

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 Hydraulique

C:.....

R:.....

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

Master Académique

Filière: Génie Civil

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art

Thème

**Etude des performances mécaniques d'un mélange tuf
d'encroûtement /déchets de brique broyés en vue de son
utilisation en construction routière**

Présenté par :

❖ **ALIOUA Khaoula**

❖ **MESSINI Ikram**

Soumis au jury composé de :

MOKHIARI Abdessamed

MCB

U.K.M.O

Président

KEBAILI Mustapha

MCA

U.K.M.O

Examineur

KHELLOU Abderrezak

MCB

U.K.M.O

Encadreur

Année Universitaire: 2020 / 2021

إهداء

إن قاطرة بحثنا هذا قد مرت بالعديد من العوائق والصعوبات، وعلى الرغم من هذا فنحن حاولنا أن نتخطى كل هذه العقبات والصعوبات بثبات شديد بفضل الله سبحانه وتعالى، وبفضلكم أنتم أيضاً يا ودينا الأعزاء.

و إلى أمي وأخواتي الذين كانوا دائماً بالنسبة لي بمثابة العُضد والسند وجميع من ساهمة معنا في هذه المذكرة .

ولا يمكن أن أنسى أساتذتي الكرام وخاصة أستاذ المؤطر خلو عبد الرزاق الذي كان لهم الفضل الكبير والدور الأول في مساندتنا وتوضيح لنا العديد من المعلومات الهامة والقيمة بالنسبة لنا.

فنحن اليوم نقوم بإهداءكم بحث تخرجينا ونتمنى من الله أن يطيل لكم في أعماركم ويرزقكم دائماً بالخيرات.

TABLEAU DE MATIERE

ملخص	.....	I
RÉSUMÉ	.....	I
ABSTRACT	.....	I
LISTE DES FIGURES	.....	II
LISTE DES PHOTOS	.....	III
LISTE DES TABLEAUX	.....	III
INTRODUCTION GENERALE	.....	IV
 CHAPITRE I: Tuf d'encroûtement en construction routière		1
1.1	Introduction	1
1.2	Définition Tuf d'encroûtement	1
1.3	Différents encroûtements	1
1.3.1	Encroûtement Gypseux	1
1.3.2	Encroûtements calcaires	2
1.3.3	Les encroûtements gypseux	2
1.3.4	Les encroûtements mixtes (gypso-calcaires)	3
1.4	Caractéristiques géotechnique et mécaniques des tufs	3
1.5	Tuf d'encroûtement en construction routière	4
1.6	Traitements des tufs	4
1.7	Traitements aux liants hydrauliques	4
1.8	Stabilisations par des produits organiques	5
1.9	Mélanges de tuf et de granulats	5
1.10	Conclusion	7
 CHAPITRE II: Caractérisation des matériaux		8
II.1	Introduction	8
II.2	Le tuf d'encroûtement	8
II.2.1	Caractérisation physiques	8
II.2.1.1	Masse volumique apparent	8
II.2.1.2	Analyse granulométrique (par tamisage)	8
II.2.1.3	Limite d'Atterberg	10
II.2.1.4	Bleu méthylène	10
II.2.2	Caractérisation mécaniques	11

II.2.2.1	Proctor modifié	.....	11
II.2.2.2	CBR (California Bearing Ratio)	.....	12
II.2.2.3	Caractérisation chimiques	.....	13
II.2.3.1.1	Détermination du taux de carbonates	.....	13
II.2.3.1.2	Détermination du taux de sulfates	.....	14
II.2.3.1.3	Détermination du taux d'insolubles	.....	14
II.3	Classification des matériaux selon GTR 92	.....	15
II.4	Poudre de déchets de briques	.....	16
II.5	La chaux	.....	17
II.6	Conclusion	.....	18
	CHAPITRE III: Résultats et discussions		19
III.1	Introduction	.....	19
III.2	Méthodologie de l'étude expérimentale	.....	19
III.3	Evolution de résistance à la compression simple (Rc)	.....	19
III.4	Evolution de résistance à la traction (Rti)	.....	22
III.5	Effet de la variation de la teneur en eau de confection	.....	24
III.6	Sensibilité à l'eau	.....	25
III.7	Conclusion	.....	29
	CONCLUSION GENERALE		30
	REFERENCES		31

ملخص

الهدف من هذا العمل هو معالجة إحدى أنواع طف القشرة (التيف) المستغل في إنجاز مختلف طبقات الطرق وذلك باستعمال من طحين بقايا الأجر لغرض تحسين المقاومة المكانية (مقاومة للضغط البسيط والشد الغير مباشر) النتائج أظهرت تحسن معتبر لمقاومة العينات المنجزة من التيف المعالج مقارنة بتلك المسجل للتيف وحده . دراسة الحساسية للماء أبرزت التماسك جيد لعينات التيف المعالجة بعد عملية الغمر في الماء لمدة 7 أيام ، بينما ذوبان كامل للعينات المنجزة بالتيف وحده بعد ساعة وحدة فقط .

الكلمات المفتاحية: طحين بقايا الأجر ، الجير ، طف القشرة ، معالجة ، الضغط البسيط، الشد الغير مباشر

Résumé

L'objectif de ce travail est de traiter l'un des types du tuf encroûtement en utilisant la poudre de déchets de briques (PDB) afin d'améliorer ses performances mécaniques (les résistances à la compression simple et à la traction indirecte). Les résultats obtenus montrent l'amélioration considérable de la résistance des éprouvettes confectionnées du tuf traité à la PDB en comparant avec celles en tuf seul. L'étude de la sensibilité décèle l'excellente tenue à l'eau des éprouvettes en tuf traité après 7 jours d'immersion, tandis que le dissout total celles confectionnée en tuf seul au bout d'une heure.

Mots-clé : poudres des déchets de briques, tuf d'encroûtement, traitement, compression simple, traction indirecte.

Abstract

The objective of this work is to treat one of the types of encrusting tuff using wastes bricks powder (PDB) in order to improve its mechanical performance (simple compressive and indirect traction strengths). The results obtained show the improvement in the resistance of specimens made from PDB treated tuff compared to those made from tuff alone. The sensitivity study reveals the excellent water resistance of the treated tuff specimens after 7 days of immersion, while the total dissolves those made of tuff alone after one hour .

Keywords: wastes bricks powder, encrusting tuff, , treatment, simple compression, indirect traction.

LISTE DES FIGURES

Figure I-1	Figure 1: Influence de l'ajout du sable de dunes aux tufs sur la densité sèche.....	06
Figure I-2	Influence du taux d'incorporation de sableur l'indice portant.....	06
Figure II -1	: échantillon du tuf utilisé.....	08
Figure II-2	Courbe granulométrique du tuf.....	09
Figure II-3	La courbe de la limite de liquidité(W_L).....	10
Figure II -4	des étapes de l'expérimentation Bleu de méthylène.....	11
Figure II- 5	La courbe de PROCTOR Modifie.....	12
Figure II-6	La courbe de la CBR.....	13
Figure II- 7	Classification du tuf selon GTR92.....	16
Figure II-3	: déchets de briques.....	16
Figure II-4	: Poudre de déchets de briques.....	16
Figure III-1	La résistance à la des mélanges après 28 j +7j	21
Figure III-2	Schéma du mode d'application de l'effort.....	22
Figure III-3	La résistance à la traction des mélanges après 28 j +7j.....	23
Figure III-4	La résistance à la compression des mélanges après 28 j pour les deux teneur en eau...	24
Figure III-5	La résistance à la traction des mélanges après 28 j.....	25
Figure III-6	La résistance à la compression des mélanges après 28 j+7j d'immersion dans l'eau....	27
Figure III-7	La résistance à la compression des mélanges après 28 j+7j d'immersion dans l'eau....	28
Figure III-8	La résistance à la traction des mélanges après 28 j+7j d'immersion dans l'eau.....	29

LISTE DES PHOTOS

Photo III.-1 des éprouvettes de compression préparées à l'écrasement.....	19
Photo III-2 presse hydraulique pour l'écrasement.....	20
Photo III-3 Une éprouvette de compression pendant l'écrasement.....	20
Photo III-4 des éprouvettes de traction préparées à l'écrasement.....	22
Photo III-5 Une éprouvette de traction pendant l'écrasement.....	23
Photo III-6 Les éprouvettes à la traction et à la compression du tuf après 24h d'immersion.....	26
Photo III-7 Des éprouvettes de compression à l'immersion.....	26
Photo III-8 Des éprouvettes de traction à l'immersion.....	27

LISTE DES TABLEAU

Tableau I-1 Synthèse des caractéristiques géotechnique et mécaniques des tufs d'encroûtement.....	03
Tableau II-1 Résultats d'analyse granulométrique du tuf	09
Tableau II-2 Les classifications des sols en fonction de VBS	10
Tableau II-3 de la CBR.....	13
Tableau II-4 Résultats d'analyse chimique du tuf.....	14
Tableau II-5 Les différents types d'encroûtement selon la nature chimique	14
Tableau II-6 synthèse des résultats de caractérisation	15
Tableau II-7 Fiche technique des Propriétés physiques et chimiques de la chaux de Sida.....	17
Tableau III -1 différents mélanges testés	19

INTRODUCTION GENERALE

Les tufs d'encroûtements est l'un des matériaux locaux qui se trouvent en abondance dans la région d'Ouargla. Ils sont largement utilisés en construction routière

Certains types de tufs sont peu exploitables en raison de leurs propriétés géotechniques médiocres et leurs faibles performances mécaniques. Le recours à leur traitement aux liants ou en les mélangeant avec d'autres matériaux ou déchet pourrait être une solution pour pallier cette insuffisance.

Dans le contexte de la valorisation des matériaux locaux et du recyclage des déchets industriels, ce travail est inscrit. Son objectif est d'améliorer les performances mécaniques, en particulier les résistances à la compression et à la traction d'un tuf gypseux en le traitant à la chaux et à la poudre des déchets de briques

Ce mémoire comporte trois chapitres. Quelques définitions attribuées aux tufs et leur origine, ainsi que les techniques utilisées pour les stabiliser sont abordées au premier chapitre. Le deuxième chapitre porte sur la caractérisation du matériau objet d'étude. La présentation des résultats obtenus et leur interprétation fait l'objet du dernier chapitre.

CHAPITRE I

CHAPITRE I: Tuf d'encroûtement en construction routière

I.1 Introduction

Au sud de l'Algérie, Les tufs d'encroûtement ou tout simplement les tufs font partie des matériaux disponibles en grande quantité. Ils sont largement utilisés en construction routière.

Vu leur particularité de durcir avec le temps après humidification, compactage et dessiccation,. Ce chapitre présente quelques définitions des tufs.

I.2 Définition Tuf d'encroûtement

En Afrique de nord, le mot tuf est donné a un matériau spécifique extrait des formations superficielles tendres, friables, poreuses, légères et de couleur claire « dits encroûtements » , datant du Quaternaire et résultant d'un certain nombre d'échanges par dissolution et Précipitation. [10]

Selon la compositions chimiques de l'encroûtement d'origine, Les tufs sont généralement rangés, en trois catégories : les tufs calcaires, les tufs gypseux et les tufs mixtes (gypso-calcaire)

I.3 Différents encroûtements

Ici, le terme croûte (ou encroûtement) désigne toute formation blanchâtre, rencontrée à faible profondeur, due à l'accumulation ou remplacement de quantité plus ou moins grande de sols, roche ou matériaux altérés par du calcaire ou du gypse.

I.3.1 Encroûtement Gypseux

Se sont des formations dures d'allure plus ou moins scoriacée, se présentant sous l'aspect d'un gré(Durand, 1953) . C'est le reste de la formation enrichie en surface de calcium et assez compact, se trouvent sous la croûte gypseuse(Bureau et Roederer ,1961). L'épaisseur de ces formations varie de quelques centimètres à plus d'un mètre parfois, de haut en bas on y distingue principalement deux horizons :

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

Le second horizon diffère très peu du précédent, Il y a une légère variation dans la coloration, a peine moins blanche à jaune très pâle. L'aspect général reste massif, la structure change à peine à l'apparence d'un limon pulvérulent. Parfois de petits cristaux sont visibles à l'œil nu.

Plusieurs hypothèses relatives à la formation des encroûtements gypseux ont été formulées. L'encroûtement gypseux serait dû à une accumulation progressive de gypse vers la surface, à partir d'une roche mère gypseuse, principalement par évaporation. L'accroissement de la teneur en gypse dans les différents horizons s'accompagne d'un amincissement de la taille. Une croûte zonière superficielle de quelques millimètres est le terme normal de cette pédogenèse par un phénomène de concentration à la surface de l'encroûtement par la suite d'alternances de dissolutions et d'évaporations".

I.3.2 Encroûtements calcaires

La croûte calcaire appelée aussi encroûtement calcaire est un matériau terrestre composé essentiellement, mais pas exclusivement de carbonates de calcium.

D'après Horta(1979), la formation des encroûtements calcaires correspond à certaines conditions climatiques critiques. Pour que les sols s'encroûtent de manière appréciable, les précipitations doivent être capables de solubiliser des quantités importantes de carbonates, sans toutefois excéder un certain seuil au-delà duquel elles pourraient emporter la totalité ou la majeure partie de ces carbonates vers les bassins marins ou lacustres. Ces conditions climatiques peuvent être illustrées par le climat qui règne dans les zones méditerranéennes subhumides et semi-arides.

D'après certains résultats effectués, les tufs calcaires sont des roches calcaires ayant un Los Angeles supérieur à 60, une masse volumique inférieure à 20 KN/m^3 , une résistance à la compression simple comprise entre 5 et 10 MPa, 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%. [7]

I.3.3 Les encroûtements gypseux

Les gisements des sables gypseux en zone aride, se sont formés à différentes époques du quaternaire par dépôt de gypse dans le sol à partir des nappes phréatiques séléniteuses. Les sables gypseux ont un grain dont le diamètre est compris entre 0,1 et 2 mm, chaque grain est agglutination des cristaux microscopiques, il peut se présenter aussi en cristaux plus gros allant jusqu'à 5 mm. [7]

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

[7]

I.4 Caractéristiques géotechniques et mécaniques des tufs d'encroûtement

À les résultats obtenus par les différents auteurs ayant réalisé des essais de laboratoire sur tuf d'encroûtement, montrent une grande dispersion dans les caractéristiques géotechniques de ces matériaux. Néanmoins, les fourchettes de variation (tableau 1) sont établies en fonction de la nature chimiques du tufs

Tableau I.4 : Synthèse des caractéristiques géotechnique et mécaniques des tufs d'encroûtement (Morsli ,2007)

	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	$8\% < W_{opt} < 20\%$	$8\% < W_{opt} < 20\%$	$8\% < W_{opt} < 20\%$
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.5 Tuf d'encroûtement en construction routière

Les tufs d'encroûtements sont utilisés pour la construction des chaussées de moyen à faible trafic.

L'utilisation la plus courante est en assises de chaussée (couche de base et couche de fondation)

D'autres usages sont fréquents : accotements, remblais, pistes agricoles, etc. Le corps de chaussée est mince, traité à sa surface supérieure sur cinq (05) cm en moyenne afin de lui procurer une certaine rigidité et pour absorber les efforts de cisaillement très intenses induits par les poids lourds.

L'épaisseur moyenne requise pour la couche de base est de 15 cm. La couche de fondation est liée à la nature du sol de fondation et des conditions de terrassement, son épaisseur peut varier de 15 à 30 cm. Le module du matériau de la couche de base doit être compris entre 150 et 300MPa (soit un indice portant compris entre 30 et 60).

L'imprégnation est réalisée sur toute la largeur de la plateforme, le plus souvent au cut-back 0/1 et parfois au cut-back 10/15.

I.6 Traitements des tufs

Le recours au traitement des tufs d'encroûtements a comme objectif soit d'améliorer la cohésion et/ou de l'angle de frottement interne, soit d'améliorer des caractéristiques de mise en œuvre, soit une insensibilisation à l'eau. Les techniques de stabilisation sont généralement choisies en fonction des problèmes posés et du but recherché.

Généralement les tufs traités utilisés en corps de chaussées sont stabilisés soit par ajout de liants, soit par ajout, et à très faible pourcentage, de produits organiques soit de mélanges de matériaux.

I.7 Traitements aux liants hydrauliques

la chaux et le ciment sont les liants hydrauliques les plus classiquement employés pour améliorer les sols ou renforcer les matériaux.

dans cette section on va aborder quelques traitements à savoir le traitement à l à chaux et à la cendre de bois.

À titre indicatif, lors du traitement à l à chaux ,L'hydratation de la chaux vive au contact de l'eau du sol provoque une consommation d'eau et une évaporation importante (la réaction exothermique entraîne une évaporation). Cette propriété est mise à profit pour l'assèchement des sols fins argileux et humides. [12]

Par ailleurs, l'adjonction de chaux au sol provoque une modification de la qualité des argiles par échange des cations alcalins (Na^{2+} , K^+ Al^{3+} , Ni^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , etc....) par des cations Ca^{2+} apportés par la chaux; ceci développe des forces électriques conduisant à une agglomération des fines particules argileuses en particules grossières et friables. Un sol argileux et humide passe d'un état plastique à un état solide, friable et perd une partie de sa sensibilité à l'eau.

[12]

L'addition de chaux a des effets à long terme (plus d'un an) par combinaison avec les constituants des argiles : [12]

- L'augmentation de la cohésion, de la résistance au poinçonnement (l'indice CBR peut être multiplié par 4 à 10 au bout de deux heures) ;
- L'augmentation des résistances mécaniques ;
- Une meilleure perméabilité de l'argile ;
- Dans le cas d'argiles gonflantes : diminution des variations volumiques ;

I.8 Stabilisations par des produits organiques

Un certain nombre de produits organiques ont été proposés pour la stabilisation des sols fins. Il s'agit de dérivés aminés tensioactifs, de résines associées à des agents durcisseurs ou d'extraits de végétaux du type lignosulfonates ou lignosulfites.

Le but de ces produits est d'améliorer la tenue des sols fins en diminuant leur affinité pour l'eau en enrobant leurs particules d'un film tensio actif. Ces additifs sont fournis sous forme de liquides ou de pâte diluable ou de poudre dispersable.

I.9 Mélanges de tuf et de granulats

Les tufs, notamment les plus tendres, ont naturellement un pourcentage de fines élevé et ils comportent peu ou pas de squelette (sable). Certaines graves naturelles sont, au contraire, riches en gros éléments mais totalement dépourvues de fines. Par ailleurs, certains sables naturels éoliens ou alluvionnaires ont des courbes granulométriques étroites et sont dépourvus de fines.

L'association de tufs d'encroûtements avec d'autres matériaux (graves, sables) paraît donc tout à fait intéressante lorsqu'on veut améliorer la granulométrie d'une grave dépourvue de fines ou réduire la quantité de fines d'un tuf riche en fines.

Des travaux menés par Morsili (2007) montrent que l'ajout d'un sable de dunes, jusqu'à un pourcentage de 25%, aux tufs d'encroûtement de Béchar présentant une certaine argilosité peut améliorer la densité sèche maximale et l'indice portant ICBR comme le montre respectivement les figures 1. et 2.

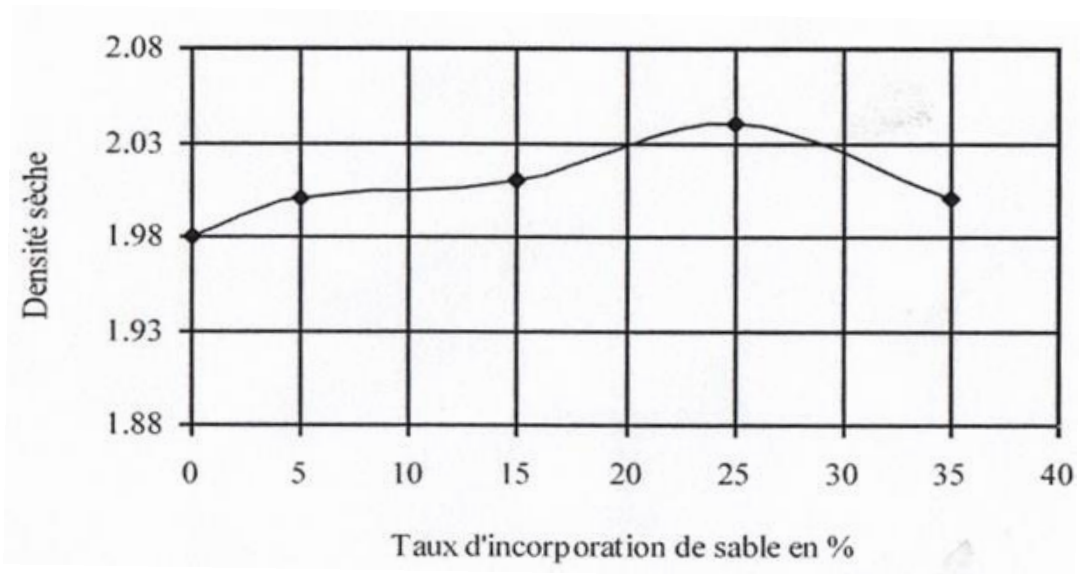


Figure I-1: Influence de l'ajout du sable de dunes aux tufs sur la densité sèche Morsli (2007)

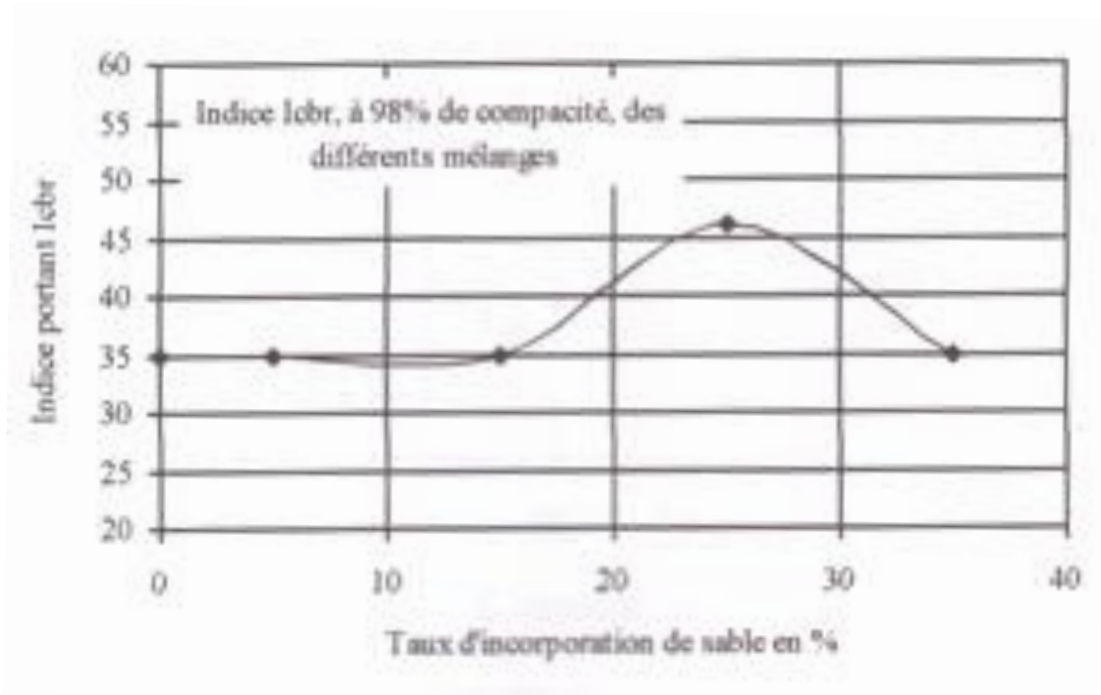


Figure I-2 Influence du taux d'incorporation de sable sur l'indice portant Morsli (2007)

I.10 Conclusion

Les tufs d'encroûtement sont des matériaux de chaussée très répandus dans les zones arides et semi arides. Ils se sont regroupés autour de deux pôles, l'un sulfaté, l'autre carbonaté. ces matériaux échappent en effet totalement aux classifications habituelles en raison de la variabilité de leurs caractéristiques géotechniques.

L'évolution de la cohésion des tufs est constatée après 'humification, compactage et séchage, ce qui confère à ces matériaux une propriété requise pour une utilisation en construction routière saharienne

Les expériences ont montré que l'amélioration de certaines propriétés mécaniques des tufs d'encroûtement de mauvaise qualité peut se faire soit par le traitement aux liants soit mélangés avec d'autres matériaux, utilisés comme des correcteur granulaire, afin d'élargir leur champs d'exploitation dans les différentes couches de chaussée

CHAPITRE II

Chapitre II : Caractérisation des matériaux

II.1 Introduction

Dans toute étude expérimentale, la caractérisation des matériaux et produits utilisés est une étape fondamentale. Ce chapitre se focalise principalement sur la détermination de certaines caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques du matériau de base qui est le tuf avec une brève description des essais qui les définissent.

II.2 Le tuf d'encroûtement

Le tuf d'encroûtement objet de la présente d'étude est extrait de la région d'Ouargla. Avant son utilisation, il est dessèche dans un endroit ensoleillé pendant quelques jours (Figure II-1) afin d'éliminer toute humidité.



Figure II -1 : échantillon du tuf utilisé

II.2.1Caractérisation physique

II.2.1.1 Masse volumique apparente

L'essai est réalisé selon la norme NF P 94-053, il a pour objectif de déterminer la masse volumique apparente d'un échantillon prélevé sur site, la masse volumique des sols est un paramètre d'état.

L'essai de détermination de la masse volumique apparente effectué sur le matériaux permet d'obtenir une valeur de $\gamma_{ap} = 1.16 \text{ g/cm}^3$.

II.2.1.2 Analyse granulométrique (par tamisage)

L'analyse granulométrique se fait selon la norme NF P 18-560, il 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).

Les résultats d'analyse granulométrique du matériau objet d'étude sont présentés au tableau II- 1 et exprimés par la figure II-1

Tableau II -1 Résultats d'analyse granulométrique du tuf

Tamis (mm)	poids refus partiels (g)	poids refus cumulés (g)	poids refus cumulés (%)	Tamisats (%)
50	0	0	0,00	100,00
31,5	86,8	86,8	1,74	98,26
20	225,98	312,78	6,26	93,74
10	365,44	678,22	13,56	86,44
5	353,42	1031,64	20,63	79,37
2	459,62	1491,26	29,83	70,17
1	389,88	1881,14	37,62	62,38
0,63	444,7	2325,84	46,52	53,48
0,315	382,5	2708,34	54,17	45,83
0,16	1060,5	3768,84	75,38	24,62
0,08	809,2	4578,04	91,56	8,44
réceptier	422	5000	100,00	0,00

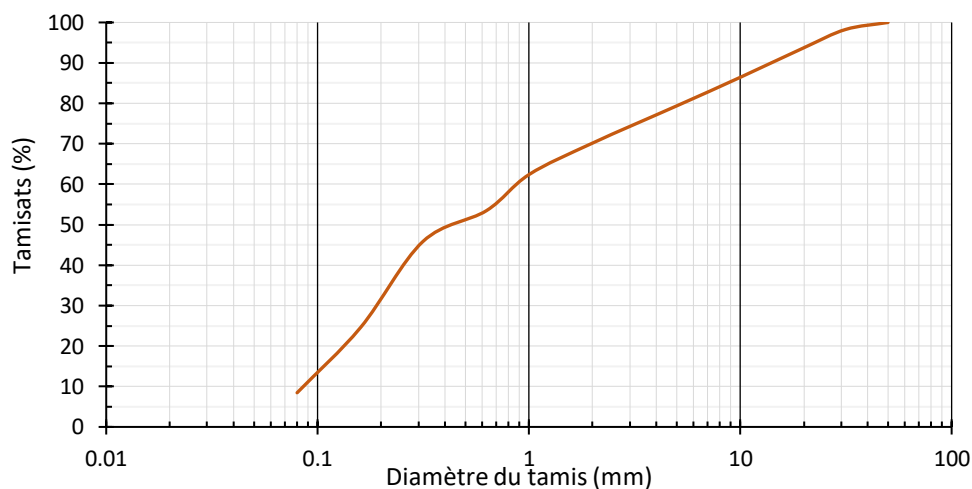


Figure II -2 Courbe granulométrique du tuf

Nous pouvons voir sur la courbe que le pourcentage d'éléments inférieurs à 0.08 et 2 mm est respectivement 8.44% et 70.17%, La valeur du coefficient d'uniformité (C_u) vaut 10.6, D'après Caquot et Kérisel la courbe granulométrique est de nature étalée ($C_u > 2$).

II.2.1.3 Limite d'Atterberg

L'essai est réalisé selon la norme NF P 94-051, il a pour objectif de déterminer les limites d'Atterberg (limite de liquidité et limite de plasticité) et donc la valeur de l'indice de plasticité, Il est réalisé sur la fraction inférieure à 0.4 mm.

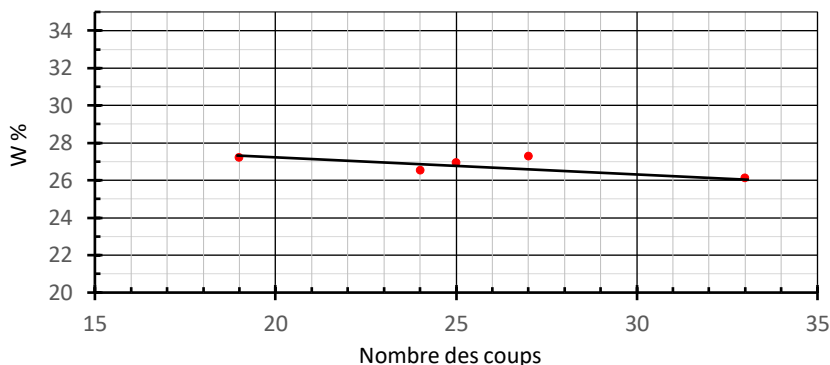


Figure II -3 La courbe de la limite de liquidité (W_L)

D'après la Figure II- 3 on constate que la limite de liquidité est de l'ordre de 26,85%, La limite de plasticité (W_P) non mesurable donc l'indice de plasticité (I_p) n'est, non mesurable aussi.

II.2.1.4 Bleu de méthylène

L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée par le matériau mis en suspension dans l'eau. Cette quantité 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 ou le matériau rocheux.

L'essai est réalisé selon la norme P94-068, il constitue un des paramètres d'identification de la classification des sols son but est de déterminer l'activité globale de la fraction argileuse.

Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de 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 apparaît à la périphérie de la tache. Une classification des sols en fonction de la valeur de bleu méthylène adsorbée est montrée par le tableau II -2 :

Tableau II -2 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

Le volume de bleu méthylène absorbé par les particules du tuf est de l'ordre de 68 ml, donc la valeur de bleu méthylène adsorbée (VBS) est 0.77, d'après le tableau précédent (Tableau II -2) on peut conclure que le tuf testé est de nature de sol limoneux.

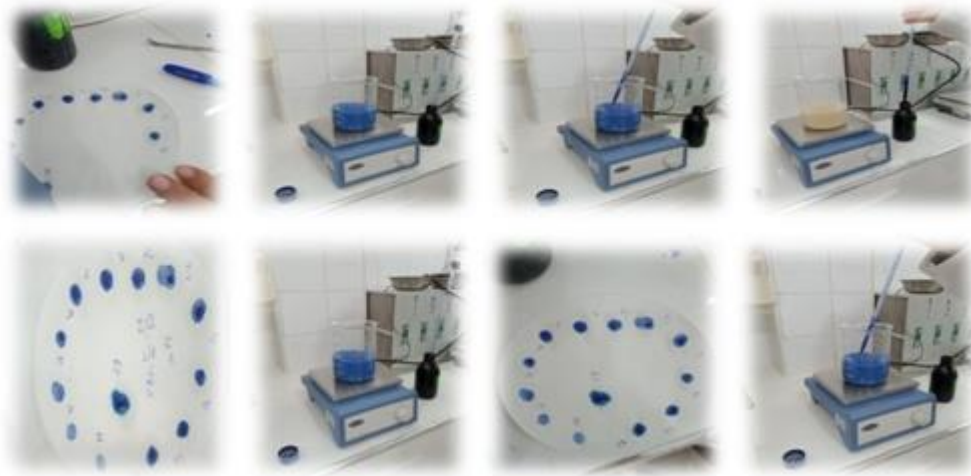


Figure II -4 des étapes de l'expérimentation Bleu de méthylène

II.2.2 Caractérisation mécanique

II.2.2.1 Proctor modifié

Réalisé selon la norme NF P 94-093, cet essai permet de déterminer pour une énergie de compactage donnée, la teneur en eau optimale pour obtenir la densité sèche maximale.

Le principe de cet essai consiste à humidifier un matériau à plusieurs teneurs en eau et à le compacter, pour chacune des teneurs en eau. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérées, on détermine la masse volumique sèche du matériau et on trace la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau.

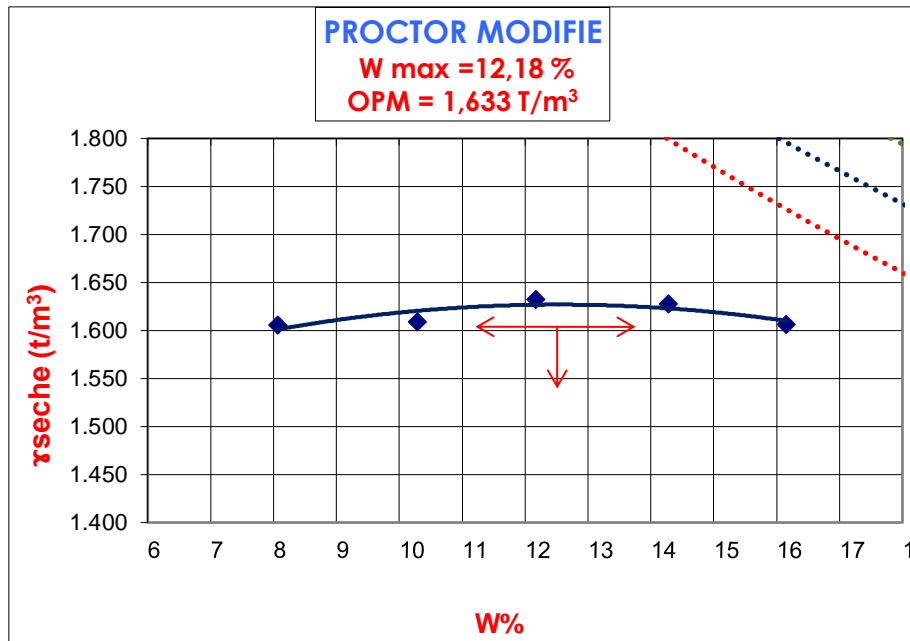


Figure II-5 La courbe de PROCTOR Modifie

D'après la courbe précédente, on déduit que la densité sèche maximale est de l'ordre de 1,63 g /cm³ pour une teneur en eau optimale équivalente à 12,18%.

II.2.2.CBR (California Bearing Ratio)

L'essai est réalisé selon la norme NF P 94-093, Il sert à déterminer l'indice CBR après immersion (I.CBR immersion) et l'indice portant immédiat (IPI).

Le principe consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de matériau. Les valeurs particulières des deux forces ayant provoqué deux enfoncements conventionnels sont respectivement rapportés aux valeurs des forces observées sur un matériau de référence pour les mêmes enfoncements.

Les deux indices sont des nombres sans dimension exprimant en pourcentage, l'indice recherché est par convention la plus grande de ces deux valeurs :

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

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

D'après l'essai de CBR on conclut que l'IPI est d'ordre de **46 %**

Temps	Enfoncement mm	Force		Pression Kg/cm ²
		Lecture	Valeur	
0	0	0	0	0,000
30"	0,625	70	1,471	7,490
1'	1,25	137	2,878	14,659
1' 40"	2	232	4,874	24,825
2'	2,5	300,5	6,314	32,154
4'	5	410	8,614	43,871
6'	7,5	580	12,186	62,062
8'	10	614	12,900	65,700
10'	12,5	710	14,917	75,972
Calcul de l'indice Portant				
A 2,5mm : P(2,5) / 0,70 = 46				46%
A 5mm : P(5) / 1,05 = 42				42%
Indice CBR =		46		46%

Tableau II-3 de la CBR

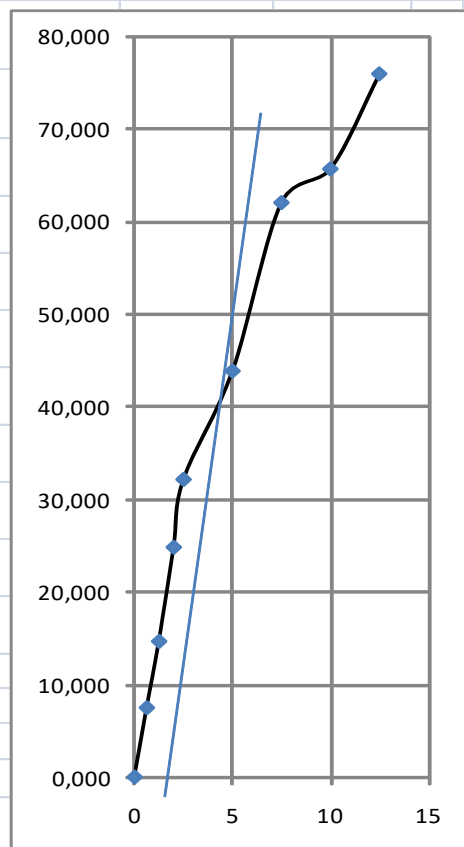


Figure II- 6 La courbe de la CBR

II.2.2.3 Caractérisation chimique

Une analyse chimique sommaire a été réalisée à la base des normes NF P 15-461 et BS 1377, dans le but de détermination des taux d'insoluble (le quartz principalement), le taux de gypse, le taux de carbonate et la teneur en sels. On donnera ci-dessous un résumé de la méthode.

Il faut noter que la détermination du taux de carbonates et de sulfates sont réalisés sur la fraction granulométrique inférieure à 1 mm.

II.2.3.1.1 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.

II.2.3.1.2 Détermination du taux de sulfates

L'essai est réalisé selon la norme BS 1377 Décembre 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 dessèche 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.

II.2.3.1.3 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 additionnées à une quantité d'acide chlorhydrique (HCL), après chauffage et filtration de la liqueur, on rajoute une solution de carbonate de sodium, on fait bouillir 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.

Tableau II-4 Résultats d'analyse chimique du tuf

Insolubles (%)		8.2
Sulfates (%)	SO ₃ ²⁻ (%)	12.89
	SO ₄ ²⁻ (%)	15.49
	CaSO ₄ 2H ₂ O	69.21
Carbonates de calcium CaCO ₃ (%)		20
Chlorure de sodium « Méthode de Mohr »	Cl ⁻ (%)	0.593
	NaCl (%)	0.912
Potentiel Hydrogène (pH)		8.48

Tableau II-5 Les différents types d'encroûtement selon la nature chimique

		Calcaire	Gypse	Gypso-Calcaire
Taux de Gypse et de Calcaire	Encroûtement calcaire	50 à 95 %	Moins de 10 %	10 à 50 %
	Encroûtement gypseux	Moins de 10 %	40 à 90 %	10 à 50 %
	Encroûtement gypso-calcaire	Plus de 50 %	Plus de 50 %	Plus de 50 %

D'après les Tableaux II-4 , on constate que le matériau étudié contient un taux du gypse relativement élevé (69.21%) et un taux de carbonates de calcium de l'ordre de 20% , ce qui permet de classer le tuf investigué comme un tuf gypseux (selon le Tableau II-5).

II.3 Classification des matériaux selon GTR 92

L'utilisation des terres en remblai est 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.

Cette classification présente un réel intérêt pratique , Elle est utilisée pour classer les matériaux routiers . Son usage est détaillée dans le Guide Technique pour la réalisation des Remblais et couches de forme. 16

Les résultats obtenus lors de la caractérisation physico-mécanique effectuée sur notre le matériau investigué sont synthétisés dans le Tableau II-6.

Tableau II-6 *synthèse des résultats de caractérisation*

Caractéristique	Valeur
La masse volumique apparente (g/cm ³)	1.16
Diamètre maximal (mm)	50
Éléments < 0.08 mm	8.44 %
Élément < 2 mm	70,17
Limite de liquidité (%)	26.85
La densité sèche maximale	1.68
La teneur en eau optimale (%)	12
Indice portant immédiat (IPI)	46
VBS	0.77
SO ₃ ²⁻ (%)	12.89
Insolubles (%)	8.2
SO ₄ ²⁻ (%)	15.49
CaSO ₄ 2H ₂ O (%)	69.21
CaCO ₃ (%)	20
Cl ⁻ (%)	0.593
NaCl (%)	0.912
pH	8.48

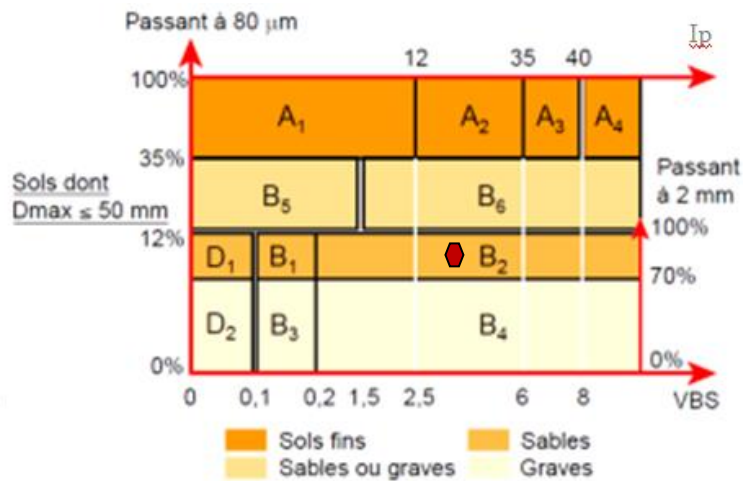


Figure II- 7 Classification du tuf selon GTR92

D’après les résultats de caractérisation, le tuf d’encroûtement est rangée dans la classe B2 figure (B2) qui considère comme un sable .

II.4 Poudre de déchets de briques

La brique est un matériau à base d’ argile ou d’autre matières argileuses , avec ajout ou non Sable, combustible ou autre adjuvant , porté à une température suffisamment élevée .

Les déchets de briques (photo3.4) utilisés proviennent de la briqueterie SBT installée dans la ville de Touggourt.

Dans cette étude, ces déchets sont exploités sous forme de poudre (photo3.4) obtenues après concassage et tamisage au tamis 80mm.



Figure II-3 : déchets de briques



Figure II-4 : Poudre de déchets de briques

II.5 La chaux

La chaux est l'un des liants les plus anciennement utilisés. Les Romains l'additionnaient de pouzzolane pour donner un mortier qui, utilisé dans la construction. 17

La chaux désigne toutes les formes physiques et chimiques dans lesquelles peuvent apparaître l'oxyde de calcium et de magnésium (CaO et MgO) et/ou l'hydroxyde de calcium/ou de magnésium (Ca(OH)₂ et Mg(OH)₂). Elle se présente sous deux formes : aérienne et hydraulique. 18

La chaux utilisée dans la présente étude durant notre étude est celle de la région de Saida; c'est une chaux éteinte présentant une faible concentration en éléments oxydes comme les silicates SiO₂, et aluminates Al₂O₃ et une forte concentration en éléments basiques comme la chaux libre CaO, ce qui lui confère un aspect aérien. Les propriétés chimiques et physiques de cette chaux sont résumées dans le Tableau II-7 Propriétés physiques et chimiques de la chaux de Saida Tableau II-7

Tableau II-7 Propriétés physiques et chimiques de la chaux de Saida

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.6 Conclusion

Les résultats obtenus de caractérisation révèlent que notre matériau de base est un tuf gypseux ayant une teneur en eaux optimale égale 12.18%, une densité sèche maximale de 1.68 .et indice portant immédiat de 69.14%.

Selon la classification GTR92, le tuf est rangé dans la classe B2. Il est considéré comme un sable .

CHAPITRE III

CHAPITRE III: Résultats et discussions

III.1 Introduction

Dans cette partie expérimentale et afin d'atteindre l'objectif qui consiste à examiner les performances mécaniques d'un tuf d'encroûtement en particulier la résistance à la compression simple et traction indirecte, des essais sont réalisés pour voir l'évolution de ces performances avec l'âge.

III.2 Méthodologie de l'étude expérimentale

Pour tester les résistances mécaniques, des éprouvettes cylindriques ont été confectionnées à partir de différents mélanges (tableau01)

Tableau III.1 : différents mélanges testés

	Tuf (%)	Chaux (%)	Poudre de déchets de briques (%)
TS(tuf seul)	100	0	0
TC4D0	96	4	0
TC4D5	91	4	5
TC4D10	86	4	10
TC4D15	81	4	15

III.3 Evolution de résistance à la compression simple (R_c)

Il s'agit d'un essai d'adaptation introduit pour la première fois par FENZY(1957).

Il est réalisé particulièrement sur les matériaux sahariens et sur la fraction inférieure de 5 mm, les éprouvettes font 5 cm de diamètre et 10 cm de hauteur.

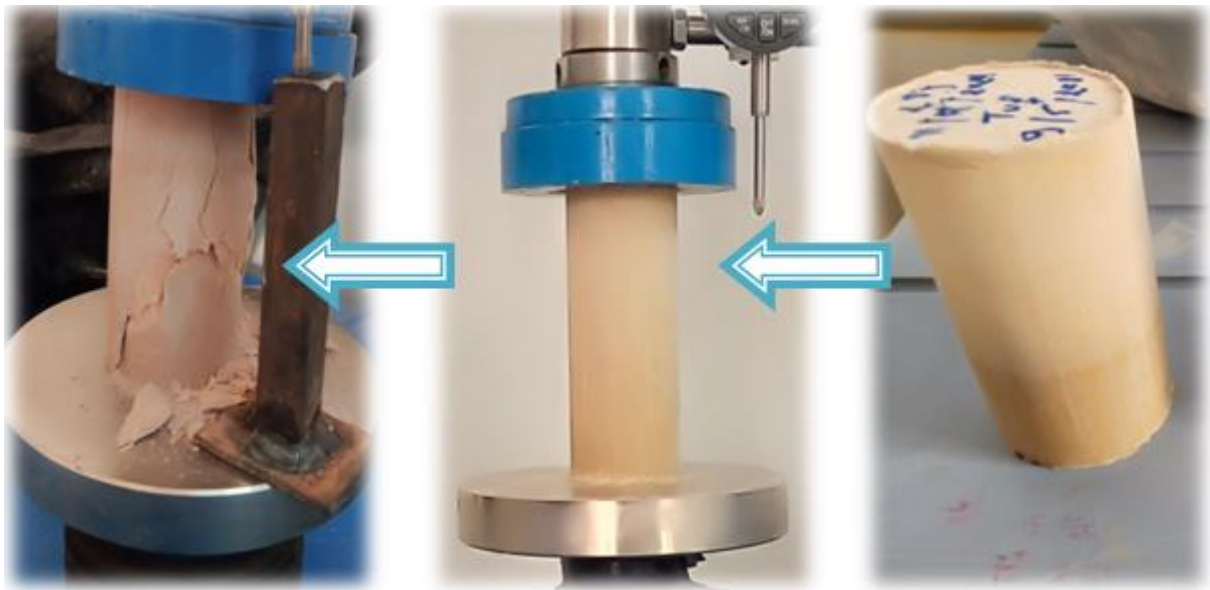


Photo(III.1) des éprouvettes de compression préparées à l'écrasement

Les éprouvettes sont confectionnées statiquement avec une compacité de 95% de la densité sèche maximale de Proctor et une teneur en eau optimale égale 12.18% , puis conservée dans une enceinte ,d'où la température oscille entre 23 et 28°C, jusqu'à l'âge de l'écrasement (7 et 28 jours). L'écrasement se fait à l'aide d'une presse à une vitesse de 1,6 mm/min Photo(III.2)



Photo(III.2) presse hydraulique pour l'écrasement



Photo((III.3)Une éprouvette de compression pendant l'écrasement

La figure (III.1) représente l'évolution de la résistance à la compression de différentes formulations élaborées avec l'âge

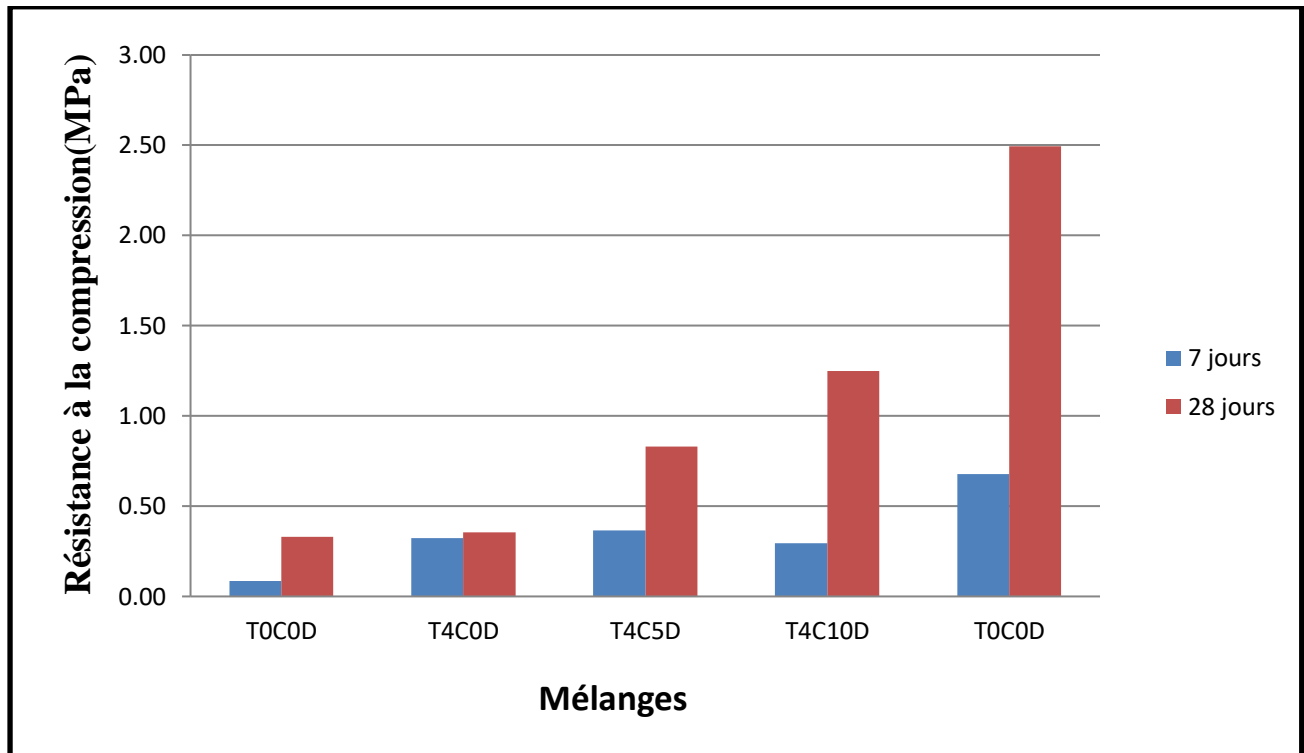


Figure (III.1) La résistance à la compression des mélanges après 28 j +7j

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 0,33 MPa 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).

III.4 Evolution de résistance à la traction (R_{ti})

Cet essai de traction consiste à comprimer radialement l'éprouvette Figure (III. 2) , créant alors par effet Poisson des contraintes de traction horizontales au sein du matériau.

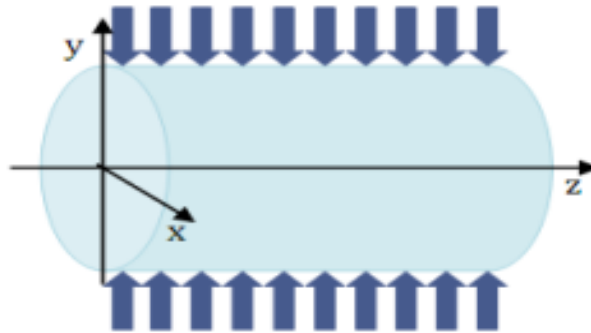
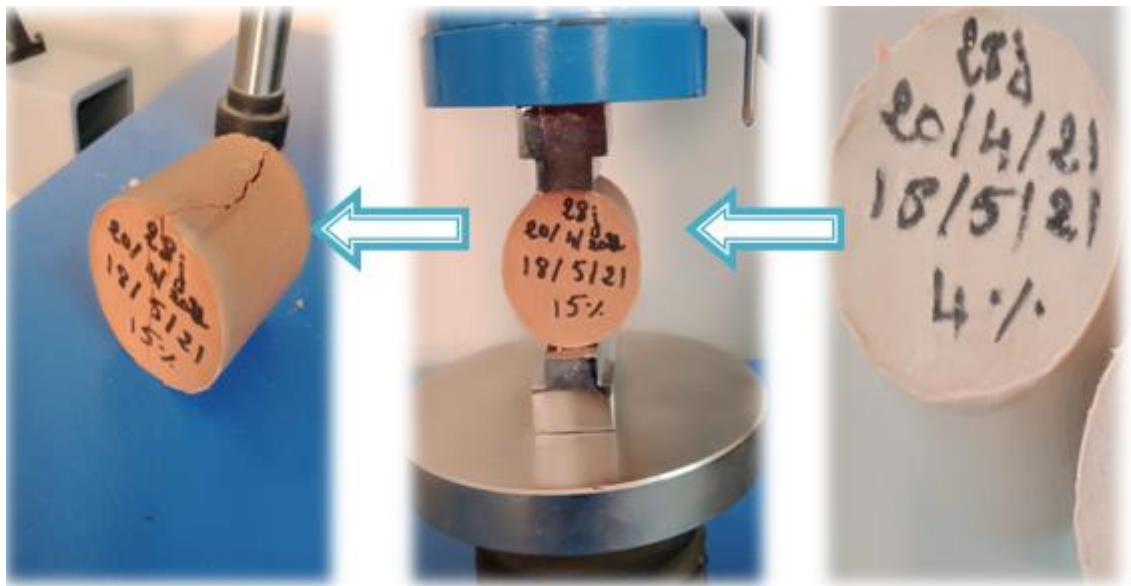


Figure (III. 2) Schéma du mode d'application de l'effort

Des éprouvettes cylindrique ($H=5\text{cm}$, $D=5\text{cm}$) sont confectionnées statiquement avec une compacité de 95% de la densité sèche maximale de Proctor et à une teneur en eau optimale égale à 12.18% , puis conservée dans une enceinte jusqu'à l'âge de l'écrasement (7 et 28 jours) , où la température oscille entre 23 et 28°C



Photo(III.4) des éprouvettes de traction préparées à l'écrasement



Photo(III.5)Une éprouvette de traction pendant l'écrasement

On note qu'à 7 jours, les résistances à la traction (R_{ti}) pour tous les mélanges sont quasi nulles. Cependant à 28 jours, seules les résistances des mélanges (TC4D5, TC4D10, TC4D15) ont montré une certaine évolution qui est illustrée par La figure (III.6)

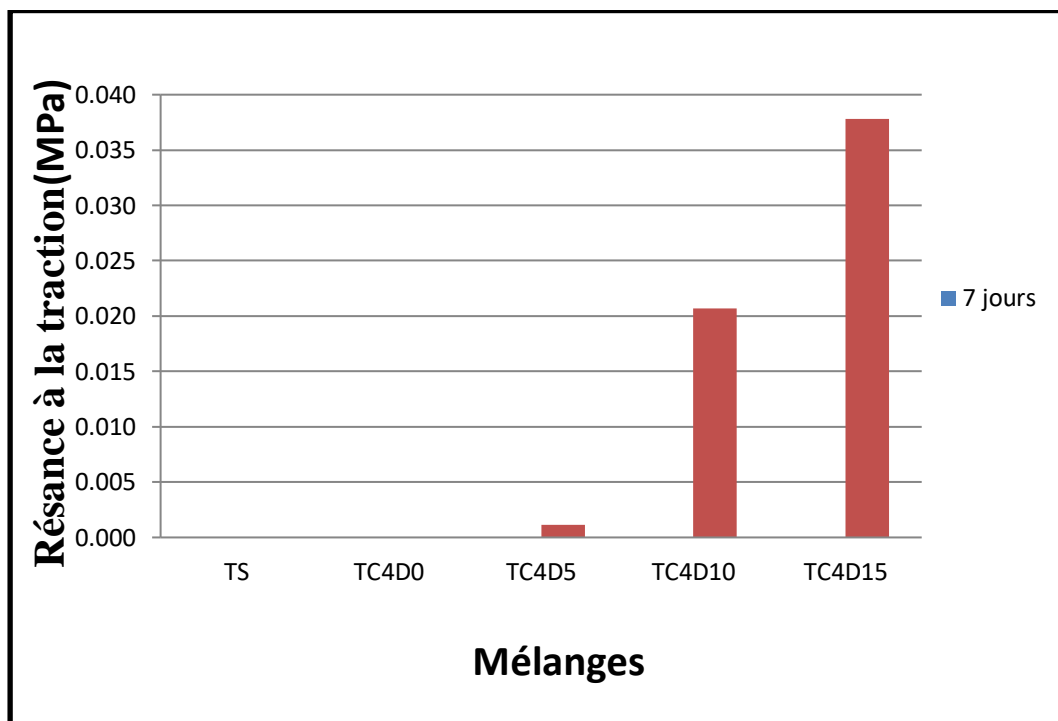


Figure (III.3) La résistance à la traction des mélanges après 28 j + 7j

Les histogrammes tracés montrent que la résistance à la traction maximale est obtenue lors de l'incorporation dans le mélange un taux de poudre de déchets égale de 15 % d'où elle atteint 0.04 MPa 40KPa .Ce résultat révèle une nouvelle fois l'effet positif de l'association de la poudre à la chaux sur la résistance.

III.5 Effet de la variation de la teneur en eau de confection des éprouvettes

Lors du traitement de matériaux avec des liants, les propriétés mécaniques sont souvent influencées par la quantité d'eau ajoutée (teneur en eau) qui doit être suffisante pour que l'hydratation des liants soit complète .Pour cette raison, l'objectif de cette section est d'examiner l'effet (Expression dupliquée)de la variation de ce paramètre.est d'examiner l'effet de la variation de ce paramètre.

La figure (III.4) Présente une comparaison entre les résistances à la compression à 28 jours des éprouvettes confectionnées à la teneur en eau optimale ($W_{opt}=12.18\%$) et à $W_{opt} +2\%$, soit 14.18% .

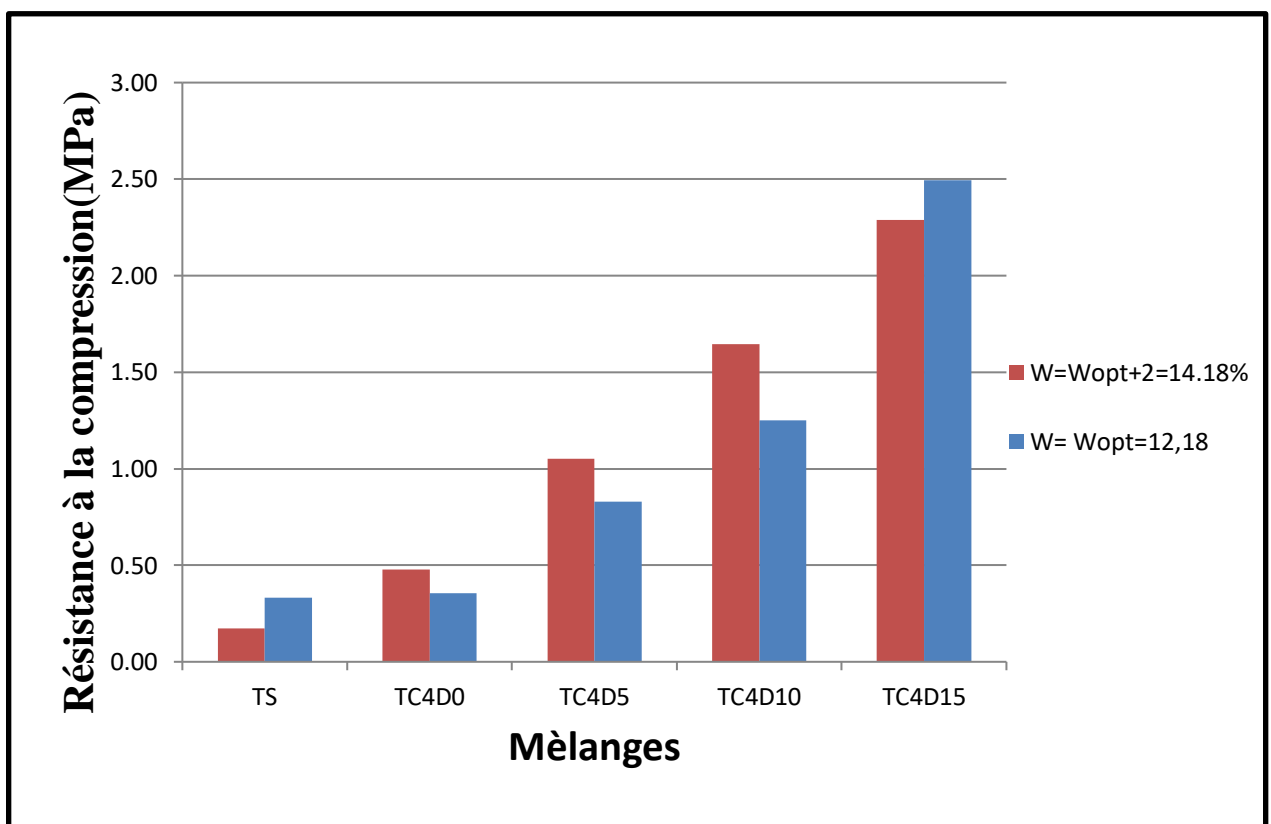


Figure (III.4) La résistance à la compression des mélanges après 28 j pour les deux teneur en eau

Les histogrammes tracés montrent que la meilleure résistance est obtenue pour le mélange TC4D15, et ce pour les deux teneurs en eau utilisées. Pour une $W=W_{opt}$, les éprouvettes en tuf seul donne une résistance supérieures à celles réalisées es avec $W=14.18\%$. Cependant, la résistance des autres mélanges est l'inverse qui se produit sauf pour le mélange TC4D15, qui marque des résistances voisines pour les deux cas.

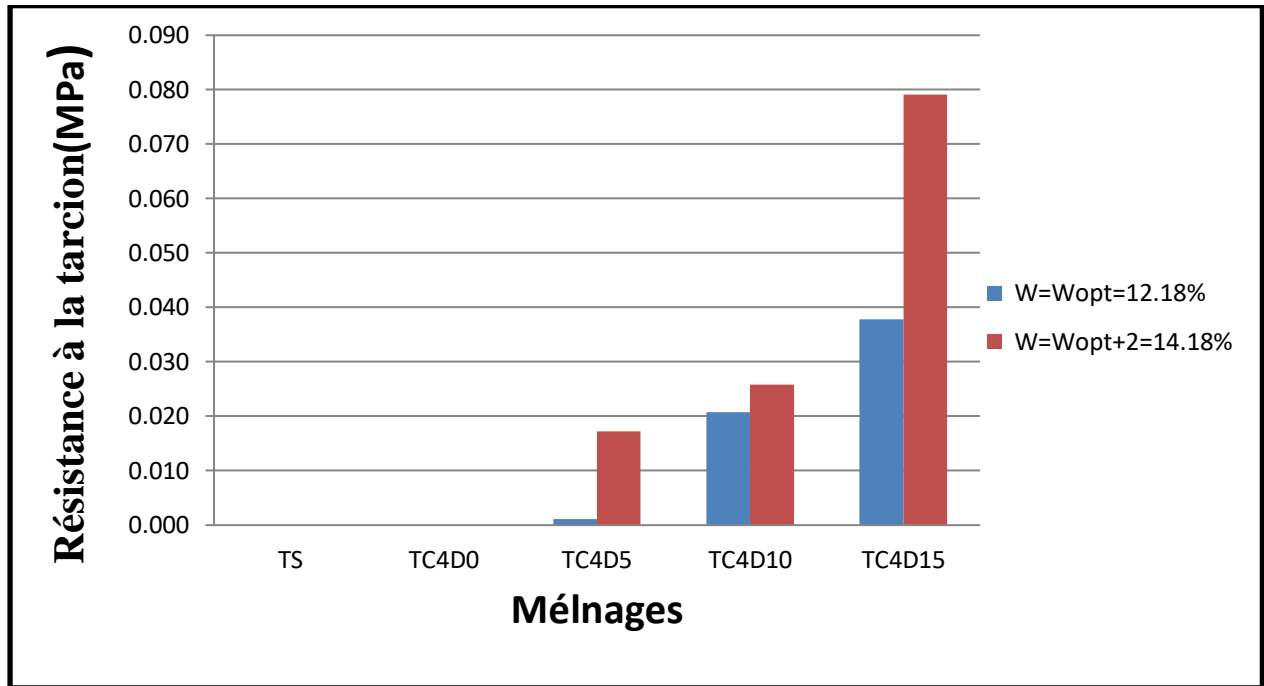


Figure (III.5) La résistance à la traction des mélanges après 28 j

L'effet de la variation de la teneur en eau sur la résistance à la traction, représenté sur La figure (III.5), montre à nouveau que, pour $W = 14,18\%$, le tuf seul et le tuf traité à la chaux ont enregistré des résistances négligeable, en revanche, les mélanges contenant la poudre de déchets de briques présentent une certaine résistance qui est supérieure à celle des éprouvettes réalisées avec la teneur optimale. La résistance maximale a été atteinte pour le TC4D15.

III.6 Sensibilité à l'eau

On sait que le point négatif du tuf est sa sensibilité à l'eau, c'est pourquoi des éprouvettes confectionnées à partir de différents mélanges sont immergées dans l'eau.

Il est rapporté que les éprouvettes âgées de 7 jours sont immergées pendant 24 heures, tandis que celles âgées de 28 jours sont immergées pendant 7 jours.

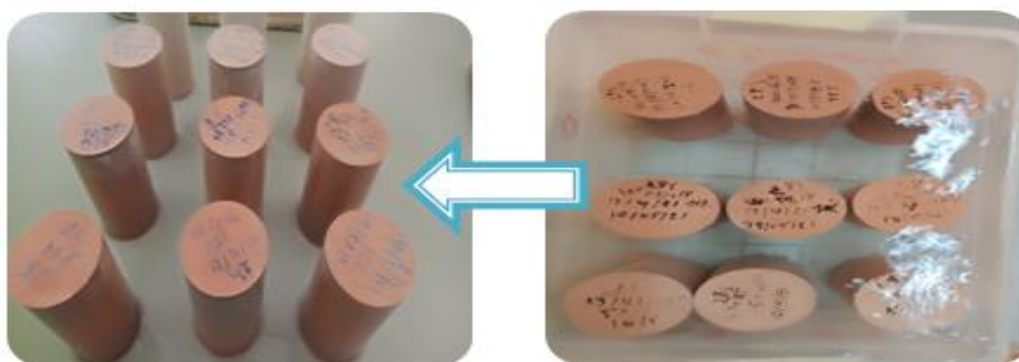
Cette investigation montre que :

Toutes les éprouvettes en tuf seul se sont effondrées ou plutôt dissoutes (*photo III.6*) quel que soit l'âge de conservation.

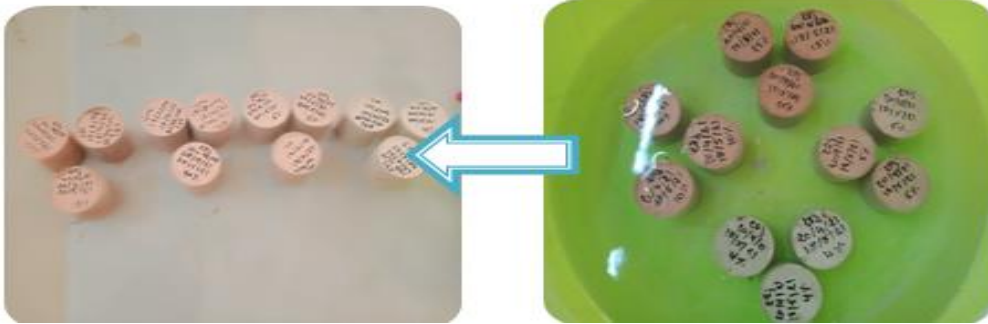
Les éprouvettes réalisées à partir des autres mélanges sont toutes restées intactes *Photo(III.7) et Photo(III.8)* et les résultats obtenus sur la résistance à la compression et à la traction sont présentés respectivement sur La figure (III.6) et La figure (III.7) .



Phot(III.6) Les éprouvettes à la traction et à la compression du tuf après 24h d'immersion



Photo(III.7) Des éprouvettes de compression des mélanges après 28 j +7j d'immersion dans l'eau



Photo(III.8) Des éprouvettes de traction à des mélanges après 28 j +7j d'immersion dans l'eau

La figure (III.6) illustre une comparaison entre les résistances en compression des éprouvettes âgées de 07 jours et celles du même âge plus une immersion de 24 heures dans l'eau.

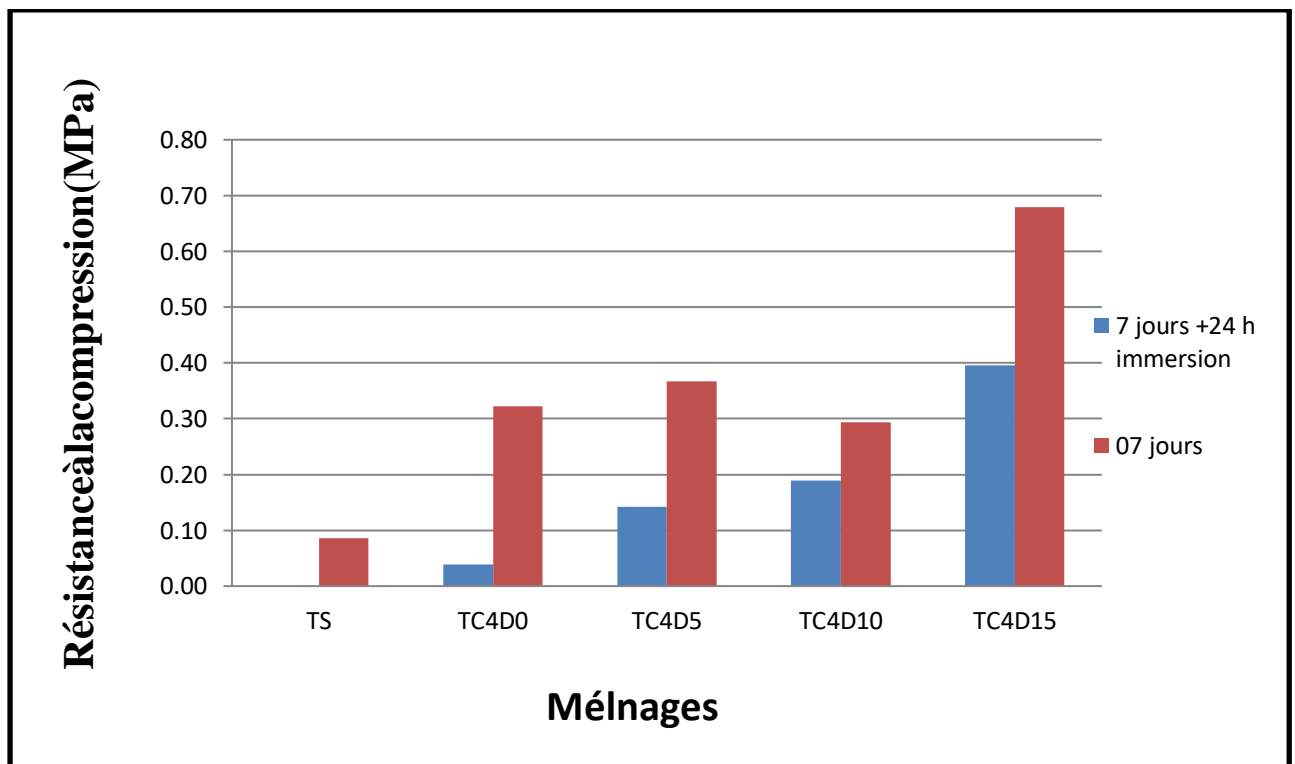


Figure (III.6) La résistance à la compression des mélanges après 28 j +7j d'immersion dans l'eau

Après 24 h d'immersion dans l'eau, la résistance a été diminuée pour tous les mélanges par rapport à ceux non immergés. Elle augmente avec l'augmentation du taux d'incorporation

des déchets de poudre. La valeur maximale est d'environ 0,40 MPa pour le TC4D15, soit une baisse de 40 % par rapport au TC4D15 sans immersion.

Ce résultat encourageant nous laisse apprécier une nouvelle fois les résistances à la compression à 28 jours, mais après 07 jours d'immersion qui sont illustrées sur la figure(III.7) .

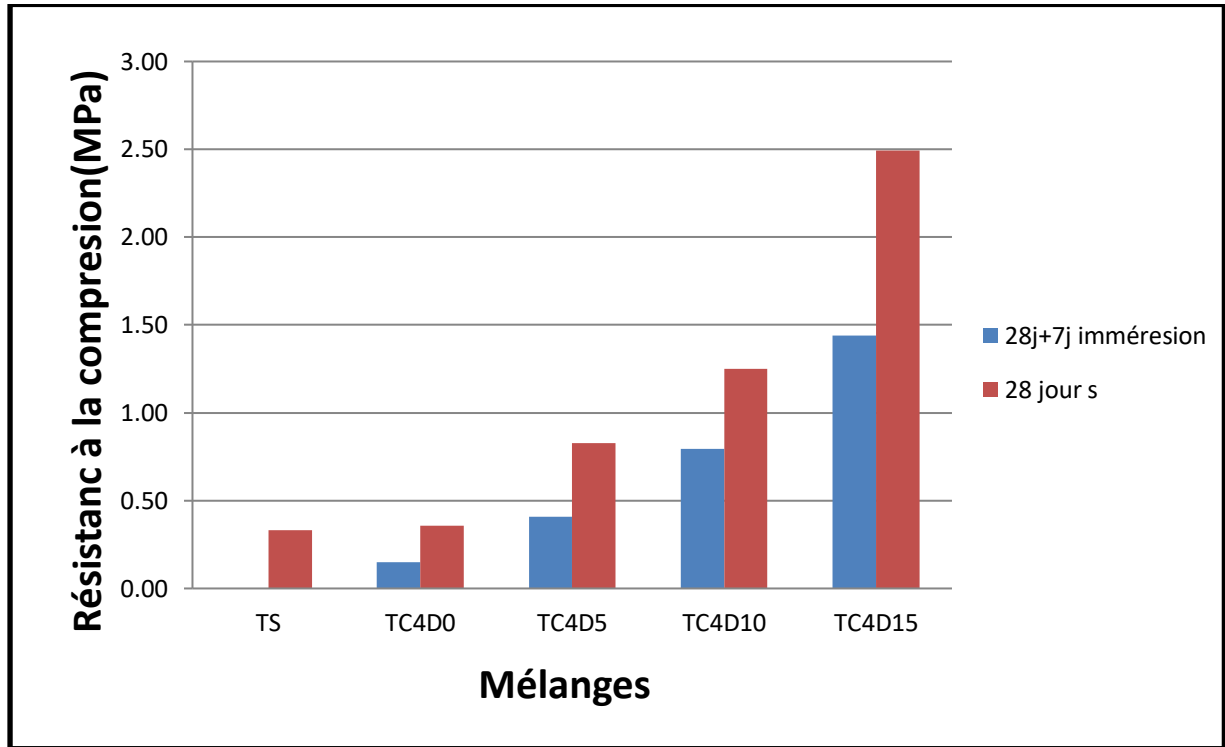


Figure (III.7) La résistance à la compression des mélanges après 28 j +7j d'immersion dans l'eau

Après 7 jours d'immersion dans l'eau, la résistance a également été diminuée pour tous les mélanges. La valeur maximale est d'environ 1,4 MPa pour le TC4D15, soit une diminution de 40 % par rapport au TC4D15 sans immersion.

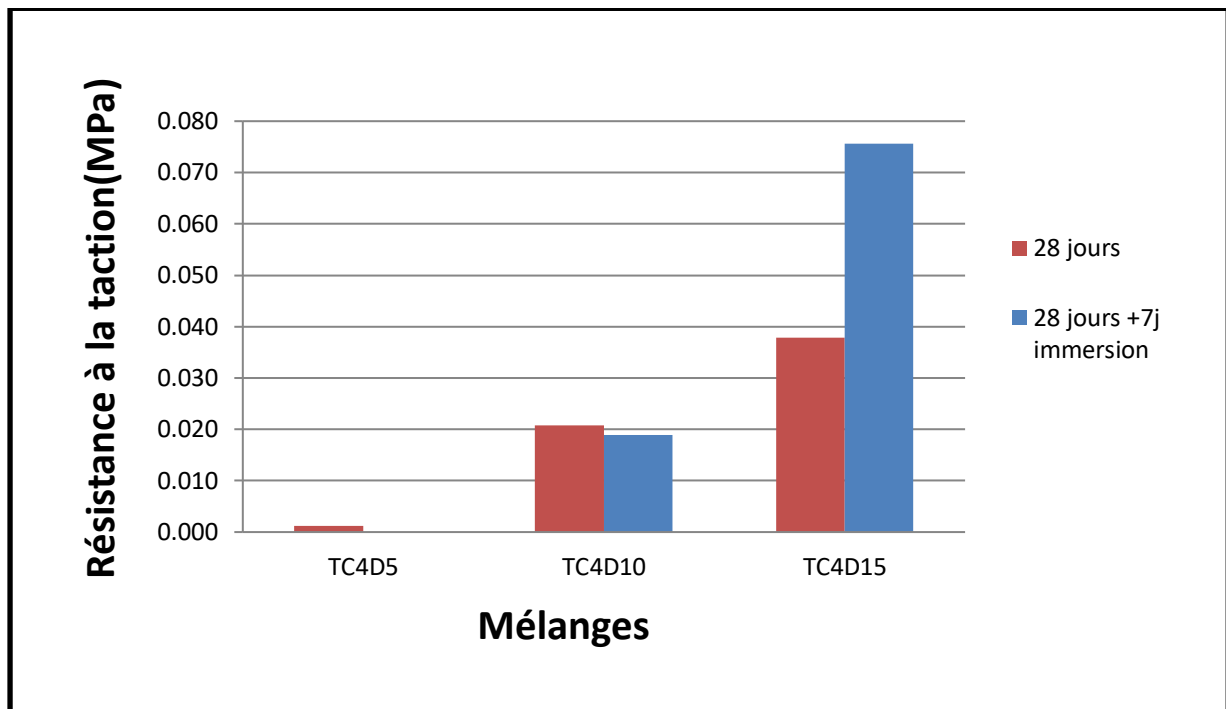


Figure (III.8) La résistance à la traction des mélanges après 28 j +7j d'immersion dans l'eau

Concernant la résistance à la traction, la figure (III.8), montre que seules les éprouvettes réalisées à partir de deux mélanges (TC4D10 et TC4D15), après 28 jours de conservation et 07 jours d'immersion dans l'eau, ont enregistré certaines résistances. Ceci permet de dire que l'ajout le déchet de briques avec un pourcentage faible(5%) n'arrive pas à améliorer considérablement la résistance à la traction des éprouvettes immergées.

III.7 Conclusion

A la lumière des résultats obtenus, les pouvons conclure ce qui suit :

- ✓ Traitement du à la chaux et à la chaux +poudre de déchets de briques améliore globalement la résistance à la compression simple .ce qui ne contredit pas la tendance générale des traitements des sols avec des liants.
- ✓ les meilleures résistances à la compression sont enregistrées pour le mélange TC4D15.
- ✓ la résistance à la traction du TC4D15estt nettement supérieure à celle du tuf , qui est quasi nulle.

L'étude de la sensibilité à l'eau montre le maintien des éprouvettes confectionnées à partir des mélanges tuf+chaux et poudre de déchets de briques et l'effondrement total des éprouvettes en tuf seul.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail a comme objectif d'améliorer les performances mécaniques, notamment les résistances à la compression et à la traction d'un tuf gypseux, l'un des types de tufs d'encroutement, à travers un traitement à la chaux et la poudre des déchets de briques .

Les essais de cratérisation effectués sur le tuf objet d'étude permettent de le ranger dans la classe B2, qui est considéré comme un matériau sableux Selon la classification GTR92,

Les résultats des essais de compression dévoile une nette amélioration de la résistance du tuf traité à la chaux + la poudre des déchets de briques ,la meilleur résistance est obtenus pour le mélange TC4D15 , c'est-à-dire lors de l'ajout de 15% de la poudre

Les essais de traction indirecte (par fendage) décèlent une nette progression de la résistance (R_{ti}) du tuf lors du traitement mixte (chaux + la poudre des déchets de briques). La valeur maximale est obtenue pour le mélange TC4D15.

L'étude de la sensibilité à l'eau, qui considéré le point faible des tufs, montre le maintien de la forme de tout éprouvettes confectionnées à partir des mélanges «tuf+chaux+ la poudre des déchets de briques et la dissolution de celles réalisées en tuf seul après une heure.

Références

- [1] Khalili, Khadidja, and MUSTAPHA AKACEM. *Caractérisation mécanique d'un mélange: Tuf+ sable de dunes*. Diss. Université Ahmed Draia-ADRAR, 2016.
Khalili, K., & AKACEM, M. (2016). *Caractérisation mécanique d'un mélange: Tuf+ sable de dunes* (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draia-ADRAR).
KHALILI, Khadidja, et al. *Caractérisation mécanique d'un mélange: Tuf+ sable de dunes*. 2016. PhD Thesis. Université Ahmed Draia-ADRAR.
- [2] TIR, Chafia. *Génèse des sols à accumulation gypso-calcaire et salines dans la region de Ain Ben Noui–Biskra*. Diss. INA, 2007.
TIR, C. (2007). *Génèse des sols à accumulation gypso-calcaire et salines dans la region de Ain Ben Noui–Biskra* (Doctoral dissertation, INA).
TIR, Chafia. *Génèse des sols à accumulation gypso-calcaire et salines dans la region de Ain Ben Noui–Biskra*. 2007. PhD Thesis. INA.
- [3] ZITOUT, NOUREDDINE ALI. *Étude en APD de la modernisation d'un tronçon de la route nationale RN40B avec l'étude géotechnique du tuf calcaire*. Diss. 2016.
ZITOUT, N. A. (2016). *Étude en APD de la modernisation d'un tronçon de la route nationale RN40B avec l'étude géotechnique du tuf calcaire* (Doctoral dissertation).
ZITOUT, NOUREDDINE ALI. *Étude en APD de la modernisation d'un tronçon de la route nationale RN40B avec l'étude géotechnique du tuf calcaire*. 2016. PhD Thesis.
- [4] Boumaraf, Belkacem. *Caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallée de Oued Righ, Sahara Nord Oriental Algérie*. Diss. Reims, 2013.
Boumaraf, B. (2013). *Caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallée de Oued Righ, Sahara Nord Oriental Algérie* (Doctoral dissertation, Reims).
BOUMARAF, Belkacem. *Caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallée de Oued Righ, Sahara Nord Oriental Algérie*. 2013. PhD Thesis. Reims.
- [5] Loustau Cazalet, Marie. *Caractérisation physico-chimique d'un sédiment marin traite aux liants hydrauliques: Évaluation de la mobilité potentielle des polluants inorganiques*. Diss. Lyon, INSA, 2012.
Loustau Cazalet, M. (2012). *Caractérisation physico-chimique d'un sédiment marin traite aux liants hydrauliques: Évaluation de la mobilité potentielle des polluants inorganiques* (Doctoral dissertation, Lyon, INSA).
LOUSTAU CAZALET, Marie. *Caractérisation physico-chimique d'un sédiment marin traite aux liants hydrauliques: Évaluation de la mobilité potentielle des polluants inorganiques*. 2012. PhD Thesis. Lyon, INSA.
- [6] Chibanir, Amma. "Etude géotechnique d'un tronçon routier de la RN 32, reliant la wilaya d'Oum El Bouaghi vers la wilaya de Khenchela sur 35 km." (2017).
Chibanir, A. (2017). Etude géotechnique d'un tronçon routier de la RN 32, reliant la wilaya d'Oum El Bouaghi vers la wilaya de Khenchela sur 35 km.
CHIBANIR, Amma. Etude géotechnique d'un tronçon routier de la RN 32, reliant la wilaya d'Oum El Bouaghi vers la wilaya de Khenchela sur 35 km. 2017.
- [7] CHOUKRI, MOHAMED, and Nacereddine BAITICHE. *Valorisation de sable de dune traité aux liants hydraulique et la poudrette de caoutchouc des pneus usées en technique routières*. Diss. 2017.
CHOUKRI, M., & BAITICHE, N. (2017). *Valorisation de sable de dune traité aux liants hydraulique et la poudrette de caoutchouc des pneus usées en technique routières* (Doctoral dissertation).
CHOUKRI, MOHAMED; BAITICHE, Nacereddine. *Valorisation de sable de dune traité aux liants hydraulique et la poudrette de caoutchouc des pneus usées en technique routières*. 2017. PhD Thesis.