

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Kasdi Merbah Ouargla**

**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES**

**Département de : GENIE CIVIL ET D'HYDRAULIQUE**

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master**

**Filière : Génie Civil**

**Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art**

C:.....

R:.....

**Thème**

**Étude comparative du compactage du Tuf à différents taux d'ajout d'eau et d'ajout de l'huile de moteur usée dans les chaussées à Ouargla**

**Présenté par :**

- ❖ **SIAD Mohamed**
- ❖ **ZOUBIDI El-Hadj El-Bachir**

**Soumis au jury composé de :**

<b>Mr. ABDELJOUAD Lokmane</b>	<b>M.C.B</b>	<b>UKMO</b>	<b>Président</b>
<b>Mr. AOUAM Abdou</b>	<b>TP.ING</b>	<b>L.B.E.T</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr. ABIMOULOUD Youcef</b>	<b>M.C.B</b>	<b>UKMO</b>	<b>Encadreur</b>
<b>Mr. KEBAILI Nabil</b>	<b>M.C.B</b>	<b>UKMO</b>	<b>Co-Encadreur</b>

***Année Universitaire: 2021/ 2022***

الملخص:

طبقة الأساس في الطرق هي من بين أكثر الطبقات استهلاكاً للماء خلال عملية الرص فيند تدرغ الطف على أرضية الطريق يجب صرب كميات معينة من المياه و التي تصل أحياناً إلى 15 بالمائة من نسبة الطف.

في إطار تنفيذ الإنشاءات البرولية ومحاولة تحسين الخصائص الجيوتقنية للطف و باستخدام تجريري "Proctor" و "CBR"، قنا بمقارنة استبدال المياه المستخدمة في عملية الرص بزيت المحرك المستخدم.

النتائج المحصل عليها أثبت أن هناك تحسناً ملحوظاً لهذه الخصائص مقارنة بتلك المحصل عليها باستخدام الماء.

الكلمات المفتاحية: الرص، الطف، زيت المحرك المستخدم، تجريرة "Proctor"، تجريرة "CBR"

### Résumé:

La couche de base dans les routes est parmi les couches les plus consommatrices d'eau pendant le processus de compactage, lors du déchargement du Tuff sur terrain, il faut verser des quantités importantes d'eau, qui atteignent parfois 15% du Tuff.

Dans le cadre de la valorisation des déchets pétroliers et en essayant d'améliorer les propriétés géotechniques du Tuff, nous avons substitué l'eau utilisée dans le processus de compactage par de l'huile usée de moteur.

Les résultats obtenus ont prouvé qu'il y a une nette amélioration de ces caractéristiques, comparativement à celles obtenus à l'eau.

**Mots clés :** Compactage, Tuff, Huile usée de moteur, Essai Proctor, Essai CBR.

### Abstract

The base layer in the roads is among the most water-consuming layers during the compaction process, when unloading the Tuff on land, significant amounts of water have to be poured, which sometimes reach 15% of the Tuff.

As part of the recovery of oil waste and trying to improve the geotechnical properties of Tuff, we have replaced the water used in the compaction process with used engine oil.

The results obtained have shown that there is a marked improvement in these characteristics, compared to those obtained with water.

**Keywords :** Compaction, Tuff, Used Engine Oil, Proctor Test, CBR Test.

# DÉDICACES

Nous dédions cet humble travail à

Chers parents.

Aucune dédicace ne peut exprimer notre respect, notre amour éternel et notre reconnaissance pour les sacrifices que vous avez faits pour notre éducation.

Nous vous remercions pour tout le soutien et l'amour que vous nous avez donnés depuis l'enfance et j'espère que vos bénédictions seront toujours avec nous. Nous espérons également que cet humble travail sera l'accomplissement de vos désirs bien formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, même si nous ne vous paierons jamais assez. Que Dieu Tout-Puissant vous accorde santé, bonheur et longue vie.

À toutes chères sœurs et à tous les frères, nous vous remercions pour votre compréhension et vos encouragements, qui ont été pour nous le principal soutien, et nous vous souhaitons beaucoup de bonheur et de réussite dans votre vie. Aux amis, merci pour les bons conseils et le soutien moral qui nous ont beaucoup aidés pendant cette période.

Pour toutes nos familles, petites et grandes,

J'espère que vous trouverez dans cet acte humble une expression de notre amour.

A tous les professeurs qui ont contribué à notre formation.

Nous voudrions enfin remercier toutes les personnes qui ont cru en nous et qui nous ont donné envie de partir en avant.

**MOHAMMED  
ELHADJ ELBACHIR**

## **REMERCIEMENTS**

Nous remercions avant tout ALLAH tout puissant, de nous avoir guidé toutes les années d'étude et nous avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude et notre reconnaissance aux Professeurs **ABIMOULOUD Youcef** et **KBAILI Nabil**, Professeurs au Département de génie civil, pour avoir assumé la direction de ce travail et pour leurs lueurs conseils judicieux.

Nos vifs remerciements et Nos respects les plus distingués vont à Monsieur **KORICHI DJAMAL**, Maître de Conférence Associé **LTPS Ouargla**, et Monsieur **RAHMANI Toufik** pour le suivi qu'ils nous ont accordé, leurs conseils, leurs orientations et leurs encouragements tout au long de ce travail.

Nous exprimons notre reconnaissance aux membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les amis et tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

# TABLE DE MATIERES

REMERCIEMENT	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
ITRODUCTION GENERALE.....	01
CHAPITRE I : Généralités Sur Les Matériaux Routiers.....	03
I.1 Introduction.....	03
I.2 Définition .....	03
I.3 Différents types de chaussée .....	03
I.4 Le tuf en tant que matériau routier .....	04
I.4.1 Définition du tuf.....	05
I.4.2 Tufs et Chaussées routières .....	06
I.4.3 Compactage de tuf .....	07
I.4.3.1 But du compactage .....	07
I.4.3.2 Type de compactage route .....	08
I.4.3.3 Essais de compactage au laboratoire.....	08
I.5 Conclusion .....	10
CHAPITRE II : Caractérisation Des Matériaux Utilises	11
II.1 Introduction .....	11
II.2 Caractéristiques Des Tufs .....	11
II.2.1 Caractéristiques géotechniques.....	11
II.2.2 Essai d'analyse granulométrique.....	11
II.3 Caractéristiques chimiques.....	13
II.3.3 Essai au bleu de méthylène.....	14
II.3.4 Essai Proctor Modifié.....	14
II.3.5 Essai CBR.....	15
II.4 Généralités sur les huiles.....	16
II.4.1 Introduction.....	16
II.4.2 Définition.....	16
II.2.3 Huiles usées en Algérie.....	17
II.2.4 Types des huiles usées.....	18
II.3 Caractéristiques des huiles de moteur usée.....	19
II.3.1 Analyses physico-chimiques.....	19
II.5 Généralités sur l'eau.....	20
II.4 Conclusion .....	21
CHAPITRE III : Programme Expérimental et Résultats des Essais Réalisés	22
III.1 Essai Proctor .....	22
III.1.1 Introduction .....	22
III.1.2 But de l'essai .....	22
III.1.3 Principe de l'essai .....	23
III.1.4 Appareillage.....	23
III.1.5 Exécution de l'essai.....	24
III.2 L'Essai CBR .....	27
III.2.1 But de l'essai.....	27
III.2.2 Principe de l'essai .....	28
III.2.3 Appareillage .....	29
III.2.4 Exécution de l'essai.....	30
III.3 Partie de résultat d'essai.....	32
Conclusion.....	38

CHAPITER IV: Analyse et Discussion Des Résultats Obtenus	<b>39</b>
IV.1 Introduction.....	<b>39</b>
IV.2 Plan expérimental.....	<b>39</b>
V.3 Résultats et discussion.....	<b>40</b>
IV.3.1 Résultats et discussion Proctor .....	<b>40</b>
IV.3.2 Résultats et discussion CBR immédiat .....	<b>41</b>
IV.3.3 Résultats et discussion CBR imbibe.....	<b>42</b>
IV.3.4 Résultats et discussion CBR imbibe (gonflement).....	<b>43</b>
IV.3.5 Résultats et discussion CBR imbibe simulation de.....	<b>44</b>
IV.3.6 Résultats et discussion CBR imbibe gonflement Simulation de l'effet de la remontée.....	<b>45</b>
	<b>46</b>
CONCLUSION GENERALE.....	<b>48</b>
BIBLIOGRAPHIE.....	

# LISTE DE FIGURE

- Figure (I.1)** Schéma récapitulatif du corps de chaussée y compris la couche de roulement
- Figure (I.2)** Machine de Compactage
- Figure (I.3)** Type de compactage route
- Figure (I.4)** Schéma de répartition l'effet de la remontée
- Figure (II.1)** Fuseaux granulométriques de matériaux extraits de différents encroûtements.
- Figure (II.2)** Notre tuf s'inscrit dans le fuseau de Fenzy (1966)
- Figure (II.3)** Huile usée dans les déchets
- Figure (II.3)** L'impact des huiles usagées sur l'environnement
- Figure (II.4)** Effet d'eau dans le compactage
- Figure(III.1)** Variation de la densité sèche du tuf par compactage –Proctor- à différentes teneurs en eau
- Figure (III.1)** Le matériel Utilisé dans L'essai Proctor
- Figure (III.3)** Schéma de répartition des coups sur une couche dans l'essai Proctor
- Figure (III.4)** Essai CBR-Matériel
- Figure (III.5)** Schéma d'une presse CBR
- Figure (III.6)** Bac pour CBR imbibé
- Figure (III.7)** mise en immersion
- Figure(III.8)** Variation de la densité sèche du tuf par compactage –Proctor- à différentes teneurs en eau
- Figure(III.9)** Résultats de l'essai CBR Immédiat (compacté à l'eau)
- Figure(III.10)** Résultats de l'essai CBR imbibé (compacté à l'eau)
- Figure(III.11)** Résultats de l'essai CBR imbibé Gonflement (compacté à l'eau)
- Figure(III.12)** Résultats de l'essai CBR imbibé simulation de l'effet de la remontée (compacté à l'eau)
- Figure(III.13)** Résultats de l'essai CBR imbibé gonflements simulation de l'effet de la remontée (compacté à l'eau)
- Figure(III.14)** Variation de la densité sèche du tuf par compactage –Proctor- à différentes teneurs en huile
- Figure(III.15)** Résultats de l'essai CBR Immédiat (compacté à l'huile)
- Figure(III.16)** Résultats de l'essai CBR imbibé (compacté à l'huile)
- Figure (III.17)** Résultats de l'essai CBR imbibé Gonflement (compacté à l'huile)
- Figure(III.18)** Résultats de l'essai CBR imbibé simulation de l'effet de la remontée (compacté à l'huile)
- Figure(III.19)** Résultats de l'essai CBR imbibé gonflements simulation de l'effet de la remontée (compacté à l'huile)
- Figure (IV.1)** Variation de la densité des différents mélanges (tuf/eau et tuf/huile)
- Figure (IV.2)** Variation de la force du piston en fonction de son enfoncement tuf/eau et tuf/huile
- Figure (IV.3)** Variation de la force du piston en fonction de son enfoncement tuf/eau et tuf/huile, Après immersion pendant 4 heures
- Figure (IV.4)** Variation de Valeur du gonflement en fonction de son temps tuf/eau et tuf/huile, Après avoir complètement immergé le moule 4 heures
- Figure (IV.5)** Variation de la force du piston en fonction de son enfoncement tuf/eau et tuf/huile, Après avoir immergé le moule à moitié.
- Figure (IV.6)** Variation du gonflement en fonction de son enfoncement tuf/eau et tuf/huile, Après avoir le moule à moitié immergé pendant 4 jours

## **LISTE DE TABLEAU**

**Tableau (II.3)** Différents types d'encroûtements selon la nature chimique

**Tableau (II.4)** résultat d'analyse chimique

**Tableau (II.5)** Valeur au bleu méthylène pour différents types d'encroûtements

**Tableau (II.6)** Teneur en eau optimale et densité sèche maximale pour différents types d'encroûtements

**Tableau (II.7)** Indice CBR immédiat et imbibé pour différents types encroûtements

**Tableau (II.8)** Huiles générant des huiles usagées noires

**Tableau (II.9)** Composition chimique de l'eau en mg/l.

**Tableau (III.2)** Processus de l'essai Proctor Modifié

**Tableau (III.3)** Processus de l'essai Proctor Normale

## INTRODUCTION GENERALE

Les routes dans les régions Sahariennes sont des ouvrages stratégiques pour le développement des pays. En Algérie on donne beaucoup d'intérêt à l'infrastructure routière car en dehors du désenclavement cette infrastructure cruciale joue un rôle essentiel dans la relance économique. Malgré les différents moyen de liaisons existants (Routes, voies ferroviaires, aviations ...etc.), le réseau routier reste le seul moyen de liaison le plus efficace dans les différentes régions en Algérie.

Un riche programme de développement et de désenclavement est réservé pour les régions des hauts plateaux et du Sud Algérien. Ce programme très ambitieux va connaître sans doute un besoin en matériaux de chaussées de plus en plus important qui dépasse ce que peut offrir la nature en graves « nobles ». Ces dernières sont considérées depuis longtemps, comme les seuls matériaux acceptables et qui répondent rigoureusement à certains critères géotechniques (dureté, propreté, granulométrie,...etc.).

Par ailleurs, dans certaines régions, notamment sahariennes, ces matériaux sont rares voir même inexistant. Ceci a poussé les ingénieurs et les techniciens du domaine routier à recourir vers l'utilisation des matériaux locaux tels que les tufs.

La valorisation des matériaux locaux en géotechnique routière reste un thème d'actualité ; il s'agit de mieux maîtriser leur comportement et leur mise en œuvre dans diverses situations afin d'arriver à une caractérisation qui facilitera leur classification et leur utilisation par les ingénieurs et les techniciens du domaine routier.

En outre, Sur le plan national, on remarque que parmi les déchets abandonnés dans la nature, l'huile usée des moteurs. Le marché des huiles en Algérie est de l'ordre de **150.000 tonnes** par an, se répartissant comme suit :

- Huiles moteurs **75%**
- Huiles industrielles (ateliers, entreprises industrielles) **19%**
- Graisses et paraffines **3%**
- Huiles aviation et marine **3%**

L'Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME) insiste fortement sur le respect et l'usage des huiles qui proviennent généralement de la lubrification automobile, et qui représentent un pourcentage assez important dans la totalité des huiles usagées, elles sont obtenues par un mélange des résidus lourds et qui comprennent les huiles moteurs (essence et gasoil), leur valorisation dans le domaine routier à titre de lubrifiant dans le compactage des chaussées semble une idée innovante que nous voulons expertiser au laboratoire.

Les études ont montré que les caractéristiques géotechniques souvent faibles des tufs, notamment leur faible résistance aux chocs et à l'abrasion ainsi que leur sensibilité à l'eau, ne permettent pas d'envisager leur emploi en assises de chaussées à fort trafic. Par ailleurs, et en raison de la forte teneur en fines des tufs, Le compactage à l'huile usée de moteur peut faire une alternative judicieuse car au lieu de s'en débarrasser dans la nature on peut la valoriser dans la chaussée et économiser l'eau utilisée pour le compactage du tuf à d'autres fins à d'autre domaine plus stratégique tels que l'AEP et l'irrigation.

Dans ce travail, nous allons faire une étude comparative entre le compactage du tuf avec l'ajout d'eau en tant que lubrifiant et l'ajout de l'huile usée de moteur..

- Pour aboutir à cet objectif, notre mémoire est composé de la présente introduction générale et de quatre chapitres et finie par une conclusion générale.
- Le premier chapitre concerne les matériaux routiers en particulier les tufs et l'opération de compactage.
- Le deuxième chapitre est consacré à la caractérisation des matériaux utilisés pour la réalisation de notre programme de recherche.
- Le troisième chapitre est réservé au programme des essais réalisés et leurs résultats.
- Le quatrième chapitre est dédié à l'analyse des résultats obtenus et leur discussion.

Enfin nous terminerons notre travail par une conclusion générale et des perspectives pour les études à venir.

# **CHAPITRE I**

## **GENERALITES SUR LES MATERIAUX ROUTIERS**

# CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES MATERIAUX ROUTIERS

## I.1 INTRODUCTION

Dans notre pays la route joue un rôle de première importance, car **90%** du volume des échanges (de personne et de marchandises) se font par transport routier. Cela reflète la prédominance du mode de transport routier par rapport aux autres modes, on comprend dès lors, tout l'intérêt que présente le développement du réseau routier ainsi que sa sauvegarde.

En effet, la route a toujours été un élément stratégique et économique d'une importance considérable, son intervention et ses sollicitations dans plusieurs domaines ne sont plus à démontrer et est un facteur déterminant de développement socio-économique et un outil que l'Etat a entre les mains pour maintenir un certain niveau d'équité entre les populations [01].

## I.2 DEFINITION

Une route est au sens littéral une voie terrestre (au niveau du sol ou sur viaduc) aménagée pour permettre la circulation de véhicules à roues. Ce terme s'applique plutôt aux voies importantes situées en rase campagne et ne peut être apparenté à une rue. Dans les pays vastes et peu peuplés, à la fin du siècle, de nombreuses routes étaient encore des chemins empierrés ou damés (les "sentiers battus").

## I.3 DIFFERENTS TYPES DE CHAUSSEE :

Il existe 03 grandes familles de chaussée comme montré sur la figure (I, 1) :

a) Chaussées souples : couches superposées

- plus résistantes
- moins déformable

b) Chaussées semi-rigides Les chaussées comportant

- une couche de base,
- traitée au liant hydraulique (ciment, laitier granulé...)

La couche de roulement est en enrobé hydrocarboné

Les chaussées comportant une couche de base en sable gypseux.

c) Chaussées rigides dalle de béton de ciment, éventuellement.

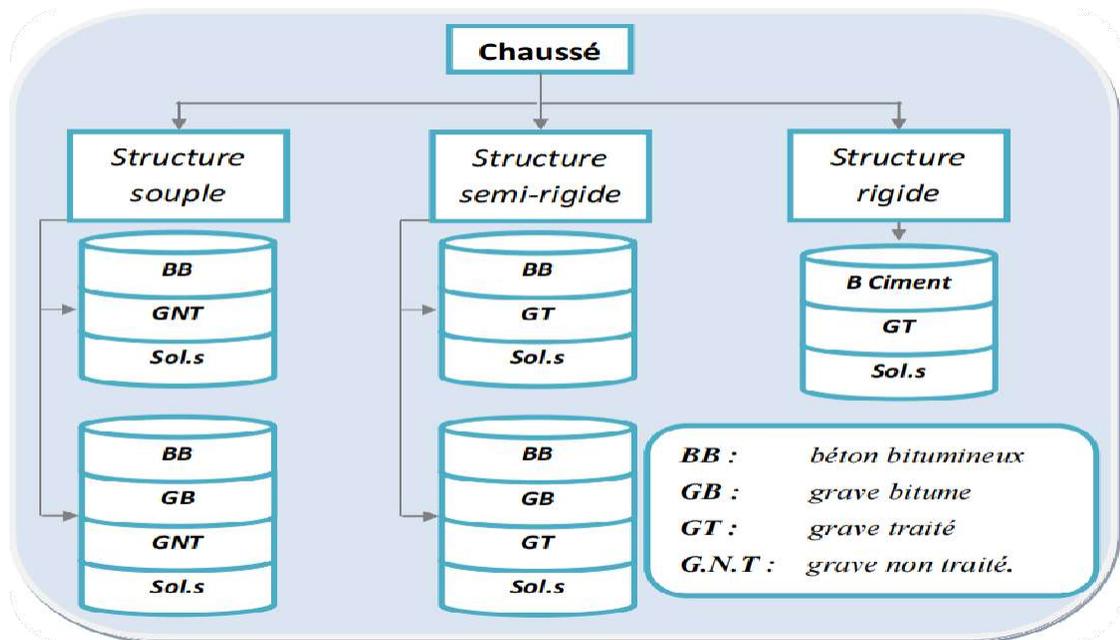


Figure (I. 1) : Schéma récapitulatif du corps de chaussée y compris la couche de roulement [02]

#### I.4 LE TUF EN TANT QUE MATERIAU ROUTIER

Les matériaux de routes utilisés doivent résister à des sollicitations répétées soit à un très grand nombre de fois notamment celui du passage répété des véhicules lourds. Chaque couche nécessite un matériau qui convient à la mission qui lui est assignée soit des qualités physiques et mécaniques adéquats.



Figure(I.2) Tuf dans les routes

### **I.4.1 Définition du tuf**

Les tufs sont définis comme étant des formations superficielles, tendres, friables, poreuses, légères et de couleur claire. Elles datent du Quaternaire et résultent d'un certain nombre d'échanges par dissolution et précipitation. Suivant leur composition chimique, les tufs d'encroûtements se groupent en trois catégories suivant : les tufs calcaires, les tufs gypseux et les tufs mixtes.

#### **a) Tufs Calcaire**

Les tufs calcaires existent dans la plus part des pays du bassin méditerranéen et occupent les zones à climat sec. L'abondance de cette ressource naturelle, fait que leur utilisation comme matériau routier est devenue de plus en plus répandue.

Les tufs calcaires sont des roches sédimentaires calcaires continentales, de couleurs blanches quand elles sont pures, mais tirant vers le gris ou jaunâtre ou rougeâtre ou marron, selon les impuretés. Ils sont composés essentiellement mais pas exclusivement de carbonate de calcium; existent l'état poudreux, nodulaire ou indurés et sont dus à une dissolution puis une précipitation du calcaire[03].

#### **b) Tufs gypseux**

Les tufs gypseux sont des formations analogues aux encroûtements calcaires. Ils sont très abondants dans les régions à climat arides où les précipitations sont insuffisantes pour lixivier le gypse, qui existe déjà dans les formations géologiques anciennes. Ce minéral qui présente l'élément actif de la cimentation de ces formations, possède une dureté très faible : il peut être rayé à l'ongle cette particularité pourrait paraître suffisante pour interdire l'utilisation du gypse comme matériau de chaussée en zones climatiques subhumides et semi-arides[04].

**c) Tufts Mixtes**

Les encroûtements mixtes sont des formations de tufts calcaires gypsifiés à prédominance carbonatée ou de tufts gypseux calcifiés à prédominance sulfatée. Au-delà d'une certaine aridité, le développement des encroûtements calcaires est arrêté à la source, à cause de l'insuffisance des précipitations pour dissoudre et drainer le calcaire vers les nappes phréatiques ; et inversement, lorsqu'on passe du climat désertique au climat semi-aride, le gypse devient instable dans les sols à cause de sa solubilité notable, les encroûtements gypseux sont relayés alors par les encroûtements calcaires. Explique la présence des formations calcaires au Nord Sahara, gypseuses plus au sud, dans les régions hyperarides et les gypso-calcaires dans les zones intermédiaires par la suite évaporitique caractérisant résultant de l'évaporation d'une eau, chargée en différents minéraux : le carbonate de calcium précipite en premier sous forme d'aragonite ( $\text{CaCO}_3$ ), puis de gypse ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ), puis la halite ( $\text{NaCl}$ ), et finalement les sels de potassium et de magnésium.

Les tufts gypso-calcaires et calcaire-gypseux qui en résultent sont déconseillés en zones subhumides et semi-arides à cause de la solubilisation du gypse ; par contre ils sont utilisés dans les régions arides [04].

**I.4.2 TUFS ET CHAUSSÉES ROUTIÈRES :**

Les tufts sont utilisés en technique routière selon leur qualité. Ils sont utilisés le plus souvent sous forme de granulats non liés pour la construction des chaussées de moyen à faible trafic. L'utilisation la plus courante est en assises de chaussée (couche de base et Couche de fondation), et il y a d'autres usages sont fréquents : accotements, couche de forme, Pistes agricoles, l'aplate forme industrielle, Reconstitutions des sols, etc. L'utilisation des tufts dans les travaux publics, il est utilisé comme Matériaux de remblais légers, pour la réalisation de terrains de sport, piste d'athlétisme. Le tuf est un excellent matériau utilisé dans la technologie routière en fonction de sa qualité. Il est principalement utilisé sous forme de gravats non intégrés pour l'importance de la construction de chaussées et est une bonne résistance, en particulier dans le domaine des routes [04].

### I.4.3 COMPACTAGE DE TUF

Le compactage est l'ensemble des procédés mécaniques (charge, vibration, chocs), qui mènent à la diminution du volume et l'amélioration la densité de tuf. La texture du sol est ainsi resserrée ce qui élève la compacité du tuf, améliore sa capacité portante et limite les déformations et tassements. Les ouvrages couramment concernés par le compactage sont les plates-formes et remblais routiers, les digues des barrages en terre et les pistes d'atterrissage.

Le compactage se produit que par l'élimination des vides remplis d'air qui existent dans le tuf à son état initial [05].

#### I.4.3.1 But du compactage

Il y a quatre objectifs importants pour la pression [05].

- Le But de compactage du tuf est de réduire règlement ultérieur sous les charges de travail.
- Le compactage augmente la résistance au cisaillement du sol.
- Le compactage réduit le rapport des vides qui rend plus difficile pour l'eau de s'écouler a travers le sol.
- Compactage peut empêcher l'accumulation de fortes pressions d'eau qui causent sol pour liquéfier lors de séismes.



Figure (I.2) Machine de Compactage

### I.4.3.2 Type de compactage route



- 1) Les compacteurs a pneu      2) Les compacteurs cylindrique      3) Les compacteurs vibrants

**Figure (I, 3) : Type de compactage route [06]**

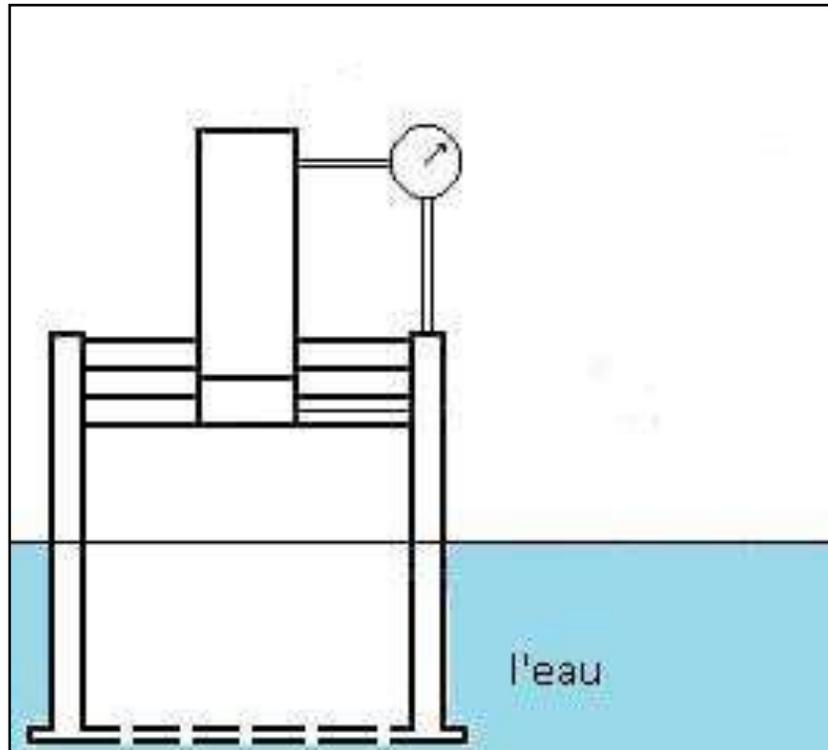
### I.4.3.2 ESSAIS DE COMPACTAGE AU LABORATOIRE

Nous pouvons travailler sur des essais de compactage en laboratoire pour obtenir des propriétés du tuf avec des valeurs approximatives de la réalité et être en mesure de connaître leur tolérabilité et les valeurs de compactage appropriées, parmi ces essais :

- a) **Essai Proctor** L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale.
- b) **Essai CBR** L'Indice Portant Californien est un nombre sans dimension exprimant en pourcentage le rapport entre les pressions produisant un enfoncement donné dans le matériau à étudier d'une part (avec ou sans immersion au préalable) et dans un matériau type d'autre part. Il caractérise implicitement la tenue au poinçonnement d'un tuf [05].

Le compactage nécessite des quantités importantes d'eau pour éliminer les vides dans le tuf, et comme l'eau a de nombreuses utilisations telles que l'agriculture et d'autres, dans ce cas, nous travaillerons pour la remplacer par des matériaux pétroliers utilisé mais dangereux pour la nature, nous utiliserons les essais de compactage mentionnées précédemment sur le tuf et comparerons leurs résultats.

Afin de simuler l'effet de la remontée, Nous avons proposé de refaire l'essai CBR sous de nouvelles conditions, à savoir les mêmes étapes sauf pour l'immersion qui sera faite par la mise du moule CBR après confection de l'éprouvette dans le bain d'eau rempli à la moitié du moule comme montré à la figure (I,4).



**Figure (I.4) : Schéma de répartition l'effet de la remontée**

## I.5 CONCLUSION

Nous retiendrons que les tufs sont issus de trois types d'encroûtements:

- Les encroûtements calcaires, très répandus dans les zones à climats subhumide à semi-aride. Leur extraction fournit un matériau très riche en calcaire appelé: tuf calcaire;
- Les encroûtements gypseux massifs ou tendres qui fournissent les tufs gypseux, ce sont des formations qui occupent les zones à climat aride. Ils se présentent sous forme de dalle de 1 à 2 m d'épaisseur ;
- Les encroûtements mixtes, qui donnent les tufs gypso-calcaire ou calcaire-gypseux ; ces matériaux se regroupent autour de deux pôles l'un sulfaté et l'autre carbonaté.

Dans la partie suivante, nous examinerons les propriétés des matériaux à utiliser dans les essais (propriétés du tuf, de l'eau et de l'huile de moteur usée).

## **CHAPITRE II**

# **CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISENT**

## CHAPITRE II: CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISENT

### II.1 INTRODUCTION

Dans le présent chapitre nous allons présenter les caractéristiques physiques et mécaniques voir chimiques des matériaux utilisés.

### II.2 CARACTERISTIQUES DES TUFFS

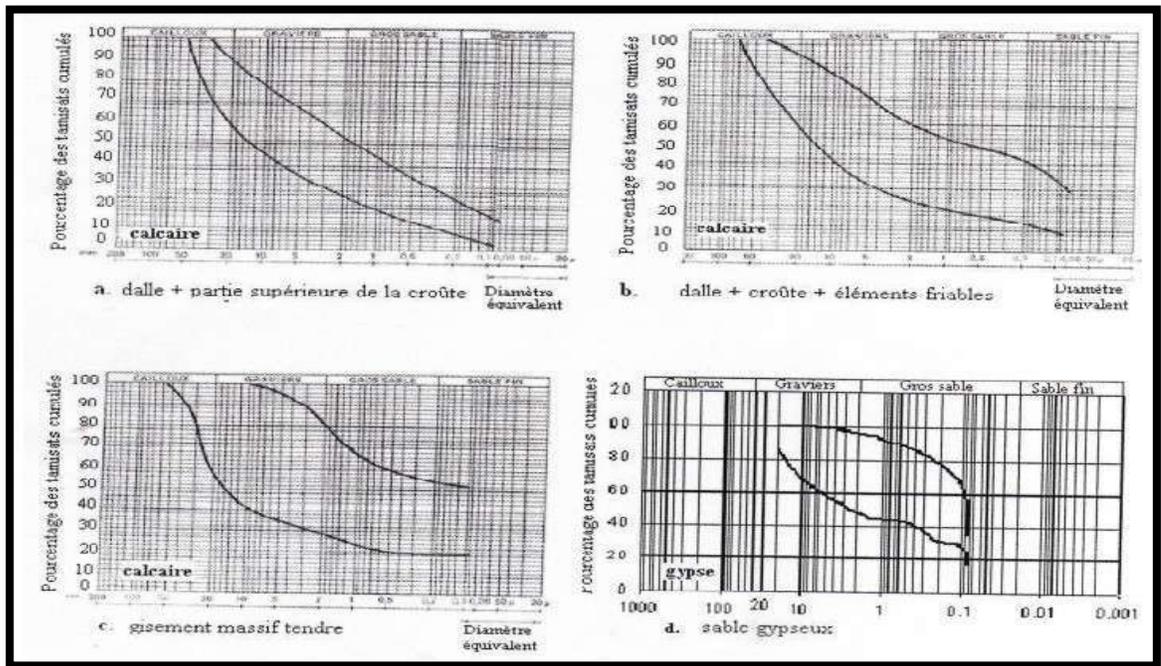
Toutes les opérations de caractérisation ont été faites dans deux laboratoires (Celui de l'université Kasdi Merbah Ouargla et celui de LTPS Ouargla).

#### II.2.1 CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES

Avant tout utilisation d'un matériau en corps de chaussée, il est nécessaire d'apprécier ces caractéristiques géotechniques. A ce propos, plusieurs essais, afin d'établir les caractéristiques géotechniques, ont été réalisés selon les normes admises en géotechnique classique.

#### II.2.2 ESSAI D'ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Les courbes granulométriques des extraits d'encroûtements sont extrêmement variables selon les caractéristiques du matériau d'origine et selon les processus d'extraction et d'élaboration.



Figure(II.1) Fuseaux granulométriques de matériaux extraits de différents encroûtements.

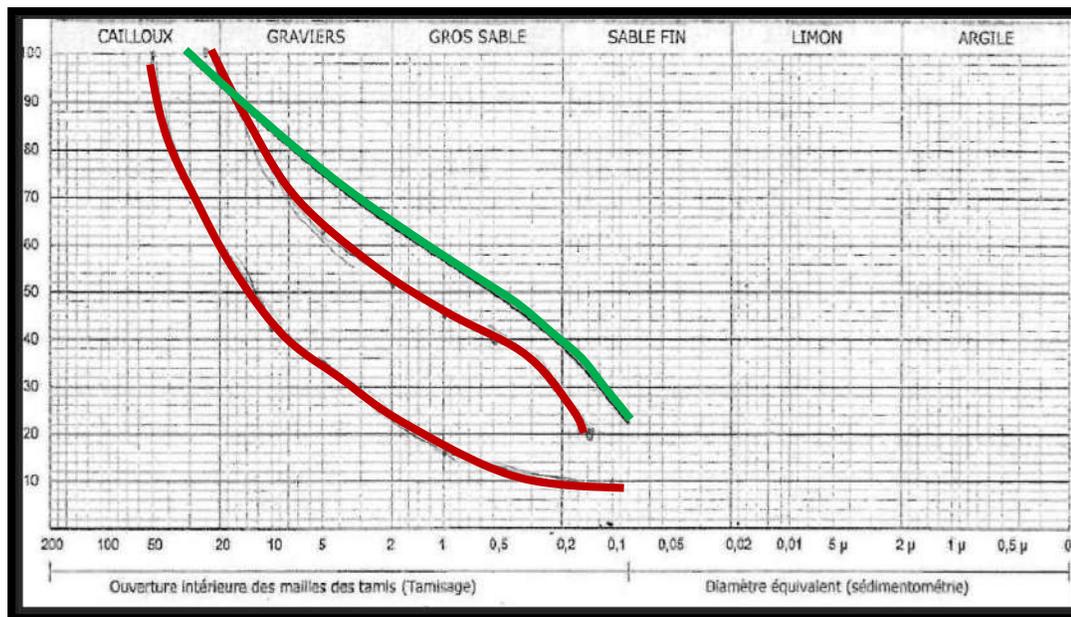


Figure (II.2) Notre tuf s'inscrit dans le fuseau de Fenzy (1966)

Selon fuseau fenzy 1966, notre tuf doit être modifié en ajoutant une quantité d'autres dimensions.

### II.3 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

Dans un encroûtement gypso calcaire, les taux de carbonates et de sulfates varient en fonction de l'état d'avancement du processus de formation et de la nature du sol d'origine. Cette variabilité aura une influence sur les propriétés physiques et mécanique des matériaux.

Les essais de détermination du taux de carbonates et de sulfates sont réalisés sur la fraction granulométrie inférieure à 1mm.

Le type d'encroûtement est déterminé selon la nature chimique correspondant au taux de sulfate et de carbonate.

#### a) Détermination du taux de carbonates

L'essai de détermination du taux de carbonate est effectué suivant la norme NFP 18-553. On utilise la méthode Dietrich-Frühling qui consiste à comparer le volume de dioxyde de carbone, dégagé par l'attaque de la prise d'essai à l'acide chlorhydrique, avec celui obtenu sur une poudre étalon de carbonate de calcium.

#### b) Détermination du taux de sulfates

L'essai est réalisé à la base de la norme ISO 11048, le taux de sulfate dans un sol est déterminé par la méthode gravimétrique selon laquelle on ajoute du chlorure de baryum à l'eau ou l'extrait acide de sol, puis on assèche et on pèse le précipité de sulfate de baryum.

**Tableau (II.3) Différents types d'encroûtements selon la nature chimique[07]**

	<b>Encroûtement</b>	<b>Calcaire</b>	<b>Gypso-calcaire</b>	<b>Gypseux</b>
<b>Taux de Gypse et de calcaire</b>	Calcaire	50à95%	10à50%	Moins de 10 %
	Gypse	Moins de 10%	10à50%	40à90%
	Gypse-calcaire	Plus de 50%	Plus de 50%	Plus de 50%

**Tableau (II.4) résultat d'analyse chimique.**

<b>Analyse Chimique</b>	<b>Insolubles %</b>	<b>Sulfates (gypse) %</b>	<b>Carbonates %</b>	<b>Chlorures %</b>
	<b>21.00</b>	<b>30.38</b>	<b>10.50</b>	<b>0.020</b>

### II.3.3 ESSAI AU BLEU DE METHYLENE

Réalisé sur la fraction 0/2 (mm) selon la norme NFP 18-592, l'essai au bleu méthylène a pour but de déterminer l'activité globale de la fraction argileuse. Le principe de l'essai consiste à introduire des quantités croissantes de bleu par dose successives, jusqu'à ce que les particules argileuses en soit saturée, il apparaît alors un début d'excès qui marque la fin de l'essai et que l'on détecte par le test dit de la tâche. Ce dernier consiste à former avec la goutte de la suspension sur du papier filtre une zone de tache humide incolore. L'excès se traduit par l'apparition dans cette zone d'une auréole bleu. On dit alors que le test est positif.

**Tableau (II.5) Valeur au bleu méthylène pour différents types d'encroûtements [07]**

Encroûtement	Calcaire	Gypso-calcaire	Gypseux
Valeur au bleu méthylène	0.2 à 1.5	1.2 à 1.5	0.3 à 0.4

Donc le résultat d'essai bleu méthylène **0.08(VBS)** c'est-à-dire le tuf utilisé est **GYPSEUX**

### II.3.4 ESSAI PROCTOR MODIFIE

Réalisé à la base de la norme NFP 94-093, cet essai simule l'évolution du sol au cours du compactage et permet de déterminer pour une énergie de compactage donnée, la teneur en eau optimale pour obtenir la densité sèche maximale. Du au caractère très évolutif des sables gypso calcaire, il est conseillé de ne pas utiliser le même échantillon pour les différents point de teneur en eau. (Tableau).

**Tableau (II.6) Teneur en eau optimale et densité sèche maximale pour différents types d'encroûtements [07]**

Encroûtement	Calcaire	Gypso-calcaire	Gypseux
Densité sèche	$1.7 < W_{opm} < 2$	$1.7 < W_{opm} < 2$	$1.60 < W_{opm} < 1.90$
Teneur en eau optimal	$8\% < W_{opm} < 20\%$	$8\% < W_{opm} < 20\%$	$8\% < W_{opm} < 20\%$

Donc la Densité sèche est **1.67(g/cc)** et la Teneur en eau optimale est **16.50%** de essai Proctor c'est-à-dire le tuf utilisé est **GYPSEUX**.

### II.3.5 ESSAI CBR

L'essai est réalisé selon la norme NF P 94-093, Il sert à caractériser la portance du matériau c'est à dire la charge qu'il peut supporter sans se rompre, mais également à mesurer l'aptitude d'une chaussée à préserver sa portance une fois soumise à une forte immersion en cas de fortes pluies.

Le CBR est un nombre sans dimension exprimant en pourcentage le rapport entre les pressions produisant en même temps un enfoncement donné dans le matériau étudié d'une part, et dans un matériau de référence d'autre part.

**Tableau (II.7) Indice CBR immédiat et imbibé pour différents types encroûtements[07]**

	<b>Encroûtement</b>	<b>Calcaire</b>	<b>Gypso-calcaire</b>	<b>Gypseux</b>
<b>Essai CBR</b>	Immédiat	50à100	50à100	Jusqu'à 112avecune Moyenne de 40
	Imbibé	30à100	20à40	Peut chuter jusqu'à8

Donc le Résultat Immédiat est **66.09** et Imbibé (4H) est **61.35** de essai CBR

## II.4 GENERALITES SUR LES HUILES

### II.4.1 INTRODUCTION

Une huile est une substance grasse liquide à la température ordinaire et insoluble dans l'eau d'origine végétale animale ou minérale ou synthétique Employée a de nombreux usages.

Les huiles peuvent appartenir à différentes familles d'hydrocarbures et avoir des propriétés très différentes des autres liquides.

Dans ce chapitre, nous examinerons l'étude des huiles de voitures usée et en apprendrons davantage sur leurs caractéristiques.

### II.4.2 DEFINITION

Huile usée d'une manière générale, toutes huiles ayant servi dans un processus de transformation et destinée à l'abandon du fait de la perte de ses propriétés physicochimiques de base sont désignées par le terme « huiles usées »[10].

Après l'utilisation des lubrifiants, ils deviennent toxiques pour le sol, l'eau et les écosystèmes.

En 2005, environ 37,9 millions de tonnes d'huile de lubrification ont été utilisées dans le monde et l'augmentation de sa consommation était estimée à 1,2% par ans [12].



Figure (II.3) Huile usée dans les déchets

Les huiles usées ne sont pas biodégradables, elles sont classées dans la catégorie des déchets spéciaux dangereux. Leur rejet dans la nature est strictement interdit. Elles peuvent engendrer une détérioration importante du milieu naturel, qui peut être traduit par une pollution de l'eau, du sol et de l'atmosphère : Un (01) litre d'huile usée peut contaminer 1 million de litres d'eau ; Particulièrement, les huiles de vidange contiennent de nombreux éléments toxiques tels que les métaux lourds (plomb, cadmium...) [11].

### II.2.3 HUILES USEES EN ALGERIE

Sur le plan national, le marché est de l'ordre de **150.000 tonnes** par an, se répartissant comme suit:

- Huiles moteurs **75%**
- Huiles industrielles (ateliers, entreprises industrielles) **19%**
- Graisses et paraffines **3%**
- Huiles aviation et marine **3%**

Plusieurs activités sont susceptibles de produire des huiles usagées.

On peut citer notamment:

- ❖ Les garages, concessionnaires, stations de vidange, stations de service;
- ❖ Les transports (routiers, fluviaux, aériens, ferroviaires);
- ❖ Les usines, ateliers, entreprises industrielles;
- ❖ Les entreprises traitant des déchets contenant des huiles usagées



**Figure (II.4) L'impact des huiles usagées sur l'environnement**

## II.2.4 TYPES DES HUILES USEES

### Huiles usées noires

Sont les huiles qui proviennent généralement de la lubrification automobile, elles représentent un pourcentage important dans la totalité des huiles usagées, elles sont obtenues par un mélange des résidus lourds. Qui comprennent les huiles moteurs (essence et gasoil), et certaines huiles industrielles (huiles de trempe, de laminage, de tréfilage et autres huiles entières d'usinage des métaux) [04]: ces huiles sont fortement dégradées et contaminées. Les catégories de lubrifiants générant des huiles usagées noires retenues jusqu'à présent par l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie) sont :

**Tableau (II.8) Huiles générant des huiles usagées noires. [09]**

Origine	Spécificité
Automobile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toutes huiles finies pour moteurs essences y compris les huiles dites mixtes</li> <li>• Huiles pour moteurs Diesel dites « Tourisme »</li> <li>• Huiles pour moteurs Diesel pour véhicules utilitaires y compris SNCF et Marine</li> <li>• Huiles multi fonctionnelles</li> <li>• Huiles pour transmissions automatiques</li> <li>• Huiles pour engrenages automobiles</li> </ul>
Industrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tous fluides caloporteurs</li> <li>• Huiles pour le traitement thermique</li> <li>• Huiles pour compresseurs frigorifiques</li> <li>• Huiles pour compresseurs d'aires, à gaz ...</li> <li>• Huiles pour engrenages industriels</li> <li>• Huiles pour moteurs non comprises dans les autres huiles « D »</li> </ul>
Aviation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Huiles pour moteurs d'avions</li> </ul>

## II.3 CARACTERISTIQUES DES HUILES DE MOTEUR USEE

### II.3.1 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Les analyses effectuées sur les huiles de moteur dans l'état neuf, usagé, et traitée sont les suivantes :

#### a) Densité

La densité de l'huile est définie comme étant le rapport de la masse volumique de l'huile sur celle de l'eau ou bien le rapport de la masse d'huile sur celle de l'eau dans un volume déterminé à une température donnée.

Le principe est basé sur la mesure de la masse, à la température demandée, d'un volume de corps gras contenu dans un pycnomètre préalablement étalonné à la même température par rapport à l'eau. La méthode utilisée est celle décrite dans la norme ISO 6882 de septembre 1987[14].

#### b) Viscosité

La viscosité est définie comme étant le coefficient de frottement moléculaire interne. Elle est déterminée par les forces de frottement d'un solide se mouvant dans un liquide selon les recommandations de l'Union internationale de la chimie pure et appliquée [13].

#### c) Teneur en eau

La teneur en eau est déterminée sur une partie de 1 g d'échantillon de huile dans une capsule en porcelaine puis séché dans une étuve réglée à une température de  $103 \pm 2$  °C, jusqu'à l'obtention d'un poids constant, Pour déterminer le taux de l'humidité des huiles[14].

## II.5 GENERALITES SUR L'EAU

L'eau est un corps incolore, inodore, insipide, liquide à la température ordinaire et composé d'hydrogène ( $H_2O$ ). L'eau était considérée par les anciens comme l'un des quatre éléments de base avec le feu, l'air et la terre. Elle constitue un élément indispensable à la vie. Elle est le substrat fondamental des activités biologiques et le constituant le plus important des êtres vivants (70% de leurs poids en moyenne)

Les réserves disponibles en eau naturelle sont constituées d'eaux souterraines (nappe souterraine,...) des eaux terrestres (barrages, lacs, rivières,...), et en eaux de mer.

Les ressources mondiales en eau exprimées en millions de mètres cubes sont estimées à: 1350 pour les eaux salées, **33,6** pour les eaux douces et **74,4** en neige et glace[17].

Le thème de l'eau est l'un des plus importants en ce début du siècle car, au fur et à mesure que la population de la terre augmente, la demande en eau s'accroît. En particulier, il existe un déséquilibre croissant entre les quantités disponibles et la consommation humaine.

L'eau réduit les vides dans le processus de compactage du matériau afin d'augmenter sa cohésion et ainsi assurer la stabilité de la structure dans le temps. Cela se fait soit par des compacteurs statiques (à des pneus) qui fonctionnent uniquement au poids, soit à l'aide de compacteurs vibrants, qui fonctionnent au poids et la vibration (amplitude et fréquence) qu'ils génèrent.

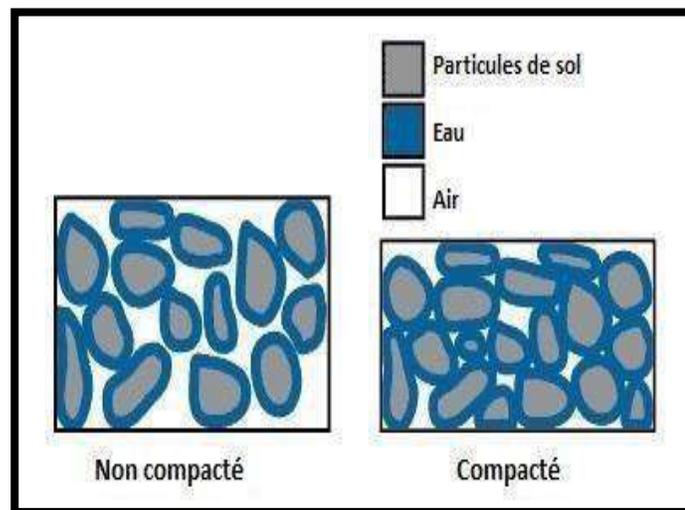


Figure (II.5) Effet d'eau dans le compactage

Pour notre cas on utilise l'eau potable « eau du robinet » fournie au laboratoire des travaux publics du sud « **LTPS** ».

**Tableau (II.9) Composition chimique de l'eau en mg/l.**

Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	salinité
<b>242</b>	<b>125</b>	<b>31</b>	<b>536</b>	<b>755</b>	<b>14,5</b>	<b>755</b>	<b>124</b>	<b>7,75</b>	<b>2799</b>

## **II.4 CONCLUSION**

Nous avons appris dans ce chapitre les matériaux qui seront utilisés dans nos essais et à travers lesquels nous étudierons la possibilité de valoriser les déchets pétroliers dans les utilisations des matériaux routiers.

## **CHAPITRE III**

### **PROGRAMME EXPERIMENTAL ET RESULTATS DES ESSAIS REALISES**

## CHAPITRE III : PROGRAMME EXPERIMENTAL ET RESULTATS DES ESSAIS REALISES

### III.1 ESSAI PROCTOR

#### III.1.1 INTRODUCTION :

Les caractéristiques de compactage par l'essai Proctor sont des paramètres très utilisés pour identifier les matériaux et pour définir les spécifications de compactage qui leur sont applicables lorsqu'ils sont utilisés dans la construction des remblais, des couches de forme et des assises de chaussées.

#### III.1.2 BUT DE L'ESSAI

Lorsqu'on compacte de façon identique des échantillons d'un même sol à des teneurs en eau différentes, on constate que les densités sèches obtenues varient avec les teneurs en eau des échantillons au moment du compactage [16].

La densité sèche croît d'abord avec la teneur en eau, puis à partir d'une certaine teneur en eau elle décroît quand la teneur en eau augmente. Elle passe donc par un maximum qui est obtenu pour une teneur en eau bien déterminée dénommée teneur en eau optimum. L'essai Proctor a pour but de déterminer, pour un compactage d'intensité donnée, la teneur en eau à laquelle doit être compacté un sol pour obtenir **la densité sèche maximum**; la teneur en eau ainsi déterminée est appelée **teneur en eau optimum Proctor** [16].

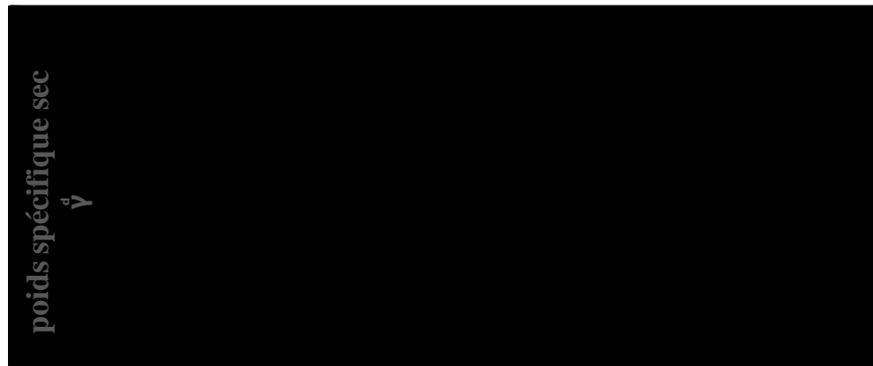
#### III.1.3 PRINCIPE DE L'ESSAI

L'essai consiste à compacter dans un moule, et suivant un processus bien défini, une série d'échantillons identiques et représentatifs du sol, préalablement imbibés à des teneurs en eau croissantes. L'eau qui joue un rôle de lubrifiant, favorise la mise en place et le serrage des grains. L'essai fournit donc une série de couples de valeurs ( $\omega, \gamma^d$ ) que l'on porte sur un graphique orthogonal (figure III.1), la courbe obtenue est appelée diagramme Proctor; elle présente un maximum dont l'abscisse fournit la teneur en eau optimale recherchée.

Les essais sont de deux types:

- L'essai Proctor normal** pour les applications des matériaux utilisés dans les corps de remblais et les ouvrages en terre en général et pour les couches de forme.
- L'essai Proctor modifié** pour les applications des matériaux utilisés dans les couches de chaussées.

Ils diffèrent seulement par l'énergie de compactage mise en œuvre.



Figure(III.1) Variation de la densité sèche du tuf par compactage –Proctor- à différentes teneurs en eau

### III.1.4 APPAREILLAGE

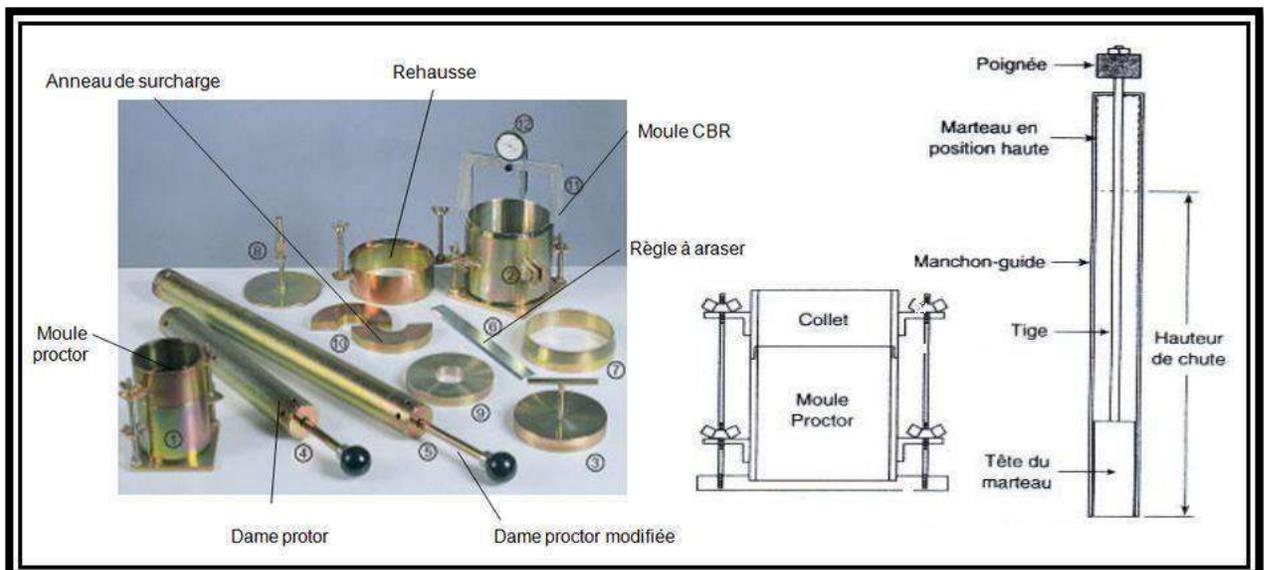


Figure (III.1) Le matériel Utilisé dans L'essai Proctor

Le matériel utilisé est celui représenté sur la, il s'agit de:

- a) Moule (Proctor/CBR)
- b) la dame Proctor (normal/modifié)
- c) Tames d'ouvertures 5mm-20mm.
- d) Une règle à araser constituée par une lame métallique.
- e) Accessoires tels: truelles, éprouvette graduée, mallets, burins couteaux.
- f) Balance sensible au gramme près (portée minimale 20kgs)
- g) Une étuve.

### III.1.5 EXECUTION DE L'ESSAI

#### a) Préparation d'échantillons

La quantité d'échantillons à prélever pour exécuter l'essai varie de **15 à 100 kg** suivant la granularité du matériau et si l'on cherche en même temps la détermination de l'indice CBR après immersion et/ou de son indice portatif immédiat.

Le diagramme représenté à la figure 30 ci-après, précise ces quantités pour cinq points de la courbe Proctor.

Le matériau est d'abord séché complètement s'il est granuleux; Il n'est séché que partiellement s'il est fin (contenant de particules argileuses). En effet, dans ce cas une dessiccation complète en étuve, imposerait ensuite avant l'essai, un long ré-imbibition du matériau à la teneur en eau d'essai.

Enfin lorsque le matériau contient des éléments supérieurs à 20 mm ceux-ci doivent être éliminés et remplacés par une quantité équivalente d'éléments compris entre 5 et 20mm.

L'échantillon séché est éventuellement tamisé à **20 mm**, répandu dans un bac, brassé, homogénéisé et divisé en cinq parts de visu aussi semblables que possible [16].

**b) Détermination de la Teneur en Eau d'Essai**

Le choix des teneurs en eau à attribuer à chaque part fait appel à des Tests visuels et à une certaine expérience dans la justesse de cette estimation.

L'incorporation de l'eau au sein du matériau doit se faire lentement, de manière bien répartie à la surface tout en maintenant le malaxage.

Après humidification, chaque part est conservée dans un sac étanche durant un temps fonction de l'argilo site du sol pour parfaire la diffusion de L'eau. C'est à partir de chacune de ces cinq parts que seront confectionnées les éprouvettes destinés à la détermination des cinq points de la courbe Proctor.

**c) Processus d'Exécution de l'Essai Proctor**

Suivant le type d'essai, de matériel et de matériau, le processus d'exécution est différent, Ces diverses modalités d'exécution sont regroupées dans les tableaux suivants:

**Tableau (III.2) Processus de l'essai Proctor Modifié [16]**

<b>PROCTOR MODIFIE</b>	<b>Moule CBR</b>	<b>Moule Proctor</b>	
Masse approximative d'une couche	1050g	400g	
Masse de la dame	4535g	4535g	
Diamètre du mouton	51mm	51mm	
Hauteur de chute	457mm	457mm	
Nombre de couches	5	5	
Nombre de coups par couche	55	55	

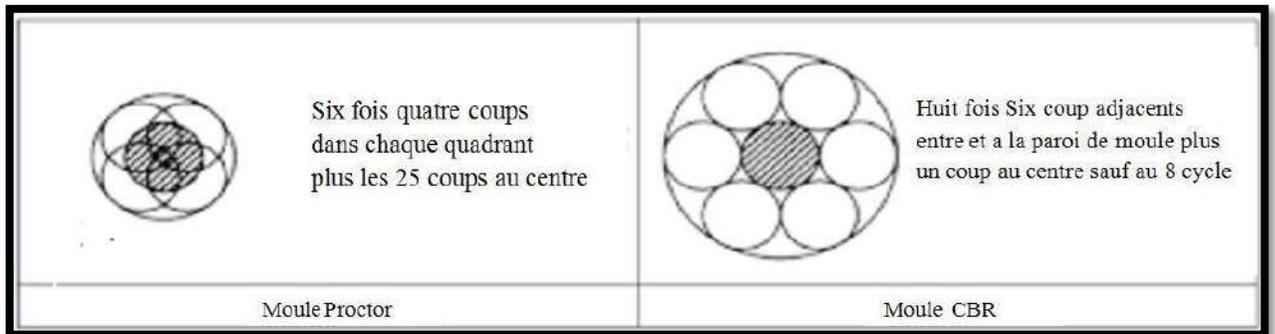
**Tableau (III.3) Processus de l'essai Proctor Normale [16]**

PROCTOR NORMALE	Moule CBR	Moule Proctor	
Masse approximative d'une couche	1050g	400g	
Masse de la dame	2490g	2490g	
Diamètre du mouton	51mm	51mm	
Hauteur de chute	305mm	305mm	
Nombre de couches	3	3	
Nombre de coups par couche	55	55	

Avant introduction du matériau dans le moule il y a lieu de:

- Solidariser: moule, embase et hausse.
- Lubrifier les parois du moule.
- Placer les disques d'espacement au fond du moule CBR lorsque celui-ci est utilisé
- Placer papier filtre ou film plastique au fond du moule ou sur le disque d'espacement du moule CBR pour faciliter le démoulage.

La quantité de matériau correspondant à chacune des couches selon le tableau ci-dessus, est compactée à l'aide de la dame Proctor concernée comme indiqué dans la (figure III.2)



**Figure (III.3) Schéma de répartition des coups sur une couche dans l'essai Proctor [08].**

Après compactage de la dernière couche, la hausse est retirée, et le matériau doit dépasser le moule de 1 cm au maximum, l'excédent est aéré soigneusement au niveau du moule en opérant radialement du centre vers la périphérie du moule.

L'ensemble du moule avec le matériau est pesé avant le démoulage de l'éprouvette.

Deux échantillons représentatifs sont prélevés dans la partie supérieure inférieure de l'éprouvette pour en déterminer la teneur en eau après dessiccation.

Ces opérations sont répétées sur chacune des cinq parts de matériau pré humidifié en augmentant chaque fois la teneur en eau du matériau au plus de deux points (**1 point = teneur en eau de 1%**).

### **III.2 L'ESSAI CBR :**

L'importance d'un sol dépendant considérablement des caractéristiques d'état, une valeur particulière d'un indice **CBR** (California Bearing Ratio), correspondant à une masse volumique sèche, une teneur en eau, un degré de saturation donné, ne permet pas en général de préjuger valablement du comportement de ce sol, en tant que support d'une chaussée. En effet, l'état dans lequel il risque de se trouver peut varier dans une large plage, compte tenu des conditions hydriques et de la mise en œuvre.

Pour pouvoir proposer une interprétation qui soit fondée, il est indispensable de déterminer les valeurs des indices CBR du sol pour un ensemble de conditions d'état [16].

#### **III.2.1 BUT DE L'ESSAI**

L'essai CBR permet de définir, pour les sols à vocation routière, un indice étant purement empirique, dit «indice portant».

Cet indice étant connu, on peut, grâce à des abaques, calculer l'épaisseur des couches de fondation nécessaire à la constitution d'une chaussée, et ceci en fonction de la charge par essieu et du trafic attendu.

L'essai s'applique aux sols fins, ainsi qu'aux sols grenus dont la teneur en éléments de plus de **20 mm** de dimension maximale n'excède pas **25%**.

- a) **L'indice CBR immersion** est un indice mesuré après 4 heures d'imbibition de l'éprouvette avec application de surcharges [16].
- b) **L'indice CBR immédiat** est mesuré à la teneur en eau de confection de l'éprouvette avec application de surcharges [16].

### III.2.2 PRINCIPE DE L'ESSAI

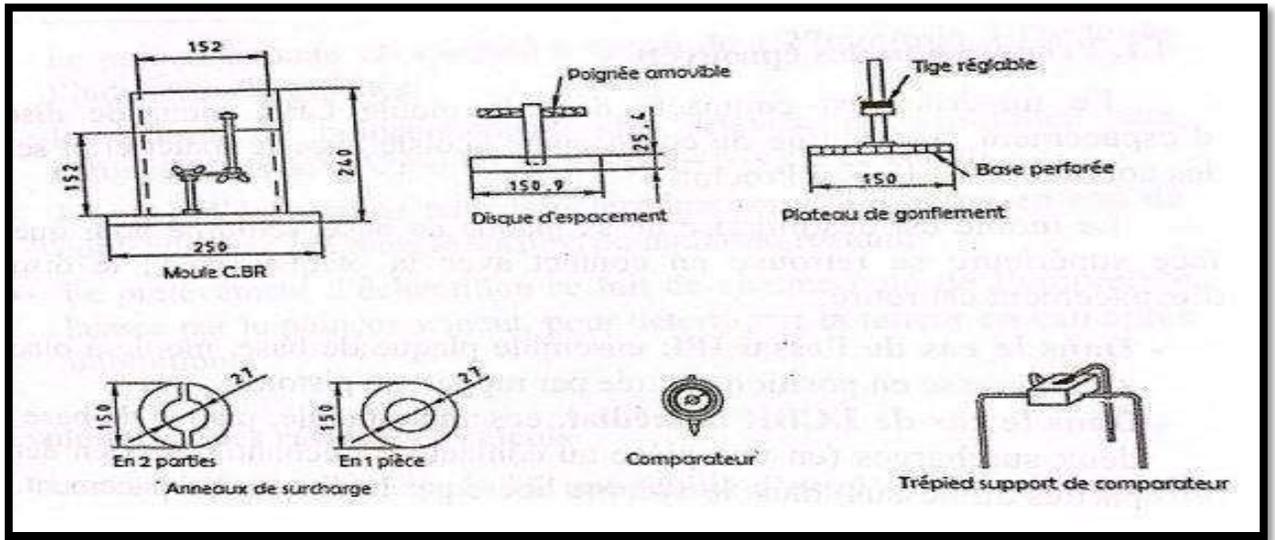
L'essai CBR consiste à mouler un sol dans différentes conditions de compacité et de teneur en eau, et à le poinçonner à vitesse constante sous une presse, à sa teneur en eau de mise en œuvre ou après immersion, la règle générale est de le maintenir 4 jours en immersion, mais cette durée peut être modifiée en plus ou en moins selon les conditions réelles d'environnement du matériau en service.

Les valeurs particulières des deux pressions ayant provoqué les enfoncements de 2,5 mm et 5 mm rapportées aux valeurs 70 et 105 bars (pressions observées sur un matériau de référence pour les mêmes sens d'enfoncements) correspondent aux indices CBR.

L'indice recherché est alors défini conventionnellement comme étant la plus grande valeur, exprimée en pourcentage, des deux rapports ainsi calculés.

**III.2.3 APPAREILLAGE :**

Pour la confection des éprouvettes (figure III.3) : moule CBR, dames Proctor normal ou Proctor modifié et accessoires (dans l'essai Proctor).



**Figure (III.4) Essai CBR-Matériel**

Pour le poinçonnement: une presse de compression (figure III.4) équipée d'un poinçon cylindrique en acier de  $19,35 \text{ cm}^2$  de section ; d'un dispositif permettant la manœuvre de la presse à une vitesse de  $1.27 \text{ mm/min}$  et d'un dispositif dynamométrique mesurant les efforts de poinçonnement.



**Figure (III.5) Schéma d'une presse CBR**

Pour le CBR immersion: bacs pour imbibition complète des éprouvettes ; surcharge (disque avec un évidement central) de 2.3 kg/s ; surcharges sectionnées (plusieurs) ; comparateur avec trépiedsupport; disque de gonflement perforé.



Figure (III.6) Bac pour CBR imbibé

### III.2.4 EXECUTION DE L'ESSAI

Le matériau est compact dans le moule CBR muni de disques d'espacement, à l'énergie de compactage choisie avec le matériel et selon les conditions de l'essai Proctor.

Le moule est désolidarisé de sa plaque de base, retourné pour que la face supérieure se retrouve en contact avec la plaque fixée; le disque d'espacement est retiré [16].

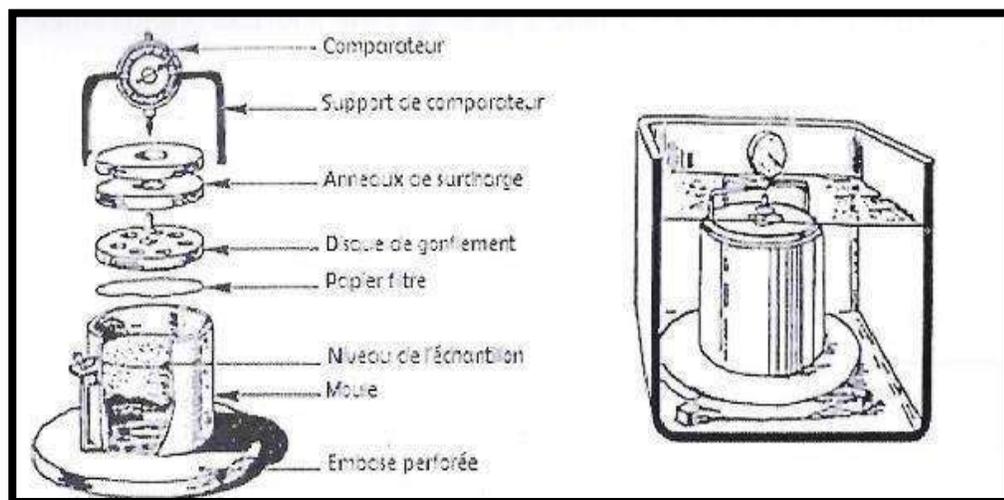
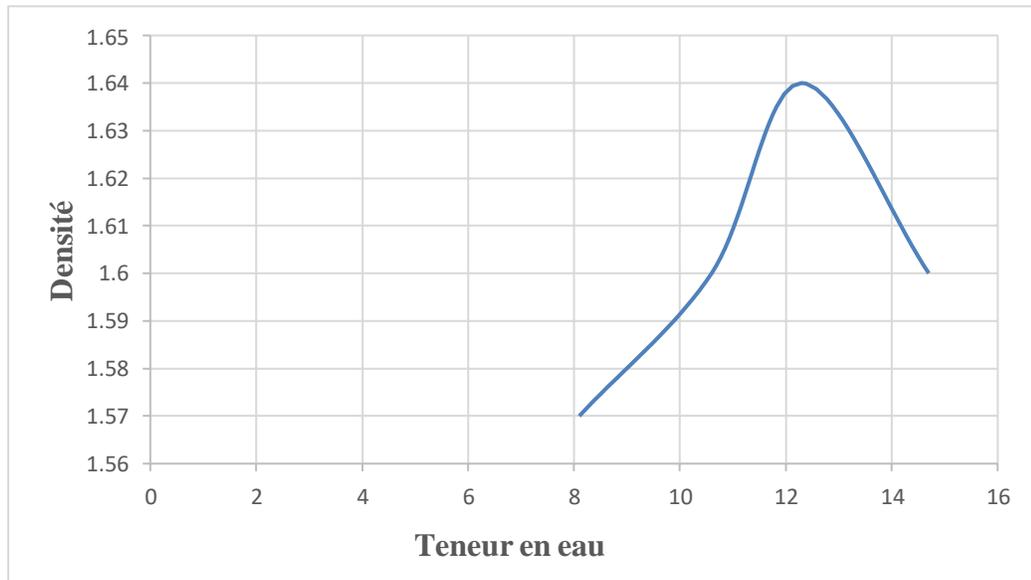


Figure (III.7) mise en immersion

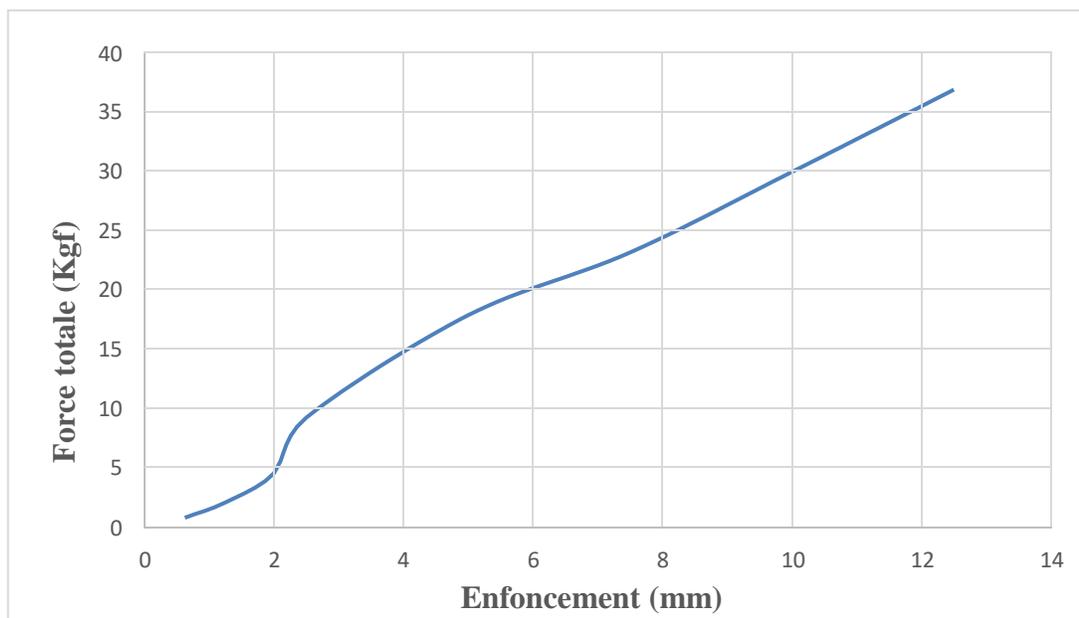
**a) Exécution du poinçonnement**

- La face supérieure de l'éprouvette doit affleurer le piston.
- Réglage à zéro de l'anneau dynamométrique (lectures Forces) et du comparateur.
- Le poinçonnement est exécuté à raison de 1,27mm/min à l'aide de l'indicateur de cadence.
- les efforts de poinçonnement sont relevés, correspondant aux enfoncements de 0,625 - 1,25 - 2 - 2,5 - 5 - 7,5 et 10mm.
- La prise d'échantillon pour la détermination de la teneur en eau de confection, se fait dans le surplus de matériau restant.
- Le prélèvement d'échantillon se fait de chaque côté de l'empreinte laissée par le poinçonnement, pour déterminer la teneur en eau après imbibition.

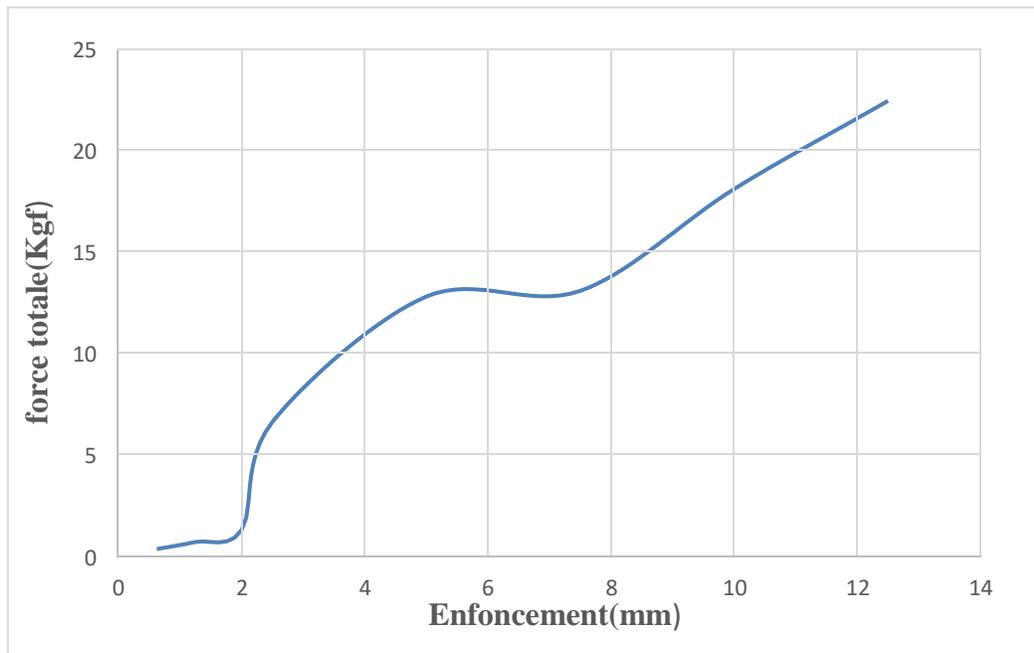
### III.3PARTIE DE RESULTAT D'ESSAI



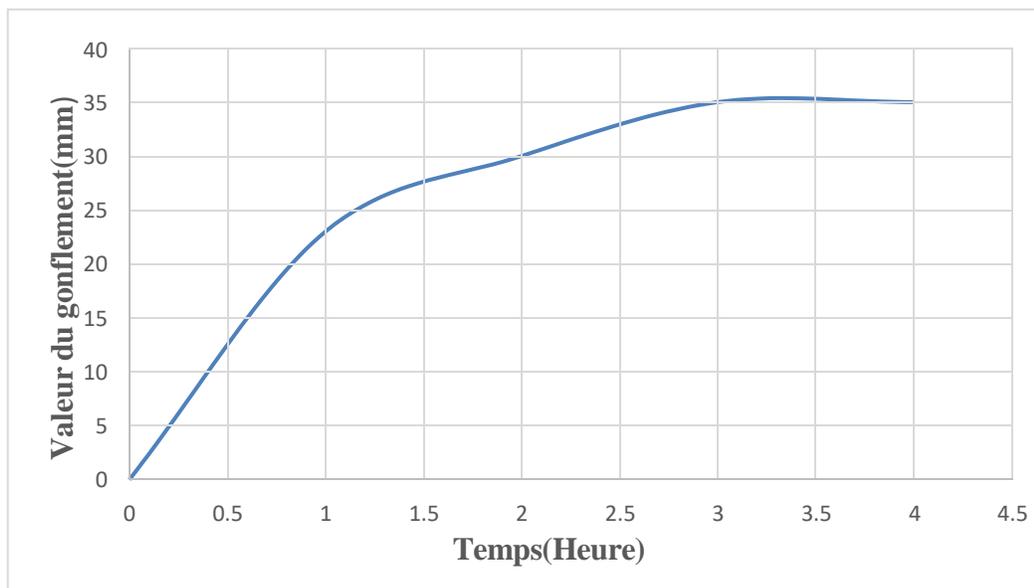
Figure(III.8) Variation de la densité sèche du tuf par compactage –Proctor- à différentes teneurs en eau



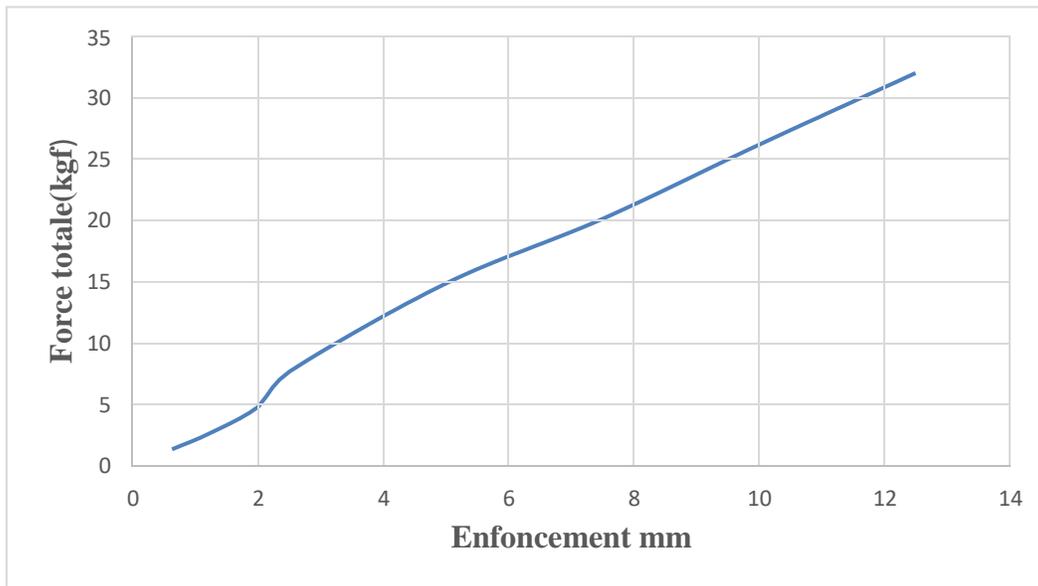
Figure(III.9) Résultats de l'essai CBR Immédiat (compacté à l'eau)



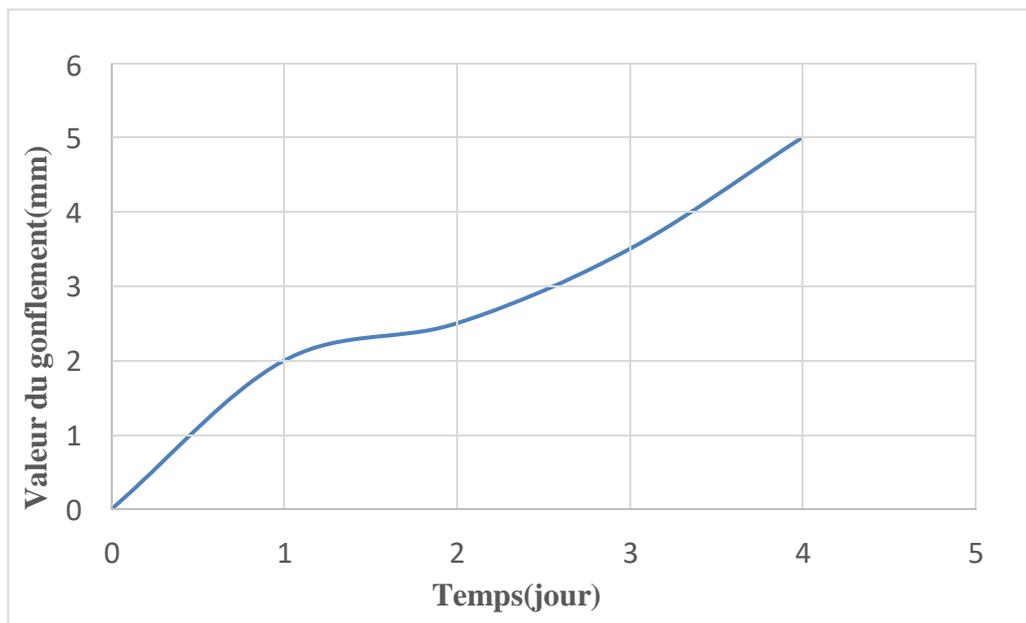
Figure(III.10) Résultats de l'essai CBR imbibé (compacté à l'eau)



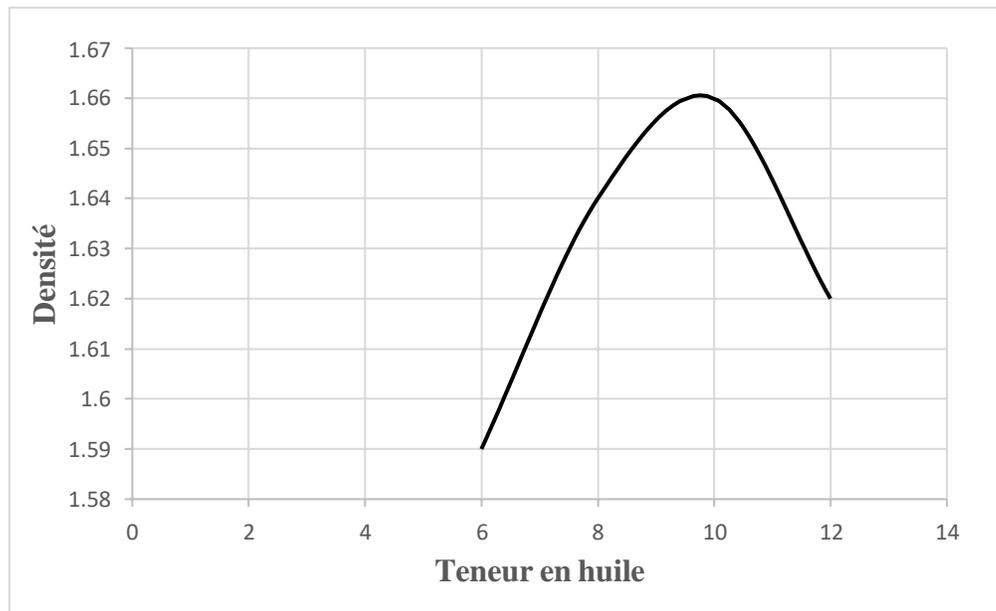
Figure(III.11) Résultats de l'essai CBR imbibé Gonflement (compacté à l'eau)



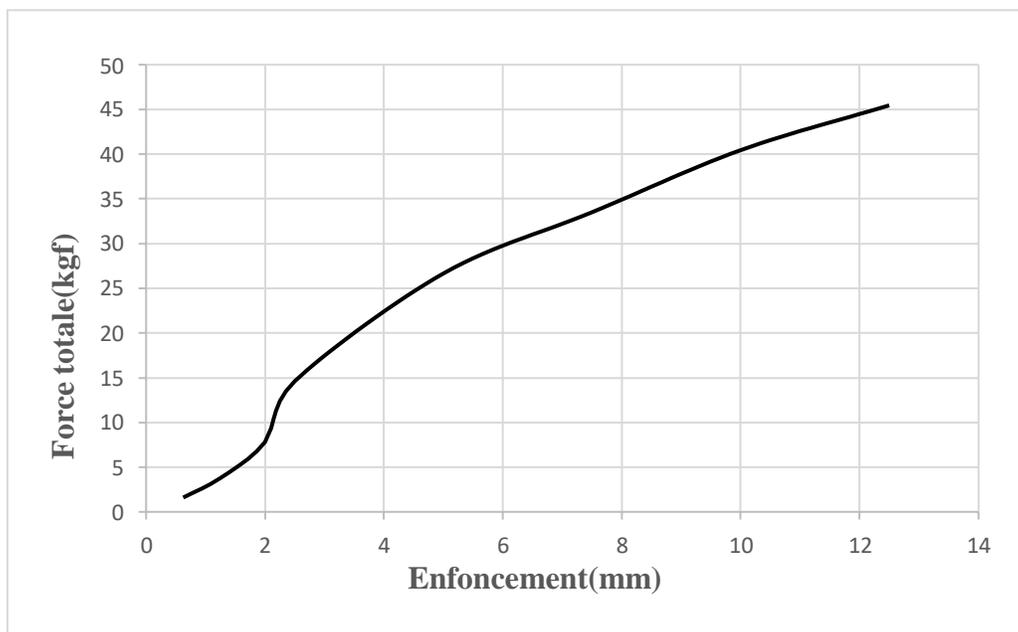
**Figure(III.12) Résultats de l'essai CBR imbibé simulation de l'effet de la remontée (compacté à l'eau)**



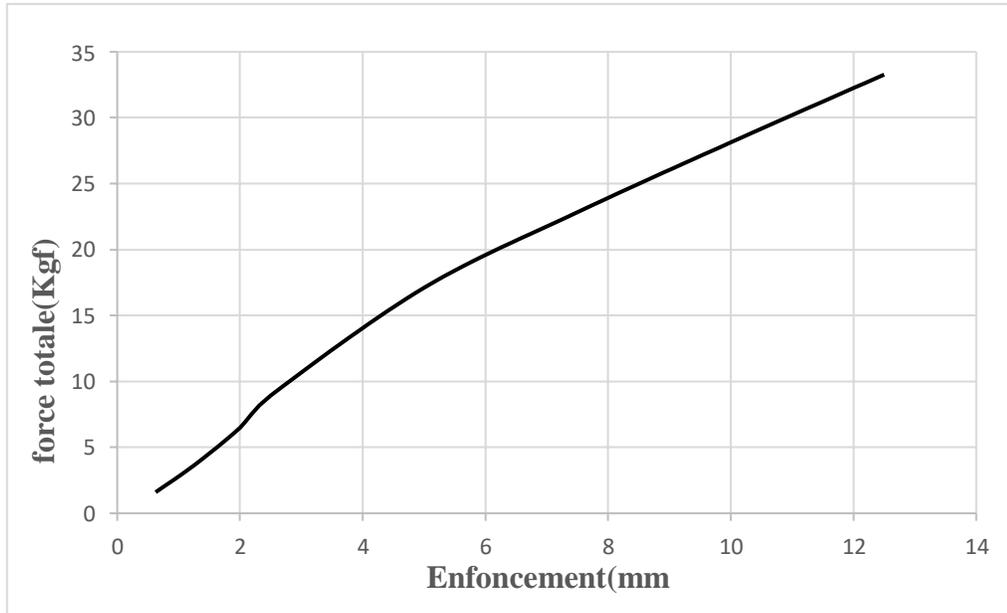
**Figure(III.13) Résultats de l'essai CBR imbibé gonflement simulation de l'effet de la remontée (compacté à l'eau)**



**Figure(III.14)Variation de la densité sèche du tuf par compactage –Proctor- à différentes teneurs en huile**



**Figure(III.15)Résultats de l'essai CBR Immédiat (compacté à l'huile)**



Figure(III.16) Résultats de l'essai CBR imbibé (compacté à l'huile)

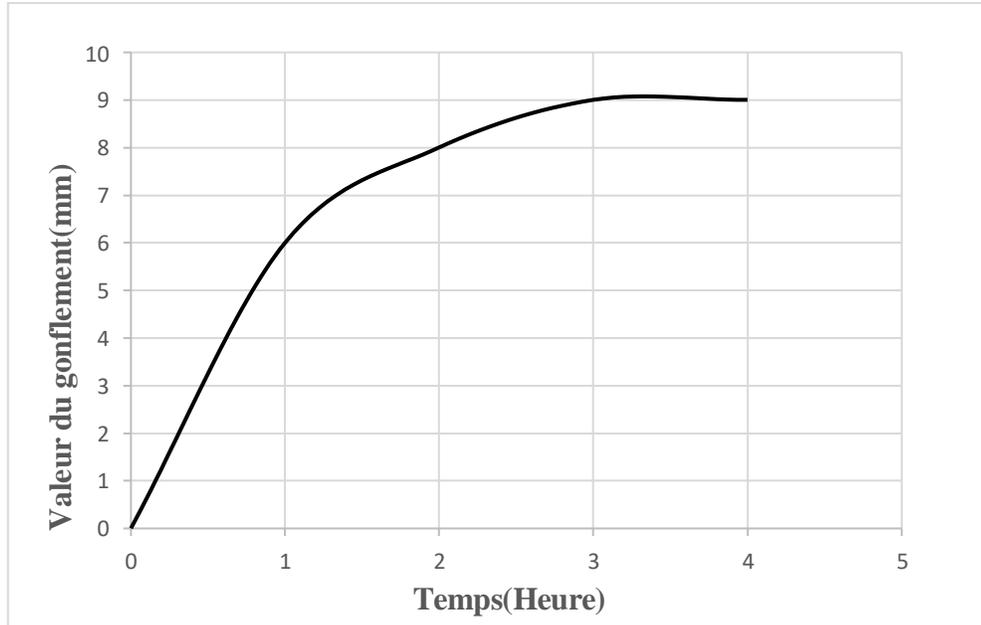
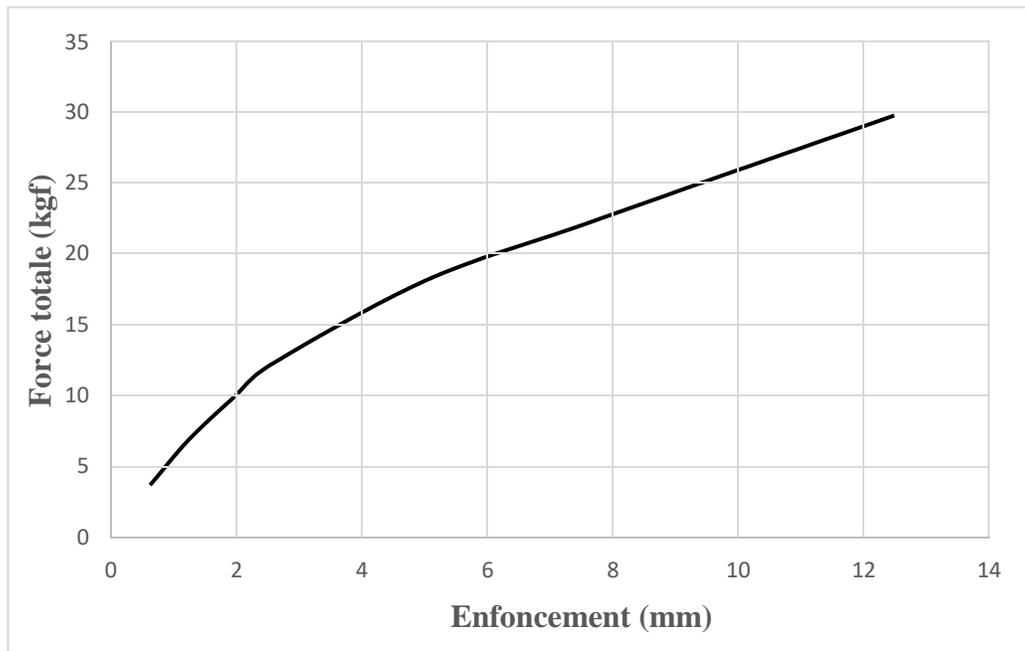
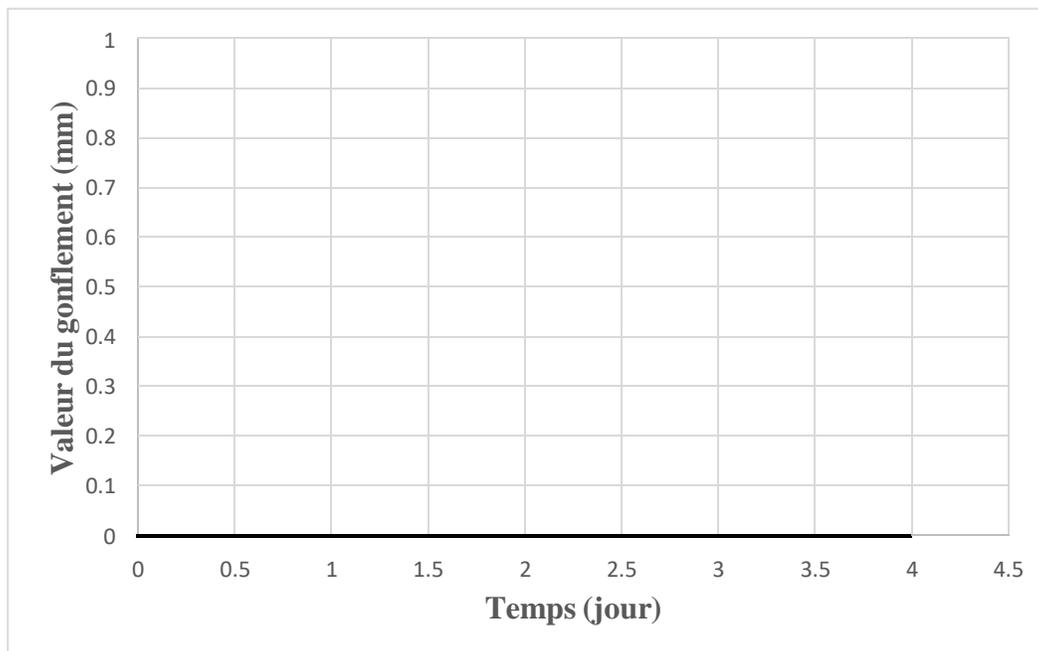


Figure (III.17) Résultats de l'essai CBR imbibé Gonflement (compacté à l'huile)



**Figure(III.18)Résultats de l'essai CBR imbibé  
simulation de l'effet de la remontée (compacté à l'huile)**



**Figure(III.19)Résultats de l'essai CBR imbibé gonflement  
simulation de l'effet de la remontée (compacté à l'huile)**

**Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté tous les résultats obtenus à partir des essais et nous en discuterons dans le chapitre suivant pour les expliquer et comparer les résultats.

## **CHAPITRE IV**

### **ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS OBTENUS**

## CHAPITRE IV: ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS OBTENUS

### IV.1 INTRODUCTION

Après la caractérisation des matériaux utilisés, l'objet du chapitre II, dans ce qui suit, Nous allons examiner tout d'abord l'évolution des propriétés mécaniques (caractéristiques optimales de compactage, indice CBR imbibé, CBRimmédiat et essais Proctor) du mélange Tuf/eau, nommé T/E, ensuite celles du mélange Tuf/Huile, nommé T/H.

### IV.2 PLAN EXPERIMENTAL

L'étude expérimentale sera focalisée sur :

L'évolution des caractéristiques de compactage, indice CBR, Evolution de la densité pour différentes quantités d'additives (essai Proctor) de différents mélanges afin de déterminer les formules optimales:

- Tuf/eau (8%, 10%.12%.14%).
- Tuf/huile (6%. 8%. 10%. 12%).

L'évolution de la résistance à la compression simple des mélanges à différents teneurs en eau et teneurs en huile des éprouvettes confectionnées pour différentes durées de conservation

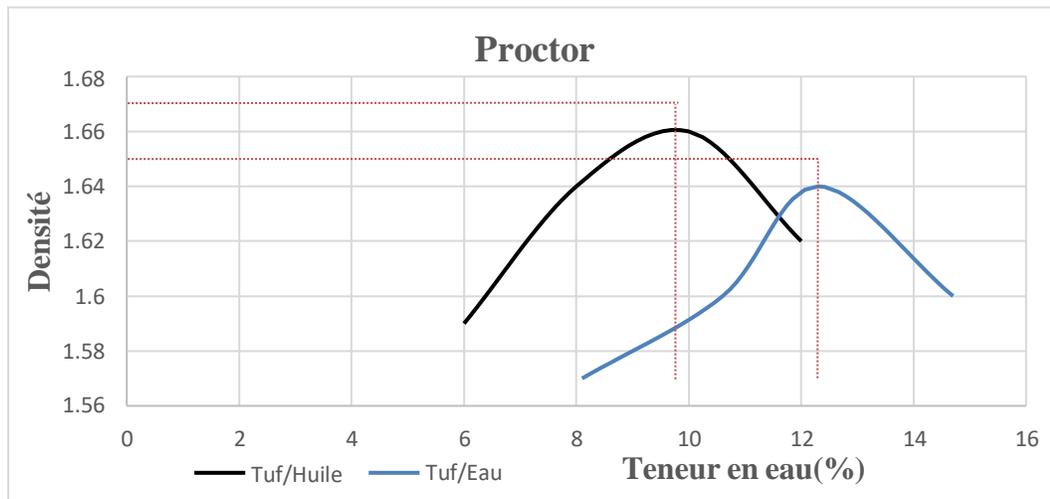
(1h, 2h, 3h, 4h):

- Tuf/eau
- Tuf/ huile

## V.3 RESULTATS ET DISCUSSION

### IV.3.1 RESULTATS ET DISCUSSION PROCTOR

#### a) Résultats



Figure(IV.1) Variation de la densité des différents mélanges (tuf/eau et tuf/huile)

#### b) Discussion

D'après les résultats obtenus grâce à l'essai Proctor figure(IV.1), nous pouvons noter ce qui suit :

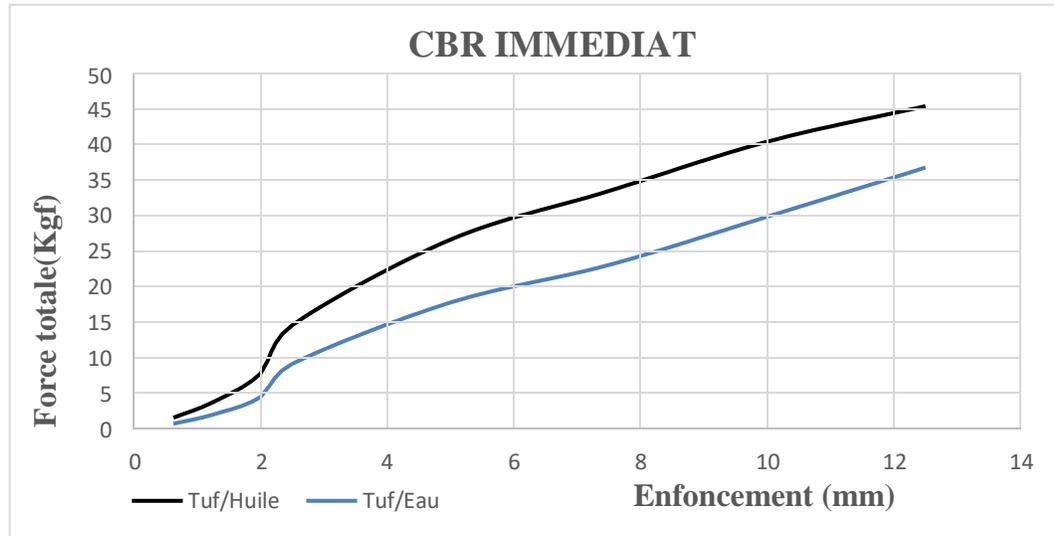
- la densité optimale obtenue du mélange Tuf/Huile est supérieure à la densité optimale du mélange Tuf/eau avec l'ajout de moins d'huile que d'eau, soit une amélioration de **1.2%**.
- nous pouvons encore remarquer qu'à la même densité dans les deux mélanges, la quantité d'ajout d'huile est moindre par rapport à l'eau de **50%**.
- nous pouvons obtenir la densité optimale du mélange Tuf/eau (1.64) en utilisation de l'huile à un pourcentage moindre soit à **8%** de l'huile.

#### c) Conclusion

Nous concluons que les propriétés liées à la densité du tuf compacté à l'huile sont meilleures par rapport au mélange tuf/eau et que les quantités sont plus moindres en termes de volume du matériau ajouté.

## IV.3.2 RESULTATS ET DISCUSSION CBR IMMEDIAT

## a) Résultats



**Figure (IV.2) Variation de la force du piston en fonction de son enfoncement tuf/eau et tuf/huile**

## b) Discussion

D'après les résultats obtenus grâce à l'essai CBR Immédiat figure(IV.2), nous pouvons noter ce qui suit :

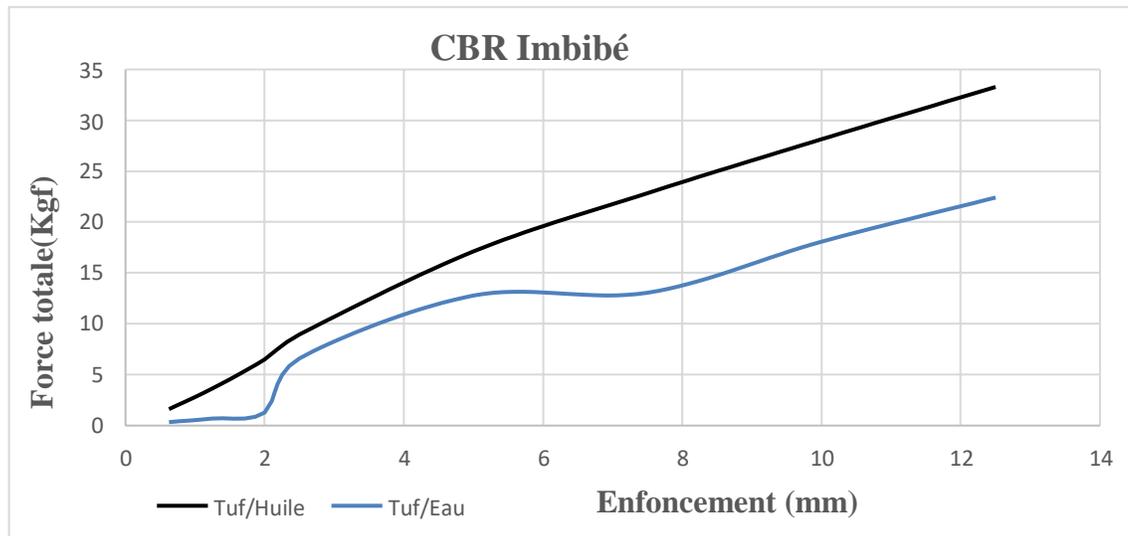
- La résistance du mélange tuf/huile est supérieure à la résistance du mélange tuf/eau.
- Les deux courbes ont la même allure.
- Les deux courbes ont un point de déflexion à un enfoncement de 2,25 mm, c'est-à-dire que l'enfoncement du piston dans le tuf s'accélère à ce stade.
- Dans la gamme d'enfoncement [4mm ; 12.5mm], la différence moyenne entre la résistance des deux mélanges est de 10 kgf.

## c) Conclusion

Nous concluons que le mélange compacté à l'huile est plus résistant que celui à l'eau.

### IV.3.3 RESULTATS ET DISCUSSION CBR IMBIBE

#### a) Résultats



**Figure(IV.3) Variation de la force du piston en fonction de son enfoncement tuf/eau et tuf/huile, Après immersion pendant 4 heures**

#### b) Discussion

D'après les résultats obtenus grâce à l'essai CBR Imbibé figure(IV.3), nous pouvons noter ce qui suit :

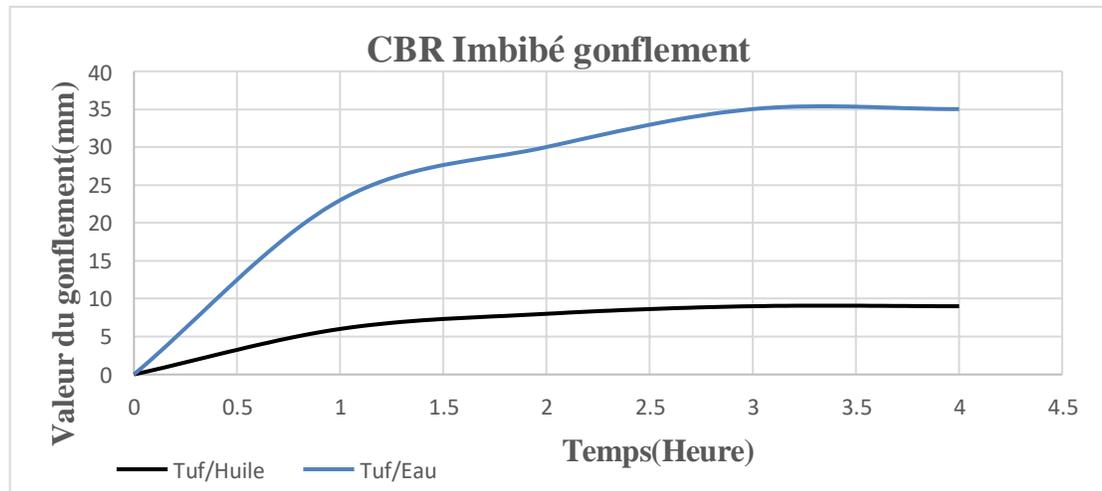
- Le mélange immergé tuf/huile a une plus grande résistance par rapport au mélange tuf/eau le long de l'essai.
- Ce mélange tuf/eau présente deux points de déflexion, une verticale et une horizontale soit respectivement lorsque la profondeur du piston atteint 2 mm et 6 mm, la résistance augmente dans le premier point et se stabilise dans le second point pour reprendre l'augmentation de la résistance lorsque l'enfoncement atteint 7 mm.
- La différence de résistance entre les deux mélanges est de 10 kg dans le champ d'enfoncement [8; 12.5] mm.

#### c) Conclusion

Nous concluons que le tuf compacté à huile donne les meilleures résultats que celui compacté à l'eau même dans le cas de l'immersion à l'eau.

### IV.3.4 RESULTATS ET DISCUSSION CBR IMBIBE (GONFLEMENT)

#### a) Résultats



**Figure(IV.4) Variation de Valeur du gonflement en fonction de son temps tuf/eau et tuf/huile, Après avoir complètement immergé le moule 4 heures**

#### b) Discussion

D'après les résultats de gonflement obtenus grâce au essai CBR imbibe figure(IV.4), nouspouvons noter ce qui suit :

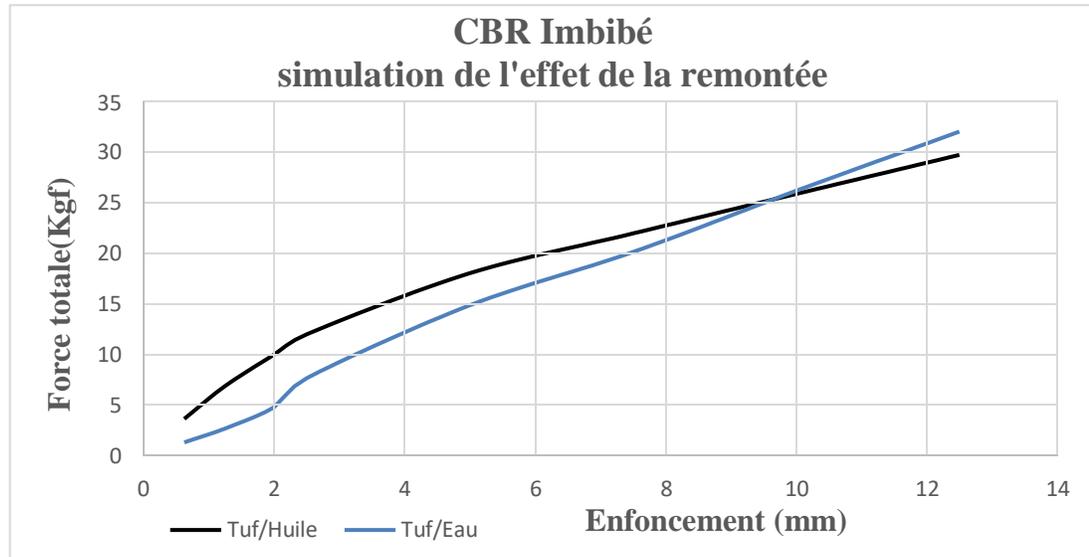
- Le gonflement du mélange tuf/eau immergé dans l'eau est supérieur au gonflement du mélange tuf/huile le long de l'essai.
- La différence de gonflement entre les deux mélanges est voisine de 25 mm à partir de la deuxième heure.
- les deux mélanges cessent de gonfler après 3 heures dans l'eau.
- Le pourcentage de gonflement est de **288%** donc le gonflement du tuf compacté à l'eau gonfle trois (3) fois plus que celui compacté à l'huile de moteurs usée.

#### c) Conclusion

Nous concluons que le mélange Tuf/huile est plus résistant au gonflement que le mélange tuf /eau.

### IV.3.5 RESULTATS ET DISCUSSION CBR IMBIBE SIMULATION DE L'EFFET DE LA REMONTEE

#### a) Résultats



**Figure(IV.5) Variation de la force du piston en fonction de son enfoncement tuf/eau et tuf/huile, Après avoir immergé le moule à moitié.**

#### b) Discussion

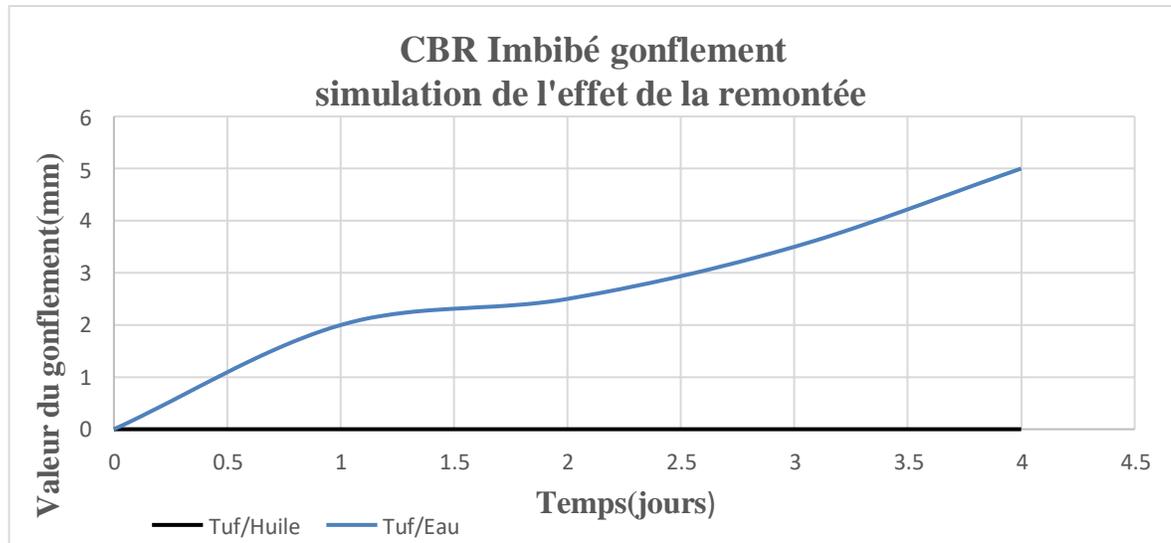
D'après les résultats obtenus grâce au essai CBR imbibe (simulation de l'effet de la remontée) figure(IV.5), nous pouvons noter ce qui suit :

- La résistance du mélange tuf/huile - où le moule est à moitié immergé - est supérieure à celle du mélange tuf/eau dans le champ d'enfoncement [0,625, 9,5] mm.
- La résistance des deux mélanges - où le moule est à moitié immergé - à moitié immergés est égale lorsque la profondeur du piston atteint 9,5 mm.
- La résistance du mélange tuf/eau - où le moule est à moitié immergé - est supérieure à celle du mélange tuf/huile dans le champ d'enfoncement [9,5, 12,5] mm.

#### c) Conclusion

D'après les résultats trouvés à savoir: ICBR (huile) =85.71 et ICBR (eau)=70.76, nous concluons que le tuf compacté à l'huile est plus résistant que celui compacté à l'eau sous les nouvelles conditions d'immersion (simulation de l'effet de la remontée des eaux).

### IV.3.6 RESULTATS ET DISCUSSION CBR IMBIBE GONFLEMENT SIMULATION DE L'EFFET DE LA REMONTEE



**Figure(IV.6) : Variation du gonflement en fonction de son enfoncement tuf/eau et tuf/huile, Après avoir le moule à moitié immergé pendant 4 jours**

#### b) Discussion

D'après les résultats de gonflement obtenus grâce à l'essai CBR imbibé (simulation de l'effet de la remontée) figure(IV.6), nous pouvons noter ce qui suit :

- Le mélange tuf/eau dont le moule est à moitié immergé, présente un gonflement allant jusqu'à 5 mm en 4 jours.
- Le mélange tuf/huile dont le moule est à moitié immergé ne gonfle pas pendant les quatre jours d'immersion.
- La courbe de gonflement relative au mélange tuf/eau a un point d'inflexion dans le champ [1,2] jours, c'est-à-dire que le gonflement augmente dans le temps au bout de la première journée et se ralentit à la plage d'une journée pour reprendre son gonflement au-delà de 2jour.

#### c) Conclusion

Nous concluons que le tuf compacté à l'huile de moteur usée ne gonfle pas contrairement au tuf compacté à l'eau, ce dernier atteint 5 mm au bout de 4 jours conformément à la norme.

## CONCLUSION GENERALE

En guise de conclusion à la fin de ce travail, nous retiendrons ce qui suit:

Pour les tufs, ces derniers sont issus de trois types d'encroûtements:

- Les encroûtements calcaires, très répons dans les zones à climats subhumide à semi-aride. Leur extraction fournit un matériau très riche en calcaire appelé: tuf calcaire;
- Les encroûtements gypseux massifs ou tendres qui fournissent les tufs gypseux, ce sont des formations qui occupent les zones à climat aride. Ils se présentent sous forme de dalle de 1 à 2 m d'épaisseur ;
- Les encroûtements mixtes, qui donnent les tufs gypso-calcaire ou calcaire-gypseux ; ces matériaux se regroupent autour de deux pôles l'un sulfaté et l'autre carbonaté.

La comparaison entre les propriétés du tuf liées au compactage en utilisant comme lubrifiant l'eau ou l'huile usée de moteur a fait ressortir ce qui suit:

La densité sèche après l'essai Proctor du tuf compacté à l'huile est meilleure de **1.2%** par rapport au tuf compacté à l'eau. Le volume de l'huile usée utilisé est nettement moindre que le volume d'eau.

Les résultats de l'essai CBR ont montré plus de résistance pour les mélanges compactés à l'huile que ceux compactés à l'eau soit **40%** pour le CBR Immédiat à et **50%** pour le CBR Immersion.

Pour ce qui est du gonflement, Le Tuf compacté à l'huile est plus résistant au gonflement que celui du tuf compacté à l'eau, ce dernier gonfle de **288%** par rapport à celui de l'huile après 4 heures d'immersion.

Pour le Protocol réalisé pour la simulation de l'effet de la remontée, (immersion du moule à sa moitié pour une durée donnée – **4jours-**), L'essai CBR sous ces conditions, a montré que le tuf compacté à l'huile est plus résistant lorsque l'eau remonte par rapport au tuf compacté à l'eau dans le domaine **[0,625 - 9,5]** mm alors que dans le domaine **[9,5 - 12,5]** mm, c'est l'inverse qui s'est rétabli. Plus encore, le tuf compacté à l'huile de moteur usée ne gonfle pas contrairement au tuf compacté à l'eau, ce dernier atteint 5 mm au bout de 4 jours conformément à la norme.

Par la présente étude, nous concluons que l'huile usée de moteur nécessaire pour **1m<sup>3</sup>** de tuf est de **0.1 m<sup>3</sup>** soit **100 litres**, peut donner une densité meilleure pour le tuf est un compactage meilleur au même niveau d'énergie fournie pour le compactage à l'eau.

Ainsi en peut préserver la nature et contribuer à la lutte contre la pollution et économiser **60 litres** d'eau pour chaque mètre cube de tuf en la substituant par l'huile usée de moteur destinée généralement au rejet.

### **Perspectives et recommandations**

A la fin de cette étude nous recommandons ce qui suit:

- Poursuivre les études de recherche pour les chaussées de route utilisant le tuf avec ajout de déchet qui peuvent améliorer ces qualités.
- Refaire les essais quant à l'huile usée de moteur en tant qu'ajout pour les tufs naturels soit un accouplement entre l'eau et l'huile étant donné que le tuf naturel comporte toujours une quantité initiale d'eau.
- Normaliser l'effet de la remontée des eaux sur les chaussées ainsi que sont effet cyclique (mouillage- séchage) par l'appareillage du moule CBR et un mode de conservation comme celui adopté dans notre Protocol.

## **REFERANCE**

- [01] f. MAMMA. **Réseau routier et autoroutier**. Alger .2017
- [02] AbdelkrimeHalabi, « **Route** », tome 2, université d'Alep, faculté des ingénieurs, Syrie 1974.
- [03] ELHADJ GUESMIA Daheur : mémoire master en génie civil « contribution à l'étude de traitement des tufs d'encroûtement dans la construction routière » université Amar Telidji Laghouat le 2011
- [04] GOUAL IDRIS : thèse de doctorat « comportement mécanique et hydrique d'un mélange de tuf de sable calcaire de la région de Laghouat : application en construction routière »
- [05] COQUAND Roger route livre ii Edition EYROLLES France 1980
- [06] Etude de compactage et différent de matériel.
- [07] MORSLI M. 2007 "contribution à la valorisation des tufs d'encroûtement en technique routière saharienne" thèse de doctorat d'état école nationale polytechnique, Alger.
- [08] COLOMBIER 1988 " Tufs et Encroûtements calcaires : utilisations routières –Synthèse, isted.
- [09] BOUKHERROUBA, S. (2011). Étude, caractérisation et mise au point d'un comestible innovant à base des huiles de vidange. Boumerdes: université MOHAMED BOUGARA de Boumerdes.
- [10] MEHREZ. B, d. A. (2017). Management de la Collect des déchets dangereux. Cas des huiles usées des véicules. Tlemcen : université Aboubekrbelkaid de Tlemcen.
- [11] MATE. (2010). Vaste programme de dépollution industrielle dans le secteur des ciments. Centre national des technologies de production plus propre
- [12] BENOIT. (2016). Etude du procédé de Co-pyrolyse de déchet plastiques et d'huiles usagées en vue de la production d'un combustible liquide alternatif. Bruxlles: université libre de bruxlles
- [13] KARELSKIND, A. (1992). Manuel des corps gras. 1-1565.
- [14] KHANIN, G. (2012). Extraction et caractérisation physico-chimique et biologique de. Bejaia: université Abderrahmane mira de Bejaia.
- [15] KOUIDRI, M. (2008). Extraction et caractérisation physico-chimique de l'huile d'argan Provenant d'arbres cultivés dans deux régions de l'Algérie. Chlef: université Hassiba ben Bouali
- [16] KALLI FATIMAZOHRA-rahah manuel d'essai routier (TP route)
- [17] KOUIDRI Belala Zohra mémoire de magister étude et traitement de l'eau du barrage DJorf-eltorba de la wilaya de Bechar par filtration sur sables 2006