

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

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



**Université KasdiMerbah Ouargla**



**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES**

**Département de Génie civil et Hydraulique**

C:.....

R:.....

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

**Master, Filière : Travaux publics**

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

**Thème**

**Etude des performances de compactage  
d'un mélange Tuf-Timchemt pour assises de  
chaussée**

**Présenté par :**

- ❖ GOSSA Souhila
- ❖ BENAOUN Maroua

**Soumis au jury composé de :**

<b>CHAHED Ali Hyder</b>	<b>M.C.B</b>	<b>UKM Ouargla</b>	<b>Président</b>
<b>HACHANI Brahim</b>	<b>M.A.A</b>	<b>UKM Ouargla</b>	<b>Examineur</b>
<b>KEBAILI Nabil</b>	<b>M.C.B</b>	<b>UKM Ouargla</b>	<b>Encadreur</b>

***Année Universitaire : 2020 / 2021***

# الإهداء

إذا كان الإهداء يعبر ولو بجزء من الوفاء

فالإهداء إلى

معلم البشرية ومنبع العلم نبينا محمد(صلى الله عليه وسلم)

إلى كل من يؤمن بأن العلم نور وسلاح نواجه به الجهلاء.

إلى كل من يجاهد في سبيل البحث العلمي.

إلى نبع العطاء ونبض المحبة ورمز الحياة

إلى الوالدين من قال فيهما المولى عزّ وجل

"واخفض لهما جناح الذل من الرحمة وقل رب ارحمهما كما ربياني صغيراً".

إلى من قاسمونا حلو الحياة ومرّها

إلى إخوتي وأخواتي وأحبابي الأعزاء.

إلى كل عائلتنا الكريّمات تقديراً واحتراماً لهم.

إلى كل الزملاء الذين عرفتهم في كلية العلوم التطبيقية.

إلى كل معلم جعله الله سبباً لنا في الوصول إلى هذا المستوى.

إلى كل الأساتذة والزملاء والزميلات بقسم الهندسة المدنية والري.

أهدّي لكم هذا العمل المتواضع.

# REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions dieu le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage et la santé qu'il nous a donné durant toutes ces longues années d'étude.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadreur Dr. Kebaili Nabil, qui nous a dirigé avec ses conseils utiles pendant la réalisation de ce travail dans toutes ses étapes, ce qui nous a permis de surmonter plus facilement de nombreux obstacles, donc vous - notre honorable professeur - s'incliner, dans l'appréciation et le respect.

Nous remercions également tous les enseignants de génie civil qui nous ont enseigné durant cette phase académique, car les données étudiées sont intégrées aux étapes de calcul et d'étude dans cette note.

Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

\_\_\_\_\_:

يعتبر التيف الجبسي من المواد المفضلة في بناء الطرق في الجنوب الجزائري نظرا لانتشاره وسهولة استعماله ولكن مع مرور الزمن، تبيّن أن خصائصه الميكانيكية في تناقص مستمر وكذا الكميات المتواجدة مما دفع بالمهندسين إلى تدعيمه بغية تحسين خصائصه الفيزيوميكانيكية والسلوكية. يدخل هذا العمل ضمن إطار دراسة تحسين مادة التيف بواسطة مادة الجبس التقليدي (تيمشمت)، وذلك قصد تحسين التيف الجبسي المستعمل حاليا وزيادة ديمومته بإضافة نسب مختلفة من مادة التيمشمت وإعادة تقييم خصائصه الرصية على وجه الخصوص بواسطة تجربة بروكتور على عينات التيف تحوي نسب مختلفة من مادة تيمشمت. أظهرت التجارب أن مادة التيمشمت لها تأثير إيجابي على خصائص الرص للتيف.

**المفتاحية:**الجبس، التيمشمت، الخصائص الكيميائية، تجربة بروكتور.

### **Résumé :**

Le tuf est l'un des meilleurs matériaux entrant dans la construction routière dans le sud algérien en raison de son abondance et sa facilité de mise en œuvre. Mais progressivement, ses propriétés mécaniques tendent vers la diminution de même que les réserves disponibles, ce qui a incité les ingénieurs à le renforcer pour améliorer ses propriétés physiques et rhéologiques.

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'étude de l'amélioration du tuf par le gypse traditionnel (Timchemt) en ajoutant différents pourcentages et en réévaluation de ses performances de compactage notamment au moyen de l'essai Proctorsur des échantillons contenant différentes teneurs en timchemt.

L'étude a montré que l'ajout de Timchemt possède un effet significatif sur les propriétés de la chaussée.

**Mots clés :** Tufs, Timchemt, Propriétés chimiques, Proctor.

### **Abstract :**

Tuff is one of the best materials used in road construction in southern Algeria due to its abundance and ease of implementation. However, gradually, its mechanical properties tend to decrease as well as the available reserves, which has prompted engineers to strengthen it to improve its physical and rheological properties.

This work is part of the study of the improvement of tuff by traditional gypsum (Timchemt) by adding different percentages and re-evaluating its compaction performance, in particular by means of the Proctor test on samples containing different levels of timchemt.

The study showed that the addition of Timchemt has a significant effect on the pavement properties.

**Keywords :** Tufs, Timchemt ,Chimical transformation, Proctor

# *Table des matières*

---

<b>Dédicaces</b>	
<b>Remerciements</b>	
<b>Sommaire</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Résumé</b>	
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I</b>	
<b>Aperçu sur les sables gypseux en corps de chaussée</b>	
I.1. INTRODUCTION	4
I.2. DEFINITION	4
I.2.1. Les Tufs	4
I.2.2. Le gypse	4
I.2.3. Les sables gypseux	5
I.2.4. Les encroûtements gypseux	6
I.2.5. Formation des encroûtements gypseux	6
I.2.6. Encroûtements calcaires	6
I.2.7. Encroûtements gypso calcaires (mixte)	6
I.3. UTILISATION DU SABLE GYPSEUX EN TECHNIQUE ROUTIERE	7
I.4. EXECUTION DES CHAUSSEES EN SABLE GYPSEUX	7
I.5. TIMCHEMT	7
I.5.1. Définition	7
I.5.2. Utilisation de Timchemt	8
I.5.3. Fabrication de Timchemt	8
I.6. ETAT D'ART SUR L'UTILISATION DES TUFS	9
<b>Chapitre II</b>	
<b>Essais de compactage but, principe et mode d'emploi</b>	
II.1. INTRODUCTION	11
II.2. ESSAIS DE DETERMINATION DES PARAMETRES DES TUFS	11
II.3. DEFINITION DES ESSAIS	11
II.3.1. Analyse granulométrique (NF P 94 – 056)	11
II.3.2. Essai Proctor (NF P 94 – 093)	13
II.3.3. Essai CBR * Californian-Bearing-Ratio* (NF P 94 – 078)	18
II.3.4. Les analyses chimiques	21
<b>Chapitre III</b>	
<b>Caractérisation des matériaux</b>	
III.1. TUFS	23
III.1.1. Essai d'Analyse granulométrique (NF P 94 – 056)	23
III.1.2. Essais Proctor (NF P 94 – 093)	25

III.1.3. Essais CBR * Californian-Bearing-Ratio* (NF P 94 – 078)	26
III.1.4. Analyses chimiques de tufs	28
III.2. TIMCHEMT	28
III.2.1. Analyses granulométriques (NF P 94 – 056)	29
III.2.2. Teneurs en eau de timchemt	29
III.2.3. Analyses chimiques de timchemt	30

## **Chapitre IV**

### **Résultats et discussion**

IV.1. RESULTATS DE L'ESSAI PROCTOR	32
IV.1.1. Résultats de tuf+10% de Timchemt	32
IV.1.2. Résultats de tuf+15% de Timchemt	32
IV.1.3. Résultats de tuf+20% de Timchemt	32
IV.1.4. Synthèse de l'essai Proctor	33
IV.2. RESULTATS DE L'ESSAI CBR IMMEDIAT	34
IV.2.1. Résultats de l'essai CBR Immédiat	34
IV.2.2. Résultats de tuf+10% de Timchemt	34
IV.2.3. Résultats de tuf+15% de Timchemt	35
IV.2.4. Résultats de tuf+20% de Timchemt	36
IV.2.5. Synthèse de l'essai CBR Immédiat	37
IV.3. RESULTATS DE L'ESSAI CBR	38
IV.3.1. Résultats de tuf+10% de Timchemt	38
IV.3.2. Résultats de tuf+15% de Timchemt	39
IV.3.3. Résultats de tuf+20% de Timchemt	40
IV.1.2. Synthèse de l'essai CBR Imbibé	41
Conclusion générale	42
Références bibliographiques	43
Annexes	45

## Liste des figures

---

Figure II.1 : Série de tamis pour granulométrie	12
Figure II.2 :Appareil à vibrer	12
Figure II.3 : Balance	12
FigureII.4 : Brosses de nettoyage des tamis	12
Figure II5 : Principe de l'essai Proctor normal et modifié	15
Figure II.6 : Matériels pour essai Proctor	16
Figure II.7 : Déroulement de l'essai Proctor	17
Figure II.8 : Tuf dans le moule Proctor	17
Figure II.9 : Presse CBR	19
Figure II.10 : Moule CBR	20
Figure III.1: Tufs de Sokra	23
Figure III.2 : Analyse granulométrique du tuf	24
Courbe III.3 : Courbe Proctor	25
Courbe III.4 :Courbe CBR Immédiat	26
Courbe III.5 :Courbe CBR Imbibé	27
Courbe III.6 :Echantillon de Timchemt	29

## **Liste des tableaux**

---

Tableau II.1 : Conditions de réalisation de l'essai Proctor	<b>15</b>
Tableau II.2 : Pourcentage de CBR et sa classe de portance	<b>18</b>
Tableau II.3 : Indice CBR immédiat et imbibé	<b>20</b>
Tableau II.4 : Mesures Proctor	<b>25</b>
Tableau II.5 : Mesures de valeurs CBR Immédiat	<b>26</b>
Tableau II.6 : Mesures de valeurs CBR Immédiat	<b>27</b>
Tableau II.7 : Teneurs en eau de Timchemt	<b>29</b>
Tableau II.8 : Analyses chimiques sommaires de Timchemt	<b>30</b>

## Introduction générale

### Introduction générale

Les encroûtements gypseux couvrent une grande partie du Sud-est Algérien, l'utilisation des sables gypseux comme matériaux du corps de chaussée date des années 50, leur abondance ainsi que leur facilité d'extraction et l'absence de tous autres matériaux de substitution en ont fait des matériaux économiques très utilisés dans les zones subhumides à arides de l'Algérie.

Ces matériaux possèdent des caractéristiques géotechniques différentes de celles relatives aux matériaux classiques utilisés dans la technique routière des zones humides, ce matériau longtemps été utilisé d'une manière empirique, c'est-à-dire en l'absence des spécifications particulières.

L'objectif principal de ce travail est d'étudier en premier temps les caractéristiques des tufs gypseux utilisés dans la région sud-est de l'Algérie notamment à Ouargla, Touggourt et El-oued où ce matériau est de loin le plus utilisé dans les assises de chaussée (couche de base et couche de fondation).

En second lieu, les tufs ainsi caractérisés sont améliorés par ajout de timchemt qui est un liant local utilisé surtout en construction des habitations traditionnelles, ce matériau est ajouté dans le but d'améliorer le comportement des tufs présentant des limites en terme de qualité notamment au niveau de leur caractéristiques de compactage, qui est le critère essentiel de sélection des matériaux à usage routier.

A cet effet, il est évident d'effectuer les essais d'indentification au laboratoire, à savoir :

- l'essai Proctor
- l'essai de portance CBR.

Ce travail entre dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux (sable gypseux) dans le but de répondre aux besoins intensifs de la région Sud-est de

l'Algérie et particulièrement la région d'Ouargla, en vue de son emploi en construction routière.

Ce travail se divise en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une recherche Généralités sur un aperçu sur les sables gypseux et les tufs en corps de chaussée.

- Le deuxième chapitre expliqué les essais Utilisé sur la tufs et timchemt sont :

1- Analyse granulométrique (NF P 94 – 056).

2- Les analyses chimiques.

3- Essai Proctor (NF P 94 – 093).

4- Essai CBR \* Californian-Bearing-Ratio(NF P 94 – 078).

- Dans le troisième chapitre Et quatrième chapitre expliqué résultats obtenu à partir des essais appliquées.

# Chapitre I

A large red oval with a thin white border, containing the chapter title and subtitle.

## Chapitre I

### **Aperçu sur les sables gypseux en corps de chaussée**

# **Chapitre 1**

## **Aperçu sur les sables gypseux en corps de chaussée**

### **I.1. INTRODUCTION**

Ce travail entre dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux (sable gypseux) dans le but de répondre aux besoins intenses de la région Sud-est de l'Algérie et particulièrement la région d'Ouargla, en vue de son emploi en construction routière.

### **I.2. DEFINITIONS**

#### **I. 2.1. Les Tufs**

Dans le langage ordinaire, le mot désigne toute roche de porosité élevée et de faible densité, souvent pulvérulente. Les tufs d'encroûtements font partie des matériaux subnormaux utilisés en construction routière dans de nombreux pays à climat aride ou subhumide. Ils sont classés, suivant leur nature chimique, en trois catégories :

- les tufs se définissent comme étant des formations superficielles, tendres, friables, poreuses, légères et de couleur claire.

- ces roches sont de constitution variable et résultent d'un certain nombre d'échanges par dissolution et précipitation.

- Suivant leur composition, les tufs se groupent en trois catégories :

- 1- les tufs calcaires.

- 2- les tufs gypseux.

- 3- les tufs mixtes.

#### **I. 2.2. Le gypse**

Le gypse est un minéral qui appartient à la famille des évaporites qui sont les roches sédimentaires les plus solubles dans l'eau. Il résulte généralement de l'évaporation de l'eau lagune, marines sursaturés.

Le sulfate de calcium  $\text{CaSO}_4$  s'hydrate et cristallise dans le système monoclinique pour former le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Cette hydratation (fixation d'eau) s'accompagne d'une augmentation de volume et s'opère selon la relation suivante :



A l'échelle de la molécule, il présente une structure feuilletée dans laquelle alternent deux couches d'eau et deux couches de sulfates de calcium. Chaque molécule d'eau est liée d'une part à un ion  $+2 \text{ Ca}$  et à un ion  $-2 \text{ O}$  de son propre feuillet, d'autre part à un ion  $-2 \text{ O}$  du feuillet, d'autre part à un ion  $-2 \text{ O}$  du feuillet adjacent.

Le gypse est incolore à l'état pur, ou parfois légèrement teinté en jaune par l'oxyde de fer. Il peut se présenter sous différentes formes :

- Forme macro cristallisée : Sélénite, Marienglass, Gypselenticulaire, enrosettes, ...

- Forme micro cristallisée ou granulaire : Albâtre, gypse, saccharoïde, fibreux pulvérulent, ...etc.

Le gypse est d'une solubilité importante dans l'eau, elle est de l'ordre de quelques g/l. A  $20^{\circ}\text{C}$  elle est voisine de 2g/l dans l'eau pure, aussi cette solubilité dépend de la quantité des autres sels dissous et en particulier la halite (Chlorure de Sodium NaCl). Une particularité remarquable du gypse est que sa solubilité passe par un maximum à la température de  $37-38^{\circ}\text{C}$ , et tombe ensuite assez rapidement pour devenir très faible aux températures élevées, et se transforme entièrement en semi hydrate.

### **I.2.3. Les sables gypseux**

Les sables gypseux ont un grain dont le diamètre est compris entre 0,1 et 2 mm, chaque grain est agglutination des cristaux microscopiques, il peut se présenter aussi en cristaux plus gros allant jusqu'à 5 mm

Les sables gypseux formés aux alentours des chotts contiennent une proportion plus ou moins importante de sel.

Les gisements des sables gypseux en zone aride, se sont formés à différentes époques du quaternaire par dépôt de gypse dans le sol à partir des nappes phréatiques séléniteuses.

#### **I.2.4. Les encroûtements gypseux**

L'encroûtement gypseux est une formation dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à plus d'un mètre parfois. De haut en bas on y distingue principalement deux horizons.

Le premier, de couleur blanchâtre, d'aspect massif présente une structure pulvérulente, très fine, comme du 'talc'. Il y a une certaine cohérence et une compacité dans cette masse amorphe car il est possible d'en prélever des mottes.

#### **I.2.5 Formation des encroûtements gypseux**

Dans la nature, le gypse se dépose par évaporation des solutions concentrées de sulfates en milieu confiné (lagunes littorales, chotts, sebkhas) pour former avec d'autres sels des roches sédimentaires appelées évaporites.

Les gisements de sables gypseux de la zone aride ont une autre origine, il s'agit des encroûtements gypseux formés à différentes époques du quaternaire par dépôt du gypse dans le sol à partir de l'évaporation des nappes phréatiques séléniteuses.

#### **I.2.6 Encroûtements calcaires**

La croûte calcaire est un matériau terrestre composé essentiellement, mais pas exclusivement de carbonates de calcium. 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 au moins grandes de sols, roche ou matériaux altérés par du calcaire dans une zone d'infiltration.

#### **I.2.7 Encroûtements gypso calcaires (mixte)**

Les encroûtements mixtes sont des formations de tufs calcaires gypsifiés ou de tufs gypseux calcifiés trouvés dans des zones climatiques subhumides et semi-arides.

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 nappesphréatiques ; 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.

### **I.3. UTILISATION DU SABLE GYPSEUX EN TECHNIQUE ROUTIERE**

Les tufs constituent une ressource en matériau routiers particulièrement intéressante et économique pour de nombreux pays à climat arides ou semi-aride.

Ces matériaux présentent, lorsqu'ils sont utilisés en assises des chaussées, un comportement bien meilleur que ne laisseraient supposer leurs caractéristiques géotechniques, si on le compare aux spécifications des endroits tempérés.

### **I.4. EXECUTION DES CHAUSSEES EN SABLE GYPSEUX**

La première réalisation fût un chantier en régie, entreprise en 1953 près d'El-oued dans la traversée des Oasis du Souf, région où la pierre à plâtre ou gypse, seul matériau dur, est utilisé par les maçons locaux.

On utilisa la croûte gypseuse de surface en blocage à la main ; les intervalles ou "interstices" sont garnis de sable gypseux pulvérisé ; après humidification et compactage, l'ensemble se soudait pour former une croûte très dure, reproduisant la carapace naturelle.

On remplaça ensuite la mise en œuvre à la main par un répandage au camion de "tout-venant», blocs et sables mélangés, qui étaient ensuite écrasés au cylindre sur la route après arrosage. La couche de chaussée ainsi réalisée fut recouverte d'un sandasphalt (sable à bitume) à base de sable de dune.

Cette réalisation ayant donné de bons résultats pour une circulation peu intense et assez légère et qui servit de base "technique" aux réalisations futures : Biskra-Touggourt et Biskra-El oued, lancées en 1955.

La teneur en gypse devrait être supérieure, en principe, à 30%. Des désordres localisés se sont apparus dans les traversées de chott et dans les dépressions. Ceci est dû à des fines argileuses très actives dans le matériau gypseux et où, probablement, le phénomène de capillarité des eaux séléniteuses du chott a joué un rôle prépondérant.

### **I.5. Timchemt**

**I.5.1. Définition :** C'est un matériau de construction bien connu dans la construction traditionnelle. Le Timchemt est un matériau issu de la terre locale et qui résiste au temps et se prête parfaitement à la vie au XXI<sup>e</sup> siècle en utilisant des adjuvants et des techniques. C'est une roche sédimentaire évaporitique du gypse, provenant des mêmes roches sources gypso-calcaire situé dans les zones à climat aride et semi-aride il est constitué en majeure partie du sulfate de calcium semi hydraté ( $\text{CaSO}_4, 1/2\text{H}_2\text{O}$ ).

### **I.5.2. Utilisation de timchemt :**

C'est l'une des principes fondamentaux de la construction des ksour dans le sud et spécifiquement les ressources abondantes sur le site de la construction.

Dans route Nous l'utiliserons Timchemt avec des tufs dans certaines proportions pour améliorer la capacité portante de la route avec un meilleur résultat.

### **I.5.3. Fabrication de timchemt :**

Plâtre local, de couleur blanc-cendré extrait d'une couche superficielle ou de gisements à une profondeur maximale d'un mètre. Ce plâtre est brûlé dans un four disposant d'une ouverture en-bas. Cette dernière est fournie en bois et en divers déchets. Le gypse est entassé sur le dôme du four sur une profondeur de près d'un mètre et demi pour être brûlé pendant vingt-quatre heures. Lorsque la quantité de bois est consommée, la pierre devient tendre ; le plâtre doit être séparé des déchets de cendre pour être prêt à la consommation.

## I.6. Etat d'Art sur l'utilisation des tufs en corps de chaussée

Auteur	Année	Domaine des tufs	Résultat obtenus
Bellabaci Salem Mahmoudi Bachir	2018/2019	Contribution à l'amélioration des caractéristiques physico-mécaniques des sables gypseux de la région d'El-Oued	Le traitement du sable gypseux à la chaux hydratée a amélioré sa résistance à la compression simple, on passe ainsi d'une résistance à la compression simple (RC) de 10 bars avant traitement à une RC de 16 bars pour 6% de liant
Guesmia Zahra Zaidi Marouane	2018/2019	Etude de la compacité des tufs calcaires de la région de Saïda	Les résultats CBR montrent que les deux matériaux étudiés : - (Tuf 2 = indice CBR à 95% 21,6) - (Tuf 3 indice CBR à 95% 32,3)
Amri Sofiane BoughanemAkila	2018/2019	Influence de l'ajout de pouzzolane naturelle (tuf) sur la durabilité des pâtes de ciment.	Les échantillons contenant de la pouzzolane ont subi moins de dégradation par rapport aux échantillons témoin, cela c'est traduit par une augmentation plus importante de la masse. En ce qui concerne la résistance à la compression, on a constaté une légère diminution à court terme avec l'augmentation du taux de substitution en pouzzolane (23,35%). A long terme la résistance à la compression des pâtes de ciment avec de la pouzzolane augmente plus rapidement (18,43%) que celles des pâtes de ciments témoin à cause de l'hydratation lente de la pouzzolane.

# Chapitre II

**Essais de compactage**

**But, principe et mode  
d'emploi**

## Chapitre 2

### Essais de compactage But, principe et mode d'emploi

#### II.1. Introduction

Pour le besoin de notre étude expérimentale de traitement, nous avons effectué un prélèvement d'un échantillon du sable gypseux, dans cette étude, on va essayer d'améliorer les caractéristiques mécaniques du notre échantillon à savoir : essai de compactage (Proctor).et essai CBR, par un ajout en différents pourcentages de la limon.

#### II.2. Essais permettant de déterminer les paramètres de nature des sols et limon

Les paramètres de nature se rapportent à des caractéristiques intrinsèques, c'est-à-dire qui ne varient pas ou peu, ni dans le temps ni au cours des différentes manipulations qui subit le sol au cours de sa mise en œuvre.

Les principaux paramètres retenus pour la classification concernent :

- 1- Analyse granulométrique (NF P 94 – 056).
- 2- Essai Proctor (NF P 94 – 093).
- 3- Essai CBR \* Californian-Bearing-Ratio(NF P 94 – 078)
- 4- Les analyses chimiques.

#### II.3. Définition des essais

##### II.3.1. Analyses granulométriques (NF P 94 – 056).

###### II.3.1.1. Définition

Les granulats utilisés dans le domaine de génie civil sont des matériaux roulés ou concassés d'origine naturelle ou artificielle, de dimensions comprises entre 0 et 80 mm. Ils ne sont généralement pas constitués par des éléments de taille égale mais par ensemble de grains dont les tailles variées répartissent entre deux limites : la plus petite (d) et la plus grande (D) dimension en mm L'analyse granulométrique s'intéresse la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

### II.3.1.2. Principe de l'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 tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.
- Les masses des différents refus et tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

### II.3.1.3. Matériels utilisés

- 1- Soit une série de tamis dont le fond est constitué par un grillage de maillage carré s'étalant entre 0.080 et 80mm.
- 2- Balance.
- 3- Brosses pour nettoyer les tamis.
- 4- Appareil à vibrer.



Figure II.1 : Série de tamis pour granulométrie.



Figure II.2 : Appareil à vibrer.



Figure II.3 : Balance électrique



Figure II.4 : Brosses de nettoyage des tamis.

#### **II.3.1.4. Mode Opérateur**

Le matériau sera séché à l'étuve à une température maximale de 105 °C. Après 24H

1. Peser le matériau de masse égale à 1kg.
2. Verser le matériau sec dans la colonne de tamis.
3. Agiter mécaniquement cette colonne.
4. Reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture en adaptant un fond et un couvercle.
5. Agiter manuellement chaque tamis jusqu'à ce que le refus du tamis ne varie pas de plus de 1% en masse par minute de tamisage.
6. Verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur.
7. Déterminer ainsi la masse du refus de chaque tamis.
8. Après le tamis (10mm) en prend une masse de ce matériau.
9. Poursuivre l'opération jusqu'à déterminer la masse du refus contenu dans le fond de la colonne de tamis.

#### **II.3.2. Essai Proctor (NF P 94 – 093)**

##### **II.3.2.1. Définition**

L'essai a pour but de déterminer par un compactage donné, la teneur en eau à laquelle doit être compacté un sol pour obtenir la densité sèche maximale.

La teneur en eau ainsi déterminée est appelée teneur en eau optimum Proctor.

Le sable gypseux à étudier est généralement séché à l'air ou à l'étuve jusqu'à ce que soit pulvérisé.

L'essai consiste à compacter dans un moule standard à l'aide d'une dame standard et selon un processus bien déterminé, un échantillon du sol à étudier et à déterminer la teneur en eau du sol et sa densité sèche après compactage.

- Le moule Proctor ( $\emptyset = 101,6$  mm,  $H_{Sol} = 116,4$  mm) lorsque le matériau est suffisamment fin (pas d'éléments supérieurs à 5 mm,  $D \leq 5$  mm).

##### **II.3.2.2. Types des Essais Proctor**

###### **II.3.2.2.1. Essai Proctor normal**

- le compactage n'est que moyennement poussé. Il est généralement utilisé pour les études.

- Il s'effectue en trois couches avec « **la dame Proctor normal** », l'énergie de compactage est de :
  - o 55 coups de dame par couche dans le moule CBR.
  - o 25 coups par couche dans « **le moule Proctor normal** ».

#### **II.3.2.2.2. Essai Proctor modifié**

- le compactage est beaucoup plus intense. C'est ordinairement par l'essai Proctor modifié que l'on détermine les caractéristiques de compactage (teneur en eau optimale, densité sèche maximale) des matériaux destinés à constituer la fondation ou le corps de chaussée des routes et des pistes d'aérodromes.

Le compactage dans ce cas s'effectue en cinq couches successives avec « la dame Proctor modifié » l'énergie de compactage est de :

- 56 coups de dame par couche dans le moule C.B.R.

- L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons à des teneurs en eau croissantes. On détermine ainsi plusieurs points de la courbe représentative des densités sèches en fonction des teneurs en eau, on trace alors la courbe en interpolant entre les points expérimentaux. Cette courbe présente un maximum dont l'abscisse correspond à la teneur en eau optimale et l'ordonnée correspond à la densité sèche maximale Proctor.

\* Calcul de la teneur en eau :  $W = (\text{Poids de l'eau} / \text{Poids sec}) \times 100$ .

\* Calcul de la densité sèche :  $\text{Densité sèche} = \text{Poids sec} / \text{Volume}$ .

#### **II.3.2.3. But de l'essai**

Il existe une teneur en eau particulière ( $w$ ) optimum notée pour l'essai Proctor normal et pour l'essai Proctor modifié pour laquelle le compactage conduit à une masse volumique sèche  $\rho_d$  (ou un poids volumique) maximum. La masse volumique maximale correspond donc à un état de compacité maximum et à une capacité de résistance maximum. L'essai Proctor permet de déterminer ces conditions particulières.

#### **II.3.2.4- Principe de l'essai :**

- L'essai Proctor, complètement normalisé, consiste à placer dans un moule de dimensions déterminées, un échantillon humidifié de manière homogène à une teneur en eau donnée, peu élevée au début, et à compacter cet échantillon par

- Pour chacune des teneurs en eau considérée, on détermine le poids volumique sec du sol et on établit la courbe des variations de ce poids volumique en fonction de la teneur en eau.

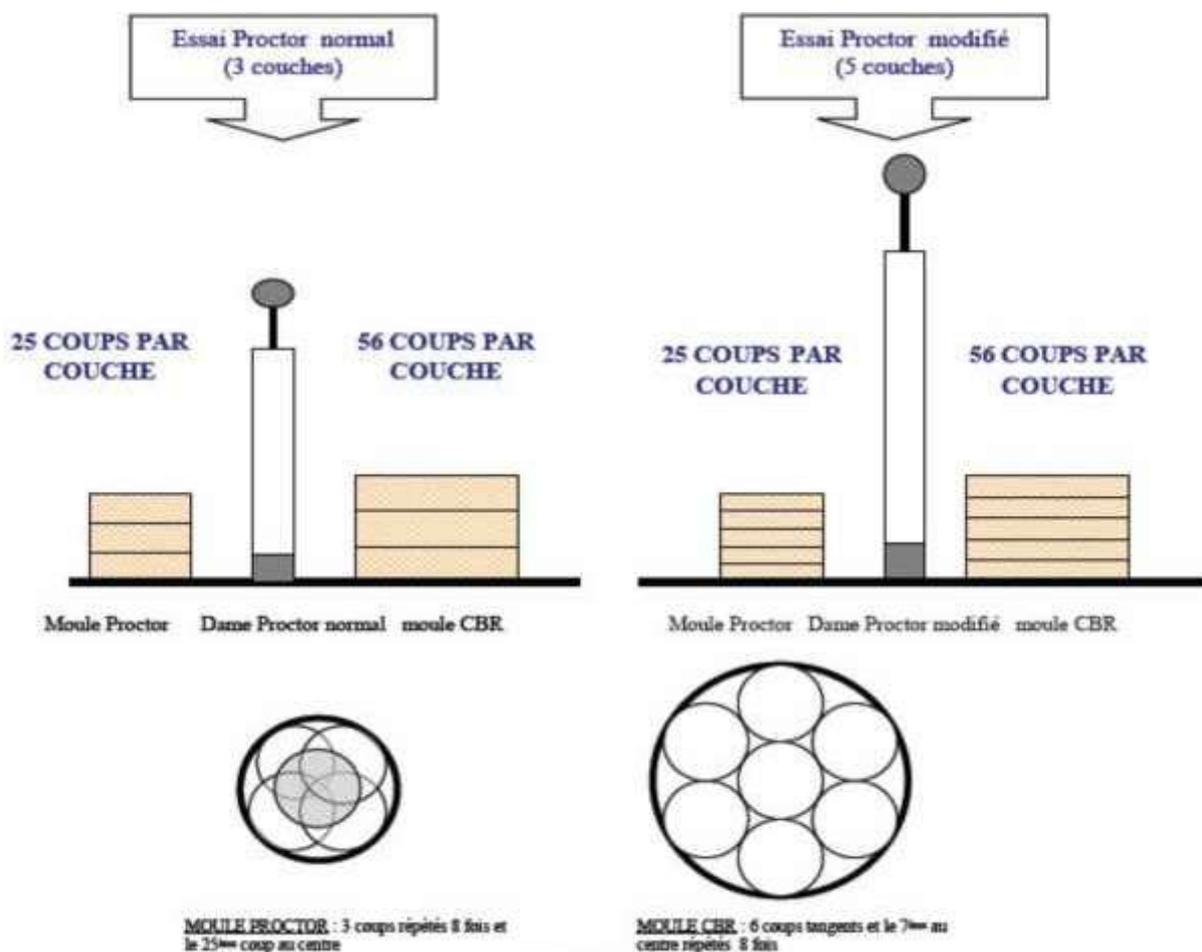


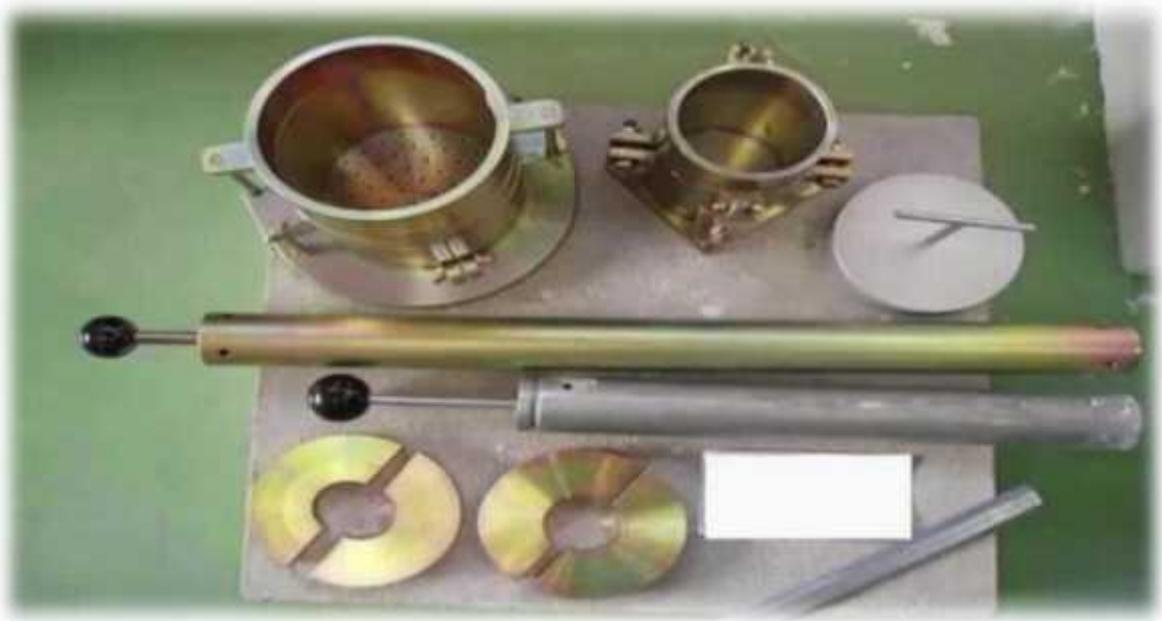
Figure II.5 : Principe de l'essai Proctor normal et modifié.

	Masse de la dame (kg)	Hauteur de chute	Nombre de coups par couche	Nombre de couches
Essai Proctor	Normal 2,490	30 ,50	25 (moule Proctor)	3
			55 (moule CBR)	3
	Modifié 4,540	45,70	25 (moule Proctor)	5
			55 (moule CBR)	5

Tableau II.1 : Conditions de réalisation de l'essai Proctor

### II.3.2.5- Matériel nécessaire

- \* Moule Proctor avec embase et hausse.
- \* Dame Proctor modifié.
- \* Règle à araser.



**Figure II.6 : Matériels pour essai Proctor**

### II.3.2.6. MODE OPÉRATOIRE

- 1- Faire choix du matériel (moule, dame).
- 2- Humidifier le sol à la teneur en eau voulue, bien homogénéiser.
- 3- Monter la base du moule sur socle et peser cet ensemble.
- 4- Monter la hausse sur le moule.
- 5- Effectuer l'essai Proctor suivant la norme (nombre de couches, nombre de coups de dame par couche et disposition de ces coups) retirer la hausse et araser.



**Figure II.7 : Déroulement de l'essai Proctor**

**6-** Peser le moule, le socle et le contenu, en déduire la masse de sol contenu dans le moule.



**Figure II.8 : Tuf dans le moule Proctor**

7- Démontez le socle, prélevez une petite quantité de sol de part et d'autre du moule et effectuez les mesures de teneur en eau (il faut que la quantité prélevée en haut du moule soit sensiblement égale à celle prélevée en bas du moule). On admet que la teneur en eau d'humidification est la teneur en eau réelle.

\* La masse volumique du matériau compacté varie en fonction de sa teneur en eau, l'allure du graphe  $\gamma_d = f(W\%)$ . Après le compactage dans le moule Proctor on va mesurer la masse de l'échantillon.  $\gamma_h = M_h / (\text{volume de moule})$  ;  $\gamma_d = \gamma_h / (1-w)$ .

### II.3.3 Essai CBR \* Californian-Bearing-Ratio\* (NF P 94 – 078)

#### II.3.3.1-Définition :

Selon la norme NF P 94 078 : nous indique les coefficients suivants pour l'essai CBR (CalifornianBearingRatio) ainsi que le pourcentage suivant pour pouvoir déterminé la nature de sol ainsi sa portance :

Classe de portance	Valeur de CBR %
S0 Portance très faible	CBR < 3
S1 portance faible	3 < CBR < 6
S2 portance moyenne	6 < CBR < 12
S3 portance élevée	12 < CBR < 25
S4 portance très élevé	CBR > 25

**Tableau II.2 : Pourcentage de CBR et sa classe de portance**

#### II.3.3.2. But de d'essai

- L'essai permet de déterminer la capacité de portance d'un sol compacté, en estimant sa résistance au poinçonnement, en fonction de son état, sa densité et son humidité, ainsi que les charges appliquées. Il mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol sous conditions d'humidité et de densité contrôlées et du niveau de compactage variable, en permettant d'obtenir un pourcentage du rapport de portance. Cet essai CBR est utilisé pour le dimensionnement des structures des chaussées et l'orientation des travaux de terrassements.

#### II.3.3.3 - Principe de d'essai

- Le principe général de l'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante (1,27 mm/min) dans une éprouvette de matériau.

- Durant l'essai, la courbe effort-déformation est établie sur l'anneau dynamométrique la force nécessaire aux enfoncements de 1,25 mm ; 2 mm ; 2,5 mm ; 5 mm ; 7,5 mm et 10 mm et 12,5mm.

- On définit les valeurs caractéristiques suivantes :

- L'indice recherché est par convention la plus grande des deux valeurs :  $\max(I_1; I_2)$ .



**Figure II.9 : Presse C.B.R.**

#### **II.3.3.4. Types de d'essai**

- On distingue 3 types d'essai en fonction des buts fixés :

##### **II.3.3.4.1. L'Indice Portant Immédiat**

Mesure la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à sa teneur en eau naturelle ou dans la plage de teneur en eau dans lequel il est susceptible d'évoluer. Il caractérise l'aptitude du sol à permettre circulation des engins en phase chantier. Le matériau est compacté à l'énergie Proctor Normal dans le cas d'un sol et à l'énergie Proctor Modifiée dans le cas d'un matériau d'assise de chaussée.

##### **II.3.3.4.2. L'essai C.B.R immédiat**

Mesure la résistance au poinçonnement d'un sol compacté généralement à l'énergie Proctor Modifiée à sa teneur en eau à l'optimum Proctor ( $W_{OPN}$ ).

En sus, dans la mesure où le matériau est support ou constituant d'une structure de chaussée, l'éprouvette de sol testé sera surchargée en tête par des disques annulaires représentant l'équivalent de la contrainte imposée par la chaussée sur la plate-forme.

##### **II.3.3.4.3. L'essai C.B.R après immersion**

Mesure de la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à différentes teneurs en eau puis immergé pendant plusieurs jours (4 en général). Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol compacté.

De manière générale, la valeur de l'Indice diminue avec l'augmentation de la valeur de teneur en eau.

	Encroûtement	Calcaire	Gypso-calcaire	Gypseux
Essai CBR	Immédiat	50 à 100	50 à 100	Jusqu'à 112 avec une moyenne de 40
	Imbibé	30 à 100	0 à 40	Peut chuter jusqu'à 8

**Tableau II.3 : Indice CBR immédiat et imbibé pour différents types d'encroûtements**

### II.3.3.5. Méthode CBR

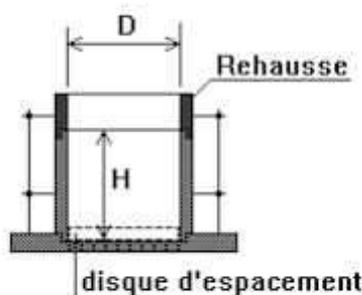
C'est une méthode semi empirique, elle se base sur un essai de poinçonnement d'un échantillon du sol support.

Cette méthode nous permet de déterminer l'épaisseur « e » des chaussées avec des abaques en fonction des pneus et du nombre de répétitions des charges, sachant qu'il faut tenir compte de l'influence de trafic.

### II.3.3.6. Préparation de moule

- Avant introduction du matériau dans le moule :

- 1- Solidariser la plaque de base et le moule CBR.
- 2- Placer une feuille de papier filtre au fond du moule
- 3- Peser à vide l'ensemble « moule+ plaque de base».
- 4- Déterminer le volume qui sera occupé par l'éprouvette de sol une fois compactée.
- 5- Fixer la rehausse.



**Figure II.10 : Moule CBR**

## Un essai Proctor sera effectué simultanément avec l'essai CBR

### II.3.4. Les analyses chimiques

#### II.3.4.1. Définition

Les tufs et timchemt, les autres matières premières et les mélanges de production sont soumis à de nombreuses analyses chimiques. Il est souvent utile d'analyser séparément le mélange complet de production (avec le dégraissant) et la fraction argileuse, inférieure à 2 $\mu$ m.

- Insolubles (NF P 15 – 461).
- Sulfates (BS 1377).
- Carbonates (NF P 15 – 461).

#### II.3.4.2. But de d'essai :

Détermination des taux d'insoluble (le quartz principalement), le taux de gypse, le taux de carbonate et la teneur en sels. Détermination du taux de carbonates et de sulfates sont réalisés sur la fraction granulométrie inférieure à 1mm.

#### Principe de d'essai :

**a)** Détermination du taux de carbonates L'essai de détermination du taux de carbonate est effectué suivant la norme NF P 15-461 Mai 1964. On applique sur l'échantillon de sol un excès d'acide chlorhydrique et l'excès est dosé en retour par une solution d'hydroxyde de sodium, d'où on détermine exactement le taux de carbonate existant dans le sol.

**b)** Détermination du taux de sulfates L'essai est réalisé à la base de la norme BS 1377 Dec. 1990, 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.

On calcul alors le taux à partir de la masse du matériau utilisé dans l'analyse et de la masse de sulfates de baryum précipité.

**c)** Détermination du taux d'insolubles Les insoluble sont les silicates (en particulier le quartz : principal composant du sable) corps insolubles dans l'acide chlorhydrique.

Les principaux résultats de l'analyse chimique réalisée au laboratoire de travaux public de L.T.P.Sud Ouargla.

# Chapitre III

A large red oval with a thin white border, centered on the page. Inside the oval, the text 'Caractérisation des matériaux utilisés' is written in white, bold, serif font.

## **Caractérisation des matériaux utilisés**

## **Chapitre 3**

### **Caractérisation des matériaux utilisés**

Les essais sont réalisés au laboratoire de travaux public de L.T.P.Sud Ouargla.

Pour notre étude on a utilisé tufs d'Ouargla le gisement de Sokra.



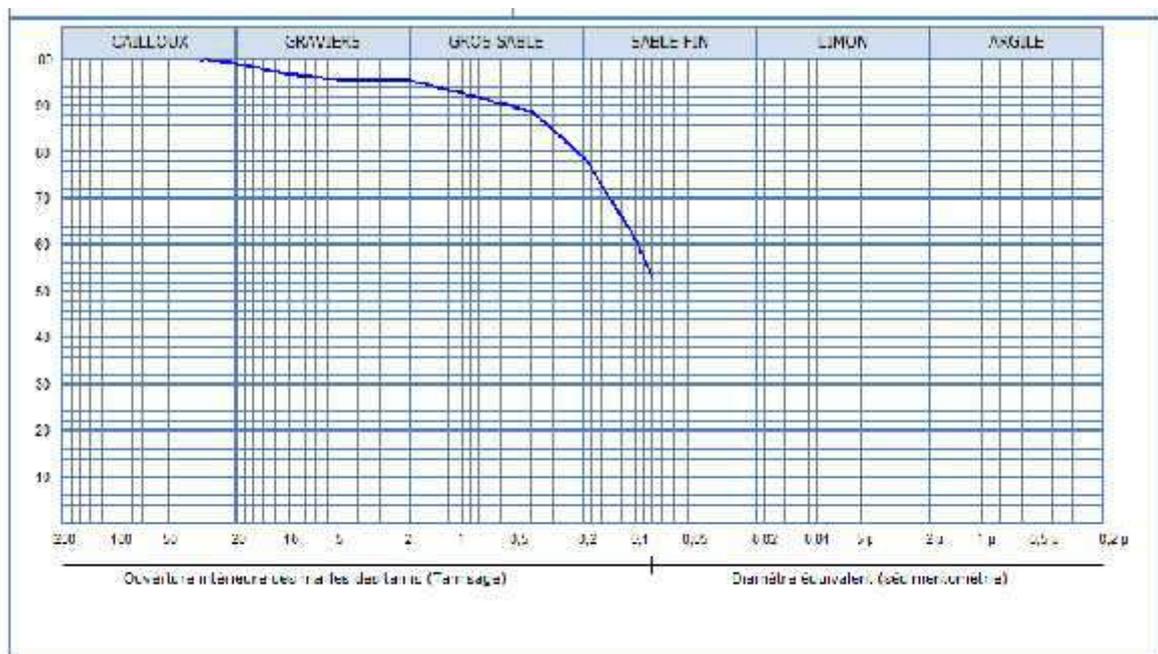
**Figure III.1 : Tufs de Sokra**

Les essais effectués sur cette argile afin de déterminer ces caractéristiques sont :

- 1- Analyse granulométrique (NF P 94 – 056).
- 2- Essai Proctor (NF P 94 – 093).
- 3- Essai CBR \* Californian-Bearing-Ratio\* (NF P 94 – 078)
- 4- Les analyses chimiques.

### III.1. Résultats de tufs

#### III.1.1. Essai d'Analyse granulométrique (NF P 94 – 056)

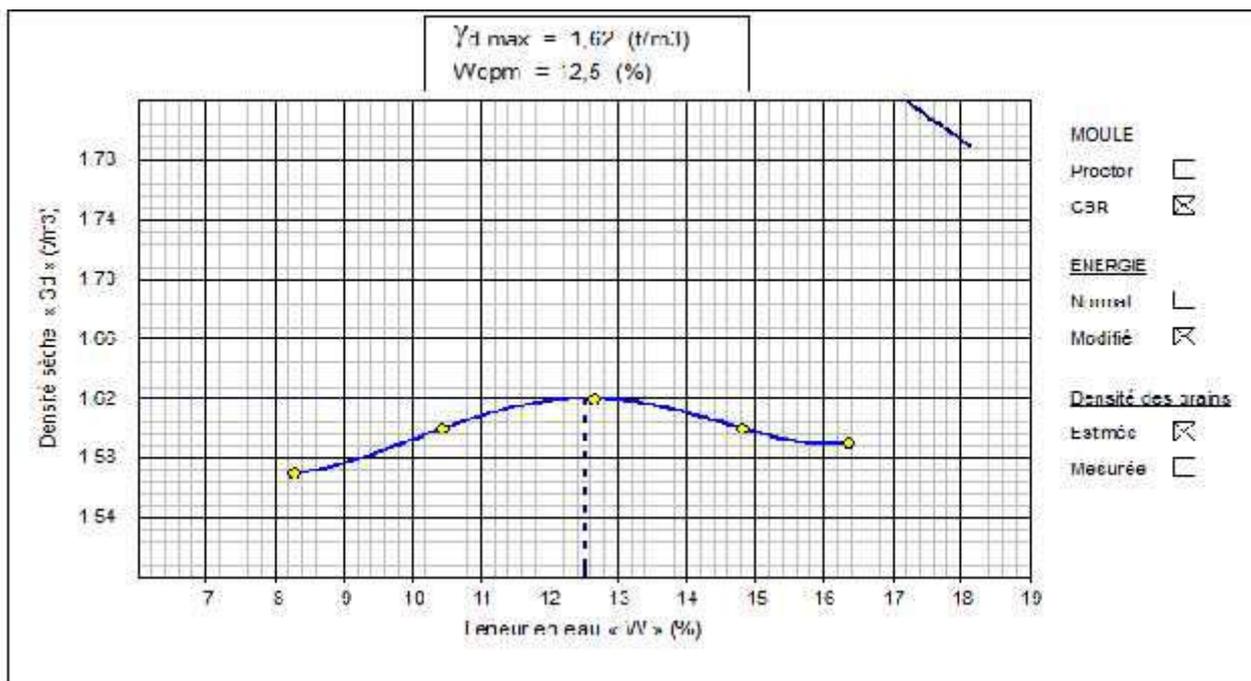


**Figure III.2 : Analyse granulométrique du tuf**

Les résultats de l'analyse granulométrique par sédimentation montrent que notre sol est constitué environ de :

1. 20 CAILLOUX
2. 30 GRAVIERS
3. 70 GROS SABLE
4. 10 SABLE FIN

### III.1.2. Essais Proctor (NF P 94 – 093)



**Figure III.3 : Courbe Proctor**

W %	8.3	10.4	12.7	14.8	16.4
Densité (T/m <sup>3</sup> )	1.59	1.60	1.62	1.60	1.59

**Tableau III.1 : Résultats des Mesures Proctor**

### III.1.3.Essai CBR \* Californian-Bearing-Ratio\* (NF P 94 – 078)

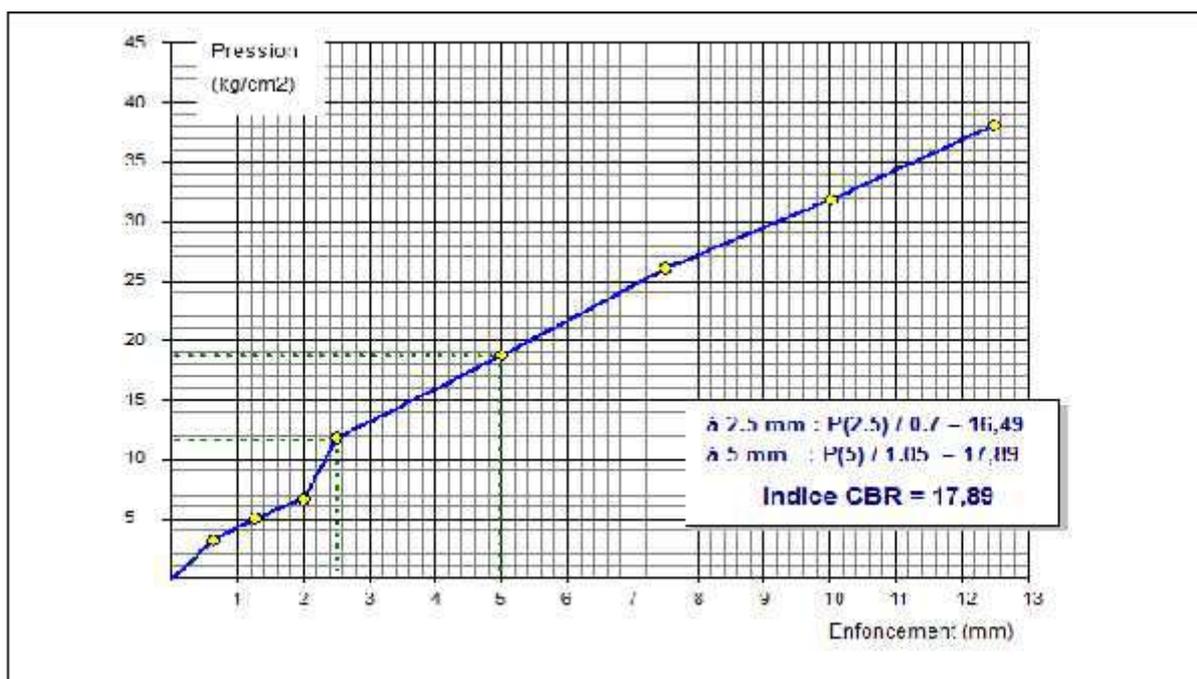


Figure III.4 : Courbe CBR Immédiat

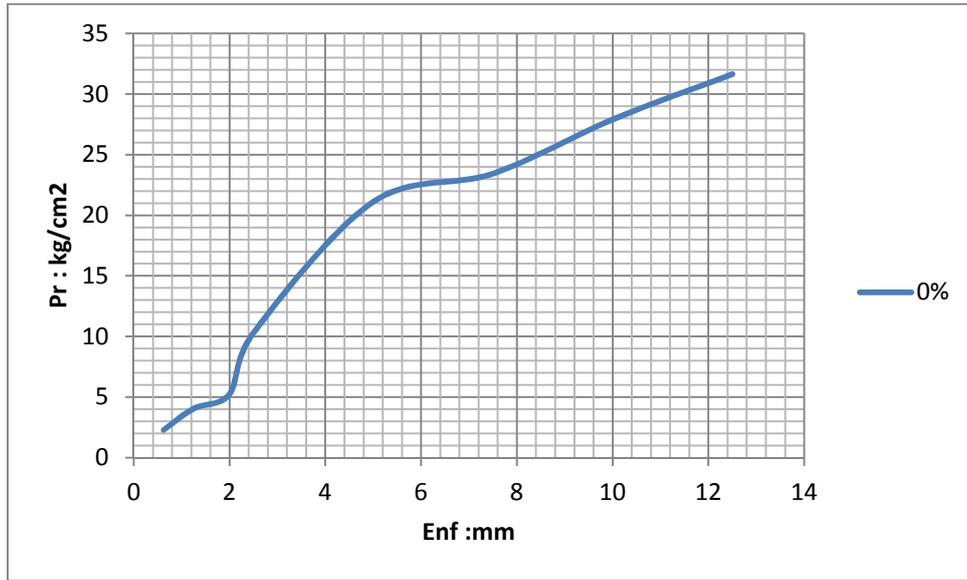
#### RESULTATS DE MESURES

Temps	30 s	1 mn	1 mn 40s	2 mn	4 mn	6 mn	8 mn	10 mn
Enf (mm)	0,63	1,25	2,00	2,50	5,00	7,50	10,00	12,50
Lecture	0,62	0,96	1,28	2,26	3,60	5,01	6,12	7,33
Pr(kg/cm <sup>2</sup> )	3,22	4,99	6,65	11,75	18,71	26,04	31,81	38,10

Coefficient de l'anneau = 102

Surface du piston = 19,625 cm<sup>2</sup>

Tableau III.2: Résultats des Mesures CBR Immédiat



**Figure III.5 : Courbe CBR Imbibé**

P2.5mm = 14.7 kgf/cm<sup>2</sup>

P5 mm = 19.15 kgf/cm<sup>2</sup>

Indic CBR = 19.15 kgf/cm<sup>2</sup>

enfoncement	0.625	1.25	2	2.5	5	7.5	10	12.5
Pression kg/cm <sup>2</sup>	2.28	4.05	5.24	10.29	20.11	23.44	27.91	31.65

**Tableau III.3 : Résultats de Mesures CBR Immédiat**

### III.1.4. Les analyses chimiques

ÉCHANTILLON		.....	
INSOLUBLES NFP 15-461	Creuset+précipité	34,838	
	Creuset vide	34,938	
	Poids du résidu	0,1	
	% Insolubles	10	
SULFATES BS 1377	Creuset+précipité	35,153	
	Creuset vide	34,7015	
	Poids du résidu	0,452	
	% SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	15,50	
	% SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18,62	
CARBONATES NFP 15-461	V NaOH	7,5	
	% CaCO <sub>3</sub>	25	
CHLORURES Méthode de Mohr	PH <sub>i</sub> (initial)	7,81	
	PH <sub>t</sub> (titrage)		
	V AgNO <sub>3</sub>	Test 1	Test 2
	Vm (moyen)	135,85	
	% Cl		
	% NaCl		

Masse de l'échantillon	m	g	30
Volume d'eau ajouté pour extraction des chlorures		ml	250
Période d'agitation (intermittente)	t	h	24
Partie filtrée pour analyse		ml	25
PH Initial		PH	
PH Titrage		PH	
Volume de titrage (Blanc)	V <sub>0</sub>	ml	0,2
Volume de titrage 1 <sup>er</sup> test	V <sub>1</sub>	ml	
Volume de titrage 2 <sup>ème</sup> test	V <sub>2</sub>	ml	
Volume moyen de titrage	V <sub>m</sub> = (V <sub>1</sub> + V <sub>2</sub> ) / 2	ml	35,85
Volume de titrage corrigé	V <sub>c</sub> = V <sub>m</sub> - V <sub>0</sub>	ml	35,65
Pourcentage des chlorures exprimé en Cl à l'échelle de 1000 = 100			0,769
% Cl = $\frac{0,13 \times 35,65}{1000} \times 100$			
% NaCl = 1,24 x Cl			1,262

### Analyses chimiques de tufs

#### III.2. Résultats de Timchemt

C'est un matériau de construction bien connu dans la construction traditionnelle largement utilisé dans le désert. Il est extrait par transfert thermique d'un type de pierre sédimentaire qui est composée de sulfate. Les essais effectués sur cette argile afin de déterminer ces caractéristiques sont :

- Analyses granulométriques par sédimentation.
- Teneurs en l'eau.
- Analyses chimiques.



**Figure III.6 : Echantillon de Timchemt**

### **III.2.1. Essais Analyse granulométrique (NF P 94 - 056)**

L'échantillon représentatif doit avoir une masse comprise entre 200D et 600D, ou D (mm) est la plus grande dimension des granulats dans notre cas nous avons pris 1000 g. Les résultats de l'analyse granulométrique par sédimentation montre que notre sol est constitué environ de :

- 30% de sable fin
- 24 % de gros sable.
- 23% de limon.
- 21% graviers.
- 2% de cailloux.

### **III.2.2. Teneur de l'eau de timchemt**

**Ph** : poids humide de l'eau.

**Ps** : poids sèche de l'eau

$$W = \frac{(Ph - Ps)}{Ps} * 100$$

<b>Essai teneur de l'eau</b>	<b>Résultat (%)</b>
<b>W</b>	<b>0.243</b>

**Tableau III.4 : Teneur de l'eau de Timchemt**

### III.2.3. Analyses chimiques de timchemt

Composant		Pourcentages (%)
Sulfates BS 1377Insolubles	9.23	
	SO3	15.01
	SO4	19.23
Ca SO <sub>4</sub> /2H <sub>2</sub> O	85.99	
Chlorures méthode de MOHRCl-	0.315	
NaCl	0.517	

**Tableau :III.5 : Analyses chimiques de Timchemt**

Le tableau montre que les éléments dans le sol est le environ de 55% est élevés, et en Chlorures sont très faibles.

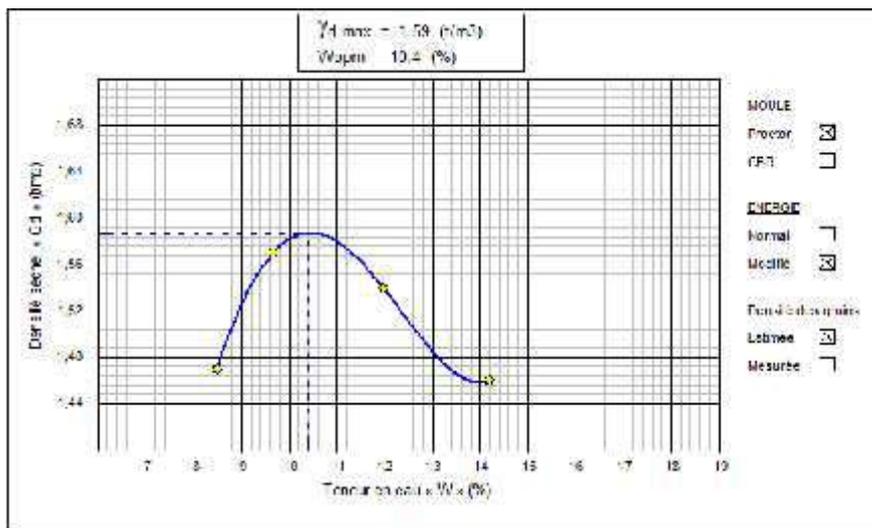
# Chapitre IV

A large, solid red oval with a thin white border, centered on the page. Inside the oval, the text "Résultats et discussion" is written in white, bold, serif font.

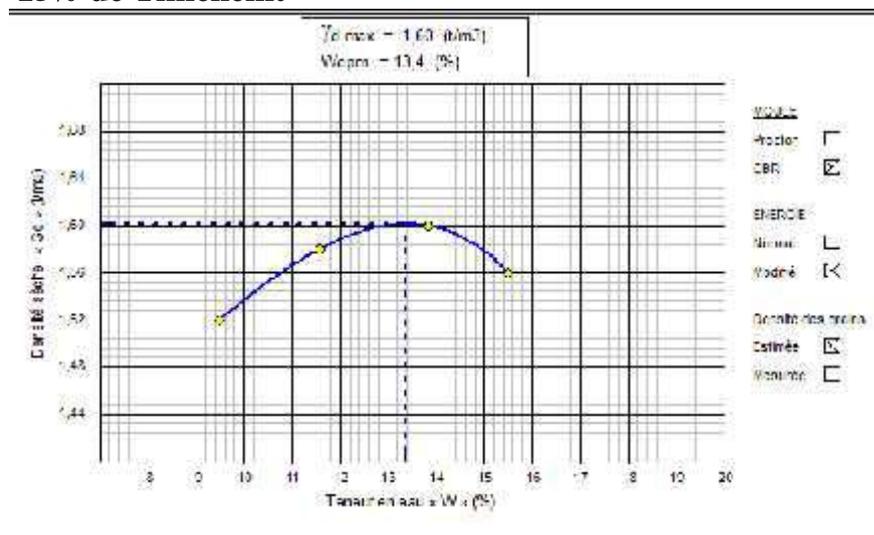
## **Résultats et discussion**

### IV.1.Résultats sur Essai Proctor (NF P 94 – 093)

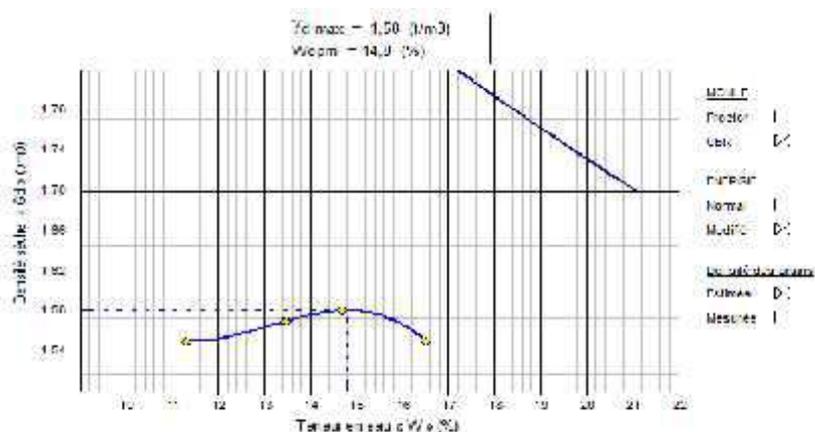
- Tuf + 10% de Timchemt



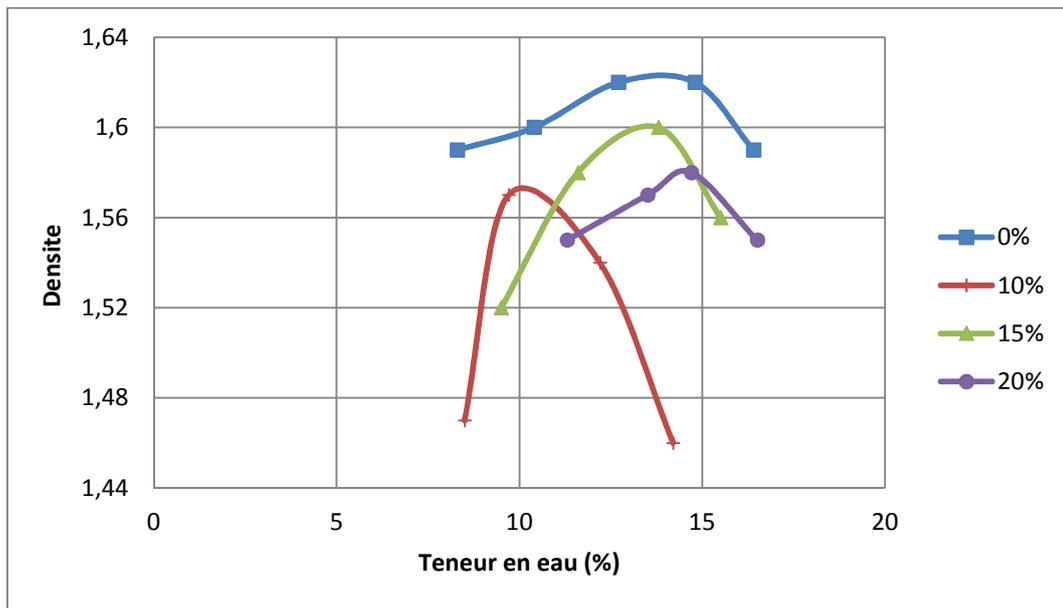
- Tuf + 15% de Timchemt



- Tuf + 20% de Timchemt



#### IV.1.2. Synthèse sur les essais Proctor

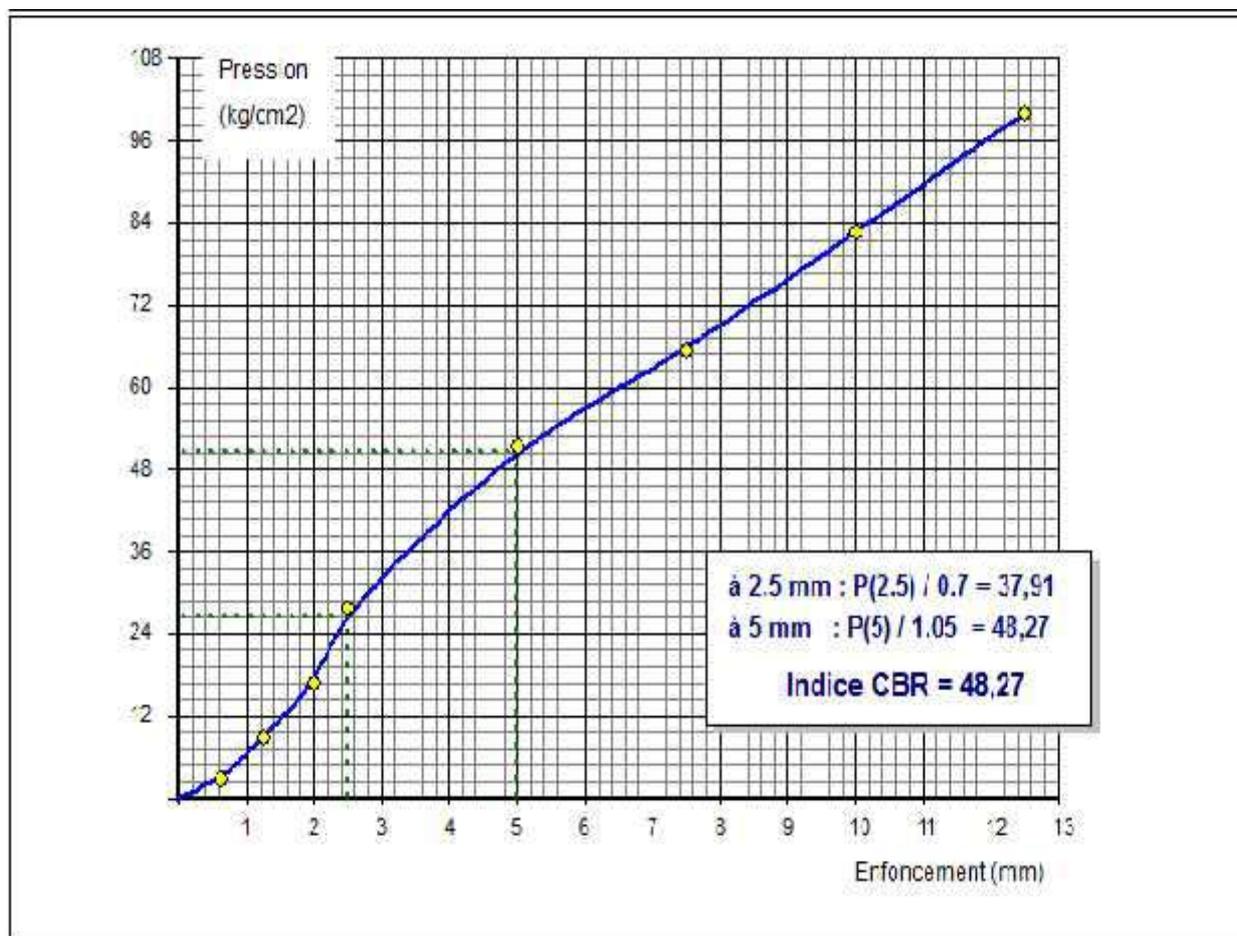


Nous remarquons sur les courbes que tous les pourcentages ajoutés de Timchemt sont inférieurs au pourcentage zéro, et 15% est le pourcentage le plus élevé des pourcentages ajoutés.

## IV.2.Résultats sur Essai CBR \* Californian Bearing Ratio

### IV.2.1.Résultats pour CBR Immédiat

#### - IV.22.Tuf + 10% de Timchemt



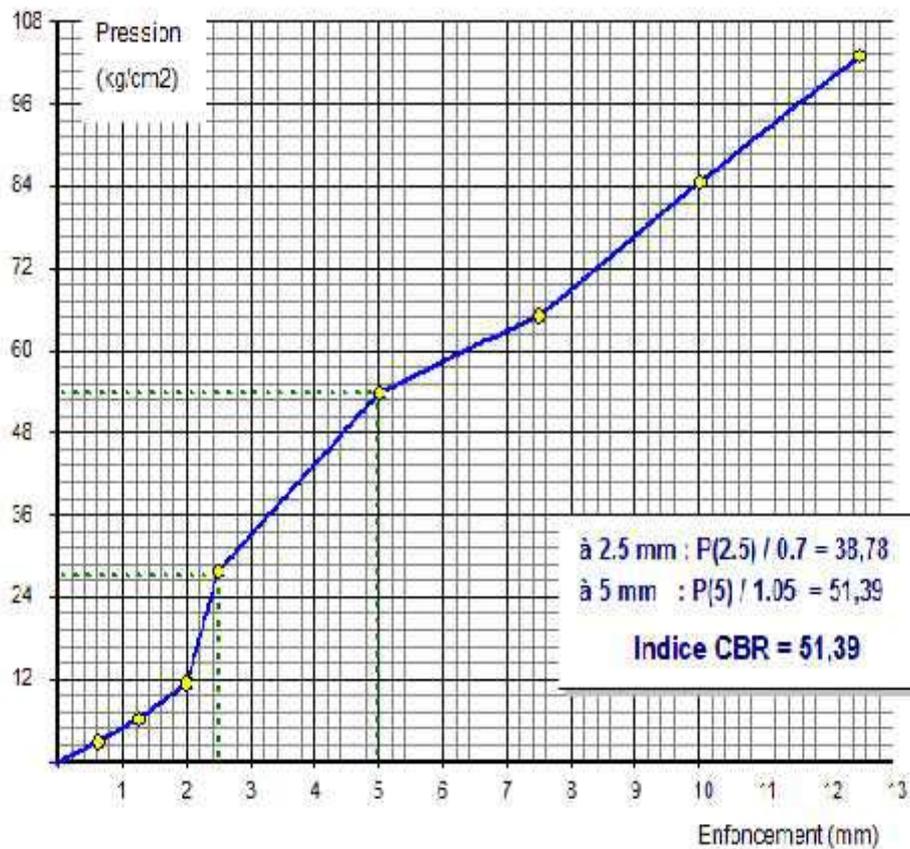
### RESULTATS DE MESURES

Temps	30 s	1 mn	1 mn 40s	2 mn.	4 mn	6 mn	8 mn	10 mn
Enf (mm)	0,63	1,25	2,00	2,50	5,00	7,50	10,00	12,50
Lecture	0,54	1,70	3,25	5,35	9,89	12,60	15,92	19,24
Pr(kg/cm <sup>2</sup> )	2,81	8,84	16,89	27,81	51,40	65,49	82,74	100,00

Coefficient de l'anneau = 102

Surface du piston = 19,625 cm<sup>2</sup>

- IV.2.3.Tuf + 15% de Timchemt



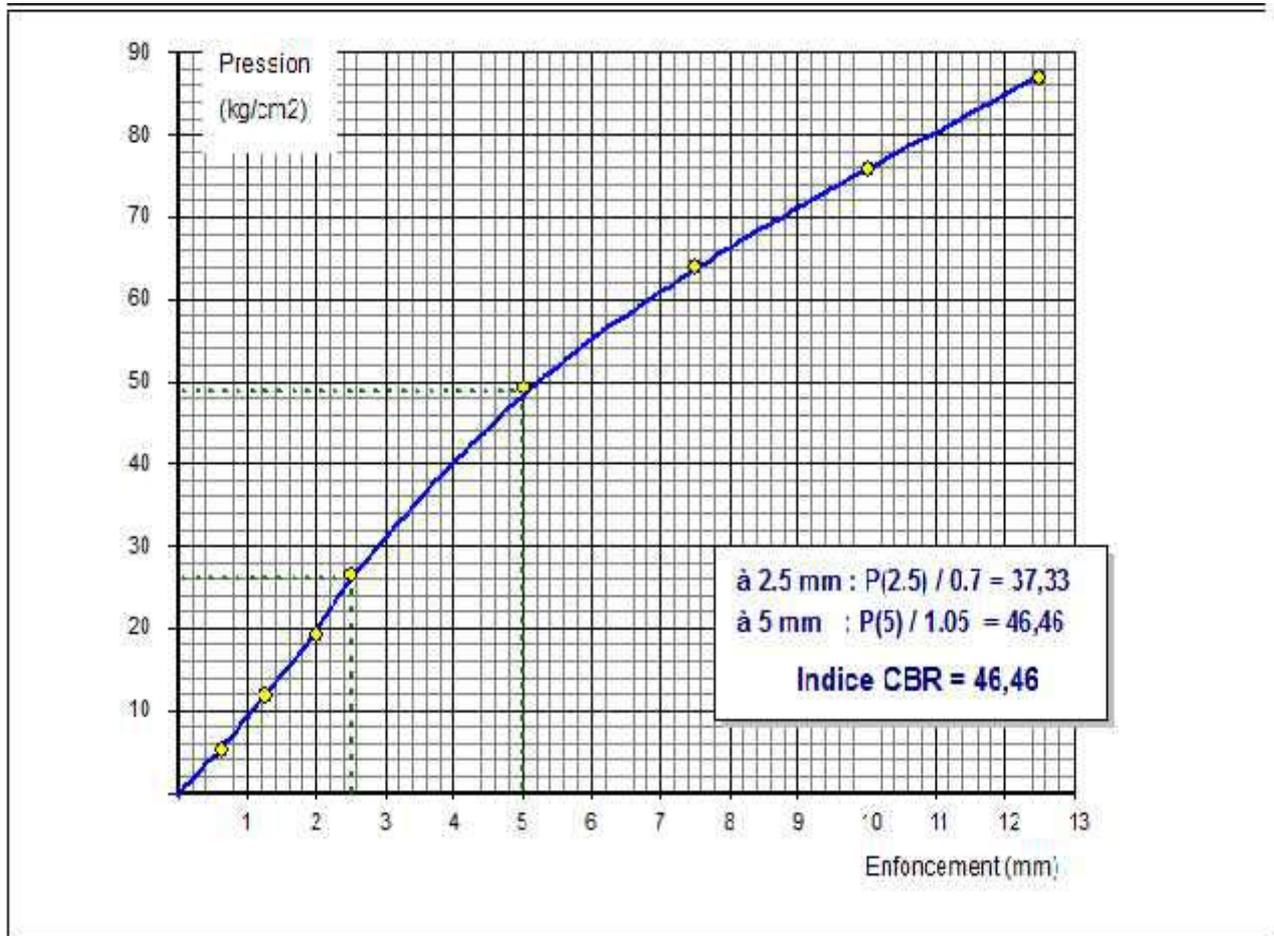
**RESULTATS DE MESURES**

Temps	30 s	1 mn	1 mn 40s	2 mn	4 mn	6 mn	8 mn.	10 mn.
Enf (mm)	0,63	1,25	2,00	2,50	5,00	7,50	10,00	12,50
Lecture	0,55	1,19	2,19	5,35	10,36	12,54	16,28	19,83
Pr(kg/cm2)	2,91	6,19	11,38	27,81	53,85	65,18	84,61	103,07

Coefficient de l'anneau = 102

Surface du piston = 19,625 cm<sup>2</sup>

- IV.2.4.Tuf + 20% de Timchemt



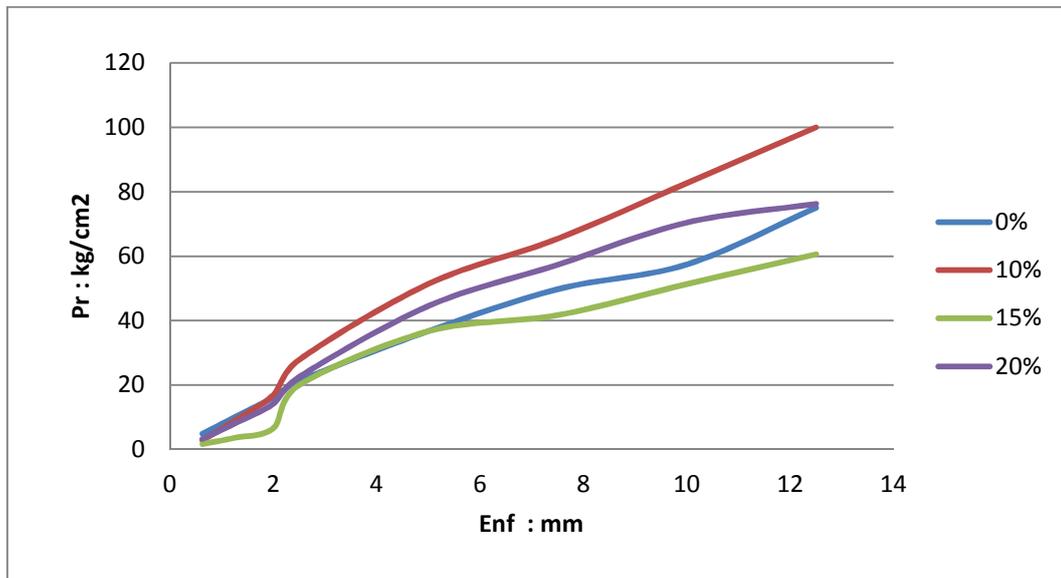
**RESULTATS DE MESURES**

Temps	30 s	1 mn	1 mn 40s	2 mn	4 mn	6 mn	8 mn	10 mn
Enf (mm)	0,63	1,25	2,00	2,50	5,00	7,50	10,00	12,50
Lecture	1,02	2,30	3,72	5,12	9,49	12,30	14,63	15,75
Pr(kg/cm <sup>2</sup> )	5,30	11,95	19,33	26,61	49,32	63,93	76,04	87,06

Coefficient de l'anneau = 102

Surface du piston = 19,625 cm<sup>2</sup>

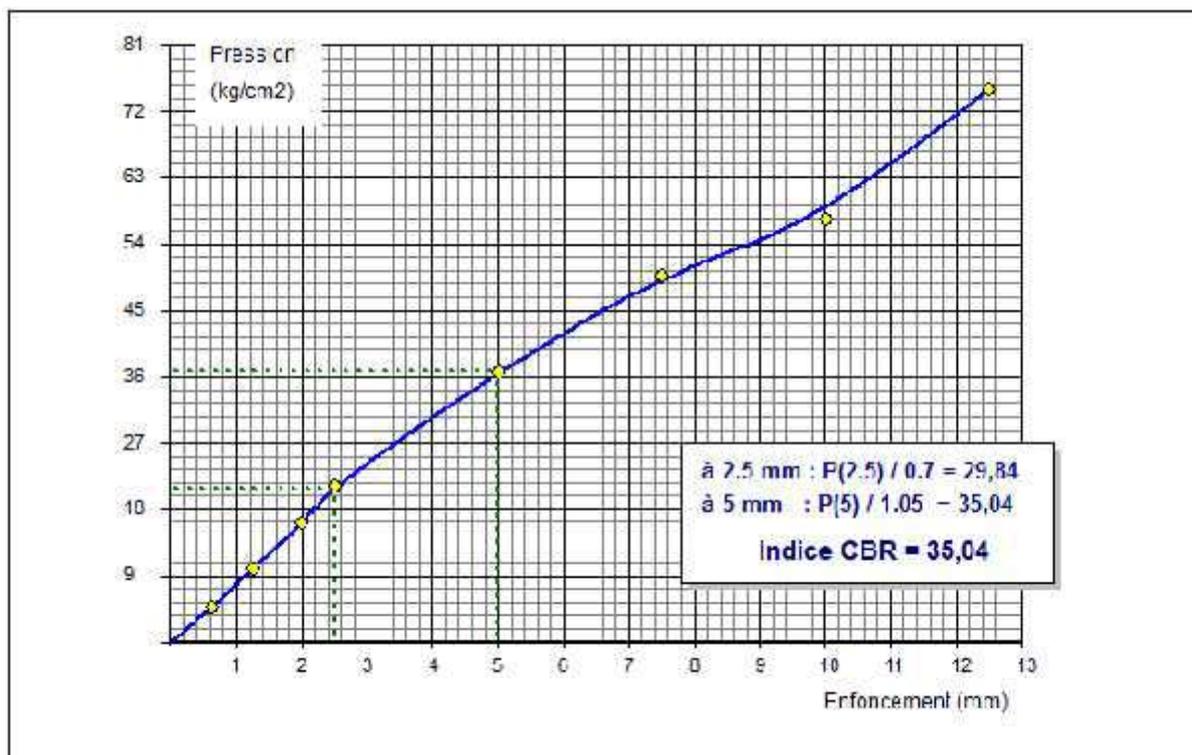
#### IV.2.5.Synthèse de l'essai CBR Immédiat



On note à travers les quatre courbes, on remarque qu'en ajoutant 10 de Timchemt, on obtient le pourcentage le plus élevé, après quoi vient le pourcentage de 20, puis le pourcentage zéro, puis vient le pourcentage de 15, le pourcentage le plus faible durant le processus

### IV.3. Résultats pour CBR Imbibé

#### IV.3.1. Tuf + 10% de Timchent



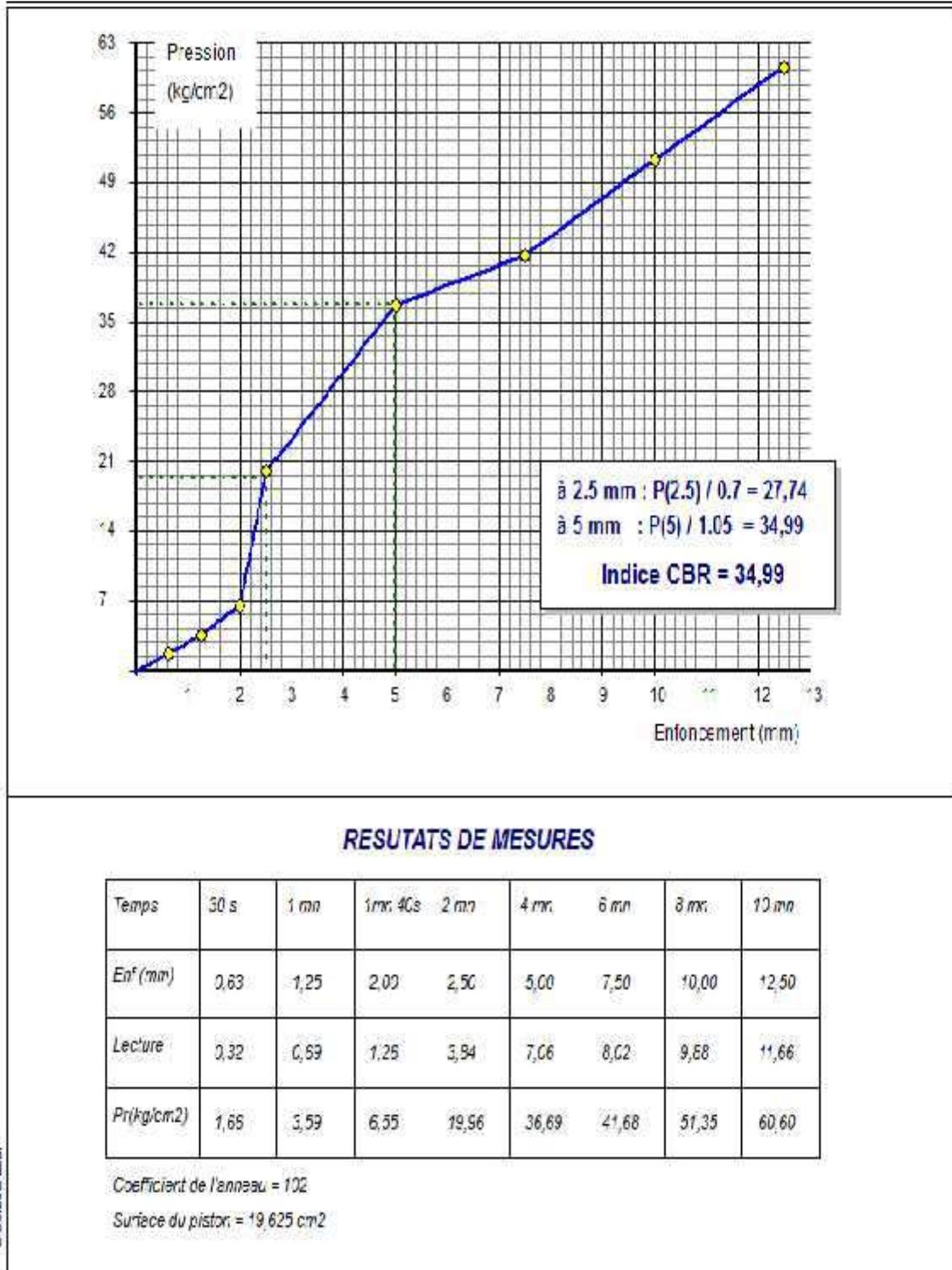
#### RESULTATS DE MESURES

Temps	30 s	1 mn	1mn 40s	2 mn	4 mn	6 mn	8 mn	10 mn
Enf (mm)	0,63	1,25	2,00	2,50	5,00	7,50	10,50	12,50
Lecture	0,53	1,52	3,10	4,09	7,07	9,57	11,05	14,11
Pr(kg/cm <sup>2</sup> )	4,63	9,58	16,11	21,25	36,75	49,74	51,43	75,00

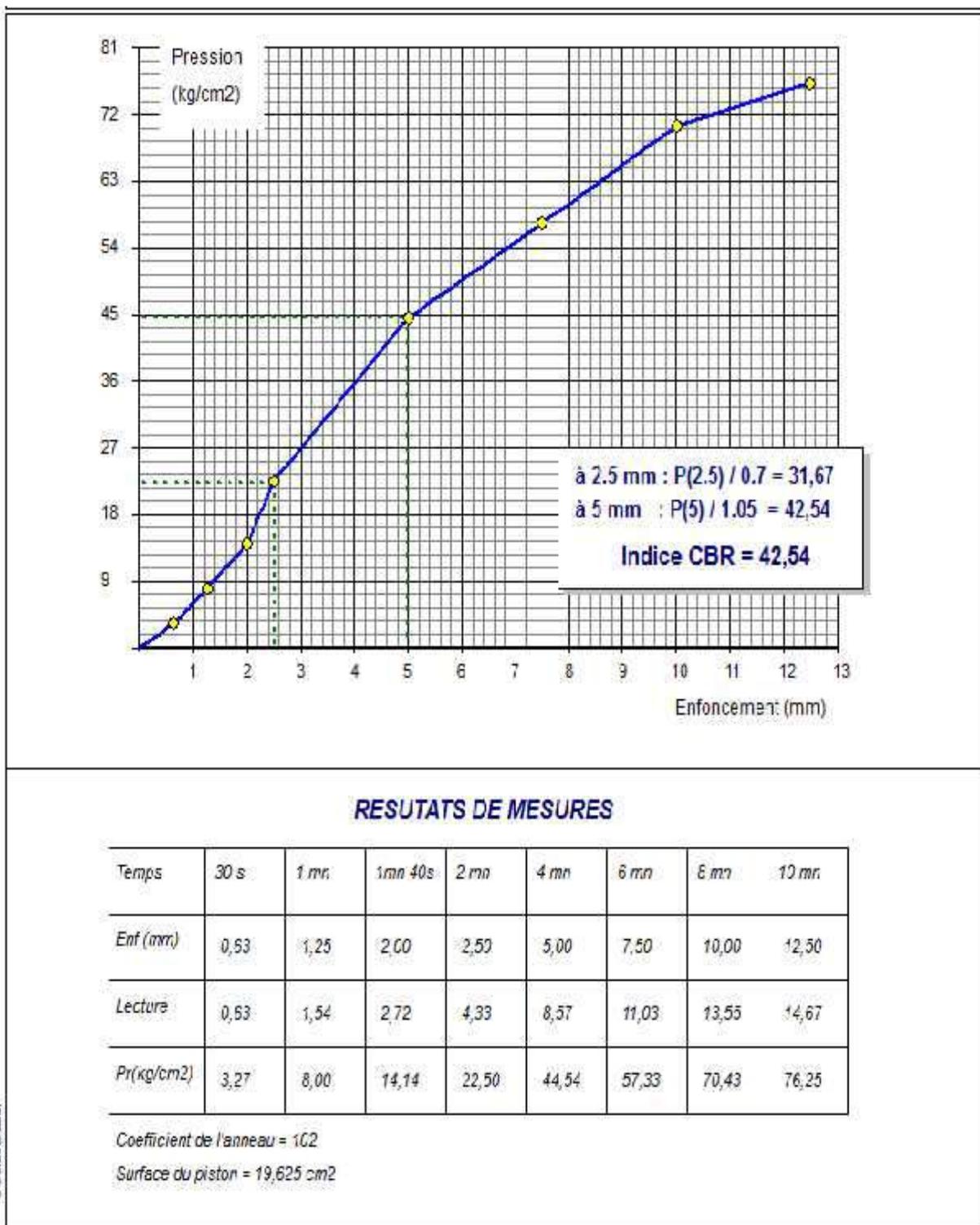
Coefficient de l'anneau = 1,07

Surface du piston = 10,625 cm<sup>2</sup>

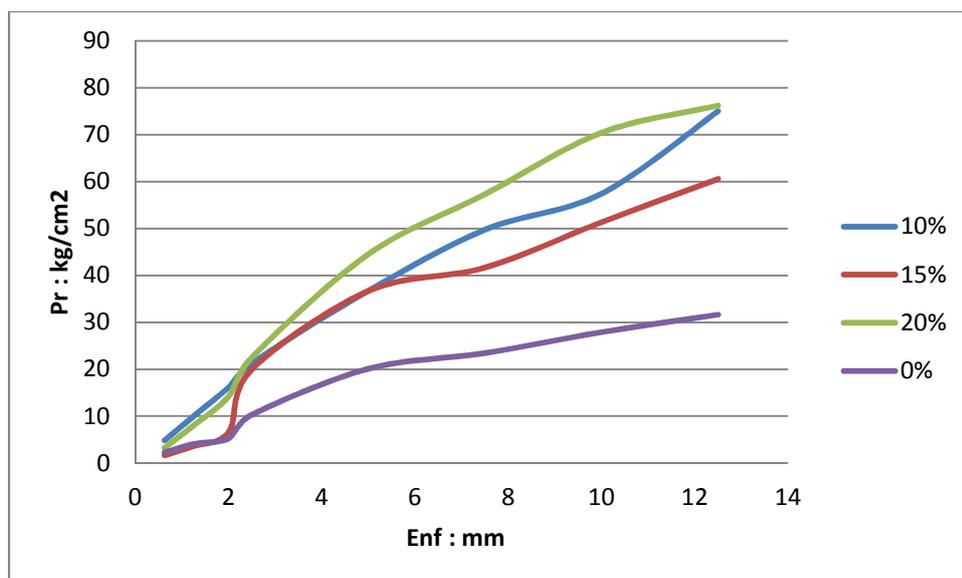
### IV.3.2 - Tuf + 15% de Timchent



### IV.3.3 - Tuf + 20% de Timchent



### III.3.4. Synthèse de l'essai CBR Imbibe



A travers les quatre courbes, nous remarquons qu'en ajoutant 20 % de Timchemt, nous obtenons la courbe la plus élevée et la valeur la plus élevée, après quoi vient 10 %, puis 15 %, après eux le pourcentage zéro à travers un essai CBR Imbibé.

## Conclusion générale

L'objectif principal de cette étude est d'apporter notre contribution à la valorisation des matériaux utilisation de façon rationnel .le matériau valorisé est le Timchemt qui se trouve en forme des pierres de gypse au sud algérien. A l'heure actuelle il existe très peu de travail de recherche dans ce domaine.

A partir de cette recherche on peut conclure :

On note qu'en ajoutant la Timchemt, le tuf s'améliore et le rapport de pression augmente dans les trois rapports 10%, 15%, 20%

- 10% = 48.27
- 15% =51.39
- 20% = 46.46

Et à travers des expériences, on constate également que le rapport de densité diminue lors de l'ajout d'améthyste car l'améthyste consomme de l'eau Le pourcentage le plus élevé était lors de l'ajout 15% de Timchemt.

Enfin, et à travers des expériences, nous conseillons aux entrepreneurs lors de l'utilisation du tuf situé dans le quartier de la Sokra à Ouargla d'ajouter 15 pour cent d'améthyste, car ce pourcentage a donné la densité la plus élevée et la valeur de pression acceptable.

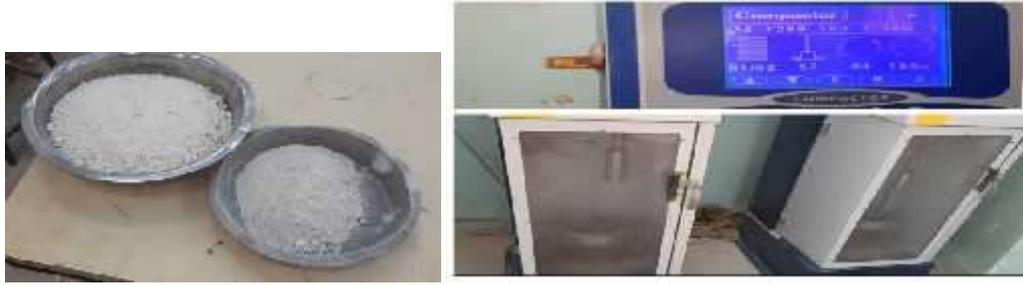
---

## Références Bibliographiques

---

- [1] KHELLOU Abderrezak, HAFSSI Abdelatif, KRIKER Abdelouahed Modélisation statistique des propriétés physico-mécaniques des matériaux sablo-gypso-calcaires de la région d'Ouargla. Vol. 5, N° 1, Mai 2013.
- [2] AFNOR NF P94-093. Détermination des références de compactage d'un matériau - Essai Proctor modifié. Norme Française. Mai 1997.
- [3] AFNOR NF P94-078. California Bearing Ratio test, essai CBR immédiat-essai CBR imbibé. Norme Française. Mai 1997.
- [4] AFNOR NF P 94-056. (1996). Sols : reconnaissance et essais—Analyse granulométrique - Méthode par tamisage à sec après lavage.
- [5] HAFSI Abdellatif. Les Tufs Gypseux et Calcaires en Zones Arides Essais et Critères de Sélection. 29 & 30 Novembre 2010.

# ANNEXES



Tufs et Timchemt de ouargla Essai proctor compactage



Essai Proctor ajoute les l'eau Essai Proctor après compactage



Poids de tuf humide par moule CBR

Essai CBR Immédiat



Résultats de essai CBR Immédiat Essai CBR Imbibé





