

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Civil et Hydraulique

Mémoire de fin d'études

MASTER : PROFESSIONNEL

Domaine: Sciences et technologies

Filière: Génie Civil

Spécialité : Etude et Contrôle des Bâtiments et Routes (E.C.B.R)

Présenté Par :

- DEHINI Hadjer Amel
- GOUI Intissar

Thème :

*Étude des performances mécaniques d'un mélange, tuf-sable de dunes-déchets de briques broyés ,traité à la chaux*

Soutenu publiquement le : 15/06/2023

Devant le jury composé de :

|                       |                         |              |
|-----------------------|-------------------------|--------------|
| KEBAILI Mustapha      | MCA (UKM Ouargla)       | Président    |
| DJOUHRI Mohamed       | MCB (UKM Ouargla)       | Examineur    |
| KHELLOU Abderrezak    | MCB (UKM Ouargla)       | Encadreur    |
| BAIKER Mohamed Cherif | Doctorant (UKM Ouargla) | Co-Encadreur |

Année Universitaire:2022/2023



## ***DEDICACE***

*Je dédie ce modeste travail à*

*Mes parents, pour leur amour, leur soutien et leur sacrifice sans fin. Votre inconditionnel amour m'a porté tout au long de cette étape de ma vie et je vous en serai éternellement reconnaissant*

*Mes sœurs et mes frères et Mon neveu et mes nièces et mes meilleurs amis, qui m'ont toujours soutenu dans mes rêves, même lorsque les défis semblaient insurmontables. Vous m'avez donné la force et l'inspiration pour continuer*

*Mon encadreur et co-encadreur, pour leur conseil avisé et leur encadrement tout au long de ce processus. Votre soutien a été inestimable et m'a permis de réussir*

*Mes collègues de classe, pour leur amitié, leur collaboration*

***HA.DEHINI***



# إهداء

إلى التي غطت ثغرات و عثرات الحياة التي واجهتني وكادت أن تنال مني , إلى التي جاهدت لأجلي منذ ولادتي الصعبة التي كادت أن تفارق فيها الحياة بسببي , إلى التي آمنت بي في يأسِي وحين خارت قواي وعجزت عن المواصلة وكدت أن انهزم واخترت التوقف عن المتابعة , إلى التي أتعبتها في سنوات دراستي و صبرت و كانت مصدر قوة لي بسبب مرضي حتى شفيت , عوضتني عن كل حنان فقدته عن كل خيبة تعرضت لها كانت ملهمتي و أماني و مأمني وسندي و حكيمتي , اهدي نجاحي لامي حبيبة قلبي و قرّة عيني و صديقتي و جنتي و سندي في هذه الحياة , كلماتي تعجز عن ما فعلته من اجلي يا أمي ادامكي الله نعمة في حياتي, وأيضا لأبي حبيبي و إخوتي أنفال و ميسون و خديجة و احمد و أبرار و ضياء و فاطمة و براء , ورفيقتي العمر عائشة الشاوي و حبيبة القلب ورفيقتي في كل مصاعب الحياة الجامعية التي أحببتي بدون مقابل وكانت توأمة لروحي وبلسم لدائي نسرين عرعار و لصديقتي خفيفة الروح و طيبة المعشر و التي احمد الله على اختياري لها هاجر ذهيني التي شاركتني في مذكرتي بمناعبها و صعابها وهونت علي الطريق , اسأل الله أن يحفظكم جميعا , واشكر المشرف خلو عبد الرزاق و أيضا مساعد المشرف بعيكو محمد الشريف الذي كانا معنا خطوتنا بخطوة وأنجزا مهمتهما بضمير خالص لله اسأل الله أن يحفظهما و يعينهما على مصاعب الحياة كما كانا مصدر عون لنا , وأخيرا احمد الله الذي وفقنا لهذا فالحمد لله دائما و أبدا .

قوي انتصار



# **REMMERCIEMENT**

*Nous remercions « Allah » de nous avoir donné la santé  
et la volonté de commencer et de terminer cette  
.mission*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas riche et ne  
pourrait être achevé sans l'aide et la supervision du Dr  
KHELLOU Abderrezak et M. BAIKER Med cherif Nous  
les remercions pour la qualité exceptionnelle de leur  
encadrement, pour leur patience, l'exactitude et la  
.disponibilité que nous avons préparé cette thèse*

*Nos remerciements vont à Mr. KCHIERD Ali pour son  
aide pratique, sur laboratoire de génie civile sur  
.département science appliqué*

*Nous remercions Personnel de Laboratoire Etudes &  
Contrôles - Ouargla et laboratoire de travaux publice  
de sud. Accepté de nous recevoir au sein de leurs  
Laboratoire, et de nous avoir permis de La  
performance les essais et de nous avoir aidé par leurs  
.précieux conseils*

*Nous remercions également tous nos professeurs pour  
leur générosité et la grande patience dont ils ont fait*

## الملخص:

هذا العمل يندرج ضمن إطار ترميم المواد المحلية، وإعادة تدوير النفايات واستخدامها في بناء الطرق، من خلال تحسين بعض الخصائص الميكانيكية للتف، عن طريق معالجته بالجير وإضافة بعض المواد (مسحوق رمل الكثبان ومسحوق بقايا الطوب). تم اعتماد خمسة خلطات بنسب مختلفة و معالجتها بالجير بطريقتين مختلفتين، بالإضافة إلى تخزين العينات بثلاث طرق مختلفة، مع قياس مقاومة ضغط عند ثلاث فترات زمنية (7، 28، 60 يوماً).

أظهرت النتائج أن أعلى مقاومة للانضغاط تم تسجيلها عند إضافة 15% من مسحوق الطوب (TC4B15S0) ومعالجة الخليط بالطريقة 1 (مزج المكونات الجافة ثم إضافة الماء)، والتخزين وفقاً للطريقة 2 (العينات في أكياس بلاستيكية خلال فترة التخزين) لمدة 60 يوم.

**الكلمات المفتاحية:** تف ، الكثبان الرملية المسحوقة ، مسحوق نفايات الطوب ، بناء الطرق ، الجير ، المعالجة ، قوة الانضغاط.

## Résumé :

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, du recyclage des déchets et de leur utilisation dans la construction routière, en améliorant certaines propriétés mécaniques du tuf, par leur traitement à la chaux et l'ajout de certains matériaux (poudre de sable des dunes et poudre des déchets de briques). Cinq mélanges ont été adoptés avec des proportions différentes, et ils ont été traités à la chaux de deux méthodes, ainsi que la conservation des éprouvettes selon trois modes, avec l'enregistrement de la résistance à la compression en trois durées (7, 28 et 60 jours). Les résultats ont montré que la meilleure résistance à la compression a été enregistrée avec l'ajout de 15% de poudre de briques (TC4B15S0) et le traitement du mélange selon la méthode 1 (mélange des composants à sec puis ajout d'eau), et la conservation selon la méthode 2 (échantillons dans des sacs en plastique pendant la période de conservation) durant 60 jours.

**Les mots clé :** tuf, sable de dune broyé, poudre déchets de brique, construction routière, la chaux, traitement, résistance à la compression.

## ABSTRACT:

This work is part of the valorization of local materials, waste recycling, and their use in road construction by improving certain mechanical properties of tuff through lime treatment and the addition of specific materials (dune sand powder and brick waste powder). Five different mixtures were adopted and treated with lime using two methods. The specimens were stored in three different ways, and the compressive strength was measured at three-time intervals (7, 28, and 60 days). The results showed that the highest compressive strength was recorded with the addition of 15% brick powder (TC4B15S0) and the treatment of the mixture using Method 1 (dry mixing of components followed by water addition), while the samples were stored according to Method 2 (in plastic bags during the storage period) for 60 days.

**Keywords:** tuff, crushed dune sand, waste brick powder, road construction, lime, treatment, compressive strength.

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

|                                                                     |   |
|---------------------------------------------------------------------|---|
| <b>Tableau I.1.</b> Classification des ajouts selon leur réactivité | 6 |
| <b>Tableaux I.2</b> les différents types des déchets                | 9 |

## **Chapitre II : Caractérisations des matériaux utilisés**

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau II-1.</b> Résultats d'analyse chimique du tuf                                                          | 15 |
| <b>Tableau II - 2 :</b> Les classifications des sols en fonction de VBS                                           | 17 |
| <b>Tableau II.3</b> synthèses des résultats de caractérisation de tuf.                                            | 21 |
| <b>Tableau II - 4 :</b> Résultats d'analyse chimique de la poudre de déchets de briques et sable de dunes.        | 22 |
| <b>Tableau II - 5 :</b> Résultats Masse volumique absolue de la poudre de déchets de briques et sable de dunes    | 23 |
| <b>Tableau II - 6 :</b> Résultats Masse volumique apparente de la poudre de déchets de briques et sable de dunes  | 23 |
| <b>Tableau II - 7 :</b> Résultats d'essai granulométrique des sols méthode par sédimentation sable de dune broyer | 24 |
| <b>Tableau II - 8 :</b> Résultats d'essai granulométrique des sols méthode par sédimentation déchet de brique     | 25 |
| <b>Tableau II – 9</b> Propriétés physiques et chimiques de la chaux de Saida                                      | 28 |

## **Chapitre III : Résultats et discussions**

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau III - 1 :</b> différentes formulations élaborées      | 30 |
| <b>Tableau III - 2 :</b> Types de Mode Conservation              | 30 |
| <b>Tableau III - 3 :</b> méthode des confections des éprouvettes | 31 |

---

### Chapitre I : Synthèse bibliographique

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure I.1</b> : Tuf                                       | 4  |
| <b>Figure I.2</b> : Formation d'encroûtements par évaporation | 6  |
| <b>Figure I.3</b> : Sable de dunes                            | 8  |
| <b>Figure I.4</b> : Poudre de déchets de briques              | 12 |
| <b>Figure I.5</b> : Déchets de briques                        | 12 |
| <b>Figure I.6</b> : La chaux                                  | 14 |

### Chapitre II : Caractérisations des matériaux utilisés

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure II.1</b> : Courbe granulométrique du tuf                                                | 17 |
| <b>Figure II.2</b> : Test bleu méthylène                                                          | 17 |
| <b>Figure II.3</b> : Courbe Proctor modifié                                                       | 18 |
| <b>Figure II.4</b> : La courbe de CBR                                                             | 20 |
| <b>Figure II.5</b> : La courbe de CBR imbibé                                                      | 21 |
| <b>Figure II.6</b> : Courbe Compression simple du tuf seul pour 1jour.                            | 22 |
| <b>Figure II.7</b> : Abaque de classification (GTR ,1992.)                                        | 23 |
| <b>Figure II.9</b> : Mode d'opération d'essai masse volumique absolue de poudre déchet de brique  | 24 |
| <b>Figure II.10</b> : Mode d'opération d'essai masse volumique absolue de poudre sable de dune    | 24 |
| <b>Figure II.11</b> : Mode d'opération d'essai masse volumique apparente                          | 25 |
| <b>Figure II.12</b> : Mode d'opération d'essai granulométrique des sols méthode par sédimentation | 27 |
| <b>Figure II.13</b> : L'appareil utilisé sur l'essai SSB                                          | 28 |

### Chapitre III : Résultats et discussions

|                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure III.1</b> : Une éprouvette de compression pendant l'écrasement                                                                                  | 32 |
| <b>Figure III.2</b> : La résistance à la compression des mélanges en fonction d'âge sous l'effet du mode1/méthode1.                                       | 33 |
| <b>Figure III.3</b> : La résistance à la compression des mélanges en fonction d'âge sous l'effet du mode1/méthode2.                                       | 33 |
| <b>Figure III.4</b> : La résistance à la compression des mélanges en fonction d'âge sous l'effet du mode2/méthode1.                                       | 34 |
| <b>Figure III.5</b> : La résistance à la compression des mélanges en fonction d'âge sous l'effet du mode2/méthode2.                                       | 34 |
| <b>Figure III.6</b> : l'évolution de la résistance à la compression du mélange TC4B15S0 sous l'effet du mode de conservation pour la méthode 1            | 36 |
| <b>Figure III.7</b> : l'évolution de la résistance à la compression du mélange TC4B15S0 sous l'effet du mode de conservation pour la méthode 2            | 36 |
| <b>Figure III-8</b> : la résistance à la compression des mélanges selon les méthodes 1 et 2 en séchage accéléré.                                          | 37 |
| <b>Figure III-9</b> : l'évolution de la résistance à la compression du mélange TC4B15S0 sous l'effet de la méthode de confection des éprouvettes au mode1 | 38 |

---

## Liste des figures

---

- Figure III-10** : l'évolution de la résistance à la compression du mélange TC4B15S0 sous l'effet de la méthode de confection des éprouvettes au mode2 38
- Figure III.11** : Des éprouvettes de compression des mélanges après 28 j+04j d'immersion dans l'eau Mode 01 et mode 2 méthode 01 39
- Figure III.12** : Des éprouvettes de compression des mélanges après 28 j+04j d'immersion dans l'eau Mode 01 et mode 2 méthode 02 39
- Figure III-13** : la résistance à la compression des mélanges après 28 jours de conservation + 4jour dans l'eau (méthode1) 40
- Figure III-14** : la résistance à la compression des mélanges après 28 jours de conservation + 4jour dans l'eau (méthode 2) 40
-

## Liste des abréviations

---

**VBS** : valeur de bleu méthylène de sol

**W<sub>opm</sub>** : Teneur en eau optimale Proctor modifié

**γ<sub>d</sub>** : Densité sèche optimale de l'essai Proctor modifié

**R<sub>c</sub>** : Résistance à la compression simple

**ICBR** : Indice Portant Californien (Californian Bearing Ratio)

**W** : Teneur en eau exprimée en %

**OPM** : Optimum Proctor modifié

**ρ<sub>a</sub>** : masse volumique

**M** : la masse

**V** : volume

**SSB** : Surface spécifique blaine

---

## Table des matières

---

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Résumé                                                                      | I   |
| Liste des tableaux                                                          | II  |
| Liste des figures                                                           | III |
| Liste des abréviations                                                      | IV  |
| Table des matières                                                          | V   |
| Introduction générale                                                       | 1   |
| <b>Chapitre I : Synthèse bibliographique</b>                                |     |
| I.1.Généralités sur les tufs                                                | 3   |
| I.1.Introduction                                                            | 3   |
| I.1.2. Définitions des tufs                                                 | 3   |
| I.1.3 Les tufs dans le monde                                                | 4   |
| I.1.4. Catégories des tufs                                                  | 4   |
| A. Les encroûtements calcaires                                              | 4   |
| B. Les encroûtements mixtes                                                 | 4   |
| C. Les encroûtements gypseux                                                | 5   |
| I.2.Généralités sur les ajouts minéraux                                     | 5   |
| I.2.1. Définition                                                           | 5   |
| <b>I.2.2Classification des ajouts</b>                                       | 6   |
| <b>I.2.3. Intérêt d'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil</b> | 6   |
| I. 3. Généralités sur le sable                                              | 7   |
| I.3.1. Définition de sable                                                  | 7   |
| I.3.2. Définition de sable de dunes                                         | 7   |
| I.3. 3 Différentes formes des dunes                                         | 7   |
| I.3.4 La dune parabolique                                                   | 8   |
| I.3.5. Les dunes en étoile                                                  | 8   |
| I.3.6Les dunes transversales                                                | 8   |
| I.3.7. Les dunes longitudinales                                             | 8   |
| I.3.8Formation des sables de dunes                                          | 8   |
| I.3.9. Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier                | 8   |
| I. 4. Généralités sur la poudre de déchets de briques                       | 9   |
| I. 4.1. Définition des déchets                                              | 9   |
| I.4.2. Différents types des déchets                                         | 9   |
| I.4.3. Déchets utilisés en génie civil                                      | 10  |
| I. 5. Généralités sur la Chaux                                              | 12  |
| I. 5.1. Définition de la chaux                                              | 12  |
| I.5.2. Différents types de la chaux                                         | 12  |
| A) chaux aériennes                                                          | 12  |

---

## Table des matières

---

|                       |    |
|-----------------------|----|
| B) chaux vive         | 12 |
| C) chaux éteinte      | 12 |
| D) chaux magnésiennes | 12 |
| I.6. Conclusion       | 13 |

### **Chapitre II : Caractérisations des matériaux utilisés**

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.1. Introduction :                                                                         | 15 |
| II.2. Essais de caractérisation sur le tuf                                                   | 15 |
| II.2.1. Essai Analyse chimique                                                               | 15 |
| II.2.2. Essai Masse volumique apparente                                                      | 15 |
| II.2.3. Essai Analyse granulométrique                                                        | 15 |
| II.2.4. Essai au Blue méthylène                                                              | 17 |
| II.2.5. Essai Proctor modifié                                                                | 18 |
| II.2.6. Essai CBR                                                                            | 19 |
| II.2.7. Compression simple :                                                                 | 21 |
| II.3 Classification des matériaux selon GTR 92                                               | 22 |
| II.4. Essais de caractérisation sur la poudre de déchets de briques et poudre sable de dunes | 23 |
| II.4.1. Essai Analyse chimique                                                               | 23 |
| II.4.2. Essai Masse volumique absolue                                                        | 23 |
| II.4.3. Essai Masse volumique apparente                                                      | 24 |
| II.4.4. Essai analyses granulométrique des sols méthode par sédimentation                    | 25 |
| II.4.5. L'essai de surface spécifique Blaine                                                 | 27 |
| II.4.5.1. Description de l'essai                                                             | 27 |
| II.4.5.2. Résultats d'essai :                                                                | 27 |
| II.5. La chaux                                                                               | 28 |
| II.6. Conclusion                                                                             | 28 |

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| III.1. Introduction                                                                                                                                      | 30 |
| III.2. Méthodologie de l'étude expérimentale                                                                                                             | 30 |
| III.2.1. Mode conservation des éprouvettes                                                                                                               | 30 |
| III.2.2. L'effet de la méthode de confection des éprouvettes                                                                                             | 31 |
| III.2.3. Sensibilité à l'eau                                                                                                                             | 31 |
| III.3. Résultats et discussion                                                                                                                           | 31 |
| III.3.1. Résistance à la compression : (Rc)                                                                                                              | 31 |
| A- L'évolution de résistance à la compression des différents mélanges en fonction d'âge sous l'effet du mode de conservation et la méthode de confection | 33 |

---

## Table des matières

---

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| B- L'effet du mode de conservation et la méthode de confection des éprouvettes | 35 |
| B-1 L'effet du mode de conservation :                                          | 35 |
| B.2 L'effet de séchage accéléré :                                              | 36 |
| B-3 l'effet de la méthode de confection des éprouvettes                        | 38 |
| C- sensibilité de l'eau                                                        | 39 |
| III .4. Conclusion                                                             | 41 |
| Conclusion générale                                                            | 43 |
| Références bibliographiques                                                    | 45 |

---

---

# **Introduction Générale**

---

# Introduction Générale

---

## Introduction générale

En génie civil, la valorisation des matériaux locaux et du recyclage des déchets industriels reste parmi les axes de recherches les plus intéressants pour ce qu'ils apportent comme solutions aux problèmes liés à l'économie et à la protection de l'environnement.

Le tuf et le sable de dunes sont des ressources naturelles disponibles en grande quantité dans la wilaya d'Ouargla (Sud-Est de l'Algérie). Le tuf est largement utilisé en construction routière saharienne, contrairement au sable de dune qui est écarté dans ce domaine en raison de ses faibles performances mécaniques.

Les briqueteries de la région de Touggourt, qui se comptent par dizaines, génèrent des quantités importantes de déchets de briques qui posent souvent des problèmes aux propriétaires quant à leur élimination.

L'idée de combiner ces matériaux (tuf, sable de dunes, déchets de briques) pourrait être une solution alternative à l'utilisation massive des matériaux dits nobles tels que la grave concassé d'une part, et à l'amélioration de certaines performances mécaniques du tuf qui sont parfois médiocre, d'autre part.

Ce travail s'inscrit dans le contexte de la valorisation des matériaux locaux et du recyclage des déchets industriels. IL a comme objectif d'étudier certaines performances mécaniques, notamment la résistance à la compression simple ( $R_c$ ), et la sensibilité à l'eau des mélanges constitués de tuf et de poudre de sable de dunes et déchets de briques en vue de l'exploiter dans les chaussées sahariennes. L'étude porte sur l'évolution de la  $R_c$  dans le temps des éprouvettes confectionnées à partir des mélanges traités à la chaux en faisant varier la méthode de préparation des mélanges et le mode de conservation des éprouvettes.

Ce mémoire comporte trois chapitres :

- Le premier chapitre donne un aperçu sur les tufs d'encroûtement ainsi que les procédés de traitement possible ;
- Le deuxième chapitre présente les résultats des essais de caractérisation, notamment ceux liés à certaines propriétés chimiques, physiques et mécaniques ;
- Le troisième chapitre est consacré à l'interprétation des résultats obtenus.

Enfin, Le mémoire termine par une conclusion générale résumant l'essentiel des résultats

---

---

# **Chapitre I**

## **Synthèse bibliographique**

---

## I. Introduction

Les tufs. Sont très largement employés comme remblais et matériaux de construction routière. Dans les pays à climat semi-aride et aride. Ces matériaux sont extraits de formations superficielles qui occupent une superficie relativement importante dans les régions sahariennes. [1]

Ce chapitre est réparti en deux volets. Dans le premier volet on présente une synthèse bibliographique des tufs (Définitions... L'origine du tuf... Propriété...). Dans le second, ont présenté une Généralités sur la poudre de déchets de briques (Définition des déchets...Classification des déchets...Différents types des déchets...Déchets utilisés en génie civil...Définition de brique...Types de brique...sable de dune...la chaux...Principaux constituants).

### I.1.Généralités sur les tufs

#### I.1.1. Définition de tuf

Le tuf se définissent comme de roche poreuse légère, souvent friable, formée de dépôt mixtes ou calcaires ou gypseux. [2]

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 : les tufs calcaires, les tufs gypseux et les tufs mixtes. [3]

L'origine du tuf :

Son origine Le tuf est une roche poreuse très légère pouvant avoir deux origines :

- Le tuf calcaire : provient de l'encroûtement par des carbonates de la végétation aquatique et des plantes riveraines. [4].
- Le tuf volcanique : résulte de la cimentation des dépôts et de l'accumulation de cendres d'origines volcaniques. [4].

#### I.1.2. Les tufs dans le monde

Ce sont les hautes plaines des États-Unis allant du Texas à la Californie, celles du Mexique et celles de l'Argentine centrale. [5]

**En Afrique :** Ce sont les « Hamada », hauts plateaux de l'Afrique du Nord, la plaine de Djefara et le bassin de Ben Gazi en Lybie, les dépressions du nord du Kenya, les steppes de la Tanzanie, les plateaux de la Somalie, les vallées de Botswana et d'Afrique du Sud, les zones sèches de Madagascar et du Mozambique, la Namibie et l'Angola. [5]

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

**En Australie :** On trouve le tuf dans les plaines littorales. [5]

**En Europe :** Le tuf y est peu abondant. On le trouve uniquement dans le sud de l'Espagne. La figure 1 représente la carte des zones de climat désertique, aride et semi-aride et des régions où existent les encroûtements calcaires. [5]



Figure I.1: Tuf [4]

### I.1.3. Catégories des tufs

- A. Les encroûtements calcaires.
- B. Les encroûtements mixtes.
- C. Les encroûtements gypseux.

#### I.1.3.A. Les encroûtements calcaires

##### Définition

De nombreuses définitions ont été données aux croûtes, et aux encroûtements calcaires, celles-ci diffèrent selon la spécialité de l'auteur (géologue, pédologue ou géotechnicien).

Parmi les définitions proposées, on peut retenir celles données par A.J. GOUDIE. " 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 indurée elles sont dues à la cimentation, à l'accumulation ou au remplacement de quantités plus ou moins grandes de sols, roches ou matériaux altérés par du calcaire dans une zone d'infiltration. [5]

#### I.1.3.B. Les encroûtements gypso calcaires

##### Définition

Les encroûtements calcaires sont la formation pédologique caractéristique des climats subhumide et semi-aride. Au-delà d'une certaine aridité, leur développement est arrêté à la source : insuffisance de précipitation pour dissoudre et drainer le calcaire vers les nappes phréatiques. En climat désertique, les encroûtements gypseux peuvent relayer les encroûtements calcaires. Inversement, lorsque l'on passe du climat désertique au climat semi-aride, le gypse devient instable dans les sols à cause de sa solubilité notable : Les encroûtements mixtes sont des formations de tufs calcaires gypsifères à prédominance carbonatée ou de tufs gypseux calcifiés à prédominance sulfatée. [5]

Guet touche, 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 ( $\text{CaSO}_4$  ;

2H<sub>2</sub>O), puis l'halite (NaCl), et finalement les sels de potassium et de magnésium. [5]

### I.1.3.C. Les encroûtements gypseux

#### Définition

Les encroûtements gypseux sont des formations analogues aux encroûtements calcaires. Ils sont réés abondants dans les régions à climat arides où les précipitations sont insuffisantes pour lixivier le gypse, qui existe déjà dans les formations géologiques anciennes (Crétacé au Miopliocène) (Aloul, 1981 ; Frenkel et al. 1986 ; Schiote, 203 ; Alfaya, 204).

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. [6]

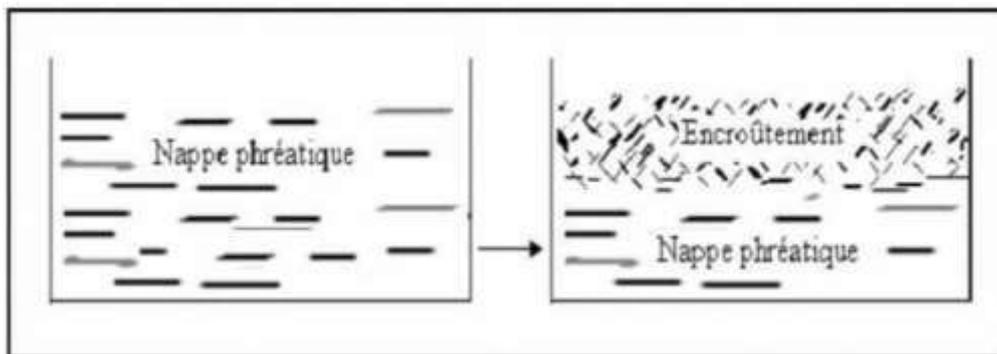


Figure I.2 : Formation d'encroûtements par évaporation [6]

## I.2.Généralités sur les ajouts minéraux

### I.2.1. Définition

Il existe de nombreux types d'additifs minéraux , tels que les cendre volantes, le laitier granulé de haut fourneau (LGHF), les fumés de silice, les pouzzolanes etc..., contiennent principalement de la silice amorphe qui réagit avec l'hydroxyde de calcium et en présence d'eau, ils donnent des composés hydratés suivant une réaction exothermique à condition que le niveau d'énergie libre au départ est suffisamment élevé pour aboutir à un système plus stable ayant des propriétés hydrauliques .Cependant, Les fillers sont inertes s'ils n'ont aucune action chimique sur les ciments en présence d'eau. [7]

Les ajouts existaient soit sous forme de produits naturels qui ne devaient être que peu traités, soit ils résultaient de processus industriels sous forme de déchets tels que:( briques broyées et sables broyés) ou de sous-produits, ils sont ajoutés soit au mélange de matières premières avant le broyage, soit à la farine crue, soit au clinker portland avant ou après le broyage, leurs pourcentages dans la masse varient suivant le but de l'addition et le rôle qu'elle peut jouer. Seul des ajouts bien définis permettent d'exploiter au mieux leurs propriétés et avantages. [8]

### I.2.2 Classification des ajouts

Les ajouts peuvent être naturels ou artificiels, inertes ou actifs ; ils peuvent réagir en tant que matériau hydraulique, hydraulique latent ou pouzzolanique, ou encore sous forme de fillers. Ils se divisent selon leur réactivité comme le montre le tableau (I.1) ci-dessous :

Tableau I.1. Classification des ajouts selon leur réactivité [9]

| Type               | Réactive            | Matériaux                                                                                                                          |
|--------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hydraulique        | Fortement réactif   | Ciments spéciaux-chaux hydraulique                                                                                                 |
| Hydraulique Latent |                     | Laitier granule cendres volantes riche en calcium (calciques)                                                                      |
| Pouzzolanique      | Fortement réactif   | Fumée de silice                                                                                                                    |
|                    | Moyennement réactif | Cendres volantes pauvre en calcium, pouzzolanes naturelles verre volcanique, tufs volcanique, trass phonolithe, terres à diatomées |
|                    | Faiblement réactif  | Scories cristallines                                                                                                               |
| Inerte             | Non réactif         | Fillers (farine calcaire,...) fibres, pigments colorants, matières expansives, dispersions synthétiques                            |

### I.2.3. Intérêt d'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil

L'introduction des ajouts dans la confection du ciment présente un facteur bénéfique car la consommation en clinker baisse en fonction des taux d'ajouts. En effet, le clinker étant obtenu par transformation de la crue (argilo-calcaire) nécessite une dépense d'énergie très importante pouvant être réduite par l'introduction de cet ajout [9].

La réaction pouzzolanique étant à base de produits de faible coût et la durabilité est garantie puisque les romains utilisaient déjà ce mécanisme chimique dans leurs ciments

pour la confection d'ouvrages qui ont fait leur preuve depuis de nombreux siècles.

Des sous-produits industriels tels que les cendres volantes et fumées de silice condensées sont de plus en plus utilisés dans les pays industrialisés parce qu'ils sont des déchets d'usine [10].

Les pouzzolanes naturelles n'est pas nécessaire de les pulvériser ou de les soumettre à un traitement thermique avant de s'en servir. Plusieurs pays comme la Chine, la Grèce, l'Italie, l'Inde et le Mexique, utilisent encore des millions de tonnes de pouzzolanes naturelles pour fabriquer des ciments CPA [11]

### **I.3.Généralités sur le sable**

#### **I.3. Sable**

Le terme sable est généralement utilisé pour désigner un mélange de grains meuble n'ayant aucune cohésion et dont la dimension des grains est généralement comprise entre 0,062 et 5 mm. Du point de vue géologique, le terme sable recouvre deux aspects : un aspect granulométrique (taille des grains) et un aspect minéralogique (nature minéralogique des grains). Une particule individuelle est appelée grain de sable). [5]

#### **I.3.1.Définition du sable des dunes**

On distingue par sable éolien les sables de dune, qui sont le résultat de l'érosion provoqué par le vent et la température particulièrement dans les déserts. Ces sables se déposent en édifices dunaires constitués d'une succession de crêtes et de couloirs qui correspondent à des vagues. Ces sables se trouvent dans plusieurs régions du désert sous forme de dunes qui occupent de vastes territoires. La vitesse et l'intensité des vents sont les deux facteurs responsables du triage granulaire des sables dunaires, de leur distance de transport et de leur mode d'accumulation. La photo I. montre un exemple particulier de sable de dune. [5]



**Figure I.3 : Sable de dunes [5]**

#### **I.3.2. Différentes formes des dunes**

Ces dunes sont des dunes d'accumulation, édifiées en terrain plat, mobiles, en forme de croissant dont la convexité est tournée au vent. Elles peuvent atteindre une taille de 300 m et s'assembler pour former des formes complexes. [5]

#### **I.3.3. La dune parabolique**

Une dune dissymétrique en forme de fer à cheval à concavité au vent souvent plus ou moins fixée par la végétation. Sa disposition par rapport à la direction du

vent est donc inverse de celle de la barkhane. La dune parabolique est peu mobile et généralement ne migre guère une fois qu'elle est formée. [5]

### **I.3.4. Les dunes en étoile**

Immobilisées se rencontrent dans les clairières des forêts de pins et seraient dues à un des équilibres dans le système des vents. [5]

### **I.3.5. Les dunes transversales**

Mobilisées rectilignes, perpendiculaires la direction du vent : la dune du Pilat. [5]

### **I.3.6. Les dunes longitudinales**

Allongées dans le sens du vent. Elles peuvent apparaître si le vent change de direction au cours de l'année. Plus précisément elles peuvent apparaître si le vent possède deux directions privilégiées. La dune est alors étirée dans le sens du vent moyen. On parle aussi du « Seif » dunes. Leur dynamique est bien plus complexe que pour les barkhanes puisque leur forme évolue beaucoup au cours du temps. [5]

### **I.3.7. Formation des sables de dunes**

Les sables des dunes ont pour origine la désagrégation des roches sous l'effet conjugué des chocs thermiques et de l'altération des sols constituant les lits d'oueds ou d'anciens fleuves.

Les matériaux détritiques superficiels sont dégagés des particules limoneuses emportées en suspension dans l'air à des grandes distances. Les sables restés sur place sont à leur tour déplacés par roulement sur des distances plus courtes. [5]

### **I.3.8. Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier**

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle. A l'époque déjà, les ingénieurs avaient recours à l'utilisation du sable mélangé à un liant hydrocarboné en particulier pour les couches de roulement. [5]

## **I. 4. Généralités sur la poudre de déchets de briques**

### **I.4.1. Un déchet**

Un déchet est un objet en fin de vie ou une substance ayant subi une altération physique ou chimique, qui ne présente alors plus d'utilité ou est destiné à l'élimination. Le mot vient de l'ancien français déchet ou déché, soit « la quantité perdue dans l'usage d'un produit », ce qui en reste après son utilisation. [12] [1].

Le déchet est de plus en plus considéré, comme un héritage problématique de la révolution industrielle et de l'urbanisation. Les possibilités d'élimination montrent leurs limites et l'accent est davantage mis sur la réutilisation et le recyclage. On parle parfois de « recyclage » quand il y a réutilisation de ces « matières premières secondaires ». [12] [2].

### I.4.2. Différents types des déchets

Tableaux c-dessus représente les différents types des déchets :

Tableaux I.2 les différents types des déchets [13]

| Type des déchets                              | Définition                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Déchets ménagers</b>                       | Tous déchets issus des activités des ménages ainsi que les déchets analogues provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales ou autres                                                                                                                                                           |
| <b>Déchets industriels</b>                    | Tous déchets non ménagers résultant d'une activité industrielle, minière ou artisanale ou similaire                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Déchets agricoles</b>                      | Tous déchets organiques générés directement par des activités agricoles, agro-industrielles ou par l'élevage.                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Déchets biodégradables</b>                 | Tous déchets pouvant subir une décomposition biologique naturelle anaérobie ou aérobie, comme les déchets alimentaires, les déchets de jardins ainsi que le papier et le carton.                                                                                                                                  |
| <b>Déchets médicaux</b>                       | Tous déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, curatif ou palliatif dans le domaine de la médecine humaine ou vétérinaire, des hôpitaux publics, des cliniques et des cabinets privés, de la recherche scientifique ou de laboratoires d'analyses opérant dans ces domaines |
| <b>Déchets dangereux</b>                      | Tous déchets qui par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la collectivité ou à l'environnement et dont la liste est fixée par voie réglementaire.                                                                                  |
| <b>Déchets assimilés aux déchets ménagers</b> | Tous résidus résultants ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisables ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux                                              |
| <b>Déchets ultimes</b>                        | Tous résidus résultants ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisables ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux                                              |

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Déchets inertes</b> | Tous déchets provenant de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation et qui ne sont pas constitués ou contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances. Ces déchets ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne se détériorent pas avec les autres matières avec lesquelles ils entrent en contact d'une manière susceptible d'entraîner la pollution de l'environnement ou de nuire à la santé publique |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### I.4.3. Déchets utilisés en génie civil

Les déchets du bâtiment et travaux publique BTP résultent, majoritairement des chantiers de construction, de réhabilitation et de déconstruction. Ils sont composés à 90% de déchets inertes, le reste étant des déchets non dangereux, et des déchets dangereux. Issus de la fin de vie de produits naturels (pierres, terres, sables) ou de produits manufacturés (béton, brique, céramique, verre), les déchets inertes sont des déchets non polluants, chimiquement stables dans le temps et donc théoriquement neutres pour l'environnement, toute fois, le transport et le stockage de ces déchets ont un impact significatif en termes d'émission de CO<sub>2</sub> et d'utilisation des sols. Afin de limiter ces impacts, et devant les besoins croissant des ressources en matériaux et aux exigences et conditions de préservation de l'environnement, dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et étudier toutes les possibilités et opportunités de réutilisation et de valorisation des déchets inertes et sous-produits industriels notamment dans le domaine des travaux publics [13].

On distingue trois catégories principales de déchets utilisés en génie civil ce sont :

A. Déchets inertes : [14]

Parmi les déchets inertes produits par le secteur du bâtiment on trouve :

- Béton.
- Briques.
- Parpaings.
- Tuiles et céramiques.
- Granulats non pollués et sans mélange.

B. Déchets ménagers. [14]

C. Déchets dangereux. [14]

Dans cette étude, on utilise des déchets inertes à savoir les déchets de brique. Il est ajouté sous forme de poudre afin d'avoir améliorer les caractéristiques mécaniques tuf.



Figure I - 4 : Poudre de déchets de briques



Figure I - 5 : Déchets de briques

Selon les résultats du travail effectué par les étudiants M.Tounsi et A.Abimouloud (2021/2022), en mélangeant poudre des déchets de briques avec du tuf selon des proportions variables selon des mode de conservation différent, ils obtiennent les résultats suivants :

- Les résistances à la compression des éprouvettes préparées à partir de différents mélanges et conservées dans les conditions de laboratoire, c'est-à-dire en mode1, marquent certaine diminution avec l'âge en raison de la perte d'une quantité d'eau qui nécessaire pour achever la réaction entre la chaux et la poudre de déchets de briques ;
- Les meilleures résistances mécaniques sont enregistrées en mode3 à l'âge de 60jours pour le mélange TC4D15 ;
- L'examen de l'effet de la teneur en eau de confection des éprouvettes sur les résistances ( $R_c$ ) montre que les meilleurs résultats sont obtenus pour les éprouvettes préparées à partir d'une teneur en eau proche de  $W_{opm}$
- L'étude de la sensibilité à l'eau révèle que l'ajout de déchets de briques sous forme de poudre permet de surmonter le point noir des tufs qui est la perte totale de cohésion au contact de l'eau. [14].

## I. 5. Généralités sur la Chaux

### I.5.1. Définition

La chaux est une matière généralement poudreuse et de couleur blanche, obtenue par décomposition thermique (pyrolyse) du calcaire. Elle est utilisée depuis l'Antiquité, notamment dans la construction Chimiquement, c'est un oxyde de calcium avec plus ou moins d'oxyde de magnésium mais la désignation usuelle de chaux peut englober différents états chimiques de ce produit [15].

### I.5.2. Type de chaux

Selon la nature du calcaire utilisé, la cuisson permet la fabrication de plusieurs types de chaux on distingue :( Chaux aériennes, Chaux vive, Chaux éteinte.etc.) [16]

**A. Chaux aériennes**

La chaux aérienne, que l'on trouve sous l'appellation standard **CAEB** (chaux aérienne éteinte pour le bâtiment) est déterminée par la norme NFP 15510. elle correspond à la chaux aérienne, très pure. [16]

**B. Chaux vive**

Constituée principalement d'oxyde de calcium CaO, généralement à plus de 90%. La calcination du calcaire (carbonate de calcium) entraîne la formation de chaux vive (oxyde de calcium) et de gaz carbonique (dioxyde carbonique).

Calcaire  $\longrightarrow$  Chaux vive + gaz carbonique  $\longrightarrow$  CaCO<sub>3</sub>CaO + CO<sub>2</sub>

Réaction endothermique nécessitant 425 kilocalories par kilogramme de calcaire. Cette réaction s'effectue à une température voisine de 900 °C et s'accompagne d'une perte de poids d'environ 45% correspondant à la perte en gaz carbonique. [17]

**C. Chaux éteinte**

Contient essentiellement de l'hydroxyde de calcium Ca (OH)<sub>2</sub>. Elle est obtenue par extinction de la chaux vive selon la réaction d'hydratation suivante : [17]

Chaux vive + eau  $\longrightarrow$  chaux éteinte + 15.5 Kcal  $\longrightarrow$  CaO + H<sub>2</sub>O Ca (OH) + 15.5 Kcal

**D. Chaux magnésiennes**

On distingue 3 types de chaux aériennes selon le % de calcaire ou d'oxyde de Magnésium sont [16] :

➤ **Chaux calcique (CL)**

MgO < 5% Chaux fabriquée à partir d'un calcaire Ca CO<sub>3</sub> pur ou contenant moins de 5% d'oxyde de magnésium MgO. Définie par Vicat. [16]

➤ **Chaux magnésienne**

5 % <MgO< 34 %. Chaux fabriquée à partir d'un calcaire Ca CO<sub>3</sub> contenant de 5% à 34% d'oxyde de magnésium. [16]

➤ **Chaux dolomitique (DL)**

34% <MgO< 41.6 % Chaux contenant de l'oxyde de calcium et de 34% à 41% d'oxyde de magnésium. "DL" (Dolomite Lime) Ces chaux contiennent MgO ou Mg(OH)<sub>2</sub> après hydratation. [16]



Figure I.6 : La chaux

## I.6. Conclusion

Dans le domaine des travaux publics la valorisation des ressources locales et le recyclage des déchets est un sujet d'étude très important.

Dans cette recherche bibliographique on mis en lumière l'un des matériaux locaux les plus importants dans les zones arides et semi-aride, qui est le tuf d'encroûtement, en plus de certains matériaux utilisés pour son traitement (le sable de dunes et les déchets de brique)

---

**Chapitre II**  
**Caractérisation des matériaux**  
**utilisés**

---

## II.1. Introduction

Les expériences en laboratoire sont considérées comme l'un des fondements les plus importants de l'étude, car ce chapitre présente un groupe d'essais de caractérisation des matériaux et leurs résultats. Réalisé au laboratoire d'étude et de contrôle et au laboratoire des travaux publics sud à Ouargla

## II.2. Essais de caractérisation sur le tuf

### II.2.1. Analyse chimique

L'analyse chimique est réalisée selon des normes NF P 15-461, BS 1377 et NF P 94-048 afin d'identifier les matières insolubles (principalement le quartz) et de déterminer le taux de sulfate, le taux de carbonate et la teneur en sel.

- Selon l'analyse chimique réalisée au laboratoire de l'étude et le contrôle (LEC) d'Ouargla des résultats du tableau II-1, le tuf de gypse est dominé par le pourcentage de sulfate de calcium, qui est d'environ 75%.

Tableau II-1. Résultats d'analyse chimique du tuf

| Résultats d'analyse chimique du tuf         |                                         |         |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------|---------|
| Insoluble (%)                               |                                         | 9,92    |
| Sulfates (%)                                | SO <sub>3</sub> (%)                     | 35.04   |
|                                             | SO <sub>4</sub> ((mg/l))                | 4204.81 |
|                                             | CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O (%) | 75.5    |
| Carbonates de calcium CaCO <sub>3</sub> (%) |                                         | 9.69    |
| Chlorure de sodium Cl- (mg)                 |                                         | 0.051   |

### II.2.2. Masse volumique apparente

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel, après passage à l'étuve à  $105 \pm 5$  °C. Elle est exprimée en (g/cm<sup>3</sup> ; kg/m<sup>3</sup> ; T/m<sup>3</sup>). [17] (NF P 94-053)

- La valeur de la masse volumique apparente du tuf est de l'ordre de 1.03 g/cm<sup>3</sup>.

### II.2.3. Analyse Granulométrique (NF P 94-056) :

L'analyse granulométrique, permet de déterminer la grosseur des grains d'un matériau et le pourcentage des grains de chaque grosseur.

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature d'échantillon et de la précision visée. Les masses des différents refus ou celles des différents tamisats rapportées à la masse initiale du matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique). [18]

- La courbe II -1 défini le résultat d'analyse granulométrique du tuf

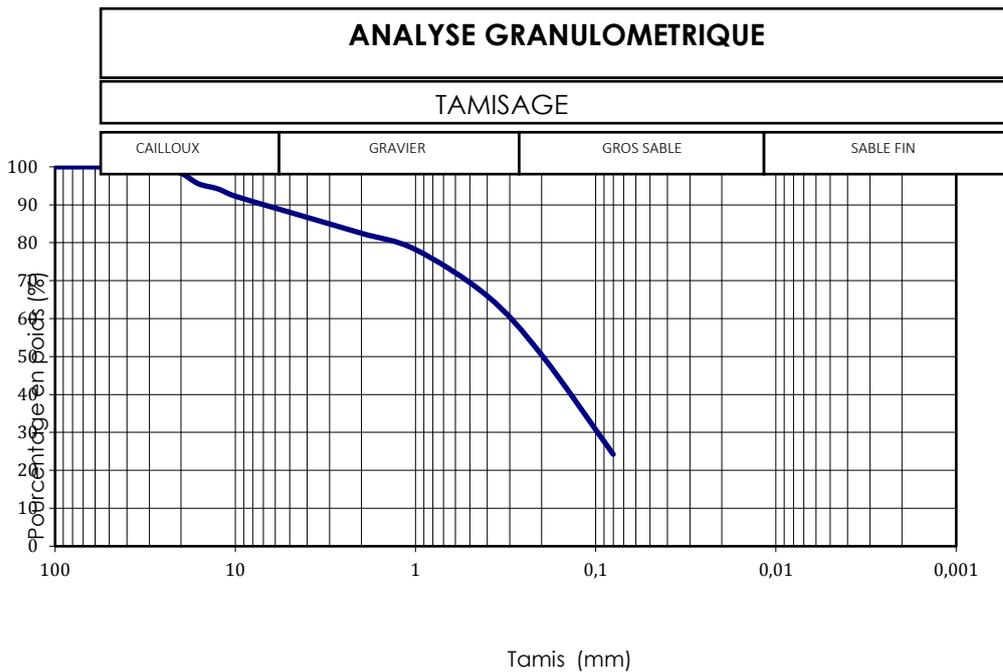


Figure II.1 : Courbe granulométrique du tuf

- D'après la courbe, on remarque que le pourcentage d'éléments inférieurs à 0,08 est de l'ordre de 24%.

### II.2.4. Essai au Bleu méthylène (NF P 94-068)

Le test consiste à mesurer la quantité de bleu de méthylène qu'une substance peut absorber par dose en suspension dans l'eau. Cette quantité est rapportée par proportion directe à une portion de 0/50 mm de sol. La valeur du bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules qui composent le sol ou le matériau rocheux. Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène et en vérifiant adsorption après chaque ajout. Pour ce faire, une goutte de la suspension est prélevée et appliquée dessus papier filtre qui provoque la formation d'une tache. L'absorption maximale est atteinte lorsqu'un halo bleu clair régulier apparaît à la périphérie de la macula. [19]

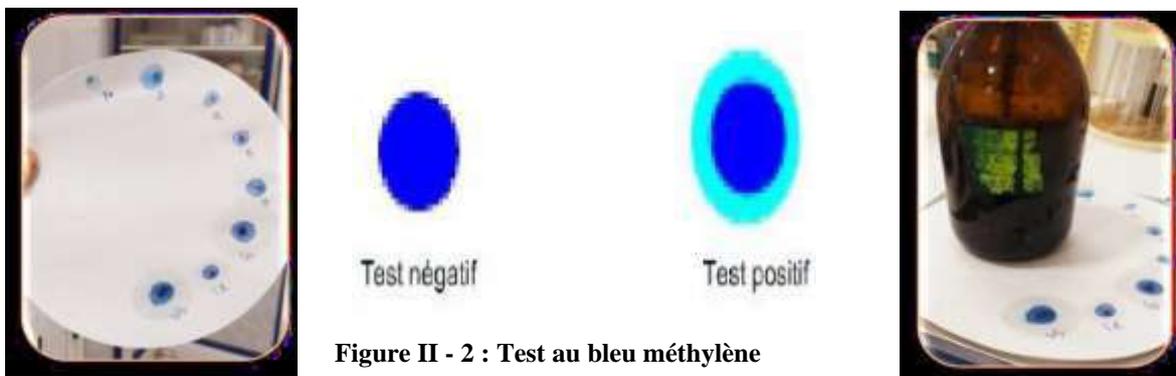


Figure II - 2 : Test au bleu méthylène

➤ Tableau c-dessus défini la classification des sols en fonction de  $VBS = 0.50$

Tableau II - 2 : classifications des sols en fonction de VBS

|                                           |                      |
|-------------------------------------------|----------------------|
| $VBS \leq 0.2$                            | Sols sableux         |
| <b><math>0.2 &lt; VBS \leq 2.5</math></b> | <b>Sols limoneux</b> |
| $2.5 < VBS \leq 6$                        | Sols limono-argileux |
| $6 < VBS \leq 8$                          | Sols argileux        |
| $VBS > 8$                                 | Sols très argileux   |

### II.2.5. L'essai Proctor Modifié

L'essai Proctor Modifié est réalisé avec la dame modifiée (grande dame), quel que soit le moule, Il existe une teneur en eau particulière  $w_{opt}$ . Pour laquelle le compactage conduit à un poids volumique sec  $\gamma_d$ . [20] (NF P 94-093)

Le principe de l'essai consiste à humidifier un sol à plusieurs teneurs en eau et à la compacter

Selon un procédé et une énergie conventionnelle. Pour chacune des valeurs de teneur en eau

Considérée, on détermine la masse volumique sèche du sol et on établit la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau.

D'une manière générale, cette courbe appelée courbe Proctor présente une valeur maximale de la masse volumique sèche, elle est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. [21]

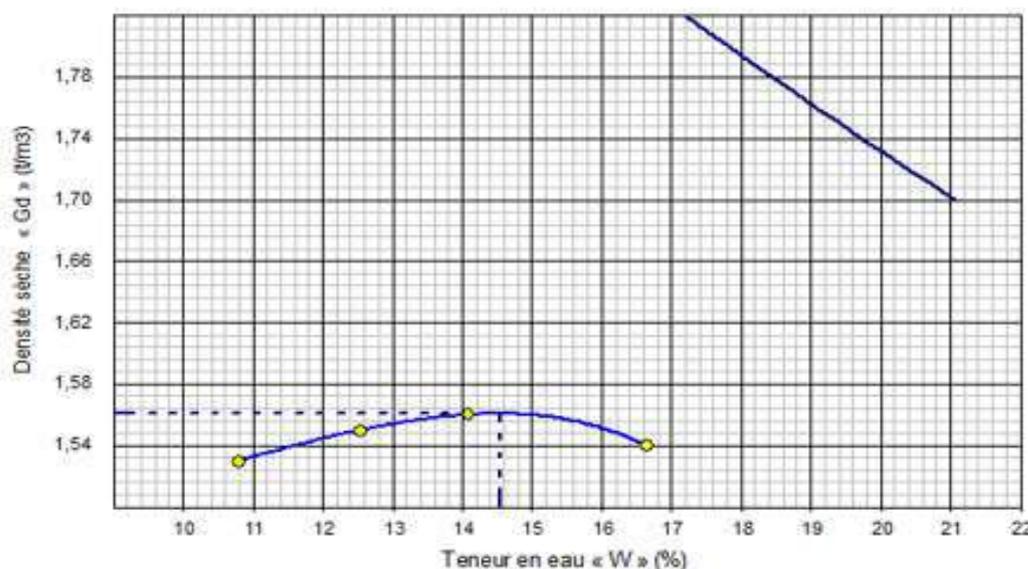


Figure II.3. Courbe Proctor modifié

- D'après de la courbe précédente, on trouve a la une teneur en eau optimale égale à 14,50%.
- Et la densité sèche maximale est de l'ordre de 1,56 g /cm<sup>3</sup>.

### II.2.6. L'essai CBR

Cet essai donne une mesure de la portance relative des sols par rapport à un sol type, constitué par des pierrailles concassées et compactées, extraites d'une carrière de Californie.

Les initiales CBR sont l'abréviation de **California Bearing Ratio**. L'indice portant californien CBR est le rapport, exprimé en % de la pression produisant un enfoncement donné au moyen d'un poinçon cylindrique normalisé (de section 19.32 cm<sup>2</sup>) se déplaçant à une vitesse déterminée (1.27 mm/min) et de la pression nécessaire pour enfoncer le même poinçon dans les mêmes conditions, dans un matériau type. [22]

- L'expression qui définit le CBR avec deux indices est la suivante :

$$\frac{\text{Effort de pénétration à 2,5mm d'enfoncement (kN)}}{13,35} \times 100$$

$$\frac{\text{Effort de pénétration à 5mm d'enfoncement (kN)}}{19,93} \times 100$$

**Essai immédiat IPI :** 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. [23]

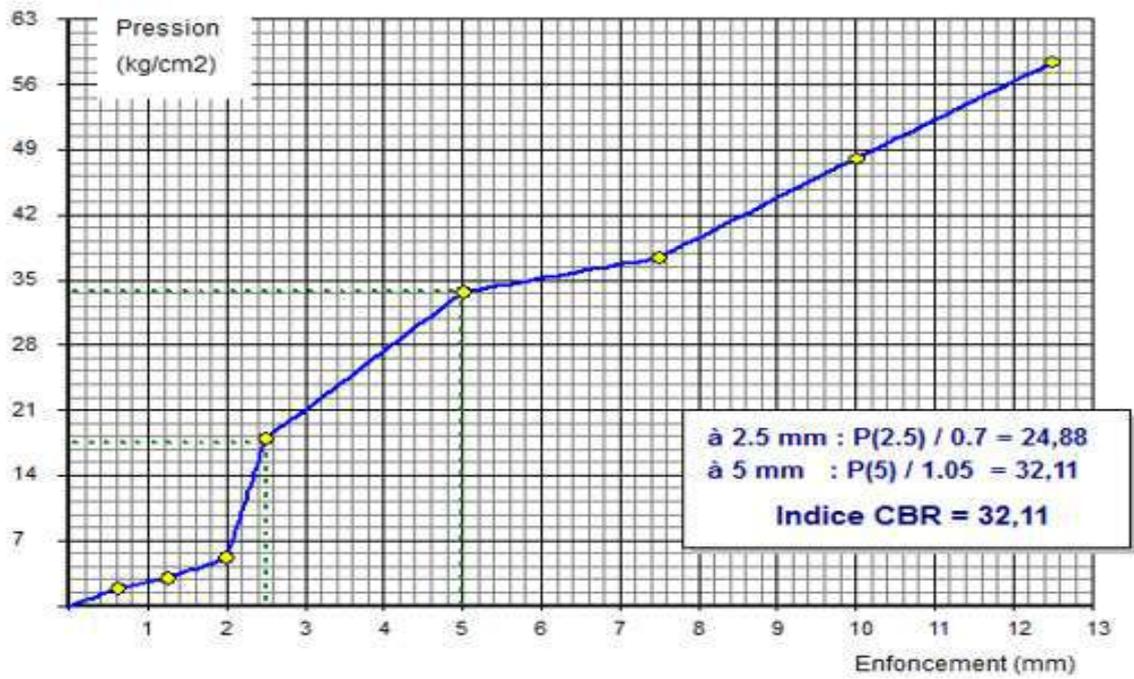


Figure II.4 : La courbe de la CBR immédiat

- D'après la courbe on trouve indice CBR, IPI= 32,11%

**Essai CBR imbibé :** après 4h dans l'eau on trouve les résultats suivants :

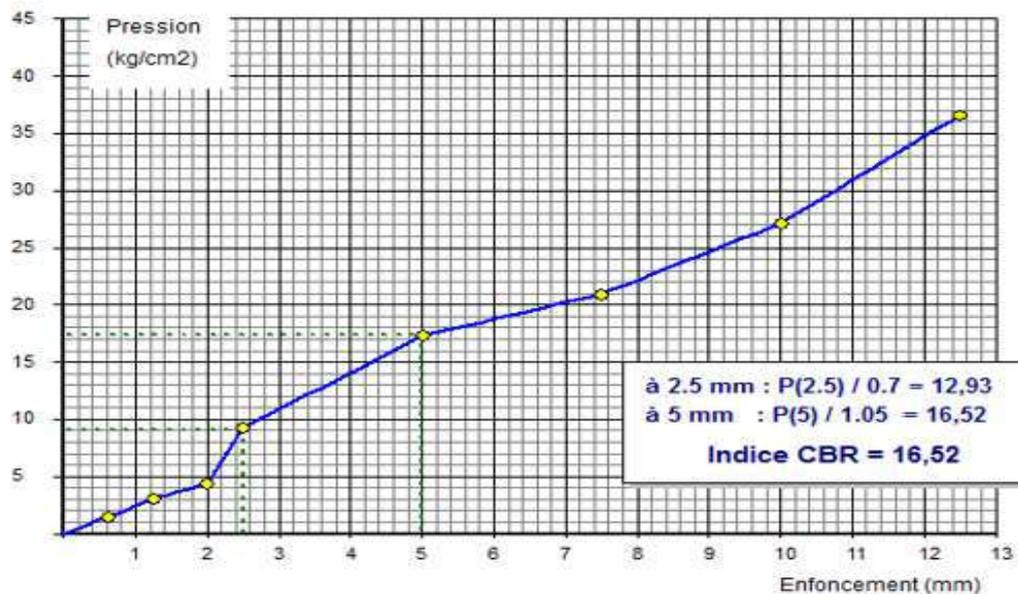


Figure II.5 : La courbe de la CBR imbibé

- D'après la courbe on trouve indice CBR Imbibé = 16,52%

### II.2.7. Compression simple

C'est un essai empirique, introduit pour les matériaux locaux pour la première fois par FENZY (1957) (cité par Alloul, 1981), il est réalisé sur tous les matériaux sahariens sur la fraction 5mm. Le compactage à l'OPM est effectué à la presse et les éprouvettes démoulées (5cm de diamètre et de 10 cm de hauteur) sont séchées, soit à l'étuve à 60°C pendant 48h, ou bien conservées à l'air libre. [24]

Le tuf gypseux est mélangé avec le pourcentage d'eau obtenu à partir du test Proctor, puis l'échantillon est placé dans un moule cylindrique d'un diamètre de base de 5 cm et d'une hauteur de 10 cm. Les échantillons sont placés à l'étuve pendant 24 heures puis broyés avec une presse à une vitesse de 1,27 mm / min.

- La courbe II-6 ci-dessous représente les résultats obtenus dans l'essai de résistance à la compression simple réalisée au Laboratoire des Travaux Publics du Sud à Ouagla

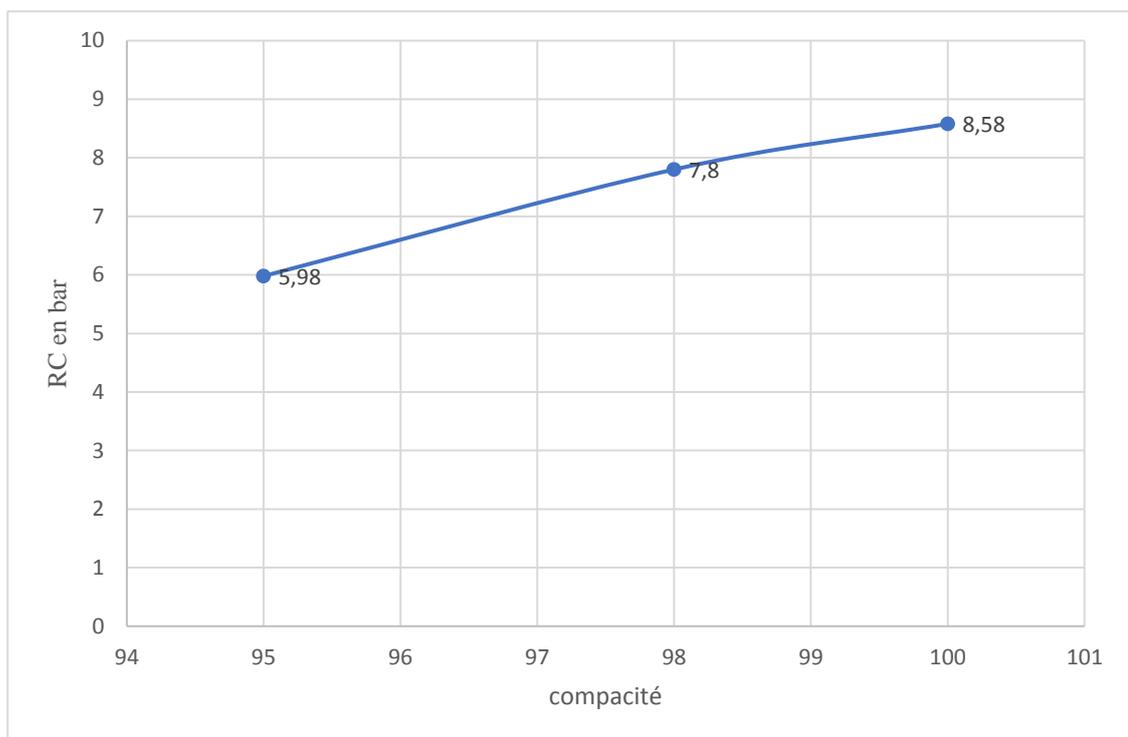


Figure II.6 Courbe Compression simple du tuf seul pour 1jour.

### II.3. Classification des matériaux GTR 92

L'utilisation des terres en remblai est d'abord directement liée à leur classification et à leur comportement lors de leur mise en place. Le GTR 92 (Guide des Terrassements Routiers, Réalisation des remblais et des couches de forme, LCPC, SETRA, 1992) et la norme qui en découle NF- P 11-300 (septembre 1992) proposent une classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières. Ils permettent de définir la classe du matériau à partir des résultats de plusieurs types d'essais. [25] (NF – P 11-300)

➤ La figure II-7 représente l'abaque de classification de tuf selon GTR,1992

Tableau II.3 synthèses des résultats de caractérisation de tuf

| Caractéristique                            | Valeur  |
|--------------------------------------------|---------|
| La masse volumique apparente ( $g/cm^3$ )  | 1.03    |
| Diamètre maximal (mm)                      | 50      |
| Éléments < 0.08 mm %                       | 24      |
| Élément < 2 mm %                           | 73      |
| La densité sèche maximale                  | 1.56    |
| La teneur en eau optimale (%)              | 14.5    |
| Indice portant immédiat (IPI)              | 32      |
| VBS                                        | 0.5     |
| SO <sub>3</sub> (%)                        | 35.04   |
| Insolubles (%)                             | 9.92    |
| SO <sub>4</sub> (%)                        | 4204.81 |
| CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O (mg/l) | 75.5    |
| CaCO <sub>3</sub> (%)                      | 9.69    |
| Cl <sup>-</sup> (mg/l)                     | 0.051   |

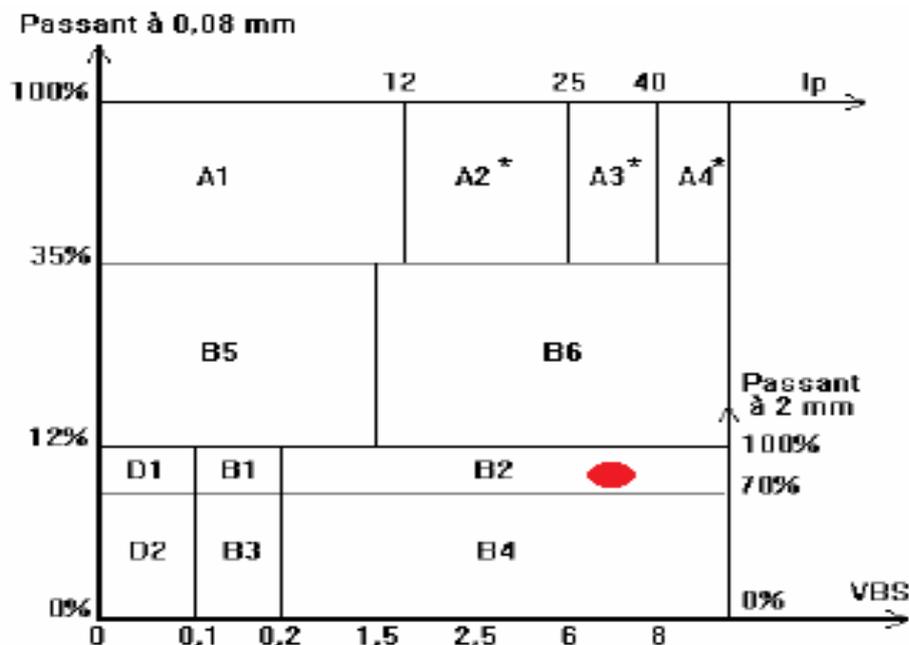


Figure II - 7 : Abaque de classification (GTR ,1992.)

**II.4. Essais de caractérisation sur la poudre de déchets de briques et la poudre de sable de dune**

**II.4.1. Essai Analyse chimique**

Tableau II - 4 : Résultats d'analyse chimique de la poudre de déchets de briques et sable de dunes.

|                                     | Insoluble (%) | Sulfates (%) |              |               | Carbonates de calcium CaCO3 (%) | Chlorure de sodium Cl- (mg) |
|-------------------------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------------------------|-----------------------------|
|                                     |               | SO3 (%)      | SO4 ((mg/l)) | CaSO42H2O (%) |                                 |                             |
| <b>Poudre de déchets de briques</b> | 77.17         | 2.74         | 329.24       | 5.91          | 0.94                            | 0.009                       |
| <b>Poudre sable de dunes</b>        | 89.5          | 3.21         | 385.21       | 6.92          | 2.47                            | 0.4                         |

**II.4.2. Essai de Masse volumique absolue**

La masse volumique absolue ps est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. [26]



Figure II – 8 Mode d’opération d’essai masse volumique absolue de poudre déchet de brique



Figure II – 9 : Mode d’opération d’essai masse volumique absolue de poudre sable de dune

Tableau II - 5 : Résultats Masse volumique absolue de la poudre de déchets de briques et sable de dunes

| Essai                     | A= Poids sec d'échantillon en air en (g) | B=Poids pycnomètre +d'eau en (g) | C= Poids pycnomètre +d'eau+ d'échantillon en (g) | $\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> ) |
|---------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|
| Déchets de briques broyer | 300                                      | 1877                             | 2057.2                                           | 2.50                          |
| Sable de dune broyer      | 300                                      | 1877.1                           | 2.663                                            | 2.70                          |

II.4.3. Essai de la Masse volumique apparente

➤ Mode d'opération

- Prélevez un échantillon de poudre de sable de la dune sec, puis mettez-le dans un récipient par entonnoir.
- Utilisez une règle pour niveler la surface.
- Peser un conteneur ensemble calculer la masse volumétrique apparente :  $\rho_a = M/\text{Poids de moule}$ .
- Et répétez le processus trois fois.
- La même opération avec la poudre déchet de briques.



Figure II – 10 Mode d'opération d'essai

Tableau II - 6 : Résultats Masse volumique apparente de la poudre de déchets de briques et sable de dunes

|                           | Essai  | M (g)  | Poids de moule (cm <sup>3</sup> ) | $\rho_a$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | Moyenne |
|---------------------------|--------|--------|-----------------------------------|--------------------------------|---------|
| Déchets de briques broyer | Essai1 | 994.7  | 1000                              | 0.9947                         | 0.9994  |
|                           | Essai2 | 1003.4 | 1000                              | 1.0034                         |         |
|                           | Essai3 | 1000.3 | 1000                              | 1.0003                         |         |
| Sable de dune broyer      | Essai1 | 1298.3 | 1000                              | 1.2983                         | 1.2737  |
|                           | Essai2 | 1261.7 | 1000                              | 1.2617                         |         |
|                           | Essai3 | 1261.1 | 1000                              | 1.2611                         |         |

### II.4.4. Essai analyses granulométrique des sols par sédimentation (norme NF P 94-056)

L'analyse granulométrique par sédimentation, appelée aussi sédiment métrie, est un essai géotechnique qui complète l'analyse granulométrique par tamisage d'un sol. S'applique aux éléments d'un sol naturel passant à travers le tamis a maille carrée de 80  $\mu\text{m}$  d'ouverture. Les particules inférieures à 1  $\mu\text{m}$  ne peuvent être différenciées par cet essai. [27]



Figure II – 11 Mode d'opération d'essai granulométrique par sédimentation

Tableau II - 7 : Résultats d'essai granulométrique par sédimentation de sable de dune broyé

| Sable de dunes broyé |      |                            |             |                                |                           |                                  |                                   |
|----------------------|------|----------------------------|-------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Temps de lecture     |      | R<br>Lecture de densimètre | Température | Correction de température<br>C | Lecture corrigée ou (R-C) | Pourcentage des particules<br>P% | Diamètre des particules<br>D (Um) |
| H                    | Min  |                            |             |                                |                           |                                  |                                   |
| -                    | 30   | 12.0                       | 20          | 0                              | 12.0                      | 100                              | 0.0750                            |
| -                    | 1    | 10.0                       | 20          | 0                              | 10.0                      | 83                               | 0.0550                            |
| -                    | 2    | 7.0                        | 20          | 0                              | 7.0                       | 58                               | 0.0380                            |
| -                    | 5    | 7.0                        | 20          | 0                              | 7.0                       | 58                               | 0.0250                            |
| -                    | 10   | 6.0                        | 20          | 0                              | 6.0                       | 50                               | 0.0170                            |
| -                    | 20   | 4                          | 20          | 0                              | 4.0                       | 33                               | 0.0120                            |
| -                    | 40   | 0                          | 20          | 0                              | 0.0                       | 0                                | 0.0080                            |
| 1                    | 80   |                            |             |                                |                           |                                  | 0.0060                            |
| 4                    | 160  |                            |             |                                |                           |                                  | 0.0040                            |
| 6                    | 320  |                            |             |                                |                           |                                  | 0.0030                            |
| 24                   | 1440 |                            |             |                                |                           |                                  | 0.0020                            |
| 48                   | 2880 |                            |             |                                |                           |                                  | 0.0010                            |
| 72                   | 4320 |                            |             |                                |                           |                                  | 0.0005                            |

Tableau II - 8 : Résultats d'essai granulométrique des sols méthode par sédimentation de déchet de brique

| Déchets de briques broyé |      |                            |             |                                |                           |                               |                                |
|--------------------------|------|----------------------------|-------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Temps de lecture         |      | R<br>Lecture de densimètre | Température | Correction de température<br>C | Lecture corrigée ou (R-C) | Pourcentage des particules P% | Diamètre des particules D (Um) |
| h                        | Min  |                            |             |                                |                           |                               |                                |
| -                        | 30   | 18.0                       | 22          | 0.38                           | 18.38                     | 100                           | 0.0750                         |
| -                        | 1    | 16.0                       | 22          | 0.38                           | 16.38                     | 89                            | 0.0550                         |
| -                        | 2    | 12.0                       | 22          | 0.38                           | 12.38                     | 67                            | 0.0380                         |
| -                        | 5    | 7.0                        | 22          | 0.38                           | 7.38                      | 40                            | 0.0250                         |
| -                        | 10   | 4.0                        | 22          | 0.38                           | 4.38                      | 24                            | 0.0170                         |
| -                        | 20   | 4.0                        | 22          | 0.38                           | 4.38                      | 24                            | 0.0120                         |
| -                        | 40   | 3                          | 22          | 0.38                           | 3.38                      | 18                            | 0.0080                         |
| 1                        | 80   | 3                          | 22          | 0.38                           | 3.38                      | 18                            | 0.0060                         |
| 4                        | 160  | 0                          | 20          | 0                              | 0                         | 0                             | 0.0040                         |
| 6                        | 320  |                            |             |                                |                           |                               | 0.0030                         |
| 24                       | 1440 |                            |             |                                |                           |                               | 0.0020                         |
| 48                       | 2880 |                            |             |                                |                           |                               | 0.0010                         |
| 72                       | 4320 |                            |             |                                |                           |                               | 0.0005                         |

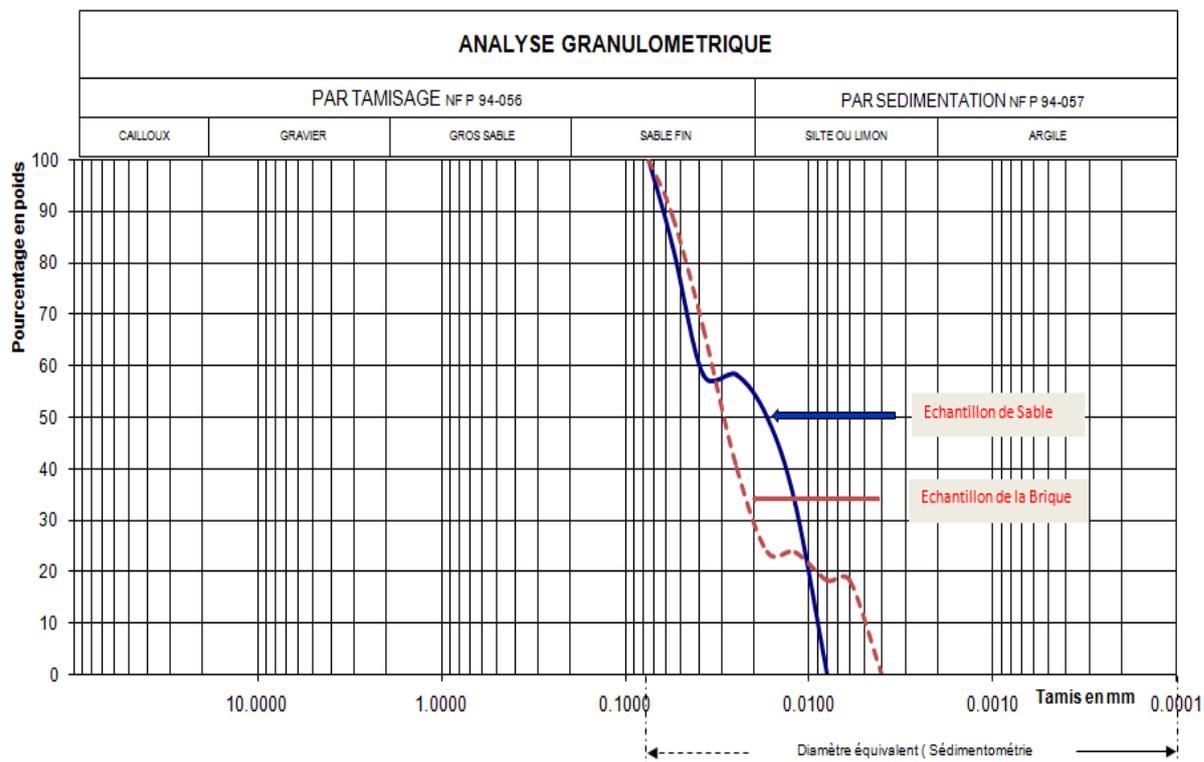


Figure II – 12 courbes des résultats d'essai granulométrique par sédimentation de déchet de brique broyé et sable de dune broyé

### II.4.5. L'essai de surface spécifique Blaine (EN 196-6)

Le test de surface spécifique molle est une méthode de mesure de la finesse du ciment, qui détermine la surface totale disponible pour que le ciment réagisse chimiquement. Cette mesure est importante car elle est directement liée à la résistance du ciment, plus la valeur est élevée, plus la finesse du ciment est élevée.

Dans ce cas, ont réalisé ce test sur la poudre de déchets de brique et la poudre du sable de dunes, après avoir tamisé les matériaux et rendu leur texture proche du ciment.

#### II.4.5.1. Description de l'essai

Cette méthode consiste à mesurer le temps mis par un volume d'air donné pour traverser un échantillon. En calculant la durée que met un gaz sous pression à traverser un volume donné de granules, on peut déduire la surface des granules. Plus le broyage est fin, plus la surface calculée est importante.

La base théorique est le modèle des écoulements des fluides à travers les milieux poreux, à savoir la loi de Darcy et la loi de Kozeny-Carman.

#### II.4.5.2. Résultat d'essai

Après avoir effectué ce test, obtenu les résultats suivants :

- Surface spécifique blaine de poudre de déchet de brique : 3400cm<sup>2</sup>/g
- Surface spécifique blaine de poudre du sable de dunes : 3300cm<sup>2</sup>/g



Figure II – 13 L'appareil utilisé sur l'essai SSB.

### II.5. La chaux

La chaux utilisée dans cette étude provient de Saida. Qui se caractérise par une faible concentration en éléments oxydes tels que les silicates SiO<sub>2</sub> et les aluminates Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et une forte concentration en éléments basiques tels que la chaux libre CaO. Le tableau suivant résume les caractéristiques mécaniques et physiques de la chaux utilisé.

Tableau II –9Propriétés physiques et chimiques de la chaux de Saida [28]

| Caractéristique                               | Valeur               |
|-----------------------------------------------|----------------------|
| Apparence physique                            | Poudre blanche sèche |
| Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )  | 2.2_ 2.4             |
| Masse volumique apparente(g/cm <sup>3</sup> ) | 0.5_0.65             |
| Surface spécifique (cm <sup>2</sup> /g)       | 8000_12000           |
| CaO (%)                                       | > 73,3               |
| MgO (%)                                       | <0,5                 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)            | < 2                  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)            | < 1,5                |
| SiO <sub>2</sub> (%)                          | < 2,5                |
| SO <sub>3</sub> (%)                           | < 0,5                |
| Na <sub>2</sub> O (%)                         | 0,4 – 0,5            |
| CO <sub>2</sub> (%)                           | < 5                  |
| CaCO <sub>3</sub> (%)                         | < 10                 |
| Densité spécifique                            | 2                    |
| Plus de 90 µm (%)                             | < 5                  |
| Plus de 630 µm (%)                            | 0                    |
| Matériau insoluble (%)                        | < 1                  |
| Densité apparente (g/l)                       | 600-900              |

### II.6. Conclusion

D'après les résultats obtenus pour déterminer l'identité du tuf, on trouvé du tuf de catégorie b2 selon le GTR 92, c'est-à-dire du sable argileux. A partir de celle-ci, il faut trouver des solutions pour améliorer ses propriétés mécaniques en la traitant par des additifs tels que le déchet de brique ou la poudre de sable de dune.

---

# **Chapitre III**

## **Résultats et discussion**

---

### III.1. Introduction

Dans ce chapitre, on parle de résistance, en particulier de résistance à la compression des mélanges tuf et poudre déchet de brique et poudre sable de dune traitée par la chaux, et cela dépend d'un changement de mode de préparation, de mode de conservation, et de la sensibilité de l'eau.

### III.2. Méthodologie de l'étude expérimentale

Après avoir préparé des mélanges des formulations ci-dessous (tableau III - 1), on fabrique des éprouvettes cylindriques avec un diamètre de 5cm et une hauteur de 10cm

Tableau III - 1 : différentes formulations élaborées

|                                      | TC0B0S0 | TC4B0S0 | TC4B15S0 | TC4B10S5 | TC4B5S10 | TC4B0S15 |
|--------------------------------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Tuf %</b>                         | 100     | 96      | 81       | 81       | 81       | 81       |
| <b>La chaux %</b>                    | 0       | 4       | 4        | 4        | 4        | 4        |
| <b>Poudre de déchets de brique %</b> | 0       | 0       | 15       | 10       | 5        | 0        |
| <b>Poudre du sable de dunes %</b>    | 0       | 0       | 0        | 5        | 10       | 15       |

- La résistance des différentes formulations sera étudiée selon : l'âge (7j, 28j, 60j) ont été observées en étudiant :
- L'effet par rapport l'âge
  - L'effet du mode de conservation
  - L'effet de la méthode de confection des éprouvettes
  - La sensibilité à l'eau

#### III.2.1. Mode conservation des éprouvettes

Le tableau ci-dessous présente des modes de conservation choisis :

Tableau III - 2 : Modes Conservation

| Modes conservation | Définition                                                                                                                            |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Mode 1</b>      | Dans les conditions climatiques de laboratoire entre (25 et 35°C) et une humidité entre (10 et 25°C), pendant toute la durée retenue. |
| <b>Mode 2</b>      | Les éprouvettes sont confinées dans des sachets plastiques                                                                            |
| <b>Mode 3</b>      | Les éprouvettes soumises à un séchage accéléré à 65° dans l'étuve pendant 24h                                                         |

### III.2.2. L'effet de la méthode de confection des éprouvettes

Le tableau ci-dessous montre la méthode de confection des éprouvettes :

**Tableau III - 3 : méthode des confections des éprouvettes**

|                   |                                                                                                                                                              |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Méthode 01</b> | mélanger tous les matériaux en sec puis on ajoute l'eau,                                                                                                     |
| <b>Méthode 02</b> | On prépare un mélange fluide d'eau et de la chaux afin de s'assurer que tous les grains de la chaux ont atteint l'eau, puis on ajoute le mélange Tuf-PDB-PSD |

### III.2.3. Sensibilité à l'eau

On sait que le tuf se dissout dans l'eau, il faut donc prendre les mesures nécessaires pour éviter cette catastrophe, en ajoutant quelques matériaux pour le traiter.

Dans ce cas, on va le traiter en ajoutant des déchets de briques, de la poudre de sable et de la chaux, puis on le plonger dans l'eau pendant 4 jours après la fin de la période de 28 jours

## III.3. Résultats et discussion

### III.3.1. Résistance à la compression (Rc)

Il s'agit d'un essai expérimental réalisé sur des échantillons cylindriques écrasés par un presse à une vitesse de 1,27 mm/min. Il a été appliqué pour la première fois par FENZY (1957) figure III - 1



**Figure III - 1 : Une éprouvette de compression pendant l'écrasement**

**A- L'évolution de résistance à la compression des différents mélanges en fonction d'âge sous l'effet du mode de conservation et la méthode de confection**

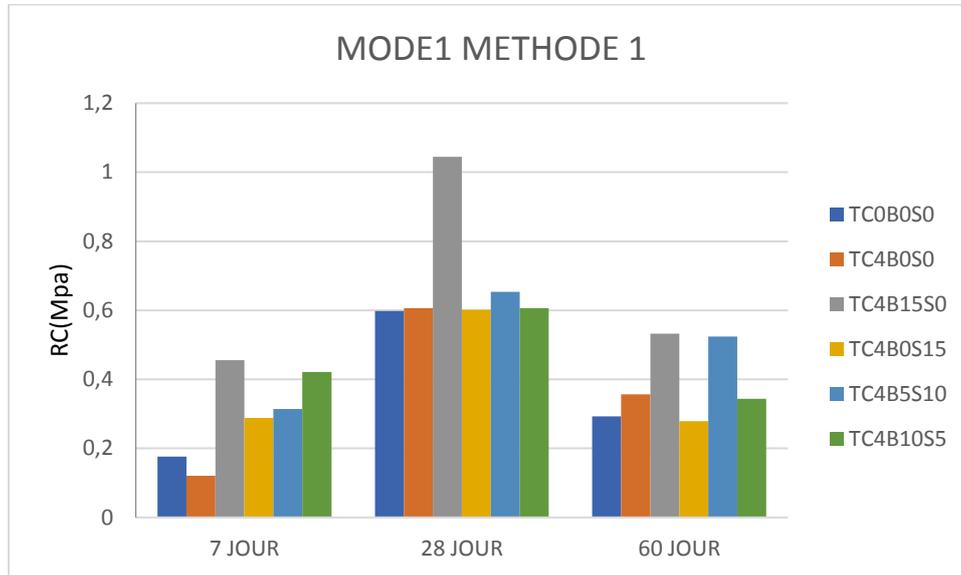


Figure III-2 : La résistance à la compression des mélanges en fonction d'âge sous l'effet du mode1/méthode1.

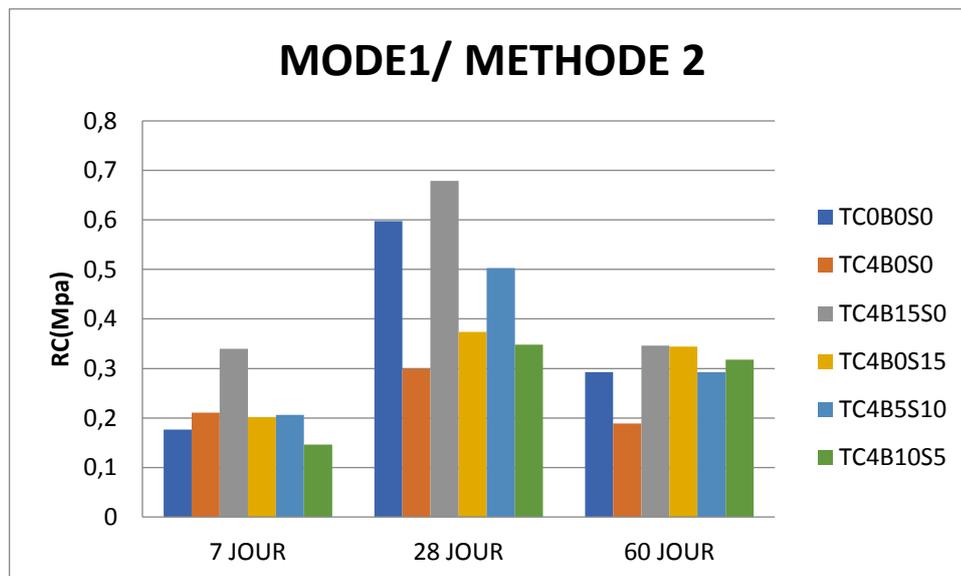


Figure III-3 : La résistance à la compression des mélanges en fonction d'âge sous l'effet du mode1/méthode2.

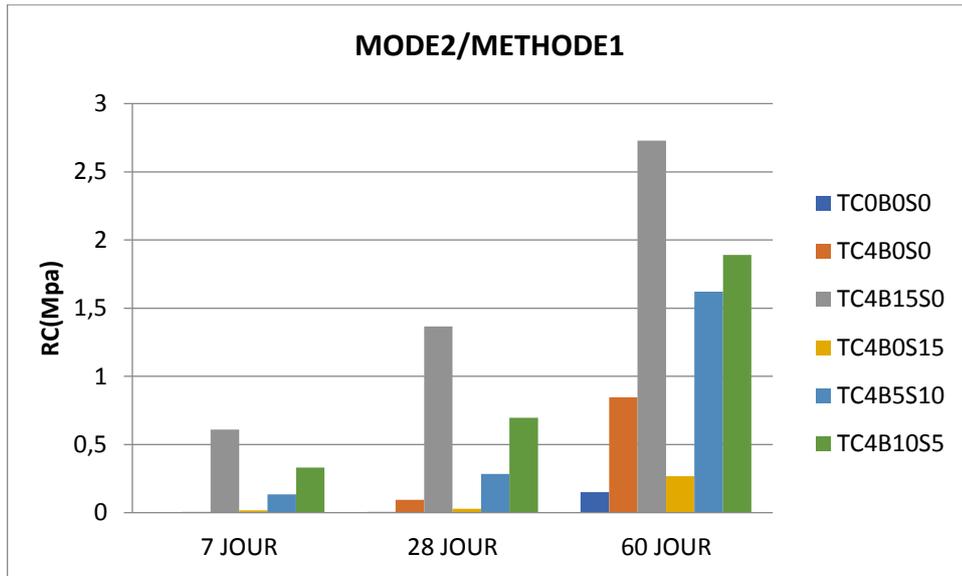


Figure III-4 : La résistance à la compression des mélanges en fonction d'âge sous l'effet du mode2/méthode1.

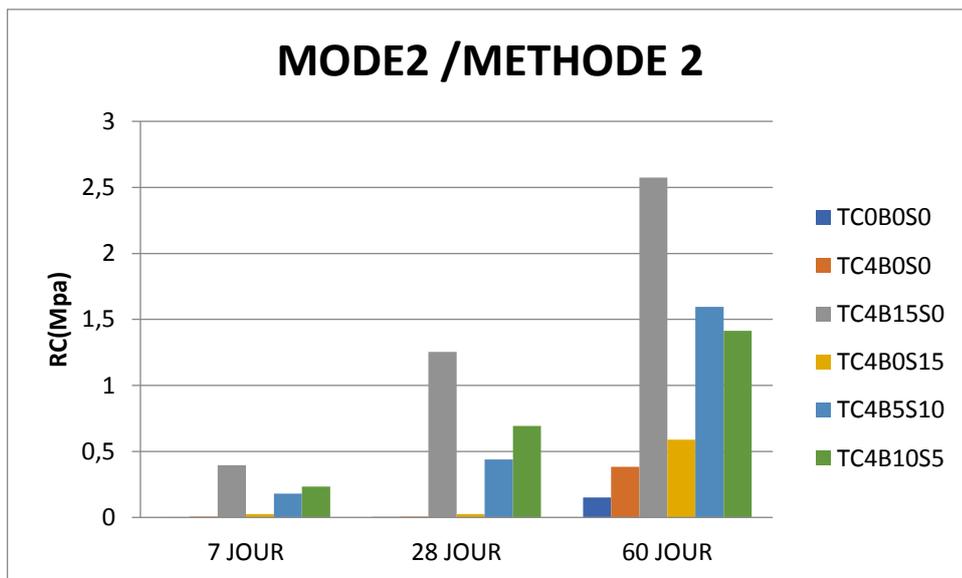


Figure III-5 : La résistance à la compression des mélanges en fonction d'âge sous l'effet du mode2/méthode2.

- ❖ Les figures III-2, III-3, III-4, III-5 représentent de l'évolution de la résistance à la compression des différents mélanges en fonction d'âge pour les modes (1 et 2) de conservation et les méthodes de préparation des mélanges adoptés.
- ❖ Globalement les résultats montrent l'amélioration de la résistance à la compression des différents mélanges par rapport au tuf seul.

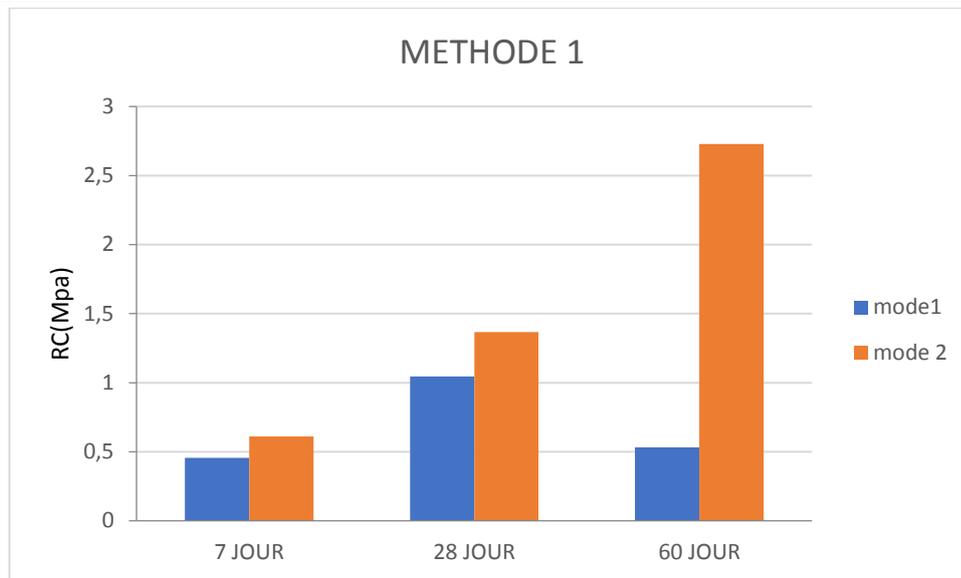
- Pour le mode1 :
  - La meilleure résistance à la compression a été enregistrée à 28 jours pour tous les mélanges, ou elle a atteint la valeur maximale lors de l'ajout de 15% de poudre de déchets de brique (TC4B15S0), et ceci pour les deux méthodes de confection.
  - A 60 jours on constate une diminution de la résistance à la compression due à l'évaporation rapide de l'eau, qui est un facteur important pour la réaction entre les grains du mélange et la chaux, qui permet la cohésion entre eux.
- Pour le mode2 :
  - La meilleure résistance à la compression a été enregistrée à 60 jours pour tous les mélanges, ou elle a atteint la valeur maximale lors de l'ajout de 15% de poudre de déchets de brique (TC4B15S0), et ceci pour les deux méthodes de confection.
  - L'augmentation de la résistance à la compression en fonction d'âge pour ce mode due à la lente évaporation de l'eau, qui a favorisé la réaction entre la plus grande quantité possible des grains du mélange et la chaux, qui permet une cohésion entre les grains.

## **B- L'effet du mode de conservation et la méthode de confection des éprouvettes**

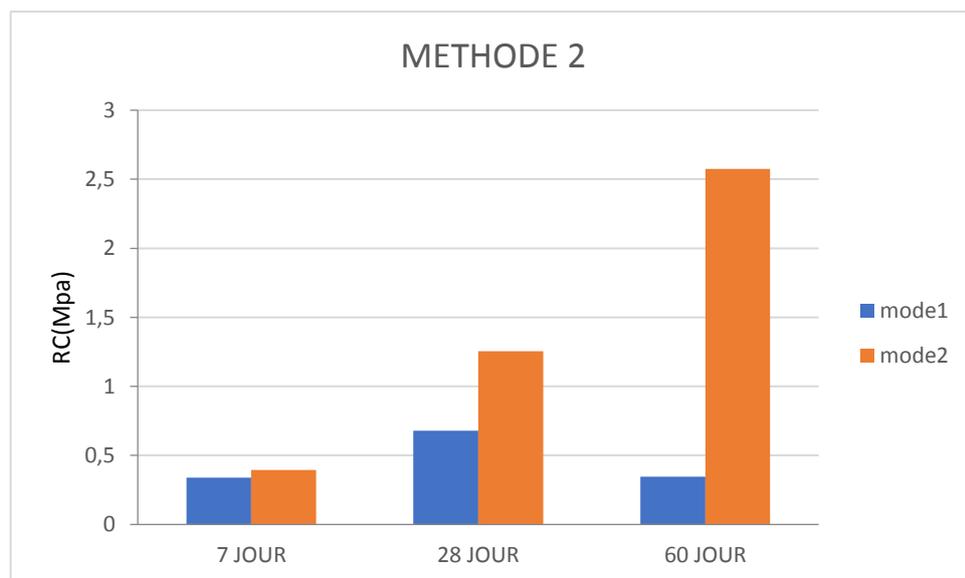
Afin d'étudier le rôle du mode de conservation et la méthode de confection des éprouvettes dans l'évolution de la résistance à la compression, on pris le mélange TC4B15S0 qui a enregistré les meilleures résistances à la compression comme échantillon d'étude.

### **B-1 : L'effet du mode de conservation**

Afin d'étudier le rôle du mode de conservation e sur l'évolution de la résistance à la compression, on pris le mélange TC4B15S0 qui a enregistré les meilleures résistances à la compression comme échantillon d'étude.



**Figure III-6 : l'évolution de la résistance à la compression du mélange TC4B15S0 sous l'effet du mode de conservation pour la méthode 1**



**Figure III-7 : l'évolution de la résistance à la compression du mélange TC4B15S0 sous l'effet du mode de conservation pour la méthode 2**

- Les figures III-6 et III-7 montre clairement l'effet du mode de conservation sur la résistance à la compression, en fournissant des conditions importantes pour la réaction entre les grains du mélange et la chaux.
- On observons que la conservation des éprouvettes selon le mode 2 donne une meilleure résistance à la compression par rapport au mode 1, avec une augmentation en fonction d'âge, et cela est dû à la tente évaporation de l'eau, ce qui favorise la réaction entre les grains du mélange et la chaux formant une cohésion ce qui conduit à une augmentation de la résistance à la compression.

### B.2- : L'effet de séchage accéléré

- Les éprouvettes sont conservées pendant 24h dans l'étuve à 65°C
- La figure III-7 montre les résultats de la résistance à la compression selon les méthodes de confection 1 et 2.

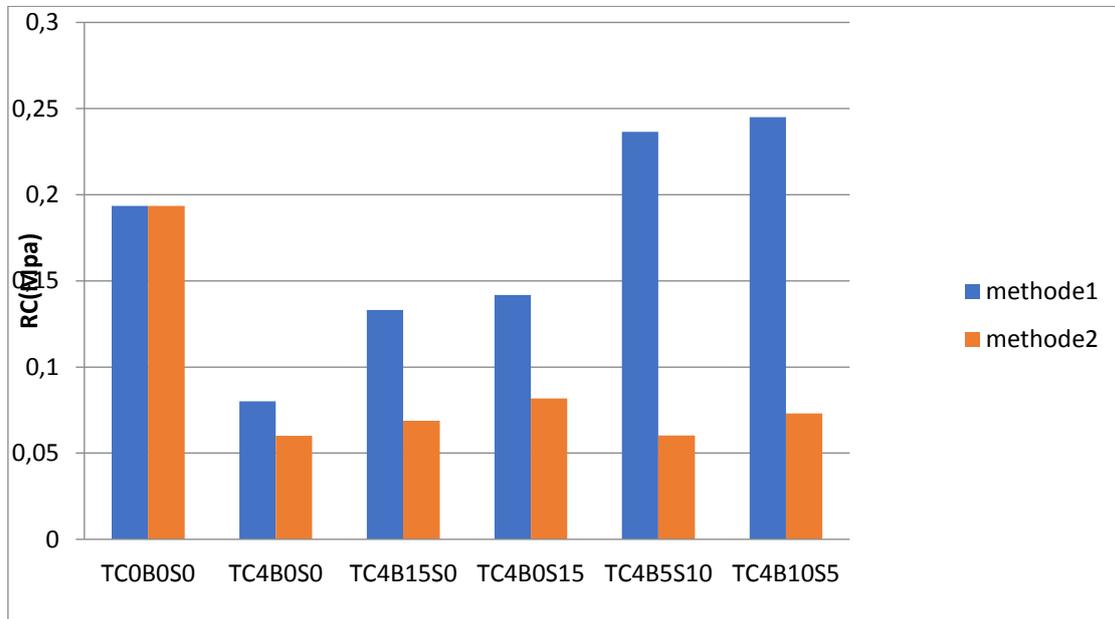


Figure III-8 : la résistance à la compression des mélanges selon les méthodes 1 et 2 en séchage accéléré.

- à travers la figure III-8 on observe que :

#### A- selon la méthode 1

- le tuf seule traité à la chaux donne la moindre résistance à la compression par rapport au tuf seul ou par rapport au mélanges qui contiennent différents ajouts de poudre des déchets de brique et de sable de dunes, ceci est dû à l'évaporation trop rapide de l'eau, qui limite considérablement la réaction entre les grains des mélanges et la chaux, entraînant une diminution de la cohésion du mélange et par suite une diminution de la résistance à la compression.
- Les deux mélanges TC4B10S5 et TC4B5S10 ont enregistré les valeurs de la résistance à la compression les plus élevées par rapport au tuf seul et au mélange TC4B15S0, et du fait de l'évaporation rapide de l'eau, qui réduit considérablement la réaction entre les grains du mélange et la chaux, l'interprétation de cette augmentation de la résistance à la compression des mélanges TC4B10S5 et TC4B5S10 par rapport au autre, revient peut être à la forme des grains et la manière dont elles sont positionnées les unes sur les autres.

## B- Selon la méthode2

- les valeurs de la résistance à la compression dans la méthode 2 sont presque similaires pour tous les mélanges, en plus ces valeurs son relativement faibles par rapport au tuf seul Et cela dû au fait que l'eau n'atteint pas bien les grains du mélange en raison de son mélange d'abord avec la chaux (hydratation) puis de son évaporation rapide.

## B-3 : l'effet de la méthode de confection des éprouvettes

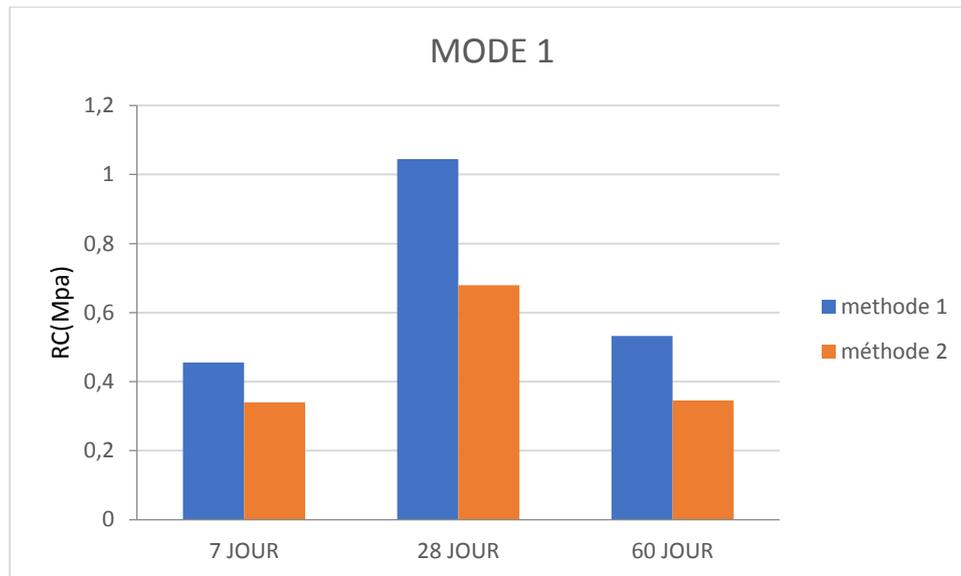


Figure III-9 : l'évolution de la résistance à la compression du mélange TC4B15S0 sous l'effet de la méthode de confection des éprouvettes au mode1

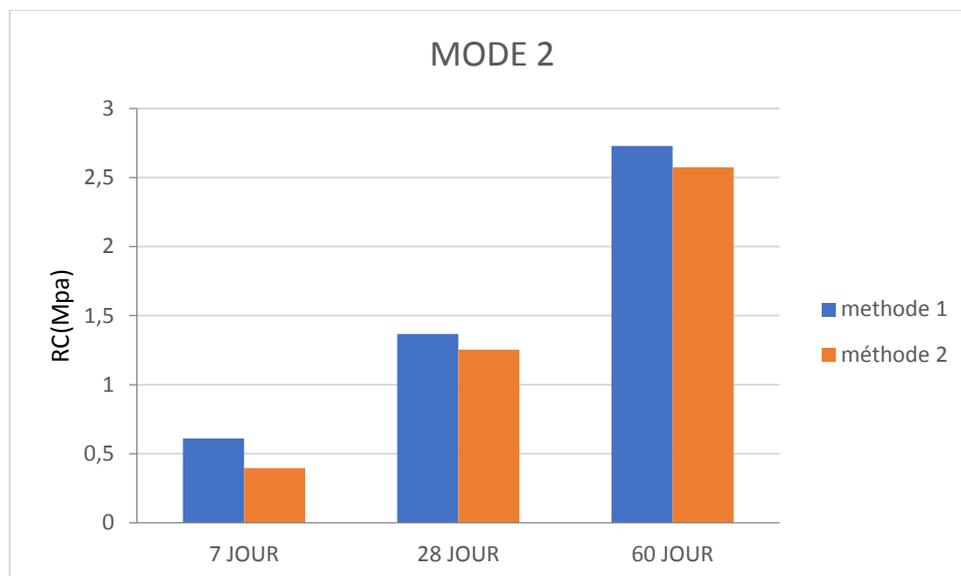


Figure III-10 : l'évolution de la résistance à la compression du mélange TC4B15S0 sous l'effet de la méthode de confection des éprouvettes au mode2

- A travers les figures III-9 et III-10, remarquer un écart de la résistance à la compression entre les méthode 1 et 2 , cela indique que la méthode de préparation des éprouvettes joue un rôle dans l'augmentation ou la diminution de la résistance à la compression.
- L'enregistrement d'une plus grande résistance à la compression pour la méthode 1 dû au fait qu'une grande quantité d'eau a atteint les différents grains du mélange en même temps, cela permet des réactions entre les grains du mélange et la chaux formant des liaisons qui augmente en suite la résistance à la compression.
- Par contre au méthode 2 la plus grande quantité d'eau a réagi avec la chaux ce qui limite en suite la réaction entre les grains du mélange et la chaux qui a réagi déjà avec l'eau.

### C- Sensibilité à l'eau

- La figure représente la résistance à la compression des échantillons 28 jours après leur mise en eau pendant 4 jours, selon le mode de conservation et la méthode de confection



**Figure III-11** : Des éprouvettes de compression des mélanges après 28 j+04j d'immersion dans l'eau Mode 01 et mode 2 méthode 01



**Figure III-12** : Des éprouvettes de compression des mélanges après 28 j+04j d'immersion dans l'eau Mode 01 et mode 2 méthode 02

- La sensibilité à l'eau de différentes formulations est étudiée après 28 jours de conservation + 4 jours d'immersion dans l'eau.
- L'évaluation de la sensibilité à l'eau de différentes formulations traduit par la résistance à la compression.

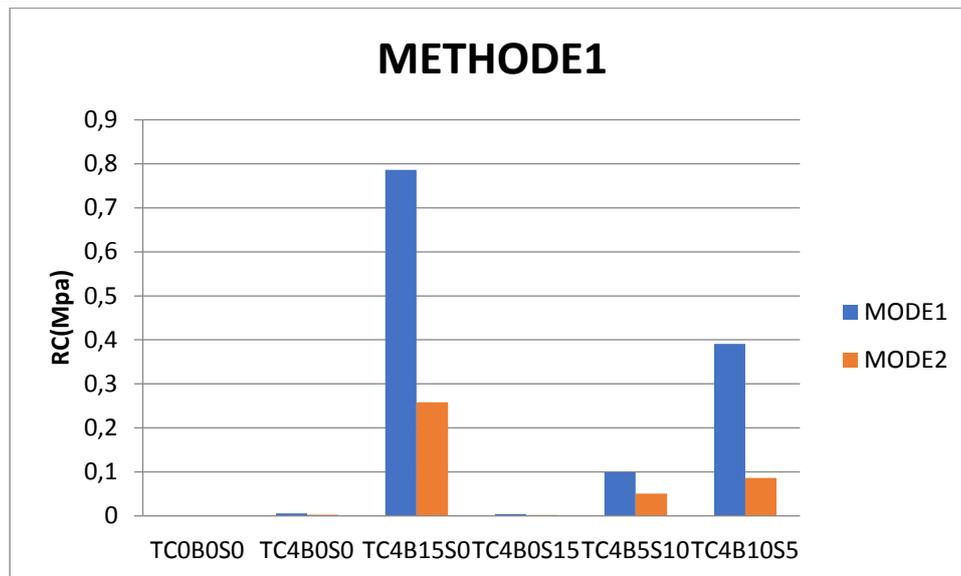


Figure III-13 : la résistance à la compression des mélanges après 28 jours de conservation + 4jour dans l'eau (méthode1)

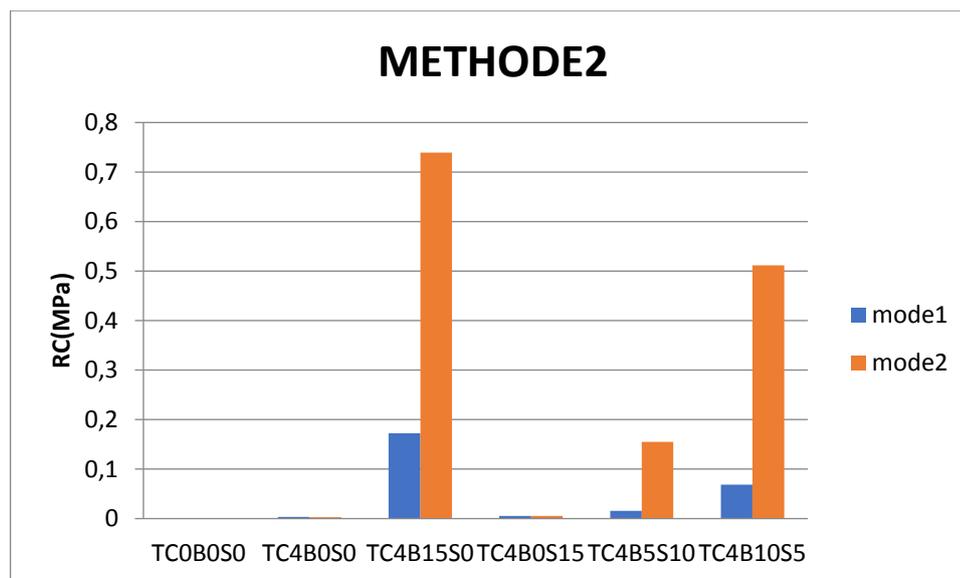


Figure III-14 : la résistance à la compression des mélanges après 28 jours de conservation + 4jour dans l'eau (méthode 2)

- Les éprouvettes préparées à partir du tuf seul (non traité) étaient effondrées après quelque minute d'immersion dans l'eau.
- Les figures III-13 et III-14 montrent que les éprouvettes confectionnées à partir du tuf seul traité à la chaux (TC4B0S0) et du tuf + l'ajout du 15% de la poudre du sable de dunes et traité à la chaux (TC4B0S15) selon la méthode1 et2, présentaient une résistance négligeable après 4 jours d'immersion dans l'eau.

- les éprouvettes des mélanges TC4B5S10 , TC4B10S5 ,TC4B15S0 restent intactes et donnent des résistances à la compression variable d'un mélange à l'autre, où plus le pourcentage de poudre de déchets de brique élevé plus la résistance à la compression élevée.
- La méthode de confection des éprouvettes et le mode de conservation jouent un rôle important sur la sensibilité à l'eau des mélanges, alors que pour la méthode 1 , on constate que le mode1 donne une résistances à la compression plus élevée que celle du mode2 ,ceci est dû au fait que l'eau qui a atteint les différents grains des mélanges s'évapore rapidement et se traduit donc par une réaction rapide entre les grains des mélanges et la chaux et cela entraîne une augmentation de la résistance à la compression à court terme (28 jours).

Cependant pour la méthode 2 remarquer le contraire, car le mode 2 donne une résistance à la compression plus élevée que celle du mode 1, et ceci est dû au fait que dans le mode2 l'eau s'évapore lentement cela permet aux grains du mélange d'interagir avec la chaux ce qui n'est pas produit pour le mode 1 en raison de l'évaporation rapide de l'eau.

### III .4. Conclusion

Les résultats obtenus dans la résistance de compression permettent de conclure ce qui suit :

- Les échantillons placés dans des sacs plastiques (mode 2) pendant les périodes de temps de 7 jours, 28 jours et 60 jours ont enregistré une résistance élevée, ce qui indique l'importance et la nécessité de l'eau pour compléter la réaction entre la chaux et la brique.
- La meilleure méthode de préparation a été enregistrée, qui est la première méthode, où l'échantillon qui a enregistré la plus grande résistance à la pression est 15% de déchets de briques (TC4B15S0) en mode 2 et dans la première méthode à 60 jours d'âge.
- Le mode de stockage et de préparation a un rôle important dans la résistance à la pression des échantillons.
- Cette étude révèle que l'on peut pallier les points noirs du tuf qui résident dans la perte totale de cohésion au contact de l'eau, en l'améliorant par l'ajout de chaux en poudre et de déchets de briques.

---

# **Conclusion Générale**

---

### CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail est de valoriser des radiers enduits à faible propriétés mécaniques et de recycler les déchets de briques et de dunes de sable sous forme de poudre, dans le but de les utiliser dans la construction désertique.

L'étude s'est concentrée sur l'examen de l'évolution de la résistance à la compression des mélange argileux et des déchets de brique traitée à la chaux et de poudre de sable avec l'âge en jouant sur le mode de préparation. D'où la sensibilité des mélanges à l'eau.

Les essais d'analyses chimiques menés sur le tuf ont montré qu'il est de nature gypseuse selon la classification du GTR92, appartient à la classe B2, qui est considérée comme une argile sableuse du point de vue des performances mécaniques, le tuf a un niveau élevé (IPI = 32,11) et une faible résistance à la compression qui ne dépasse pas 1 MPA.

Le fait de mélanger du tuf avec de la poudre de brique et du sable, en plus du traitement à la chaux, permet de conclure ce qui suit :

- ✓ La meilleure résistance à la compression a été enregistrée pour 15 % de déchets de briques TC4B15S0 en mode 2 et en Méthode 1 à 60 jours d'âge.
- ✓ La résistance à la pression d'échantillons de différents mélanges, soumis à des conditions de laboratoire à une certaine diminution de résistance due à la perte d'eau, apparait contrairement à ce qui restait dans des sacs en plastique à haute résistance, ce qui indique l'importance de l'eau dans la bonne interaction avec la chaux.
- ✓ Une étude de sensibilité à l'eau révèle que l'ajout de poudre de déchets de briques au tuf permet de s'affranchir du problème de perte totale de cohésion du tuf lorsqu'il est utilisé seul.

Après les résultats de cette étude et d'après les spécifications de struillon et alloul 1981, conclu que :

- ✓ Le tuf après traitement par l'ajout de 15% de déchets de brique broyé et 4% de la Chaux peut adopter dans les couches de base pour les routes ayant une circulation < 130 de poids lourd par jour, et dans les couches de fondation ayant une circulation entre 300-600 de poid lourd par jour, sache que ce tuf avant son traitement il est déconseillé de l'utiliser du fait de ses faible propriétés mécaniques et géotechnique

---

## **Références bibliographiques**

---

## Référence bibliographique

---

- [1]. KHELLOU. Abd, Thèse Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences, Contribution à l'étude du comportement des matériaux gypso-calcaires de la région d'Ouargla en vue d'une utilisation en construction routière p 5,7,8.
- [2]. Wikipédia : « Glossaire géomorphologique thématique illustré » (consulté le 21 mai 2011).
- [3]. **Akacem Mustapha (2008)** : « Contribution à l'étude de la stabilisation auxliants hydraulique des tufs de région d'Adrar ». Mémoire de Magister, Université Mouhamed Boudiaf-Oran.
- [4]. Ce LIVRET " Le tuf des rivières des Causses du Quercy", Collection "Découvrir"édité par Le Parc naturel régional des Causses du Quercy, a été rédigé en collaboration avec le Syndicat Mixte du Bassin de la Rance et du Célé. Une collectivité au service des usagers, de la ressource en eau et des milieux aquatiques.
- [5]. Khalili Khadidja (2016) : « Caractérisation mécanique d'un mélange : Tuf + sable de dunes ». Mémoire de magister, Université Colonel Ahmed Draia D'adras p 3,4,5,6,11,12,13,14,15.
- [6]. OMRANI SADEK et ZITOUT NOUREDDINE ALI (2016) Étude en APD de la modernisation d'un tronçon de la route national RN40B avec l'étude géotechnique du tuf calcaire, thèse master.
- [7]. OUANANI Hicham 2016 « Caractérisation d'un béton routier À base Des matériaux locaux » mémoire master Université Mohamed Boudiaf - M'sila chapitre 2 page 33
- [8]. V. Furian et Y.Houst, Les matériaux pouzzolaniques et leurs utilisation, laboratoire des matériaux pierreux de l'EPF, Lausanne, chronique du LMP 1980.
- [9]. SOCIETE SUISSE DES INGENIEURS ET ARCHITECT, Norme SIA 215, « liant minéraux », Zurich 1978
- [10]. Manai K., Etude de l'effet d'ajouts chimiques et minéraux sur la maniabilité, la stabilité et les performances des bétons autonivelants, Mémoire de maîtrise ès sciences Appliquées, Sherbrooke, Canada, 1995
- [11]. GEORGE DREUX, JEANFESTA, nouveau guide du béton et de ses constituants, Edition Eyrolles 1998, pp, 8 :20. Association technique de l'industrie des liants hydrauliques, Eyrolles Paris, pp. 20-149.
- [12][1] Information lexicographique et étymologique de « déchet » dans le trésor de la langue française information sur la suite du centre national de ressources textuelles et lexicales.
- [12][2] Batiste monsaignon et anne Guillaude, « l'abandon des déchets "est un héritage de la modernité industrielle" » le monde 22décember 2019. Wikipédia.
- [13]. CHEREF.L, 2016, En vue de l'obtention du diplôme du master en science biologique, Recyclage et valorisation des déchets inertes de la briqueterie SARL-DBK-MAT dans la fabrication de dallage de sol, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou 01
- [14]. Tounsi Mohammed et Abimouloud Abdenour (2022) : « Effet de mode de conservation sur les performances mécanique d'un tuf traité aux déchets de brique broyée et à la chaux ». Mémoire de master , Université Kasdi Merbah Ouargla p 33,34,35.

## Référence bibliographique

---

- [15]. BAIKER MOHAMED CHERIF, MEMOIRE de master Génie Civil « Contribution à l'étude des Caractéristiques physico- mécaniques d'une brique a base du sable de dunes et les copeaux de bois », Université Kasdi Merbah Ouargla 2015.
- [16]. OUARGLI Meriem et YAZI Abdellah (2019): «L'influence de déchet de gravier sur les caractéristiques physico- mécaniques d'une brique a base du sable de dunes et copeaux de bois» .Mémoire de magister, , Université Kasdi Merbah Ouargla p 9,10.
- [17]. Mhmedi abdlhalim et mekri Abdelkader mémoire master université Mohamed Boudiaf Msila « caractérisation et traitement à la chaux des sol chott et Honda willaya de Msila p 30
- [18] Document TP matériaux de Construction.
- [19] ALIOUA Khaoula et MESSINI Ikram MEMOIRE de master Génie civil « Etude des performances mécaniques d'un mélange tuf d'encroûtement /déchets de brique broyés en vue de son utilisation en construction routière » université Kasdi Merbah Ouargla 2021 P 8-9
- [20] Document de la norme (NF P 94-068).
- [21] document de Pr. Baheddi Mohamed T P. N 3ESSAI DE COMPACTAGE DES SOLS. (ESSAI PROCTOR).
- [22] document de Les Essais de la Géotechnique Routière ÉTUDE COMPARATIVE ENTRE LES NORMES présenté par **Mehrez KHEMAKHEM**.
- [23] GOSSA Souhila ET BENAOUN Maroua. Etude des performances de compactage d'un mélange Tuf-Timchemt pour assises de chaussée Thèse master voa 2022/2021 P 19
- [24] Mustapha. AKACEM\* ; Abdelkader. HACHICHI (2013), Utilisation du sable de dunes en construction routière saharienne.
- [25] Classification des sols selon GTR et NF P 11 300. Chapitre 3
- [26] document SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION Travaux pratiques présenté Par : M. GHOMARI F. & Mme BENDI-OUIS A. UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID 2007 - 2008
- [27] Benmerzoug Ramdane et Naidji Ahmed MEMOIRE de master Génie civil « Identification et traitement des sols a croute calcaire Expérimentation sur les des hauts plateaux » Université Mohamed El-Bachir El-Ibrahim - Bordj Bou Arreridj 2022 P 18
- [28] la fiche technique de l'usin