

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

Département de Génie Civil et d'Hydraulique

C:.....

R:.....

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de
Master, Filière : Travaux publics

Spécialité : VOIES ET OUVRAGES D'ART (V.O.A)

Thème

**Effet du mode de conservation sur les performances mécaniques d'un
Tuf traité aux déchets de briques broyées et à la chaux**

Présenté par :

- ❖ Tounsi Mohammed
- ❖ Abimouloud AbdEnnour

Soutenu publiquement le : 13/06/2022, devant le jury composé de :

Mme. AKCHICHE Hamida	MCB	UKMO	Présidente
Mme. BAZZINE RABIA	Doctorant	DTP	Examinatrice
Mr .KHELLOU Abderrezak	MCB	UKMO	Encadreur

Année Universitaire: 2021 / 2022

REMMERCIEMENT

Toute notre gratitude, grâce et remerciement vont à « ALLAH » le tout puissant qui nous a donné la force, la patience, le courage et la force pour élaborer ce travail.

Remercions notre : Mes chers parents, pour tous leurs sacrifices.

Remercions notre encadreur :

Mr. KHELLOU Abderrezak Pour ces forces, ces conseils, et sa sollicitude avec laquelle il a suivi et guidé ce travail.

Nous remercions les membres de jury qui nous font l'honneur de présider et d'examiner ce Modeste travail.

Nous remercions Personnel de Laboratoire Etudes & Contrôles - Ouargla. accepté de nous recevoir au sein de leurs Laboratoire, et de nous avoir permis de La performance les essai et de nous avoir aidé par leurs précieux conseils.

Nos remerciements vont également à Mr. ALI Kchierd, responsable du laboratoire de génie civile a departement génie civile

En fin, je tiens aussi à adresser mes sincères remerciements à toutes les personnes qui de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce travail.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à

Mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, À mes amis ...

Ainsi qu'à notre Encadreur Pour son aide précieuse et sa présence.

En fin, je tiens aussi à adresser mes sincères remerciements à mes toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

T. Mohammed

DEDICACE

Avec joie et plaisir que je dédie cet humble travail

*A mes chers parents pour leur patience et leurs
encouragements depuis l'enfance*

A ma chère femme et mes fils et mes frères

*Et à mes amis pour les merveilleux moments passés
avec eux*

Ab .AbdEnnour

الملخص:

هذا العمل هو جزء من استعادة المواد المحلية وإعادة تدوير النفايات الصناعية المخصصة لبناء الطرق. يهدف إلى فحص تأثير طريقة الحفظ على الأداء الميكانيكي (قوة الانضغاط والشد) لخليط من قشرة الطف مع مسحوق نفايات الطوب المعالج بالجير. لهذا، تم تطوير خمسة خلطات واعتماد 03 طرق للحفظ. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أنه يتم تسجيل أفضل المقاومة الميكانيكية في الوضع 3، أي أثناء التخزين في أكياس بلاستيكية لخليط 15% مسحوق نفايات مدمج في الخليط (TC4D15) وأن كفاءة المعالجة تظهر في ظل ظروف معينة. على المدى الطويل. في حالتنا، يظهر التحسن في المقاومة بعد 60 يومًا من التخزين.

الكلمات الأساسية: قشرة الطف، مسحوق نفايات الطوب، الجير، المعالجة، مقاومة الانضغاط، قوة الشد

Résumé :

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux et du recyclage des déchets industriels destinés à la construction routière. Il vise à examiner l'effet du mode de conservation sur les performances mécaniques (résistances à la compression et à la traction) d'un mélange de tuff encroûtement /poudre de déchets de briques traité à la chaux. Pour cela, cinq mélanges sont élaborés et 03 modes de conservation sont adoptés. Les résultats obtenus montrent que les meilleures résistances mécaniques sont enregistrées en mode3, c'est-à-dire lors de la conservation dans des sachets plastiques pour le mélange TC4D15 (15% poudre de déchet incorporé dans le mélange) et que l'efficacité du traitement apparaît sous certaines conditions et à long terme. Dans notre cas, l'amélioration de la résistance se manifeste après 60 jours de conservation.

Les mots clé : Tuff encroûtement, poudre de déchets de briques, la chaux , traitement, résistance à la compression, résistance à la traction.

ABSTRACT:

This work is part of the valorization of local materials and the recycling of industrial waste intended for road construction. It aims to examine the effect of the mode of conservation on the mechanical performance (compressive and tensile strength) of a mixture of tuff encrustation / powder of waste bricks treated with lime. For this, five mixtures are prepared and 03 conservation modes are adopted. The results obtained show that the best mechanical resistances are recorded in mode 3, that is to say during conservation in plastic bags for the TC4D15 mixture (15% waste powder incorporated into the mixture) and that the efficiency of the treatment appears under certain conditions and in the long term. In our case, the improvement in resistance is manifested after 60 days of conservation.

Keywords: Encrusting tuff, powder of waste bricks, lime, treatment , compressive strength ,tensile strength.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
------------------------------------	----------

Chapitre I : synthèse bibliographique

I.1.Généralités sur les tufs	3
I.1.Introduction	3
I.1.2. Définitions des tufs :	3
I.1.3. Catégories des tufs	4
I.1.3 A. Les encroûtements calcaires :	4
I.1.3. B. Les encroûtements mixtes :	4
I.1.3. C. Les encroûtements gypseux :	5
I.1.4.Définition de gypse :	5
I.1.5.Composition de gypse :	5
I.1.6. Caractéristiques physico-chimiques :	6
I.1.7. Comportement thermique de gypse :	6
I.1.8. Origine des Encroûtements gypseux :	6
I.1.9. Formation de l'Encroûtements gypseux :	7
I.1.9. A. Les gypses pulvérulents :	8
I.1.9. B. Les encroûtements gypseux :	8
I.1.10. Profil d'un encroûtement gypseux :	8
1.1.10. Horizon supérieur : A	9
1.1.10. Horizon massif ou pierre à plâtre : B	9

Sommaire

1.1.10. Horizon des roses de sable : C.....	9
I.1.11. Caractéristiques géotechniques et mécaniques des tufs d'encroûtement :.....	10
I.2. Généralités sur la poudre de déchets de briques	11
I.2.1. Définition des déchets :.....	11
I.2.2. Différents types des déchets.....	11
I.2.3. Déchets utilisés en génie civil :	13
I.2.3. A. Déchets inertes :	13
I.2.3. B. Déchets ménagers.....	13
I.2.3. C. Déchets dangereux.....	13
I.3. Conclusion :	15

Chapitre II : caractérisations des matériaux utilisés

II.1. Introduction :.....	17
II.2. Essais de caractérisation sur le tuf :.....	17
II.2.1. Essai Analyse chimique :.....	17
a. Détermination du taux de carbonates :.....	17
b. Détermination du taux de sulfates :.....	17
c. Détermination du taux d'insolubles :.....	18
II.2.2. Essai Masse volumique apparente :.....	18
II.2.3. Essai Analyse granulométrique :.....	19
II.2.4. Essai au Blue méthylène :.....	20
II.2.4.1. Principe De L'essai :	20
II.2.5. Essai Proctor modifié :.....	21
II.2.6. Essai CBR	22

Sommaire

II.2.7. Compression simple :	24
II.2.8. Classification des matériaux selon GTR 92.....	25
II.3. Essais de caractérisation sur la poudre de déchets de briques :.....	26
II.3.1. Essai Analyse chimique :	26
II.3.2. Essai Masse volumique apparente :.....	26
II.3.3. Essai Masse volumique absolu :.....	27
II.3.4. Essai analyses granulométrique des sols méthode par sédimentation :.....	27
II.5. Conclusion :	29

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Introduction :	31
III.2. Méthodologie de l'étude expérimentale :.....	31
III.2.1. Mode conservation des éprouvettes :.....	32
III.2.2. Teneur en eau de confection des éprouvettes :.....	32
III.2.3. Sensibilité à l'eau :.....	32
III.3. Résultats et discussion :.....	33
III.3.1. Résistance à la compression : (Rc) :.....	33
a. Effet de mode conservation :	33
b. L'effet de la variation de la teneur en eau de confection des éprouvettes :.....	37
c. Sensibilité à l'eau :	38
III.3.2. Résistance à la traction : (Rt)	39
a. Effet de mode conservation	39
b. L'effet de la variation de la teneur en eau de confection des éprouvettes :.....	43
III .2. Conclusion :	44

Sommaire

CONCLUSION GENERALE :	46
Références bibliographiques	48

Liste des figures

Chapitre I : synthèse bibliographique

Figure I - 1 Mécanisme de formation du gypse en milieu marin lagunaire.....7
Figure I - 2: Formation d'encroûtements gypseux par dépôt selon Durant.....8
Figure I - 3: Formation d'encroûtements par évaporation selon Durant.....8
Figure I - 4: Profil d'un encroûtement gypseux selon DURAN.....9
Figure I - 5: Poudre de déchets de briques 14
Figure I - 6: Déchets de briques 14
Figure I - 7: La résistance à la compression des mélanges après 28 j +7j 14

Chapitre II : caractérisations des matériaux utilisés

Figure II - 1: Courbe granulométrique du tuf..... 20
Figure II - 2: Test bleu méthylène. 21
Figure II - 3: Courbe Proctor modifié. 22
Figure II - 4: La courbe de la CBR 23
Figure II - 5: variations de résistance à la compression simple (Rc) du tuf 24
Figure II - 6: Abaque de classification (GTR ,1992.)..... 25
Figure II - 7: Opératoire d'Essai. 26
Figure II - 8: Opératoire d'Essai. 27
Figure II - 9: Opératoire d'Essai. 27

Chapitre III : Résultats et discussions

Figure III - 1: Une éprouvette de compression pendant l'écrasement33
Figure III - 2: La résistance à la compression de mélanges après 07, 28,60jours pour Mode 01
.....33
Figure III - 3: La résistance à la compression de mélanges après 07, 28,60jours pour Mode 02.
.....34
Figure III - 4: La résistance à la compression de mélanges après 07, 28,60jours pour Mode 03
.....34
Figure III - 5: La résistance à la compression des mélanges après 07jours.....35
Figure III - 6: La résistance à la compression des mélanges après 28jours.....36
Figure III - 7: La résistance à la compression des mélanges après 60jours.....36

Liste des figures

Figure III - 8: La résistance à la compression des mélanges après 28 j pour les 04 teneuses en eau.	37
Figure III - 9: La résistance à la compression des mélanges après 28 j +04j d'immersion dans l'eau.	38
Figure III - 10: Des éprouvettes de compression des mélanges après 28 j+04j d'immersion dans l'eau Mode 01	38
Figure III - 11: Des éprouvettes de compression des mélanges après 28 j +04j d'immersion dans l'eau Mode 02	38
Figure III - 12: Une éprouvette de Traction pendant l'écrasement.	39
Figure III - 13: La résistance à la Traction des mélanges après 07, 28,60jours pour Mode 01.	39
Figure III - 14: La résistance à la Traction des mélanges après 07, 28,60jours pour Mode 02.	40
Figure III - 15: La résistance à la Traction des mélanges après 07, 28,60jours pour Mode 03.	40
Figure III - 16: La résistance à la Traction des mélanges après 07jours	41
Figure III - 17: La résistance à la traction après 28jours.	42
Figure III - 18: La résistance à la traction après 60jours	42
Figure III - 19: La résistance à la Traction des mélanges après 28 j pour les 04 teneuses en eau.	43

Liste des tableaux

Chapitre I : synthèse bibliographique

Tableau I - 1: Caractéristiques physico-chimiques du gypse	6
Tableau I - 2 : Synthèse des caractéristiques géotechnique et mécaniques des tufs d'encroûtement	10
Tableau I - 3: Différents types des déchets	11

Chapitre II : caractérisations des matériaux utilisés

Tableau II - 1: Résultats d'analyse chimique du tuf	18
Tableau II - 2: Les résultats d'analyse granulométrique du matériau objet d'étude	19
Tableau II - 3: Les classifications des sols en fonction de VBS.	21
Tableau II - 4: Les résultats d'essai CBR	23
Tableau II - 5: synthèse des résultats de caractérisation de tuf.	25
Tableau II - 6 : Résultats d'analyse chimique de la poudre de déchets de briques.	26
Tableau II - 7: Résultats Essai sédimentation.	28
Tableau II - 8: caractéristiques physiques et chimiques de la chaux de Saida.	28

Chapitre III : Résultats et discussions

Tableau III - 1: différentes formulations élaborées	31
Tableau III - 2: Types de Mode Conservation	32

Liste des abréviations

Liste des abréviations

W_{opm} : Teneur en eau optimale Proctor modifié

γ_d : Densité sèche optimale de l'essai Proctor modifié

R_c : Résistance à la compression simple

R_t : Résistance à la traction simple

ICBR : Indice Portant Californien (Californian Bearing Ratio)

W : Teneur en eau exprimée en %

OPM : Optimum Proctor modifié

ρ_a : masse volumique

M : la masse

V : volume

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

La durée de vie d'une route est liée directement à son environnement : le climat, le trafic et la disponibilité des matériaux jouant un rôle déterminant. A ce titre, les zones arides de l'Algérie sont des milieux qui nécessitent une révolution dans la manière de concevoir et de construire les différentes couches de chaussées.

Dans ces zones, la disponibilité des matériaux de bonne qualité à proximité des lieux d'insertion des routes n'est pas toujours assurée, ce qui nécessite de s'adapter avec les matériaux existants. La technique consistant à mélanger les matériaux disponibles ou à les traiter peut être une solution pour pallier ce problème.

Les tufs d'encroûtement font partie des matériaux routiers abondants dans les zones arides algériennes, notamment dans la willaya d'Ouargla. Ils ont été utilisés dans la construction de la majorité des routes sahariennes. Parfois, entre les mains des projeteurs des tufs de mauvaises qualités. Ils sont donc obligés d'en faire venir d'autres de régions lointaines, et qui n'est du tout économique et écologiques

Dans ce contexte, ce travail vient pour contribuer à l'amélioration d'un tuf doté de qualités médiocres d'un point de vue performances mécaniques. Cela se fait en ajoutant la poudre de déchets de briques à un traitement à la chaux en faisant varier certains paramètres comme le milieu de conservation et la quantité d'eau additionnée lors du malaxage des mélanges

Le choix de déchets de briques comme ajout est imposé par la disponibilité de ce sous-produit industrielle .dont leur recyclage et leur valorisation est un second objectif de notre travail

Ce mémoire comporte trois chapitres :

- le premier chapitre donne un aperçu sur les tufs d'encroûtement ainsi que les procédé de traitements possible à utiliser ;
- 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 ; une conclusion générale est rédigée résumant l'essentiel du travail.

Chapitre I :

Synthèse bibliographique

Chapitre I : synthèse bibliographique

I.1.Généralités sur les tufs

I.1.Introduction

Les tufs d'encroûtements" 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 saharienne. [1]

Les études, relatives aux encroûtements, menées par les pédologues, géologues et géotechniciens remontent à plus d'un siècle. La définition donnée pour chaque type d'encroûtements et les hypothèses avancées pour expliquer la genèse de ces formations dépendent de la spécialité de l'auteur. [2]

Ce chapitre est réparti en deux volets. Dans le premier volet on se présente Une synthèse bibliographique des tufs (Définitions... L'origine du tuf... Propriété...).

Dans le second, nous présentons 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...Principaux constituants).

I.1.2. Définitions des tufs :

Dans la bibliographie, les tufs encroûtements se définissent comme étant des formations superficielles, tendres, friables, poreuses, légères et de couleur claire. Elles datent du Quaternaire et résultent d'un certain nombre d'échanges par dissolution et précipitation. Suivant leur composition chimique, les tufs d'encroûtements se groupent en trois catégories : les tufs calcaires, les tufs gypseux et les tufs mixtes. [2]

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.
- Le tuf volcanique : résulte de la cimentation des dépôts et de l'accumulation de cendres d'origines volcaniques. [3].

I.1.3. Catégories des tufs

Les tufs divisés en trois catégories :

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

I.1.3 A. Les encroûtements calcaires :

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

Parmi toutes les définitions proposées, on peut retenir celle donnée par : Goudie (Goudie, 1988) : « La croûte calcaire est un matériau terrestre composé essentiellement, mais pas exclusivement de carbonates de calcium. Les croûtes existent à l'état poudreux, nodulaire ou très induré ; elles sont dues à la cimentation, à l'accumulation ou au remplacement de quantités plus au moins grandes de sols, roches ou matériaux altérés par du calcaire dans une zone d'infiltration ». [2]

D'après certains résultats (Hamrouni, 1975 ; De Os Horta, 1979 ; Alloul, 1981) : « Les tufs calcaires sont des roches calcaires ayant un Los Angeles supérieur à 60, une masse volumique inférieure à 2038.73 kg/m³, une résistance à la compression simple comprise entre 5 et 10MPa, et dont la teneur en éléments fins passant au tamis de 80 microns, obtenus sur la fraction 0/20 du matériau après extraction, est de l'ordre de 10 à 40 % ». [2]

I.1.3. B. Les encroûtements mixtes :

Les encroûtements mixtes sont des formations de tufs calcaires gypsifiés à prédominance carbonatée ou de tufs gypseux calcifiés à prédominance sulfatée (De Os Horta, 1980). [2]

Au-delà d'une certaine aridité, le développement des encroûtements calcaires est arrêté à la source, à cause de l'insuffisance des précipitations pour dissoudre et drainer le calcaire vers les nappes phréatiques ; et inversement, lorsqu'on passe du climat désertique au climat semi-aride, le gypse devient instable dans les sols à cause de sa solubilité notable, les encroûtements gypseux sont relayés alors par les encroûtements calcaires. [2]

Guettouche, 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 (CaCO_3), puis de gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$), puis la halite (NaCl), et finalement les sels de potassium et de magnésium (Guettouche et al, 2006) . [2]

Les tufs gypso-calcaires et calcaire-gypseux qui en résultent sont déconseillés en zones subhumides et semi-arides à cause de la solubilisation du gypse ; par contre ils sont utilisés dans les régions arides (Améraoui, 2002). [2]

I.1.3. C. Les encroûtements gypseux :

Dans les régions très arides, les croûtes gypseuses viennent souvent accompagner ou remplacer les croûtes calcaires. Elles sont le résultat soit de l'évaporation à partir d'une nappe phréatique ou d'une roche gypseuse, soit d'un apport éolien (le gypse, accumulé dans de grands lacs qui s'assèchent périodiquement, est repris par le vent qui peut l'entraîner et le redéposer très loin). Contrairement aux croûtes calcaires, la formation de ces croûtes gypseuses est souvent très rapide. [4]

I.1.4. Définition de gypse :

Le gypse est une roche blanche, d'aspect mat, finement cristallin, tendre (rayable à l'ongle) et de densité 2,3. Quelques traces jaunes de soufre peuvent apparaître. Il est constitué en majeure partie de sulfate de calcium hydraté ($\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})$). En France, le gypse est très pur (souvent 98%) et ne nécessite pas de purification lors de son exploitation. [5]

- **Remarque :** Les couches les plus profondes de gypse peuvent perdre leur eau de cristallisation. On obtient alors une roche composée de sulfate de calcium non hydraté (CaSO_4) appelé Anhydrite. [5]

I.1.5. Composition de gypse :

Matériau céramique minéral obtenu à partir de la cuisson du gypse (roche riche en sulfate de Calcium hydraté, plus ou moins blanche).

I.1.6. Caractéristiques physico-chimiques :

Tableau I - 1: Caractéristiques physico-chimiques du gypse [4].

Catégorie	Minéral
Formule brute	CaSO ₄ ; 2H ₂ O
Couleur	de blanc à gris, parfois rosé
Densité	2,31 – 2,33
Système cristallin	Monoclinique
Température de fusion	Devient de l'hémihydrate de 125 à 130°C ; Devient anhydre à 163°C
Solubilité	Se dissout dans HCl chaud. 2 g/l dans l'eau à 20 °C
Transparence	Transparent, translucide

I.1.7. Comportement thermique de gypse :

L'allure des phénomènes de déshydratation dépend de plusieurs facteurs, parmi lesquels la température, et surtout la vitesse de chauffe, la tension de vapeur, et leurs interactions. En phase sèche, et sous tension normale, on observe en général, sur les courbes de déshydratation (perte de poids en fonction de la température), un palier correspondant au semi-hydraté. Ce palier apparaît pour le minéral pur vers 70-95°C, mais la déshydratation reprend dès 100°C et conduit plus ou moins rapidement à l'anhydrite.

Les premières mesures faites à la thermobalance montrent que la déshydratation peut commencer dès 40°C et s'accélère à partir de 60°C (Mettai M. 2009).

Si on procède à une montée de température par paliers, on s'aperçoit que le passage au semi-hydraté ne s'effectue bien qu'à partir de 80 °C (Eipeltauer 1958 cité par Mettai M. 2009) ou même plus (Pouget M. 1968). [4].

I.1.8. Origine des Ecroûtements gypseux :

Le gypse appartient à la famille des évaporites qui sont les roches sédimentaires les plus solubles dans l'eau. Il résulte généralement de l'évaporation de l'eau des lagunes marines sursaturées. Le gypse se rencontre à tous les niveaux des ères géologiques depuis le Cambrien (Pakistan) jusqu'à l'oligocène (Italie, France, Inde) et même le Quaternaire (Ethiopie).

Le gypse s'est accumulé dans les matériaux sédimentaires, à partir de Crétacé inférieur et jusqu'au Mi pliocène sous forme de cristaux ou feuilletés disséminés dans les bancs de marne et d'argile et parfois en bancs continus de gypse blanc.

Au cours du quaternaire, le ruissellement a favorisé l'érosion de ces roches mobilisant ainsi une importante quantité de gypse qui s'est concentrée dans les sebkhas et les lagunes où il peut être remobilisé localement par des infiltrations latérales et alimenter les nappes déjà plus au moins Séléniteuse [(Boulaine, 1961) ; (Coque, 1955)].

L'eau de la nappe phréatique intervient en premier lieu dans l'élaboration des croûtes gypseuses par des mouvements verticaux et latéraux diffus. Les infiltrations se produisent lors des pluies.

Les fortes chaleurs accompagnées de vents chauds engendrent une évaporation intense, une remontée capillaire des eaux enrichies en sels. La cristallisation du gypse se fait plus facilement que celle du calcaire. La continuité du phénomène est assurée par les fissurations de la partie superficielle en périodes sèches. Cela provoque de nouvelles infiltrations des eaux de surface et la réalimentation de la nappe. [6]

I.1.9. Formation de l'Écroûtements gypseux :

Le sulfate de calcium CaSO_4 s'hydrate et cristallise dans le système monoclinique pour former le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Cette hydratation (fixation d'eau) s'accompagne d'une augmentation de volume et s'opère selon la relation suivante :



A l'échelle de la molécule, il présente une structure feuilletée dans laquelle alternent deux couches d'eau et deux couches de sulfates de calcium. Chaque molécule d'eau est liée d'une part à un ion Ca^{+2} et à ion O^{-2} de son propre feuillet, d'autre part à un ion O^{-2} du feuillet, d'autre part à un ion O^{-2} du feuillet adjacent [1].

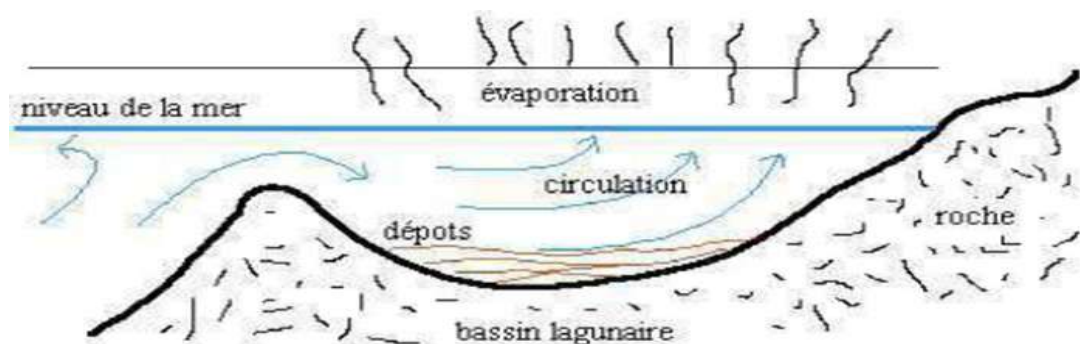


Figure I - 1 Mécanisme de formation du gypse en milieu marin lagunaire

I.1.9. A. Les gypses pulvérulents :

Les gypses pulvérulents décrits comme étant des « dépôts lagunaires formés au moment de L'assèchement des lacs » (figure I.2).

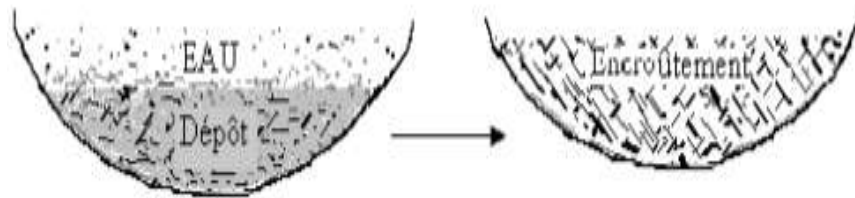


Figure I - 2: Formation d'encroûtements gypseux par dépôt selon Durant.

I.1.9. B. Les encroûtements gypseux :

Les encroûtements gypseux et salins se forment au-dessus des nappes phréatiques, suffisamment près de la surface du sol pour subir une évaporation telle que la nappe se concentre et dépose des sels. (Figure I.3).

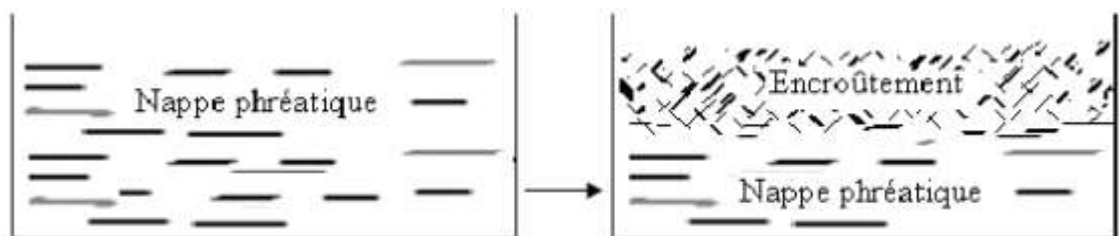


Figure I - 3: Formation d'encroûtements par évaporation selon Durant

I.1.10. Profil d'un encroûtement gypseux :

Le profil d'un sol encroûté par le gypse présente généralement, de haut en bas, trois horizons principaux Figure I.4

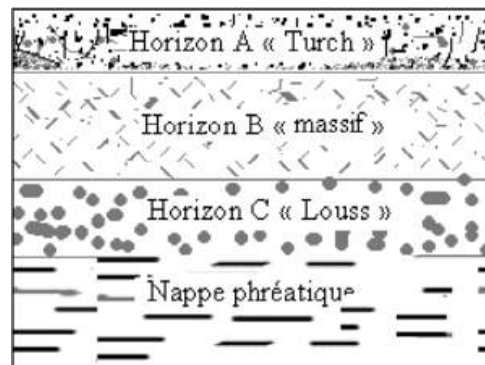


Figure I - 4: Profil d'un encroûtement gypseux selon DURAN.

1.1.10. Horizon supérieur : A

Appelé " Turch" en appellation locale, cet horizon a une épaisseur comprise entre 10 et 20cm, il est l'équivalent de la terre végétale en zone tempérée. Cet horizon est caractérisé par l'abondance de racines gypsifiées et par un encroûtement discontinu en feuillets et granules, il est friable, poreux et souvent sableux.

1.1.10. Horizon massif ou pierre à plâtre : B

Appelé (Taffeza) en appellation locale, son épaisseur varie généralement entre 1 et 2 m, il vient juste après l'horizon supérieur. C'est un véritable grès à ciment gypseux, utilisé souvent comme pierre à bâtir à cause de sa dureté remarquable.

1.1.10. Horizon des roses de sable : C

A la base de l'horizon massif, l'encroûtement devient clair, humide et sableux. De gros cristaux de gypse imbriqués apparaissent "louss" en appellation locale, la nappe est souvent de 50 cm à 1 m en dessous. Au contact direct de la nappe, le gypse cristallise en agrégats de cristaux larges et aplatis qui englobent des grains de sable.

I.1.11. Caractéristiques géotechniques et mécaniques des tufs d'encroûtement :

Tableau I - 2 : Synthèse des caractéristiques géotechnique et mécaniques des tufs d'encroûtement [6].

	Encroûtement	Calcaire	Gypso-calcaire	Gypseux
Taux de Gypse et de calcaire	Calcaire	50 à 95 %	10 à 50 %	Moins de 10 %
	Gypse	Moins de 10 %	10 à 50 %	40 à 90 %
	Gypse + calcaire	Plus de 50%	Plus de 50%	Plus de 50%
Granulométrie		Très variable	Variable	Matériaux fin à pulvérulent
Limité d'Atterberg		Non mesurable < I_p < 25	Ordre de 13%	Ordre de 6%
Equivalent de Sable		10 à 60 %	> 40 %	Sans signification
Essai Proctor	Densité sèche	$1.7 < \gamma_d < 2$	$1.7 < \gamma_d < 2$	$1.60 < \gamma_d < 1.90$
	Teneur en eau optimale	8% < $W_{opm} < 20\%$	8% < $W_{opm} < 20\%$	8% < $W_{opm} < 20\%$
Essai CBR	Immédiat	50 à 100%	50 à 100%	Jusqu'à 112 avec une moyenne de 40
	Imbibé	30 à 100%	20 à 40%	Peut chuter jusqu'à 8
Essai de compression simple (MPa)		0,3 à 5	1 à 6	Entre 0,3 et 5 MPa

I.2. Généralités sur la poudre de déchets de briques

I.2.1. Définition des déchets :

Les déchets sont définis dans le Code de l'environnement à l'article L 541-1-1. Il s'agit de « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire « NOTE 1 ». Toute la réglementation applicable aux déchets découle de cette définition. Elle détermine la frontière entre les déchets et les produits, qu'il est nécessaire de connaître avant toute cession à un tiers, un transport ou un transfert. [7].

Selon l'article n°3 de la loi Algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001, " tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer. [8].

I.2.2. Différents types des déchets

Tableau I - 3: Différents types des déchets [9].

Type des déchets	Définition
Déchets ménagers	Tous déchets issus des activités des ménages ainsi que les déchets analogues provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales ou autres
Déchets industriels	Tous déchets non ménagers résultant d'une activité industrielle, minière ou artisanale ou similaire
Déchets agricoles	Tous déchets organiques générés directement par des activités agricoles, agro-industrielles ou par l'élevage.
Déchets biodégradables	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.
Déchets médicaux	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
Déchets dangereux	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.
Déchets assimilés aux déchets ménagers	Tous résidus résultant 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
Déchets ultimes	Tous résidus résultant 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
Déchets inertes	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.2.3. 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 terme d'émission de CO₂ 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. [10].

On distingue trois catégories principales de déchets Dans utilisés en génie civil sont définis dans le tableau ci-dessus :

I.2.3. A. Déchets inertes :

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

- **A.1.**Béton.
- **A.2.** Briques.
- **A.3.** Parpaings.
- **A.4.** Tuiles et céramiques.
- **A.5.**et granulats non pollués et sans mélange.

I.2.3. B. Déchets ménagers.**I.2.3. C. Déchets dangereux.**

Des travaux menés par ALIOUA Khaoula (2021) montrent que l'ajout d'un Poudre de déchets de briques, jusqu'à un pourcentage déférent, aux tufs d'encroûtement d'Ouargla l'évolution de la résistance à la compression par rapport tuf seul. Figure (1.7).



Figure I - 5: Poudre de déchets de briques



Figure I - 6: Déchets de briques

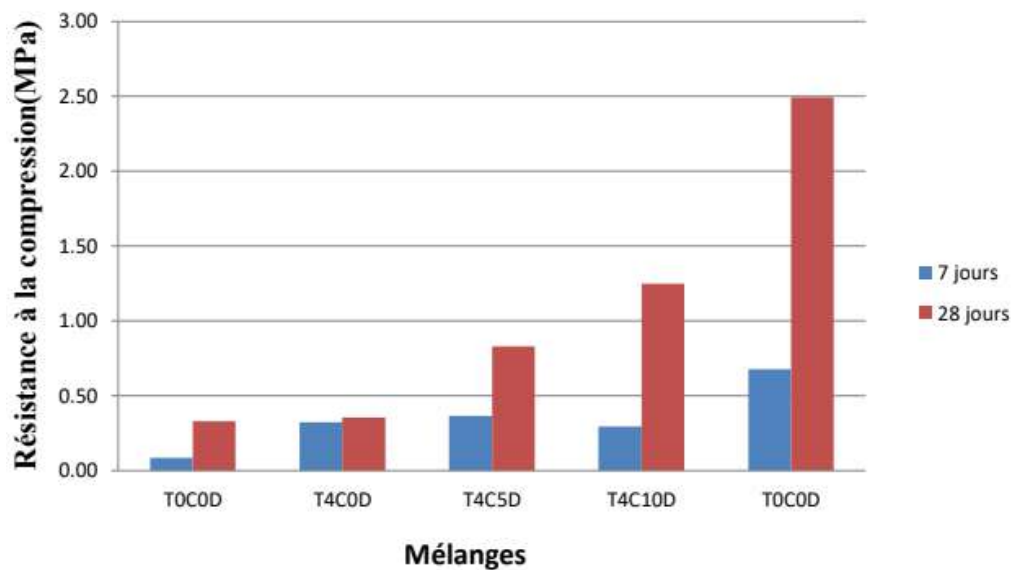


Figure I - 7: La résistance à la compression des mélanges après 28 j +7j [11].

Les histogrammes tracés montrent que les résistances des différentes formulations progressent positivement avec l'âge. Pour le tuf seul (TS), ce résultat est attendu puisque l'augmentation du Rc du tuf au cours du temps est une propriété qui le caractérise. La résistance atteint une valeur de 0,33MPa à 28 jours, plus de 3 fois celle obtenue à 7 jours. Les résultats du traitement du tuf à la chaux illustrent l'effet positif de cette dernière sur la Rc. A 7 jours, la résistance enregistre une valeur de 0,32 MPa pour la formulation T4C contre une valeur de 0,09 MPa pour le tuf seul. Cependant, à 28 jours, la résistance du tuf traité à la chaux a montré une légère augmentation. Le traitement mixte (chaux + poudre de déchets de briques) du tuf révèle une efficacité indéniable, dont le Rc s'améliore avec le taux de débris incorporés pour les deux âges. La Valeur maximale de Rc est de l'ordre de 2,5 MPa pour le mélange TC4D15, contre une valeur de 0,33 MPa pour le tuf seul et 0,36 MPa pour le tuf traité à la chaux 4%. (TC4). [11].

I.3. Conclusion :

La valorisation des matériaux locaux et du recyclage des déchets industriels destinés à la construction routière. Est un sujet d'étude important dans le domaine des Travaux publics.

Par cette recherche bibliographique, nous avons touché tous les types des encroûtements (Calcaire, gypse, calcaire) utilisé dans le domaine de la construction de routes en Région aride et semi-aride aussi nous avons touché a Le type de matériau traité (Poudre de déchets de briques.

Chapitre II :

Caractérisations des matériaux utilisés

Chapitre II : caractérisations des matériaux utilisés

II.1. Introduction :

Avant de commencer toute étude expérimentale, L'identification des matériaux utilisés est plus que nécessaire. Ce chapitre présente les résultats d'essais de caractérisation, notamment ceux concernant certaines propriétés chimiques, physiques et mécaniques.

II.2. Essais de caractérisation sur le tuf :

II.2.1. Essai Analyse chimique :

Analyse chimique réalisée se focalise sur la détermination le taux d'insolubles (quartz principalement), le taux sulfate, le taux de carbonates et la teneur en sels. Elle est effectuée sur la base des normes NF P15-461.

On note que les essais de détermination du taux de carbonates et de sulfates sont réalisés sur la fraction granulométrie inférieure à 1 mm

a. Détermination du taux de carbonates :

L'essai de détermination du taux de carbonate est effectué suivant la norme NF P 15-461 Mai 1964. On applique sur l'échantillon de sol un excès d'acide chlorhydrique et l'excès est dosé en retour par une solution d'hydroxyde de sodium, d'où on détermine exactement le taux de carbonate existant dans le sol. b). [12].

b. Détermination du taux de sulfates :

L'essai est réalisé à la base de la norme BS 1377 Déc. 1990, le taux de sulfate dans un sol est déterminé par la méthode gravimétrique selon laquelle on ajoute du chlorure de baryum à l'eau ou l'extrait acide de sol, puis on assèche et on pèse le précipité de sulfate de baryum. On calcul alors le taux à partir de la masse du matériau utilisé dans l'analyse et de la masse de sulfates de baryum précipité. [12].

c. Détermination du taux d'insolubles :

Les insolubles sont les silicates (en particulier le quartz : principal composant du sable) corps insolubles dans l'acide chlorhydrique. L'essai de détermination du taux d'insolubles est effectué suivant la norme NF P 15- 461 Mais 1964. Une masse de 2g d'échantillon est additionnée à une quantité d'acide chlorhydrique, après chauffage et filtration de la liqueur, on rajoute une solution de carbonate de sodium, on bouillie l'ensemble, et après filtration, on procède à un double lavage avec l'HCl et l'eau distillée, et enfin, on calcine le filtre avec son contenu et on pèse. Le résultat de ces deux types d'analyse permet de classer le matériau du point de vue granulométrique c.à.d. dire si c'est un matériau caillouteux, graveleux, sableux à granulométrie grossière, moyenne ou fine. Aussi, il permet de donner les taux de sable contenu, de gypse, et de carbonates, ainsi, on pourra dire que ce matériau est un sable gypseux, ou c'est un sable calcaire, ou c'est un sable gypso-calcaire. Une classification est donnée dans le tableau 1.2. [12].

L'analyse chimique Tableau II.1 réalisée au laboratoire d'études et de contrôle LEC d'Ouargla, illustre la nature gypseuse du matériau objet d'étude, et cela vu de la dominance du taux de sulfates de calcium qui dépasse les 70%.

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

Insolubles (%)		17.73
Sulfates (%)	SO ₃ (%)	32.81
	SO ₄ ((mg/l))	3937
	CaSO ₄ ·2H ₂ O (%)	70.7
Carbonates de calcium CaCO ₃ (%)		3.11
Chlorure de sodium Cl ⁻ (mg)		0.539

II.2.2. Essai 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 ± 5 °C, notée et exprimée en (gr/cm³ ; kg/m³ ; T/m³).

Cet essai est réalisé selon la norme NF P 94-053. La valeur de la masse volumique apparente du tuf est de l'ordre de **1.17 gr/cm³**.

II.2.3. Essai Analyse granulométrique :

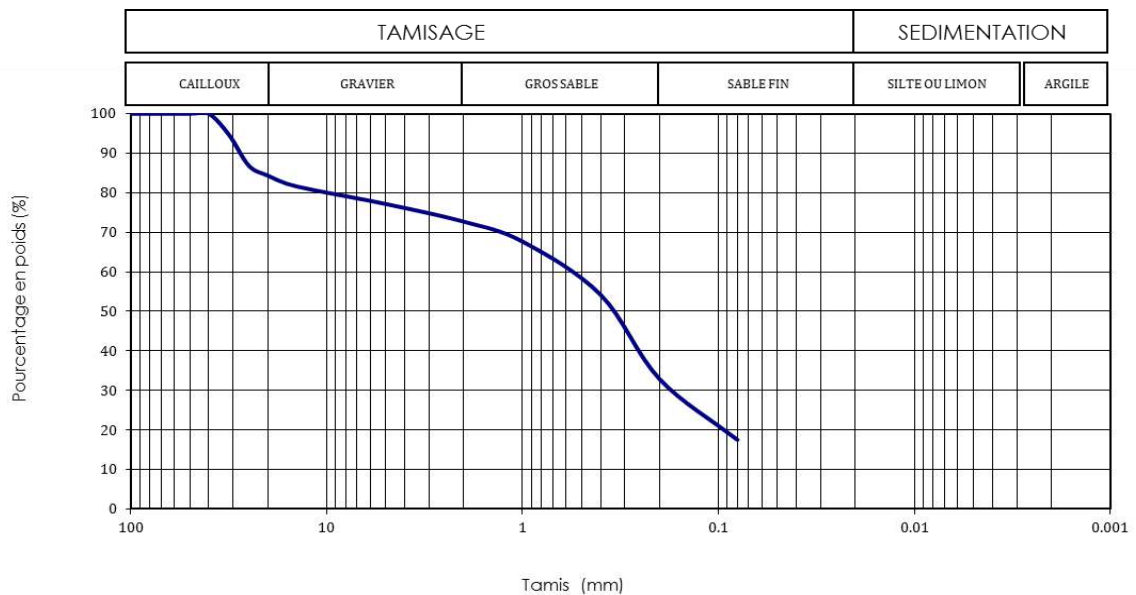
L'analyse granulométrique d'un sol consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules. Il n'existe pas de méthode parfaite pour déterminer la granulométrie ; l'exactitude de la méthode dépend de la nature du sol et, plus précisément, de la forme géométrique des particules et du pourcentage des matières organiques qu'elles renferment. [13].

L'analyse granulométrique selon NF P 94-056 a pour but de déterminer par tamisage (si l'échantillon est supérieur à 0,08mm) et par sédimentométrie (si l'échantillon est inférieur à 0,08mm) la grosseur et les pourcentages des granulats dans un matériau afin de pouvoir classer le sol. Un granulat est un ensemble de grains minéraux de diamètres compris entre 0 et 50 mm, destinés à la confection des mortiers, bétons, couches de fondation, de base ou de roulement des chaussées. [14]

- Le tableau ci-dessous contient Les résultats d'analyse granulométrique du matériau objet d'étude.

Tableau II - 2: Les résultats d'analyse granulométrique du matériau objet d'étude

Tamis (mm)	Poids (gr)	Poids cumule(gr)	% De Refus	% De Tamisage
100	0	0	0.00	100
50	0	0	0.00	100
40	0	0	0.00	100
31.5	161.3	161.3	5.38	95
25	232.6	393.9	13.13	87
20	75.1	469	15.63	84
16	62.4	531.4	17.71	82
12.5	38.5	569.9	19.00	81
10	28.9	598.8	19.96	80
5	86.1	684.9	22.83	77
2	134	818.9	27.30	73
1	151.9	970.8	32.36	68
0.4	402	1372.8	45.76	54
0.2	640.1	2012.9	67.10	33
0.08	461.3	2474.2	82.47	18



ANALYSE GRANULOMETRIQUE + FUSEAU DE REFERENCE

Figure II - 1: Courbe granulométrique du tuf

- D'après la courbe, nous remarquons que le pourcentage d'éléments inférieurs à 0,08 est de l'ordre de 18%.

II.2.4. Essai au Bleu méthylène :

L'essai au bleu de méthylène, également appelé « essai au bleu », est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer la propreté d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol, et les différents types d'argiles qu'il contient. [15].

L'essai au bleu de méthylène Selon NF P 94-068 a pour but Déterminer la valeur de bleu de méthylène d'un sol et l'activité de la fraction argileuse.

II.2.4.1. Principe De L'essai :

L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur la prise d'essai. Cette valeur est rapportée par proportionnalité directe à la fraction 0/50 mm du sol. La valeur de bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le sol, laquelle est avant tout régie par l'importance et l'activité des minéraux argileux présents dans la fraction fine du sol. Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu méthylène et en contrôlant l'adsorption après chaque ajout.

Pour ce faire, on prélève une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre, ce qui provoque la création d'une tache. L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleu clair persistante se produit à la périphérie de la tache. [16].

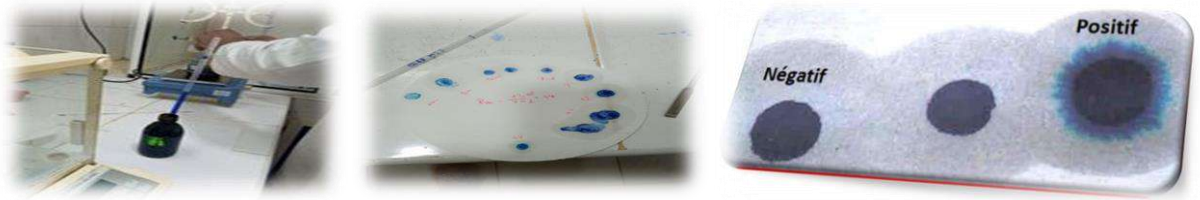


Figure II - 2: Test bleu méthylène.

- Pour cet essai, le volume de bleu méthylène absorbé par les particules du tuf est de l'ordre de 12 ml, donc la valeur de bleu méthylène adsorbée (VBS) égale 0.4.
- D'après le tableau Classification bleu méthylène (Tableau II - 3) on peut conclure que le tuf testé est de nature de sol limoneux.

Tableau II - 3: Les classifications des sols en fonction de VBS.

$VBS \leq 0.2$	Sols sableux
$0.2 < VBS \leq 2.5$	Sols limoneux
$2.5 < VBS \leq 6$	Sols limono-argileux
$6 < VBS \leq 8$	Sols argileux
$VBS > 8$	Sols très argileux

II.2.5. Essai Proctor modifié :

C'est à l'ingénieur américain PROCTOR que l'on doit les premières études systématiques en ce domaine. Il a, en particulier, examiné en 1933, l'influence de la teneur en eau et celle de l'énergie de compactage sur la portance d'un sol. [17].

Si l'on fait varier la teneur en eau (W) d'un échantillon de sol donné, et que l'on représente graphiquement la variation de la densité sèche (γ_a) en fonction de (W), on obtient une courbe en cloche qui représente un point haut que l'on appelle Optimum Proctor. [17].

L'objectif principal de cet essai selon la norme NF P 94-093, déterminer la teneur en eau optimale conduisant à une force portante maximale pour un sol donné, selon des conditions de compactage précises.

Le principe de cet essai consiste à compacter des échantillons de sol dans un moule normalisé, en adoptant diverses valeurs de teneur en eau. Pour chaque essai, on détermine la masse volumique sèche. Puis les résultats sont portés sur un graphique et la courbe joignant au mieux les points obtenus passe par un maximum qui correspond à l'Optimum Proctor.

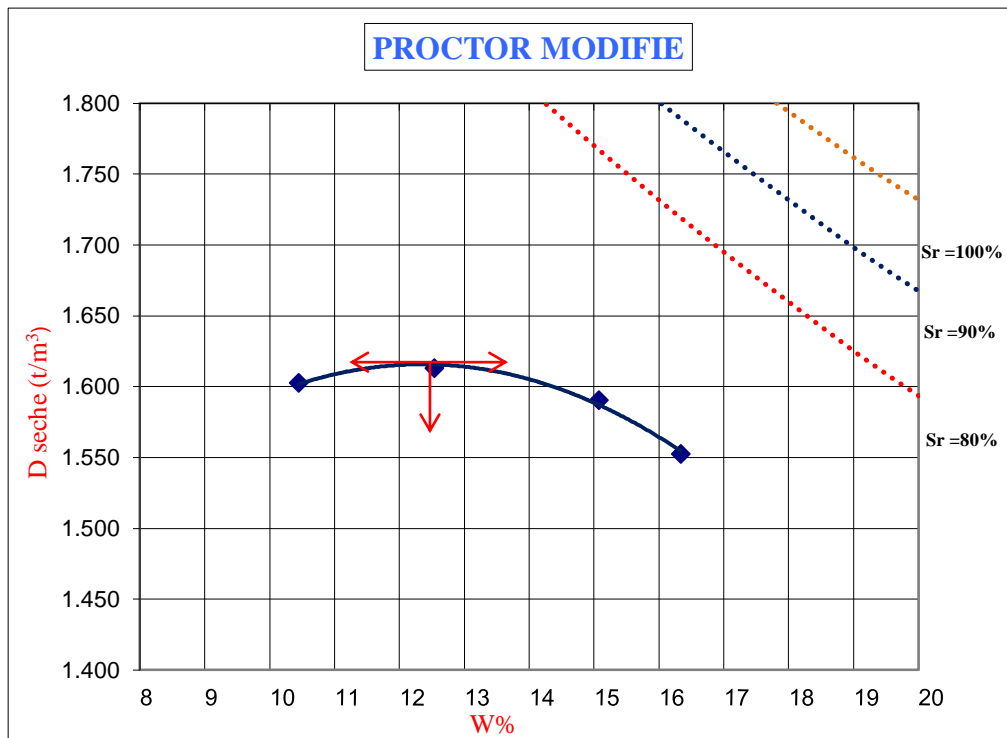


Figure II - 3: Courbe Proctor modifié.

- A partir de la courbe précédente, on trouve à la teneur en eau optimale égale à 12,50%. Et la densité sèche maximale est de l'ordre de 1,62 g/cm³.

II.2.6. Essai CBR

Cet essai selon la norme NF P 94-093, a été développé en 1929 par les ingénieurs T.E Stanton et O.J. Porter du département des routes de Californie. Il permet la classification d'un sol pour être utilisé comme sous-fondation et fondation dans la construction de routes. Pendant la deuxième guerre mondiale, le corps des ingénieurs des Etats Unis l'ont également adopté pour la construction des aéroports. [18].

- L'expérience CBR est utilisée pour à déterminer l'indice CBR après immersion (I.CBR immersion) et l'indice portant immédiat (IPI).
- Le principe général de l'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante (1,27 mm/min) dans une éprouvette de matériau. Durant l'essai, la courbe effort-déformation est établie sur l'anneau dynamométrique la force nécessaire aux enfoncements de 1,25 mm ; 2 mm ; 2,5 mm ; 5 mm ; 7,5 mm et 10 mm. [19].

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

- $$\frac{\text{Effort de pénétration à 2,5 mm d'enfoncement (en KN)}}{13,35} \times 100$$
- $$\frac{\text{Effort de pénétration à 2,5 mm d'enfoncement (en KN)}}{19,93} \times 100$$

Tableau II - 4: Les résultats d'essai CBR.

Temps	Enfoncement en (mm)	Force		Pression Kg/cm ²	
		Lecture	Valeur		
0	0	0	0	0.000	
	30 "	0.625	8	0.168	0.856
1'		1.25	16	0.336	1.712
1'	40 "	2	40	0.840	4.280
2'		2.5	62	1.303	6.634
4'		5	340	7.143	36.381
6'		7.5	486	10.211	52.003
8'		10	610	12.816	65.272
10'		12.5	686	14.413	73.404
Calcul de l'indice Portant					
A 2,5mm : P(2,5) / 0,70 =			9		
A 5mm : P(5) / 1,05 =			35		
Indice CBR =			35		

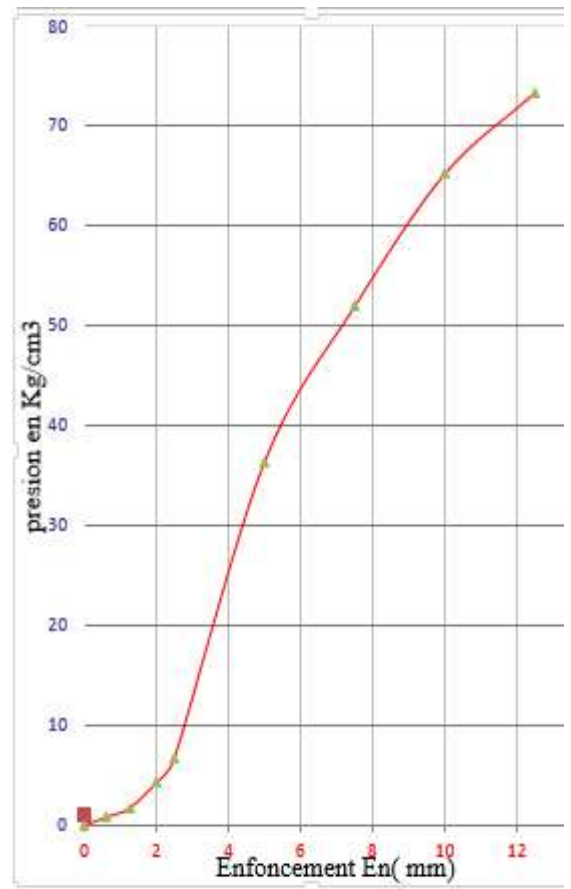


Figure II - 4: La courbe de la CBR

- D'après l'essai de CBR ; l'IPI égale 35

II.2.7. Compression simple :

La résistance à la compression est considérée parmi les critères de choix des matériaux pour la construction des chaussées sahariennes. Elle est évaluée à l'aide de l'essai de compression simple qui a été adapté par Frenzy (1966). L'essai consiste à apprécier la cohésion au sein du matériau. Il est effectué sur des éprouvettes cylindriques et sur la fraction. [1].

Le matériau est malaxé manuellement tuf gypseux mélangé à la teneur en eau optimale de Proctor, puis compacté statiquement dans un moule cylindrique à double piston de 50 mm de diamètre et 100 mm de hauteur.

Sont conservées Les éprouvettes confectionnées dans une étuve à une température de 65 C un 1 jour écrasées à l'aide d'une presse à une vitesse de 1,27 mm/min.

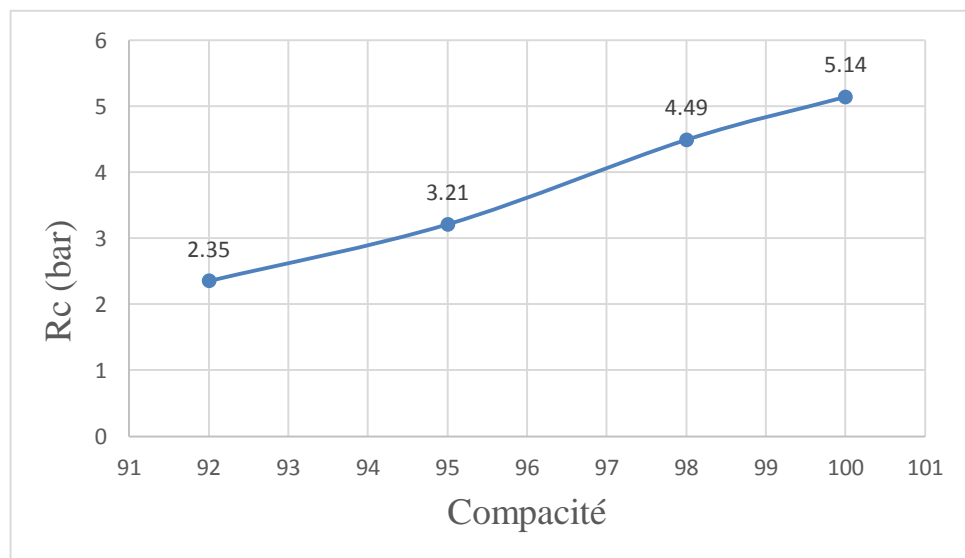


Figure II - 5: variations de résistance à la compression simple (Rc) du tuf

II.2.8. Classification des matériaux selon 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. [20].

Tableau II - 5: synthèse des résultats de caractérisation de tuf.

Caractéristique	Valeur
La masse volumique apparente (g/cm ³)	1.17
Diamètre maximal (mm)	50
Éléments < 0.08 mm %	18
Élément < 2 mm %	73
La densité sèche maximale	1.62 g /cm ³
La teneur en eau optimale (%)	12.50
Indice portant immédiat (IPI)	35
VBS	0.4
SO ⁻² 3 (%)	32.81
Insolubles (%)	17.73
SO ⁻² 4 (%)	3937
CaSO4 2H2O (%)	70.7
CaCO3 (%)	3.11
Cl-(%)	0.539

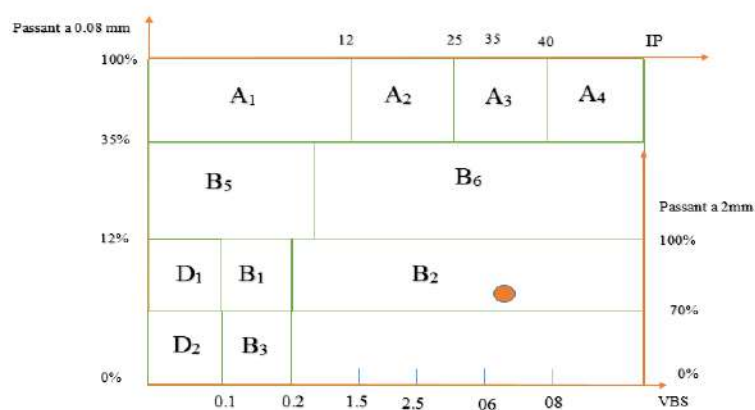


Figure II - 6: Abaque de classification (GTR, 1992.)

II.3. Essais de caractérisation sur la poudre de déchets de briques :

II.3.1. Essai Analyse chimique :

Tableau II - 6 : Résultats d'analyse chimique de la poudre de déchets de briques.

Insolubles (%)		86.73
Sulfates (%)	SO ₃ (%)	1.37
	SO ₄ ((mg/l))	164.62
	CaSO ₄ ·2H ₂ O (%)	2.96
Carbonates de calcium CaCO ₃ (%)		1.15
Chlorure de sodium Cl ⁻ (mg)		0.031

II.3.2. Essai Masse volumique apparente :

➤ Le mode opératoire de cet essai comme suit :

- Verser dans le récipient la poudre de déchets de briques secs, par couches successives et sans tassement (utiliser l'entonnoir ou les mains). Araser à l'aide de la règle métallique.
- Peser le récipient rempli : noter (M).
- Calculer la masse volumique apparente : $\rho_a = M/V$
- Refaire la mesure 3 fois.



Figure II - 7: Opérateur d'Essai.

➤ La masse volumique apparente égale : $\rho_a = 0.934 \text{ gr/cm}^3$.

II.3.3. Essai Masse volumique absolu :

La masse volumique absolue ρ_a 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.

La masse spécifique est la masse de granulats secs (M_s) rapportée au volume absolu (uniquement volume de solides V_s).

- La masse volumique absolue : $\rho_a = 2.33 \text{ gr/cm}^3$



Figure II - 8: Opérateur d'Essai.

II.3.4. Essai analyses granulométrique des sols méthode par sédimentation :

La présente norme s'applique aux éléments d'un sol naturel passant à travers le tamis à maille carrée de 80 micromètres d'ouverture. Les particules de taille inférieure à 1 micromètre ne peuvent cependant pas être différenciées par cet essai. L'analyse granulométrique par sédimentation est un essai géotechnique qui complète l'analyse granulométrique par tamisage d'un sol (norme NF P 94-056) et qui peut être nécessaire à sa description et à sa classification. [21].



Figure II - 9: Opérateur d'Essai.

- Le tableau ci-dessous contient Les résultats d'analyse granulométrique par sédimentation du matériau objet d'étude.

Tableau II - 7: Résultats Essai sédimentation.

Temps de lecture		R lecture de densimètre	Temperature (°c)	Correction de la température C	Lecture corrigée ou (R-C)	Pourcentage des particules P%	Diamètre des particules D (µm)
h	Min						
						100	0.0800
-	30"	20	20	0	20	100	0.0750
-	1'	19	19	0.18	19.18	96	0.0550
-	2'	15	19	0.18	15.18	76	0.0380
-	5'	8	19	0.18	8.18	41	0.0250
-	10'	5	19	0.18	5.18	26	0.0170
-	20'	3	19	0.18	3.18	16	0.0120
-	40'	2	19	0.18	2.18	11	0.0080
1 h 20'	80'	2	19	0.18	2.18	11	0.0060
2 h 40'	160'	1	19	0.18	1.18	6	0.0040
5 h 20'	320'	0	19	0.18	0.18	1	0.0030
24 h	1440'	0	19	0.18	0.18	1	0.0020
48 h	2880'	0	19	0.18	0.18	1	0.0010
72 h	4320'	0	19	0.18	0.18	1	0.0005

II.4. Chaux :

Tableau II - 8: caractéristiques physiques et chimiques de la chaux de Saïda.

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

II.5. Conclusion :

À travers les résultats de caractéristiques géotechniques et mécaniques, le tuf utilisé est rangé dans la classe B2 qui considère comme un sable argileux Selon GTR 92. Les faibles performances mécaniques (IPI et R_c) obtenues ne permettent pas l'utilisation de ce tuf en construction routière. Cela nécessite de trouver une solution afin d'améliorer ses propriétés mécaniques. Le procédé de l'associer avec d'autres granulats ou de le traiter peut-être une voie à envisager.

Chapitre III :
Résultats et discussion

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Introduction :

Ce chapitre se focalise sur l'étude de l'évolution de la résistance mécanique, en particulier les résistances à la compression (R_c) et à la traction (R_t), des mélanges composés de tuf et de la poudre de déchets de briques traité à la chaux. Cette évolution est examinée en faisant varier le mode de conservation et la teneur de confection des éprouvettes ainsi qu'après l'immersion de ces dernières dans l'eau.

III.2. Méthodologie de l'étude expérimentale :

Afin d'atteindre nos objectifs, des éprouvettes cylindriques sont confectionnées ($h10\varnothing5\text{ cm}$ pour la compression et $h5\varnothing5\text{ cm}$ pour la traction) à partir de formulations composées de tuf, de la poudre de déchets de briques et de la chaux (tableau III.1).

Tableau III - 1: différentes formulations élaborées

	TC0D0	TC4D0	TC4D5	TC4D10	TC4D15
Tuf %	100	96	91	86	81
chaux %	0	4	4	4	4
Poudre de déchets de briques %	0	0	5	10	15

- L'évolution de résistances des différentes formulations avec l'âge (7, 28 et 60 jours) ont été observées en étudiant :
 - a. L'effet du mode conservation des éprouvettes
 - b. L'effet de la variation de la teneur en eau de confection des éprouvettes
 - c. La sensibilité à l'eau.

III.2.1. Mode conservation des éprouvettes :

Les modes conservation choisis sont tels qu'ils sont définis dans le tableau III.2.

Tableau III - 2:Types de Mode Conservation

Mode de conservation	Définition
Mode1	Les éprouvettes sont conservées dans les conditions de laboratoire, pour une température oscillante entre 20 et 25°C et une humidité entre (10et 25%), pendant toute la durée retenue.
Mode2	Les éprouvettes sont d'abord confinées dans des sachets plastiques pendant presque la moitié de la durée retenue, puis sans sachets pour le reste de la durée dans les conditions de laboratoire.
Mode3	Les éprouvettes sont conservées dans des sachets plastiques pendant toutes la durée retenue

III.2.2. Teneur en eau de confection des éprouvettes :

La résistance des matériaux traités aux liants hydrauliques est souvent influencée par la quantité d'eau utilisée lors du traitement. Pour cette raison, quarts teneurs en eau ont été fait variées à savoir : Wopm-2 ; Wopm, et Wopm+2, Wopm+4.

III.2.3. Sensibilité à l'eau :

La sensibilité des tufs à l'eau oblige les utilisateurs de ce matériau de prendre en compte certaine précaution afin d'éviter ce point négatif. De ce fait le procédé de mélanger le tuf avec d'autres matériaux ou le recours à son traitement peut être une solution pour surmonter ce problème.

Pour notre cas, la sensibilité est testée par la mesure de la résistance s des éprouvettes de déchets Tuf/ déchet de brique immergées dans l'eau pendant 04 jours après une durée de conservation de 28 jours.

III.3. Résultats et discussion :

III.3.1. Résistance à la compression : (R_c) :

Il s'agit d'un essai expérimental sur les éprouvettes de forme cylindrique 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. Effet de mode conservation :

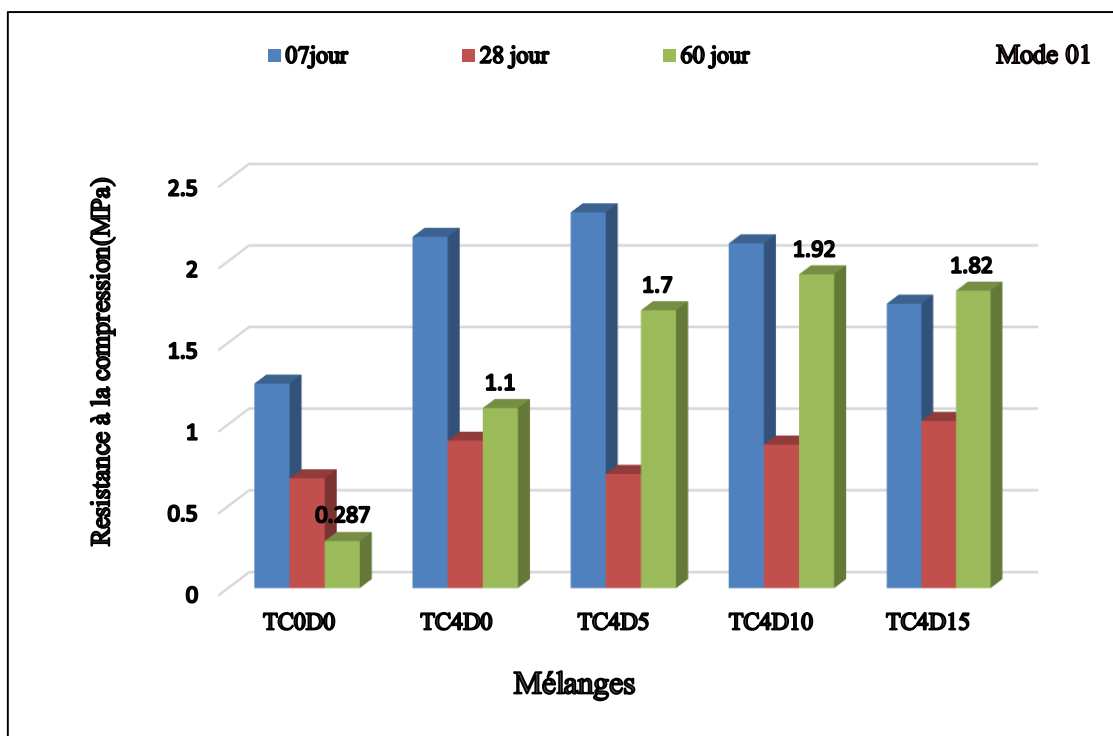


Figure III - 2: La résistance à la compression de mélanges après 07, 28,60jours pour Mode 01

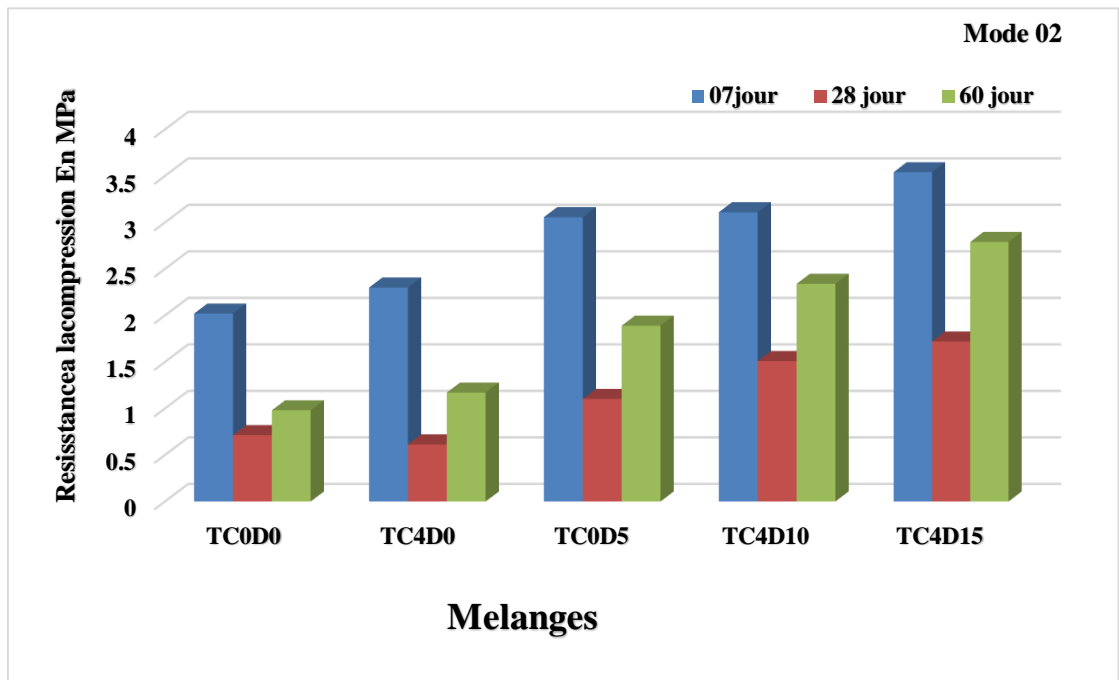


Figure III - 3: La résistance à la compression de mélanges après 07, 28,60jours pour Mode 02.

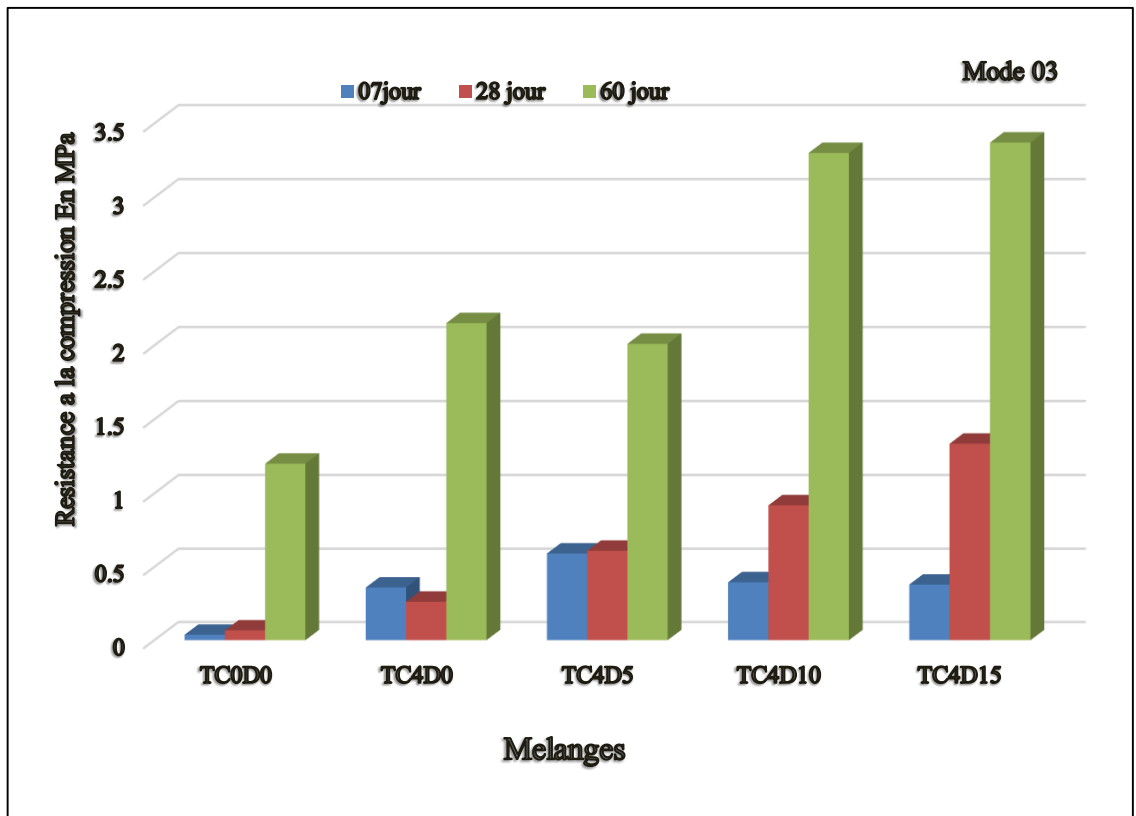


Figure III - 4: La résistance à la compression de mélange après 07, 28,60jours pour Mode 03

- Les figures III.2, III.3 et III.4 représentent l'évolution de la résistance en compressions des différents mélanges avec l'âge respectivement pour les modes 1 ,2 et 3.
- D'après les histogrammes établis, on observe une amélioration de la résistance de tous les mélanges par rapport au tuf seul, et ceci quel que soit le mode.
- Pour les Mode 1 et mod2, les meilleure résistantes (R_c) ont été enregistrées à 07 jours presque pour tous les mélanges. La valeur maximale est atteinte à l'ajout de 05% et 15% de la poudre de déchets de briques, c'est-à-dire pour TC4DB5 et TC4DB15. La baisse de la R_c pour les autres âges peut être expliquée par la diminution de de la cohésion en sein des mélanges due l'évaporation une quantité d'eau et à la consommation une autre par la réaction d'hydratation de la chaux.
- Cependant, pour le mode 3, une progression de la résistance des mélanges TC4DB05, TC4DB10 et TC4DB15 avec l'âge a été observée. La résistance élevée est marquée à 60 jours lors de l'ajout de 15% de DB, dont elle dépasse les 03 MPa, qui est plus de 3 fois supérieure à celle du tuf seul.

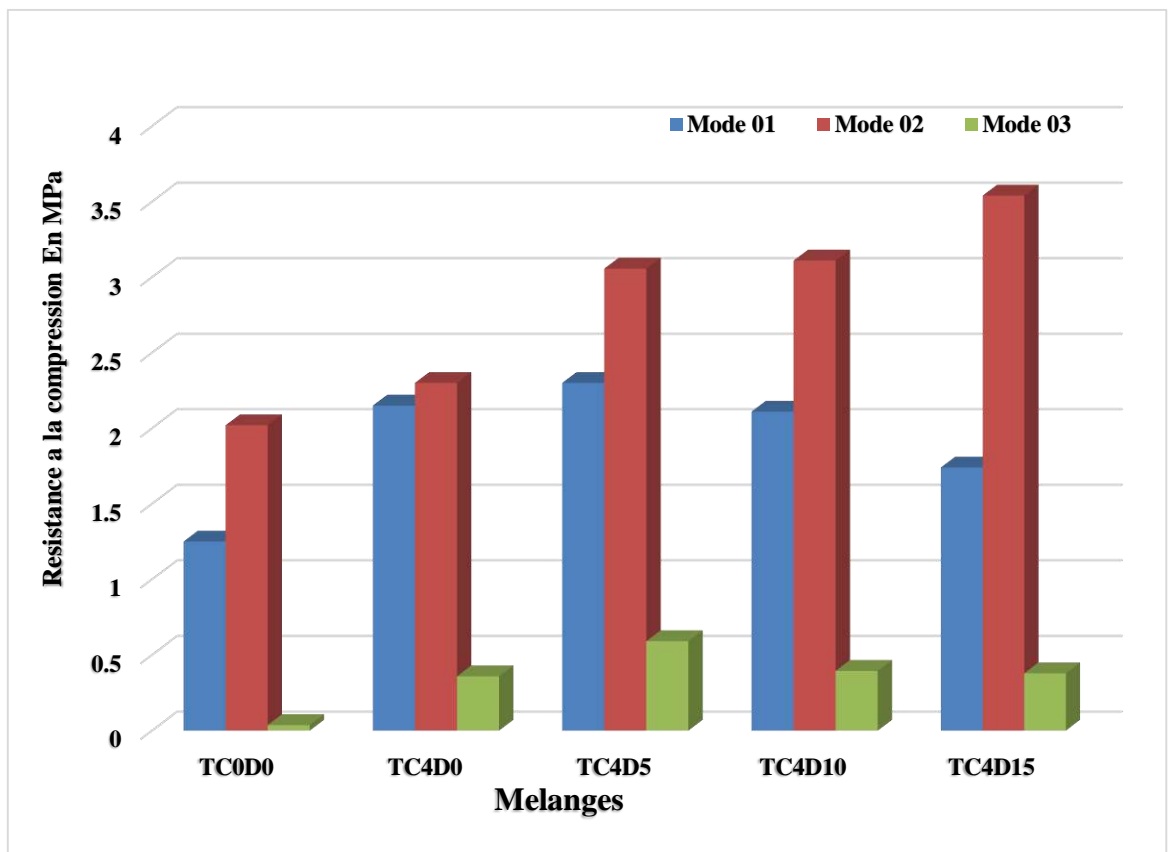


Figure III - 5: La résistance à la compression des mélanges après 07jours.

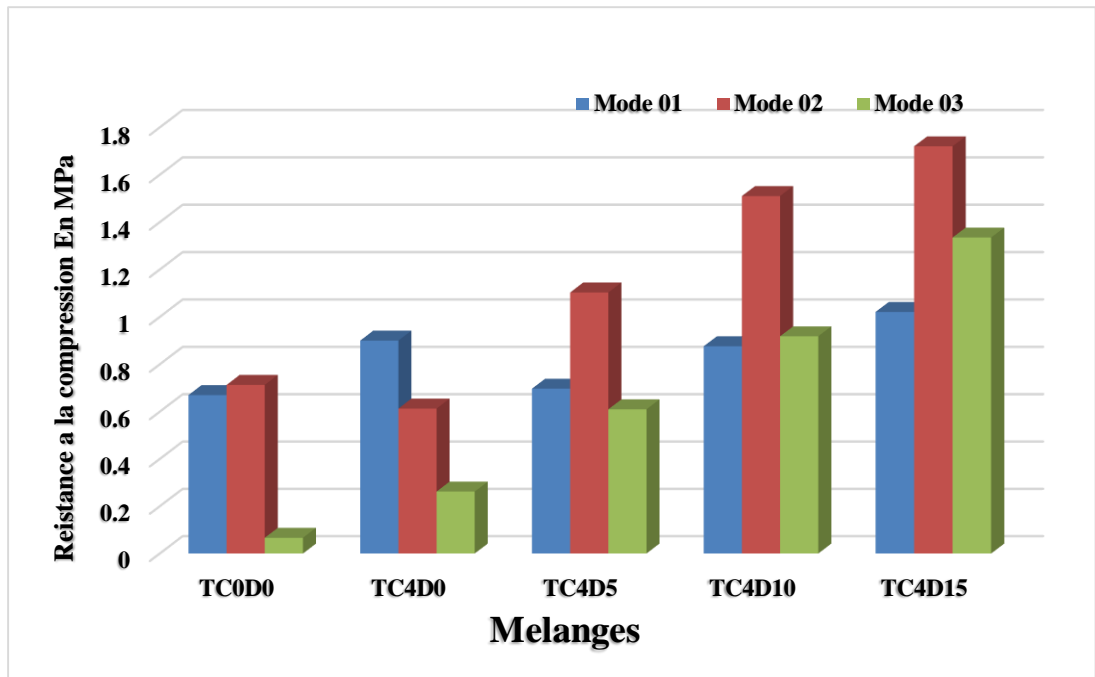


Figure III - 6: La résistance à la compression des mélanges après 28jours.

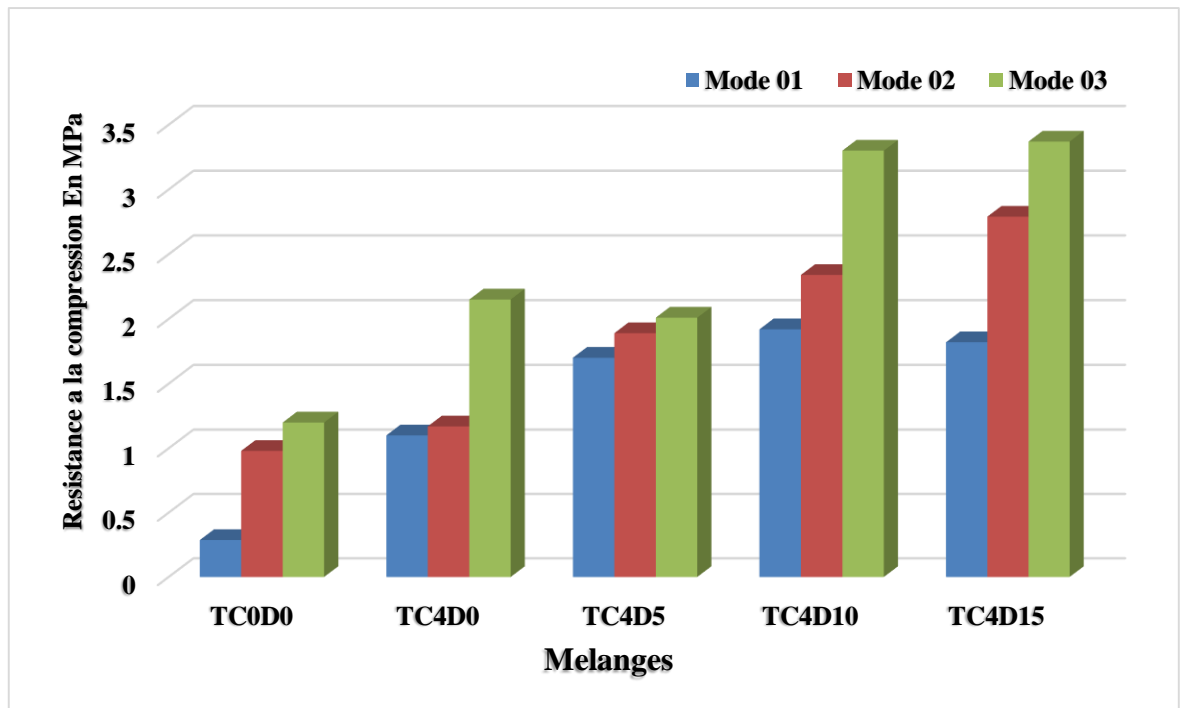


Figure III - 7: La résistance à la compression des mélanges après 60jours

- Les figures III.5 , III.6 et III.7 illustrent bien l'effet de mode de conservation sur la résistance .Elles montrent que le milieu et la durée de conservation jouent un rôle important dans l'augmentation de la résistance ,que certaines conditions doivent réunir pour que une réaction entre la poudre de déchets de briques , riche en minéraux , et la chaux ait lieu .Cette réaction est responsable de l'augmentation de la liaison entre les grains des mélanges , et par conséquent de l'augmentation de la résistance.
 - Après 07 jours de conservations (III.5.). Les faibles résistances de tous les mélanges sont détectées en mode 3, dont les éprouvettes sont confinées pendant toute la durée. Avec le temps les résistances augmentent. Elles atteignent leurs valeurs maximales à 60 jours. (III.7.)
- b. L'effet de la variation de la teneur en eau de confection des éprouvettes :**
- La figure III.8. Illustre la variation de la résistance en fonction de la teneur de confection des éprouvettes de trois mélanges après 28 jours de conservations en mode1.

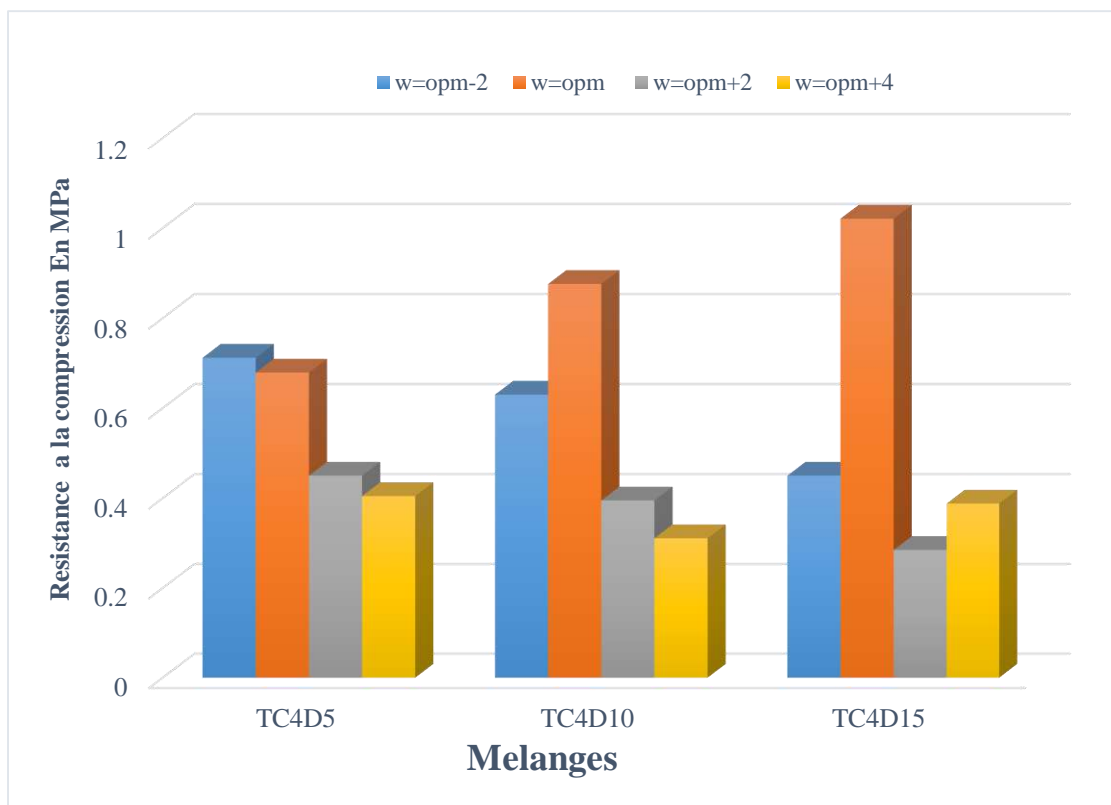


Figure III - 8: La résistance à la compression des mélanges après 28 j pour les 04 teneuses en eau.

c. Sensibilité à l'eau :

- La figure III.9 représente, évaluation de la cohésion traduit par La résistance à la compression des différentes formulations après 28 jours de conservation et 04j d'immersion dans l'eau.

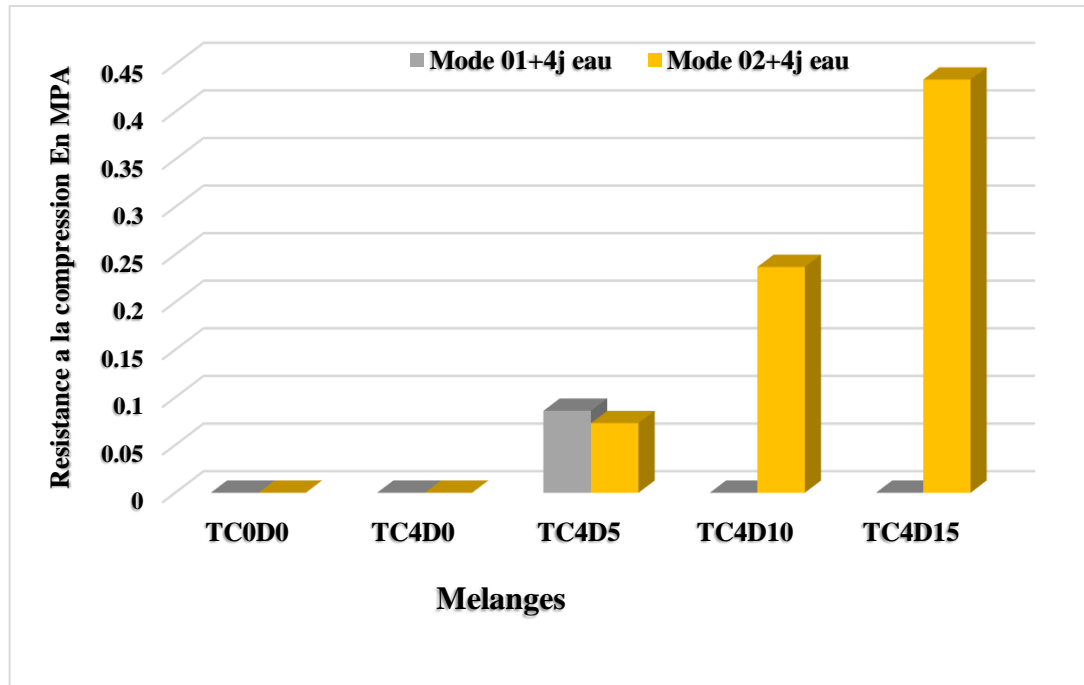


Figure III - 9: La résistance à la compression des mélanges après 28 j +04j d'immersion dans l'eau.

- Après 4 jour d'immersion dans l'eau, les éprouvettes préparées à partir différentes formulations et conservées en mode1 étaient totalement effondrée (Figure III-10) ou présentaient une résistance négligeable. Tandis que, les éprouvettes des mélanges TC4D5, TC4D10 et TC4D15, conservées en mode2, restent intactes (Figure III-11) et donnent des résistances en compression relativement appréciable. .



Figure III - 10: Des éprouvettes de compression des mélanges après 28 j+04j d'immersion dans l'eau Mode 01



Figure III - 11: Des éprouvettes de compression des mélanges après 28 j+04j d'immersion dans l'eau Mode 02

III.3.2. Résistance à la traction : (Rt)

L'essai de traction constitue l'essai mécanique, il consiste à comprimer horizontale sur une éprouvette de forme cylindrique Figure III - 12



Figure III -12: Une éprouvette de Traction pendant l'écrasement.

a. Effet de mode conservation

- Les figures III.13, III.14 et III.15 présentent l'évolution de la résistance en traction des différents mélanges avec l'âge respectivement pour les modes 1, 2 et 3.

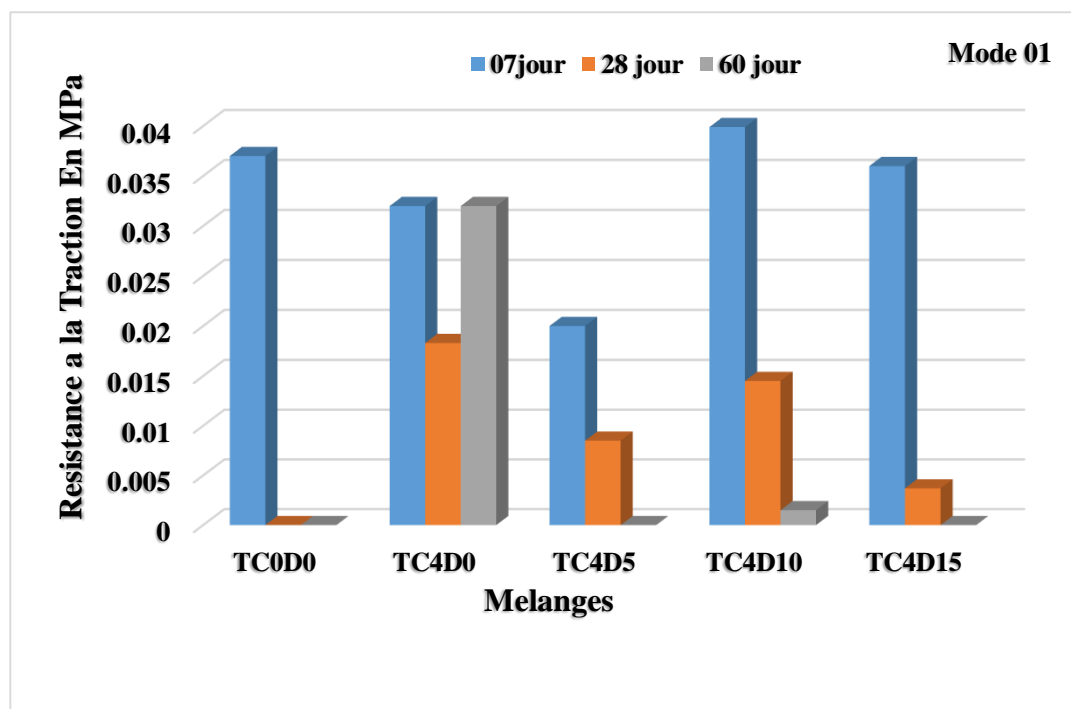


Figure III – 13 : La résistance à la Traction des mélanges après 07, 28,60jours pour Mode 01.

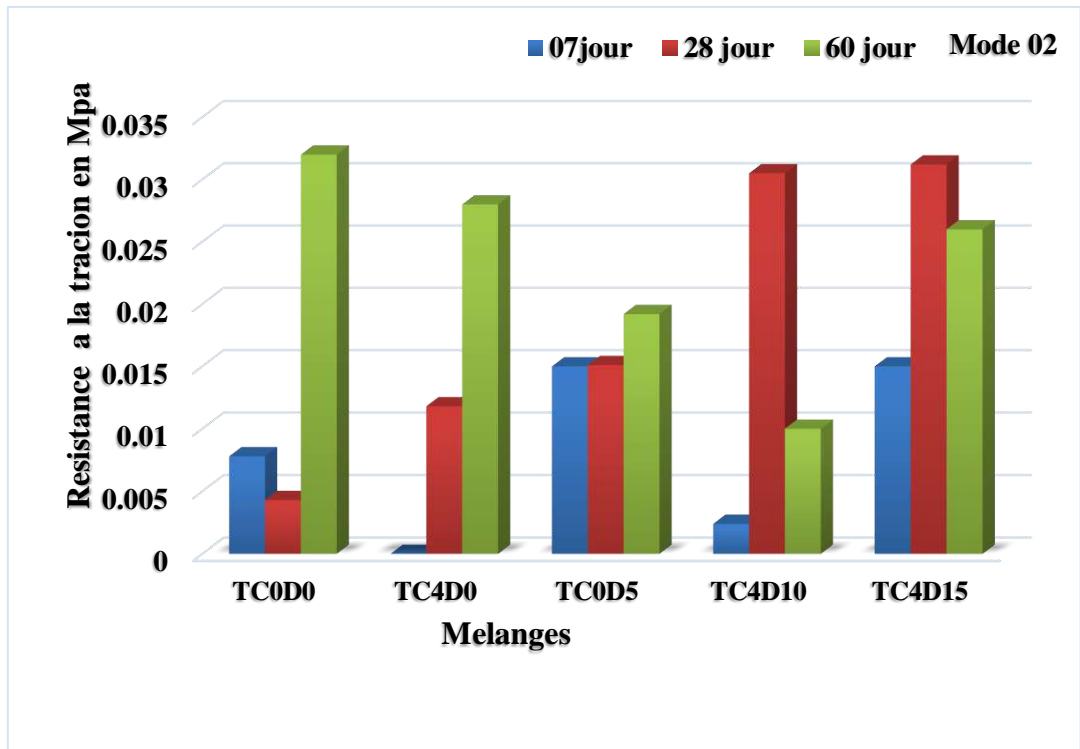


Figure III - 14: La résistance à la Traction des mélanges après 07, 28,60jours pour Mode 02.

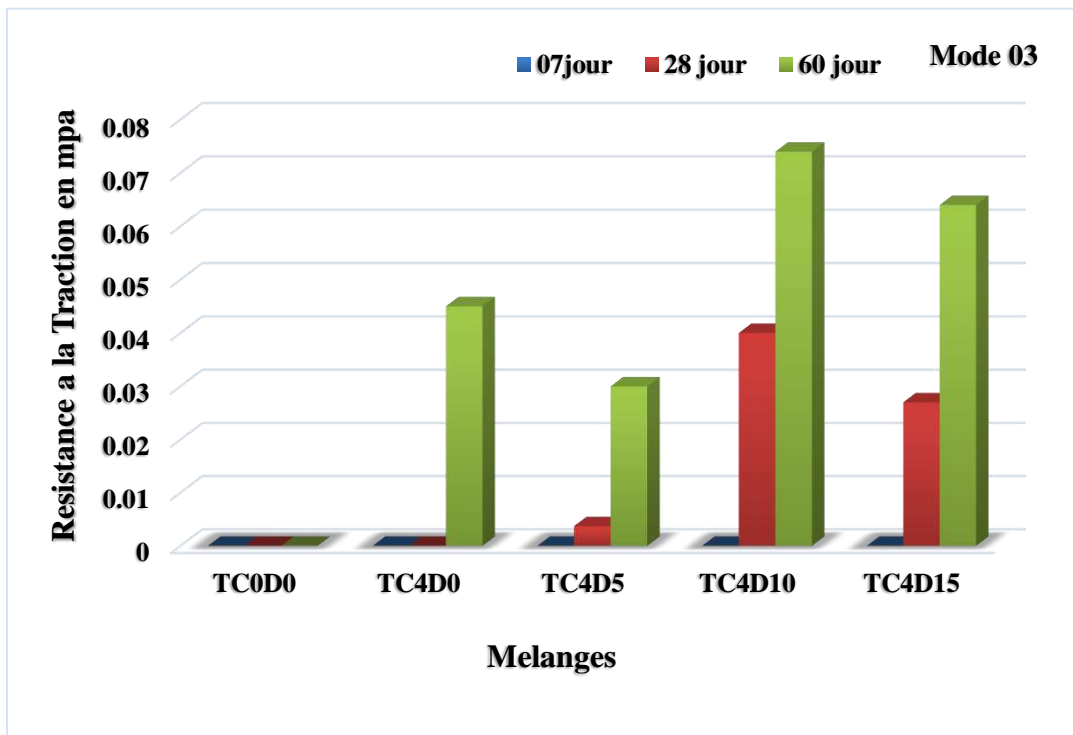


Figure III - 15: La résistance à la Traction des mélanges après 07, 28,60jours pour Mode 03.

- D'après les histogrammes tracés, on remarque que, en mode 1 et pour les âges 28 et 60 jours, les résistances à la traction des éprouvettes de différentes formulations sont nulles ou relativement faibles par rapport à celles ayant 07 jours.
- En Mode 2, les mélanges TC4DB5, TC4DB10 et TC4DB15 fournissent une certaine résistance en traction (R_t) comparativement à celle des mélanges obtenus en mode 1. Cependant en mode 03, la résistance R_t des mélanges cités est nettement supérieure à celle de tuf seul.
- Les résultats obtenus exprimés par les figure III.16, III.17 et III.18 montrent clairement l'effet du mode de conservation et la durés de conservation pour permettre à l'établissement d'une réaction entre la chaux et la poudre de déchets de briques. Cette réaction qui est responsable à l'augmentation des liaisons entre les particules des mélanges, et donc la résistance mécanique. Ceci est constaté dans Mode 3 dont les résistances en traction des mélanges, à l'âge de 60 jours sont supérieures à celles obtenues après 7 et 28 jours de conservation.

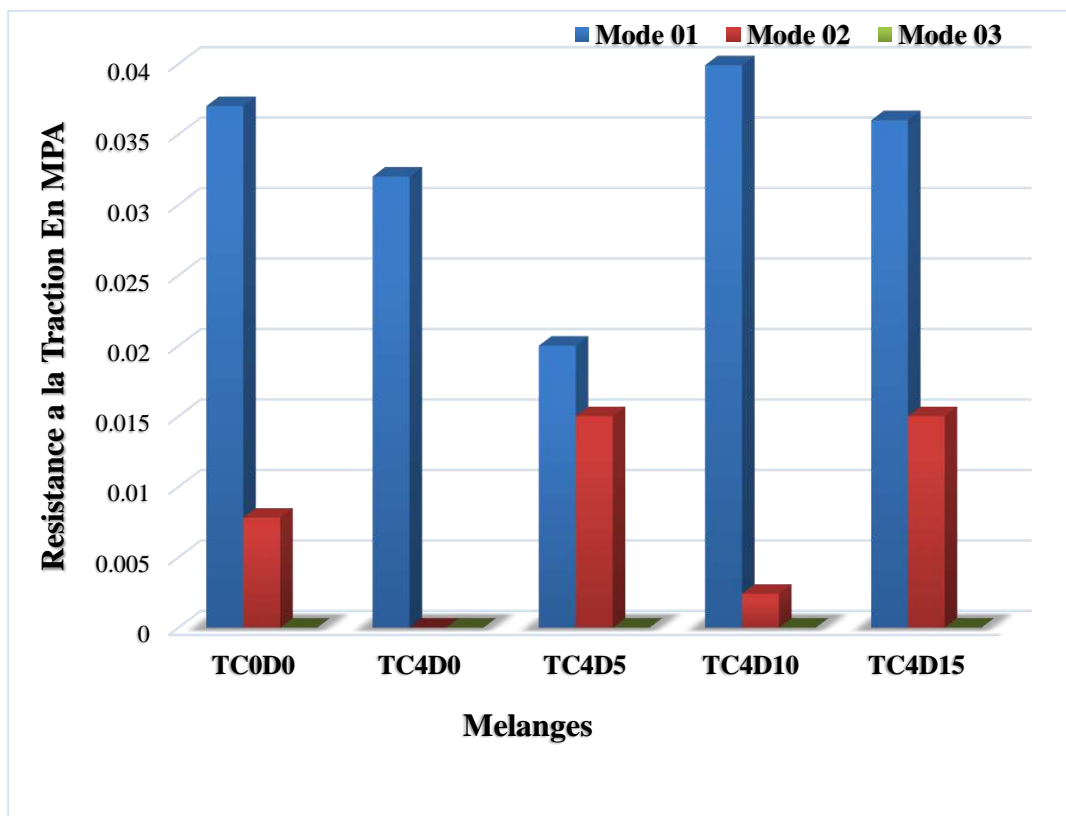


Figure III - 16: La résistance à la Traction des mélanges après 07jours

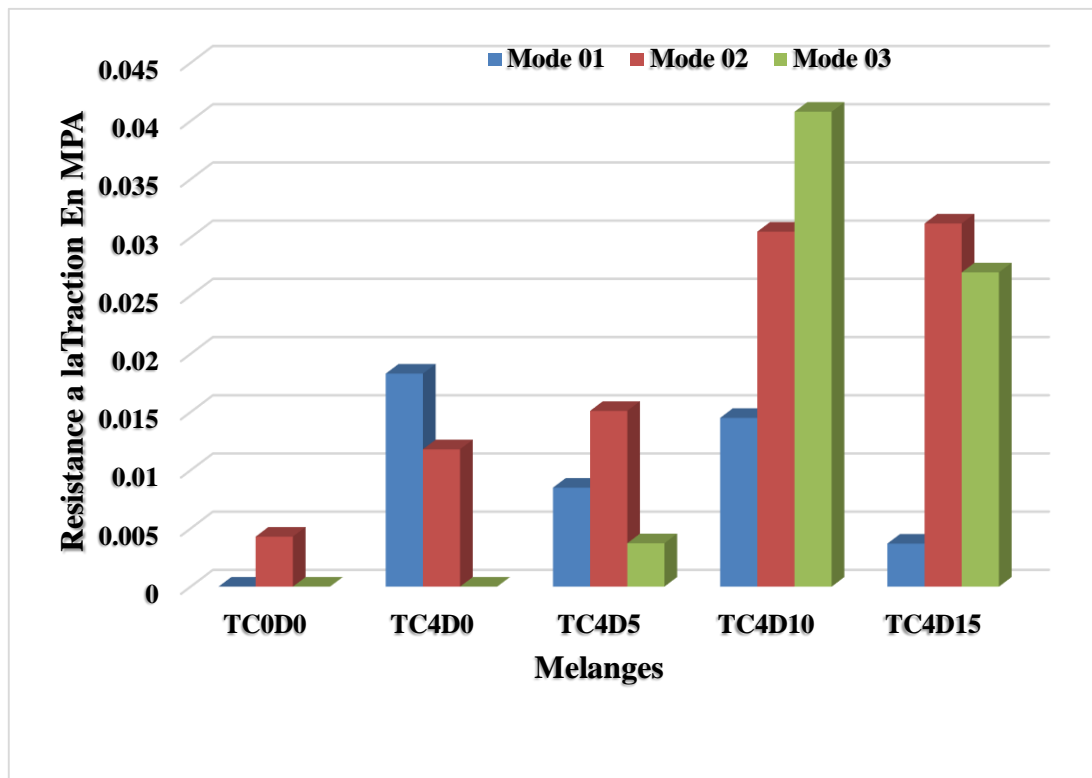


Figure III - 17: La résistance à la traction après 28jours.

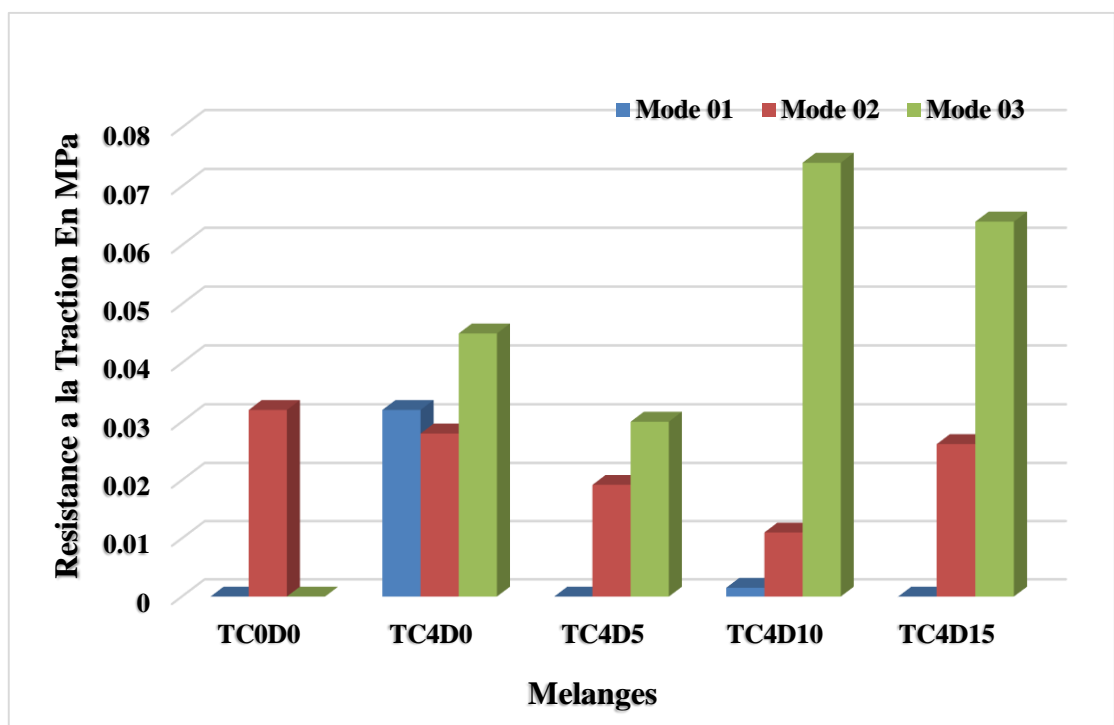


Figure III - 18: La résistance à la traction après 60jours

b. L'effet de la variation de la teneur en eau de confection des éprouvettes :

- La figure III.19 exprime la variation de la résistance à la traction en fonction de la teneur en eau de confection des éprouvettes des trois mélanges après 28 jours de conservations en mode1.

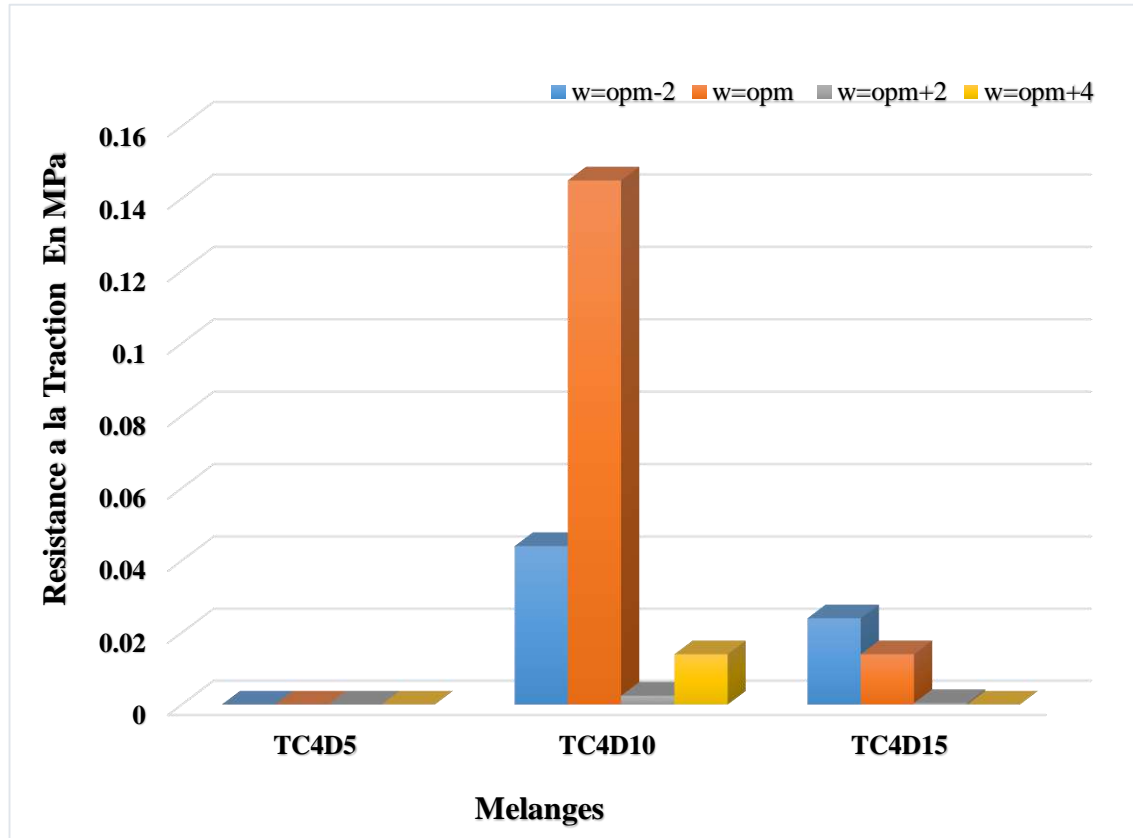


Figure III - 19: La résistance à la Traction des mélanges après 28 j pour les 04 teneuses en eau.

- Les résultats montrent que les meilleures résistances en traction sont celles des éprouvettes confectionnées à partir des mélanges TC4D10 et TC4D15 à des teneurs en eau oscillant entre W_{opm} et W_{opm-2} , alors que le mélange TC4D5 présente une résistance presque négligeable. Ce résultat illustre que la résistance mécanique élevée est celles obtenues en utilisant une teneur en eau proche de W_{opm} .

III .2. Conclusion :

Les résultats obtenus nous permettent de conclure ce qui suit :

- Les résistances à la compression et à la traction 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 et R_t) 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.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE :

Ce travail a pour objectif de valoriser un tuf d'encroûtement de tuf doté de propriétés mécaniques médiocres et le recyclage des déchets de briques sous forme de poudre en vue de leur utilisation en construction saharienne. L'étude est focalisée sur l'examen de l'évolution de la résistance mécanique des mélanges tuf/ poudre déchets de briques traités à la chaux avec le avec l'âge en jouant sur le mode de conservation et la quantité d'eau de malaxage, ainsi que la sensibilité des mélanges à l'eau.

Les essais d'analyse chimique effectuée sur le tuf ont révélés qu'il est de nature de gypseuse. Selon la classification GTR92, le matériau appartient à la classe B2, qui est considérée comme un sable argileux .Du point de vue performances mécaniques, le tuf a une portance moyenne (IPI =35) et une faible de résistance à la compression qui ne dépasse pas 1MPa.

Le fait de mélanger le tuf et la poudre de déchets de briques, et de plus le procédé de traitement à la chaux, nous permet de déduire ce qui suit :

- La résistance mécanique des éprouvettes de différents mélanges conservées dans les conditions de laboratoire, c'est-à-dire en mode1, marque certaine diminution avec la durée de conservation en raison de la perte d'une quantité d'eau qui nécessaire pour permettre à la poudre de déchets de briques réagi correctement avec la chaux
- les meilleures résistances mécaniques sont enregistrées en mode3 à l'âge de 60jours pour le mélange TC4D15 ;
- Lors de la variation de la teneur en eau de confection, les meilleurs les résistances (Rc et Rt) sont obtenues pour les éprouvettes préparées à partir d'une teneur en eau proche de Wopm ;
- l'étude de la sensibilité à l'eau décèle que l'ajout de déchets de briques sous forme de poudre au tuf permet de palier le problème de la perte totale de la cohésion du tuf lorsqu'il est utilisé seul.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]. KHELLOU.A, 2018,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]. GOUAL.I, 2012, Thèse Pour l'obtention du Diplôme de Docteur en Génie Civil, Université ABOUBAKR Belkaid – TLEMCEM, Intitulée : Comportement mécanique et hydrique d'un mélange de tuf et de sable calcaire de la région de Laghouat : Application en construction routière p 21,22.
- [3]. Ce LIVRET, juin 2017," 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.
- [4]. DAHEUR.AL, 2011, Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister en Génie Civil, Contribution à l'étude de traitement des tufs d'encroûtements dans le domaine de la géotechnique routière, Université Ammar Telidji à Laghouat p 14,15.
- [5]. http://ruedeslumieres.morkitu.org/apprendre/gypse/composition/index_composition.html.
- [6]. Morsli, M., 2007 -Contribution à la valorisation des tufs d'encroûtement en technique routière saharien, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, ENP- Alger - Algérie p12, 13.
- [7]. LIVERE, 2014, LES DÉCHETS DÉFINITION, GESTION, COLLECTE, TRAITEMENT, RESPONSABILITÉS, POLICE SPÉCIALE, p 09
- [8]. BARKAT A., 2006- Valorisation des déchets de briques dans la réalisation des ouvrage en béton, Thèse de magistère, Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, p 43
- [9]. LIVERE, Milieux Humains, Déchets, Rapport sur l'Etat de l'Environnement du Maroc p221.
- [10]. 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 MAMMERRI de Tizi-Ouzou 01

Références bibliographiques

- [11]. ALIOUA.K, 2021, Etude des performances mécaniques d'un mélange tuf d'encroûtement /déchets de brique broyés en vue de son utilisation en construction routière, Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, p 21.
- [12]. HAFSI.M, 29 & 30 Novembre 2010, LTPS Ouargla, Les Tufs Gypseux et Calcaires en Zones Arides Essais et Critères de Sélection, Séminaire national de la route et la sûreté de la circulation Université KASDI MERBAH Ouargla, p 02,03
- [13]. Méthode d'analyse, 2015-11-16 (révision 1), Détermination de la granulométrie, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec,. P 05
- [14]. <https://www.academia.edu/36613916>.
- [15]. Document, Essai au bleu de méthylène.
- [16]. OUDNIS, 2018, Thème En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil, Master, UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI, p 24
- [17]. L'ESSAI PROCTOR, SOURCES MODES OPERATOIRES DU LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES SANGLERAT – INTERNE.
- [18]. file:///C:/Users/Administrator/Desktop/New%20folder%20(2)/36.pdf.
- [19]. Indice Portant Immédiat - Indice CBR Immédiat - Indice CBR après immersion (NF P 94-078), ARVOR Géotechnique Ingénierie des sols et des fondations, Fiche : MPL-FT-06 Indice A du 26.01.11.
- [20]. LIVERE Classification des sols norme NF P 11 300 et G.T.R, Chapitre 03.
- [21]. <https://norminfo.afnor.org/consultation/66404>.
- [22]. Alloul, B., 1981- Etude géologique et géotechnique des tufs calcaires et gypseux d'Algérie en vue de leur valorisation routière – Thèse de docteur de 3ème cycle de l'Université de Paris VI.
- [23]. Horta De Os., 1979 - Les encroûtements calcaires et les encroûtements gypseux en géotechnique routière. Service des publications du laboratoire de M.D.S., Bas SONATRACH, Blida, Algérie