الجمهوريــة الجزائريــة الديمقراطية الشعبيـــة

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التــعـليـم العـــالي والبــحث العــلـمـي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جــامعة سعيدة – د. مولاي الطاهر

UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr. MOULAY TAHAR

Faculté de Science et Technologie

Département du Génie Civil et Hydraulique

Filière :Génie Civil

Spécialité : Géotechnique

Thème :

Etude des caractéristique de compactage d'un mélange Tuf-Argile

Réalisé par:

- Bouhenni Bakhta
- Messaoudi Yasmine

Encadreur :

- Mr.HARBIT.M.Y

Jury :

Mem.BENGUDIAB.S	Université de Saïda	Président
Mem.GHEFFIR.M	Université de Saïda	Examinateur
Mem.BENGUDIAB.S	Université de Saïda	Examinateur

Année universitaire 2019/2020

Remerciements

Je remercier en premier lieu ALLAH qui ma donné le courage et la volonté

J'exprime ma profond reconnaissance et ma parfaite gratitude à mon encadreur Mr HARBIT YAZID pour son aide précieuse dans l'encadrement de mon travail; ses conseils , sa disponibilité , ses encouragements

Mes vifs remerciements vont aux membres de jury d'avoir honoré et examiner mon travail

Je remercie mes professeurs qui ont joué le plus grand effort pour me soutenir et me fournir des informations précieuses

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

- *Ma mère*
- *Mon père*
- *Mes sœur et mes frères*
- *Toute la famille «MESSAOUDI »*
- *Tous mes amis intimes*
- *Toute la promotion 2020/2021*

MESSAOUDI

Je dédie ce mémoire à :

- *Ma mère*
- *Mon père*
- *Mes sœur et mes frères*
- *Tout la famille «BOUHENNI, boubakiri et Sbehi»*
- *Mes amis*
- *Tout la promotion 2020/2021*

BOUHENNI

Résumé

Le présente travail consiste à présente les résultats expérimentaux réalisés sur une argile et une tuf de la région de SAIDA "SIDI BOUBAKEUR" , en nous concentrant sur les études routières (mode de compactage, essai Proctor…) car nous voulons utiliser ce matériau local (argile) dans la construction des routes, et ici nous avons exploité le matériau local pour réduire le cout du projet.

Abstract

The present work consists in presenting the experimental results carried out on a clay and a tuff of the region of SAIDA "SIDI BOUBAKEUR ", by concentrating on the road studies (mode of compaction , Proctor test …) because we want to use this local material (clay) in road construction, and here we have exploited the local material reduce the cost of the project.

ملخص

يمثل العمل الحالي في عرض النتائج التجريبية التي تم اجراؤها على الطين و التوف في منطقة سعيدة سيدي بوكر بالتركيز على دراسات الطريق (طريقة الدمك , اختبار بروكتور.....) لاننا نريد استخدام هذه المادة في بناء المحلية (الطين) في بناء الطرق و هنا قمنا باستغلال المادة المحلية لتقليل تكلفة المشروع

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERAL.....01

CHAPITRE 1 : L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

LA PREMIER PARTIE "TUF "

1.1 Introduction……..……...15
1.2 Définition de tuf……..15
1.3 Utilisation du tuf en construction……....16
1.4 Les tuf dans le monde ……17
1.5 Localisation de tuf ……..17
1.6 Les encroutements calcaires……18
1.7 Formation des encroutements……..18
1.8 Propriété des tuf ……19
1.9 Conclusion……..……19

LA DEUXIEME PARTIE " ARGILE "

1.1 Introduction…….……20
1.2 Définition de l'argile……20
1.3 Localisation de l'argile……21
1.4 Les caractéristiques de l'argile……21
1.5 Conclusion……..……..…22

CHAPITRE 2 : LES ETUDES SUR TUF

2.1.Introduction. ……..……..…23

2.2.Etude d'un mélange tuf /sable concassée (Application à la région d'Adrar) ……..…..23

2.2.1 Etude d'identification géotechnique des matériaux utilisé…….....24

2.2.2 Essai Proctor modifié d'un mélange tuf + % sable concassée…….....27

2.2.3 L'essai de portance ,essai CBR d'un mélange Tuf /sable concassée...27

2.3.Étude d'identification du tuf avec ou sans traitement ……29

2.3.1. Récapitulatif des essais d'identification géotechnique du tuf Numérote sans traitement ……..29

2.3.2.Influence du traitement sur les caractéristique de compactage et de portance (Tuf avec un traitement) ……29

2.4. Conclusion……..30

CHAPITRE 3 : NOTIONS FONDAMENTAL SUR LE COMPACTAGE

3.1 Introduction……..…31

3.2 Définition du compactage…….……..31

3.3 L'objectif du compactage……31

3.4 Facteur d'influence du compactage……...……..32

3.4.1 L'influence de la teneur en eau…….32

3.4.2 L'influence de la l'énergie de compactage ……...34

3.4.3 L'influence de la nature du sols……....35

3.5 Les effets du compactage sur certaines propriété des sols……..36

3.6 Conclusion……..37

CHAPITRE 4 : MODES DE COMPACTAGE (STATIQUE ET DYNAMIQUE)

4.1 Introduction…….38

4.2 Compactage dynamique …….38

4.2.1 Essai de Proctor……39

4.2.1.1 Appareillage spécifique……39

4.2.1.2 Procédure expérimentale …….40

4.3.2 Quantité de matériaux et choix du type de moule……41

4.3.3 Norme de compactage……..43

4.3 Compactage statique…….……...45

4.4 Comparaison entre la compactage statique et dynamique. …….46

4.5 Conclusion……...46

CHAPITRE 5 : MATERIAUX, MATERIEL ET ESSAIS PRELIMINAIRES

5.1 Introduction…….47

5.2 Matériaux……47

5.2.1 Description des sols …….…….47
5.3 Etude d'identification des matériaux utilisés ……..47
5.3.1 L'analyse granulométrique ……..47
5.3.1.1 Principe d'essai ……48
5.3.1.2 But de l'essai ……48
5.3.1.3 Matériel nécessaire ……...48
5.3.1.4 Résultat……...……...48
5.3.2 Essai d'Atterber….. ……..51
5.3.2.1 Principe d'essai…….…….……51
5.3.2.2 But de l'essai …….……52
5.3.2.3 Materiel necessaire…….....…….. 53
5.3.2.4 Résultats .....……53
5.3.3 L'essai équivalent de sable ……..……..57
5.3.3.1 principe ……..……58
5.3.3.2 But …….……59
5.3.3.3 Matériel nécessaire ……59
5.3.3.4 Résultats …….……..59
5.3.4 L'essai de bleu méthylèn……..……..60
5.3.4.1 Principe d'essai……..60
5.3.4.2 But de l'essai…….……..60
5.3.4.3 Matériel …….……60
5.3.4.4 Mode opératoire……..……61
5.3.4.5 Résultats……..……...….62
5.4 Classification des matériaux GTR 92 (Norme- P 11-300) ……..…….....63
5.5Conclusion ……..……...64
CONCLUSION GENERAL ……..……..65
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES……66

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE1 : L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure .1-1 : Tuf calcaire……..…16

Figure.1-2 : Répartition des encroutements calcaires dans le mode……...…..…17

Figure.1-3 : Schéma du circuit de la formation des tufs calcaires……...……19

Figure .1-4 : L'argile verts ……...20

Figure. 1-5 : Les zones argileuses dans le mode…….……21

Figure. 1-6 : caractéristiques des d'argiles.....22

CHAPITRE 2 : LES ETUDES SUR TUF

Figure 2.1 : Tuf de « Berbaa » la ville d'Adrar 23

Figure 2.2 : Sable concassée « Cherouine » 23

Figure 2.3 : Courbe granulométrique de tuf Berbaa……25

Figure 2.4 : Courbe granulométrique de sable concassée « Cherouine »…….....25

Figure 2.5 : Courbe de l'essai de limite de liquidité de tuf.....26

Figure 2.6 : Courbe de Proctor modifié du tuf...…….26

Figure 2.7 : La variation de la densité sèche des différents mélanges…….……27

Figure 2.8 : Variation de la force du piston ……28

Figure 2.9 : Variation de la force du piston en fonction de son enfoncement 100% et +++++ (mélange avec 50 tuf et 50% sable concassé)……..28

Figure 2.10 : Courbe Proctor modifié du tuf de Numérote avec ou sans traitement...…30

CHAPITRE 3: NOTIONS FONDAMENTALAMENTAL SUR LE COMPACTAGE

Figure.3.1: courbe de compactage 33

Figure.3.2 : courbes de compactage des essais Proctor et modifié pour le limon argileux de Xeuilley.....34

Figure.3.3 : L'influence de la nature du sol sur la courbe Proctor.....35

CHAPITRE 04 : MODE DE COMPACTAGE (STATUQUE ET DYNAMIQUE)

Figure 4.1 : chantier de compactage dynamique en Arabie Saoudite……..38

Figure 4.2 : essai de Proctor normal…….....39

Figure 4.3 : Position des coups dans le moule Proctor normal et modifié……...40

Figure 4.4 : Diagramme de choix du moule de compactage (norme NF P 94-093).....42

Figure 4.5: Le Moule de compactage statique pour préparer l'échantillon UCS…..…45

CHAPITRE 5: IDENTIFICATION DES MATERIAUX UTILISES

Figure 5.1 : série de tamis sur la tamisage.....47

Figure 5.2 : courbe granulométrique de sols (tuf).....49

Figure 5.3 : courbe granulométrique par tamisage "l'argile"…….…….51

Figure 5.4: réalisation du rouleau de sol……52

Figure 5.5: réalisation de la rainure……..52

Figure 5.6 : essai de bleu méthylène**……**61

Figure 5.7 : mode opératoire d'essai bleu méthylène…….……62

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 2 : LES ETUDES SUR TUF

Tableau 2.1 : Normes des essaies d'identification……..……...24

Tableau 2.2 : Résultats d'identification de matériaux utilisés (tuf et sable concassée)..24

Tableau 2.3 : les résultats de la densité sèche des mélange…….…..27

Tableau 2.4 : Résultat récapitulatifs des essais de portance(I CBR)……..…28

Tableau 2.5 : Résultats des essais d'identification géotechnique du tuf de Numérote..29

Tableau 2.6 : Résultats récapitulatif de compactage et de portance de notre échantillon traité……..…….30

CHAPITRE 3:NOTIONS FONDAMENTAL SUR LE COMPACTAGE

Tableau 3.1 : l'objectif du compactage.....32

CHAPITRE 4 : MODE DE COMPACTAGE (STATIQUE ET DYNAMIQUE)

Tableau 4.1 : Caractéristiques de l'essai Proctor normal et modifié……..42

Tableau4.2 : Liste des normes de compactage appliquée dans certains pays. D'après Zadjaoui, 2007.....45

CHAPITRE 5 : IDENTIFICATION DES MATERIAUX UTILISES

Tableau 5.1 : Granulométrique par tamisage "tuf"…….……49

Tableau 5.2 : courbe granulométrique par tamisage "tuf"…….……50

Tableau 5.3 : Limite de liquidité de l'argile…….……...…53

Tableau 5.4 : La limite de liquidité de tuf……..54

Tableau 5.5: La limite de plasticité de l'argile……55

Tableau 5.6: La limite de plasticité de tuf…….56

Tableau 5.7 :Classement de sol par rapport leur indice de plasticité……..57

Tableau 5.8 : Caractéristique de sable (ES).....58

Tableau 5.9 :Résultats d'essai d'équivalent de sable……...59

Tableau 5.10 : résultats d'essai de bleu méthylène.....63

Tableau 5.11 : synoptique de classification des matériaux selon leur nature ……..…64

LISTE DES ABREVIATIONS

GTR : Guide des Terrassements Routiers, Réalisation des remblai et des couches de forme

$CaCo_3$: carbonate de calcium

Sio_2 : oxyde de silicium

Co_2 : dioxyde de carbone

H_2o : Oxyde d'hydrogène

Ca : le calcium

ρ^{dmax}: la masse volumique sèche maximale

γd**:** poids volumique sec de l'échantillon

γs**:** poids volumique des grains solides

γw**:** poids volumique de l'eau

ms: masse des grains solides

v : volume de moule Proctor

w : teneur en eau

Sr : degré de saturation

G_s : Densité relative

ρ : masse volumique

e : indice des vides

Ø : ***l'angle de frottement interne***

IPI : Indice portant immédiat

M_f **:** module de finesse

Rc : pourcentage cumulatif du retenu

WL :limite de liquidité

WP : limite de plasticité

WS : Limite de retrait

IP : L'indice de plasticité

ES : équivalent de sable

ESV : équivalent de sable par la visuel

ESP : équivalent de sable par le piston

VBS : Valeur de bleu méthylèn**e**

INTODUCTION GENERALE

Le matériau tuf constitue depuis longtemps la composante principale dans les construction routier comme les couches de chaussées d'un nombre importante routes en Algérie. On utilise le tuf aussi pour la couche de forme et les remblais .Matériau disponible dans les régions à climat semi aride

Objectif de notre travaille est étudier l'influence de compactage sur un mélange de tuf et un pourcentage de l'argile

On ajoute un pourcentage d'argile si le tuf est plus ou moins sableux pour assurer la cohésion

Utilisation de la méthode de compactage dans la construction d'infrastructures telles que : routes , d'autoroutes, chemins de fer, barrage en terre et même le recyclage en place des chaussées; le compactage conventionnel (superficiel) présente une bonne alternative si le sol support a de bonnes

Le compactage permis d'accroitre les caractéristique mécanique des sols tels que la résistance au cisaillement en améliorante sa capacité portante toute en diminuant son potentiel de déformation

Dans cette note, nous avons mené une étude en laboratoire sur le tuf et l'argile pour savoir si ce mélange était résistant et pouvait être utilisé dans la construction de routes ou non

Les matériau utilisés dans cette étude proviennent de la région de Sidi Boubakeur wilaya de Saida

Ce mémoire comporte Cinque chapitres :

Le premier chapitre nous donnons des généralités sur les matériaux utilisé

Dans l'étude géotechnique. La partie 1 sur les tufs et la partie 2 sur les argiles

La deuxième chapitre recherche bibliographié sur les études géotechnique liés au tuf et le compactage

Le troisième chapitre consiste une étude bibliographique sur le compactage

La quatrième chapitre on fait les modes de compactage statique et dynamique

Dans le cinquième chapitre présente les résultats des essais laboratoire de caractéristique chimique , physique et mécanique de tuf et l'argile

En fin , une conclusion générale sur les principaux résultats obtenus sera donnée.

CHAPITRE 1 : L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

LA PREMIERE PARTIE "TUF "

1.1 INTRODUCTION

Le terme de" croutes calcaires " préfère par les géologues actuels à celui "d'encroutements calcaires ".

Les géotechniciens et les ingénieurs routiers qui utilisé depuis environ 40 ou 50 ans ces matériaux pour la construction routière ont eu tendance à assimiler à ces croutes des formations calcaires quelque fois très diverses pour le géologue . Il se sont basés pour cette assimilation sur quelques critères géotechniques talque la teneur en eau caco3, la fiabilité ou la dureté communes à nombreuse matériaux calcaires.

1.2 DEFINITION

Dans la bibliographie, les tufs se définissent comme des roches , friable, poreuses, légères et de couleur claire , elles datent du quaternaire, ces roches sont de constitution variable et résultent d'un certain nombre d'échanges par dissolution et précipitation. Suivant leur composition, les tuf se regroupent en trois catégories :

-Les tufs calcaires

-Les tufs gypseux

-Les tufs mixtes

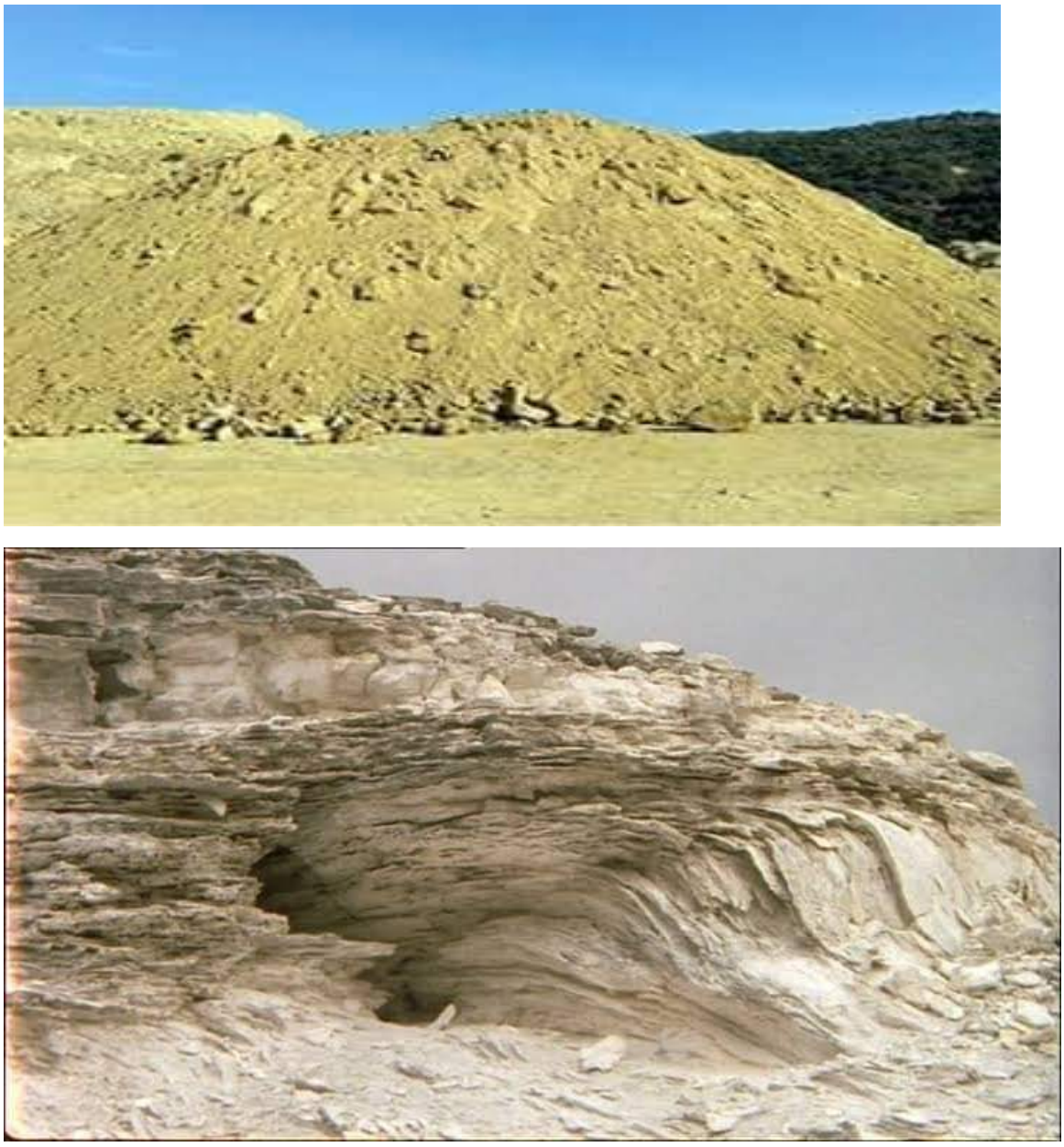

Figure. 1-1 : Tuf calcaire

1.3 UTILISATION DU TUF EN CONSTRUCTION :

Réputé très résistant, le tuf a largement été utilisé comme matériau de construction dans la région napolitaine et à Rome depuis l'Antiquité, pour des édifices religieux, des bâtiments ou des ponts. Les statues de l'île de Pâques ont également été réalisées avec du tuf. On trouve souvent dans les jardineries une forme de tuf scoriacé léger et poreux appelé pouzzolane. Cette dernière est utilisée pour le drainage des sols ou dans l'industrie pour la fabrication de ciment.

1.4 LES TUFS DANS LE MODE:

En Amérique : Ce sont les hautes plaines des États-Unis allant du Texas à la Californie, celles du Mexique et celles de l'Argentine centrale.

En Afrique : Ce sont les « Hamada », hauts plateaux de l'Afrique du Nord, la plaine de Djefara et le bassin de Ben Gazi en Lybie, les dépressions du nord du Kenya, les steppes de la Tanzanie, les plateaux de la Somalie, les vallées de Botswana et d'Afrique du Sud, les zones sèches de Madagascar et du Mozambique, la Namibie et l'Angola.

Au Moyen-Orient : On rencontre le tuf au Liban, en Syrie, en Jordanie, dans les pays du Golfe Persique et en Inde dans les régions de Delhi et New Delhi.

En Australie : On trouve le tuf dans les plaines littorales.

En Europe : Le tuf y est peu abondant. On le trouve uniquement dans le sud de l'Espagne. La figure 1.2 représente la carte des zones de climat désertique, aride et semi-aride et des régions où existent les encroûtements calcaires

1.5 LOCALISATIN DE TUF :

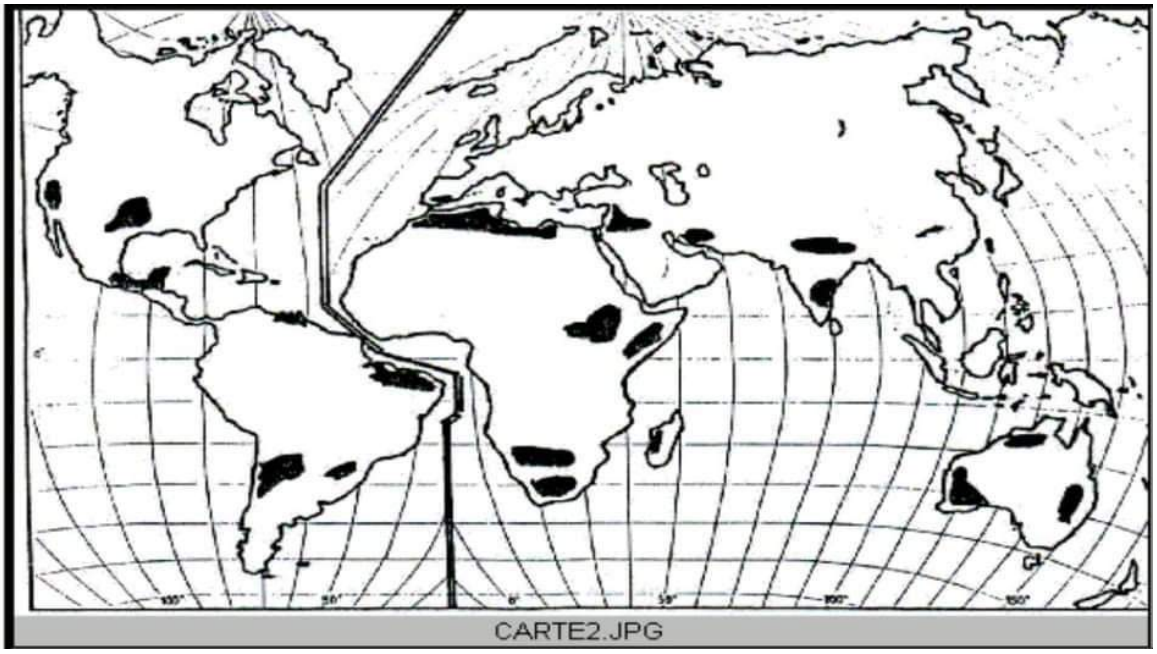

Figure.1-2 : Répartition des encroutements calcaires dans le mode (1)

1.6 LES ENCROUTEMENTS CALCAIRES :

DEFINITION : Selon les différentes spécialités en géologie, pédologie ou la géotechnique, de nombreuses définitions ont été données aux encroutements calcaires.

« La croûte calcaire est un matériau terrestre composé en majorité de carbonate de calcium ($CaCo_3$). Les croûtes existent à l'état poudreux, nodulaire ou très induré ; elles sont dues à la cimentation, à l'accumulation ou au remplacement de quantités plus ou moins grande de sols rocheux ou matériaux altérés par du calcaire dans une zone d'infiltration ».

1.7 FORMATION DES ENCROUTEMENTS

Les encroutement calcaires sont constitués principalement de carbonate de calcium ($CaCo_3$) calcaire et de silice ou quartz (Sio_2 : sable), il contiennent aussi en faible quantité des argile, la différence entre les encroutement au niveau des caractéristiques mécaniques n'est pas due essentiellement à la présence ou pas de l'un des composants minéraux autre que le calcaire et le calcaire et le sable, mais elle est liée aux condition qui existaient dés le début de leur formation, la fréquence est la nature des cycles qui ont été à l'origine de leur formation.

L'origine des calcaire

est soit chimique, soit biologique la formation chimique, dépond de l'abondance du Co_2 l'eau se fait selon , la réaction chimique suivante :

$$CaCo_3 + Co_2 + H_2o \qquad Ca(Hco_2)2$$

Le calcaire qui contrebute à la formation des encroutements poivrent de la solubilisation des massifs calcaires et de leur transport les deux de pluie, la solubilité augmente quand la température diminue, une haute température est favorable à la principat- ion sans lui être nécessaire.

L'eau est d'autant plus charge que la température est plus faible et que son mouvement est le plus lent , pendant la saison sèche , le niveau de la masse commence à baisser sous l'effet de l'vaporisation et surtout de la végétation , s'après Nettrberg ou a précipitation du calcaire selon la réaction suivante :

$$Ca(Hco_3)2 \qquad CaCo_3 + H_2o + Co_2$$

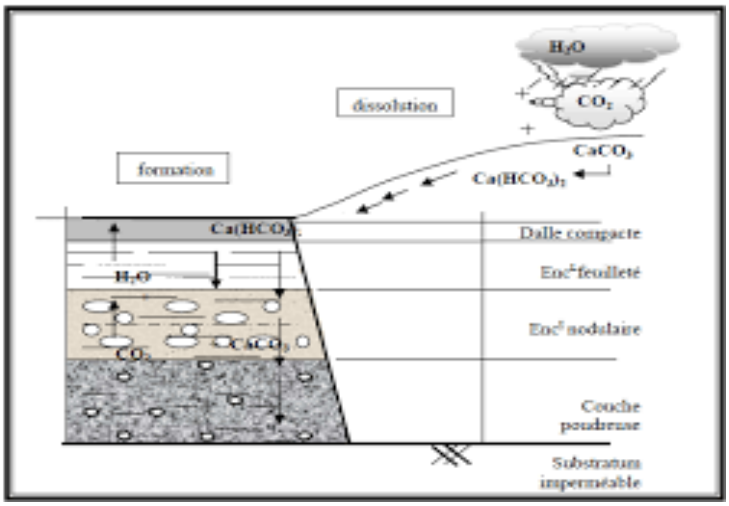

Figure 1.3 : Schéma du circuit de la formation des tufs calcaires

1.8 PROPRIETE DES TUFS

Les croutes encroutements calcaires doivent répondre aux caractéristique suivantes (ponton, 1964 ; Alloul, 1981 ; Harmouni, 1975 ; Ben Dahia 1983);

- Se trouve principalement dans les régions arides ou semi arides ;
- Etre de formation récente ;
- Etre à dominante calcaires ;
- Avoir une dureté variable y compris à l'intérieur d'un même gisement ;
- Posséder les propriétés d'acquérir une fort cohésion après décharge lors qu'ils ont été compacte en présence d'eau cette cohésion disparait si le matériau est à nouveau saturé.

1.9 CONCLUSION

Dans cette partie , nous avons partie sur les tufs en générale et ses types et propriétés. Le tuf est un minéral consistée par les dépôts successifs de cendres volumique ou de calcaire, il se distingue une forte cohésion après décharge , lorsqu'ils ont été compacts en présence d'eau .

LA DEUXIEME PARTIE "ARGILE "

1.1 INTRODUCTION

L'argile est l'un des matériaux les plus anciens utilisé par l'être humain. Récoltée à même la terre dans des carrières, on ne trouve pas une mais des argiles . De part une structure spécifique , ainsi que des propriétés multiples, les argiles répondant à de nombreuses indications . l'argile est déformable, transformable, adhérente, coulante, glissante, fixant et a ainsi de nombreuses capacités parmi lesquelles le transport, la capture, la libération de substances liquides, gazeuses, mais également solides, vivantes, et mortes.

1.2 DEFINITION DE L'ARGILE

Les argiles sont des roches sédimentaires à grains fins, de taille inférieure à 5 µ m , composée pour une large part de minéraux spécifiques, silicates en général, d'aluminiums plus ou mois hydratés, qui présentent une structure feuilletée qui explique leur plasticité , ou bien une structure fibreuse qui explique leurs qualités d'absorption . Elles absorbent l'eau et forment une pate imperméables (perméabilité inférieure à 0,2 mm/h), appelée couramment terre glaise, coloriée par des oxydes de fer en ocre, rouge ,vert.

Les argiles peuvent être gonflantes , notamment celles de la famille des Montmorillonites lorsqu'elles absorbent l'eau et , au contraire, diminuer de volume sous l'effet de la sécheresse, allant jusqu'à fissurer en surface et même sur une profondeur de 2 m à 4 m . Par ailleurs, sous l'effet d'une charge, par exemple celle d'une construction, une partie de l'eau absorbée contenue entre les grains d'argile est chassée, ce qui pour conséquence de provoquer un tassement sensible du sol.

Figure. 1-4 : L'argile verte

Les argiles représentent en général une assise acceptable à médiocre lorsqu'elles sont recouvertes par d'autres couches de terrain .En revanche , elles sont dangereuses lorsqu'elles affleurent au niveau du sol, du fait de leur instabilité, se traduisant par des variations de volume et un fluage dans les terrains en pente.

D'autres types de sédiments à grains fins contiennent des argiles telles que les marnes et le lœss.

1.3 LOCALISATION DE L'ARGILE

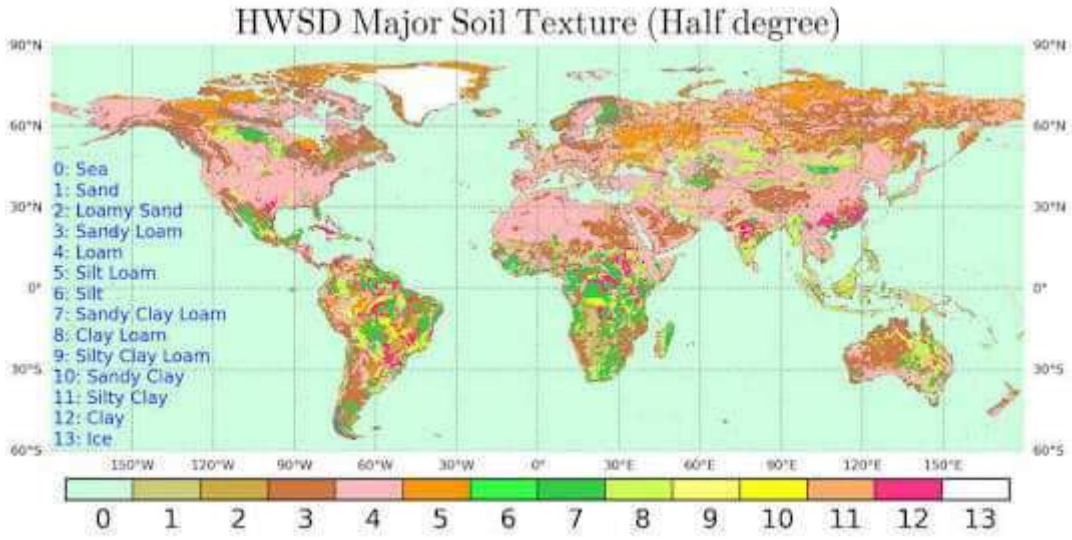

Figure 1-5 : Les zones argileuses dans le mode

1.4 LES CARACTERISTIQUES DE L'ARGILE

Il existe, dans le milieu naturel, différents types de roches argileuses. Celles –ci ont une teneur plus ou moins importante en argile, en quartz, en carbonates, en feldspaths ou encoure en sulfure. Elles ont aussi différentes textures qui les rendent uniques.

Elle possède diverses caractéristiques qui la rendent unique :

- Elle est très faiblement perméable
- La vitesse de circulation des liquides dans ses pores est très lente
- Elle garde en elle une grande partie des éléments contenus dans l'eau (rétention)
- Elle a une bonne résistance mécanique
- Elle a une très grande régularité sur toutes surfaces
- Elle est stable

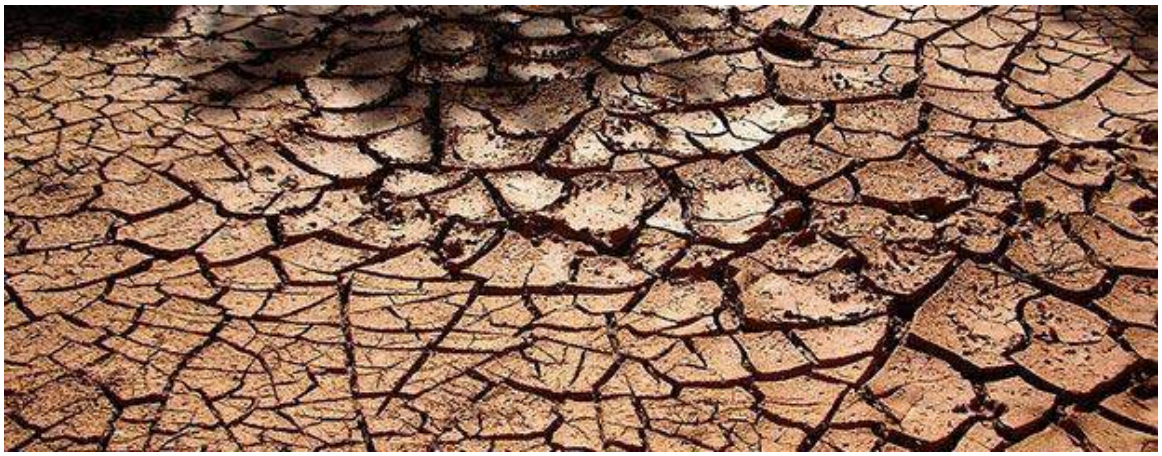

Figure1.6 : caractéristiques des d'argiles

1.5 CONCLUSION

L'argile c'est un matériaux agressif contre installation du bâtiment et les routes; il est imperméable parce que désignent de très fines particules , donc le roule de l'ingénieur géotechnique faire très bon étude pour éviter les risques de cette matériaux.

CHAPITRE 2 : LES ETUDES SUR TUF

2.1.INTRODUCTION

Les tufs sont des roche poreuse de faible densité , souvent pulvérulente . Sont des matériaux utilise en particulier dans le domaine routier et le rôle de les ingénieurs ont essayé de tirer les meilleur parité des matériaux locaux pour la construction des routes ,dans ce chapitre on a deux étude sur les tuf « bibliographie » étude sur un mélange de tuf + sable concassée et notre étude de tuf traité ,pour connaître le mélange qui nous donné la millier construction en termes de résistance et de coté économique

2.2.ETUDE D'UN MELANGE TUF /SABLE CONCASSE(APPLICATION A LA REGION D'ADRAR) :

Les matériaux utilisé dans cette étude tuf de « Berbraa » la ville d'adrar et sable concassée « chafouine » à coté de la route nationale N° 51 A .

Figure 2.1 : Tuf de « Berbaa » la ville d'Adrar .

Figure 2.2 : Sable concassée « Cherouine »

2.2.1 ETUDE D'IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE DES MATERIAUX UTILISEE

LES ESSAIS	NORMES
Analyse granulométrique	NF P 94-056
Proctor modifie	NF P 94-093
Equivalence de sable	NF P 18-598
Portance CBR	NF P 94-078
Limite d'Atterberg	NF P 94-058
Los Anglos	NF P 18-573

Tableau 2.1 : Normes des essaies d'identification.

Echantillon		Tuf	sable
	0/D	0/31	0/4
	D30(mm)	0.5	0.4
	%<80 (um)	1	2
Analyse	%<0,5(mm)	32	41
granulométrique	D60 (mm)	3	1.5
	D10 (mm)	0.15	0.12
	Cu	20>2	12,5>2
	Cc	0.55	0.88
	WL (%)	32	24.66
Limite d'atterrberg	Wp (%)	22.32	NM
	Ip (%)	10.18	NM
L'Equivalente de	valeur de bleu VI	0.8	0.4
sable Es (%)	Vbs (0/D)	0.47	. . .
	surface spécifiqu	16.47	8.37
	Wopt (%)	9.63	5.77
Essai proctor	dmax	2.04	2.24
	W (%)	4.34	2.4
	Indice		
Essai CBR	immédiat	92.23	
	CBR		

Tableau 2.2 : Résultats d'identification de matériaux utilisés (tuf et sable concassée)

❖ **Analyse *granulométrique* :**

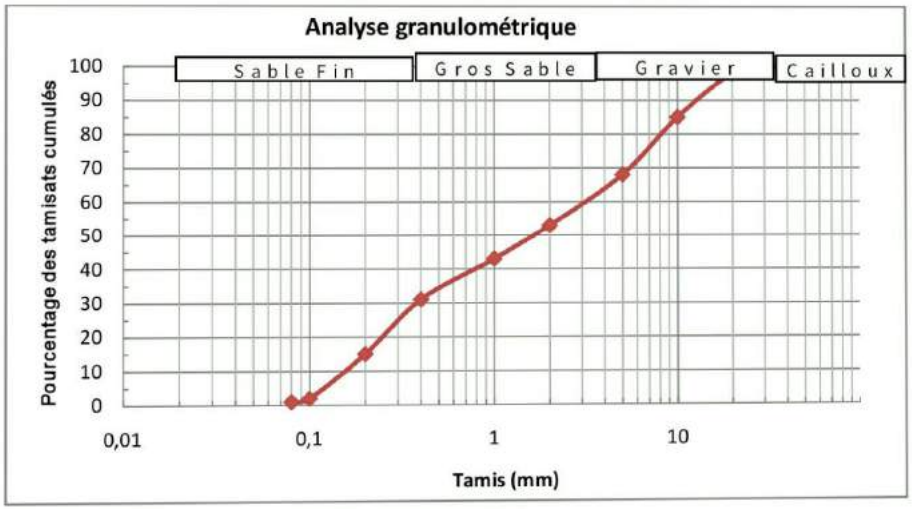

Figure 2.3 : Courbe granulométrique de tuf Berbaa.

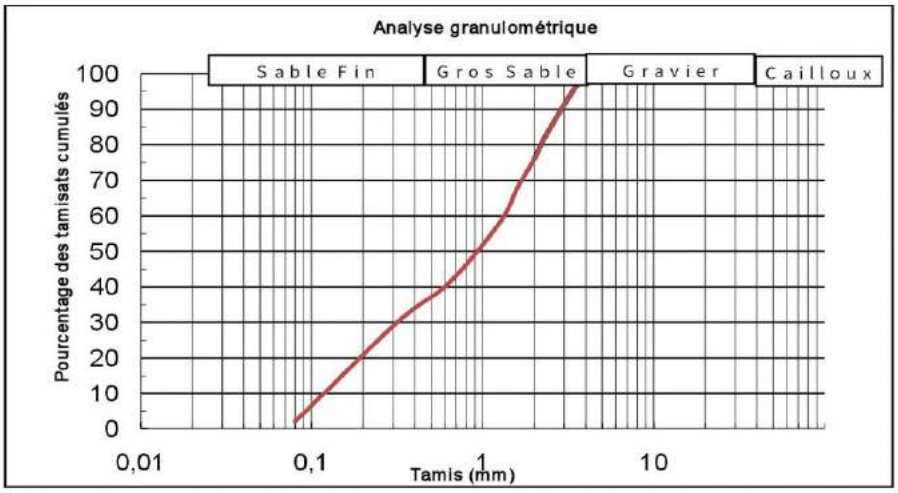

Figure 2.4 : Courbe granulométrique de sable concassée « Cherouine »

❖ **Limite d'Atterberg**

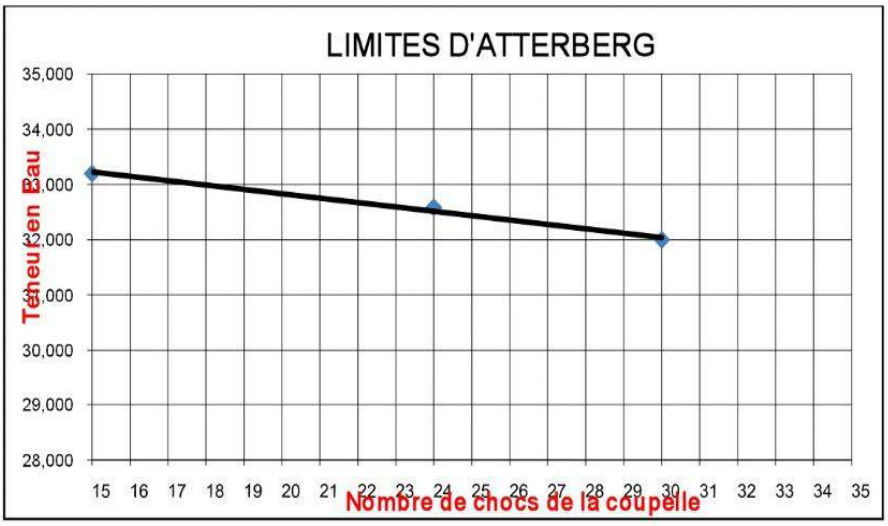

Figure 2.5 : Courbe de l'essai de limite de liquidité de tuf.

❖ **Essai Proctor modifié**

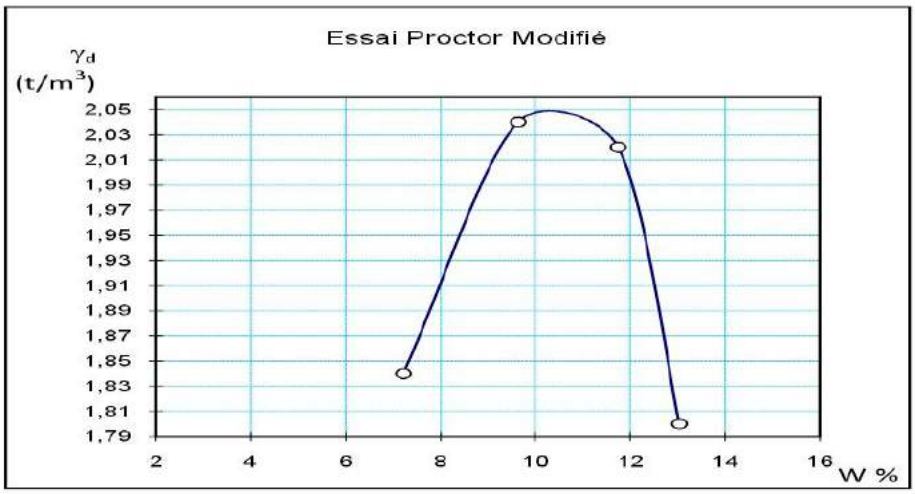

Figure 2.6 : Courbe de Proctor modifié du tuf.

2.2.2 ESSAI PROCTOR MODEFIE D'UN MELANGE TUF+ % SABLE CONCASSEE:

Les essais Proctor modifié ont été fait selon la norme NFP94 -093 pour la différent

Pourcentage de mélange Tuf/Sable concassée

Mélange / Paramètres	Tuf 100%	90% tuf+10 %Sable concassé	70% tuf+30% Sable concassé	50%tuf+50%Sable concassé
$\gamma_{dmax}(t/m^3)$	2.04	2.16	2.17	2.22
Wopt (%)	9.63	9.79	9.44	7.5

Tableau 2.3 : les résultats de la densité sèche des mélange.

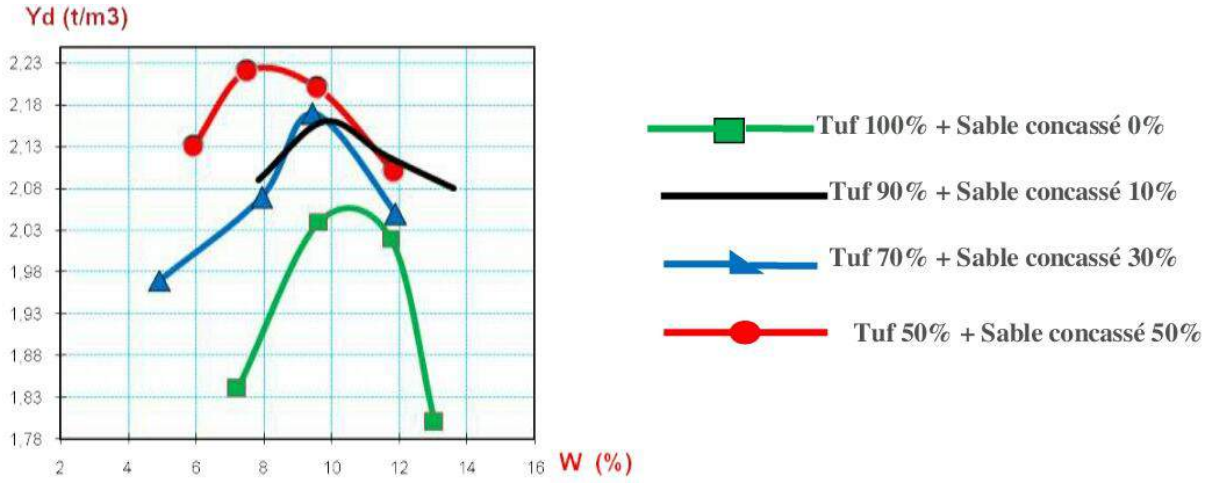

Figure 2.7 : La variation de la densité sèche des différents mélanges.

2.2.3 L'ESSAI DE PORTANCE ,ESSAI CBR D'UN M2LANGETUF /SABLE CONCASSEE :

L'essai de portance est réalisé conformément à la norme NFP94-078 pour les différents mélange Tuf/sable concassée. L'indice CBR est déterminé immédiatement ; Just après le compactage

Mélanges	I CBR immédiat
Tuf 100%+Sable concassé 0%	37.10
Tuf 90%+Sable concassé 10%	61.49
Tuf 70%+Sable concassé 30%	50.31
Tuf 50%+Sable concassé 50%	48.07

Tableau 2.4 : Résultat récapitulatifs des essais de portance(I CBR).

Les courbes suivants déterminé la variation de la force de piston en fonction son enfoncement

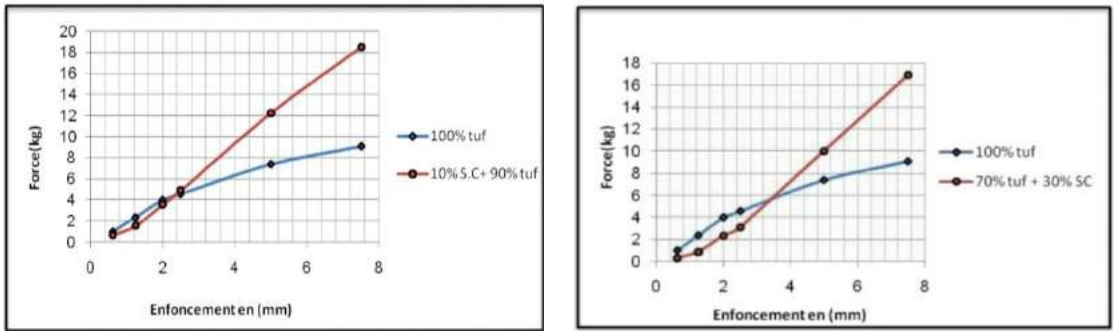

Figure 2.8 : Variation de la force du piston

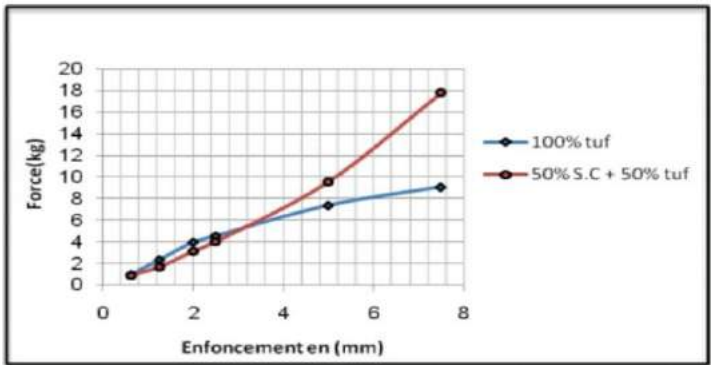

Figure 2.9 : Variation de la force du piston en fonction de son enfoncement 100% et (mélange avec 50 tuf et 50% sable concassé).

2.3.ÉTUDE D'IDENTIFICATION DU TUF AVEC OU SANS TRAITEMENT :

Le matériau utilisé dans cette étude Tuf de Numérote région de Ghardaïa.

2.3.1. RECAPITULATIF DES ESSAIS D'IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE DU TUF NUMEROTE SANS TRAITEMENT:

Résultats des essais d'identification géotechnique du tuf de Numérote sans résumé dans le tableau

Essai	Résultat
L'analyse granulométrique	
D10	0.006
D30	0.12
D60	2
Cu	333.33
Cc	1.2
Limites d'Atterberg	
w_l	28.53%
w_p	Non mesurable
I_p	Non mesurable
Essai d'équivalent de sable	4,65%
Essai au bleu de méthylène	
VB (0/0.2)	0.43
VB (0/D)	0.17
Essai de compactage et de portance	
La densité sèche maximale	$\gamma_{dmax} = 1,79$ t/m^3
La teneur en eau optimale	w_{opm}=11.85%
Essai CBR	
I CBR immédiat	42
I CBR après 4 jours d'immersion	35

Tableau 2.5 : Résultats des essais d'identification géotechnique du tuf de Numérote.

2.3.2.INFLUENCE DU TRAITEMENT SUR LES CARACTERISTIQUES DE COMPACTAGE ET DE PORTANCE (TUFAVEC UN TRAITEMENT) :

L'essai de compactage a été réalisé selon les prescriptions de la Norme NFP 94-093 il a pour déterminer les conditions optimum de compactage des sols. L'essai CBR est réalisé selon la Norme NFP 94-078.

Essais	Proctor modifie		Portance		
Formule	w_{opt} (%)	γ_{dmax} (t/m³)	I CBR Immédiat	4 jours d'immersion γ_d (t/m³)	I CBR
Tuf de Noumerate	12,85	1,79	42	1,77	35
Tuf + 2% chaux	13,35	1,71	48,5	1,69	41
Tuf +4% chaux	14,35	1,7	50	1,69	43
Tuf +2% ciment	13,45	1,75	55	1,73	96,2
Tuf +4% ciment	13,85	1,74	60	1,73	130
Tuf +2% mixte	13,95	1,75	52	1,74	81
Tuf +4% mixte	14,1	1,75	57	1,74	94
Tuf +0,5% ligno	12,2	1,81	51	1,79	42
Tuf +1% ligno	11,2	1,84	64	1,82	49

Tableau 2.6 : Résultats récapitulatif de compactage et de portance de notre échantillon traité

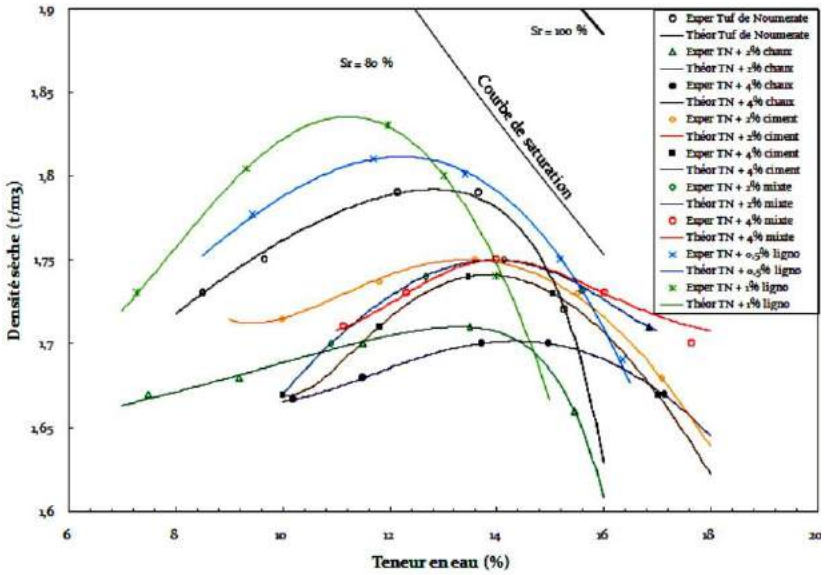

Figure 2.10 : Courbe Proctor modifié du tuf de Numérote avec ou sans traitement..

2.4. CONCLUSION

L'objectif de ce chapitre chercher un matériau pouvant être utilisé en couche de base et de fondation pour des chaussés et dans la construction des routes en générale, on a deux partie : la première partie ,nous avons vu que le mélange de 50% tuf +50% sable concassé présente une densité séché maximale importante (2,20 t/m3) après compactage ,et le mélange de 90% tuf + 20% sable concassée une valeur de portance de l'essai I CBR importance (61,49)

la deuxième partie ,nous avoues vu que la traitement a notamment le traitement par 1% de ligne sulfonâtes (lignine sulfonée) présente une densité séché (1,83 t/m3) et I CBR ((61,49)

à travers de ces études nous concluons une augmentation de la densité séché et l'indice immédiat (I CBR) pour construction technico-économique.

CHAPITRE 3 : NOTIONS FONDAMENTAL SUR LE COMPACTAGE

3.1.INTRODUCTION

Le géotechnicien s'intéresse aux sols dans la mesure ou ceux-ci constituent l'élément principal du contexte dans lequel la stabilité d'un ouvrage sera conçue . On a donc rapidement envisagé d'améliorer les caractéristiques mécaniques des sols d'assise pour augmenter leur capacité portante . Un grand nombre de procédés existent ; d'une part, les adjonctions de liants (bitume, ciment , chaux , laitier),relativement chers , et d'autre part , les procédés de compactage mécaniques. C'est ce dernier groupe de procédés , principalement mis en œuvre sur les chantiers routiers , que ce chapitre va exposer.

3.2.DEFINITION DU COMPACTAGE

Le compactage est l'ensemble des opérations mécaniques (apport d'énergie mécanique), qui conduisent à accroitre la densité d'un sol. En faisant texture du sol est resserrée ce qui réduit les déformations et tassement et augmente la compacité du sol et améliore sa capacité portante . Les ouvrages couramment concernés par le compactage sont les remblais routiers, les barrages en terre et les aérodromes . La densification mécanique du sol peut entrainer :

- Modification de la granulométrie.
- Modification de la teneur en eau.
- Réduction ou élimination des risques de tassement .
- Augmentation de la résistance du sole la stabilité du talus.
- Amélioration de la capacité portante.
- Limitation des variation de volume causées par gel, gonflement et retrait .

3.3.OBJECTIF DU COMPACTAGE

Les principaux objectifs poursuivis lors de la réalisation des travaux routiers de terrassements, de couches de forme, d'assises de chaussées et de couches de roulement sont :

- Augmenter les caractéristiques mécaniques
- Supprimer les déformations ultérieures
- Assurer l'imperméabilité

Augmenter les Caractéristiques mécaniques	Supprimer les Déformations ultérieures	Assurer l'imperméabilité
Augmenter la portance et la trafic bâté des couches de forme ou de remblai. Augmenter le module des assises non traitées Augmenter la résistance des assises traitées et des couches de roulement Permettre aux matériaux de résister au trafic routier	Tassement du remblai Tassement différentiels Déformations de chaussées Orniérage de couche de surface	Le compactage est la première des projections contre l'agression de l'eau . Objectif important pour la couche de roulement. évitant les désordres sur les couches inférieures

Tableau 3.1 : l'objectif du compactage

3.4.FACTEURS D'INFLUENCE DU COMPACTAGE

3.4.1.INFLUNCE DE LA TENEUR EN EAU

Quand on compacte un sol avec une énergie constante, la masse volumique du sol sec (augmente avec la teneur en eau (ɯ) jusqu'à une valeur maximale. Au-delà de cette valeur , l'accroissement de la teneur en eau réduit la masse volumique du sol sec , comme on peut le voir sur la courbe en forme de cloche de la figure 3.1, que l'on appelle courbe de compactage.

La valeur maximale de la masse volumique du sol sec situe au sommet de cette courbe , en un point qu'on appelle l'optimum Proctor (en référence à R.R.Proctor, qui a élaboré) les principes de base du compactage). L'optimum Proctor est la masse volumique sèche maximale (ρ^{dmax}) correspondant à une teneur en eau optimale pour une énergie de compactage donnée. Ainsi ,pour atteindre la masse volumique sèche maximale alors que l'énergie de compactage ne varie pas, on doit fournir sol la teneur en eau optimale. Si la teneur en eau est inférieure ou supérieure à cette valeur , on ne parviendra à la masse volumique sèche maximale qu'en augmentant l'apport d'énergie. Le compactage sera donc moins efficace.

Lignes de pourcentage en air : $\gamma_d = \frac{\gamma_s.(1-A)}{(1+\omega.G)}$ avec : A = % d'air

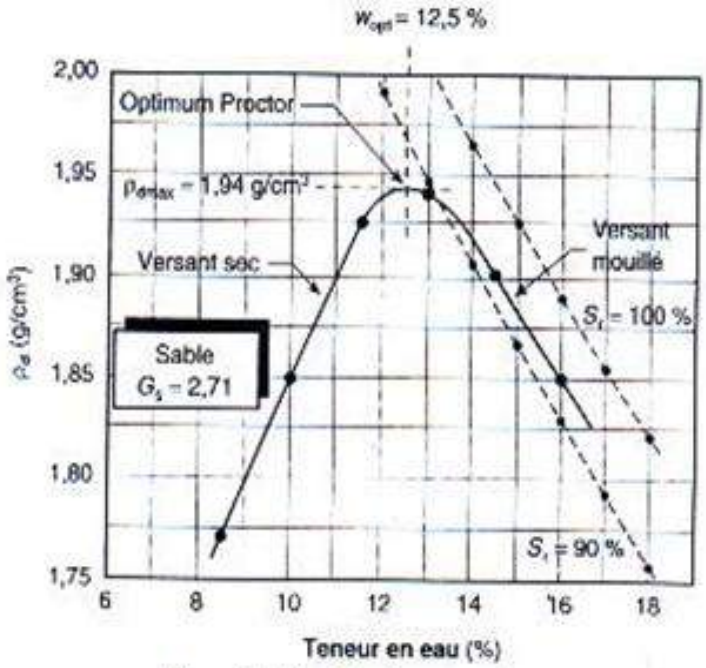

figure 1 : Courbe de compactage

Figure 3.1: courbe de compactage

Les teneurs en eau inférieures à la teneur optimale forment le versant sec de la courbe de compactage, tandis que les teneurs en eau supérieures forment le versant mouillé de la courbe ,Sur le versant sec de la courbe, l'eau agit comme un lubrifiant : elle mouille les particules de sol, qui glissent alors les unes sur les autres et adoptent une structure plus serrée , Plus la teneur en eau est faible, plus cette action s'atténue et plus la masse volumique du sol sec diminue , Sur le versant mouillé, l'eau occupe une grande partie des vides du sol , Etant incompressible, elle absorbe une portion importante de l'énergie de compactage, ce qui empêche les particules de sol d'adopter une structure plus dense , Plus la teneur en eau augmente, plus l'eau absorbe d'énergie et plus la masse volumique du sol sec décroit

A la figure on a aussi tracé les courbes de saturation Sr = 90% et Sr =100 % une courbe de saturation représente les masse volumiques de sol sec en fonction de la teneur en eau pour un degré de saturation(Sr) et une densité relative (G_S) donnés , La courbe de saturation Sr =100 % constitue une condition limite : un point situé à droite de cette courbe indiquerait un degré de saturation supérieur 100% phénomène absolument inconcevable puisque le volume que l'eau occupe dans le sol ne peut être plus grand que le volume des vides , Et comme il est impossible de saturer complètement un sol par compactage , le versant mouillé de la courbe de compactage ne touchera jamais la courbe de saturation Sr =100 % tout au plus s'en approchera-t-il en tendant à y être parallèle

Pour tracer une courbe de saturation, on doit calculer la masse volumique du sol sec correspondant à diverses teneurs en eau , à un degré de saturation donné, On y arrive à l'aide des deux relations suivantes, tirées de l'annexe :

$$Sr = \omega G_S$$

$$\rho = \frac{\rho s}{(1+e)}$$

3.4.2 L'INFLUENCE DE L'ENERGIE DE COMPACTAGE

Lorsque le sol reçoit une énergie plus grande, cela entraine du coté sec un gain de compacité avec des branches sèches parallèles entre elles et décalées vers le haut pour les énergies supérieures figure 2

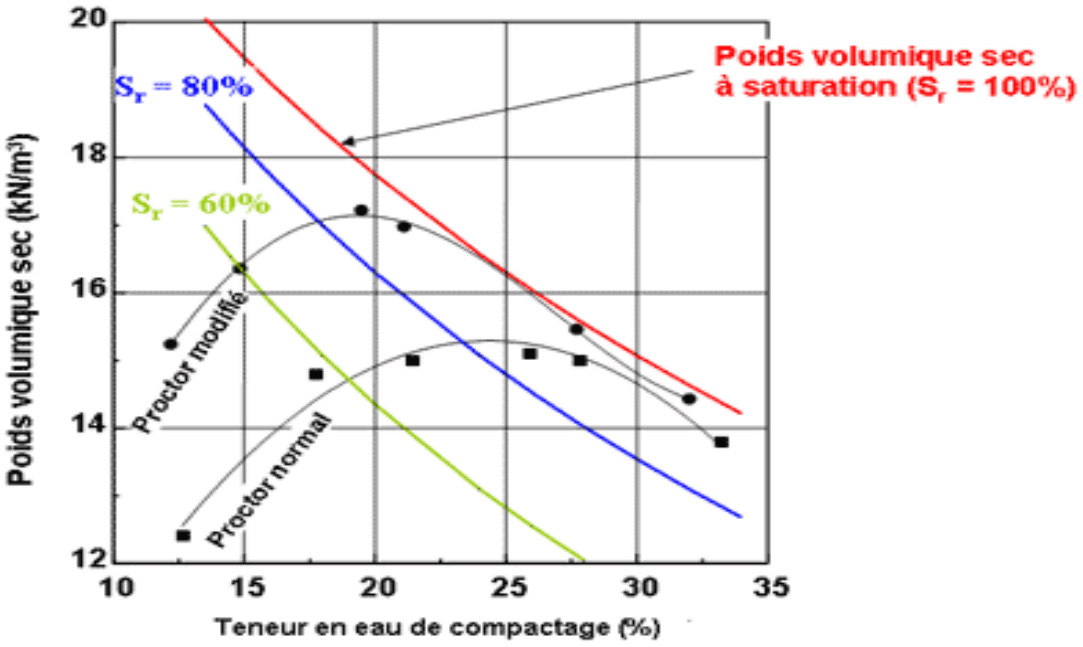

Figure 3.2: courbes de compactage des essais Proctor et modifié pour le limon argileux de xeuilley

On obtient des valeurs de compacité maximale (ɤ max) plus élevées avec des valeurs de teneur en eau optimales plus faibles .

Du coté humide de la courbe Proctor, on constate que le supplément d'énergie de compactage est quasi inefficace (donc inutile) et que pour ces teneur en eau , les courbes de compactage sont pratiquement confondues (phénomène du coussin de caoutchouc déjà évoqué).

Les différents optima d'un même sol se rangent suivant une courbe qui est approximativement une courbe d'équi-degré de saturation.

3.4.3 L'INFLUENCE DE LA NATURE DU SOL

Un sol dont le compactage sera fortement influencé par la teneur en eau présentera une courbe de compactage avec un maximum très marqué. A l'inverse, un sol dont la teneur en eau influence peu le compactage sera caractérise par une courbe de compactage très plate. Les sols de ce type font généralement les meilleurs remblais.

La figure suivante donne quelques exemples des allures que peuvent présenter les courbes de compactage des sols courants (clay = argile, sand = sable, silty sand = sable limoneux). On voit que les sables sont très peu sensibles à l'eau en ce qui concerne le compactage, tandis que s'ils contiennent une fraction argileuse, leur courbe s'infléchit de manière importante.

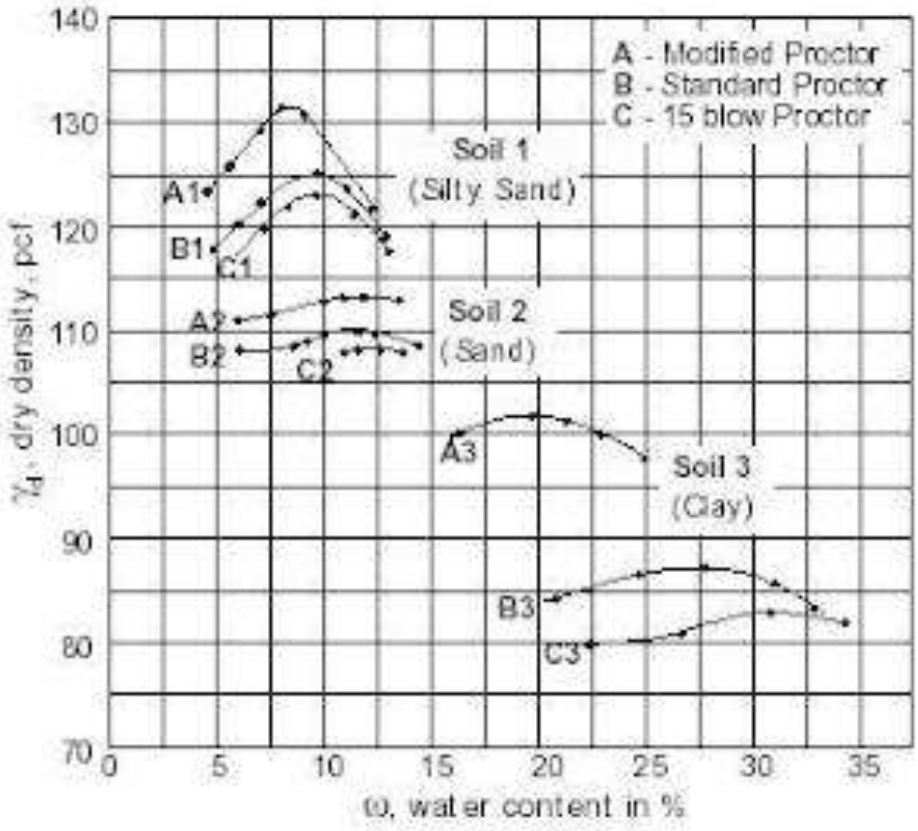

Figure 3.3 : L'influence de la nature du sol sur la courbe Proctor

3.5 LES EFFETS DU COMPACTAGE SUR CERTAINES PROPRIETES DES SOLS

Le compactage augmente la stabilité des sols et leur capacité à porter des charges, mais modifie en même temps certaines de leurs propriétés. Les plus touchées sont la structure des sols, la perméabilité, le gonflement et le retrait , la compressibilité, ainsi que la résistance au cisaillement.

La structure des sols

On le sait, le compactage réduit l'indice des vides. Il densifie donc, par le fait même , la structure à grains uniques des sols pulvérulents . Dans les sols cohérents, il entraine plutôt une réorganisation des particules d'argile, qui tendent à devenir parallèles et à adopter une structure dispersée . L'augmentation de l'énergie de compactage et une teneur en eau supérieure à la teneur en eau optimale rendant la structure de plus en plus dispersée.

La perméabilité

Le compactage diminuant la quantité de vides dans le sol, une mois grande quantité d'eau peut y circuler. Si on augmente l'énergie de compactage, la quantité de vides diminue davantage, de même que la perméabilité. Dans les sols argileux , la perméabilité la plus faible s'obtient lorsque la teneur en eau est égale ou supérieure à la teneur en eau optimale pendant le compactage . Le diminution de la perméabilité constitue un inconvénient dans le cas des sols pulvérulents utilisé comme matériaux de fondation dont on doit éliminer l'eau rapidement.

Le gonflement et le retrait

En réduisant ainsi l4indice des vides et la perméabilité des sols, on diminue à la fois la quantité d'eau qu'ils peuvent contenir et celle qu'ils sont susceptibles de recevoir. Ce faisant , on limite les variations de volume causées, entre autre, par le gonflement et le retrait . A notre , cependant : l'argile compactée alors que sa teneur en eau est supérieure à la teneur en eau optimale sera davantage sujette au retrait , tandis que celle qui est compactée alors que sa teneur en eau est inférieure à la teneur en eau optimale sera plus sujette au gonflement.

La compressibilité

Plus le volume occupé par les vides un sol est élevé, plus la compressibilité de ce sol est grande et plus les tassements peuvent y être importants. Ainsi , en réduisant les vides d'un sol par compactage, on le rend moins compressible, et les risques de tassement s'atténuent .

La résistance au cisaillement

Dans les sols pulvérulents, plus les particules sont resserrées les unes contre les autres par le compactage, plus le frottement et l'enchevêtrement deviennent importants et plus la résistance au cisaillement augmente. Dans les sols cohérents, les forces de cohésion constituent le facteur principal de la résistance au cisaillement . Or , plus la distance entre les particules est faible , plus les forces de cohésion sont élevées. En réduisant la distance qui sépare les particules, le compactage augmente donc la résistance au cisaillement . De façon générale, la résistance au cisaillement des sols argileux est plus importante quand la teneur en eau est inférieure à la teneur en eau optimale pendant le compactage.

Puisqu'on augmente la résistance au cisaillement d'un sol en le compactant, on y augmente également l'angle de frottement interne φ.

3.6 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons parlé du compactage du sol et conclu que les processus de compactage mécanique affectent le sol, ainsi que la réponse des différents types de sol aux facteurs qui l'affectent.

CHAPITRE 4: MODE DE COMPACTAGE (STATUQUE ET DYNAMIQUE)

4.1.INTRODUCTION

Un défaut de compactage est à l'origine de divers désordres observés dans les chantiers de terrassement , tels que des problèmes liés aux tassements , des dégradation de la surface des sols sous l'effet de trafic (Gillies et al. 2005)

L'objectif de cette recherche consiste à reproduire à l'échelle du laboratoire les modalité de compactage similaires à celles du chantier .Dans ce cadre de cette étude, un dispositif de compactage roulant a été testé au laboratoire sur le limon de Val d'Europe , puis les résultats ont été comparés à ceux obtenus par la méthode dynamique au Proctor, et la méthode de compactage statique à la presse .L'influence de ces différentes méthodes sur les propriétés du sol a été analysée à différentes échelles.

4.2.COMPACTAGE DYNAMIQUE (OU PILONNAGE)

Le compactage dynamique est surtout employé sur les chantiers de construction de bâtiments. En augmentant la capacité portante du sol, il permet de remplacer les fondation profondes par des fondations superficielles, ce qui réduit considérablement le cout des ouvrages . On l'utilise aussi pour construire des routes ,des chemins de fer et des barrages en terre , compacter des dépotoirs municipaux ou industriels et stabiliser les dépôts de sol susceptibles de se liquéfier dans les zones ou le risque de séisme est élevé. On s'en sert même pour compacter des dépôts de sol situés sous l'eau : on utilise alors un pilon profilé qui pénètre dans l'eau sans qu'il y ait trop grande perte d'énergie.

Figure 4.1 : chantier de compactage dynamique en Arabie Saoudite

4.2.1 ESSAI DE PROCTOR

L'essai Proctor (normal ou modifié) est un essai de compactage dynamique , caractérisant la compactibilité des matériaux .

L'essai Proctor a pour but de connaitre la réaction d'un sol au compactage en fonction de sa teneur en eau et de déterminer sa densité sèche optimum. Il sert de référence pour les objectifs de compactages. Il existe deux types d'essais, le Proctor normal réservé aux couches de forme et de remblais, et le Proctor modifié utilisé pour les couches d'assise.

Figure 4.2 : essai de Proctor normal

4.2.1.1 APPAREILLAGE SPECIFIQUE

La appareillage spécifique comporte :

-Un moule Proctor : constitué d'un corps de moule (D=101,6 mm, h= 120 mm), d'une embase et d'une rehausse ;

-Un dame Proctor normal : constitué d'un mouton cylindrique (D = 51 mm, m = 4.54kg) ; le mouton coulisse dans un fourreau qui lui autorise une hauteur de chute de h=457 mm

-En plus d'un tamis (2 mm), une balance, et des récipients hermétiques .

4.2.1.2. PROCEDURE EXPERIMENTALE

La préparation : avant le compactage du sol, il faut d'abord :

- Prendre un échantillon de 24 heurs par jour

- Tamiser l'échantillon à 5 mm

- Prendre le poids de retenu sur chaque tamis

- Ajouté 3 % de l'eau au stade initial

- Echantillon entier divisé en quatre partie

- Remplir la première partie du moule en trois couches , chaque couche compactée

Compactage : Introduire alors la quantité de matériau pour que la première couche après compactage soit légèrement plus haute que le tiers de la hauteur du moule :

-Compacter cette couche avec la dame Proctor normal en appliquant respectivement 25 ou 55 coups par couche.

-répéter l'opération autant de fois pour la deuxième et la troisième couche

-A la du compactage de la dernière couche, retirer la rehausse, araser soigneusement au niveau du moule puis retirer l'échantillon

-Peser l'échantillon compacté et déterminer sa teneur en eau

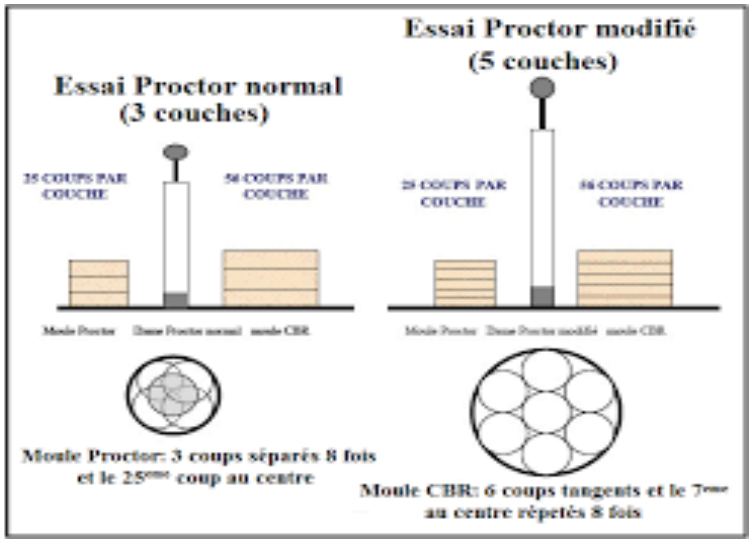

Figure 4.3: Position des coups dans le moule Proctor normal et modifié

Expression des résultats :

La densité sèche est obtenue par la formule **:** $\gamma d = \frac{ms}{v} = \frac{m}{(1+w).v}$

Il est préférable de tracer avec la courbe Proctor les courbes d'équation:

$$\gamma d = \frac{sr.\gamma s}{sr + w.\frac{\gamma s}{\gamma w}}$$

Avec γd**:** poids volumique sec de l'échantillon

γs**:** poids volumique des grains solides

γw**:** poids volumique de l'eau

ms: masse des grains solides

v : volume de moule Proctor

w : teneur en eau de l'échantillon compacté

Sr : degré de saturation l'échantillon compacté

4.3.2. QUANTITE DE MATERIAUX ET CHOIX DU TYPE DE MOULE

La quantité de matériaux varie entre 15 kg et 100 kg suivant la granularité du matériau et suivant que l'on cherche une détermination concomitante de ses caractéristiques de compactage, de son indice CBR (ICBR) après immersion et/ou de son Indice Portant Immédiat (IPI).

Le choix du moule est imposé par la granularité du matériau et l'utilisation envisagée des résultats de l'essai . Les caractéristiques de compactage Proctor d'un matériau sont déterminées à partir d'essais dits : Essai Proctor normal ou Essai Proctor modifié . Les deux essais sont identiques dans leur principe, seules diffèrent les valeurs des

paramètres qui définissent l'énergie de compactage appliquée(Tableau 1).

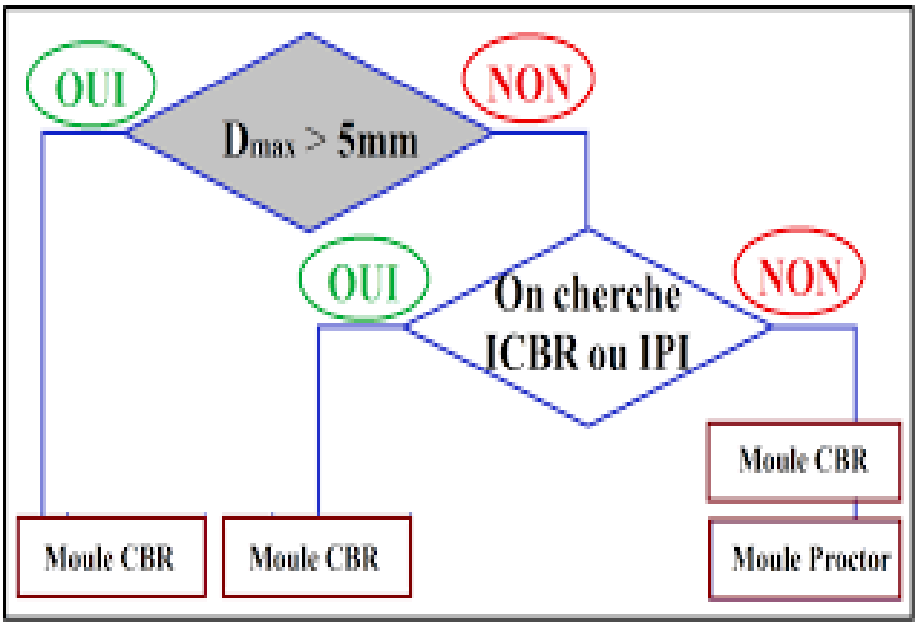

Figure 4.4 : Diagramme de choix du moule de compactage (norme NF P 94-093)

Type	Nombre de coups total	Energie (Kj/dm3)	Masse de dame (g)	Hauteur de chute (mm)	Diamètre moule (mm)
Normal	25	0,59	2500	305	101,6
Modifié	25	2,71	4500	457	152

Tableau 4.1 : Caractéristiques de l'essai Proctor normal et modifié

4.3.3 NORME DE COMPACTAGE

Référence	Source	Spécif
NF P 94-093	AFNOR (France)	Moule Proctor (100 mm) 25 coups en 6 tours tangents au bord et 1 coup final au centre Moule CBR (150 mm) 7 séquences successives de 6 coups au bord et 1 coup au centre, puis un dernier tour de 6 coups au bord du moule.
DIN 18 127 50.25	DIN (Allemagne)	Moule Proctor (100 mm) 25 coups au bord du moule en 3 tours (dame de 50 mm)
DIN 18 127 75.22	DIN (Allemagne)	Moule CBR (150 mm) 22 coups au bord du moule en 3 tours (dame de 75 mm)
DIN 18 127 75.59	DIN (Allemagne)	Moule CBR (150 mm) 59 coups au bord du moule en 3 tours (dame de 75 mm)
UNE 26	AENOR (Espagne)	Moule Proctor (100 mm) 26 coups en 6 tours en bord de moule en 3 tours Moule CBR (150 mm)
UNE 60	AENOR (Espagne)	Moule Proctor (100 mm) 60 coups en bord de moule en 8 tours Moule CBR (150 mm)
UNI 10009/56	UNI (Italie)	Moule CBR (150 mm) 2 séquences de 18 coups en bord et 9 coups tangents à un cercle de 100 mm de diamètre et 1 coup au centre

UNI 10009/26	UNI (Italie)	Moule CBR (150 mm)
UNI 10009/12	UNI (Italie)	Moule CBR (150 mm)
CNR 29	CNR (Italie)	Moule CBR (150 mm)
AASHTOT99 T180 25	(Etats Unis)	Moule CBR (150 mm)
UNE 103 501 94	AENOR (Espagne)	Moule CBR (150 mm)
BS 27 d105	BSI (Royaume Unie)	Moule Proctor (105 mm) 27 coups en bord de moule en 3 tours
BS 16 d152	BSI (Royaume Unie)	Moule CBR (152 mm) 2 séquences de 20 coups en bord de moule, 10 coups tangents à un cercle de 105 mm de diamètre et 1 coup au
BS 30 d152	BSI (Royaume Unie)	Moule CBR (152 mm) 20 coups en bord de moule et 10 coups tangents à un cercle de 105 mm de diamètre
NF P94-066	**AFNOR(France)**	**Moule CBR (152 mm)** **100 coups (dame 50 mm)**
Dutch Raw	**NEN (Pays Bas)**	**Moule Proctor (100 mm)** **25 coups en bord de moule en 3 tours** **Moule CBR (150 mm)**
Dutch EPP16/4	**NEN (Pays Bas)**	**Moule CBR (150 mm)**
Dutch EPP 20	**NEN (Pays Bas)**	**Moule CBR (150 mm)** **20 coups en bord de moule en 4 tours**
CNR 69	CNR (Italie)	**Moule Proctor (100 mm)** **25 coups en bord de moule en 3 tours** **Moule CBR (150 mm)**

ASTM D 698	**ASTM (Etats Unis)**	**Moule Proctor (100 mm)** **25 coups en bord de moule en 3 tours** **Moule CBR (150 mm)**

Tableau4 .2 : Liste des normes de compactage appliquée dans certains pays. D'après Zadjaoui, 2007

4.3 COMPACTAGE STATIQUE

Le compactage quasi statique d'un sol argileux est utilisé dans deux domaines de la construction en terre : en bâtiment (pour des briques séchées à l'aire libre) et en géotechnique .

Nous présentons, dans cet article, un essai de laboratoire qui permet l'étude de la procédure de compactage statique . Cet essai permet de fabriquer des échantillons de sol compacté comparables au sol in situ . On caractérise le comportement de l'échantillon au cours du compactage , la teneur en eau optimum de compactage et aussi le chemin de contrainte suivi lors de cette procédure, afin d'obtenir des informations sur le comportement après compactage.

.

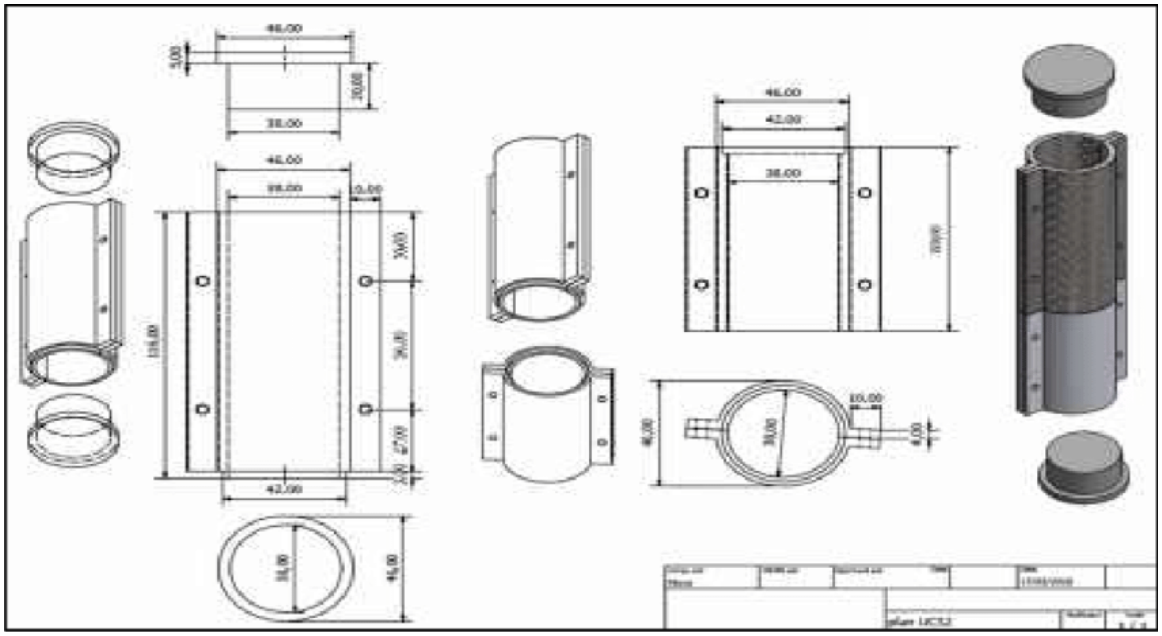

Figure 4.5: Le Moule de compactage statique pour préparer l'échantillon UCS.

4.4 COMPARAISON ENTRE LE COMPACTAGE STATIQUE ET DYNAMIQUE

L'étude en laboratoire du compactage statique et de la perméabilité des sols fins argileux a permis de mettre au point un protocole de mesure de la perméabilité directement dans le moule de compactage .L'intérêt de cette méthode est qu'elle permet d'étudier de manière plis rapide et plus précise que couplage dynamique (Proctor) les relation teneur en eau – compacité – perméabilité , relations qui sont essentielles pour la conception et la mise en œuvre des barrières étanches les essais réalisés sur divers types de sols ont montré que le compactage statique est bien adapté au cas des sols fins argileux .Ils ont également montré, échantillons étudiés, l'existence d'un optimum de teneur en eau pour lequel la perméabilité est minimale . Cet optimum semble peu sensible à l'énergie de compactage . Nous proposons certaines corrélations , qui permettent à partir des essais simples et moins normal couteux , d'obtenir les caractéristiques de l'optimum Proctor normal et d'estimer la contrainte de compactage statique .Permettant de donner la densité optimale Proctor normal . Nous présentons également une étude sur l'influence de la taille des mottes et du mode de compactage sur la perméabilité des sols, ainsi qu'une étude comparative sur le perméabilité d'un limon compacité en place par un rouleau à pneus et compacité statiquement en laboratoire dans les mêmes condition de densité sèche et de teneur en eau .

4.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons traité les différence de confection des éprouvettes au laboratoire à savoir : le compactage dynamique et le compactage statique représenté par l'essai de Proctor normal et modifié.

CHAPITRE 5 : IDENTIFICATION DES MATERIAUX UTILISES

5.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, on présente d'un manière générale des sols affaissa-blés , les instruments utilisés ainsi que les procédures suivies pour la réalisation du programme des essais .

5.2 MATERIAUX

5.2.1 DESCRIPTION DES SOLS

Deux composantes principales entrent dans la compositions des sols d'essais le tuf et l'argile , il extraite du gisement de SIDI BOUBAKEUR dans la wilaya de Saida.

5.3 ETUDE D'INDENTIFICATION DES MATERIAUX UTILISES

- **IDENTIFICATION PHYSIQUE**

5.3.1 L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE

L'essais consiste a classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis (5-4-3,15-2,5-2-1,6-1-0,5-0,4-0,2-0,1- 0,063)

Emboités les uns sur les autres , dont les dimension des ouvertures sont décroissant du haut vers le bas.

Figure 5.1 : série de tamis sur la tamisage

5.3.1.1 PRINCIPE D'ESSAI :

- L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.

- Les masses des différents refus et tamisâtes sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

5.3.1.2 BUT D'ESSAI :

Déterminer les proportions des particules solides de différentes tailles qui constituent le sol.

5.3.1.3 MATERIEL NECESSAIRE :

- Une machine à tamiser

- Une série de tamis conformes (11 tamis plus le fond)

- Un couvercle qui évite la perte de matériau pendant le tamisage et un réceptacle de fond pour recueillir le dernier tamis

- Une main écope pour le remplissage

- Une balance de précision

5.3.1.4 RESULTATS :

Tamis (mm)	**Refus de chaque tamis** (g)	**Refus cumulés**	% **de refus cumulés**	% **de passant**
5	**11,3**	**11,3**	**2,26**	**97,74**
4	**16,2**	**27,5**	**5,5**	**94,5**
3,15	**22,9**	**50,4**	**10,08**	**89,92**
2,5	**26,3**	**76,7**	**15,34**	**84,66**
2	**23,4**	**100,1**	**20,02**	**79,98**
1,6	**22,8**	**122,9**	**24,52**	**75,42**

1	**35,8**	**158,7**	**31,74**	**68,26**
0,5	**31,9**	**190,6**	**38,12**	**61,88**
0,4	**20,8**	**211,4**	**42,28**	**57,72**
0,2	**27,9**	**239,3**	**47,86**	**52,14**
0,1	**45,9**	**285,2**	**57,04**	**42,96**
0,063	**23,2**	**308,4**	**61,68**	**38,32**
Fond	**179,2**	**487,6**	**97,52**	**2,48**

Tableau 5.1 : Granulométrique par tamisage "tuf"

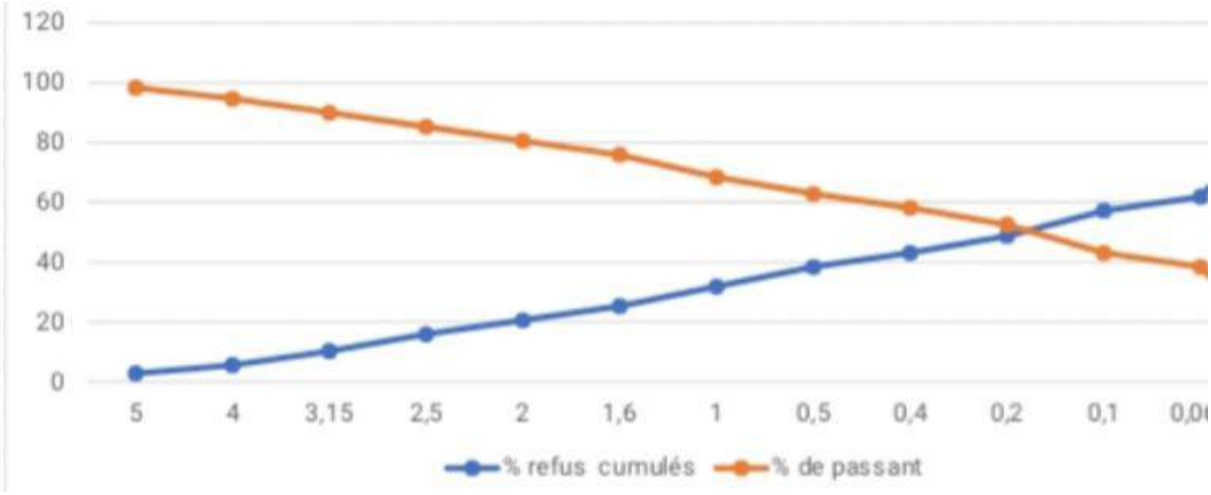

Figure 5.2 : courbe granulométrique de sols (tuf)

Module de finesse : $M_{F=} \sum(\frac{(Rc\%)}{100}) = 1,7$

$1,8 < 1,7 < 2,2$ Donc le sol est à majorité des grains fins

Tamis (mm)	**Refus de chaque tamis** (g)	**Refus cumulés**	**% de refus cumulés**	**% de passant**
5	**0**	**0**	**0**	**100 %**
4	**12**	**12**	**2,4**	**97,6**
3,15	**12,7**	**24,7**	**4,94**	**95,06**
2,5	**18,3**	**43**	**8,6**	**91,4**
2	**23,6**	**66,6**	**13,32**	**86,68**
1,6	**34,5**	**101,1**	**20,22**	**79,78**
1	**89**	**190,1**	**38,02**	**61,98**
0,5	**137,3**	**327,4**	**65,48**	**34,52**
0,4	**20,6**	**348**	**69,6**	**30,4**
0,2	**61,2**	**409,2**	**81,84**	**18,16**
0,1	**39**	**448,2**	**89,64**	**10,36**
0,063	**19,8**	**468**	**93,6**	**6,4**
Fond	**20,6**	**488,6**	**97,72**	**2,28**

Tableau 5.2 : courbe granulométrique par tamisage "tuf"

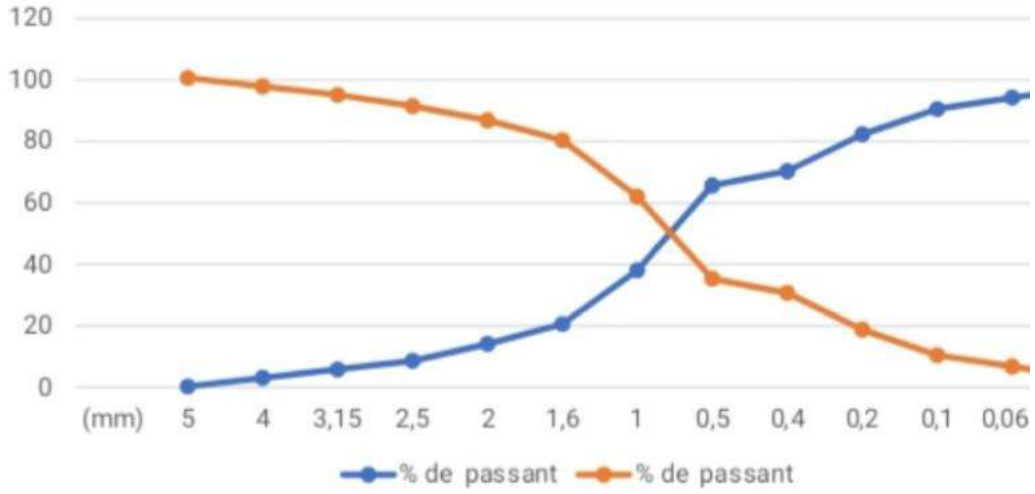

Figure 5.3 : courbe granulométrique par tamisage "l'argile"

Module de finesse : $\mathbf{M_F} = \frac{(\boldsymbol{Rc}\ \%)}{\mathbf{100}} = 2{,}5$

$2{,}2 < 2{,}5 < 2{,}8$ on est en présence d'un sable préférentiel

5.3.2 ESSAI D'ATTERBER

NF P 94-051 : Détermination des limites d'Atterberg : limite de liquidité à la coupelle – Limite de plasticité au rouleau .

5.3.2.1 PRINCIPEDE L'ESSAI

L'essai s'effectue su la fraction 0/400 µm en 2 phases :

- Détermination de la teneur en eau W_L pour laquelle une rainure pratiquée dans une coupelle se ferme, suite à des chocs répétés pour un nombre de coups donnés (cette limite de liquidité correspond à une résistance à un cisaillement conventionnel);
- Détermination de la teneur en eau W_P pour laquelle un rouleau de sol se fissure (cette limite de plasticité correspond à une résistance à la traction conventionnelle).

Figure 5.4: réalisation du rouleau de sol

Figure 5.5: réalisation de la rainure

5.3.2.2 But D'ESSAI

Déterminer les teneur en eau remarquables situées à la frontière entre ces différentes états sont les **"Limites d'Atterberg" :**

- Limite de Liquidité : W_L (frontière entre état plastique et liquide)
- Limite de Plasticité : W_P (frontière entre état solide et plastique)
- Limite de Retrait: W_S qui sépare l'état solide avec retrait de l'état solide sans retrais

5.3.2.3 MATERIEL NECESSAIRE :

Limite de liquidité: -appareil de casagrande et cône de pénétration

-outil à rainurer

-cale d'épaisseur 10 mm

Limite de plasticité : -plaque de marbre

-sèche-cheveux

-capsules de pesée

Divers : -étuve

-balance

-spatule

-pissette

-chronomètre indiquant la seconde

5.3.2.4 RESULTATS :

- **Limite de liquidité :**

a) L'argile

Nombre de coups	**13**	**15**	**18**	**35**
Tare	**1**	**2**	**3**	**4**
Sol humide +Tare	**31**	**30**	**33**	**32**
Sol sec + Tare	**28,5**	**27,9**	**30,3**	**29,8**
Eau (g)	**2,5**	**2,1**	**2,7**	**2,2**
Tare (g)	**24**	**24**	**24**	**24**
Sol sec	**4,5**	**3,9**	**6,3**	**5,8**
Teneur en eau %	**55,55**	**53,84**	**42,85**	**37,79**

Tableau 5.3 : Limite de liquidité de l'argile

b) Le tuf

Nombre de coups	**16**	**17**	**22**	**27**
Tare	**1**	**2**	**3**	**4**
Sol humide+tare	**33,1**	**35,4**	**35,4**	**35,5**
Sol sec+tare	**31,4**	**33,4**	**33,7**	**33,9**
Eau (g)	**1,7**	**2**	**1,8**	**1,6**
Tare (g)	**24**	**24**	**24**	**24**
Sol sec	**7,4**	**9,4**	**9,7**	**9,9**
Teneur en eau%	**22,97**	**21,27**	**18,55**	**16,16**

Tableau 5.4 : La limite de liquidité de tuf

- **Limite de plasticité**

a) L'argile

Tare	**1**	**2**	**3**	**3**
Sol humide + Tare (g)	**28,9**	**29,8**	**28,2**	**28,1**
Sol sec + Tare (g)	**28,1**	**29**	**27,7**	**27,7**
Eau (g)	**0,8**	**0,8**	**0,5**	**0,4**
Tare (g)	**25,3**	**25,3**	**25,3**	**25,3**
Sol sec	**2,8**	**3,7**	**2,4**	**2,4**
Teneur en eau %	**28,57**	**21,16**	**20,08**	**16,66**

Tableau 5.5: La limite de plasticité de l'argile

b)Tuf :

Tare	**1**	**2**	**3**	**4**
Sol humide + Tare	**30**	**30,04**	**29,8**	**28,6**
Sol sec + Tare (g)	**29,4**	**29,9**	**29,4**	**28,4**
Eau (g)	**0,6**	**0,5**	**0,4**	**25,3**
Tare (g)	**25,3**			
Sol sec	**4,1**	**4,6**	**4,1**	**3,1**
Teneur en eau %	**14,63**	**10,86**	**9,75**	**6,45**

Tableau 5.6: La limite de plasticité de tuf

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_P < 5$	Non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)
$5 < I_P < 15$	Moyennement plastique
$15 < I_P < 40$	Plastique
$I_P > 40$	Très plastique

Tableau 5.7 :Classement de sol par rapport leur indice de plasticité

-L'indice de plasticité de tuf $\mathbf{I_P}$ = 7% entre $5 < I_P < 15$ donc tuf moyennement plastique

-L'indice de plasticité de l'argile $\mathbf{I_P}$ =17% entre $15 < I_P < 40$ donc l'argile plastique

5.3.3 ESSAI EQUIVALENT DE SABLE (ES)

Es à vue	Es au piston	Nature et qualité du sable
ES<65%	ES<60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité
		Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a

65%<ES<75%	60%<ES<70%	pas de conséquence notable sur la qualité du béton Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
ES>85%	ES>80	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

Tableau 5.8 : Caractéristique de sable (ES)

5.3.3.1 PRINCIPE :

L'essai est effectuer sur la proportion de 0 à 5 mm du matériau , on lave l'échantillon et on laisse reposer le tour pendant 20 min , et on mesure les éléments suivant :

- Hauteur h_1 : sable propre + éléments fines.
- Hauteur h'_2 : sable propre seulement mesurer par piston.
- Hauteur h_2 : sable propre seulement mesurer visuellement
- Equivalent de sable : E_S

Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement et h'_2 à l'aide du piston , on détermine un $ES_{V\ (visuel)}$ et $ES_{P\ (par\ piston\ )}$ tel que :

$$\mathbf{ES_V = H'_2 \times \frac{100}{H1}}$$

$$\mathbf{ES_P = H_2 \times \frac{100}{H1}}$$

5.3.3.2 BUT :

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer la propreté d'un sable donné

5.3.3.3 MATERIEL NECESSAIRE:

- Tamis de 5 mm d'ouverture de mailles avec fond .
- Spatule et cuillère
- Goupillon pour le nettoyage des éprouvettes
- Chronomètre
- Balance technique
- Eprouvette en plexiglas avec deux traits supérieure et inférieur
- Entonnoir pour l'introduction du sable
- Bonbonne de SI pour la solution lavant avec son bouchon et siphon et tube souple de 1,5 m
- Tube laveur métallique plongeant
- Machine

5.3.3.4 RESULTATS :

Les résultats obtenus sont :

$$\mathbf{ESp} = \boldsymbol{H2} \times \frac{\mathbf{100}}{\mathbf{h1}}$$

$$\mathbf{ESv} = \mathbf{H'_2} \times \frac{\mathbf{100}}{\mathbf{H1}}$$

N° de l'éprouvette	N°1	N°2	Qualité	Usage de sable
H1 (cm)	14,2	14		Risque de retrait ou gonflement, pas bon pour un béton de qualité: utilisé sur les couches de base
H'_2 (cm)	6,5	6,7	Sable	
H_2 (cm)	7,6	8,1	Argileux	ESP< 60
Esp %	45,77	47,85	ESP< 60	ESV< 65
ESV %	53,52	57,85		

ESP% (moy)	**ESP = 46,81**			
ESV% (moy)	**ESV = 46,81**			

Tableau 5.9 :Résultats d'essai d'équivalent de sable

5.3.4 ESSAI DE BLEU METHYLNE

5.3.4.1 PRINCIPE DE L'ESSAI :

L'essai au bleu de méthylène consiste à mettre en suspension une fraction de sol (0/d) avec d≤ 10 mm et à ajouter à cette suspension des doses successives de 5 ml d'une solution de bleu de méthylène jus'qu'à apparition d'une auréole bleue autour de la tâche constituée par le sol, l'auréole bleue indique l'excès de cette solution dans les particules d'argile.

5.3.4.2 BUT DE L'ESSAI :

Evaluer la richesse en argile d'un sol en mesurant sa capacité d'adsorption de molécules de bleu de méthylène.

5.3.4.3 MATERIEL :

L'appareillage à utiliser est le suivant :

-Burette

-Papier-filtre

-Tige de verre

-Agitateur à ailettes

-Balance

-Chronomètre

-Tamis

-Eau distillée +pissette

-Bécher d'une capacité d'environ 1 Là 2 L

-Bleu de méthylène

Figure 5.6 : essai de bleu méthylène

5.3.4.4 MODE OPERATOIRE :

-On prend une quantité de sol 60g

-L'échantillon doit être passé par le tamis 5 mm et on prend les passant

-On ajoute 600ml de l'eau distillé et on réglé le compacteur sur 700 t/min

-On laisse agiter pendant 5 min
-Régler l'agitateur à ailettes à 400 tr/min

-A l'aide de la burette, injecter une dose de 10 ml de solution de bleu ,après 1 minute faire le test de la tache sur le papier filtre

-Recommencer les injections de 10 ml jusqu'à ce que le test devienne positive.

-Si l'auréole bleu clair disparait à la cinquième tache .Procéder à de nouvelles additiond élémentaires de bleu de 2 ml

-Renouveler ces opérations jusqu'à ce que le test demeure positif pendant cinq minutes consécutives .Le dosage est alors considéré comme terminé .

Figure 5.7: Mode opératoire d'essai bleu de méthylène.

5.3.4.5 RESULTATS :

On a 600 ml eau distillée

60 g la masse de tuf

Spécifications	Essai
Proportion de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/0 (ou 0/50)	La courbe granulométrique C= 97,74%
Echantillon pour essai Teneur en eau de l'echantillon	$\omega = \left(\frac{Mh-Ms}{Ms}\right).100$ $\omega = \left(\frac{122,7-121}{121}\right).100$ $\omega = 1,49$
Masse sèche calculée de la prise	m_0= mh / $(1-\omega)$ m_0= 60 / $(1-0,014)$ m_0= 60,85 g
Essai à la tache Volume de solution de bleu	Vh = 35 cm_3

Masse de bleu correspondante	B = Vb. 0,01 g = 0,35
Valeur de bleu méthylène d'un sol	
VBS= $\frac{B}{m0}$ .c .100	VBS = 100 .0,977. VBS = 0,56g

Tableau 5.10 : résultats d'essai de bleu méthylène

Catégorie de sol : 0,2≤VBS≤1,5

Donc le sol sable limoneux sensible à l'eau

5.4 CLASIFICATION DES MATERIAUX GTR 92 (NORME- P 11-300) :

L'utilisation des terres en remblai est d'abord directement liée à leur classification et à leur comportement lors de leur mise en place .

Le GTR 92 (Guide des Terrassements Routiers, Réalisation des remblai et des couches de forme, LCPC, SETRA, 1992) et la norme qui en découle NF- P 11-300 (septembre 1992) proposent une classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières .

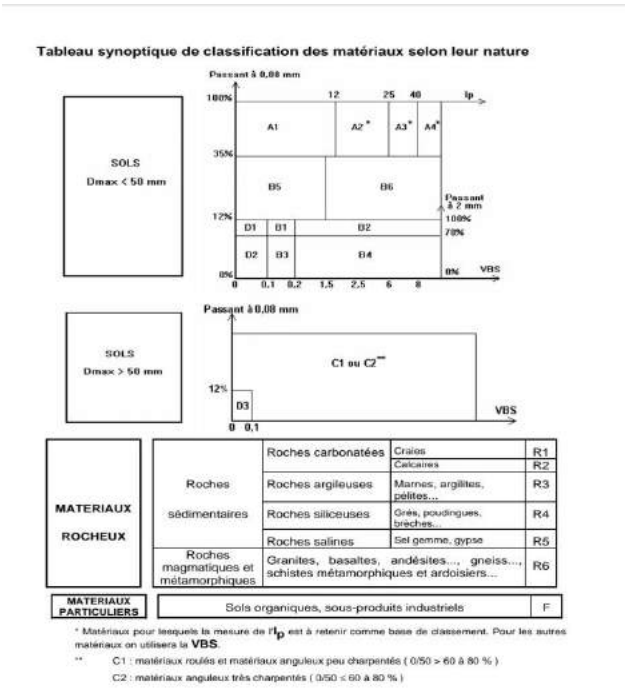

Tableau 5.11: synoptique de classification des matériaux selon leur nature

Sol 1 (tuf) : Dans cette étude , nous avons trouvé **VBS=0,56g** et **I_P=7%** donc le sol classe A (sol fin),fonction de la nature A1 limons peu plastique ,lœss , silts alluvion ,sable fins peu pollués , arènes peu plastique

Sol 2 (l'argile) : Classe A (sol fin),fonction de la nature A2 Sables fins argileux, limons argiles et marnes peu plastique arènes .

5.4 CONCLUSION

Dans cette circonstance spécial et exceptionnel covid19 , nous n'avons pas pu terminer toutes les études de laboratoire .

CONCLUSION GENERALE

Dans ce mémoire, nous traitons du compactage, qui est un ensemble de processus mécaniques qui réduisent le volume du sol et améliorent la densité du sol, augmentant ainsi le compactage et la résilience du sol.

Le but des procédures de compactage est de construire une structure durable, comme nous l'avons remarqué lors des opérations de compression qu'elle contribue à réduire le volume du sol et le rétrécissement des pores, nous avons donc remarqué que toutes les méthodes de compression visent à atteindre une densité sèche moyenne.

Nous avons effectué des tests en laboratoire pour étudier le sol:

L'analyse de la taille des particules montre qu'elles sont très pauvres en micro-éléments.

Test de Proctor pour connaître la réaction du sol au compactage en fonction de sa teneur en eau et déterminer sa densité sèche optimale.

La limite d'Atterberg détermine, à travers ce test, les limites de liquidité et de plasticité du sol. Ce test est réalisé sur une portion de sol qui passe à travers un tamis de 0,4 mm.

Le test d'équivalent sable est caractérisé par sa capacité à évaluer la proportion relative de poussières fines ou d'éléments argileux dans ce sol.

Nous avons également examiné le sol du radeau Sidi Boubacar - Sidon, qui est un type de roches friables et poreuses, qui est l'un des matériaux contribuant à la construction des routes. Nous avons mené une série d'expériences en laboratoire. Impact indépendamment de l'état du sol et n'a rien à voir avec le type d'amortisseur utilisé.

Pour déterminer les propriétés géotechniques, nous avons traité du compactage et plus encore à l'aide d'observations de terrain et d'essais en laboratoire sur de grands échantillons. Cette étude a également permis d'utiliser des données bibliographiques: lors du mélange de tuf et de sable, nous avons constaté qu'il avait une densité sèche maximale.

Dans cette circonstance particulière et exceptionnelle de covid19, nous n'avons pas pu terminer toutes les études de laboratoire.

REFERENCE BIBILIOGRAPHIQUE

DAHEUR El hadj guesmia GOUAL Idriss, MITICHE-KETTAB Ratiba (2015) :** Étude Amélioration du comportement mécanique de tuf sahari en par un traitement aux les liants hydrauliques ou organique « Université de Blida 1 »

TOUATI.S ,BARBOCHI.A (2017-2018) : Mémoire master2 étude d'un mélange tuf-sable concassé pour assise de chaussée. « Université Ahmed Draria Adrar »

BELLEIA.Z : Les cours du premier semestre master 2 géotechnique module Amélioration des sols « Université Dr .Moulay Taher de Saïda »

DAHEUR El hadj guesmia GOUAL Idriss, MITICHE-KETTAB Ratiba (2015) :** Étude Amélioration du comportement mécanique de tuf sahari en par un traitement aux les liants hydrauliques ou organique « Université de Blida 1 »

TOUATI.S ,BARBOCHI.A (2017-2018) : Mémoire master2 étude d'un mélange tuf-sable concassé pour assise de chaussée. « Université Ahmed Draria Adrar »

BELLEIA.Z : Les cours du premier semestre master 2 géotechnique module Amélioration des sols « Université Dr .Moulay Taher de saïda »

KAZI AOUAL.M , KENADIL.A (2015-2016) :Mémoire master 2 effet du mode de compactage sur le comportement mécanique et hydrique des sols fins « Université Aboubeker Belkaid Tlemcen »

ROUABHIA.E , ZEDADRA.H (2017) : Mémoire master 2 Amélioration des sols « Université 8 mai 1945 de Guelma »

KRIKROU.M (2017-2018) : Mémoire master 2 Caractéristique et amélioration des propriétés mécanique de l'argile de DIDOUCHE par ajout de liants « Université L'arbi Ben Mhidi »

GHURZI.K , HAFIDI.F (2012-2013) : Mémoire master 2 Compactage des Barrages en remblai « Université Abou beker Belkaid »

CHARLES.GRAVEL(1997) : Livre mécanique des sols « CANADA »