

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Civil et Hydraulique

Mémoire fin d'études

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et technologies

Filière: Travaux Publics

Spécialité: Voies et Ouvrages d'Art (V.O.A.)

Présenté Par

- HEBICHE NOUR EL DJIHAD
- MERABTI REKAIA

Thème

**Influence du taux des fines d'un tuf gypseux sur leur
performances mécaniques**

Soutenu publiquement le: 10 /06/2024

Devant le jury composé de

MENNAAI Omar

MAA (UKM Ouargla)

Président

MAUCHE Hania

MCB (UKM Ouargla)

Examinatrice

KHELLOU Abderrezak

MCB (UKM Ouargla)

Encadreur

BAIKER Mohamed Cherif

Doctorant (UKM Ouargla)

Co-Encadreur

Année Universitaire : 2023/2024

اهداء

أهدي هذا العمل المتواضع الى والدي الأعزاء، اعترافا بجميل تضحياتهم
ودعمهم ودعواتهم طوال دراستي والى اخوتي وأصدقائي .

كما أهدي هذا العمل الى الاساتذة الكرام لمساعدتهم القيمة وحضورهم
وفي الختام أوجه خالص شكري لكل من ساهم من قريب أو بعيد في انجاز هذا العمل



مرابطي رقية

اهداء

نسير في دروب الحياة ، ويبقى في كل مسلك نسلكه يوجد أناس يستحقون الشكر
وأولى الناس بالشكر والاهداء هما الأبوان، لما لهما من الفضل ما يبلغ عنان السماء
فوجودهما سبب للنجاة والفلاح في الدنيا والآخرة.
اهدي تخرجي هذا الى رفيقة الكفاح في مسيرة الحياة لحبيبة القلب لمؤنسة الروح
لرائحة الجنة ومسلكها لعزيزتي أمي
والى روح والدي العزيز رحمه الله.
والى اختي رفيقة دربي والى أخي سندي ومسندي واتكائي والى كل أفراد العائلة
ودون أن أنسى الأساتذة الأفاضل على كل كلمة كان لهم الفضل فيها.
أهديكم نجاحي المتواضع

حبيش نور الجهاد

REMERCIEMENT

Nous commençons par exprimer notre gratitude envers Dieu le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force et la persévérance nécessaires pour accomplir cette tâche.

Après cela, nous avons le plaisir d'exprimer notre gratitude et nos sincères remerciements à notre directeur de recherche,

Mr: *KHELLO Abderrezak* et **Mr: *BAIKER Mohamedcherif***, pour leur soutien et leurs conseils ainsi que pour leur patience tout au long du processus.

Enfin, nous exprimons notre gratitude envers les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تعزيز المواد المحلية (التوف) لتلبية احتياجات المناطق التي تفتقر إلى مواد ذات جودة عالية. أولاً، قمنا بدراسة سلوك وتأثير نسبة الدقائق الموجودة في التوف الجبسي على أدائها الميكانيكي. ومن ثم نسعى لتقييم تأثير نوعين من الروابط الهيدروليكية (الاسمنت و4% جير) على قوة الضغط والشد. يتم إجراء التقييمات بعد فترات تخزين تبلغ 7 و28 و60 يوماً في ظل الظروف المناخية المخبرية. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحسين الأداء الميكانيكي للمادة وجعلها مقاومة للماء، وذلك لجعلها مناسبة للاستخدام في الأرصفة في المناطق التي تخضع لظروف مناخية قاسية وحركة مرور كثيفة. أظهرت النتائج أن أعلى مقاومة للضغط والشد تم تسجيلها عند إضافة 15% من مسحوق التوف ومعالجة الخليط بالاسمنت (TC4F15) لمدة 28 يوم .

الكلمات المفتاحية: الجبس والاسمنت والجير ومقاومة الضغط ومقاومة الشد

Résumé

Cette étude vise à valoriser les matériaux locaux (tuf) afin de répondre aux besoins des régions déficitaires en matériaux de haute qualité. Dans un premier temps, nous examinons le comportement et l'impact du pourcentage de fines d'un tuf gypseux sur ses performances mécaniques. Ensuite, nous cherchons à évaluer l'effet de deux types de liants hydrauliques (ciment et chaux à 4%), sur la résistance à la compression et traction. Les évaluations sont effectuées après des périodes de conservation de 7, 28 et 60 jours dans les conditions climatiques de laboratoire. L'objectif principal de cette étude est d'améliorer les performances mécaniques du matériau et de le rendre résistant à l'eau, afin de le rendre adapté à une utilisation dans les chaussées des zones soumises à des conditions climatiques rigoureuses et à un trafic intensif. Les résultats ont montré que la résistance à la compression et à la traction la plus élevée a été enregistrée en ajoutant 15% de poudre de tuf et en traitant le mélange avec du ciment (TC4F15) pendant 28 jours .

Mots clés: tuf, fines d'un tuf gypseux, ciment, la chaux, résistance à la compression et traction.

Abstract

This study aims to promote local materials (tuff) to meet the needs of regions lacking quality materials. Firstly, we studied the behavior and the effect of the percentage of fines present in the gypsum tuff on its mechanical performance. We then seek to evaluate the effect of two types of hydraulic binders (cement and 4% lime) on compressive and tensile strength. The evaluations are carried out after storage periods of 7, 28 and 60 days under laboratory climatic conditions. The main objective of this study is to improve the mechanical performance of the material and make it water resistant, in order to make it suitable for use in pavements in areas subject to difficult climatic conditions and heavy traffic intense. The results showed that the highest compressive and tensile strength was recorded by adding 15% tuff powder and treating the mixture with cement (TC4F15) for 28 days.

Keywords: tuf, gypsum tuf fines, cement, lime, compressive and tensile strength

Liste des tableaux

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Tableau I-1: Synthèse des caractéristiques géotechniques et mécaniques des tufs d'encroûtement (Morsli, 2007).....19

Chapitre II : Caractérisations des matériaux utilisés

Tableau II-1 : Résultats d'analyse chimique du tuf.....27

Tableau II-2 : Résultats d'analyse granulométrique.....29

Tableau II-3 : Classification des sols en fonction de VBS.....31

Tableau II-4 : Synthèse des résultats de caractérisation.....34

Tableau II-5 : Propriétés physiques et chimiques de la chaux de Saida.....35

Tableau II-6 : Propriétés physiques et chimiques du ciment utilisé.....36

Chapitre III: Résultats et discussions

Tableau III-1 : Différentes formulations élaborées.....39

Chapitre IV: Guide de projet pour l'obtention d'un certificat de création d'entreprise

Tableau IV-1 : Calendrier de réalisation du projet.....51

Tableau IV-2 : BMC.....55

Liste des figures

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Figure I.1: Tuf.....	16
Figure I.2: Répartition des encroûtements calcaires dans le monde (Colombier, 1988).....	17
Figure I.3: échantillon du tuf utilisé.....	18
Figure I.4: Formation d'encroûtements par évaporation.....	18
Figure I.5: la chaux.....	21
Figure I.6: la chaux avec tuf broyé.....	21
Figure I.7: ciment.....	22

Chapitre II : Caractérisations des matériaux utilisés

Figure II.1: Échantillon du tuf utilisé.....	27
Figure II.2: Opérateur d'essai.....	28
Figure II.3: Courbe granulométrique du tuf.....	29
Figure II.4: Test au bleu de méthylène.....	30
Figure II.5: Essai Proctor modifié.....	30
Figure II.6: Courbe Proctor modifié.....	31
Figure II.7: Étapes d'essai CBR.....	32
Figure II.8: La courbe de l'indice CBR du Tuf.....	32
Figure II.9: La différente couche chaussée [NF P 98 115].....	32
Figure II.10: Étapes d'essai compression simple.....	33
Figure II.11: Courbe Compression simple du tuf seul pour 1jour.....	33
Figure II.12: Classification du tuf selon GTR 92.....	34

Chapitre III : Résultats et discussions

Figure III.1: Évolution de la résistance à la compression des mélanges non traité en fonction d'âge.....	40
---	----

Figure III.2: Évolution de la résistance à la compression des mélanges traités au ciment en fonction d'âge.....	41
Figure III.3: Évolution de la résistance à la compression des mélanges traités a la chaux en fonction d'âge.....	41
Figure III.4: L'effet de la teneur en eau de confection sur la résistance à la compression....	42
Figure III.5: Variation des valeurs de compression des mélanges traités à ciment et la chaux après immersion dans l'eau.....	43
Figure III.6: L'immersion des éprouvettes dans l'eau après 28 jour de conservation.....	43
Figure III.7: Éprouvette de traction pendant l'écrasement	44
Figure III.8: La résistance à la Traction des mélanges non traité.....	44
Figure III.9: La résistance à la Traction des mélanges traités au ciment.....	44
Figure III.10: La résistance à la Traction des mélanges traités a la chaux.....	45
Chapitre IV: Guide de projet pour l'obtention d'un certificat de création d'entreprise	
Figure IV-1 : BMC.....	54

Liste des abréviations

W_{opm} : Teneur en eau optimale Proctor modifié

γ_d : Densité sèche optimale de l'essai Proctor modifié

Rc : Résistance à la compression simple

Rt : Résistance à la traction simple

ICBR : Indice Portant Californien (Californien Bearing Ratio)

W : Teneur en eau exprimée en %

OPM : Optimum Proctor modifié

ρ_a : Masse volumique

M : La masse

V : Volume

VBS:valeurdebleuméthylènedesol

Sommaire

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Introduction générale	14
Introduction	16
I-1 Généralités sur les tufs.....	16
I-1-1 Introduction.....	16
I-1-2 Définition du tuf.....	16
I-1-2-1 L'origine du tuf.....	16
I-1-2-2 Le tuf calcaire.....	16
I-1-2-3 Le tuf volcanique.....	16
I-1-3 Les tufs dans le monde.....	17
I-1-4 Catégories des tufs.....	17
I-1-4-1 Les encroûtements calcaires.....	18
I-1-4-1-1 Définition.....	18
I-1-4-2 Les encroûtements gypseux.....	18
I-1-4-2-1 Définition.....	18
I-1-4-3 Les encroûtements gypse calcaires.....	18
I-1-4-3-1 Définition.....	19
I-1-5 Caractéristiques géotechniques et mécaniques des tufs d'encroûtement.....	19
I-2 Généralités sur la chaux.....	20
I-2-1 Introduction.....	20
I-2-2 Définition.....	20
I-2-3 Types de chaux.....	21
I-2-3-1 Chaux aériennes.....	21

I-3 Généralités sur le ciment	22
I-3-1 Introduction.....	22
I-3-2 Définition.....	22
I-3-3 Types de ciment.....	22
I-3-4 Classification normalisée des ciments.....	23
I-3-4-1 Classification suivant la composition chimique.....	23
I-3-4-2 Classification des ciments suivant le type d'environnement.....	24
I-4 Conclusion.....	25
 Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés	
II-1 Introduction	27
II-2 Essais de caractérisation du tuf.....	27
II-2-1 Le tuf d'encroutement.....	27
II-2-2 Analyse chimique.....	27
II-2-3 Essai Masse volumique apparente.....	27
II-2-4 Masse volumique absolue.....	27
II-2-5 Analyse granulométrique.....	27
II-2-6 Essai au bleu méthylène.....	28
II-2-7 Essai Proctor modifié.....	29
II-2-8 Essai CBR.....	30
II-2-9 Compression simple.....	31
II-3 Classification des matériaux selon GTR 92.....	32
II-4 La chaux.....	33
II-5 Le ciment.....	34
II-6 Conclusion.....	36

Chapitre III : Résultats et discussions

III-1 Introduction	38
III-2 Méthodologie de l'étude expérimentale.....	38
III-2-1 Teneur en eau de confection des éprouvettes.....	38
III-2-2 Sensibilité à l'eau.....	38
III-3 Étude de la résistance à la compression des défèrent formulation.....	39
III-3-1 la résistance à la compression simple des mélanges non traité	39
III-3-2 la résistance à la compression simple des mélanges traités au ciment.....	40
III-3-3 la résistance à la compression simple des mélanges traités à la chaux.....	40
III-3-4 L'effet de la ten eneau	41
III-4 Étude de la sensibilité à l'eau.....	42
III-5 Étude de la résistance à la traction.....	42
IV- Méthode de CBR.....	45
IV- Conclusion.....	47
CHAPITRE IV : Guide de projet pour l'obtention d'un certificat de création d'entreprise	
IV-1 Section 1: Présentation du projet.....	49
IV.2 Section 2 : Aspects de l'innovation.....	49
IV.3 Section 3: l'analyse stratégique du marché.....	50
IV-4 Section 4 : Le plan financier plan financier.....	51
IV-5 Section 5:Plan financier.....	51
IV-6 Section 6:Proto type expérimental.....	52
BMC.....	53
CONCLUSION.....	54

Introduction générale

Le développement des infrastructures routières à travers le monde, plus particulièrement en Algérie, a créé un besoin immense en matériaux de chaussées, qui doivent répondre rigoureusement à certains critères géotechniques tels que : la dureté, la propreté, la granulométrie, etc.

Toutefois, ces matériaux ne sont pas disponibles (rares ou même inexistant) dans certaines régions (les zones arides et les zones semi-arides), ce qui rend l'approvisionnement par ces matériaux classiques difficile et très coûteux à cause des distances de transport excessivement grandes et les moyens réduits. De là est née la nécessité d'utiliser les matériaux locaux qui ont prouvé leur efficacité par leurs caractéristiques mécaniques convenables d'une part, et d'autre part leurs coûts, parmi ces matériaux on trouve les tufs.

L'objectif principal de ce travail est d'améliorer certaines caractéristiques mécaniques des tufs gypseux largement utilisés dans la région sud-est de l'Algérie notamment à Ouargla, et ce matériau est de loin le plus utilisé dans les assises de chaussée (couche de base et couche de fondation).

La technique consistant à mélanger les matériaux disponibles ou à les traiter peut être une solution pour pallier ce problème.

Dans ce contexte, ce travail vient pour contribuer à l'amélioration des performances mécaniques, initialement médiocres, d'un tuf.

Ce mémoire comporte quatre chapitres : Le premier chapitre donne un aperçu sur les tufs d'encroûtement ainsi que les procédés de traitements possibles 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.

Le quatrième chapitre Guide de projet pour l'obtention d'un certificat de création d'entreprise :

□ Enfin ; une conclusion générale est rédigée résumant l'essentiel du travail.

Chapitre I

Synthèse bibliographie

I.1. GENERALITES SUR LES TUFES

I.1.1 Introduction

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

I.1.2 Définition du tuf

Dans la bibliographie le tuf se définit comme une roche poreuse légère, souvent friable, formée de dépôts mixtes ou calcaires ou gypseux. [2] Elles datent du Quaternaire et résultent d'un certain nombre d'échanges par dissolution et précipitation. Suivant leur composition chimique, les tufs d'encroûtements se groupent en trois catégories : les tufs calcaires, les tufs gypseux et les tufs mixtes. [3]

I.1.2.1 L'origine du tuf : Son origine Le tuf est une roche poreuse très légère pouvant avoir deux origines :

I.1.2.2 Le tuf calcaire : provient de l'encroûtement par des carbonates de la végétation aquatique et des plantes riveraines. [4].

I.1.2.3 Le tuf volcanique : résulte de la cimentation des dépôts et de l'accumulation de cendres d'origines volcaniques. [4].



Figure I.1: Tuf [4]

I.1.3 Les tufs dans le monde

I.1.3.1 En Amérique : Ce sont les hautes plaines des États-Unis allant du Texas à la Californie, celles du Mexique et celles de l'Argentine centrale. [5]

I.1.3.2 En Afrique : Ce sont les « Hamada », hauts plateaux de l'Afrique du Nord, la plaine de Djefara et le bassin de Ben Gazi en Lybie, les dépressions du nord du Kenya, les steppes de la Tanzanie, les plateaux de la Somalie, les vallées de Botswana et d'Afrique du Sud, les zones sèches de Madagascar et du Mozambique, la Namibie et l'Angola. [5]

I.1.3.3 Au Moyen-Orient : On rencontre le tuf au Liban, en Syrie, en Jordanie, dans les pays du Golfe Persique et en Inde dans les régions de Delhi et New Delhi.

I.1.3.4 En Australie : On trouve le tuf dans les plaines littorales. [5]

I.1.3.5 En Europe : Le tuf y est peu abondant. On le trouve uniquement dans le sud de l'Espagne. La figure 1 représente la carte des zones de climat désertique, aride et semi-aride et des régions où existent les encroûtements calcaires. [5]

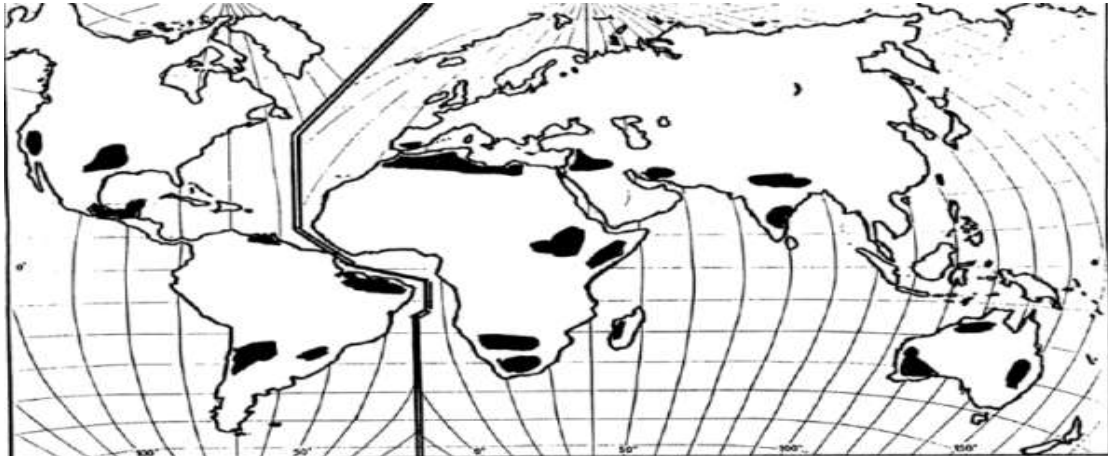


Figure I.2: Répartition des encroûtements calcaires dans le monde (Colombier, 1988).

I.1.4 Catégories des tufs

I.1.4.1 Les encroûtements calcaires

I.1.4.1.1 Définition

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

Parmi les définitions proposées, on peut retenir celles données par A.J. GOUDIE. " La croûte calcaire est un matériau terrestre composé essentiellement, mais pas exclusivement de carbonates de calcium. Les croûtes existent à l'état poudreux. Nodulaire ou très indurée elles sont dues à la cimentation, à l'accumulation ou au remplacement de quantités plus ou moins grandes de sols, roches ou matériaux altérés par du calcaire dans une zone d'infiltration. [5]



Figure I.3: échantillon du tuf utilisé

I.1.4.2 Les encroûtements gypseux

I.1.4.2.1 Définition

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

Ce minéral qui présente l'élément actif de la cimentation de ces formations, possède une dureté très faible : il peut être rayé à l'ongle ; cette particularité pourrait paraître suffisante pour interdire l'utilisation du gypse comme matériau de chaussée en zones climatiques subhumides et semi- arides. [6]

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. [7]

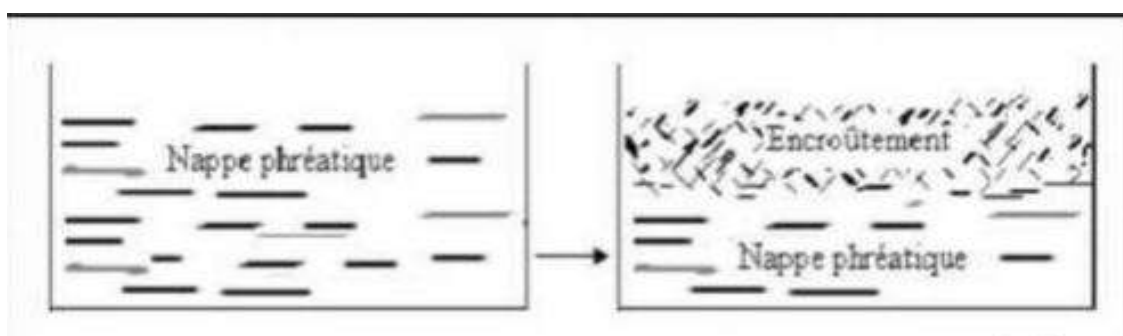


Figure I.4 : Formation d'encroûtements par évaporation [6]

I.1.4.3 Les encroûtements gypse calcaires

I.1.4.3.1 Définition

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

Guet touche, explique la présence des formations calcaires au Nord Sahara, gypseuses plus au sud, dans les régions hyperarides et les gypso-calcaires dans les zones intermédiaires par la suite évaporitique caractérisant résultant de l'évaporation d'une eau, chargée en différents minéraux : le carbonate de calcium précipite en premier sous forme d'aragonite (CaCO_3), puis de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; Chapitre I Synthèse bibliographique 18 $2\text{H}_2\text{O}$), puis l'halite (NaCl), et finalement les sels de potassium et de magnésium. [5]

I.1.5 Caractéristiques géotechniques et mécaniques des tufs encroûtement

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 I-1) sont établies en fonction de la nature chimique du tuf.

	Encroûtement	Calcaire	Gypso-calcaire	Gypseux
Taux de Gypse et de calcaire	Calcaire	50à95%	10à50%	Moins de 10%
	Gypse	Moins de 10%	10à50%	40à90%
	Gypse+calcaire	Plusde50%	Plusde50%	Plusde50%
Granulométrie		Très variable	Variable	Matériaux fins à pulvéulents
Limité d'Atterberg		Non mesurable $<I_p < 25$	Ordre de 13%	Ordre de 6%
Equivalent de Sable		10à60%	>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	50à100%	50à100%	Jusqu'à 112 avec une moyenne de 40
	Imbibé	30à100%	20à40%	Peut chuter jusqu'à 8
Essai de compression simple (MPa)		0,3à5	1à6	Entre 0,3 et 5 MPa

Tableau I-1: Synthèse des caractéristiques géotechnique et mécaniques des tufs d'encroûtement (Morsli ,2007)

1.2 Généralités sur la Chaux

I.2.1 Introduction

La chaux est à la fois le liant minéral majeur de l'histoire de la construction et un des produits minéraux les plus utilisés depuis le début de l'ère industrielle. Avant la chaux, le plâtre, fut la première matière cuite pour réaliser l'acte de construire. Issu du gypse, roche évaporitique, il fut notamment maîtrisé dès l'Ancien Empire de l'époque pharaonique. Puis, les mélanges avec des matériaux carbonatés appurent

I.2.2. Définition

La chaux est une matière généralement poudreuse et de couleur blanche, obtenue par décomposition thermique (pyrolyse) du calcaire.

Elle est utilisée depuis l'Antiquité, notamment dans la construction Chimiquement, c'est un oxyde de calcium avec plus ou moins d'oxyde de magnésium mais la désignation usuelle de chaux peut englober différents états chimiques de ce produit

I.2.3. Types de chaux

Selon la nature du calcaire utilisé, la cuisson permet la fabrication de plusieurs types de chaux on distingue :(Chaux aériennes, Chaux vive, Chaux éteinte.etc.) [6]

I.2.3.1 Chaux aériennes

La chaux aérienne, que l'on trouve sous l'appellation standard CAEB (chaux aérienne éteinte pour le bâtiment) est déterminée par la norme NFP 15510.elle correspond à la chaux aérienne, très pure. [8]

On distingue 3 types selon le % de calcaire ou d'oxyde de Magnésium sont

I.2.3.1.1 Chaux calcique (CL)

$MgO < 5\%$ Chaux fabriquée à partir d'un calcaire $Ca CO_3$ pur ou contenant moins de 5% d'oxyde de magnésium MgO . Définie par Vicat. [7]

I.2.3.1.2 Chaux magnésienne

$5\% < MgO < 34\%$. Chaux fabriquée à partir d'un calcaire $Ca CO_3$ contenant de 5% à 34% d'oxyde de magnésium.

I.2.3.1.3 Chaux dolomitique (DL)

$34\% < MgO < 41.6\%$ Chaux contenant de l'oxyde de calcium et de 34% à 41% d'oxyde de magnésium. "DL" (Dolomite Lime) Ces chaux contiennent MgO ou $Mg(OH)_2$ après hydratation. [7]



Figure I-5: la chaux



Figure I - 6: la chaux avec tuf broyé

I.2.3.2 Chaux vive

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

Calcaire Chaux vive + gaz carbonique $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ Réaction endothermique nécessitant 425 kilocalories par kilogramme de calcaire. Cette réaction s'effectue à une température voisine de 900°C et s'accompagne d'une perte de poids d'environ 45% correspondant à la perte en gaz carbonique. [8]

I.2.3.3 Chaux éteinte

Contient essentiellement de l'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Elle est obtenue par extinction de la chaux vive selon la réaction d'hydratation suivante :

Chaux vive + eau chaux éteinte + 15.5 Kcal $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + 15.5 \text{ Kcal}$. [8]

1.3 Généralité sur le ciment

I.3.1 Introduction

Le ciment est un matériau chimique composé au départ de calcaire (environ 80%) et d'argile (20%) broyée et éventuellement additionnées de produits secondaires ou de matériau apportant la silice, l'alumine et le fer.

I.3.2 Définition

Les ciments sont des poudres fines obtenues par la cuisson à haute température (vers 1450°C) . Ces poudres constituées de sels minéraux anhydres instables (en particulier silicates et aluminates de chaux) forment avec l'eau une pâte capable par « hydratation » de faire prise et de durcir progressivement (plus au moins rapidement, d'ailleurs) d'où le nom de liants

hydrauliques par opposition avec Liants aériens « à base de chaux grosse et maigre » qui ne peuvent durcir qu'au contact de l'air. [9]

I.3.3 Types des ciments

La nouvelle normalisation comporte cinq types principaux de ciments :

- Type I** Ciment Portland Artificiel (CPA)
- Type II** Ciment Portland composé (CPJ)
- Type III** Ciment de haut fourneau (CHF)
- Type IV** Ciment Pouzzolanique
- Type V** ciment au Laitier et aux cendres

A titre d'information, nous avons fait dans la suite de ce titre le parallèle entre les éléments des anciennes normes, commercialisés. Jusqu'au fin décembre 1994 et les ciments des nouvelles normes qui leur succèdent. [9]



Figure I. 7 : ciment .

I.3.4 Classification normalisée des ciments

La classification des ciments est faite de deux manières : soit d'après leur composition chimique, soit d'après leur classe de résistance [10], [9].

I.3.4.1 Classification suivant la composition chimique

Selon la teneur des constituants autres que le gypse ajouté ou non au clinker, la norme Algérienne NA442 donne la classification suivante :

Ces ciments diffèrent par le type d'ajout et sa teneur, incorporé dans le but de modifier certaines de leurs propriétés en raison des conditions d'environnement ou de performances mécaniques auquel ces ciments sont destinés. Les différents types d'ajouts normalisés sont :

I.3.4.1.1 Laitier granulé de haut fourneau (LHF)

Le laitier est obtenu par refroidissement rapide du laitier fondu provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau. Il contient au moins deux tiers en masse de laitier vitreux et présente des propriétés hydrauliques après avoir subi une activation convenable.

I.3.4.1.2 Matériaux pouzzolaniques (Z)

Ce sont des substances naturelles ou artificielles siliceuses ou silicoalumineuses, ou une combinaison de celles-ci contenant de l'oxyde de fer (Fe_2O_3) et d'autres oxydes mais la teneur en (SiO_2) réactif doit être au moins égale à 25% en masse. Lorsqu'ils sont finement broyés, ils réagissent à température ambiante, en présence d'eau, avec l'hydroxyde de calcium [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] dissous. On distingue :

La pouzzolane naturelle (notée P) : matériau d'origine volcanique ou bien des roches sédimentaires .

la pouzzolane naturelle calcinée (notée Q) : matériau d'origine volcanique, des argiles, des schistes ou des roches sédimentaires, activés thermiquement.

I.3.4.1.3 Cendres volantes (CV)

Ce sont des produits pulvérulents de grande finesse, provenant du dépoussiérage des gaz des chaudières des centrales thermiques. On distingue deux familles de cendres volantes :

cendres volantes siliceuses (notée V) : ce sont principalement des particules sphériques ayant des propriétés pouzzolaniques. Elles sont constituées essentiellement de silice (SiO_2) réactive et d'alumine (Al_2O_3) d'oxyde de fer (Fe_2O_3) et d'autres composants.

cendres volantes calciques (notée W) : elles présentent des propriétés hydrauliques et/ou pouzzolaniques, contenant une teneur en oxyde de calcium (CaO) réactif supérieure à 10% en masse, le reste étant de la silice (SiO_2) réactive, d'alumine (Al_2O_3), d'oxyde de fer (Fe_2O_3) et d'autres composants.

I.3.4.1.4 Schiste calciné (T)

Il est produit dans un four spécial à une température avoisinant les 800°C , composé de silicate bicalcique et d'aluminate monocalcique, ainsi que de petites quantités de chaux libre et de sulfate de calcium, le schiste calciné finement broyé présente, outre des propriétés pouzzolaniques, des propriétés fortement hydrauliques.

I.3.4.1.5 Filler calcaire (FC)

C'est un matériau très finement broyé. Il a pour rôle de remplir les vides entre les sables et les graviers, tout en présentant une certaine activité physico-chimique en favorisant l'hydratation des silicates tricalciques. Les fillers calcaires utilisés comme ajouts doivent contenir :

la teneur en calcaire (CaCO_3) 75% en masse.

la teneur en argile 1.20g/100g.

la teneur totale en carbone organique (TOC) $<0,2\%$ en masse pour le (FC) et 0.5% pour la (exception faite du clinker). [12]

I.3.4.1.6 Fumée de silice (SF)

Elle provient de la réduction du quartz de grande pureté par du charbon dans des fours à arc électrique. Elle est formée de particules sphériques contenant au moins 85% en masse en silice amorphe. Poudre d'une extrême finesse (de 15000 à 25000m² /Kg), ce qui lui donne la capacité de se placer dans les interstices des grains de ciments en diminuant la demande en eau du mélange (effet filler). Son dosage est cependant limité à 10% de la masse du ciment pour protéger les armatures dans le béton (problème de PH). [11]

I.3.4.2 Classification des ciments suivant le type d'environnement

Certains ciments ont des propriétés supplémentaires leur permettant de s'adapter à des environnements spéciaux, tels que [10]

I.3.4.2.1 Ciment PM

(Ciment pour travaux eu mer) Résistant à l'eau de mer, c'est un ciment courant possédant des caractéristiques physiques et chimiques complémentaires (teneur limitée en aluminat tricalcique) qui lui donne une résistance accrue à l'agression des ions sulfate en présence d'ions chlorure, au cours de la prise et ultérieurement [12]

I.3.4.2.2 Ciment ES

(Ciment pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates) ; Résistant aux eaux sulfatées est un ciment courant présentant des teneurs limitées en aluminat tricalcique (C3A) afin d'avoir une résistance accrue à l'agression des ions sulfate au cours de la prise et ultérieurement.[12]

I.3.4.2.3 Ciments CP

(Ciment à faible chaleur d'hydratation initiale et à teneur en sulfure limitée) ; Pour béton précontraint, on distingue deux types de ciments qui diffèrent par leur teneur en ions sulfure SO⁻²4

ciments de la classe CP2 contenant moins de 0,2% d'ions sulfure recommandé pour la précontrainte par pré-tension.

ciments de la classe CP1 contenant moins de 0,7% d'ions sulfure recommandé pour la précontrainte par post-tension.

Il existe par ailleurs des ciments spéciaux répondant à des conditions spécifiques (durcissement très rapide, résistance aux fortes chaleurs ou aux agressions chimiques). C'est le cas du ciment alumineux fondu, très résistant aux milieux acides.[12]

I.4.CONCLUSION

Dans le domaine des travaux publics, l'exploitation des ressources locales et le recyclage des déchets sont des sujets d'étude de grande importance. Cette revue bibliographique met en avant l'un des matériaux locaux les plus significatifs dans les régions arides et semi-arides, à savoir le tuf d'encroûtement, ainsi que certains matériaux utilisés pour son traitement.

CHAPITRE II

Caractérisation des matériaux utilisés

II.1. Introduction

Les essais en laboratoire fournissent des données sur les propriétés physiques, mécaniques et chimiques des matériaux ce qui permet de comprendre leurs caractéristiques. Ce chapitre présente une série de tests de caractérisation des matériaux et leurs résultats.

II.2. Essais de caractérisation du tuf

II.2.1. Le tuf d'encroûtement

L'étude concerne le tuf d'encroûtement provenant de la région d'Ouargla. Il est laissé à sécher au soleil pendant quelques jours avant d'être utilisé afin d'éliminer toute humidité.



Figure II -1 : échantillon du tuf utilisé

II.2.2. Analyse chimique

La norme NF P 15-461 et la BS 1377 régissent l'analyse chimique. Afin d'identifier les matières insolubles (principalement le quartz), utilisez la norme NF P 94-048. Pour déterminer le taux de sulfate, le taux de carbonate et la concentration en sel.

À partir des résultats du tableau II-1, notre échantillon de gypse est dominant. Le sulfate de calcium représente environ 81.99% en pourcentage.

Insoluble (%)		4.45
	SO ₃ (%)	38.06
	SO ₄ (mg/l)	45661
Sulfates (%)	CaSO ₄ 2H ₂ O (%)	81.99
Carbonates de calcium CaCO ₃ (%)		3.14
Chlorure de sodium Cl ⁻ (mg)		0.681

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

D'après les résultats d'analyse chimique du tuf, le tuf est du gypse.

II.2.3. Essai Masse volumique apparente (NF P 94-053)

L'essai de la masse volumique apparente mesure la densité d'un matériau incluant les vides.

La valeur de la masse volumique apparente du tuf est de l'ordre de **1.21 g/cm³**.

II.2.4.Masse volumique absolue

La masse volumique absolu ne prend pas en compte les vides et représente la densité réelle du matériau.

La valeur de la masse volumique absolue du tuf est de l'ordre de **2.17 g/cm³**.

II.2.5. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique par tamisage est une méthode utilisée pour déterminer les proportions des tailles de particules dans un échantillon de matériau. Elle implique le passage de l'échantillon à travers une série de tamis de différentes tailles de mailles, ce qui permet de séparer les particules en fractions granulométrique distinctes. Cette expérience est réalisée selon la norme NF P 18-560, les résultats peuvent être exprimés sous forme numérique ou sous forme de graphique.



Figure II -2 : Opérateur d'essai

Tamis (mm)	Poids refus partiels (g)	Poids refus cumulés (g)	Poids refus cumulés (%)	Complément 100 à	Tamisat %
80					
50					
31.5					
20					
10	0.00	0.00	0.00	100	100
5	12.4	12.4	1.24	98.76	99
2	30.8	43.2	4.32	95.68	96
1	18.4	61.6	6.16	93.84	94
0.4	175.8	237.4	23.74	74.26	74
0.2	300.4	537.8	53.78	46.22	46
0.1	216.4	754.2	75.42	24.58	25
0.08	6	760.2	76.02	23.98	24

Tableau II-2 : Résultats d'analyse granulométrique

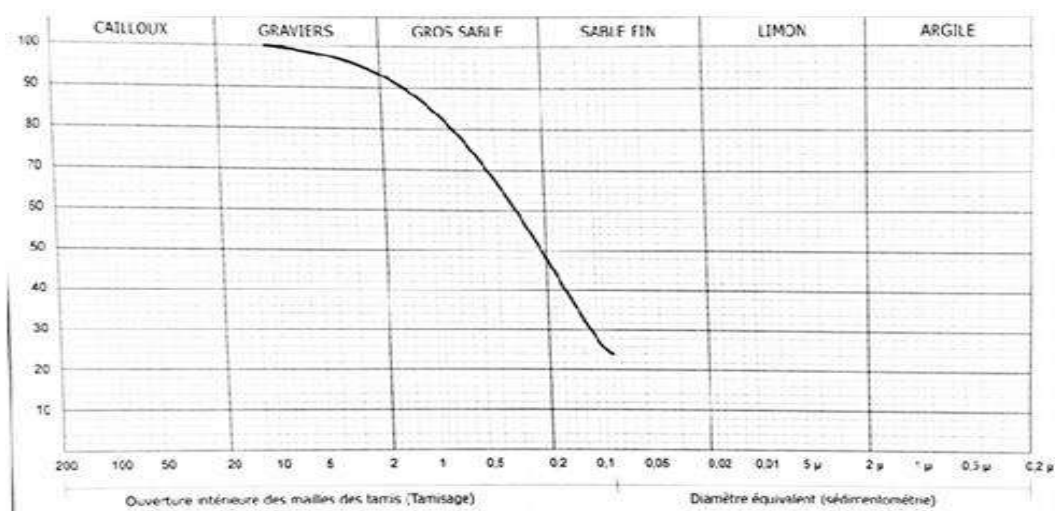


Figure II -3 : Courbe granulométrique du tuf

D’après le test d’analyse granulaire, on conclut que le pourcentage de 0 .08 est de 24 %.

II.2.6. Essai au bleu méthylène (NF P 94 – 068)

Le test consiste à mesurer la quantité de bleu de méthylène qu'une substance peut absorber par dose en suspension dans l'eau. Cette quantité est rapportée par proportion directe à une portion de 0/50 mm de sol.La valeur du bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules qui composent le sol ou le matériau rocheux. Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène et en vérifiant adsorption après chaque ajout. Pour ce faire, une goutte de la suspension est prélevée et appliqué dessus papier filtre qui provoque la formation d'une tache. L'absorption maximale est atteinte lorsqu'un halo bleu clair régulier apparaît à la périphérie de la macula. [13]

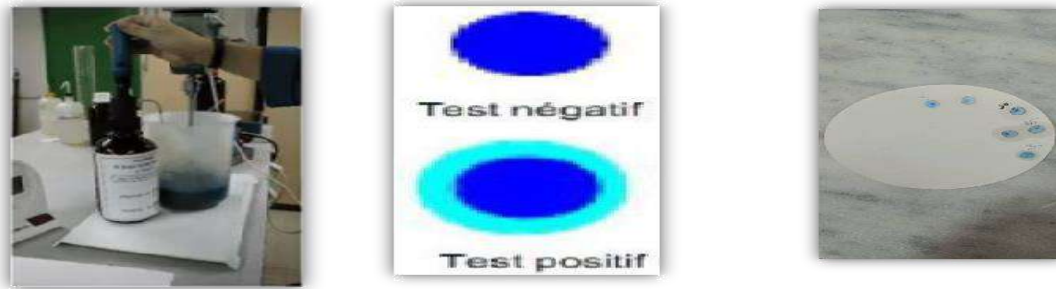


Figure II - 4 : Test au bleu de méthylène

II.2.7. Essai Proctor modifié (NF P 94-093)

L'essai est réalisé selon la norme NF P 94-093, il a pour objectif de déterminer la teneur en eau optimale pour obtenir une performance et une durabilité maximales du sol selon des conditions de pression précises.

L'essai implique la préparation d'échantillons de sol avec des compositions en eau différentes dans un moule uniforme, puis à les compacter. On mesure la masse volumique sèche pour chaque essai. Ensuite, les résultats sont exprimés graphiquement pour obtenir la teneur en eau optimale.

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_d) en fonction de (**W**), on obtient une courbe en cloche qui représente un point haut que l'on appelle Optimum PROCTOR. [14].



Figure II. 5: Essai Proctor modifié

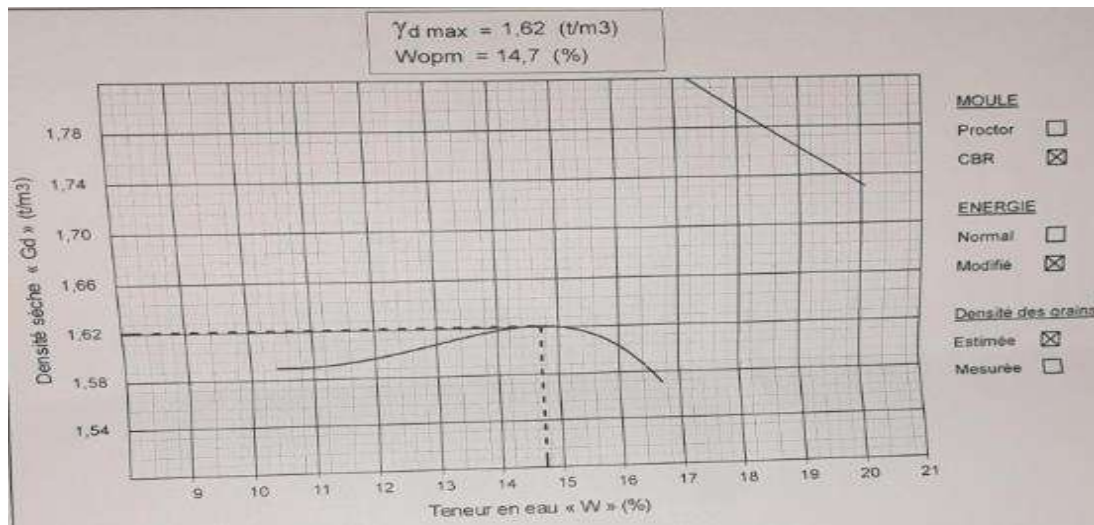


Figure II.6: Courbe Proctor modifié.

A partir de la courbe précédente, on trouve a la une teneur en eau optimale égale à 14.7%. Et la densité sèche maximale est de l'ordre de 1.62(g/cm³).

La classification des sols est définie en fonction de VBS = 0.5 dans le tableau ci-dessus .

$VBS \leq 0.2$	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

Tableau II-3. Classification des sols en fonction de VBS

Selon la Classification des sols en fonction de VBS, on peut classer le sol comme sols limoneux

II.2.8. Essai CBR

L'essai est réalisé selon la norme NF P 94-093. Il rend possible la classification d'un sol afin de l'utiliser 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. [15].

On utilise l'expérience CBR pour déterminer l'indice CBR après immersion, Indice portant immédiat (IPI) et l'indice de condition du bâtiment en immersion (CBR).

Pendant l'essai, on établit la courbe d'effort-déformation en mesurant les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à une vitesse constante (1. 27 mm/min) dans une éprouvette de matériau grâce à 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. [16].

La formule qui caractérise le CBR avec deux indices est la suivante :

$$\frac{\text{Effort de pénétration à 2.5 mm d'enfoncement(en KG)}}{13.35} \times 100$$
$$\frac{\text{Effort de pénétration à 5 mm d'enfoncemen(en KG)}}{19.93} \times 100$$



Figure II .7: Étapes d'essai CBR

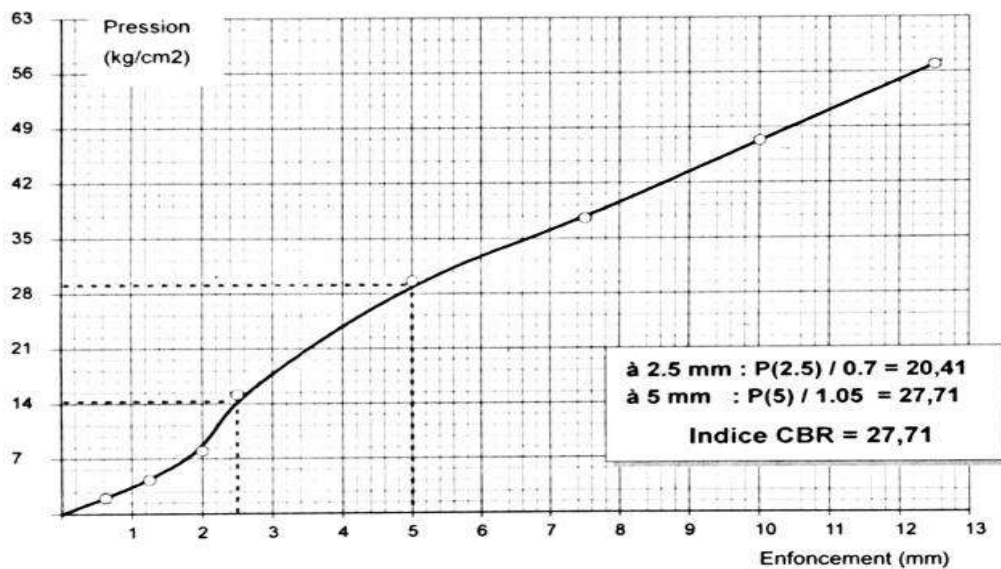


Figure II - 8: lacourbe de l'indice CBR du Tuf

Selon l'essai de CBR, on peut conclure que l'indice CBR immédiat est d'environ 27%.

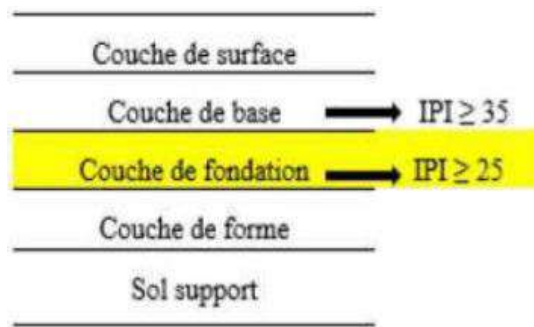


Figure II-9 : La différente couche chaussée [NF P 98 115].

II.2.9. Compression simple

Le principe de l'essai est de soumettre une éprouvette (5 cm de diamètre et de 10 cm de hauteur) à une contrainte de compression croissante et homogène dans toute sa section jusqu'à rupture de l'éprouvette afin de déterminer sa résistance à la compression.

Les éprouvettes sont séchées à l'étuve à 65°C pendant 24h, ou bien à l'air libre.



Figure II -10: Etapes d'essai compression simple

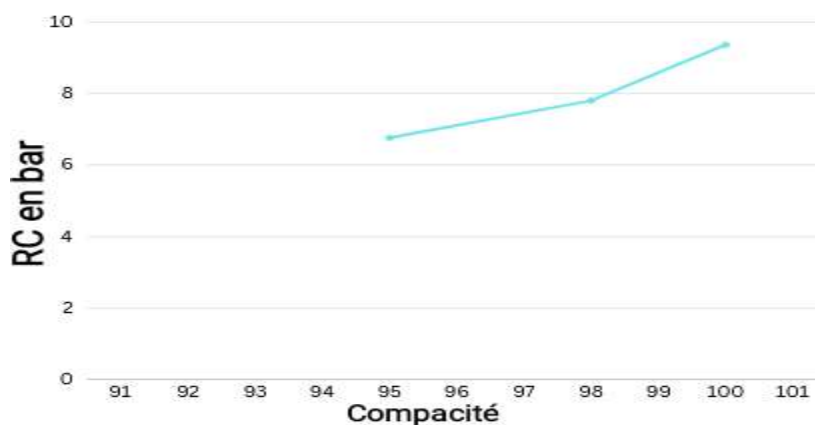


Figure II.11 : Courbe Compression simple du tuf seul pour 1jour

II.3. 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. [17].

Caractéristique	Valeur
La masse volumique apparente (g/cm ³)	1.21
Diamètre maximal(mm)	50
Éléments <0.08mm	24%
Éléments <2 mm	96
La densité sèche maximale	1.627
La teneur en eau optimale(%)	14.7
Indice CBR immédiat	27
VBS	0.5
SO ₃ ⁻² (%)	38.06
Insolubles(%)	4.45
SO ₄ ⁻² (%)	45.661
CaSO ₄ 2H ₂ O (%)	81.99
CaCO ₃ (%)	3.14
Cl(%)	0.681

Tableau II-4 : Synthèse des résultats de caractérisation

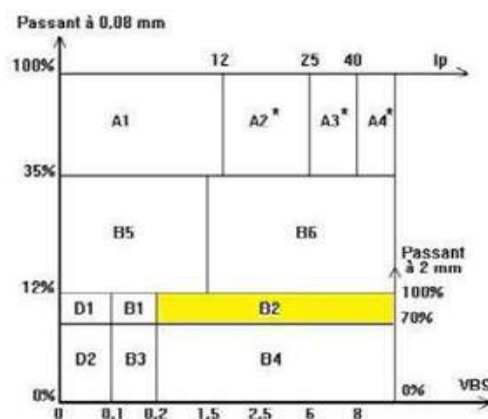


Figure II -12: Classification du tuf selon GTR 92.

Selon GTR 92, on peut conclure que la classification de notre tuf est B2 .

II.4. la chaux

La chaux utilisée dans notre étude provient de Saida. Qui se caractérise par une faible concentration en éléments oxydes tels que les silicates SiO_2 et les aluminates Al_2O_3 et une forte concentration en éléments basiques tels que la chaux libre CaO .

Le tableau suivant résume les caractéristiques mécaniques et physiques de la chaux utilisé.

Caractéristique	Valeur
Apparence physique	Poudre blanche sèche
Masse volumique absolue (g/cm³)	2.2_ 2.4
Masse volumique apparente (g/cm³)	0.5_0.65
Surface spécifique (cm²/g)	8000_12000
CaO (%)	> 73,3
MgO (%)	<0,5
Fe₂O₃ (%)	< 2
Al₂O₃ (%)	< 1,5
SiO₂ (%)	< 2,5
SO₃ (%)	< 0,5
Na₂O (%)	0,4 – 0,5
CO₂ (%)	< 5
CaCO₃ (%)	< 10
Densité spécifique	2
Plus de 90 µm (%)	< 5
Plus de 630 µm (%)	0
Matériau insoluble (%)	< 1
Densité apparente (g/l)	600-900

Tableau II – 5 : Propriétés physiques et chimiques de la chaux de Saida

II.5. Le ciment

Le ciment utilisé dans notre étude c'est CEM II /A-L 42.5 N du groupe GICA de Ain Touta (Batna). C'est un ciment portland au calcaire (CPC), certifié selon les exigences et les normes en vigueur.

Cet ciment est utilisé généralement pour les travaux de fondation, les ouvrages, les routes, les travaux de construction ...Ect .

	Clinker	Calcaire	Constituent secondaire
Taux (%)	80-94	6-20	0-5

Composition

Caractéristiques physiques

	Prise	Stabilité
Temps (mint)	≥ 60	≤ 10

Caractéristiques mécaniques

	à 2 jours	à 28 jours
Résistance à la compression (Mpa)	≥ 10	$42.5 \leq R_c \leq 62.5$

Caractéristiques chimiques

	So3	Cl
Taux (%)	≤ 3.5	≤ 0.1

Tableau II – 6 : Propriétés physiques et chimiques du ciment utilisé

II.6. conclusion

Les résultats obtenus révèlent que notre matériau de base est un tuf gypseux, La teneur en eau optimale est de 14.7%, La densité sèche maximale est de 1.62 et l'indice CBR immédiate est 27%.

Le tuf est classé dans la classe B2 selon la classification GTR92, avec un pourcentage de 24% des fines. Il est considéré comme un sable.

CHAPITREIII

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 les fines du tuf (<0.08mm) traité à la chaux et au ciment. Cette évolution est examinée en faisant varier le pourcentage des fines ajoutées, la teneur en eau de confection des éprouvettes ainsi qu'après l'immersion de ces dernières dans l'eau.

III.2. Méthodologie de l'étude expérimentale :

Pour atteindre nos objectifs, des éprouvettes cylindriques ont été confectionnées (h10Ø5 cm pour la compression et h5Ø5 cm pour la traction) à partir de formulations composées de tuf, les fines du tuf, le ciment et de chaux (tableau III.1).

	TF 5	TF1 0	TF1 5	TC4F 5	TC4F1 0	TC4F1 5	TCH4F 5	TCH4F1 0	TCH4F1 5
Tuf %	95	90	85	91	86	81	91	86	81
Fines%	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Ciment %	0	0	0	4	4	4	0	0	0
Chaux%	0	0	0	0	0	0	4	4	4

Tableau III - 1: Différentes formulations élaborées

L'évolution de résistances des différentes formulations avec l'âge (7, 28 et 60 jours) ont été observées en étudiant :

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

B. La sensibilité à l'eau

Les éprouvettes sont conservées dans les conditions de laboratoire, pour une température oscillante entre 20 et 35 °C.

III.2.1. 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, trois teneurs en eau ont été fait varier à savoir : Wopm-2 ; Wopm, et Wopm+2.

III.2.2. 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 des éprouvettes de Tuf/ fines immergées dans l'eau pendant 04 jours après une durée de conservation de 28 jours.

III.3. étude de la résistance à la compression des différents formulations

III.3.1. la résistance à la compression simple des mélanges non traité

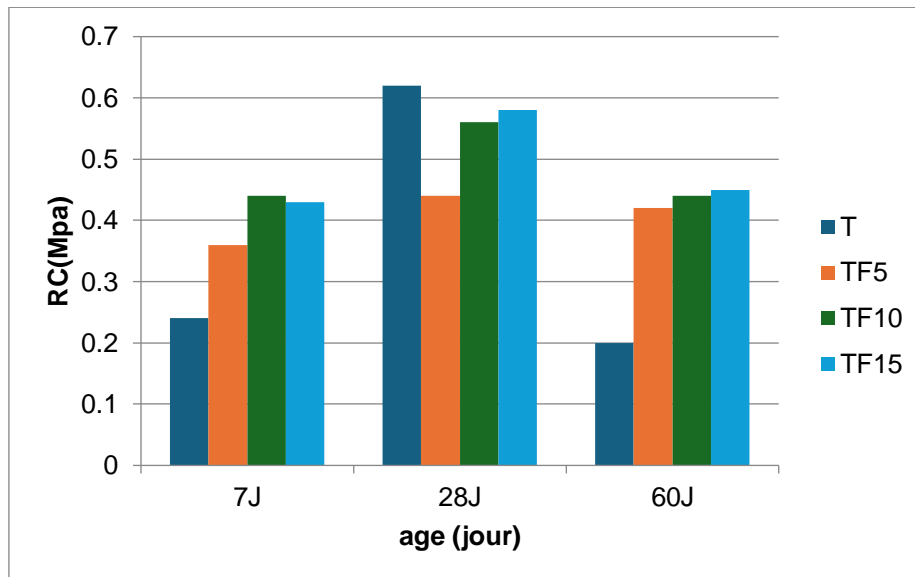


Figure III-1: Évolution de la résistance à la compression des mélanges non traité en fonction d'âge.

La figure III.1 représente l'évolution de la résistance à la compression avec l'âge des mélanges non traités.

Globalement les résultats montrent que :

La résistance à la compression de tous des mélanges est généralement faible (<1Mpa).

Les mélanges renforcés avec les fines de tuf ont enregistré des valeurs relativement plus élevées que le tuf seul.

Il est également observé que l'augmentation de la proportion des fines a eu un effet positif sur la résistance à la compression du mélange.

Les valeurs les plus élevées de la résistance à la compression ont été enregistrées à 28 jours, avec une légère diminution à 60 jours, due principalement en raison de la vitesse d'évaporation de l'eau qui est un élément important dans la cohésion des particules du mélange.

III.3.2. la résistance à la compression simple des mélanges traités au ciment:

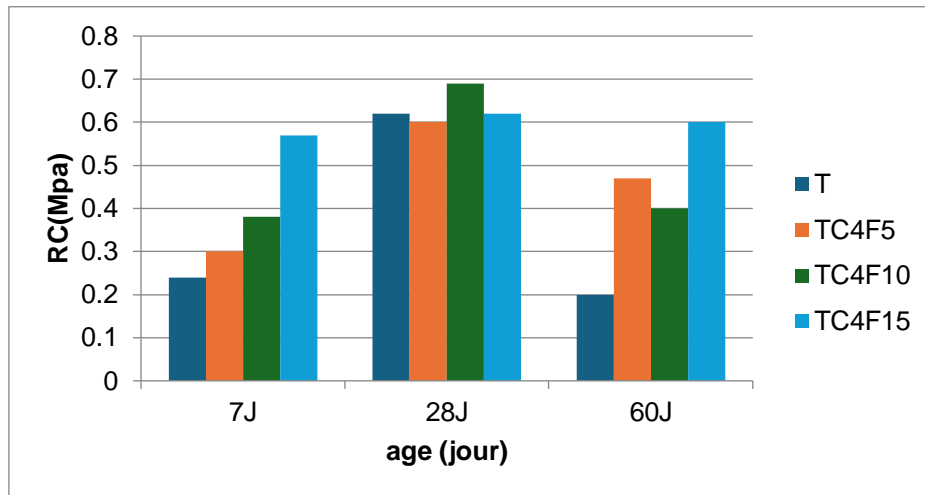


Figure III.2 : Évolution de la résistance à la compression des mélanges traités au ciment en fonction d'âge.

La figure III.2 représente l'évolution de la résistance à la compression avec l'âge des mélanges traité au ciment.

Globalement les résultats montrent l'amélioration de la résistance à la compression des différents mélanges par rapport au tuf seul.

Les valeurs les plus élevées de la résistance à la compression ont été enregistrées à 7 jours, avec une légère diminution à 28 et 60 jours, due principalement en raison de la vitesse d'évaporation de l'eau qui est un élément important dans la cohésion des particules du mélange d'une part D'autre part, le ciment a besoin de temps pour réagir correctement avec les composants du mélange.

III.3.3. la résistance à la compression simple des mélanges traités à la chaux

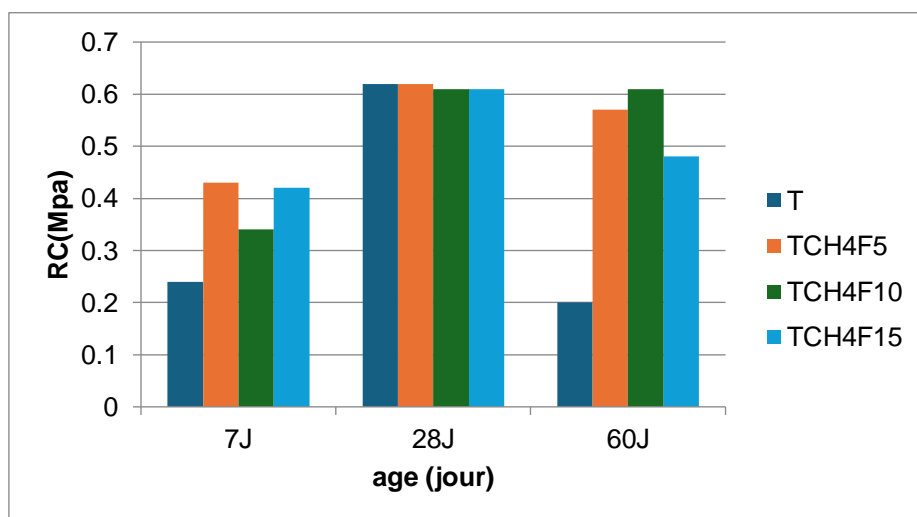


Figure III.3 : Évolution de la résistance à la compression des mélanges traités à la chaux en fonction d'âge.

La figure III.3 représente l'évolution de la résistance à la compression avec l'âge des mélanges traité à la chaux.

Globalement les résultats montrent l'amélioration de la résistance à la compression des différents mélanges par rapport au tuf seul.

Les valeurs les plus élevées de la résistance à la compression ont été enregistrées à 28 jours, avec une stabilité relative à 60 jours pour les mélanges traités à la chaux. En revanche, une diminution de la résistance a été observée pour le tuf, car ce dernier nécessite de l'eau pour un bon durcissement à moyen et long terme.

III.3.4.L'effet de la teneur en eau de confection sur la résistance à la compression des différents mélanges

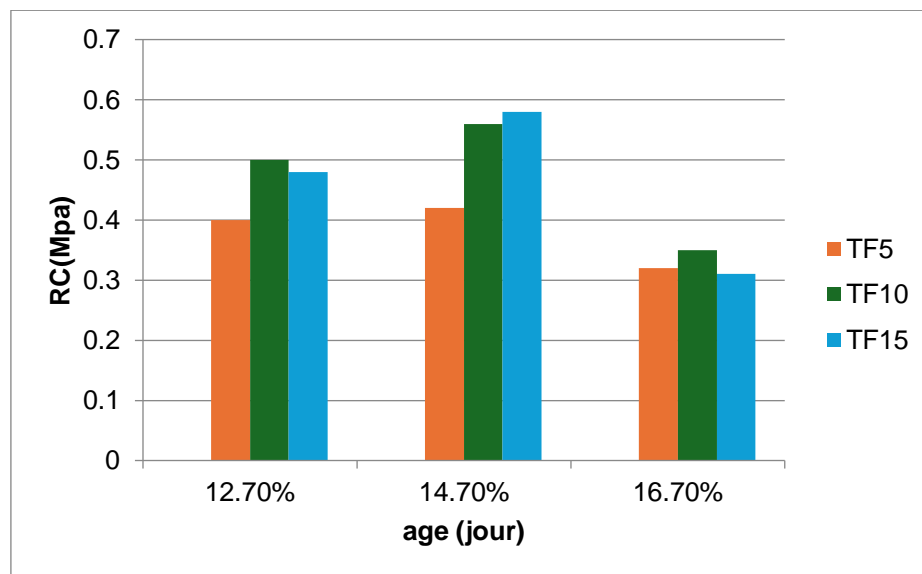


Figure III.4 : L'effet de la teneur en eau de confection sur la résistance à la compression

La figure III.4 représente une comparaison de la résistance à la compression pour les mêmes échantillons avec différents teneur en eau.

Il apparaît généralement une convergence entre les valeurs de résistance à la compression de chaque formulation pour tous les niveaux de teneur en eau et marquant une proximité avec W_{opt} du tuf. Cela signifie que la variation de la proportion des fines a un effet léger sur le pourcentage de teneur en eau optimal du mélange.

III.4. Étude de la sensibilité à l'eau

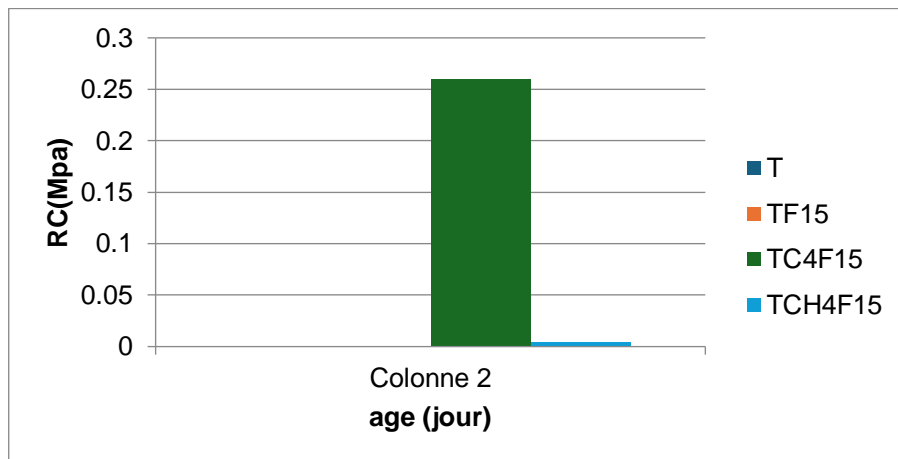


Figure III-5 : Variation des valeurs de compression des mélanges traités à ciment et la chaux après immersion dans l'eau.

La figure III-5 montre une comparaison de la résistance à la compression de différents échantillons.

Après quelques minutes d'immersion, les échantillons non traités se sont effondrés, tandis que ceux qui ont été traités avec de la chaux ont montré une valeur très faible et ceux qui ont été traités avec du ciment ont enregistré la plus grande valeur par rapport aux autres échantillons.



Figure III-6 : L'immersion des éprouvettes dans l'eau après 28 jour de conservation

III.5. Étude de la résistance à la traction

L'essai de traction constitue l'essai mécanique, il consiste à comprimer horizontale sur une éprouvette de forme cylindrique (H5cm, \varnothing 5cm).



Figure III.7 : Éprouvette de traction pendant l'écrasement

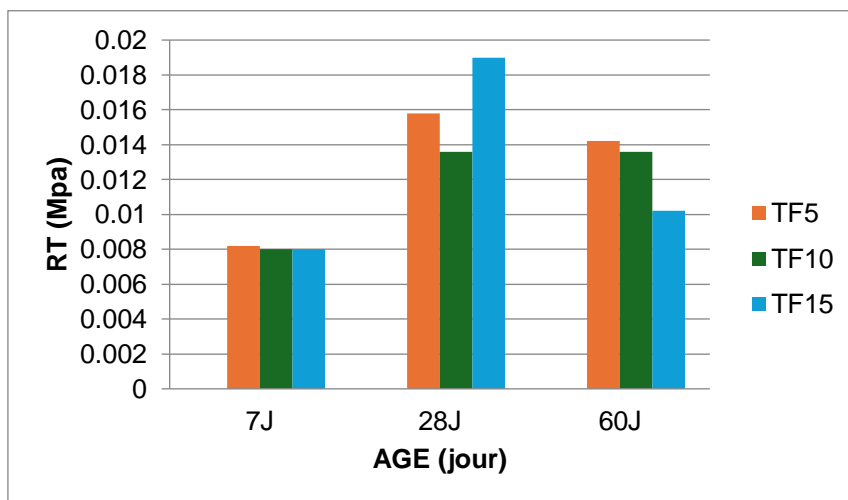


Figure III .8: La résistance à la Traction des mélanges non traité

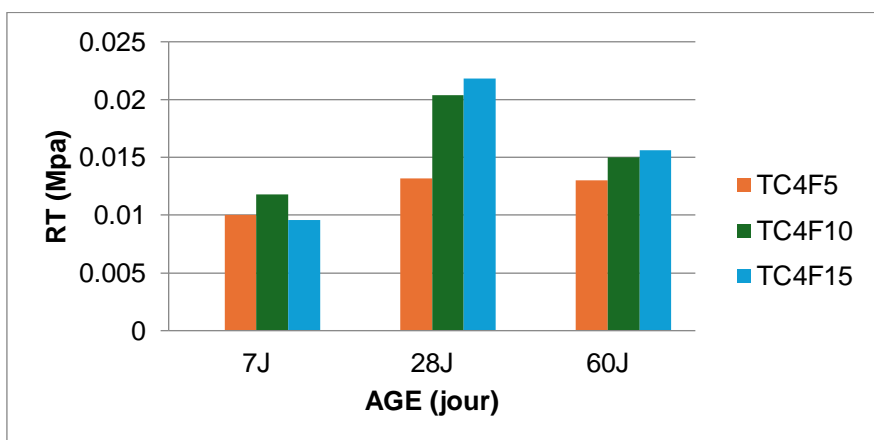


Figure III -9 : La résistance à la Traction des mélanges traités au ciment

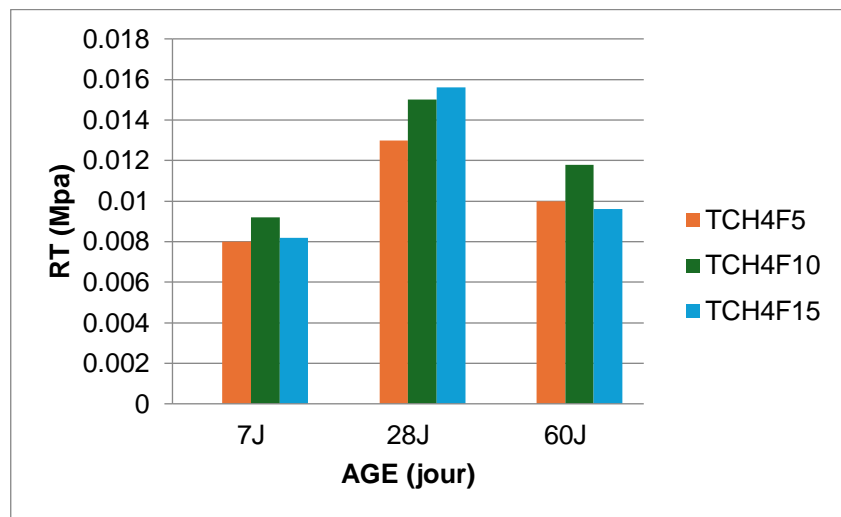


Figure III -10 : La résistance à la Traction des mélanges traités à la chaux

Les figures III.6, III.7 et III. 8 montrent l'évolution de la résistance à la traction pour différents mélanges traités et non traités en fonction d'âge.

Pour les mélanges non traités

la résistance à la traction de tous les formulations est relativement faible (<0.018 Mpa). La résistance à la traction à 28 jours montre une diminution relative par rapport à celle de 7 jours, puis enregistre une augmentation significative à 60 jours, avec une valeur maximale atteinte en ajoutant 15% des fines. Cela est dû au fait que ces derniers jouent un rôle dans la cohésion du mélange et leur importance se manifeste davantage à long terme.

Pour les mélanges traités au ciment

Les valeurs maximales de la résistance à la traction ont été enregistrées à 7 jours. Cela peut s'expliquer par la présence de forces de liaison entre les grains du mélange, résultant des propriétés capillaires de l'eau.

On observe également une diminution relative de la résistance à la traction à 28 jours, principalement due à la rapide évaporation de l'eau et à la perte des forces de liaison capillaires entre les grains.

À 60 jours, on constate une nouvelle augmentation de la résistance à la traction pour tous les mélanges, due à l'action du ciment et à son interaction avec les grains du mélange, entraînant une meilleure cohésion et une résistance accrue à la traction.

Pour les mélanges traités à la chaux

Nous enregistrons une augmentation de la résistance à la traction pour tous les mélanges en fonction du temps, atteignant les valeurs les plus élevées après 60 jours.

La valeur maximale (0.018Mpa) est obtenue avec l'ajout de 5% des fines.

L'augmentation de la résistance à la traction est principalement due à l'action de la chaux et à son rôle dans la liaison des différentes particules du mélange, cette liaison se renforçant avec l'âge des échantillons.

III.6. Dimensionnement d'une route selon la méthode CBR

Cette méthode semi-empirique repose sur un test de compression sur un échantillon de sol servant de support pour la route, où les échantillons sont compactés à un pourcentage compris entre 90 et 100 de la densité maximale modifiée par l'essai Proctor.

L'épaisseur totale de la couche de base requise pour la route est calculée en utilisant la formule suivante :

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{6,5}}{5 + I_{CBR}}$$

e = épaisseur équivalente.

ICBR = Indice CBR.

P = charge par roue.

P = 6,5 tonnes.

Cas N°1 Tuf seul (I-CBR=27.71)

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{6,5}}{5 + 27,71} = 15\text{cm}$$

Cas N°2 Tuf +4% chaux+15% fine (I-CBR=36.27)

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{6,5}}{5 + 36,27} = 12\text{cm}$$

Cas N°3 Tuf +4% ciment+15% fine (I-CBR=46.31)

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{6,5}}{5 + 46,31} = 9\text{cm}$$

Cas N°1 : Une plus grande épaisseur (15cm) est nécessaire car l'indice CBR est le plus bas.

Cas N°2 : L'amélioration du tuf en ajoutant de la chaux et les fines a augmenté l'indice CBR, réduisant ainsi l'épaisseur requise (12 cm).

Cas N°3 : L'amélioration du tuf en ajoutant du ciment et les fines a augmenté encore plus l'indice CBR, réduisant ainsi l'épaisseur requise à 9 cm.

On conclure que :

Plus l'indice CBR augmente, plus l'épaisseur nécessaire de la couche de base de la route diminue. L'ajout de matériaux améliorants comme la chaux ou le ciment au tuf améliore la résistance des matériaux, ce qui permet de réduire l'épaisseur requise.

III.6. CONCLUSION

Dans le domaine des travaux publics, l'exploitation des ressources locales et le recyclage des déchets sont des sujets d'étude de grande importance. Cette revue bibliographique met en avant l'un des matériaux locaux les plus significatifs dans les régions arides et semi-arides, à savoir le tuf d'encroûtement, ainsi que certains matériaux utilisés pour son traitement.

CHAPTER IV:

**Guide de projet pour l'obtention d'un
certificat de création d'entreprise**

Guide de projet pour l'obtention d'un certificat de création d'entreprise

Liste des contenus :

Section 1 : Présentation du projet

Idée de projet (solution proposée) **1.**

Valeurs proposées. **2.**

3. Équipe de travail.

4. Objectifs du projet.

5. Calendrier de réalisation du projet.

Section 2 : Aspects de l'innovation

a. La nature des innovations

b. Domaines d'innovation

Section 3: l'analyse stratégique du marché

- ✓ Présentation du secteur.
- ✓ L'intensité des concurrences.
- ✓ Stratégies marketing.
- ✓ Plan de production et organisation.
- ✓ Processus de production.
- ✓ Approvisionnement.
- ✓ Main d'œuvre

Section 4 : Le plan financier plan financier

- ✓ Coûts et charges.
- ✓ Chiffre d'affaires.
- ✓ Compte de résultat prévisionnel.
- ✓ Plan de trésorerie.

Section 5 : Plan financier

- ✓ coûts et charges.
- ✓ chiffre d'affaires.

Section 6 : Prototype expérimental

IV-1 Section 1: Présentation du projet

IV-1-1 Idée de projet (solution proposée)

L'idée du projet est née en raison des effets climatique qui ont affecté les performances de

la couche principale des route, ce qui les a amenées à glisser et à se fissurer, causant plusieurs dommages notamment des accidents da la route comme solution proposée un mélange de bien du spectre est produit pour améliorer la qualité des routes.

IV-1-2 Valeurs proposées

Notre produit répond à résistance mécanique conformément aux normes Internationales et propriétés du produit peuvent être modifiées à volonté.

IV-1-3 Équipe de travail

L'équipe de travail est composée de l'étudiante de génie civil :

-Habbiche Nour el djihad: qui s'est spécialisée dans le domaine de la travaux publique et représente son rôle de gestion du projet et de surveillance du processus de fabrication

- Merabti Rekaia: qui s'est spécialisée dans le domaine de la travaux publique et représente son rôle de gestion du projet et de surveillance du processus de fabrication.

IV-1-4 Objectifs du projet

Nous cherchons à faire de notre produit l'un des produits les plus demandés sur le marchémondial, car la part de marché au cours des deux premières années est estimée à 3 % et atteindra 10 % après cinq ans, et d'ici dix ans, la part de marché augmentera. Être sur le marché algérien.

IV-1-5 Calendrier de réalisation du projet

Tableau IV-1 : Calendrier de réalisation du projet

	Entreprise	Les mois									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 1	Préparer les documents requis et choisir l'emplacement de l'usine	■	■								
2 2	construire un siège de production (usine)			■	■	■	■				
3	Acquisition de machines					■	■				
4	Installation d'équipements						■	■			
5	Demande de matières premières						■	■	■		
6	Le début de la production du premier produit									■	■

IV.2 Section 2 : Aspects de l'innovation

IV-2-1 La nature des innovations

Innovation de marché et innovation incrémentales.

IV-2-2 Domaines d'innovation

Les aspects innovants de notre projet sont:

- Le produit est de fabrication 100% locale, car il repose sur l'exploitation du tuf comme matériau local abandonné.
- Les matières premières sont considérées comme un élément important dans le route.

IV.3 Section 3: l'analyse stratégique du marché

IV.3.1 Présentation du secteur

Le marché cible est constitué des: entreprises de construction et des sociétés , travaux publique .

IV.3.2 L'intensité de la Concurrences :

Il n'y pas de concurrents pour la première idée de projet en Algérie.

IV.3.3 Stratégies Marketing

Dans la promotion de notre produit, nous nous appuyons sur des méthodes de marketing stratégiques au moindre coût pour mettre en évidence les caractéristiques et les avantages de notre produit de manière simple et facile à comprendre pour le client. Nous utilisons la technologie dans le marketing via les sites de réseaux sociaux et participation à des expositions internationales.

IV.4 Section4 : Le plan financier plan financier

IV.4.1Processus de Production

Elle consiste à préparer le produit pour qu'il soit prêt.

IV.4.2 Approvisionnement

En matière de matières premières Nous comptons région Ouargla.

En termes de fournitures et d'équipements

Brouage , tamisage électrique.
en termes de sécurité et de sûreté.

En termes de paiement et réception

Création d'un site internet pour l'usine où les clients peuvent acheter en ligne en fournissant des photos et une description détaillée des caractéristiques du produit, adopter le paiement électronique.

IV.4.3 Main d'œuvre

L'occupation du marché et la capacité productive de notre usine.

Section 5 : Le plan financier

IV.5.1 Coûts et charges

Ici, tous les coûts du projet et les investissements requis sont déterminés avec précision: (Des éléments budgétaires peuvent être utilisés).

IV.5.2 Coûts fixes

-Salaires des travailleurs, y compris les administrateurs, les techniciens et les travailleurs multiservices.

-Le coût du terrain sur lequel le projet sera réalisé.

-Frais de maintenance des machines, équipements et installations.

-Frais de commercialisation de notre produit.

- Taxes et frais d'assurance.

IV.5.3 Coûts variable

Coût des matières premières Frais d'emballage, d'expédition et de livraison.

IV.5.4 Chiffre d'affaires

La valeur de dimension n'a pas été spécifiée , mais elle est inférieure a la valeur normale

IV.5 Section 6 : Prototype expérimental (photo)



Fig IV-1 : Le éprouvette

BMC

<p>Partenaires clés:</p> <p>Entreprise Cimenteries et déchée de brique</p> <p>Entreprise de livraison</p> <p>Entreprises et entrepreneurs de construction et de construction</p>	<p>Activités Clés:</p> <p>-Améliorer les performances du tuf</p>	<p>Propositions de valeur:</p> <p>-Valoriser l'économique Local</p> <p>-Relancer l'économie</p> <p>-Améliorer la qualité des routes</p>	<p>Relation Client:</p> <p>-10% dermisé après 3</p> <p>Transaction quantité</p> <p>Quantité</p> <p>-Survie contact</p>	<p>Clients:</p> <p>-Entreprise de travaux publics</p> <p>-</p> <p>Entreprises de Construction</p>
<p>Ressources clés: Matière première (tuf)</p>		<p>Canaux:</p> <p>-Site web, Fax</p> <p>-Réseaux sociaux</p> <p>-Participation à des</p>		
<p>Revenus:</p> <p>Lieu travail, les matériel, matériel</p> <p>Ouvriers et ingénieurs,</p>		<p>Coûts de fabrication:</p> <p>Location du chantier</p> <p>Acheter matériel</p> <p>Acheter matière première salaires des ouvriers</p>		

Tableau IV-2 : BMC

CONCLUSION GENERALE

Cette étude vise à améliorer un type de tuf aux propriétés mécaniques faibles afin de le rendre adapté à la construction de routes sahariennes. Ce travail est crucial car il offre des solutions locales et économiques pour les infrastructures dans les régions désertiques, où les matériaux de construction traditionnels sont rares et coûteux.

Les analyses chimiques ont révélé que ce tuf est de nature gypseuse, influençant ainsi ses propriétés mécaniques et sa durabilité. Les tests de classification géotechnique ont montré qu'il appartient à la catégorie des sables argileux (classe B2 selon la classification GTR92).

L'étude a consisté à mélanger le tuf avec du ciment, de la chaux et des matériaux fins, aboutissant aux résultats suivants :

- Les mélanges non traités présentent une faible résistance à la compression et à la traction, ne dépassant pas 1 MPa, limitant ainsi leur utilisation directe dans la construction de routes sans traitement préalable.
- L'ajout de fines (tuf broyé) améliore les performances mécaniques du tuf.
- Les meilleures résistances mécaniques ont été enregistrées pour les mélanges traités et conservés pendant 28 jours, renforçant ainsi la cohésion et la durabilité des matériaux.
- Le mélange du tuf avec la chaux et le ciment a amélioré sa sensibilité à l'eau, ce qui est crucial pour les constructions sahariennes exposées à des variations climatiques extrêmes.
- Malgré les améliorations observées, certaines formulations de mélanges ont montré une faible résistance, indiquant la nécessité de recherches supplémentaires pour comprendre les interactions optimales entre le tuf et les additifs utilisés.

En conclusion, cette étude démontre le potentiel du tuf traité pour une utilisation dans la construction de routes sahariennes. L'amélioration des propriétés mécaniques par l'ajout de ciment, de chaux et d'un pourcentage de matériaux fins ouvre des perspectives prometteuses pour le développement d'infrastructures durables et économiques dans les régions désertiques. Cependant, il est essentiel de poursuivre les recherches pour perfectionner les techniques de traitement et garantir la fiabilité et la durabilité des routes construites avec ce matériau.

Références bibliographiques

[1] : Khalili Khadîdja (2016) Caractérisation mécanique d'un mélange : Tuf + sable de dunes, MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES DE MASTER.

[2] : LOUALBIA Hamza (2017) Intitulée Valorisation des tufs d'encroûtement en technique routière, Thèse Pour l'obtention du Diplôme de Docteur en Génie Civil Option : Matériaux innovants dans le génie civil.

[3] : KHELLOU Abderrezak (2011), modélisation du comportement des matériaux sable gypso-calcaires, Mémoire de MAGISTER

[4] : OMRANI SADEK et ZITOUT NOUREDDINE ALI (2016) Étude en APD de la modernisation d'un tronçon de la route national RN40B avec l'étude géotechnique dutuf calcaire, thèse master.

[5] : Ce LIVRET " Le tuf des rivières des Causses du Quercy", Collection "Découvrir"édité par Le Parc naturel régional des Causses du Quercy, a été rédigé en collaboration avec le Syndicat Mixte du Bassin de la Rance et du Célé. Une collectivité au service des usagers, de la ressource en eau et des milieux aquatiques.

[6] : BAIKER MOHAMED CHERIF, MEMOIRE de master Génie Civil « Contribution à l'étude des Caractéristiques physico- mécaniques d'une brique a base du sable de dunes et les copeaux de bois », Université Kasdi Merbah Ouargla 2015.

[7] : OUARGLI Meriem et YAZI Abdellah (2019): «L'influence de déchet de gravier sur les caractéristiques physico- mécaniques d'une brique a base du sable de dunes et copeaux de bois» .Mémoire de magister, , Université Kasdi Merbah Ouargla p 9,10.

[8] : Mhmedi abdlhalim et mekri Abdelkader mémoire master université Mohamed Boudiaf Msila « caractérisation et traitement à la chaux des sol chott et Honda willaya de Msila p 30

[9] : E. Guillon, « Durabilité des matériaux cimentaires –Modélisation de l'influence des équilibres physico-chimiques sur la microstructure et les propriétés mécaniques résiduelles », thèse de doctorat, ENS Cachan/ CNRS/ Université Paris 6, France-2004.

[10] : J. Baron – JP. Olivier et J.C.Weiss : « Les ciments courants » - « Les bétons, bases et données pour leur formulation » - Edition Eyrolles – 806p-1997.

[10] : L. PLISKIN : « La fabrication du ciment » - Edition Eyrolles – 217p- Paris1993.

[11] : Georges Dreux et Jean Festa : « Nouveau guide du béton et de ses constituants »,

[12] : R.Dupain, R.Lanchon, J.C saint-Arroman : « Granulats, sols, ciments et bétons », 2eme édition conforme aux normes européennes, France, 2000.

[13] : ALIOUA Khaoula et MESSINI Ikram MEMOIRE de master Génie civil « Etude des performances mécaniques d'un mélange tuf d'encroûtement /déchet de brique broyés en vue de son utilisation en construction routière » université Kasdi Merbah Ouargla 2021 P 8-9.

[14] :L'ESSAI PROCTOR, SOURCES MODES OPERATOIRES DU LABORATOIRECENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES SANGLERAT – INTERNE.

[15] : Tounsi Mohammed Abimouloud AbdEnnour (2022), Effet du mode de conservationsur les performances mécaniques d'un Tuf traité aux déchets de briques broyés et à la chaux ,MAGISTER Hydraulique et Génie Civil,UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA .

[16] : Méthode d analyse, Détermination de la granulométrie, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2015-11-16 (révision 1). P 05.

[17] : Chapitre 3 • Classification des sols GTR NF P 11 300.