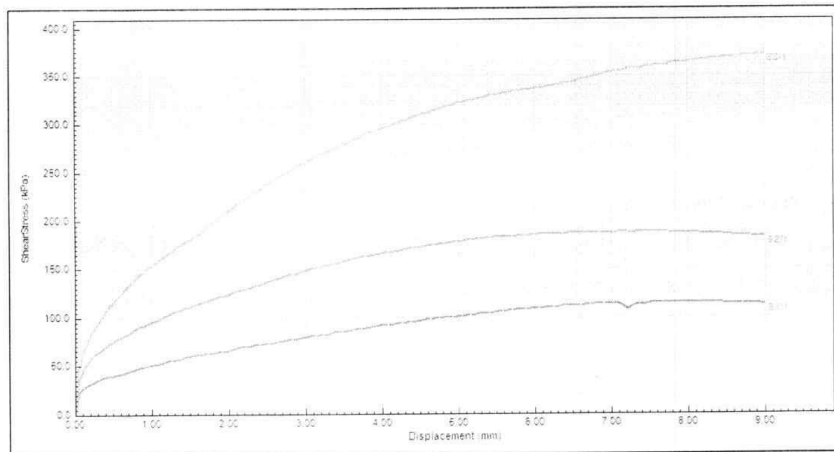
مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد

Laboratoire Des Travaux Publics Du Sud



ESSAIS DE CISAILLEMENT RECTILIGNE A LA BOITE (UU)

Dossier N° : 61/11/2019-SAHLA
Chargé du dossier : A.MATALLAH
Sondage N° : S02
Profondeur : (1.00-6.00 m)



$C = 42.44 \text{ kPa}$

$\Phi = 34.5^\circ$

Réalisé par	Vérifié	Approuvé par	Date
Dj-Zineb		Brahim.H A	01/02/2020



مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد

Laboratoire Des Travaux Publics Du Sud

ESSAIS DE CISAILLEMENT RECTILIGNE A LA BOITE (UU)

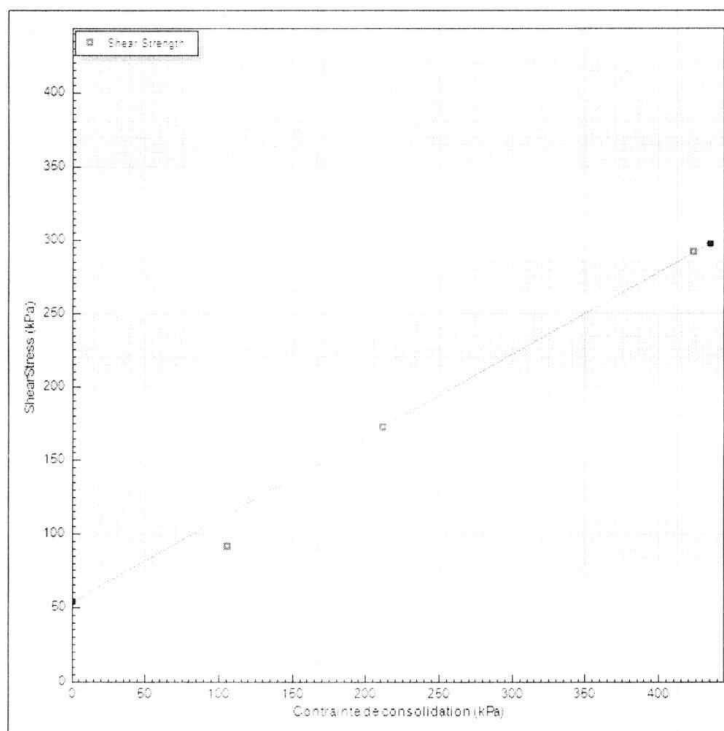
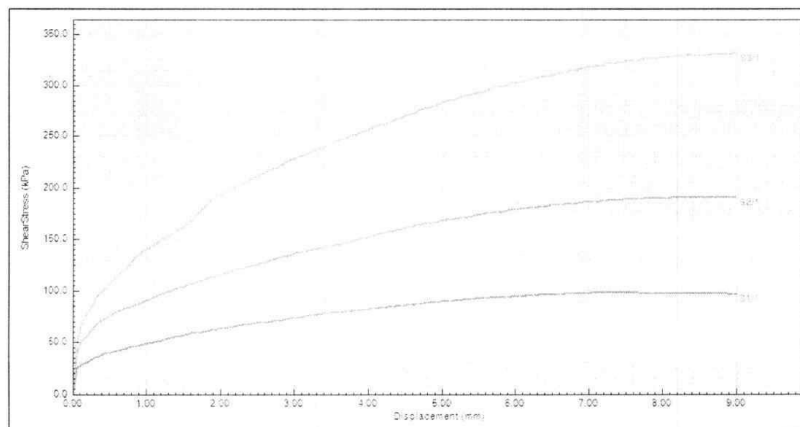


Dossier N° : 61/11/2019-SAHLA

Chargé du dossier : A.MATALLAH

Sondage N° : S02

Profondeur : (1.70-2.00 m)



$C = 54.05 \text{ kPa}$

$\Phi = 29.3^\circ$

Réalisé par	Vérifié	Approuvé par	Date
Dj-Zineb		Brahim.H A	01/02/2020

Chapitre III : Les Essais Experimental

○ Essai Œdomètre

L’essai œdométrique permet de de mesurer le tassement au cours du temps d’une éprouvette cylindrique (intacte) type galette placée dans une enceinte sans déformation latérale possible au fur et à mesure de l’application de différentes charges verticales constantes.

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.

Cet essai permet d’établir, pour un échantillon donné, deux types de courbes :

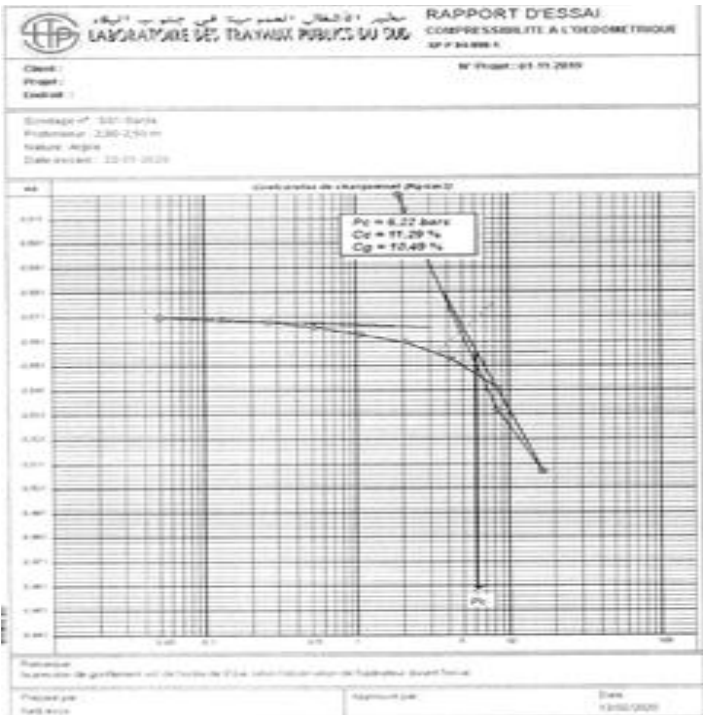
- les courbes de consolidation, qui donnent le tassement de l’échantillon en fonction du temps sous application d’une contrainte constante.
- la courbe de compressibilité, qui indique le tassement total en fonction du logarithme de la contrainte appliquée (les courbes sont jointes en annexe).

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant : [11]

Tableau III.6 : Résultats d’oedomètre

N° SONDAGE	Prof (m)	Pc (bars)	Cc(%)	Cg (%)
SN01	2.00-2.50	6.22	11.29	10.49

A partir de ces résultats et d’après G.Sanglerat le sol est moyennement compressible ($C_c = 0.11$), il est considéré comme un sol gonflant $C_g = 10.49\%$.



III.3.5 Essais chimiques sommaires

Les essais chimiques effectués sur des échantillons prélevés des profondeurs susceptibles d'être en contacts directs avec le béton de l'infrastructure.

Tableau III.7: Analyse chimique sommaire

N° SOND AGE	Profondeur (m)	% Insolubles	% Sulfates	% carbonates
SN 01	0.50-6.00	81.3	1.58	10
SN 02	1.00-6.00	88.6	0.41	06

L'analyse chimique sommaire confirme l'auscultation visuelle des sondages, il s'agit d'une argile contenant des cristaux de gypses. [11]

III.4 Adaptation du projet au sol de fondation

III.4.1 Mode de fondation recommandé :

Tenant compte de la nature du sol de fondation et la profondeur d'ancrage recommandé seront comme suit :

III.4.2 Type de fondation :

Tenant compte de la nature du projet et du terrain étudié, pour le présent projet, le mode des fondations adéquat sera des fondations superficielles type **radier générale**

NB : es type peut être modifié selon la superstructure.

III.4.3 Profondeur d'ancrage :

La profondeur d'ancrage est en fonction de plusieurs facteurs à savoir :

- Le niveau du bon sol ;
- Le niveau de la nappe phréatique ;
- La profondeur de gel ;
- L'élancement du projet ;
- La stabilité de la construction.

Dans le présent cas, l'ancrage doit se faire dans la couche d'argile la profondeur d'encrage tributaire de la nature du pont. [11]

III.5 Calcul du taux de travail des fondations :

III.5.1 Méthode basée sur les essais de laboratoire

Pour le calcul du taux de travail, on prend le cas des fondations ancrées dans le faciès sableux, et les valeurs obtenues peuvent être généralisées sur la totalité de l'ouvrage.

Ce calcul est fait par la formule de TERZAGHI préconisée pour les fondations superficielles à bases horizontales et soumises à des charges verticales centrées.

$$Q_{ad} = \gamma' D + \frac{1}{F} \left[(1 - 0.2B/L) \frac{B}{2} \gamma' N_{\gamma} + D \gamma' (N_q - 1) + (1 + 0.2B/L) C N_C \right] \dots \text{III.1 formule de Terzaghi}$$

Dans la couche d'argile, la profondeur d'ancrage est tributaire de la nature de la piscine (piscine enterrée ou piscine en surface).

Q_{ad} : Taux de travail de la semelle ;

γ : Poids spécifique du sol = 2.00 (t/m³) ;

γ' : Poids spécifique du sol déjaugé = 1.00 (t/m³) ;

D : Profondeur d'ancrage = 2.00m ;

B, L : Dimensions de la semelle (m) ;

C : La cohésion ;

F : Coefficient de sécurité = 3 ;

N_{γ}, N_q, N_C : Coefficients de portance donnés en fonction de l'angle de frottement φ .

En prenant le cas le plus défavorable de φ qui est égal à 11° $N_{\gamma} = 1.20$; $N_q = 2.71$; $N_C = 8.8$, et la cohésion égale à 1.34 bars

Après tout calcul fait, on a :

$$Q_{ad} = 11.3 + 0.40B + 0.79 B/L - 0.04B^2/L$$

On donne dans le tableau suivant des valeurs de Q_{ad} pour des valeurs fixées de B et L :

Tableau III.8: Valeurs de Q_{adm} (cas radier général)

B(m)	L(m)	Qad(t/m2)	Qad(bars)
5.00	10.00	13.50	1.35
10.00	10.00	15.30	1.53
10.00	20.00	15.30	1.53
20.00	30.00	18.77	1.88

On constate que la contrainte admissible moyenne est de 1.57bars.

Pour ce type de terrain un taux de travail de **1.0 bar** est largement suffisant. [11]

III.5.2 Méthode basée sur le pénétromètre dynamique

La contrainte admissible à partir de l'essai au pénétromètre dynamique d'une fondation peut être estimée par la formule des Hollandais définie comme suit :

$$Q_{adm} = \frac{Rp_{min}}{\alpha}$$

Avec :

Q_{adm} : Contrainte admissible du sol ;

Rp_{min} : Résistance de pointe minimale (bars) ;

α : coefficient de la réduction : 25 (sol meuble)

$$Q_{adm} = \frac{58.33}{25} = 2.33 \text{ bars}$$

III.6 Stabilité vis-à-vis du tassement

L'estimation des tassements se fera suivant la méthode d'intégration par tranche de Bousines qui repose sur les résultats d'essai de compressibilité à l'odomètre. Le tassement d'une couche i sera estimé par la formule suivante :

$$\Delta H_i = \frac{H_i * \Delta e}{1 + e_0} \dots\dots\dots \text{III.2}$$

Les tassements totales ($\Sigma \Delta H_i$) est la somme des tassements de toutes les couches.

Les calculs intermédiaires aboutissant à la formule précédente sont consignés dans le tableau ci-après.

L'hypothèse de calcul est :

Une un radier général de largeur $B = 10$ mètres et longueur

$L = 20$ mètres ; Contrainte de service $\sigma_s = 1$ bar ;

Les courbes œnométriques (jointes en annexes). [11]

Tableau III.9: Calcul de tassement

Z	I	4,I	σ_z	σ_o (bar)	σ_f (bar)	e_o	e_f	Δe	Δh
2	0.2400	0.9600	0.9600	0.4400	1.4000	0.492	0.472	0.0202	0.6755
2.5	0.2350	0.9400	0.9400	0.5500	1.4900	0.489	0.470	0.0197	0.6604
3	0.2250	0.9000	0.9000	0.6600	1.5600	0.487	0.468	0.0188	0.6314
3.5	0.2200	0.8800	0.8800	0.7700	1.6500	0.485	0.467	0.0183	0.6161
4	0.2050	0.8200	0.8200	0.8800	1.7000	0.482	0.466	0.0170	0.5733
4.5	0.2000	0.8000	0.8000	0.9900	1.7900	0.480	0.464	0.0165	0.5579
5	0.2000	0.8000	0.8000	1.1000	1.9000	0.478	0.461	0.0164	0.5561
5.5	0.1800	0.7200	0.7200	1.2100	1.9300	0.476	0.461	0.0147	0.4997
6	0.1500	0.6000	0.6000	1.3200	1.9200	0.473	0.461	0.0123	0.4162

$$\Sigma \Delta H_i = 5.18 \text{ cm}$$

Pour une profondeur de 2.0 m et une contrainte de service σ_s de 1.0 bar, les tassements obtenus sont d'ordre de 5.18 cm pour un radier général, cette valeur est admissible.

III.7 Agressivité de sol

Selon la norme NF-P 18-011 les analyses chimiques ont montré que le sol étudié est agressif vis-à-vis du béton, un ciment résistant aux sulfates est nécessaire pour le coulage des infrastructures. [11]

Conclusion Générale

Le projet en question est un Pont qui sera réalisée à SAHLA EST sur le côté gauche de la route menant vers FOGARET ZOUA derrière le stade de matico de la localité d'ESAHLA EST.

Le sol devant recevoir ce projet est formé d'une de sable suivie d'une couche d'argile de couleur marron à rouge sombre dépassant les six (06) mètres de profondeur.

Les essais de pénétrations dynamiques effectuées sur le terrain ont montré que jusqu'à 4.00m de profondeur on n'a pas obtenus le refus.

A partir des résultats de l'essai œdométrique et d'après G. Sanglerat le sol est moyennement compressible ($C_c = 0.11$), il est considéré comme un sol gonflant $C_g = 10.49\%$.

Le mode des fondations adéquat selon la nature de projet sera des fondations superficielles type radié général ancré dans la couche d'argile, avec un taux de travail limité à 1.0 bar ;

La profondeur d'ancrage est tributaire de la nature de la piscine (piscine enterrée ou piscine en surface).

Pour une profondeur de 2.00 m et une contrainte de service σ_s de 1.0 bar, les tassements obtenus sont d'ordre de 5.18 cm pour un radier général, cette valeur est admissible.

Le sol étudié est agressif vis à vis du béton ou un ciment résistant aux sulfates est indispensable pour le coulage des infrastructures.

Il faut éviter toutes fuites d'eau ainsi que les infiltrations des eaux pluviales sous les fondations, en adaptant un réseau d'assainissement et de drainage efficace.

Références

- [1] <https://www.etudier.com>
- [2] Généralités sur les ponts. Cours de Mr Bachiri Attia.
- [3] Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (1991). Introduction à la géotechnique. Presses inter Polytechnique.
- [4] Cours Matériaux de Construction. Mme Bendjillali Khadra.2017.
- [5]. Mémoire Bouallaoui abdelkader et Merabet rania
- [6] Mémoire Etude géotechnique d'une structure routière à base des matériaux locaux entre TSABIT et BOUDA
- [7]. Mémoire Etude Géotechnique.ACHIR Farida. MEDJOUDJ Maliza.2016/2017
- [8].https://elearning.univmsila.dz/moodle/pluginfile.php/328940/mod_resource/content/1/TP%20Essai%20de%20Cisaillement.pdf
- [9] <https://www.coursehero.com/file/52335763/TP-Essai-C5%93dom%C3%A9triquepdf/>
- [10] Mémoire Etude géotechnique d'une structure routière à base des matériaux locaux entre TSABIT et BOUDA
- [11]. Laboratoire des travaux publics du sud