



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : GENIE CIVIL ET ARCHITECTURE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par

GUELLAADROUS Kamel & KHATTARA Omar

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie Civil

OPTION : Structures

Thème

PROPRIETES MECANIKES DES BRIQUES BTCS RENFORCES PAR DES FIBRES D'ALFA

Soutenu le: 04/06/2018

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mme. Kouidri .Z	M.A.A	Présidente
Mme. Bendjillali. K	M.C.A	Examinatrice
Mr. Nouioua. T	M.A.A	Encadreur
Mr. Gueddouda. M. K	Professeur	Co-Encadreur

Promotion : Juin-2018

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier nos encadrateurs Monsieur Nouioua Tahar et Professeur GUEDDOUDA Mohamed Kamel, à leurs précieux conseils et leurs aides durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury :

- *Mme. BENDJILLALI Khadra ; présidente*
- *Mme. KOUIDRI F.Z ; examinatrice*

Pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

En addition, nos vives et parfaites convictions sont allouées aux personnels du laboratoire de Génie Civil pour l'assistance et l'accompagnement, pendant la durée de la réalisation de notre travail de laboratoire en particulier l'ingénieur de laboratoire monsieur Hamdi Brahim.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

MERCI

Dédicaces

Je dédié ce travail à : Mes très chers parents pour leurs sacrifices, leurs patiences, leurs encouragements et leurs soutiens morale tout le long de ma formation,

Mes frères, Ma sœur chacun par son nom, Mes amis et Mes enseignants et Mes collègues d'étude.

Merci du fond du mon cœur.

Kamel

إهداء

إلى من يسعد قلبي بلقياها
إلى روضة الحب التي تنبت أزكى الأزهار
أمي

إلى رمز الرجولة والتضحية
إلى من دفعني إلى العلم وبه ازداد اقتخاري
أبي

إلى من هم أقرب إليّ من روعي
إلى من بهم استمد عزّتي وإصراري
إخوتي

إلى من أنسني في دراستي وشاركني همومي
تذكّاراً وتقديراً
أصدقائي

أهدي هذه المذكرة لكم جميعاً

عمر خطارة

Liste de tableaux

Tableau. I. 1 : Opérations des différentes réalisations en terre en ALGERIE.....	07
Tableau. I.2 : Caractéristiques des briques de terre crue.....	15
Tableau. II.1 : Nature et qualité du sable selon E_{sv} ou E_{sp}	35
Tableau. II.2 : Classification de Casagrande pour les sols fins.....	36
Tableau. II.3 : Classification des sols en fonction de l'indice de plasticité	37
Tableau. II.4 : Classification des argiles selon la surface spécifique(S_{st}).....	38
Tableau. II.5 : Caractéristiques du moule Proctor	39
Tableau. II.6 : La composition chimique de l'argile.....	41
Tableau. II.7 : Teneur en $CaCO_3$ de quelques sols	41
Tableau. II.8 : Masse volumique apparente de l'argile.....	42
Tableau. II.9 : Masse volumique absolue de l'argile.....	42
Tableau. II.10 : Les limites d'Atterberg d'argile.....	43
Tableau. II.11 : Résultats de l'essai au bleu de méthylène.....	44
Tableau. II.12 : Analyse chimique du sable de dune.....	45
Tableau. II.13 : Valeurs des coefficients C_u et C_c	46
Tableau. II.14 : Paramètres d'identifications de sable de dune par ES.....	47
Tableau. II.15 : Paramètres d'identifications de sable de dune VB.....	47
Tableau. II.16 : La composition chimique de la chaux.....	48
Tableau. II.17 : Analyse chimique du fibre de halfa.....	48
Tableau. II.18 : Les valeurs de témoin A_{100}	50
Tableau. II.19 : Représente les valeurs de flexion de A_{100}	53
Tableau. III.1 : Les mélanges à différents pourcentages.....	57
Tableau. III.2 : Nombre des éprouvettes pour les mélanges traité.....	59
Tableau. III.3 : Caractéristique des mélanges A_{80} et A_{60}	60
Tableau. III.4 : Résistance à la compression simple et à la flexion par trois points des mélanges A_{100} , A_{80} et A_{60}	61
Tableau. III.5 : Valeurs de résistances à la compression simple des différents échantillons A_{100}	63
Tableau. III.6 : Valeurs de résistances a la compression simple des différent échantillons A_{80} ..	64
Tableau. III.7 : Valeurs de résistances a la compression simple des différent échantillons A_{60} ..	65
Tableau. III.8 : Valeurs de résistances a la compression simple des différent échantillons A_{100}	66
Tableau. III.9 : Valeurs de résistances a la compression simple des différent échantillons A_{80} ..	67
Tableau. III.10 : Valeurs de résistances à la compression simple des différents échantillons A_{60}	68
Tableau. III.11 : Récapitulatif des résultats essais de compression simple (MPa).....	69
Tableau. III.12 : Valeurs des résistances à la flexion par trois points des différent échantillons A_{100}	70
Tableau. III.13 : Valeurs de résistances a la flexion par trois points des différent échantillons A_{80}	71
Tableau. III.14 : Valeurs de résistances à la flexion par trois points des différents échantillons A_{60}	72
Tableau. III.15 : Valeurs de résistances a la flexion par trois points des différent échantillons A_{100}	73

Tableau. III.16 : Valeurs de résistances a la flexion par trois points des diffèrent échantillons A ₈₀	74
Tableau. III.17 : Valeurs de résistances a la flexion par trois points des diffèrent échantillons A ₆₀	75
Tableau. III.18 : Récapitulatif des résultats essais de flexion par trois points (MPa).....	76
Tableau. III.19 : Valeurs de résistances à la compression simple des diffèrent échantillons après traitement	77
Tableau. III.20 : Valeurs de résistances a la flexion par trois points des diffèrent échantillons après traitement.....	78

Liste des figures

Fig. I.1 : Les zones de construction en terre au monde.....	06
Fig. I.2 : 600 Logements en BTC à travers l'Algérie.....	08
Fig. I.3 : Résistance en compression en fonction de la teneur en argile.....	15
Fig. I.4 : Densité en fonction de la teneur en eau (compactage statique).....	21
Fig. I.5 : Densité en fonction de la teneur en eau (vibro –compression).....	21
Fig. I.6 : Influence du mode de compactage d'une argile limoneuse sur la perméabilité.....	21
Fig. I.7 : Evolution de la répartition des utilisations mondiales de fibres.....	25
Fig. I.8 : Classification des fibres végétales selon l'origine « Fibres et renforts végétaux Solutions composites	26
Fig. I.9 : Influence de 4% de fibres sur la relation contrainte-déformation du sol.....	28
Fig. I.10 : Les courbes de la résistance à la compression en fonction de la teneur et la longueur des fibres.....	28
Fig. I.11 : Les courbes de la résistance à la flexion en fonction de la teneur en eau et la longueur des fibres.....	29
Fig. II.1 : Localisation des matériaux utilisés.....	31
Fig. II.2 : Etat de teneur en eau.....	36
Fig. II.3 : Classification des sols fins sur le diagramme de Casagrande.....	37
Fig. II.4 : Schéma du mode d'application de l'effort de compression.....	40
Fig. II.5 : Schéma du mode d'application de l'effort de Flexion trois points.....	41
Fig. II.6 : Courbe granulométrique de l'argile.....	43
Fig. II.7 : Classification des sols fins sur le diagramme de Casagrande.....	44
Fig. II.8 : Courbe Proctor d'argile utilisé.....	45
Fig. II.9 : Courbe granulométrique du sable de dune.....	46
Fig. II.10 : Courbe Proctor du sable de dune.....	48
Fig. II.11 : Courbe de résistance de l'essai à la compression simple A_{100}	51
Fig. II.12 : Retrait d'argile pure.....	52
Fig. II.13 : Résultats de l'essai à la flexion par trois points A_{100}	53
Fig. III.1 : Courbes de la résistance à la compression simple A_{100} , A_{80} et A_{60}	61
Fig. III.2 : Courbes de la résistance à la flexion par trois points A_{100} ; A_{80} ; A_{60}	61
Fig. III.3 : Courbes de compression simple A_{100}	63
Fig. III.4 : Courbes de compression simple A_{80}	64
Fig. III.5 : Courbes de compression simple A_{60}	65
Fig. III.6 : Courbes de compression simple A_{100}	66
Fig. III.7 : Courbes de compression simple A_{80}	67
Fig. III.8 : Courbes de compression simple A_{60}	68
Fig. III.9 : Courbes de flexion par trois points A_{100}	70
Fig. III.10 : Courbes de flexion par trois points A_{80}	71
Fig. III.11 : Courbes de flexion par trois points A_{60}	72
Fig. III.12 : Courbes de flexion par trois points A_{100}	73
Fig. III.13 : Courbes de flexion par trois points A_{80}	74
Fig. III.14 : Courbes de flexion par trois points A_{60}	75
Fig. III.15 : Courbes de Compression simple	77
Fig. III.16 : Courbes de flexion par trois points	78

Liste des photos

Photo I.1 Grande mosquée de Mopti, ministère de la culture du mali.....	06
Photo I.2 Mosquée du méchouar, (Tlemcen).....	08
Photo I.3 Mur Eden project, (angleterre).....	08
Photo I.4 Construction en pisé au Maroc.....	09
Photo I.5 Remplissage d'un mur en pisé au Maroc.....	09
Photo I.6 Malaxage de mélange.....	10
Photo I.7 Coulage dans les moules.....	10
Photo I.8 Moule de l'adobe.....	10
Photo I.9 Construction en Adobe au Ghardaïa.....	10
Photo I.10 Construction en bauge en1982 à Cesson-Sévigné.....	11
Photo I.11 La bauge.....	11
Photo I.12 Confection du torchis.....	12
Photo I.13 Construction d'un mur.....	12
Photo I.14 Fabrication des briques de terre comprimée à l'aide d'une presse manuelle.....	13
Photo I.15 Fabrication des briques de terre comprimée à l'aide d'une presse mécanique.....	13
Photo I.16 Presse manuelle.....	13
Photo I.17 Le BTCS (Brique en Terre Comprimée et Stabilisée).....	14
Photo I.18 Sable de dune.....	17
Photo II.1 Echantillon l'argile.....	31
Photo II.2 Echantillon de sable de dune.....	32
Photo II.3 Fibre de halfa à l'état brute.....	32
Photo II.4 Fibre de halfa cisillée.....	32
Photo II.5 La Chaux de Ghardaïa.....	33
Photo II.6 MEB des fibres halfa.....	49
Photo II.7 Mélange argile-sable sec.....	50
Photo II.8 Mélange argile-sable humide.....	50
Photo II.9.a Compression simple.....	50
Photo II.9.b Flexion trois points.....	50
Photo II.10 Moule utilisée dans compactage 10x10x10cm ³	51
Photo II.11 Presse hydraulique.....	51
Photo II.12 L'échantillon de retrait.....	52
Photo II.13 Moule de 20x10x10.....	53
Photo III.1 : Les échantillons cubique (Argile + sable de dune + fibre).....	58
Photo III.2 : Les échantillons parallépipèdes (Argile + sable de dune + fibre).....	59
Photo III.3 : Les échantillons traités (Argile + sable de dune + fibre + chaux).....	60

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Liste des tableaux.....	I
Liste des figures.....	II
Liste des photos.....	III
Introduction générale.....	01

Chapitre I Etude bibliographique

I.1	Introduction.....	4
I.2	Construction en terre.....	4
I.2.1	Avantages.....	4
•	<i>Avantages- économiques</i>	4
•	<i>Avantages- écologiques</i>	5
I.2.2	Inconvénients.....	5
I.3	Historique de la construction en terre.....	5
I.3.1	Repères Chronologiques de la construction en terre au monde.....	5
I.3.2	Repères Chronologiques de la construction en terre en Algérie.....	6
I.4	Les types de constructions en terre.....	8
I.4.1	Le pisé.....	8
I.4.2	Adobe.....	10
I.4.3	Bauge (terre-paille).....	11
I.4.4	Le torchis.....	12
I.4.5	Briques de terre compressée (BTC).....	13
I.4.6	BTCS (brique de terre comprimée stabilisé).....	14
I.5	Argile.....	15
I.5.1	Définition.....	15
I.5.2	Principaux types d'argiles.....	16
I.6	Sable de dune.....	16
I.6.1	Généralité.....	16
I.6.2	Intérêt de sable de dune.....	17

<i>Les aspects économiques</i>	17
<i>Les aspects techniques</i>	17
I.7 Stabilisation.....	18
I.7.1 Définition	18
I.7.2 Objectifs	18
I.7.3 Procédés	18
<i>I.7.3.1 Stabilisation Physique</i>	18
<i>I.7.3.2 Stabilisation physico-chimique</i>	19
• Traitement Dans La Masse	19
<i>I.7.3.3 Stabilisation physico-mécanique</i>	20
<i>I.7.3.4 Modes de compactage</i>	20
I.8 Les fibres.....	24
I.8.1 Définition	24
I.8.2 Types de fibres	24
<i>I.8.2.1 Fibres naturelles</i>	24
<i>I.8.2.2 Fibres vitale</i>	25
I.8.3 Effet de l'ajout par des fibres sur les propriétés des sols	26
I.8.4 Effet de la stabilisation par les fibres naturelles sur les propriétés des adobes.....	27
I.8.5 Effet des fibres sur les propriétés mécaniques	28
I.9 Conclusion	29

Chapitre II Techniques expérimentales et caractérisation des matériaux

II.1 Introduction.....	30
II.2 Localisation des matériaux utilisés	30
II.2.1 Argile.....	30
II.2.2 Sable de dune	31
II.2.3 Fibre Alfa ou "Halfa"	32
II.2.4 Chaux.....	32
II.3 Techniques expérimentales	33
II.3.1 Masse volumique	33

•	Masse volumique apparente (NFISO 11272):.....	33
•	Masse volumique absolue (NFP18-558):.....	34
II.3.2	Analyse granulométrique (NF P94-056) et (NF P94-057)	34
II.3.3	Equivalent de sable (NF P 18-598).....	35
II.3.4	Limite d'Atterberg (NF P 94-051).....	35
II.3.5	Essais Bleu Méthylène (NF P 94-068)	38
II.3.6	Essai de Proctor (NF P 94-093)	38
•	<i>Essai Proctor Normal (NF P 94-093) :</i>	39
•	<i>Essai Proctor Modifié (NF P 98-231-1) :</i>	39
II.3.7	Essais Mécaniques	39
II.3.7.1	<i>Résistance à la compression simple (NF P 98-232-1)</i>	39
II.3.7.2	<i>Résistance à la Flexion par trois points (N T 54-606)</i>	40
II.4	Résultats des essais de caractérisation	41
II.4.1	Argile	41
II.4.1.1	<i>Analyse chimique :</i>	41
II.4.1.2	<i>Masse volumique :</i>	42
II.4.1.3	<i>Analyse granulométrique :</i>	42
II.4.1.4	<i>Limites d'Atterberg</i>	43
II.4.1.5	<i>Bleu méthylène</i>	44
II.4.1.6	<i>Essai de Proctor</i>	44
II.4.2	Sable de dune	45
II.4.2.1	<i>Analyse chimique</i>	45
II.4.2.2	<i>Masse volumique :</i>	46
II.4.2.3	<i>Analyse granulométrique</i>	46
II.4.2.4	<i>L'équivalent de sable</i>	47
II.4.2.5	<i>Bleu méthylène :</i>	47
II.4.2.6	<i>Essai de Proctor :</i>	47
II.4.3	La chaux.....	48
II.4.3.1	<i>Analyse chimique</i>	48
II.4.4	Fibre Halfa	48
II.4.1.1	<i>Analyse chimique :</i>	48
II.4.1.2	<i>Balayage au microscope électronique (MEB):</i>	49
II.5	Modes opératoire	49
II.6	Essais Mécaniques	50
II.6.1	Compression simple	50
II.6.2	Retrait.....	52
II.6.3	Flexion par trois points	53

II.7	Conclusion.....	54
------	-----------------	----

Chapitre III Résultats et interprétations

III.1	Introduction.....	55
III.2	Programme expérimental	55
III.2.1	Les essais en compression simple	55
III.2.2	Les essais en flexion par trois points.....	56
III.2.3	Traitement du mélange optimum « M ».....	57
III.3	Renforcement des mélanges par les fibres.....	62
III.3.1	Essais de compression simple :	62
III.3.1.1	<i>Fibres 2 cm</i> :	62
III.3.1.2	<i>Fibres 4 cm</i> :	66
III.3.2	Essais de flexion par trois points	70
III.3.2.1	<i>Fibres 2 cm</i> :	70
III.3.2.2	<i>Fibres 4 cm</i> :	73
III.4	Stabilisation.....	77
III.4.1	Essai de compression simple	77
III.4.2	Essai de flexion par trois points	78
III.5	Conclusion	79
	Conclusion générale.....	81

Introduction générale

La terre est une matière naturelle, largement disponible, cette dernière décennie la recherche scientifique se penche sur la transformation en matériau de construction qui requiert peu de dépenses énergétiques. Ses grandes qualités plastiques, écologiques et esthétiques ont permis à nos ancêtres de l'utiliser en abondance pour édifier leurs demeures, et ce en parfait accord avec leur environnement.

Aussi, l'idée de les améliorer n'est-elle pas nouvelle. La muraille de Chine et certaines voies romaines ont été réalisées à l'aide de terre "traitée". Il en est de même dans le domaine du bâtiment avec par exemple "la tour de Babel" qui, selon les archéologues, aurait été bâtie en terre stabilisée au bitume.

Dans beaucoup de pays d'Amérique Latine, d'Asie ou d'Afrique elle n'a jamais cessé que la terre est un matériau de construction privilégié.

Déjà, en Inde et en Amérique latine dans les années 50, les bétons de terre comprimée voient leur première utilisation. Par la suite, de nombreuses études relatives à leurs comportements mécaniques (résistance en traction, compression) et physiques (érosion, capillarité, etc.) se sont rapidement multipliées. On est arrivé à un consensus partiel sur des procédures d'essais relatifs aux blocs de terre comprimée pour murs et cloisons par exemple.

En Algérie, l'utilisation de la terre est une tradition très ancienne. Elle était employée non seulement dans les campagnes mais également dans les villes. Actuellement, malgré la tendance à utiliser le béton de ciment, plus de 50% des habitations du Sahara algérien sont encore en "toub" (LNTPB 1973). Presque toutes les constructions dites traditionnelles sont réalisées avec la terre associée à d'autres matériaux d'appoint, tels que les ajouts végétaux (paille et autres) ou minéraux.

Nous avons ainsi hérité un riche patrimoine bâti qui marque le paysage de nos régions et le cœur de beaucoup de villes historiques.

Ces quelques exemples nous montrent que l'utilisation des sols recouvre des domaines aussi différents en apparence que les routes et le bâtiment, mais on découvre aussi que le traitement des sols est une technique ancienne.

Les matériaux de constructions subissent des efforts et réagissent aux efforts simples de compression ou de traction. Ils subissent en tout premier lieu les effets de leur propre poids puis des charges qu'ils supportent. Ils réagissent dans la mesure où le sol offre une force de réaction qui les empêche de s'enfoncer. Le poids tend à écraser les matériaux, à les compresser. La qualité première d'un matériau de construction est donc de résister à cette pression sans se déformer.

Afin de nous assurer que les briques en terre comprimées stabilisées (BTCS), dont nous avons déterminé les propriétés mécaniques, sont bien adaptées à la construction, nous avons réalisé des essais en compression simple et en traction par flexion. En effet, à défaut d'améliorer les propriétés physiques ou mécaniques des BTCS, il faudrait s'assurer que l'introduction de la chaux dans les matériaux n'entraîne pas une baisse de leurs propriétés mécaniques au-dessous d'une valeur critique. D'autre part, il convient de s'assurer que les éléments incorporés dans les briques en terre comprimée ne présentent pas de risques pour l'environnement. En effet, les considérations environnementales sont actuellement très débattues et connaissent une constante évolution. Ces essais consistent à mesurer à l'aide d'une presse la résistance à la compression simple et à la traction par fendage, à une échéance de 28 jours, d'une brique en terre.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer expérimentalement le comportement mécanique des mélanges de sable de dune-argile, et rechercher, ce faisant, le mélange optimal satisfaisant en termes de résistance renforcé par des fibres végétales à la compression pour la construction en terre comprimé stabilisé dans les régions sud de l'Algérie.

.

Ce travail est organisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre est constitué d'une synthèse bibliographique, où on mentionne les critères d'appréciation d'un matériau approprié. En plus un historique qui donne une vue sur les techniques de mise en œuvre de la terre comme matériaux de construction.

- Le deuxième chapitre consiste à exposer les méthodes et les techniques expérimentales et les résultats des essais de caractérisation utilisés dans ce projet à savoir : les essais d'identification : (la masse volumique, analyse granulométrique, équivalent de sable, essai Proctor, limite d'Atterberg et l'essai de bleu) et les essais mécaniques : (résistance à la compression simple, résistance à la traction par flexion).
- Dans le troisième chapitre, on présente en premier lieu, les résultats des essais mécaniques des différents mélanges et à différents pourcentages des matériaux de base utilisés, argile et sable de dune. En second lieu, on présente les résultats des essais mécaniques des différents mélanges renforcés par différents longueurs et différents pourcentages de fibres. En dernière partie, on présente la procédure de stabilisation par les liants hydrauliques à différents pourcentages du mélange optimal obtenu à partir des essais mécaniques.

On termine ce travail par des conclusions générales qui résument les principaux résultats obtenus. .

I.1 Introduction

Le vingt-unième siècle à vue une croissance démographique poussant le gouvernement vert une importante croissance de construction de logements, oblige actuellement les pays en voie de développement de diriger des recherches orienter vers la revalorisation des matériaux locaux. Construire localement avec le matériau terre pourrait être une réponse aux besoins de construction ; la population mondiale favorise le développement local en mettant en valeur la culture et les savoirs faire locaux tout en étant créateur d'emplois et de richesses. Une voie à reconsidérer sérieusement à travers le patrimoine mondial des traditions de la construction en terre, on compte de nombreuses techniques de construction avec une infinité de variantes adaptées à la qualité de la terre et au degré d'élaboration du savoir-faire, traduisant l'identité des lieux et des cultures [1].

I.2 Construction en terre

L'utilisation de la terre dans le secteur de la construction, dans un optique de Développement durable, implique l'analyse de la situation qui motive ce choix ; en prenant en considération les aspects écologiques, les aspects légaux et moraux, la viabilité culturelle et la durée temporelle des impacts positifs et négatifs résultant de ce choix.

I.2.1 Avantages

- La terre régule la température par inertie thermique.
 - La terre absorbe et restitue l'humidité.
 - La terre est un très bon isolant phonique.
- *Avantages- économiques*
- Elle ne consomme aucune énergie non renouvelable comme le pétrole et le gaz, que ce soit au traitement et à la fabrication d'origine des matériaux, ou dans l'application, contrairement à la fabrication du ciment, de la chaux et d'autres matériaux liants conventionnels.
 - La terre n'utilise que très peu d'eau, ressource essentielle pour la vie des populations.
 - La terre ne produit aucun déchet industriel ou chimique et a en plus l'avantage d'être presque entièrement recyclable.
 - Réduction des charges de l'état par une diminution des matériaux importés (ciment, acier et bois).

➤ *Avantages- écologiques*

- La terre utilise peu d'eau en phase de transformation.
- La terre est une ressource locale abondante et renouvelable.
- La terre a des vertus thérapeutiques, soigne les affections de la peau, détruit les bactéries et les acariens.
- La construction en terre crue n'utilise que 3% de l'énergie employée dans une construction en béton.

I.2.2 Inconvénients

- La main d'œuvre nécessaire à toute construction en terre est souvent importante : même une petite structure représente 15 tonnes de terre à travailler.
- Il faut aussi bien avoir conscience que le financement de ce type de maison n'est pas conventionnel, en effet il vous sera difficile d'obtenir un prêt hypothécaire pour ce genre d'habitation [2].

I.3 Historique de la construction en terre

« Depuis onze millénaires, l'humanité fait preuve d'une étonnante capacité à bâtir en terre crue, depuis les simples habitations jusqu'aux palais et aux villes entières. Aujourd'hui, dans des contextes et des territoires très variés, ce matériau de construction reste toujours le plus utilisé puisqu'un tiers de la population mondiale vit dans un habitat en pisé, briques d'adobe, torchis, bauge ou blocs comprimés, modestes ou monumentales, ces architectures sont présentes dans 190 pays, elles témoignent d'une qualité de vie au quotidien et d'innovations techniques qui mêlent étroitement savoir-faire et audace, art et virtuosité» [3].

I.3.1 Repères Chronologiques de la construction en terre au monde

- 11000 ans: Premières traces de la construction en terre en Amérique du sud.
- 10000 ans: En Syrie, construction en terre par empilement de pains de terre façonnée à la main.
- 8500 ans : Apparition de la brique de terre en Turquie.
- 8000 ans : Apparition de l'utilisation de la terre dans l'habitat en Europe occidentale
 - recouvrement de clayonnage.

- 5000 ans : Apparition des premières villes d'architecture de terre crue en Mésopotamie [4].



Photo I.1: Grande mosquée de mopti, ministère de la culture du mali, 2007. grande mosquée de mopti.ed. ¹[AKTC]

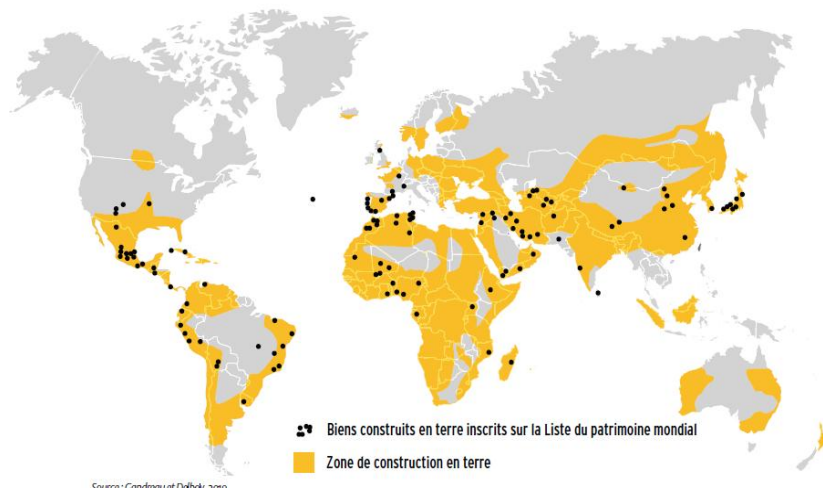


Fig. I.1: Les zones de construction en terre au monde [1]

I.3.2 Repères Chronologiques de la construction en terre en Algérie

Le ²[CNERIB] a lancé des recherches et études sur le BTS (Béton de Terre Stabilisée) et plusieurs projets tel que le montré le tableau I.1 [5]

¹[AKTC]: Aga Khan Trust for Culture.

²[CNERIB] Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment

Tableau. I. 1: Opérations des différentes réalisations en terre en ALGERIE [5]

Année	Opération de construction en terre
1969	Réalisation de 136 Logements en pisé au village agricole bouhilet à Batna
1971	Un groupe de maisons rurales à Zéralda en collaboration avec une équipe franco-belge
1973	30 des 300 logements du village Mustapha ben Brahim SidiBel Abbés
1975	Le village d'Abadla
1976	100 logts du village agricole Felliache Biskra
1980	120 logements village Madher Boussaâda
1981	40 logements à Chéragaprés d'Alger
1984	Un prototype bioclimatique construit à Tamanrasset
1984	Un prototype réalisé par CNERIB en terre comprimée
1986	10 logts à Adrar en Béton de Terre Stabilisée
1986	10 logts à Réggane en Béton de Terre Stabilisée
1994	24 logts à Tamanrasset –OPGI- en Béton de Terre Stabilisée
1994	44 logts à Tamanrasset EN Béton de Terre Stabilisée
1998	Un prototype en pisé réalisé au CNERIB

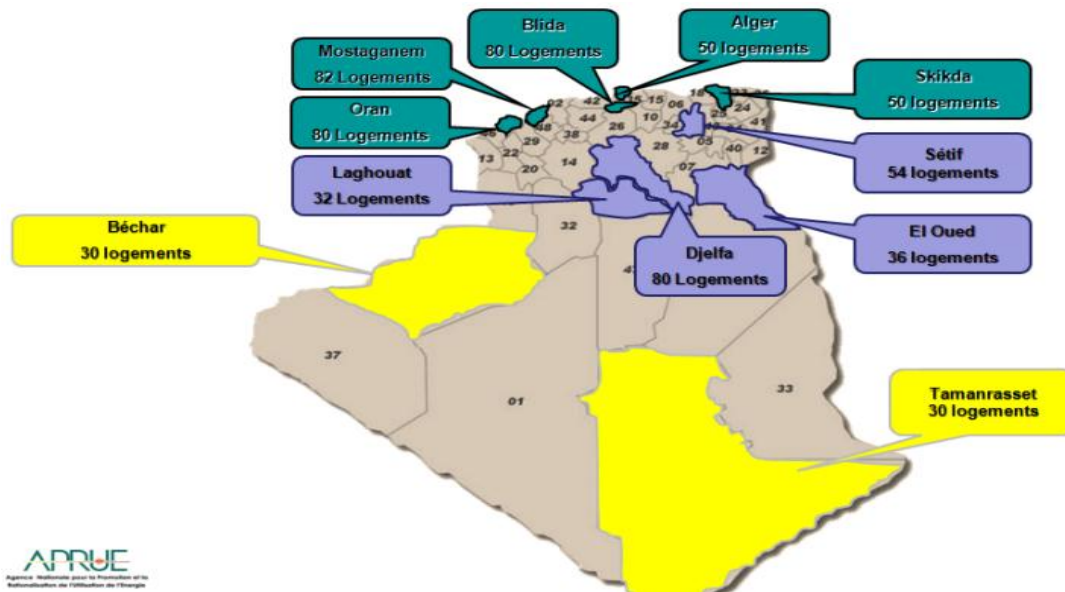


Fig. I.2: 600 Logements en BTC à travers l'Algérie [1]

I.4 Les types de constructions en terre

I.4.1 Le pisé

Le pisé est en fait le mode de construction en terre le plus pur et le plus direct. Il existe traditionnellement dans de nombreux pays tout autour du monde. En France c'est principalement en région Rhône-Alpes que l'on trouve un patrimoine en pisé.

Le pisé est un procédé d'après lequel on construit les maisons avec de la terre, sans la soutenir par aucune pièce de bois, et sans la mélanger de paille, ni de bourre.

Il consiste à battre, lit par lit, entre des planches, à l'épaisseur des murs ordinaires de moellons, de la terre préparée à cet effet. Ainsi battue, elle se lie, prend de la consistance, et forme une masse homogène qui peut être élevée à toutes les hauteurs données pour les habitations.



Photo I.2: Mosquée du méchouar, (Tlemcen) [2].



Photo I.3: Mur eden project, (angleterre)[2].

La terre à piser est généralement prélevée à proximité du chantier.

Elle est débarrassée de ses impuretés (matière végétale), légèrement hydratée puis malaxée. Ensuite on déverse de la terre ni trop sèche ni trop humide, dans un coffrage, en couches successives d'égale épaisseur de 15 à 20 cm maximum (Photo I.4); Ces couches de terre sont compactées, à l'aide d'un pilon (ou pisoir) et ramenées à moitié d'épaisseur, de 7 à 10 cm Photo I.4) [7].

Ces "lits" de terre forment une masse dure et homogène constituant à chaque décoffrage une portion de mur porteur monolithique.

Pour faire une pleine hauteur de «banchée», de 80 à 90 cm, il faut une bonne dizaine de couches de terre compactée.

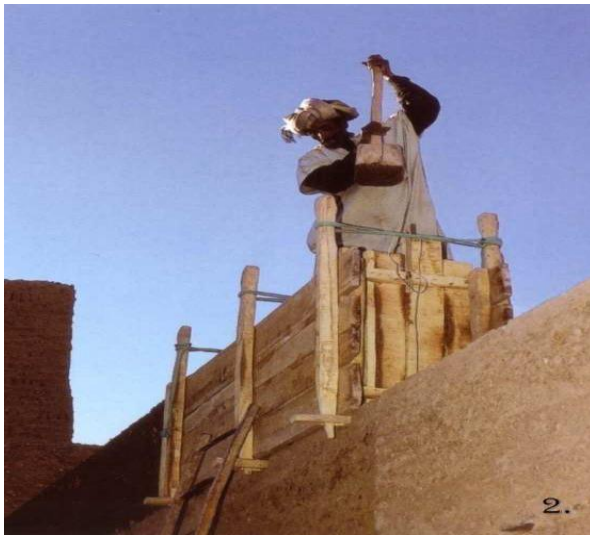


Photo I.4 : Construction en pisé au Maroc [1]



Photo I.5: Remplissage d'un mur en pisé au Maroc [1]

- *Avantages*
 - mur solide et autoporteur.
 - très bon isolant phonique.
- *Inconvénients :*
 - très sensible à la pluie, à l'humidité, et au mécanisme.
 - formation pratique indispensable pour les auto cons.
 - mauvais isolant pour les rebords de fenêtre.

I.4.2 Adobe

Les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme étaient des briques moulées en terre crue appelées « adobes », on est une technologie utilisée depuis des millénaires partout à travers le monde. L'adobe est un matériau de construction fait d'un mélange de sable, d'argile, une quantité de paille hachée ou d'autre fibre. de nature assez argileuse (jusqu'à 30% de fraction fine), mais très sableuse, ajoutée d'eau jusqu'à obtenir un état de pâte semi ferme (15 à 30% d'eau). Chaque élément du mélange joue son rôle. Le sable réduit la probabilité de microfissures dans le bloc de terre, l'argile agglutine les particules et la paille hachée, quant à lui, donne un certain grade de flexible. Ce mélange est par la suite déposé à la main dans un moule en bois de façon à fabriquer des petits éléments de maçonnerie, la dimension requise pour être démoulé et séché directement au sol (photo I.6). La brique d'adobe peut varier d'une dimension de 15×25×10 cm soit 30×60×10cm. (photos I.7, I.8)

La construction en adobe est très répandue dans le monde, de la Chine aux pays du Moyen – Orient, de l'Afrique, à l'Amérique latine, en France et Etats Unis d'Amérique.

La résistance à la compression selon ³[RDMC] est "2 à 5MPa" pour une masse volumique de 1200 -1700(Kg/m³) [7-9].



Photo I.6: Malaxage de mélange. [1]



Photo I.7: Coulage dans les moules. [1]



Photo I.8: Moule de l'adobe. [1]



Photo I.9 : Construction en Adobe

³[RDMC]: Réunion D'ingénieurs, Matériaux de Construction.

- *Avantages*
 - Recommandé et plus adapté pour des cloisons, murs intérieurs.
 - Accessible à tous.
- *Inconvénients*
 - la fabrication exige beaucoup de terre et de main d'œuvre.
 - Faible résistance à l'eau.
 - Consomme beaucoup d'eau.

I.4.3 Bauge (terre-paille)

La bauge est une technique qui offre beaucoup de libertés au constructeur car celui-ci n'est pas limité par l'emploi d'un coffrage, comme pour le pisé, d'un colombage, comme pour la terre-paille ou d'un module parallélépipédique, comme pour les blocs ou les ballots. Avec la bauge, des murs courbes et sinueux ne sont plus le cauchemar du maçon.

Selon la littérature, la bauge est une technique qui supporte aisément les hivers froids et venteux des régions réputées pour leur climat humide [10].

La technique de la bauge n'a pas fait l'objet de beaucoup d'attentions dans les pays européens. Les réalisations contemporaines y sont excessivement rares. Il semblerait que le savoir-faire soit encore assez vivant au Yémen et un regain de faveur apparaît dans les pays anglo-saxons. Peut-être que ce sont les temps de séchage excessivement longs entre deux assises (jusqu'à deux semaines) qui refroidissent les ardeurs des passionnés de la construction en terre.



Photo I.10: Construction en bauge en 1982 à Cesson-Sévigné. [1]



Photo I.11: La bauge. [2]

- *Avantages*
 - qualité plastique du matériau.
 - pas besoin de coffrage (pisé), ni d'armature (torchis).
- *Inconvénients*
 - nécessite beaucoup de main d'œuvre.
 - installation des murs très longue.

I.4.4 Le torchis

C'est un mur composite de terre façonnée sur une ossature de bois construite à l'avance généralement en treillis. Cette technique porte également le nom de construction en pans de bois et en colombage, Il faut néanmoins noter que le remplissage n'est pas nécessairement réalisé en terre crue. Des briques cuites ou du ciment peuvent la remplacer. Seule l'ossature joue un rôle structurel. Le mélange en torchis ne détient pas de fonction porteuse.

Traditionnellement, l'architecture en torchis s'y illustre par un procédé plaquant la terre crue uniformément sur toute la surface du mur, y compris sur l'ossature en bois qui ne demeure plus visible (Photos I.12; I.13) [11].



Photo. I.12 Confection du torchis [12].



Photo. I.13 : Construction d'un mur [13].

- *Avantages*
 - plus solide que la terre crue seule.
 - séchage rapide.
 - financièrement plus économe que les autres types de terre crue.
- *Inconvénients:*
 - Faible résistance à l'eau.

I.4.5 Briques de terre comprimée (BTC)

Par rapport à l'histoire de la construction en terre, la technique de la brique de terre comprimée (BTC) est une technique récente. Elle a été développée dans les années 50, dans le cadre d'un programme de recherche sur l'habitat rural en Colombie.

Cette technique est une évolution moderne du brique de terre moulée, plus communément dénommé bloc d'adobe ; Au lieu qu'ils soient moulés à la main dans un cache en bois, les blocs sont obtenus par compression de la terre, légèrement humide dans une presse métallique. Comparé à la brique moulé à la main, le BTC est très régulier en formes et en dimensions, plus dense et présente une meilleure résistance à la compression et à l'eau [1].



Photo I.14 : Fabrication des briques de terre comprimée à l'aide d'une presse manuelle (Cinva Ram) [14]



Photo I.15 : Fabrication des briques de terre comprimée à l'aide d'une presse mécanique [15]



Photo I.16 : Presse manuelle

- *Avantages*
 - mur facile à mettre en œuvre.
 - qualités d'inertie thermique et d'assainissement.
- *Inconvénients*
 - fabrication des briques longue et fatigante.
 - fragilité : au moindre choc la brique se brise ou s'effrite.
 - se détériore sous l'effet du gel, (durabilité).

I.4.6 BTCS (brique de terre comprimée stabilisé)

C'est un matériau plus récent obtenu par un mélange d'une terre sableuse, non organique, et d'un stabilisant en faible quantité.

Le mélange étant comprimé après gâchage et malaxage.

La terre doit être sableuse et non organique (c'est à dire, elle ne doit pas contenir de résidus d'origine animale ou végétale).

Le stabilisant peut être:

- ✓ Soit le ciment;
- ✓ Soit la chaux;
- ✓ Soit la chaux + ciment.

La terre est retenue dans un moule où elle est comprimée entre deux plateaux qui se rapprochent lentement ; cette compression permet de réduire le volume des vides dans le bloc, diminue ainsi sa sensibilité à l'eau et augmente sa résistance.

La Résistance à la compression pour les BTC selon [RDMC] est < 2.4 MPa de masse volumique 1700 - 2200 (Kg/m³) [7].



Photo I.17: Le BTCS (Brique en Terre Comprimée et Stabilisée)

Tableau I.2 : caractéristique de brique de terre crue

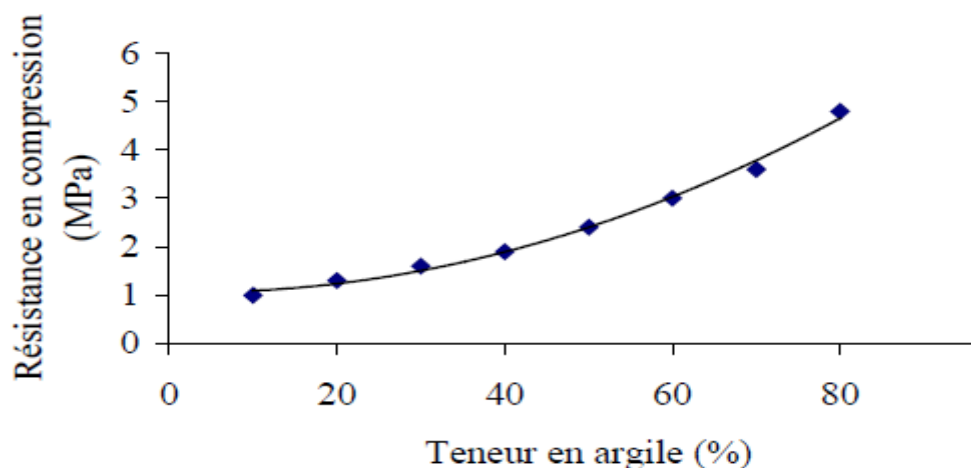
Caractéristiques	Type de brique de terre crue		
	Adobe	Pisé	BTC
Masse volumique (Kg/m ³)	1200 - 1700	1700-2200	1700 - 2200
Résistance à la compression (MPa)	2 – 5	< 2.4	< 2.4
Retrait au séchage (mm/cm)	1	1 – 2	0.2 - 1

I.5 Argile

I.5.1 Définition

L'argile est une roche sédimentaire, composée pour une large part de minéraux spécifiques, silicates en général d'aluminium plus ou moins hydratés, qui présentent une structure feuilletée qui explique leur plasticité, ou bien une structure fibreuse qui explique leurs qualités d'absorption, la taille des particules d'argile est inférieure à 0,002 mm (2 μ m). Les particules d'argile diffèrent de celles des autres fractions de la terre par leur constitution chimique et leurs propriétés physiques.

Physiquement, les argiles sont très souvent de forme plate et allongée, lamellaire. Leur surface spécifique est infiniment plus grande que celle des particules grossières de forme sphérique ou anguleuse, Les argiles sont notoirement sujettes au gonflement et au retrait [17]. D'après [18], la teneur en argile contribue à l'augmentation de la résistance en compression des blocs de terre.

**Fig. I.3** : Résistance en compression en fonction de la teneur en argile

I.5.2 Principaux types d'argiles :

Il existe plusieurs familles d'argiles qui rassemblent des dizaines d'espèces. Mais ceux sont trois grands types d'argiles dont la présence dans le sol est la plus fréquente est la kaolinite, l'illite et la montmorillonite.

I.6 Sable de dune :

I.6.1 Généralité :

Le sable est un produit de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie...etc. ce matériau se trouve en grande quantité dans les régions sahariennes.

Le sable de dune était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblais, de fondations et les travaux routiers. Mais l'utilisation de cette matière avec sa forme actuelle comme constituant principal de béton, n'apparaissait qu'après la naissance du béton de sable en 1853 par GOIGNET.F SABLOCRETE [19].

De nombreux chercheurs, dans des thématiques scientifiques diverses, cherchent à exploiter ce type de sable, propre et présent à l'abondance. Son utilisation pourrait être liée à sa très forte teneur en silice, matériau à la base d'applications dans l'électronique et l'optique par exemple, en génie civil, ce sable présente aussi un grand intérêt économique et environnemental [Photo I.18].

Le sable de dune est un matériau d'une grande disponibilité en Algérie. Ce matériau est pratiquement non exploité, malgré les éventuelles caractéristiques qu'il peut présenter.

L'utilisation de ce nouveau matériau dans le secteur la construction, peut soulager davantage le domaine d'habitat, et contribuer au développement des régions du sud algérien, très riches en sable de dune.

Il est caractérisé par une granulométrie fine et très serrée, le sable des dunes est le résultant d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz [20].



Photo I.18 : Sable de dune

Le sable de dune est utilisé dans fabrication du vert ainsi la réalisation des étanchéités sahariennes dans les milieux arides et semi-arides, il est souvent utilisé pour réaliser des toiles artistique.

I.6.2 Intérêt de sable de dune

L'intérêt d'utilisation de tels agrégats se situe à deux niveaux : technique et économique [21]

Les aspects économiques

Les aspects ont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dune permet une économie certaine dans le transport des matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantité inépuisable.

Par ailleurs, son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement.

Les aspects techniques

Le sable peut contribuer à la densification des matériaux. Ceci permet, par la même occasion, l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance.

Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité des matériaux de base.

I.7 Stabilisation

I.7.1 Définition

Le Centre des Nations Unies pour les établissements humains a défini la stabilisation d'un sol comme étant, la modification des propriétés d'un système terre-eau-air pour obtenir des propriétés permanentes compatibles avec une application particulière. [22], mais la stabilisation est un problème complexe car de très nombreux paramètres interviennent.

Il faut en effet connaître les propriétés des matériaux, les améliorations envisagées, l'économie du projet, les techniques de mise en œuvre de la terre sujet du projet et la maintenance du projet réalisé [23].

I.7.2 Objectifs

Les principaux objectifs de stabilisation des sols sont [24] :

- l'obtention de meilleures caractéristiques mécaniques de la terre (augmenter les résistances à la compression, à la traction et au cisaillement),
- la réduction de la porosité et les variations de volume (réduire le retrait et le gonflement à l'eau),
- l'amélioration de la résistance à l'érosion du vent et de la pluie (réduire l'abrasion de surface et la perméabilité à l'eau).

I.7.3 Procédés

On cite trois procédés de stabilisation [25].

I.7.3.1 Stabilisation Physique

C'est probablement le plus simple et certainement le plus ancestral de tous les procédés de stabilisation, il s'agit là du compactage au moyen duquel la terre humide foisonnée est convertie en un système dense ayant des caractéristiques de stabilité et de durabilité plus grande.

D'après CASAGRANDE [26], explique que la densité d'un matériau compacté dépend de l'eau qu'il contient et spécialement dans les sols à grains fins. L'eau ajoutée à ces derniers à l'état sec est adsorbée sous forme de film leur permettant de glisser les uns sur les autres et au fur et à mesure du compactage, il y a réarrangement des grains offrant au système un moindre volume des vides.

L'efficacité du compactage est fonction du type de sol, du mode de compactage et de la force de compactage, LAMBE. T [27] montre que la structure d'une argile compactée varie avec le mode de compactage et la teneur en eau de compactage.

Il existe pour un sol et pour un procédé de compactage donné, une teneur en eau optimale qui donne une porosité minimale.

Pour densifier la terre, l'homme s'est servi de ses pieds comme outil, il a par la suite utilisé des pilons en bois et en acier,... de nos jours les outils dépendent du procédé de fabrication.

1.7.3.2 Stabilisation physico-chimique

Cette technique a sans cesse progressé depuis que sont mieux connues les forces d'interaction entre les particules de sols et l'eau.

Le traitement du matériau terre par des produits chimiques sera subdivisé en deux parties : un traitement dans la masse ou une protection de surface par imprégnation sur la partie exposée.

➤ Traitement Dans La Masse

Il s'agit d'améliorer les propriétés physiques et physico- chimiques du sol en y introduisant dans sa masse une quantité minimale de stabilisant.

✓ **Chaux** : produit d'une technologie simple. En la mélangeant au sol humide, on introduit des ions Ca^{++} et OH

Un échange cationique se produit quand les ions calcium remplacent les cations du sol comme le magnésium, le sodium, le potassium et l'hydrogène. Des ponts se forment à court terme reliant entre elles les particules fines qui se trouvent ainsi agglomérées. Celles-ci sont peu sensibles à l'eau et possèdent une bonne résistance mécanique.

✓ **Ciment** : sa fabrication est universelle mais sa disponibilité dans certaines régions est irrégulière voire inexistante. L'hydratation, pour une quantité d'eau suffisante, fait apparaître un certain nombre de constituants hydratés qui offrent au mélange une résistance croissante en fonction du temps.

L'idéal serait d'avoir un matériau qui réponde aux exigences suivantes :

- La pénétration de l'eau liquide et son transport vers l'intérieur doivent être stoppés.
- Le mouvement et l'échange de la vapeur d'eau, à l'état gazeux ne doivent pas être diminués.
- L'échange thermique doit être faible.

1.7.3.3 Stabilisation physico-mécanique

Dans l'intérêt de conférer aux matériaux des performances mécaniques satisfaisantes lors de leur mise en œuvre, on cherche à obtenir la meilleure densité possible : c'est le but de la stabilisation mécanique.

Pour atteindre ce résultat, on agit sur la structure du matériau en modifiant l'arrangement des particules.

Ces modifications sont apportées essentiellement par le compactage qui permet de réduire la porosité ou l'indice des vides du sol en rapprochant ses éléments constitutifs. L'obtention de la compacité optimum nécessite un bon arrangement des grains et ne peut être réalisée qu'en présence d'eau ; trop sec, le matériau se met mal en place, trop humide, il devient à la limite incompactable ; L'eau joue le rôle de lubrifiant. Sa teneur est en relation avec l'énergie du compactage.

Ainsi le compactage est un moyen de stabilisation généralement associé à d'autres méthodes telles que la stabilisation physico-chimique.

Il est le plus souvent défini par trois caractéristiques : Le mode, l'énergie et la teneur en eau.

1.7.3.4 Modes de compactage :

Les modes de compactage sont nombreux, les plus importants peuvent être : Dynamique, statique, par vibration ou combinaison entre eux .On trouve dans le commerce plusieurs presses utilisant l'un ou l'autre de ces procédés [28-29] ont étudié ces différents modes sur les résistances d'une argile limoneuse et ont trouvé ce qui suit :

✓ Pour des teneurs en eau jusqu'à l'optimum, les trois modes principaux sont à peu près équivalents.

✓ Pour des teneurs supérieures à l'optimum, le compactage statique est le plus performant ; Bell FG [30] est arrivé aux mêmes conclusions ; Le compactage statique est le plus efficace pour toute teneur en eau pour une énergie inférieure (environ 1/3 de l'énergie due au compactage dynamique à l'optimum), ce compactage serait plus efficace pour une petite vitesse et un long temps d'application de la charge. Un inconvénient, qui semble cependant se greffer à ces trois modes de compactage lorsqu'un seul type est utilisé, est le gradient de densité.

Bell FG [30] propose un compactage par vibro-compression (avec une compression de 2 à 3 bars) pour la confection d'éprouvettes parfaitement homogènes. En compactage statique, ce gradient de densité s'observe sur une demi-hauteur de l'éprouvette [31], et sur toute la hauteur pour un

compactage à simple effet .Comme tous les matériaux, la résistance de sol-ciment est une fraction généralement croissante de la densité.

B. Melbouci [32] a étudié les différents modes de compactage sur les résistances d’une argile limoneuse et a dégagé les points suivants :

✓ La vibration et le pilonnage n’ont aucune influence sur l’amélioration de la densité sèche (figure 1.4) et (figure 1.5).

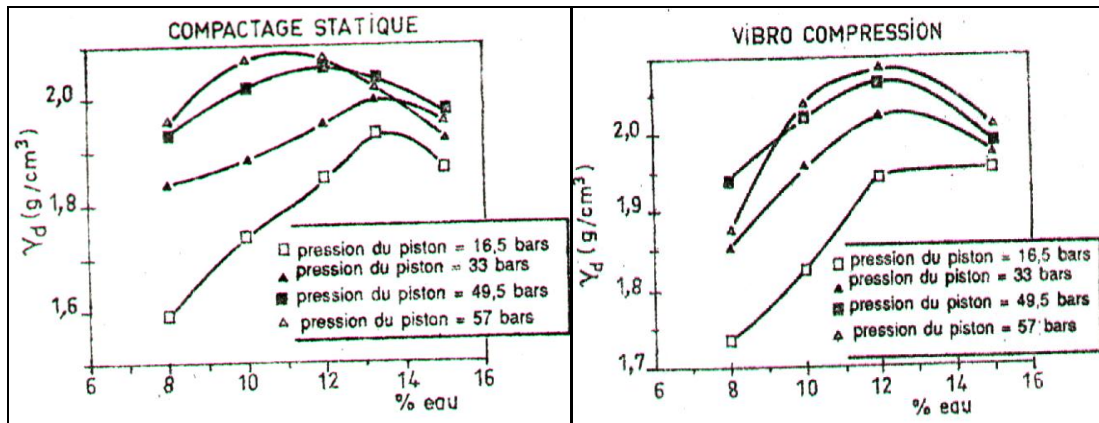


Fig. I.4 : Densité en fonction de la teneur en eau (compactage statique) [32]

Fig. I.5 : Densité en fonction de la teneur en eau (vibro –compression) [32]

1.7.3.4.1 Compactage statique

En effet le compactage statique est la meilleure solution de travail pour les matériaux ; La plus part des appareils de fabrication des matériaux sont par compactage statique qui réduit le cout de revient du matériau de construction et l’uniformité de distribution de charge de compactage.

L’étude menée montre que la meilleure méthode est le compactage statique.

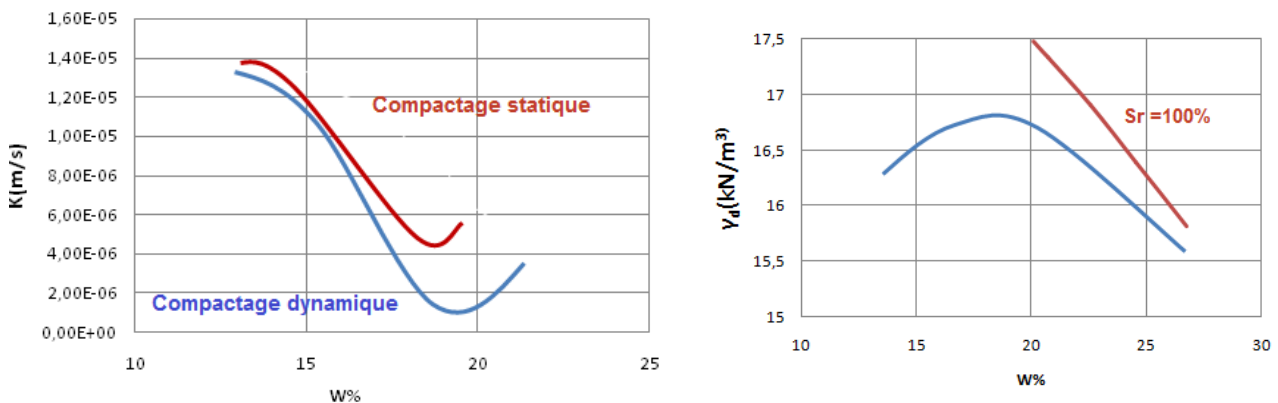


Fig. I.6 : Influence du mode de compactage d’une argile limoneuse sur la perméabilité. [33]

1.7.3.4.2 Energie de compactage et teneur en eau :

Pour tous les modes de compactage, la résistance des sols traités croît avec l'énergie de compactage pour toute teneur en eau. [34-35]

A chaque niveau d'énergie correspond en principe une teneur en eau optimale (densité sèche maximale). Nous allons exposer les résultats trouvés par les différents auteurs qui ont utilisé le compactage statique, mode utilisé dans notre recherche.

Winterkorn HF [25], ont étudié la variation de la résistance des éprouvettes à différents âges et à différentes teneurs en eau pour trois types de sol et trois niveaux de pression. Les résultats de cette étude font ressortir quelques points qui prêtent une attention particulière à savoir :

- ✓ Les résistances croissent en fonction de la pression de confection pour toute teneur en ciment ;
- ✓ Les accroissements de la résistance sont plus importants entre 20 et 100 bars qu'entre 100 et 160 bars pour des teneurs en ciment élevées, l'effet inverse pour des faibles teneurs ;
- ✓ Les résistances initiales (à 7 jours) se valent pour une pression de compactage qui varie de 100 à 160 bars mais diffèrent à long terme de 20% et en raison de l'hydratation de ciment ;

Sicali [36] a étudié la variation de la résistance en fonction du compactage pour deux sols traités à la chaux et a montré que la résistance croît avec la pression mais l'hydratation de la chaux n'a pas d'effet.

V.V Askalanov [37] a montré que le sol étudié, la relation résistance – pression de compactage est quasiment linéaire ; Pour le matériau traité de 2 à 4 % de ciment, l'accroissement s'atténue fortement dès qu'on dépasse un certain seuil de compactage (60 bars) .Pour le matériau brut contenant 17% d'argiles et 50% de sable avec une grosseur maximale de grains de 5mm, il en résulte ce qui suit :

- ✓ Un compactage statique de l'ordre de 20 bars correspond quasiment au Proctor normal mais le Proctor modifié n'est pas atteint même avec une pression de compactage de 100 bars ;
- ✓ Un décalage de 1 à 2 % de la teneur en eau optimale est observé pour les pressions entre 20 et 100 bars pour le matériau brut traité à 4 % de ciment. Le même sol traité à la chaux éteinte donne des densités sèches décroissantes en fonction de la teneur en eau, mais des résistances croissantes pour les teneurs en eau optimales déterminées ;

Le même auteur [37] a proposé en 1986 un nouvel essai plus représentatif de l'action des presses à parpaings, appelé essai de compactage statique. Les courbes Proctor statiques sont construites de la même manière que les courbes usuelles, mais au lieu d'opérer à énergie constante, on opère à pression de fabrication constante.

Olivier. M a réalisé une brève étude sur le comportement de la densité sèche et la résistance à la compression selon le mode de compactage statique (compactage par vibro- compression) [38]. La vibro- compression est réalisée avec une pression de 3 bars et une vibration de 150Hz.

Les résultats obtenus ont montré que la teneur en eau de fabrication influe beaucoup moins sur la densité et sur la résistance à la compression.

Olivier, M il est montré pour les matériaux testés et surtout fins, qu'une variation de 2 à 3 points autour de l'optimum de compactage statique entraîne toujours une chute de la résistance à l'état sec de 30 à 50% [39].

Guetala A, Guenfoud M montré que l'essai de Proctor qui applique un compactage dynamique est mieux adapté aux sols pulvérulents et que le compactage statique est mieux adapté aux sols argileux et qu'avec la même teneur en eau initiale on obtient la même densité sèche [40].

D'après Mesbah. A une étude effectuée sur un matériau naturel assez argileux, ont voulu montrer que l'essai de compactage statique permettait d'obtenir sur un sol les mêmes caractéristiques que les presses à briques utilisées in-situ, c'est-à-dire qu'avec une même teneur en eau initiale on obtient la même densité sèche [41]. D'autre part ils ont trouvé qu'assez loin de la saturation ($S_r < 80\%$), il y avait une relation linéaire entre la contrainte de compactage et l'énergie dissipée en compactage.

Morel JC, Olivier M a précisé que pour les sols reconstitués, la teneur en eau optimale Proctor n'est pas la même pour les bétons de terre comprimée et les seuls commentaires faits par l'auteur sur les échantillons Proctor sont [42] :

- ✓ Leur densité décroît quand le pourcentage d'argile croît ;
- ✓ L'adjonction du ciment augmente leur résistance en compression ;

Walker, P a montré que le compactage statique, dynamique en laboratoire peut être effectué par un compactage Proctor, par table à choc ou encore par vibration sur table vibrante [43]. Dans ce cas plus l'énergie de compactage est élevée, moins on a besoin de l'eau pour obtenir des densités plus élevées pour les blocs stabilisés en ciment.

Il y a une certaine relation à considérer entre l'énergie de compactage disponible et la teneur en argile du matériau terre. Si l'on ne dispose que l'effort de la main ou du pied pour mouler ce matériau et si l'on ne dispose que des étrointes capillaires apportées au soleil pour le serrage, alors il faut que la terre soit assez fortement argileuse pour obtenir une cohésion suffisante. En revanche, avec une énergie de compactage, on peut utiliser des terres maigres peu argileuses pour la stabilité volumique.

Enfin et quel que soit le mode de compactage et son énergie, son effet demeure toujours le rapprochement des grains : Diminution des vides et réarrangement des grains avec une structure plus

serrée. Son action seule ne suffit pas, l'introduction d'un liant double quasiment la résistance du matériau.

I.8 Les fibres

I.8.1 Définition

Une fibre est une formation élémentaire, végétale ou animale artificielle, d'aspect filamenteux, se présentant généralement sous forme de faisceaux. On emploie également ce terme par extension pour désigner certains matériaux minéraux ou synthétique ayant le même aspect. Chacun des filaments qui, groupés en faisceaux, constituent certaines substances les fibres.

I.8.2 Types de fibres

Les fibres sont généralement d'origine naturelle ou artificielle (chimiques)

I.8.2.1 Fibres naturelles :

L'utilisation de fibres naturelles, et en particulier de fibres végétales comme renfort de matériaux composites, présente deux principaux avantages.

Tout d'abord, ces fibres sont largement disponibles à faible coût et leur utilisation en construction constitue de nouveaux débouchés pour les matières agricoles.

D'autre part, la valorisation des fibres végétales permet la réduction des impacts environnementaux par rapport à des composites conventionnels puisque ce sont des matières premières renouvelables, biodégradables, neutres vis-à-vis des émissions de CO₂ et demandant peu d'énergie pour être produites.

- *Fibres d'origine végétale (cellulosiques).*
- *Fibres d'origine animale (protéiques).*
- *Fibres d'origine minérale (silicatées).*

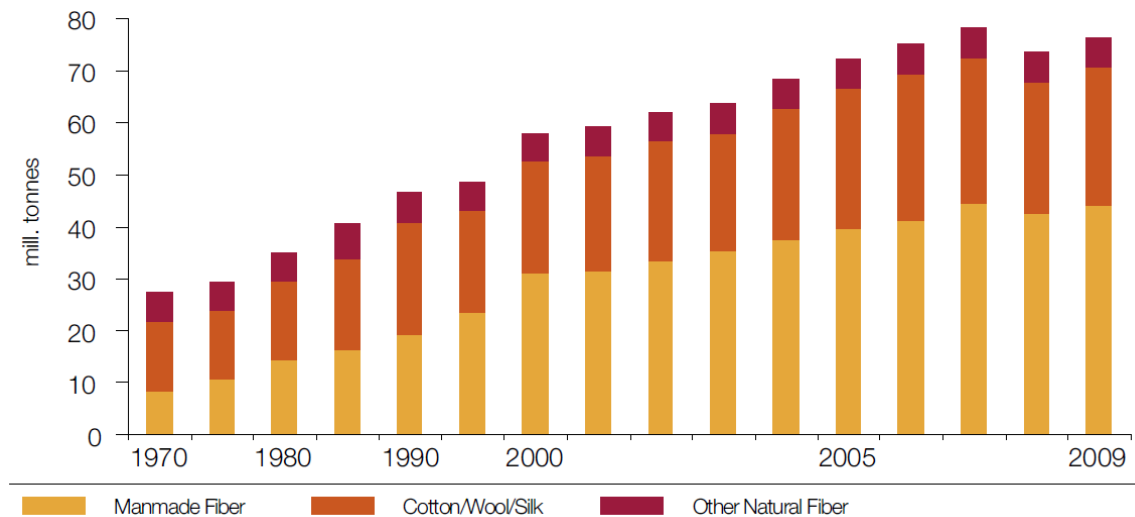


Fig. I.7 : Evolution de la répartition des utilisations mondiales de fibres (En milliers de tonnes). [44]

II.8.2.2 Fibres végétales :

Les fibres végétales sont subdivisées en 5 groupes selon leur origine (Fig. I.8).

Les fibres provenant des poils séminaux de graines (coton, kapok), les fibres libériennes extraites de liber de plantes (lin, chanvre, jute, ramie), les fibres extraites de feuilles (sisal, abaca), d'enveloppes de fruits (noix de coco) ou les fibres dures extraites des tiges de plantes.

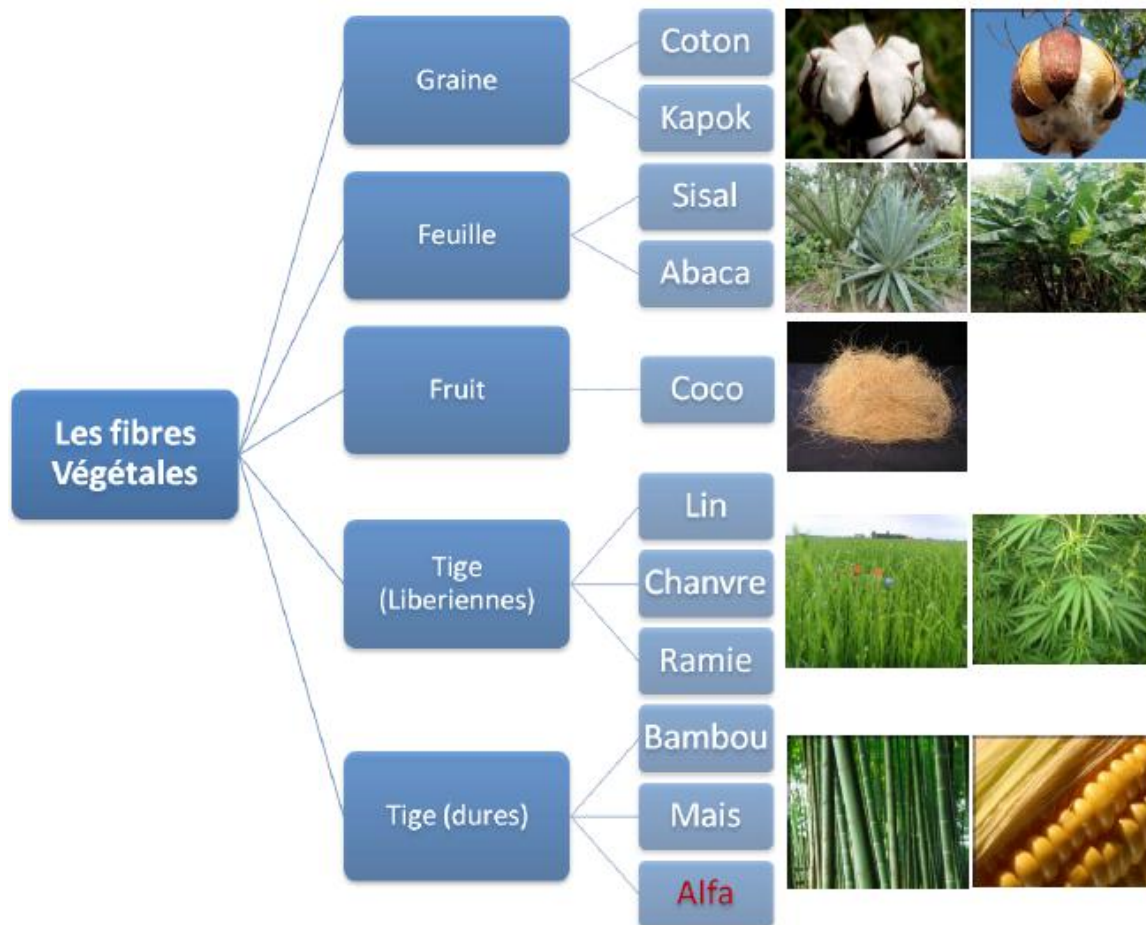


Fig. I.8: Classification des fibres végétales selon l'origine « Fibres et renforts végétaux Solutions composites » [45]

I.8.3 Effet de l'ajout de fibres sur les propriétés des sols

La stabilisation des sols a été effectuée depuis l'antiquité. Le principe de la stabilisation du sol est une action de la nature, on peut le voir à travers la présence des racines des plantes dans les sols. Les fibres qui forment ces racines pénètrent et s'orientent dans le sol de façon aléatoire. Ces fibres végétales améliorent la résistance du sol et la stabilité des pentes naturelles [46].

Par conséquent, le concept de stabilisation par des fibres a été reconnu il ya plus de 5000 ans. Par exemple, les civilisations anciennes mélangent la paille dans le matériau terre afin de créer des blocs de construction renforcés [47].

Il existe plusieurs exemples de renforcement du sol comme la Grande Muraille de Chine (premier exemple de terre renforcée en utilisant des branches d'arbres comme éléments résistant à la traction [48]).

D'après [49] dans l'histoire moderne de la stabilisation des sols, le concept et le principe du Renforcement des sols a été développé . Il a démontré que l'introduction d'éléments de renforcement dans le sol augmente sa résistance au cisaillement. Par conséquent, les efforts pour utiliser des matériaux fibreux ont été lancés , après de 4000 structures ont été construites dans plus de 37 pays à ce jour en utilisant le concept de renforcement du matériau terre [50]. Plusieurs recherches ont été effectuées sur la stabilisation des sols par des fibres naturelles ou synthétiques, on donne ci-après quelques détails sur deux types de fibres, le premier est naturel, il s'agit des fibres de palmier, et le deuxième est synthétique, c'est les fibres de polypropylènes.

I.8.4 Effet de la stabilisation par les fibres naturelles sur les propriétés des adobes

L'ajout ses fibres naturelles est un moyen de stabilisation couramment utilisé dans la fabrication des adobes et autres produits de terre, et ceci depuis des milliers d'années [37-52].

Le rôle des fibres est multiple, elles augmentent d'une part la résistance à la traction et par conséquent la souplesse du matériau. Une terre ordinaire, en effet, ne peut supporter que de faibles efforts de flexion, alors qu'un sol armé sera capable de subir des déformations importantes sans se fissurer. Cette élasticité empêche le mur de se craqueler au séchage, les fibres répartissent dans toute la masse du matériau les tensions provoquées par le retrait de l'argile. D'autre part, le volume qu'elles occupent dans le mur diminue sa densité et améliore ses qualités iso thermiques [53].

Les recherches actuelles réalisées sur l'adobe en utilisant plusieurs types de fibres végétales ont abouti à des résultats différents.

Ghavami.K, intéressé à l'étude d'un sol, sans fibres et stabilisé parfois avec des fibres de sisal et d'autres fois avec de fibres de coco[52]. Ils ont constaté que la rupture du sol non fibré est très rapide et presque sans avertissement. En revanche, dans le cas du sol avec fibres, ils ont remarqué qu'après que la charge de rupture a été atteinte, les échantillons se déforment encore. D'après les auteurs, ceci peut être due à la répartition des forces internes de la matrice du sol vers les fibres de renforcement (figure 1.11).

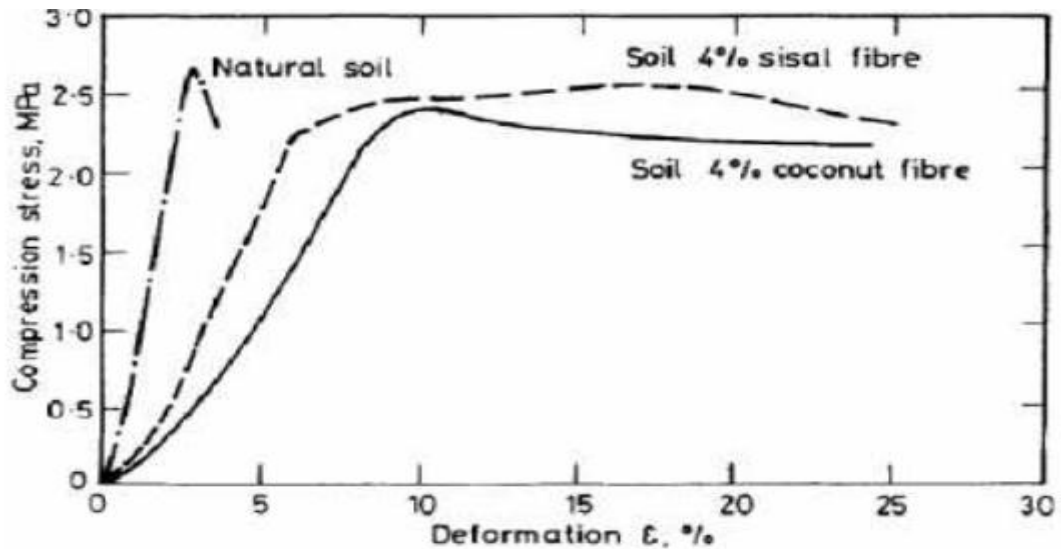


Fig. I.9 : Influence de 4% de fibres sur la relation contrainte-déformation du sol [52].

I.8.5 Effet des fibres sur les propriétés mécaniques

Des études apparues depuis plusieurs années sur le BTC ont montré que l'addition des fibres naturelles réduit la taille des fissures causées par le retrait et améliore la durabilité et la résistance à la traction [54].

Les auteurs ont justifié l'augmentation des propriétés mécaniques au non propagation de fissures, due à la présence des fibres dans la matrice d'argile.

D'après les auteurs, l'impact de ces fibres sur la résistance à la flexion est positif en raison de leur résistance à la traction élevée et de leur adhérence à la matrice d'argile.

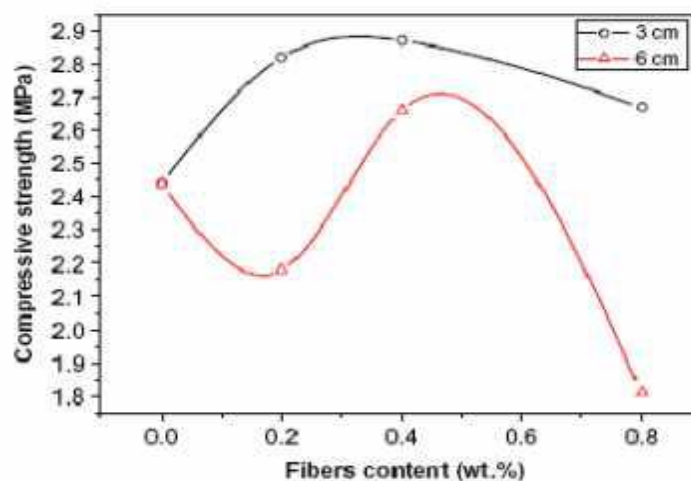


Fig. I.10 : Les courbes de la résistance à la compression en fonction de la teneur et la longueur des fibres. [55]

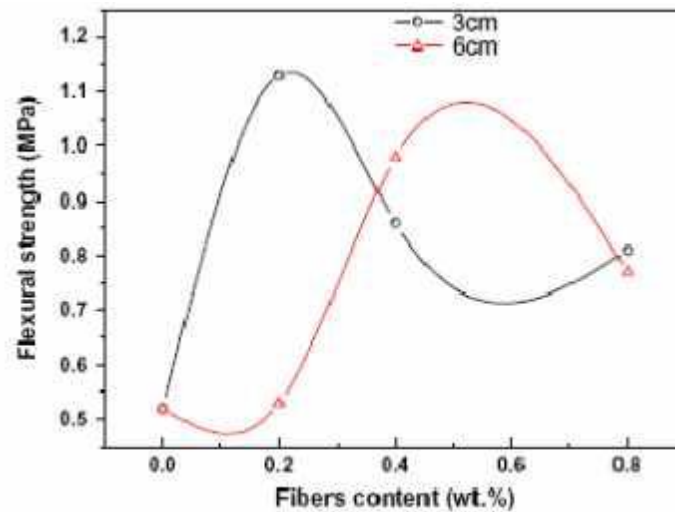


Fig. I.11 : Les courbes de la résistance à la flexion en fonction de la teneur en eau et la longueur des fibres [55].

I.9 Conclusion

Cette synthèse bibliographique nous a permis d'étudier tous les types de briques en terre existants dans le domaine de construction, et on a exposé brièvement une chronologie sur les actions menées en faveur des constructions en terre, les opérations des différentes réalisations en terre en Algérie, et dans le monde, les types de construction en terre et les techniques de mise en œuvre, ainsi que les différents modes de stabilisations.

II.1 Introduction

La construction en briques de terre comprimée est une technologie dont le but est l'utilisation des matériaux locaux, c'est à dire disponibles dans les alentours immédiats du site de construction. Le contexte même de la naissance des bétons de terre comprimée implique donc un spectre de terre à utiliser le plus large possible. Ainsi, les exigences résident uniquement au niveau des caractéristiques physiques, chimiques, physico-chimiques et mécaniques qui peuvent prédire la qualité des briques en fonction de leur destination.

Avant d'accéder au programme expérimental, il est nécessaire de définir et d'exposer les méthodes et les techniques expérimentales des essais utilisés dans ce projet.

La première étape est de faire une analyse chimique et minéralogique des matériaux utilisés dans cette investigation, suivis par des essais d'identification physiques et mécaniques des matériaux utilisés.

1. Analyse chimique (Argile, sable de dune, chaux et fibre)
2. Les essais de caractérisation physico-chimique seront comme suit :
 - Masse volumique
 - Analyse granulométrique
 - Equivalent de sable
 - Essai Proctor,
 - Limite d'Atterberg
 - Essai de bleu de méthylène
3. Les essais mécaniques sont comme suit :
 - résistance à la compression simple
 - résistance à la flexion par 3 points.

II.2 Localisation des matériaux utilisés

II.2.1 Argile

Cette argile provienne de la région de M'raigha; (prélevée de la carrière de SOFABRIL, une briqueterie de la région de Laghouat) distante de 6Km au Nord de la ville de Laghouat (figure. II.1).Elle se présente sous forme d'un sol de couleur Marron (Photo II.1).

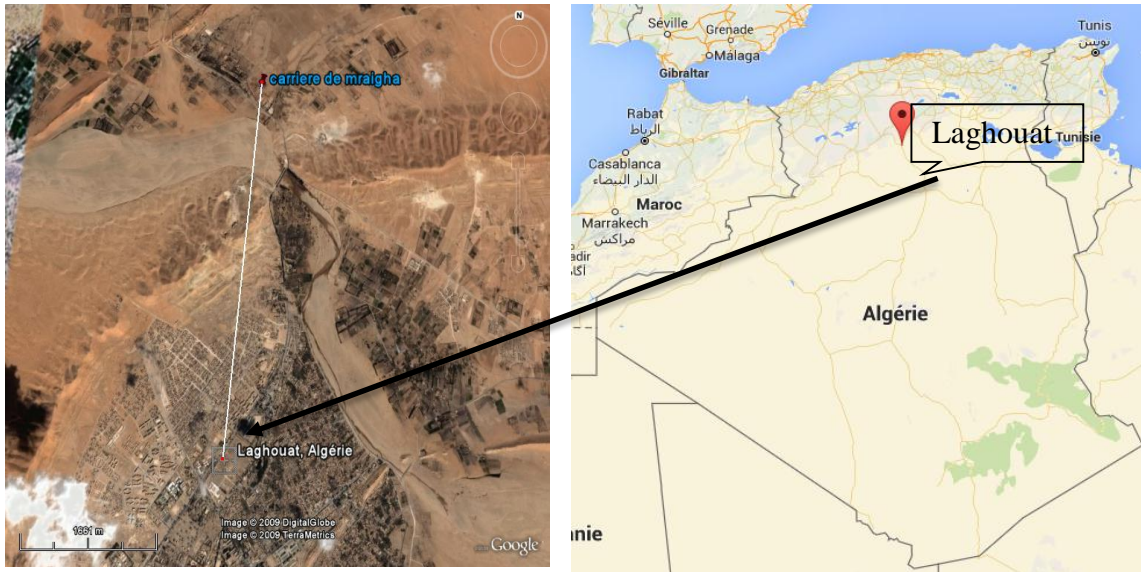


Fig. II.1 : Localisation des matériaux utilisés.



Photo II.1 : Echantillon l'argile

II.2.2 Sable de dune

La région de Laghouat est considérée comme une région saharienne située à 400 km au sud de la capitale (Figure II.1), La zone de provenance du sable de dune est située dans les environs de la ville de Laghouat (Oasis nord).



Photo II.2 : Echantillon de sable de dune

II.2.3 Fibre Alfa ou "Halfa"

Les fibres d'alfa sont extraites de tiges d'alfa brut (Photo II.3), par différents procédés telles que l'extraction mécanique ou chimique. Elles sont utilisées, à l'état brut pour la fabrication artisanale d'objets et à l'état extrait dans l'industrie papetière.



Photo II.3 : Fibre de halfa à l'état brute



Photo II.4 : Fibre de halfa cisailée

II.2.4 La chaux

La chaux utilisée dans notre étude est une chaux vive de la région de Ghardaïa (Figure II.1), la chaux dolomitique MgO CaO est un composé chimique couramment utilisé ; Il s'agit d'un solide blanc caustique alcalin, sous sa forme commerciale, la chaux dolomitique renferme souvent de petites quantités de dioxyde de silicium et de quantités d'oxydes d'aluminium et de fer à l'état de traces. (Photo II.5).



Photo II.5 : La Chaux de Ghardaïa

II.3 Techniques expérimentales

II.3.1 Masse volumique

La masse volumique, est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume.

Elle est généralement notée par la lettre grecque ρ (*rhô*). On utilise cette notation en fonction des habitudes du domaine de travail.

➤ Masse volumique apparente (NFISO 11272):

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse du matériau pris en tas exprimée généralement en gramme par centimètre cube (g/cm^3), elle est donnée par la formule suivante:

$$\rho_a = \frac{M_t}{V_t}$$

M_t = La masse totale d'échantillon

V_t = Le volume total d'échantillon

➤ Masse volumique absolue (NFP18-558):

Détermination de masse volumique absolue ρ_a d'un sable sec par la méthode de l'éprouvette graduée, cette dernière est basée sur la lecture du volume.

$$\rho_a = \frac{M_s}{V_2 - V_1}$$

M_s = La masse des grains solides

V_a = Le volume des grains solides

II.3.2 Analyse granulométrique (NF P94-056) et (NF P94-057)

L'essai a pour but de déterminer en poids, la distribution des particules des sols suivant leurs dimensions.

- **Mode opératoire:**

L'analyse granulométrique s'obtient par deux opérations successives et complémentaires :

- Le tamisage sous l'eau (par voie humide) pour les particules de dimensions $\geq 80\mu\text{m}$ (0.08mm), l'essai est effectué selon la norme **(NF P94-056)**.

- La sédimentométrie pour les particules de dimensions $< 80\mu\text{m}$ qui complète la première. Elle est effectuée selon la norme **(NF P94-057)**.

Le matériau est versé le plus souvent en plusieurs fois pour ne pas surcharger les tamis supérieures. Le tamisage à sec recommandé pour les sols sableux ou renfermant surtout des cailloux et des graviers.

Les résultats de cette analyse sont traduits par des courbes.

La courbe granulométrique nous renseigne sur son uniformité, on caractérise un sol par la granulométrie c'est-à-dire par le coefficient d'uniformité ou coefficient de Hazzen, qui est défini comme suit :

Cu : Coefficient d'uniformité dit de Hazzen
Cu=D60/D10 **D60** : Diamètre des particules à 60% passant
Cc =(D30)²/(D60.D10) **D10** : Diamètre des particules à 10% passant
Cc: Coefficient de courbure

- Si $(D_{60}/D_{10}) < 2$ le sol présente une granulométrie uniforme.
- Si $(D_{60}/D_{10}) > 2$ le sol présente une granulométrie variée.

II.3.3 Equivalent de sable (NF P 18-598)

- **Principe:**

L'essai utilisé pour évaluer la propreté des sables.

Les valeurs de l'équivalent de sable indiquent la nature du sable en fonction du moyen de 0.2mm des matériau à étudié mesure et permettent d'apprécier la qualité, (tableau. II.1)

Tableau. II.1 : Nature et qualité du sable selon E_{sv} ou E_{sp} [56]

E_s visuel	E_s au piston	Nature et qualité du sable
$ES < 65\%$	$ES < 60\%$	Sable argileux - Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
$65 \leq ES < 75$	$60 \leq ES < 70$	Sable légèrement argileux - de propreté admissible pour béton de qualité quand ou ne craint pas particulièrement de retrait
$75 \leq ES < 85$	$70 \leq ES < 80$	Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$85 \leq ES$	$80 \leq ES$	Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

II.3.4 Limite d'Atterberg (NF P 94-051)

Par définition, les limites d'Atterberg sont des teneurs en eaux pondérales caractéristiques du sol, elles correspondent à des comportements particuliers, sont déterminées sur la fraction du sol passant à travers des tamis de 400 μ m.

Ces limites séparent le passage du sol d'un état de consistance à un autre.

➤ Principe de détermination des limites de consistance

- **La limite de liquidité WL**

La limite de liquidité se détermine en utilisant l'appareil de casagrande. On étend sur une coupelle une couche d'argile dans laquelle on trace une rainure au moyen d'un instrument en forme de V. on imprime à la coupelle des chocs semblables en comptant le nombre de chocs nécessaires pour fermer la rainure sur 1 cm, on mesure alors la teneur en eau de la

pâte, bien entendu, tout l'appareillage est rigoureusement normalisé, W_L correspond à 25 coup. (Photo II.10).

- **La limite de plasticité W_p**

Pour déterminer la limite de plasticité, on roule l'échantillon en forme de fuseau qu'on amincit progressivement. La limite de plasticité est la teneur en eau du fuseau qui se brise en petits tronçons de 1 à 2 cm de long au moment où son diamètre atteint 3 cm. On exécute en général, deux essais pour déterminer cette limite.

- **Indice de plasticité I_p**

L'indice de plasticité I_p est la différence entre la limite de plasticité et la limite de liquidité, il mesure l'étendue du domaine de plasticité du sol. Il s'exprime donc par la relation :

$$I_p = W_L - W_p$$

La figure II.2 présente l'état de sol, la limite de plasticité et de liquidité en fonction de la teneur en eau :

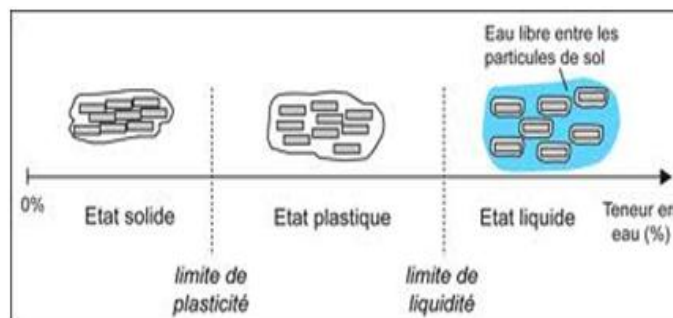


Fig. II.2 : Etat de teneur en eau

La classification des sols selon la limite de liquidité et l'indice de plasticité présenté sur le tableau. II.2 :

Tableau. II.2 : Classification de casagrande pour les sols fins [57]

	Limite de liquidité (W_L)	Indice de plasticité
Sable	$W_L < 35$	$I_p < 15$
Limon	$20 < W_L < 60$	$15 < I_p < 25$
Argile	$W_L \geq 60$	$I_p \geq 25$

La classification des sols en fonction de l'indice de plasticité présenté sur le tableau. II.3.

Tableau. II.3 : Classification des sols en fonction de l'indice de plasticité

Indice de plasticité	Caractéristique
$I_p \leq 12$	Faiblement argileux
$12 < I_p \leq 25$	Moyennement argileux
$25 < I_p \leq 40$	Argileux
$I_p > 40$	Très argileux

Pour déterminer l'état d'argile utilisée, portant les résultats obtenus sur le diagramme de Casagrande. (figure II.3).

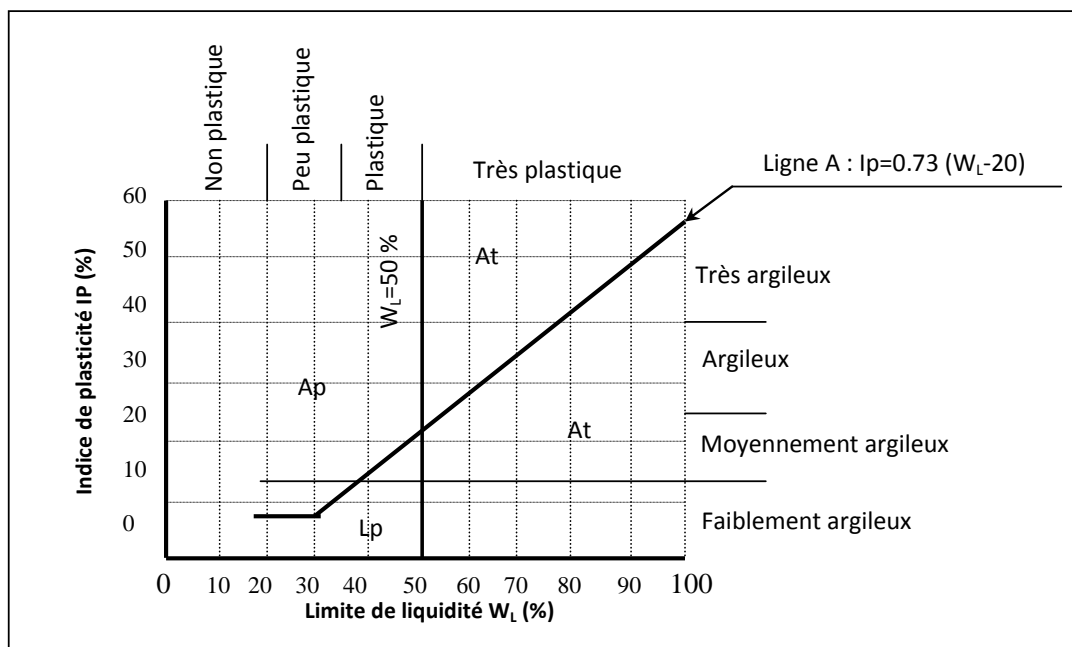


Fig. II.3 : Classification des sols fins sur le diagramme de casagrande. [58]

Avec :

At : argiles très plastiques.

Ap : argiles peu plastiques.

Lt : limons très plastiques.

Lp : limons peu plastiques.

II.3.5 Essais Bleu Méthylène (NF P 94-068)

- **Principe**

Consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée par le matériau mis en suspension dans l'eau.

La valeur de bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le sol ou le matériau.

- **But de l'essai**

Mesure la capacité d'adsorption d'un sol, déterminer l'argilosité d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol.

Pour calculer le volume de bleu du sol (VB) en appliquant la formule suivante:

$$\text{Valeur du bleu} = \frac{\text{Masse du bleu introduite}}{\text{Masse sèche}} \quad \text{VB} = \frac{\text{B}}{\text{Ms}}$$

Une relation entre la surface spécifique totale (Sst) et la valeur de bleu de la phase argileuse V_B (0/2 μm) a été mise en évidence par [59]: **Sst=21 V_B (0/2 μm)**

Le tableau II.4 présente la classification des argiles selon la surface spécifique Sst.

Tableau. II.4 : Classification des argiles selon la surface spécifique(S_{st}) [60].

Argile	S _{st} (m ² /g)
Montmorillonite	700 – 840
Illite	65 – 100
Kaolinite	10 – 20

II.3.6 Essai de Proctor (NF P 94-093)

- **Le but de l'essai**

Cet essai permet de déterminer les caractéristiques de compactage d'un matériau en évaluant la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale; Selon l'énergie de compactage appliquée à l'éprouvette on distingue l'essai Proctor normal et modifié, qui conduit à des valeurs de couple différente.

Cet essai s'applique sur la fraction granulaire des matériaux testés avec un D max <20 mm.

- **Principe**

Le principe de l'essai consiste à humidifier un matériau à différentes teneurs en eau et à le compacter, pour chacune des teneurs en eau, selon un procédé et une énergie conventionnels.

Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérées, on détermine la densité sèche du matériau et on trace la courbe des variations de cette densité en fonction de la teneur en eau.

D'une manière générale cette courbe, appelée courbe Proctor, présente une valeur maximale de la densité sèche du matériau $\gamma_d \text{ max}$ qui est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau W_{opt} . Ce sont ces deux valeurs qui sont appelées caractéristiques optimales de compactage Proctor normal ou modifié suivant l'essai réalisé.

Deux essais Proctor sont reconnus par décision n 2128 du directeur du L.C.P.C : « l'essai Proctor normale et l'essai Proctor modifié dont les caractéristiques sont données dans le tableau II.5 :

Tableau. II.5 : Caractéristiques du moule Proctor. [41]

	Proctor normal	Proctor modifié
Poids de la dame	2 490 g	4 535 g
Diamètre du mouton	51 mm	51 mm
Hauteur de chute	305 mm	407 mm
Nombres de couches	3	5
Nombre de coups par couche	25	25

- *Essai Proctor Normal (NF P 94-093)* : Résistance souhaitée relativement faible, du type remblai non ou peu chargé, (photo II.13).
- *Essai Proctor Modifié (NF P 98-231-1)* : Forte résistance souhaitée, du type chaussée autoroutière ;

Moule Proctor : $\varnothing = 101.5 \text{ mm}$, $H = 116.5 \text{ mm}$

Moule Proctor modifié : $\varnothing = 152 \text{ mm}$, $H = 152 \text{ mm}$

II.3.7 Essais Mécaniques

Pour suivre le phénomène de durcissement dans le temps. Ces essais consistent à soumettre les éprouvettes compactées à des efforts de compression simple et de flexion.

II.3.7.1 Résistance à la compression simple (NF P 98-232-1) :

La connaissance de cette dernière est de grande importance dans notre programme expérimental, Vu qu'elle nous permet de connaître l'aptitude du matériau à travailler dans les conditions de charges normales (en service), comme élément rentrant dans la construction des murs porteurs.

Pour l'essai de compression, les éprouvettes ont été soumises à un effort de compression dont la vitesse est 1mm/s appliqué parallèlement à l'axe du cube(10x10x10cm). (figure II.4).

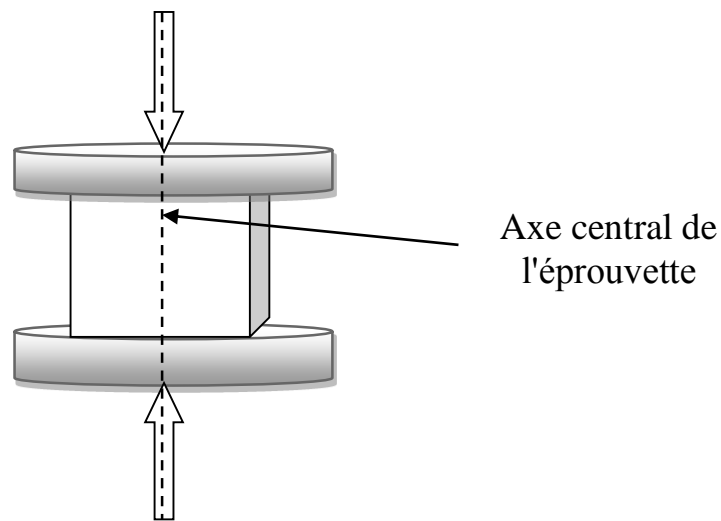


Fig. II.4 : Schéma du mode d'application de l'effort de compression

Les résultats pour chaque point sont les moyennes de trois valeurs.

II.3.7.2 Résistance à la Flexion par trois points (N T 54-606)

Sachant que notre matériau ne travaille pas seulement en compression simple mais elles peuvent être aussi soumises à des efforts de traction .

Concernant l'essai de flexion, il ya plusieurs modes de chargement permettant de soumettre une éprouvette à une contrainte de flexion (20x10x10cm),(figure II.5).

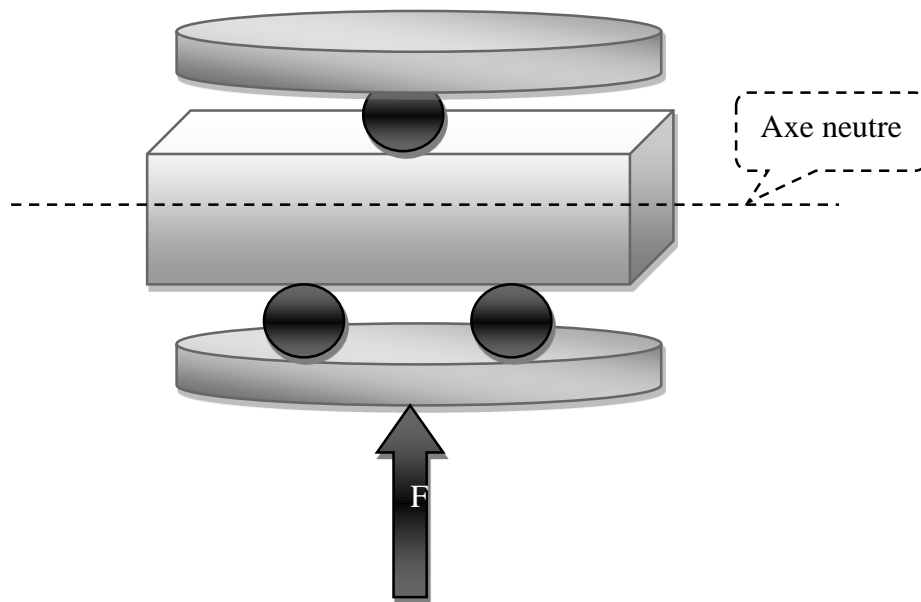


Fig. II.5 : Schéma du mode d'application de l'effort de Flexion trois points

II.4 Résultats des essais de caractérisation

II.4.1 Argile

II.4.1.1 Analyse chimique :

L'analyse chimique a été réalisée au niveau des laboratoires de la société la Farge installé à Msila. Tableau. II.6, Le tableau. II.7 regroupe les différents pourcentages des composants constituant notre argile.

Tableau. II.6 : Composition chimique de l'argile.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaCO ₃	MgO	So ₃	N ₂ O
46,12	13,86	6,03	7,56	3,38	0,12	3,58

Tableau. II.7 : Teneur en CaCO₃ de quelques sols. [61]

Pourcentage de CaCO ₃	Dénomination
0 à 10	Argile ou limon
10 à 30	Argile calcaire
30 à 70	Marne
70 à 90	Calcaire marneux
90 à 100	Calcaire

D'après le tableau. II.7 notre échantillon est classé comme une Argile ou limon.

II.4.1.2 Masse volumique :

- La masse volumique apparente :

Les résultats de cet essai sont présentés dans le tableau II.8.

Tableau. II.8 : Masse volumique apparente de l'argile

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
M_0 (g)	264	264	264
M_1 (g)	1674	1682	1680
V_1 (cm ³)	1000	1000	1000
γ_{app} (g/cm ³)	1.41	1.42	1.42
γ_{app} moyenne (g/cm ³)	1.415		
γ_{app} moyenne (kg/m ³)	1415		

- La masse volumique absolue :

Les résultats de cet essai sont présentés dans le tableau II.9.

Tableau. II.9 : Masse volumique absolue de l'argile

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
M_1 (g)	200	200	200
V_1 (cm ³)	300	400	350
V_2 (cm ³)	406	502	456
γ_{ab} (g/ cm ³)	1.89	1.96	1.92
γ_{ab} moyenne (g/ cm ³)	1.93		
γ_{ab} moyenne (kg/m ³)	1930		

II.4.1.3 Analyse granulométrique :

La figure II.6 présente la courbe granulométrique de l'argile [60].

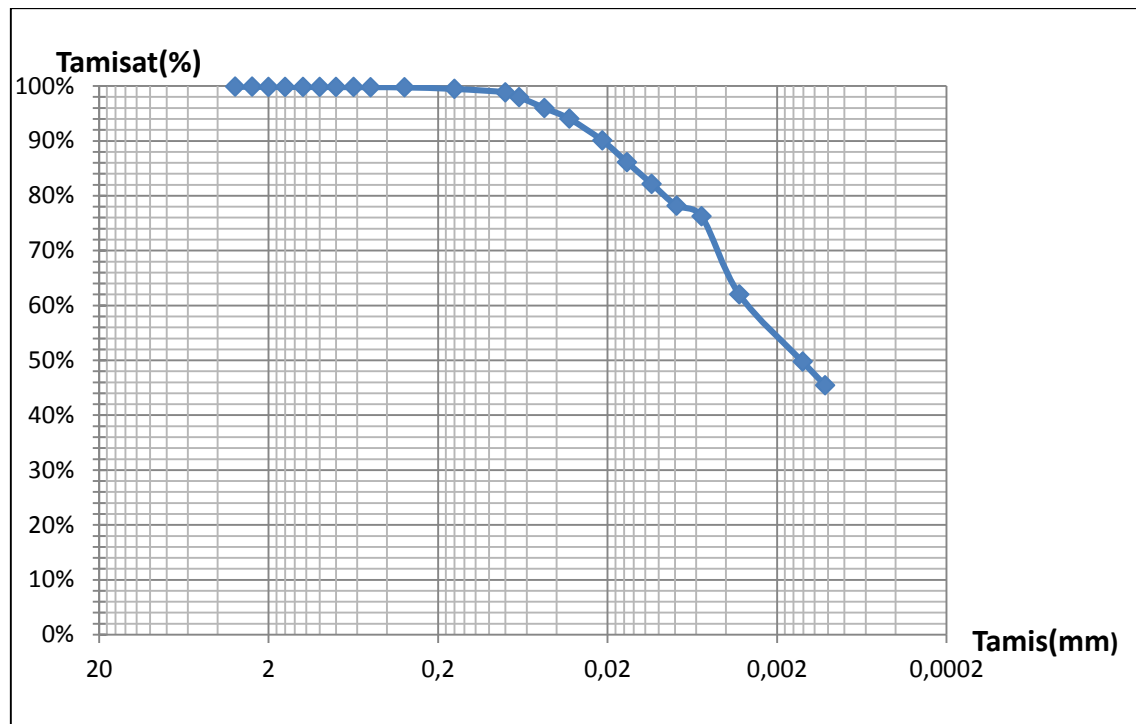


Fig. II.6 : Courbe granulométrique de l'argile

D'après l'annexe le tableau. IV.1, plus que 98% du passant sont inférieur à 0,08 Ø (80 µm) et 50% du passant sont inférieur à 0,001.

II.4.1.4 Limites d'Atterberg

Les résultants des limites d'argiles sont présentés dans le tableau II.10.

Tableau. II.10 : Limites d'Atterberg d'argile.

	W _L (%)	W _P (%)	I _P (%)
Argile	53	31	22

Pour déterminer l'état d'argile utilisée, portant les résultats obtenus sur le diagramme de Casagrande. (Figure II.7).

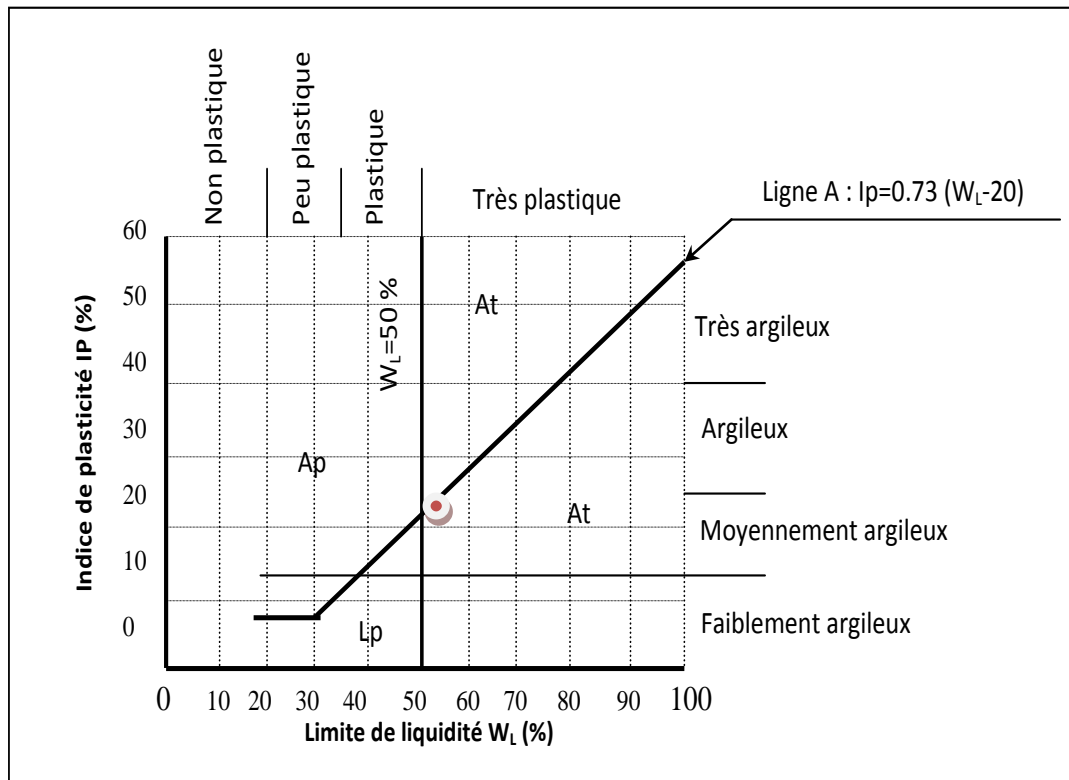


Fig. II.7 : Classification des sols fins sur le diagramme de casagrande [58].

D'après la figure II.7 notre argile est très plastique et moyennement argileuse.

II.4.1.5 Bleu méthylène

Tableau. II.11 : Résultats de l'essai au bleu de méthylène.

Sols	V_B	Sst (m^2/g)
Argile	5.8	122

D'après le tableau. II.11, l'argile étudiée est classée comme une Illite.

II.4.1.6 Essai de Proctor

La figure II.8 représente la courbe de Proctor Normal de l'argile.

Les résultats de l'essai Proctor Normal montre que l'argile une densité maximale $\gamma_{dmax}=1.55$ et une teneur en eau optimale $W_{opt}=24.4\%$.

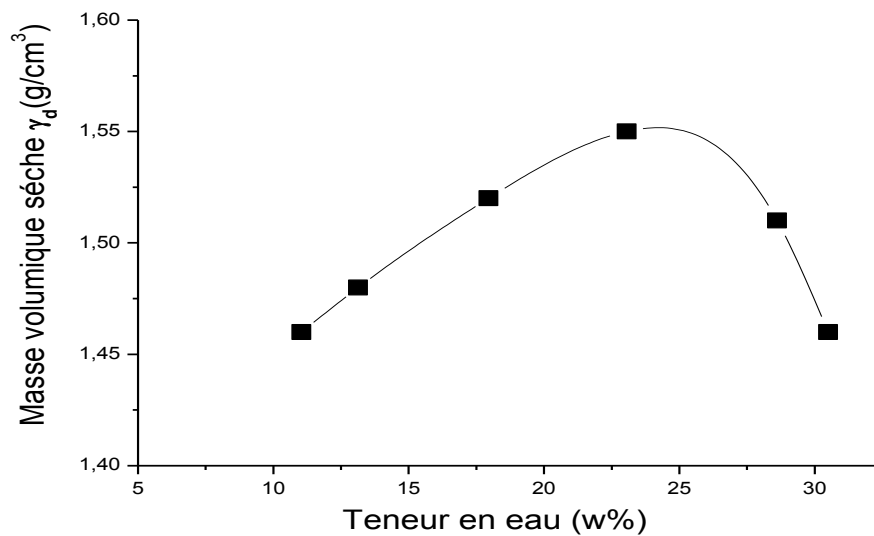


Fig. II.8 : Courbe Proctor d'argile utilisé.

II.4.2 Sable de dune

II.4.2.1 Analyse chimique :

L'analyse chimique du sable de dune a été effectuée par [LNHC]¹ de DJELFA, et qui a donné les résultats qui sont illustrés dans le tableau. II.12, [16].

Tableau II. 12 : Analyse chimique du sable de dune

	Symboles	Unité	Sable de dune
Silice	SiO_2	%	95.87
Sulfates	SO_3	%	0.91
Chlorures	Cl^-	%	0.36
Carbonate de Calcium	CaCO_3	%	2.5
Matières organiques	MO	%	-----

La constatation importante a signalée, est la présence d'un fort pourcentage en silice qui est supérieur à 95%, et par conséquent, le sable de dune de Laghouat est un sable siliceux.

[LNHC]¹Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction

II.4.2.2 Masse volumique :

➤ La masse volumique apparente :

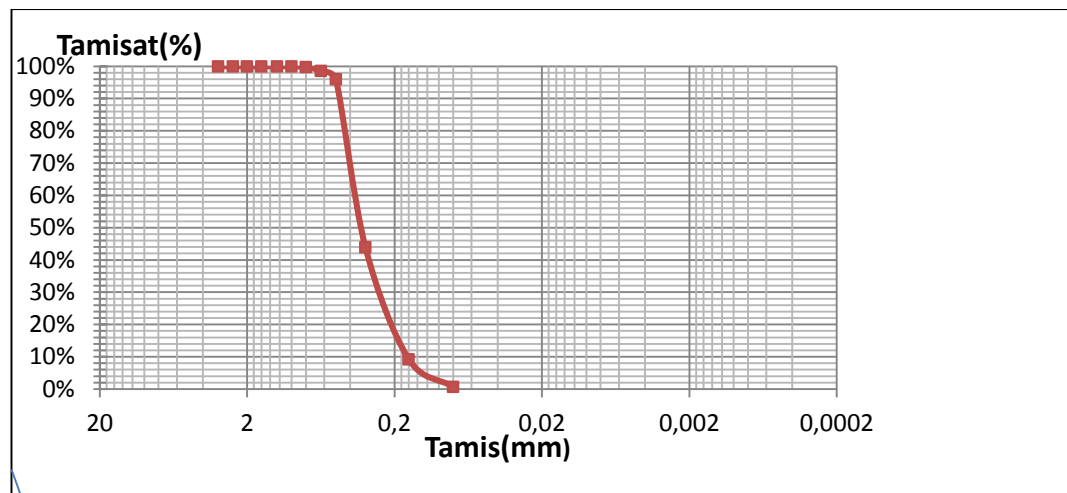
D'après Gueddouda. M. K la masse volumique apparente du sable de dune est 1428 kg/m^3 [16].

➤ La masse volumique absolue :

D'après Gueddouda. M. K la masse volumique absolue du sable de dune est 2596 kg/m^3 [16].

II.4.2.3 Analyse granulométrique

Pour le sable de dune ; La figure II.9 présente la courbe granulométrique :



II.4.2.4 Equivalent de sable

Les résultats de l'essai de l'équivalent de sable de dune sont résumés dans le tableau. II.14

Tableau. II.14 : Paramètres d'identifications de sable de dune par équivalent de sable

	Equivalent de sable	
Paramètres	ES _V	ES _P
sable	86.17	80.20

D'après le tableau. II.14, Le sable de dune se classe comme un sable très propre l'absence presque totale de fines.

II.4.2.5 Bleu méthylène :

Les résultats de cet essai sont inclus dans le tableau II.15.

Tableau. II.15 : Paramètres d'identifications de sable de dune VB

	Bleu de méthylène	
Paramètres	V _B	Sst (m2/g)
sable	0.067	1.4

D'après le tableau II.5 notre sable de dune est propre non argileux .

II.4.2.6 Essai de Proctor :

L'essai est réalisé selon la norme NF P 94-093. La figure II.10, présente la courbe Proctor Normal du sable de dune.

Le sable de dune présente une densité sèche maximale de l'ordre de 19,2 kN/ m³ correspondant à une teneur en eau optimale de l'ordre de 10 %. [16]

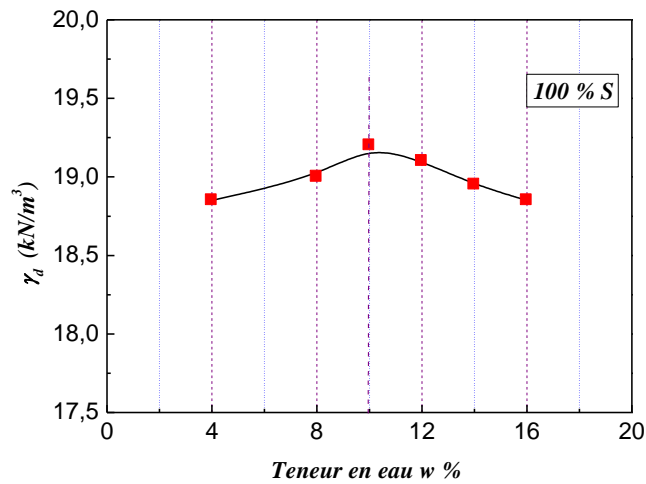


Fig. II.10: Courbe Proctor du sable de dune

II.4.3 La chaux

II.4.3.1 Analyse chimique

L'analyse chimique réalisée au laboratoire de l'unité de fabrication de la chaux de Ghardaïa (SARL B.C.B) a donné les résultats récapitulés dans le tableau. II.16

Tableau. II.16: La composition chimique de la chaux

CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
56% ± 2%	42% ± 2%	0.4% ± 0.1%	0.04% ± 0.01%	0.08% ± 0.01%

II.4.4 Fibre Halfa

II.4.4.1 Analyse chimique :

Tableau. II.17: Analyse chimique de Halfa

Fibre	Cellulose%	Hémicelluloses%	Lignine%	Pectine%	Cire%
Halfa	45	24	24	5	2

II.4.4.2 Balayage au microscope électronique (MEB):

Les photos du MEB à l'échelle 2 μm et à l'échelle 200 μm réalisées sur les fibres halfa montrent qu'elles ont une forme presque circulaire avec une cavité creuse à l'intérieur.

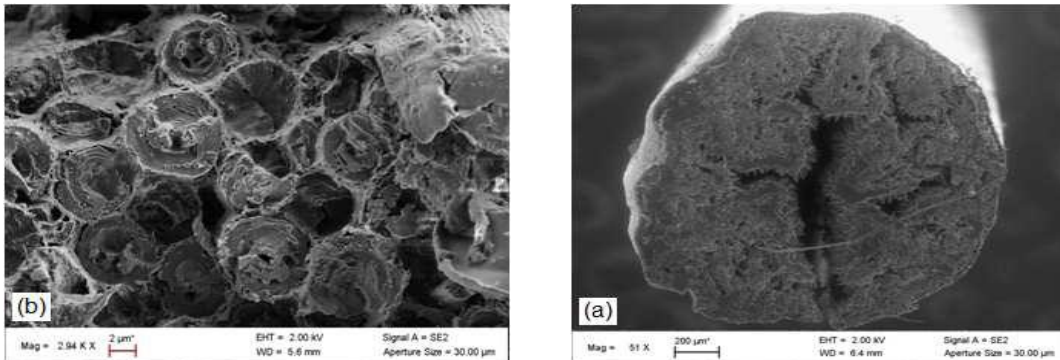


Photo II.6 : MEB des fibres halfa [62].

II.5 Modes opératoire :

✓ Préparation des matériaux :

- Broyage d'argile et tamiser par tamis (1.5mm).
- Séchage les matériaux (argile et sable de dune) par l'étuve à 105° pendant 24 heures.
- Extraction les fibres halfa de oued m'zi et cisailier par des morceaux de différent longueurs (2et 4cm).

✓ Préparation des moules :

Les moules utilisé dans ce travail sont :

1. moule cubique 10x10x10cm en bois (Photo II.7).
2. moule parallélépipède 10x10x20cm en bois (Photo II.10).

✓ Préparation des échantillons :

1. Peser la quantité d'Argile-sable nécessaire (par substitution) des différents pourcentages (Photo II.7).
2. Ajout massique de différents pourcentages de fibres (Photo II.7).
3. Ajout de la quantité d'eau (W_{opt} %) nécessaire obtenu par Proctor des déférents mélanges (Photo II.8).
4. Malaxage.
5. Remplissage des moules après graissage (par l'huile), et compactage par la presse (compactage statique) (Photo II.10).

6. Démoulage et repérage des échantillons.

Les encrassements menés sur les éprouvette cubique (compression simple) et parallélépipède(flexion par trois points) à différents âge 7,14et 28jours (Photo II.9) .



Photo II.7 : Mélange Argile-sable sec



Photo II.8 : Mélange Argile-sable humide



Photo II.9.a : Compression simple



Photo II.9.b : Flexion trois points

II.6 Essais Mécaniques

II.6.1 Compression simple :

Les essais sont réalisés sur des échantillons confectionnés avec un moule cubique 10x10x10 et compactés à une teneur en eau et densité sèche de l'essai Proctor Normal, Argile pure (A₁₀₀). Le mélange humide est soumis par la suite à un compactage statique (Photo II.16) et (Photo II.17).



Photo II. 10 : Moule utilisé dans le compactage 10x10x10 cm³

Le compactage est assuré à l'aide d'une presse hydraulique à une vitesse de 10mm/min
Photo II.10-11.



Photo II.11 : Presse hydraulique

Les résultats de l'argile pure A₁₀₀ sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau. II.18 : Valeurs de témoigne A₁₀₀

		7jours	14jours	28jours
A₁₀₀	Rc (MPA)	3.7	2.53	1.397

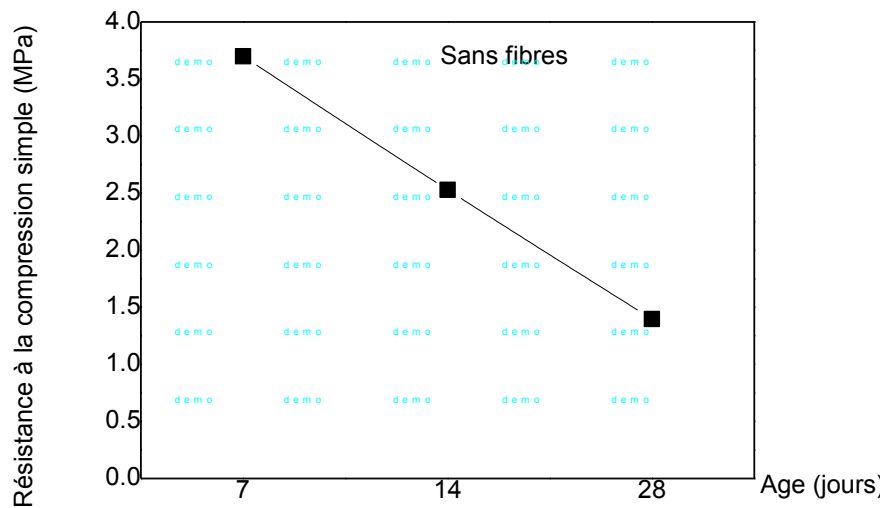


Fig. II.11 : Courbe de résistance à la compression simple A_{100}

D'après la figure II.11 on constate que la résistance décroît au fur et à mesure du temps due au phénomène de retrait.

II.6.2 Retrait

Le retrait a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse en fonction du temps jusqu'à 15 jours (Photo II.12).



Photo II.12: L'échantillon de retrait

Le retrait implique l'apparition de fissures, ces dernières influent sur la résistance. Le résultat du phénomène de retrait sera présenté dans la figure suivante :

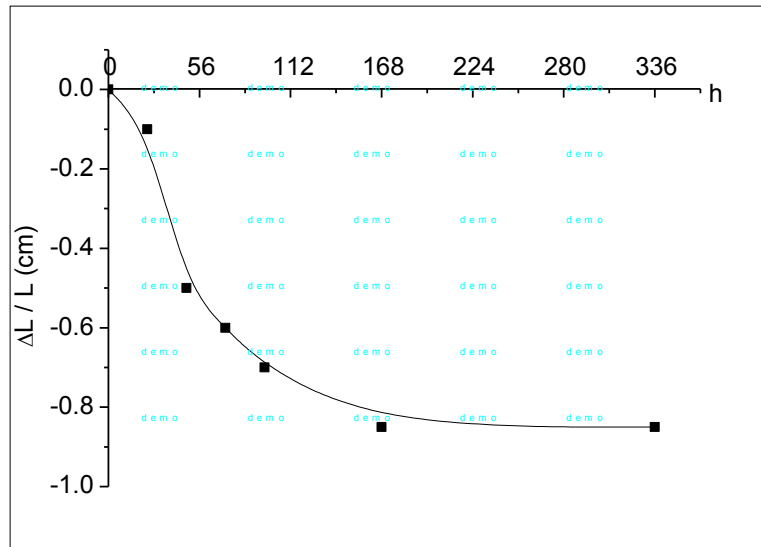


Fig. II.12 : Retrait d'argile pure

D'après la figure II.14 le retrait prend une forme décroissance jusqu' à 7 jours; à partir de cet âge le retrait se stabilise ; ce dernier atteint la valeur de 8.5 %.

II.6.3 Flexion par trois points

Les essais sont réalisés sur des échantillons confectionnés avec un moule parallélépipède $20 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$; Photo II.13, et compactés statiquement à une teneur en eau et densité sèche de l'essai Proctor Normal, Argile pure (A_{100}).

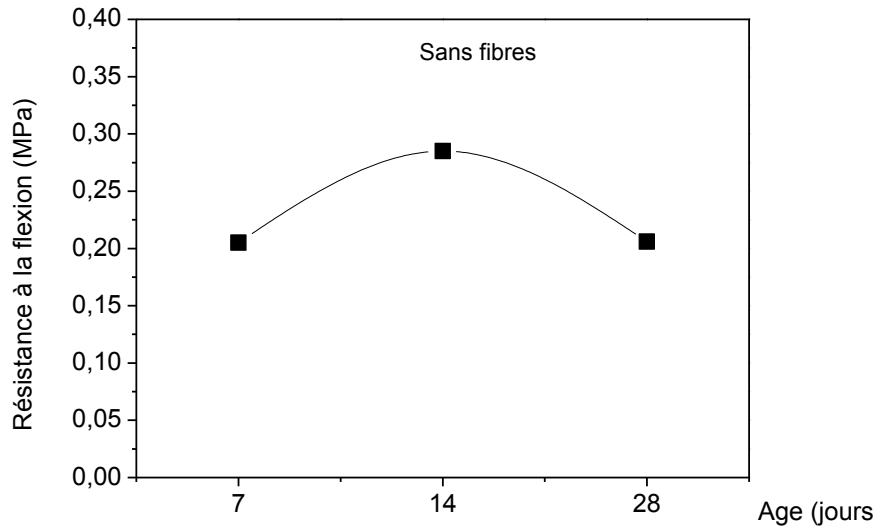


Photo II.13 : Moule de $20 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$

Les résultats de l'argile pur A_{100} sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau. II.19 : Valeurs de résistance à la flexion de A₁₀₀.

100% Argile	Rf (MPa)	7jours	14jours	28jours
		0.205	0.285	0.206

**Fig. II.13 :** Résultats de l'essai à la flexion par trois points A₁₀₀

D'après la figure II.15 et le tableau. II.18, on remarque que la résistance à la flexion prend une augmentation de 7 jours jusqu'à 14 jours ; au-delà la résistance diminue.

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, on a défini les méthodes expérimentales, les principes et les modes opératoires des essais d'identification physique et chimique et d'autre part, les essais mécaniques tels que la résistance à la compression simple et à la flexion par 3 points, et tous ces essais sont réalisés selon des normes normalisées.

L'argile utilisée de M'righa est une argile plastique à très plastique moyennement argileuse et qui a tendance d'être une Illite.

Pour le sable de dune, c'est un sable propre et qui présente une courbe granulométrique serrée et se classe parmi les sables propre mal graduée (SM).

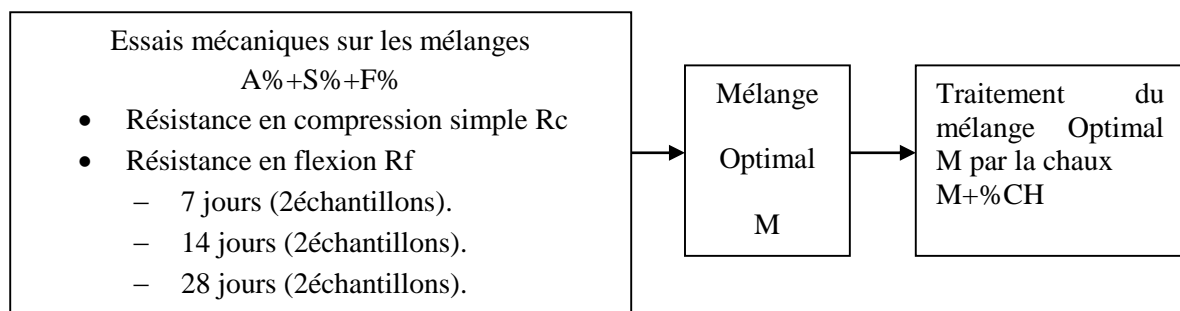
La résistance à la compression et à la flexion de l'argile à 28 jours sont de l'ordre de respectivement 1.4MPa et 0.2MPa ce qui nécessite un renforcement et un traitement de cette argile pour augmenter les résistances mécaniques afin de satisfaire la réglementation en vigueur, car la résistance à la compression des briques en terre cossue pour la construction des murs porteurs est comprise entre 2 et 5 MPa[5].

III.1 Introduction

Ce chapitre consiste à la confection des briques en terre à base d'argile et sable de dune à différents pourcentages renforcées par des fibres végétales « Halfa »; les essais ont été effectués sur des éprouvettes cubiques 10x10x10 (cm) en compression simple et sur des éprouvettes parallélépipèdes 10x10x20 (cm) en flexion par trois points.

III.2 Programme expérimental

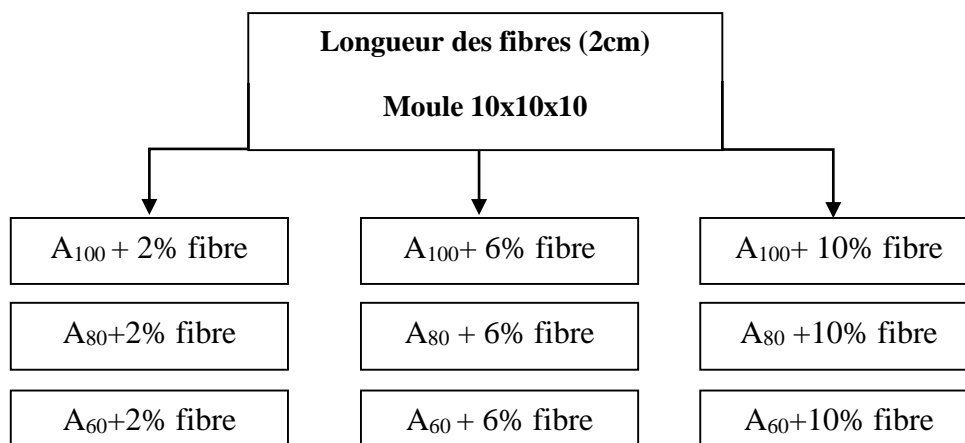
- La 1^{ère} étape, on présente les résultats des essais mécaniques des mélanges argiles – sable à différents pourcentages sans fibres.
- La 2^{ème} étape, consiste à présenter résultats des différents mélanges (A+S) renforcés par différents pourcentage de fibres (Halfa) et différentes longueurs.
- La 3^{ème} étape sera consacrée au traitement à différents pourcentages de liants hydrauliques (chaux) de l'optimum obtenu à partir des essais mécaniques dans l'étape 2.

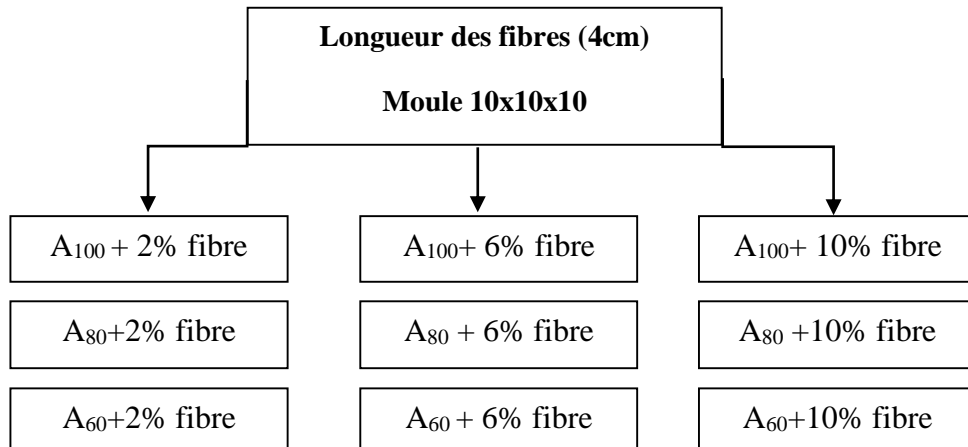


Le programme expérimental sera représenté sous forme d'organigramme comme suit :

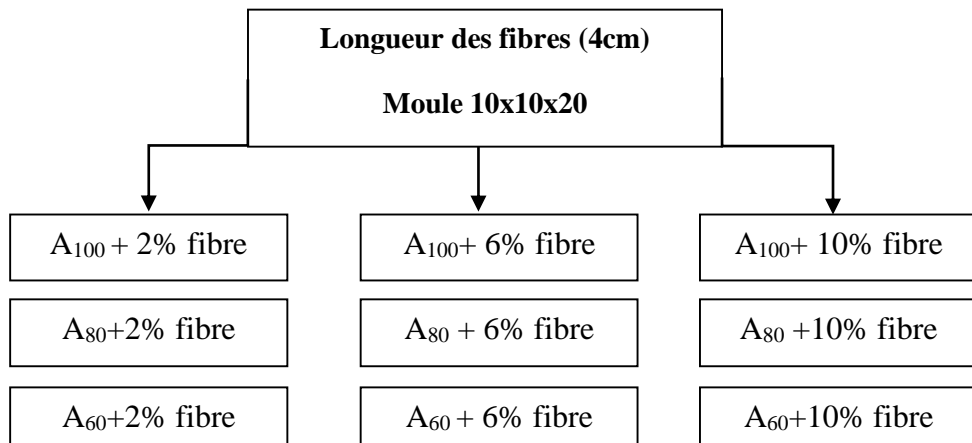
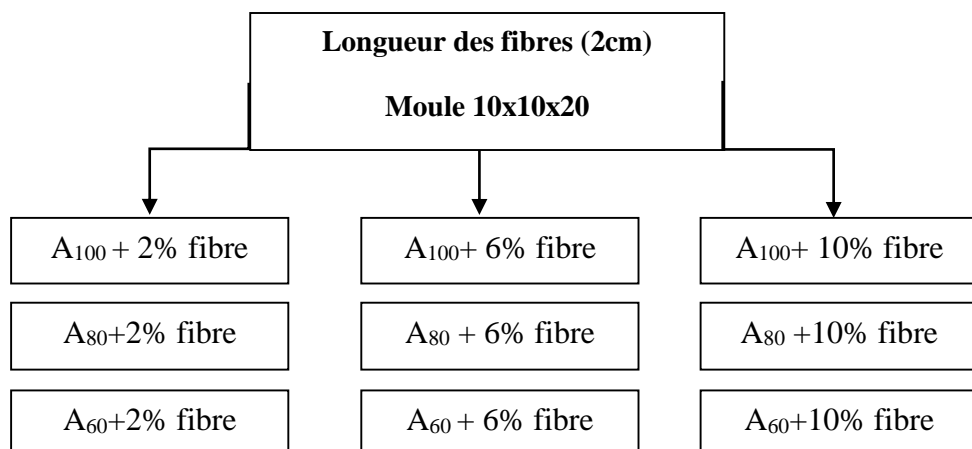
- ✓ 6 éprouvettes pour chaque essai

III.2.1 Les essais en compression simple





III.2.2 Les essais en flexion par trois points



III.2.3 Traitement du mélange optimum « M »

M
M+2%CH
M+4%CH
M+6%CH
M+8%CH

Les mélanges à différents pourcentages sont définis en tableau. III.1 comme suit :

Tableau. III.1 : Les mélanges à différents pourcentages

Longueur des fibres 2 cm	Longueur des fibres 4 cm
A ₁₀₀ : Argile.	A ₁₀₀ : Argile.
A _{100/2} : 100% argile + 2% fibre. A _{100/6} : 100% argile + 6% fibre. A _{100/10} : 100% argile + 10% fibre.	A _{100/2} : 100% argile + 2% fibre. A _{100/6} : 100% argile + 6% fibre. A _{100/10} : 100% argile + 10% fibre.
A ₈₀ : 80% Argile +20% Sable.	A ₈₀ : 80% Argile +20% Sable.
A _{80/2} : 80% Argile +20% Sable +2% fibre. A _{80/6} : 80% Argile +20% Sable +6% fibre. A _{80/10} : 80% Argile +20% Sable +10% fibre	A _{80/2} : 80% Argile +20% Sable +2% fibre. A _{80/6} : 80% Argile +20% Sable +6% fibre. A _{80/10} : 80% Argile +20% Sable +10% fibre.
A ₆₀ : 60% Argile +40%Sable.	A ₆₀ : 60% Argile +40%Sable.
A _{60/2} : 60% Argile +40%Sable +2% fibre. A _{60/6} : 60% Argile +40%Sable +6% fibre. A _{60/10} : 60% Argile +40%Sable +10% fibre	A _{60/2} : 60% Argile +40%Sable +2% fibre. A _{60/6} : 60% Argile +40%Sable +6% fibre. A _{60/10} : 60% Argile +40%Sable +10% fibre



Photo III.2 : Les échantillons parallélépipèdes (Argile + sable de dune + fibre)

Tableau. III.2 : Nombre des éprouvettes pour les mélanges traité

Traitement chaux Rc et Rf					
Mélanges				Nombre des éprouvettes	Nombre Total
A _{80/6} (4cm)	Rc	chaux	2%	6	24
			4%	6	
			6%	6	
			8%	6	
Mélanges				Nombre des éprouvettes	Nombre Total
A _{60/10} (2cm)	Rf	chaux	2%	6	24
			4%	6	
			6%	6	
			8%	6	
				TOTAL	48



Photo III.3 : Les échantillons de briques traités (Argile + sable de dune + fibre + chaux)

Les caractéristiques des mélanges A_{80} et A_{60} : masse volumique sèche (γ_d) et la teneur en eau (w) obtenus à partir de l'essai Proctor Normal sont représentés dans le tableau III.3

Tableau. III.3 : Caractéristique des mélanges A_{80} et A_{60}

	γ_d (KN/m ³)	w (%)
A_{100}	1.55	24.4
A_{80}	1.67	19.04
A_{60}	1.75	16.68

γ_d : augmenté avec l'augmentation de la quantité de sable.

W : diminué avec l'augmentation de la quantité de sable.

Le tableau. III.4, représente les résultats des essais mécaniques à la compression simple et à la flexion des mélanges A_{100} , A_{80} et A_{60} sans renforcement par des fibres :

Tableau. III.4 : Résistance à la compression simple et à la flexion par trois points des mélanges A₁₀₀, A₈₀ et A₆₀

Age	A ₁₀₀		A ₈₀		A ₆₀	
	Rc (MPa)	Rf (MPa)	Rc (MPa)	Rf (MPa)	Rc(MPa)	Rf(MPa)
7jours	3.7	0.205	0.756	0.212	0.780	0.083
14jours	2.53	0.285	0.924	0.132	1.235	0.042
28 jours	1.397	0.206	1.065	0.1275	0.963	0.0735

Rc : résistance à la compression simple.

Rf : résistance à la flexion par trois points.

La figure. III.1 et la figure. III.2 représente respectivement la résistance à la compression et à la flexion par trois points des différents échantillons sans ajout de fibres.

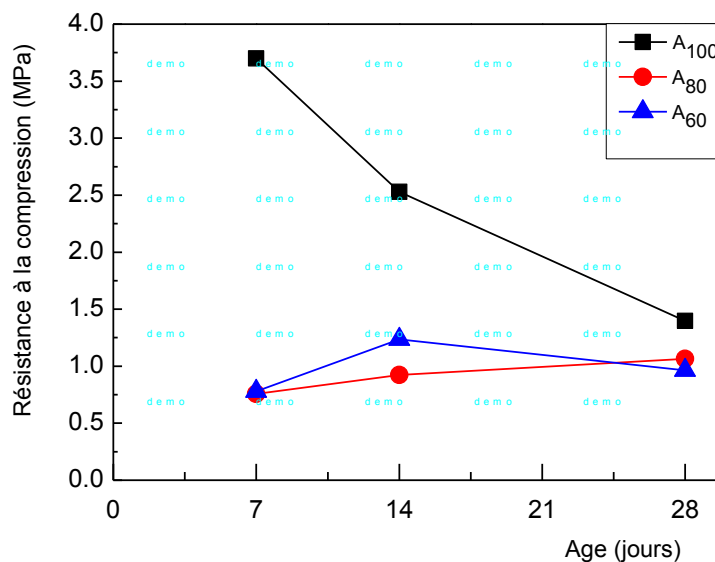


Fig. III.1 : Courbes de la résistance à la compression simple A₁₀₀, A₈₀ et A₆₀

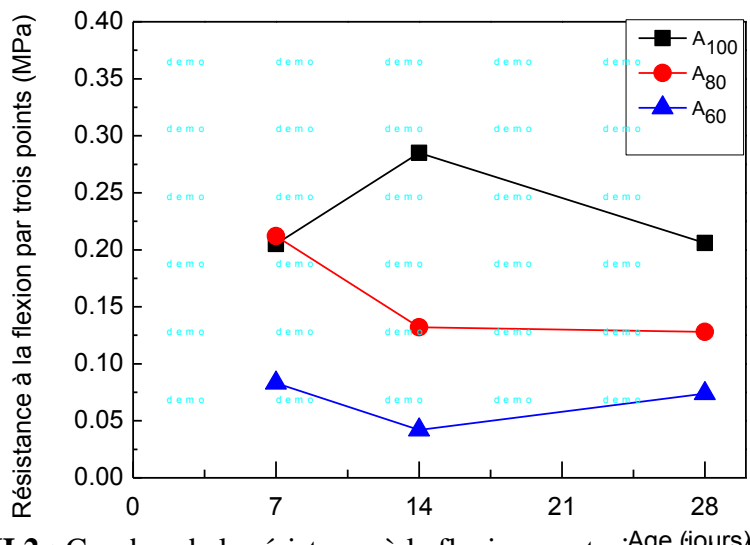


Fig. III.2 : Courbes de la résistance à la flexion par trois points A₁₀₀; A₈₀; A₆₀

D'après la figure III.1, on constate une diminution de la résistance à la compression simple en fonction du temps de l'argile A_{100} et ceci est dû probablement au phénomène de retrait. On remarque que la résistance à la compression de l'échantillon A_{80} augmente en fonction du temps. La résistance à 28 jours est de l'ordre de 1.065 MPa ; tandis que, on constate une chute de la résistance à la flexion jusqu'à 14 jours, au-delà, une légère diminution. Le sable de dune réduit le phénomène de retrait qui se traduit par une augmentation de la résistance successive pour le mélange A_{80} .

Par contre, le mélange A_{60} atteint une résistance maximale à 14 jours qui est de l'ordre de : 1.235 MPa, puis la résistance à la compression va en baisse pour arriver à 28 jours à une valeur de: 0.963 MPa.

La constatation la plus importante est la diminution de la résistance à la compression simple de l'argile pure A_{100} en fonction du temps. Une perte de résistance est de l'ordre de 60%. D'après les résultats obtenus, on a constaté que les résistances à la compression des mélanges A_{80} et A_{60} sont presque identiques à 28 jours, un gain de résistance à la compression simple obtenu est de l'ordre de 29 et 19 % respectivement pour les deux mélanges A_{80} et A_{60} (à 7 jours). Ceci nous a conduits à la proposition d'une substitution de l'argile par le sable de dune. Aussi et d'après les résultats obtenus, nous laisse à dire que le pourcentage de sable de dune ajouté sera compris entre 20 et 40 %.

On pense que l'ajout supplémentaire de sable de dune influe sur la résistance à la compression simple seule l'analyse par MEB peut confirmer cette hypothèse.

III.3 Renforcement des mélanges par les fibres

Le but du renforcement par les fibres vise l'augmentation des caractéristiques mécaniques. L'ajout des fibres sera à différents pourcentages : 2%, 6% et 10%, et deux différentes longueurs : 2 et 4cm.

L'organigramme suivant résume les étapes de cette partie expérimentale :

III.3.1 Essais de compression simple :

III.3.1.1 Fibres 2 cm :

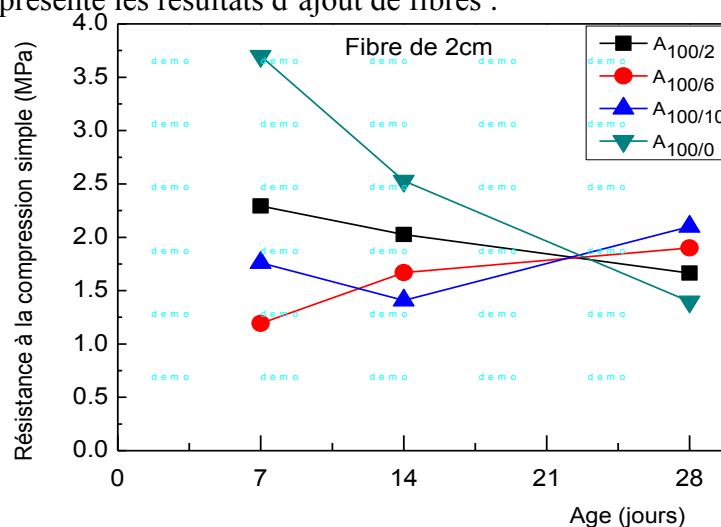
- Argile pure A_{100} :

Les résultats obtenus sont représenté dans le tableau III.5.

Tableau. III.5 : valeurs de résistances à la compression simple des différents échantillonsA₁₀₀

				7jours	14jours	28jours
A ₁₀₀	Fibre (2cm)	0%	Rc (MPa)	3.7	2.53	1.397
		2%		2.293	2.026	1.665
		6%		1.192	1.668	1.900
		10%		1.761	1.409	2.100

La figure III.3 représente les résultats d'ajout de fibres :

**Fig. III.3** : Courbes de compression simple A₁₀₀

D'après la figure. III.3 et le tableau. III.5, on remarque que l'optimum est le mélange A_{100/10} à 28j. Nous constatons qu'il y a une diminution à 14 jours de l'ordre de 1.409 MPa, puis une augmentation à 28 jours jusqu'à atteindre une valeur de 2.1 MPa.

On constate que, à 28 jours, les résistances augmentent avec l'augmentation des pourcentages des fibres et ceci pour tous les mélanges.

Une autre constatation a été signalée, c'est que les résistances du mélange A_{100/2} diminuent en fonction du temps. Par contre, une augmentation des résistances du mélange A_{100/6} en fonction du temps est enregistrée.

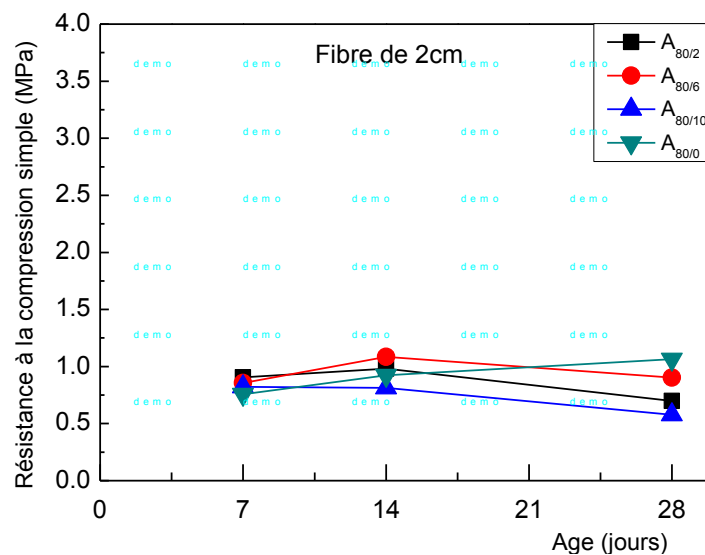
- Argile + Sable De Dune (A₈₀) :

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau. III.6

Tableau. III.6 : Valeurs de résistances à la compression simple des différents échantillons A80

A ₈₀	Fibre (2cm)	Rc (MPa)	7jours	14jours	28jours
			0%	0.756	0.924
	2%	0.905	0.982	0.698	
	6%	0.856	1.085	0.903	
	10%	0.821	0.814	0.577	

La courbe figure. III.4 représente les résultats d'ajout des différents pourcentages de fibres :

**Fig. III.4** : Courbes de compression simple A₈₀

D'après la figure. III.4 et le tableau. III.6, nous constatons qu'il y a une augmentation de la résistance à la compression de tous les mélanges renforcés par les fibres jusqu'à 14 jours. Au-delà, nous avons constaté que ces résistances sont diminuées à l'âge de 28 jours. Ceci, peut être expliqué par l'influence du vide existant à l'intérieur de ces fibres ; en plus, on peut expliquer cette diminution par la disposition aléatoire des fibres dans l'échantillon.

Pour les mélanges renforcés par les fibres, le mélange A_{80/6} représente l'optimum des échantillons renforcés. Il atteint une résistance à la compression de l'ordre de 1.085MPa à 14jours.

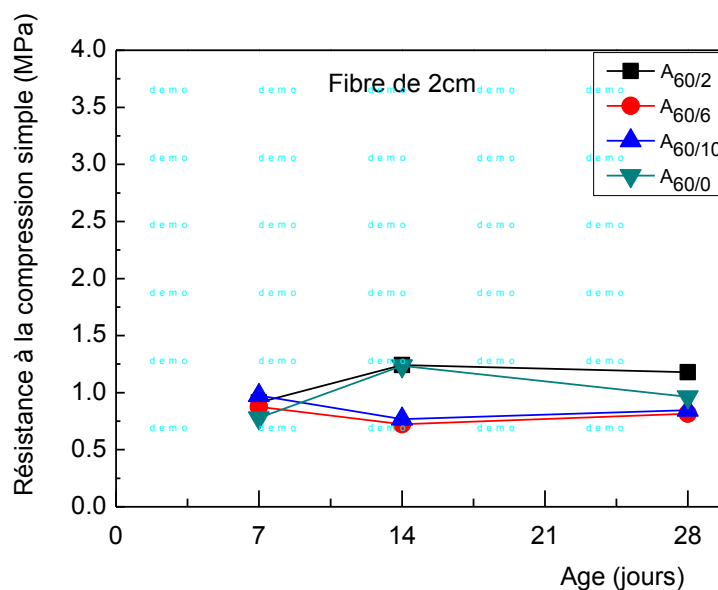
- Argile + Sable De Dune (A₆₀) :

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau. III.7

Tableau. III.7 : valeurs de résistances à la compression simple des différents échantillons A_{60}

			7jours	14jours	28jours
A_{60}	Sans fibre	0%	0.780	1.235	0.963
	Fibre (2cm)	2%	0.914	1.241	1.180
		6%	0.876	0.724	0.816
		10%	0.975	0.769	0.846

La courbe figure III.5 représente les résultats d'ajout de différents pourcentages de fibres :

**Fig. III.5** : Courbes de compression simple A_{60}

D'après la figure. III.5 et le tableau. III.7 on remarque que l'optimum est donné par le mélange $A_{60/2}$. Qui a présente une résistance de 1.24MPa à 28 jours.

Pour chaque âge, on constate que les résistances sont presque constantes pour les différents pourcentages de fibres ajoutés 6 et 10 %. C'est-à-dire que, l'ajout de fibres au-delà de 6% n'influe pas sur la résistance à j jours (7,14 et 28jours). Ce qui nous conduit à dire que le pourcentage de fibre ajouté serait compris entre 2 et 6% pour A_{60} seulement.

L'ajout des fibres conduit à la réduction de la résistance qui peut être due à la mauvaise adhérence entre grains et fibres et en plus, le sens aléatoire des fibres lors de la confection des éprouvettes.

III.3.1.2 Fibres 4 cm :

- Argile Pure (A_{100}) :

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau. III.8.

Tableau. III.8 : Valeurs de résistances à la compression simple des différents échantillons

A_{100}

				7jours	14jours	28jours
A_{100}	Sans fibre	0%	Rc (MPa)	3.7	2.53	1.397
	Fibre (4cm)	2%		1.154	1.405	1.02
		6%		1.019	0.975	0.905
		10%		0.686	0.784	0.974

La courbe figure III.6 représente les résultats d'ajout différents % des fibres :

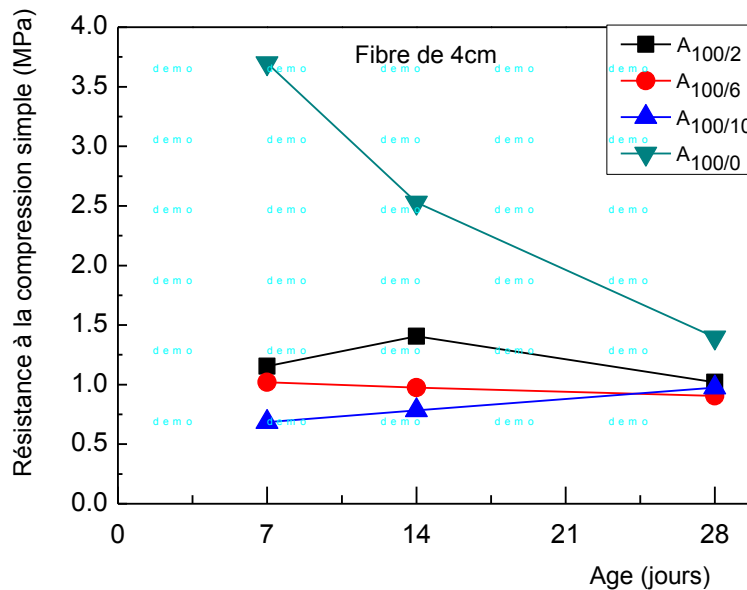


Fig. III.6 : Courbes de compression simple A_{100}

D'après la figure. III.6 et le tableau. III.8 on remarque que l'optimum est donné par l'échantillon $A_{100/0}$; nous constatons qu'il y a une chute de résistance pour tous les mélanges à 28 jours, sauf pour 10% de fibres la résistance augmentation à 28jours.

Pour chaque âge, on constate que les résistances diminuent en fonction du pourcentage de fibres ajoutées.

- Argile + sable de dune (A_{80}) :

Les résultats obtenus sont représentés dans le Tableau. III.9.

Tableau. III.9 : Valeurs de résistances à la compression simple des différents échantillons A_{80}

				7jours	14jours	28jours
A_{80}	Fibre (4cm)	0%	Rc (MPa)	0.756	0.924	1.065
		2%		1.639	1.475	1.792
		6%		1.963	2.363	2.200
		10%		1.601	1.550	1.701

La courbe figure. III.7 représente les résultats d'ajout différents % de fibres :

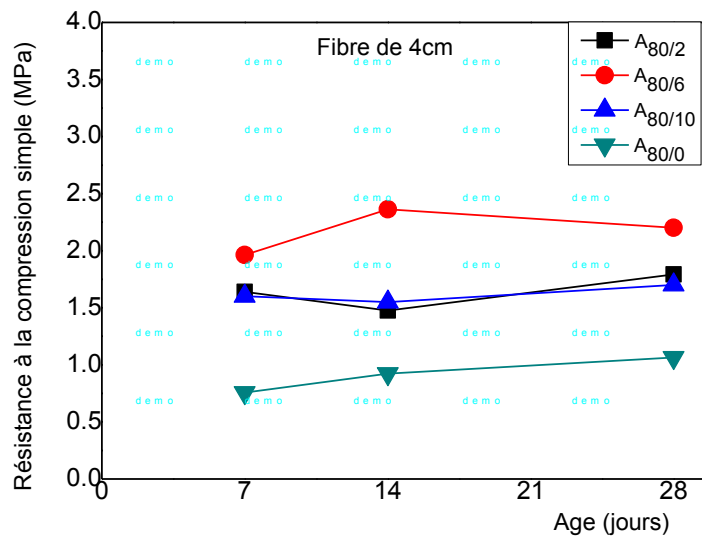


Fig. III.7 : Courbes de compression simple A_{80}

D'après la figure. III.7 et le tableau. III.9, on remarque que l'optimum est l'échantillon est le $A_{80/6}$ qui présente une résistance de l'ordre de 2.363 MPa à 14 jours.

La constatation importante c'est que à chaque âge, on signale une augmentation de la résistance en fonction de l'ajout de fibres, et ceci, jusqu'à 6 %. Au-delà de 6% de fibre, la résistance diminue. Nous avons de ci de de que le pourcentage de fibres ne doit pas dépasser 6%.

- Argile + sable de dune (A_{60}) :

Les résultats obtenus sont représenté dans le tableau. III.10.

Tableau. III.10 : Valeurs de résistances à la compression simple des différents échantillons

A_{60}

				7jours	14jours	28jours
A_{60}	Fibre (4cm)	0%	Rc (MPa)	0.780	1.235	0.963
		2%		1.024	0.574	0.699
		6%		0.733	0.781	0.809
		10%		0.980	0.698	0.706

La courbe figure. III.8 représente les résultats d'ajout différents pourcentage des fibres :

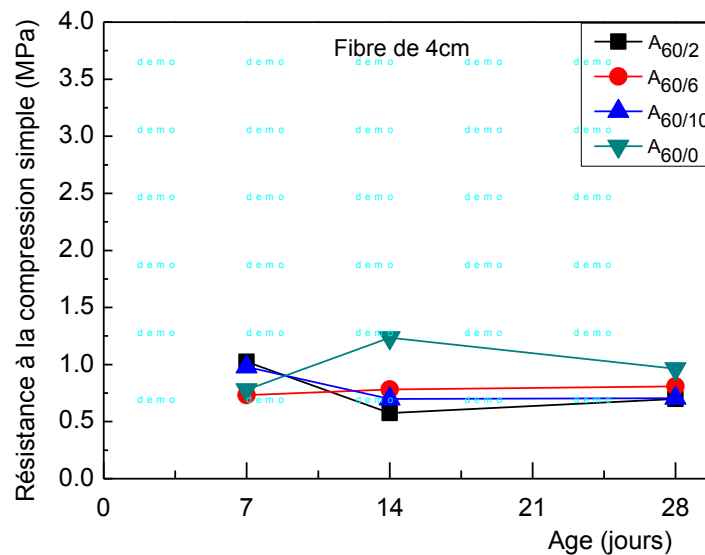


Fig. III.8 : Courbes de compression simple A_{60}

D'après la figure. III.8 et le tableau. III.10, on remarque que l'optimum est donné par l'échantillon sans fibres $A_{60/0}$. L'ajout des fibres n'a pas une grande influence sur la résistance.

On note une augmentation de la résistance à la compression du mélange $A_{60/6}$ en fonction de l'âge.

Le tableau. III.11 représente le récapitulatif des résultats de la résistance à la compression simple des mélanges étudiés.

Tableau. III.11 : Récapitulatif des résultats des essais de compression simple (MPa)

			7jours	14jours	28jours	
A_{100}	Fibre (2cm)	0%	(MPa)	3.7	2.53	1.397
		2%		2.293	2.026	1.665
		6%		1.192	1.668	1.900
		10%		1.761	1.409	2.100
	Fibre (4cm)	2%		1.154	1.405	0.831
		6%		1.019	0.975	0.905
		10%		0.686	0.784	0.974
A_{80}	Sans fibre	0%	0.756	0.924	1.065	
	Fibre (2cm)	2%	0.905	0.982	0.698	
		6%	0.856	1.085	0.903	
		10%	0.821	0.814	0.577	
	Fibre (4cm)	2%	0.639	0.475	0.792	
		6%	0.963	2.363	2.200	
		10%	0.601	0.55	0.701	
A_{60}	Fibre (2cm)	0%	0.780	1.235	0.963	
		2%	0.914	1.241	1.180	
		6%	0.876	0.724	0.816	
		10%	0.975	0.769	0.846	
	Fibre (4cm)	2%	1.024	0.574	0.699	
		6%	0.733	0.781	0.809	
		10%	0.980	0.698	0.706	

III.3.2 Essais de flexion par trois points

III.3.2.1 Fibres 2 cm :

- Argile pur A₁₀₀ :

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau. III.12

Tableau. III.12 : Valeurs des résistances à la flexion par trois points des différents échantillons A₁₀₀

				7jours	14jours	28jours
A ₁₀₀	Fibre (2cm)	0%	Rf (MPa)	0.285	0.206	0.205
		2%		0.122	0.124	0.083
		6%		0.156	0.13	0.132
		10%		0.171	0.231	0.208

La courbe figure. III.9 représente les résultats des différents pourcentages de fibres :

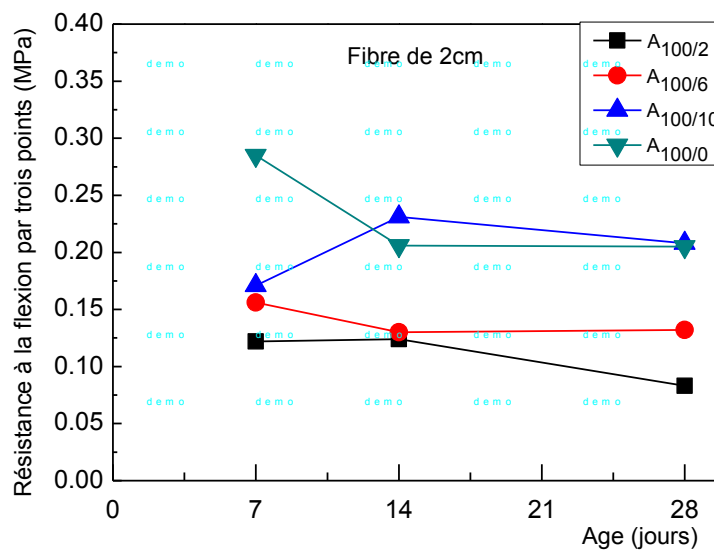


Fig. III.9 : Courbes de flexion par trois points A₁₀₀

D'après la figure. III.9 et le tableau. III.12 ; nous avons remarqué que pour chaque âge, l'ajout de fibres conduit à une augmentation de la résistance à la flexion par rapport des mélange de fibres 4cm de longueur.

Pour chaque pourcentage de fibre ajouté, on constate que la résistance à la flexion par trois points semble être constante en fonction d'âge, autrement dit, une légère diminution ou augmentation de la résistance au cours des premiers jours, puis elle tend à des valeurs constantes. L'optimum des mélanges est A_{100/10}, sa résistance à la flexion par trois points à 28 jours qui atteint la valeur de 0.208 MPa.

- Argile + sable de dune (A₈₀)

Les résultats obtenus sont représenté dans le tableau. III.13

Tableau. III.13 : Valeurs de résistances à la flexion par trois points des différents échantillons A₈₀

				7jours	14jours	28jours
A ₈₀	Fibre (2cm)	0%	Rf (MPa)	0.212	0.132	0.128
		2%		0.196	0.165	0.136
		6%		0.184	0.116	0.111
		10%		0.233	0.199	0.171

La courbe figure. III.10 représente les résultats d'ajout différents % de fibres :

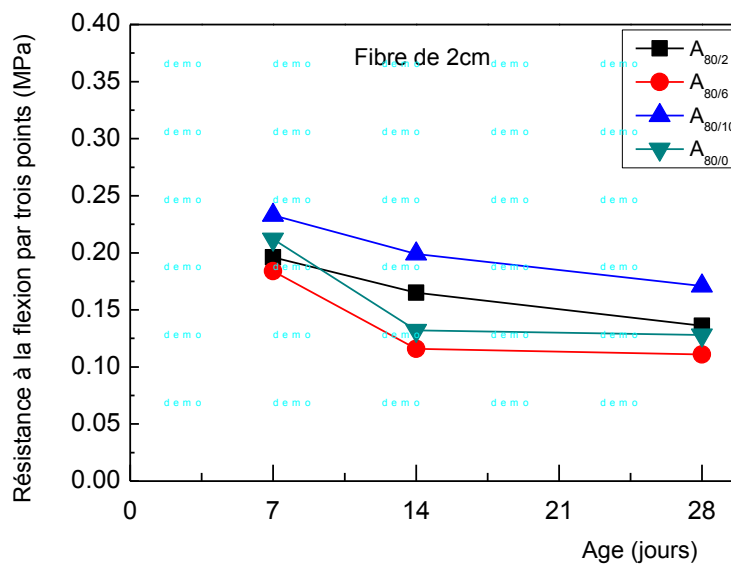


Fig. III.10 : Courbes de flexion par trois points A₈₀

D'après la figure. III.10 et le tableau. III.13, on remarque que l'optimum est donné par l'échantillon $A_{80/10}$ qui semble présenter des valeurs de résistance supérieures aux autres mélanges.

Nous avons remarqué que pour chaque âge, l'ajout de fibres conduit à une diminution de la résistance à la flexion jusqu'à 6%, puis une augmentation jusqu'à 10%. Pour tous les mélanges, l'ajout des fibres conduit à une légère diminution de la résistance jusqu'au 14^{ème} jours, puis les valeurs de la résistance à la flexion par trois points tendent vers des constantes.

- Argile + sable de dune (A_{60}) :

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau. III.14.

Tableau. III.14 : Valeurs de résistances à la flexion par trois points des différents échantillons A_{60} .

A_{60}	Fibre (2cm)	Rf (MPa)	7jours	14jours	28jours
			0%	0.083	0.042
	2%	0.063	0.064	0.035	
	6%	0.147	0.139	0.095	
	10%	0.316	0.168	0.218	

La courbe figure. III.11 représente les résultats d'ajout différents % de fibres

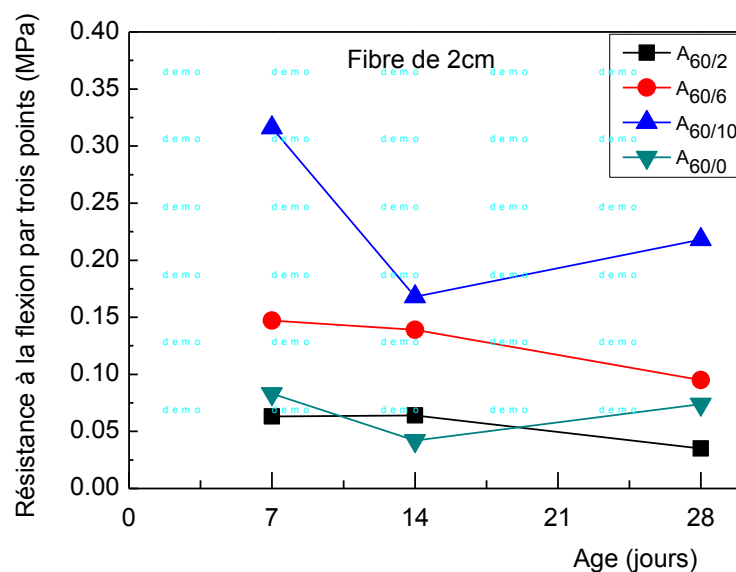


Fig. III.11 : Courbes de flexion par trois points A_{60}

D'après la figure. III.11 et le tableau. III.14, nous avons remarqué que pour chaque âge, l'ajout de fibres conduit à une augmentation de la résistance à la flexion par trois points. Pour chaque pourcentage de fibres ajoutées, la résistance à la flexion diminue en fonction de temps. On remarque que l'optimum est le mélange A_{60/10} qui présente les meilleures résistances comparées aux autres mélanges.

III.3.2.2 Fibres 4 cm :

- Argile pur :

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau. III.15.

Tableau. III.15 : Valeurs de résistances à la flexion par trois points des différents échantillons A₁₀₀.

				7jours	14jours	28jours
A ₁₀₀	Fibre (4cm)	0%	Rf (MPa)	0.285	0.206	0.205
		2%		0.083	0.08	0.062
		6%		0.169	0.158	0.206
		10%		0.277	0.161	0.209

La courbe figure. III.12 représente les résultats d'ajout différents % des fibres :

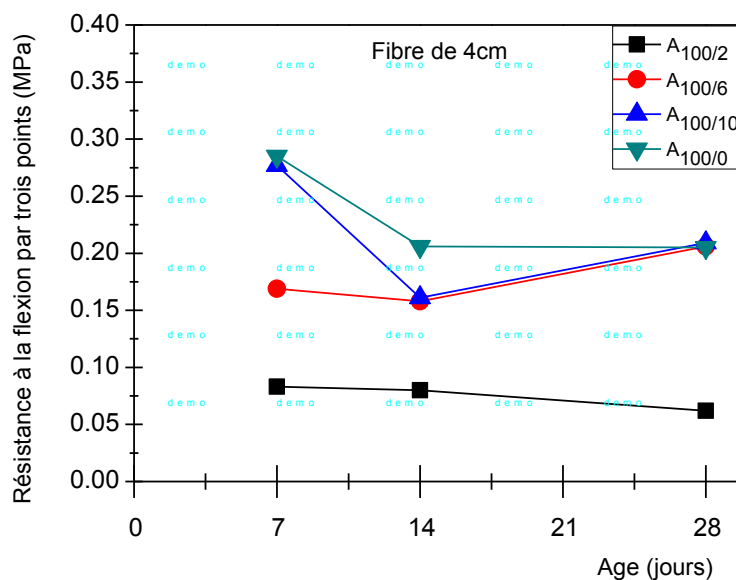


Fig. III.12 : Courbes de flexion par trois points A₁₀₀

D'après la figure. III.12 et le tableau. III.15, nous avons remarqué que pour chaque âge, l'ajout de fibres a conduit à une augmentation de la résistance à la flexion.

On peut ajouter que les résistances à la flexion des mélanges à 2% de fibres sont les plus faibles par rapport aux autres.

Pour chaque pourcentage de fibres ajoutées, on signale que les résistances semblent être constante jusqu'au l'âge 14jours, puis, les valeurs tendent vers une légère diminution ou augmentation.

D'après les valeurs obtenues, l'optimum est donné par le mélange A_{100/10} qui présente les résistances meilleures comparées aux autres mélanges.

- Argile + sable de dune A₈₀

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau. III.16.

Tableau. III.16 : Valeurs de résistances a la flexion par trois points des diffèrent échantillons

				A ₈₀			
				7jours	14jours	28jours	
A ₈₀	Fibre (4cm)	0%	Rf (MPa)	0.212	0.132	0.128	La
		2%		0.083	0.076	0.072	
		6%		0.142	0.190	0.13	
		10%		0.206	0.198	0.184	

courbe figure. III.13 représente les résultats d'ajout différents % de fibres :

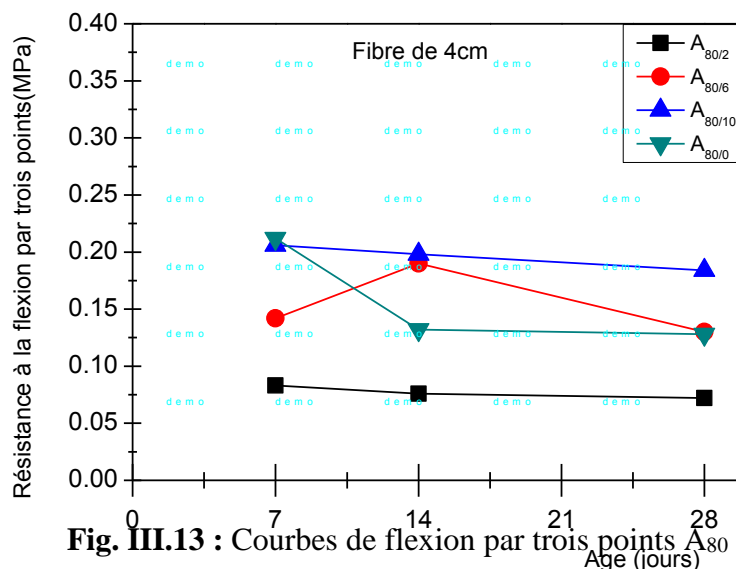


Fig. III.13 : Courbes de flexion par trois points A₈₀

D'après la figure. III.13 et le tableau. III.16, les mêmes remarques sont constatées que le mélange A₁₀₀. Pour chaque âge, l'ajout de fibres conduit à une augmentation de la résistance à la flexion par trois points.

En générale, pour chaque pourcentage de fibres ajoutées, on constate que la résistance à la flexion n'est pas sensiblement influencée par l'âge des écrasements.

D'après les valeurs obtenues, l'optimum est le mélange A_{80/10} qui présente les résistances meilleures comparées aux autres mélanges.

- Argile + sable de dune A₆₀

Les résultats obtenus sont représenté dans le tableau. III.17.

Tableau. III.17 : Valeurs de résistances a la flexion par trois points des différents échantillons A₆₀.

		Rf (MPa)			
		0%	2%	6%	
A ₆₀	Fibre (4cm)	7jours	0.083	0.042	0.074
		14jours	0.061	0.105	0.072
		28jours	0.162	0.148	0.183
			0.199	0.176	0.19

La courbe figure. III.14 représente les résultats d'ajout différents % de fibres :

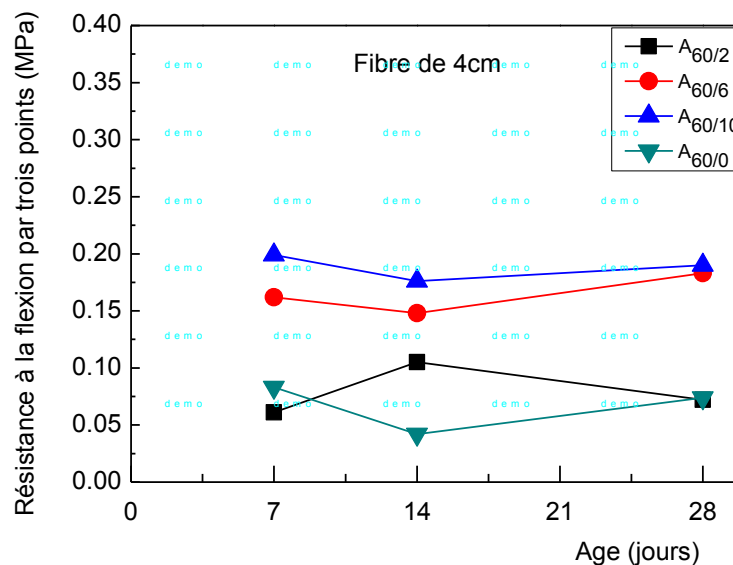


Fig. III.14 : Courbes de flexion par trois points A₆₀

Les mêmes constatations obtenues pour le mélange A₈₀ sont obtenues pour le mélange A₆₀

D'après la figure. III.14 et le tableau. III.17, l'optimum est le mélange A_{60/10}.

En conclusion, les meilleures valeurs de résistance à la flexion sont celles obtenues pour pourcentage de fibre de 10%. On peut dire que les résistances à la flexion du mélange A₈₀ semble meilleures que celui du mélange A₆₀ et ceci pour les fibres de 4cm, mais pour les fibres de 2 cm de longueur, le mélange A₆₀ présente des valeurs légèrement supérieures à celles du mélange A₈₀.

Tableau. III.18 : Récapitulatif des résultats des essais de flexion par trois points (MPa)

			7jours	14jours	28jours
A ₁₀₀	Fibre (2cm)	0%	0.285	0.206	0.205
		2%	0.122	0.124	0.083
		6%	0.156	0.130	0.132
		10%	0.171	0.231	0.208
	Fibre (4cm)	2%	0.083	0.080	0.062
		6%	0.169	0.158	0.206
		10%	0.277	0.161	0.209
A ₈₀	Sans fibre	0%	0.212	0.132	0.128
	Fibre (2cm)	2%	0.196	0.165	0.136
		6%	0.184	0.116	0.111
		10%	0.233	0.199	0.171
	Fibre (4cm)	2%	0.083	0.076	0.072
		6%	0.142	0.190	0.130
		10%	0.206	0.198	0.184
A ₆₀	Fibre (2cm)	0%	0.083	0.042	0.074
		2%	0.063	0.064	0.035
		6%	0.147	0.139	0.095
		10%	0.316	0.168	0.218
	Fibre (4cm)	2%	0.061	0.105	0.072
		6%	0.162	0.148	0.183
		10%	0.199	0.176	0.190

III.4 Stabilisation

Pour rester dans l'axe de l'éco-matériaux, la stabilisation par la chaux est le choix idéal, de point de vue économique, et aussi on vise l'augmentation de la résistance mécanique et la durabilité de matériaux.

La stabilisation s'effectue pour le mélange optimum (pour la compression le mélange est $A_{80/6}$ $R_c = 2.2$ MPa; pour la flexion, le mélange est $A_{60/10}$ $R_f = 0.19$) pour des différents pourcentages de chaux ajoutés massiquement. Les pourcentages sont respectivement : 2% ; 4% ; 6% ; 8%.

La formulation des échantillons a été effectuée selon le mode opératoire suivant :

Tout d'abord, nous pesons (2% ; 4% ; 6% ; 8%) de la masse de l'échantillon et mélangée avec de l'eau (w %).

III.4.1 Essais de compression simple

Le tableau. III.19 résume les résultats à la compression après le traitement :

Tableau. III.19 : Valeurs de résistances à la compression simple des différent échantillons après traitement.

$A_{80/6}$ (4cm)	RC (MPa)	La Chaux "%"	7jours	14jours	28jours
		2%	1.54	1.83	3.20
4%	1.93	2.40	3.05		
6%	1.91	3.58	2.92		
8%	2.75	3.15	3.54		

La courbe figure. III.15 représente les résultats de stabilisation à différents % de la chaux :

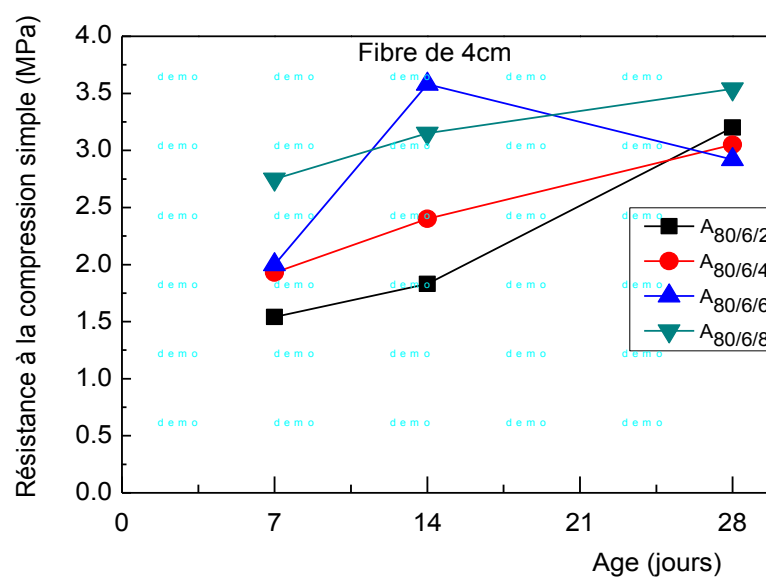


Fig. III.15 : Courbes de Compression simple

D'après la figure. III.15 et le tableau. III.19 ; en général, l'ajout de chaux conduit à une augmentation de la résistance à la compression par rapport le mélange A_{80/6}.

Pour chaque âge, l'ajout du pourcentage de chaux conduit à une augmentation de la résistance à la compression. L'optimum est l'échantillon est le A_{80/6/8} ce qui confirme que la croissance de la quantité de liant affecte positivement la résistance à la compression qui atteint la valeur de 3.54 MPa.

III.4.2 Essais de flexion par trois points

Le tableau. III.20 résume les résultats mécaniques après le traitement :

Tableau. III.20 : Valeurs de résistances a la flexion par trois points des différent échantillons après traitement.

A _{60/10} (2cm)	Rf (MPa)	La Chaux "%"	7jours	14jours	28jours
		2%	0.161	0.197	0.148
		4%	0.192	0.182	0.185
		6%	0.206	0.167	0.206
		8%	0.205	0.219	0.181

La courbe figure. III.16 représente les résultats de stabilisation à différents % de la chaux :

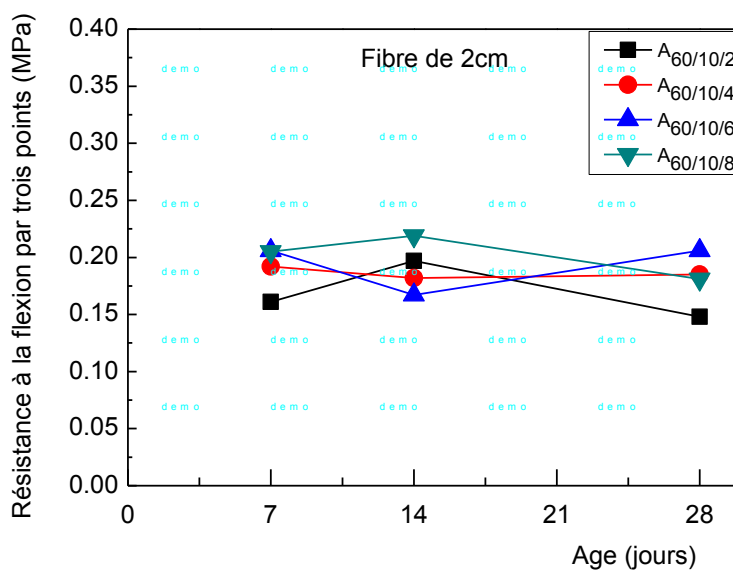


Fig. III.16 : Courbes de flexion par trois points

D'après la figure. III.17 et le tableau. III.20 ; Pour la résistance à la flexion par trois points, en général, l'ajout de la chaux n'a pas une grande influence sur les résultats, mais comme même, on signale les remarques suivantes : une augmentation de la résistance jusqu'au 6% de chaux ajouté, puis, on constate qu'il y'a une légère diminution ou augmentation pour chaque âge.

L'optimum est le mélange A_{60/10/6} qui a donné les valeurs de résistances meilleures que les autres mélanges.

III.5 Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'étudier la possibilité d'améliorer les propriétés mécaniques de briques en terre comprimée et stabilisé par les chaux hydrauliques (BTCS).

La résistance dépend de plusieurs paramètres ; il faut prendre en considération l'influence d'ajout de fibres car ils sont soit à l'état sec ou humide, autre cas, le sens des fibres (aléatoire) et le sens compactage ; tous ces paramètres ont une perturbation sur les caractéristiques mécaniques.

Pour rester dans l'éco-matériaux, la stabilisation des briques en terre se fait par un liant hydraulique (différents pourcentages de la chaux).

Les résultats de cette étude expérimentale nous ont permis de dégager les conclusions principales suivantes :

- L'ajout de pourcentages de fibres de longueur de 2 cm jusqu'au 6% donne des résultats meilleurs, c'est-à-d, qu'au-delà de 6%, l'ajout des fibres n'a pas une influence significative sur la résistance à la compression pour chaque âge (j jours d'écrasement). Ce que nous conduit a tiré une conclusion importante, que le pourcentage de fibres à ajouter ne doit pas dépasser 6%. La même remarque a été obtenue pour les fibres de longueurs 4 cm.
- Pour 6% de fibres, les fibres de longueurs 4 cm donnent des valeurs de résistance à la compression meilleure que les fibres de longueurs 2 cm.
- Pour la résistance à la flexion, et pour tous les mélanges, l'ajout des fibres conduit à une légère diminution de la résistance jusqu'au 14ème jours, puis les valeurs de la résistance tendent vers des valeurs constantes.
- L'ajout du liant hydraulique (chaux) au mélange argile + sable + fibre améliore leurs résistances à la compression simple (Rc), mais, n'a pas une

grande influence sur les résultats de la résistance à la flexion par trois points (Rf).

- Le mélange optimal non traité A_{80/6} "fibre 4cm" (R_{c28} =2.2 MPa) après traitement par 8 % de chaux, conduit à une augmentation significative de la résistance à la compression simple (R_{c28}=3,54 MPa pour 8% de chaux) ce qui répond à l'exigence de construction.

Conclusion générale

Cette étude entre dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux pour la construction des murs porteurs dans les régions arides et semi-arides en Algérie ; en utilisant les briques en terre comprimée à base de sable de dune - argile. Elle a des retombées environnementales, économiques et écologiques, en plus du développement de l'architecture de la construction en terre.

Cette initiation à la recherche nous a permis l'apprentissage des méthodes et les procédures ainsi la constatation des phénomènes au cours de ce travail expérimental.

Les résultats de ce travail montrent que le choix d'un meilleur mélange constituant le brique de terre comprimée non traitée sur la base de comportement mécanique, c'est le mélange A_{80} (80%A+20%S) et renforcé par 6% de fibres ($A_{80/6}$) de longueur 4cm, qui atteint une valeur de résistance à la compression $R_{c28} = 2.2\text{MPa}$.

La longueur des fibres a une influence sur la résistance à la compression. Pour le même mélange $A_{80/6}$ avec des fibres de 2cm de longueur, on a une résistance $R_{c28} = 0.930\text{MPa}$.

Pour la résistance à la flexion, le mélange optimum est A_{60} (60%A+40%S) renforcé par 10% ($A_{60/10}$) de fibre de longueur 2cm qui atteint une valeur $R_{f28} = 0.218\text{MPa}$, tandis que ce pour les fibres de 4cm de longueur, la résistance atteint une valeur de 0.19 MPa, ce qui montre que l'effet des longueurs des fibres sur la résistance à la flexion est négligeable.

Les résultats du traitement des mélanges optimums par différents pourcentages des liants hydrauliques « chaux » de 2 à 8 % par pas de 2 ont conduit à une amélioration significative de la résistance à la compression.

Pour 8% de chaux, la résistance de l'optimum ($A_{80/6}$) atteint une valeur de résistance à la compression $R_{c28} = 3.54\text{MPa}$, ce qui en accord avec la réglementation (2 à 5 MPa, ou < 2.4), tandis que ce traitement n'a pas d'influence considérable sur la résistance à la flexion sur 03points, car tous les valeurs sont très proches.

Finalement, On conclut que la formulation de briques en terre comprimées à base de sable de dune, argile adoptée répond parfaitement aux exigences de la réglementation

en vigueur et constitue un produit économique à base de matériaux locaux disponibles en abondance pour la construction en régions sud de l'Algérie.

On envisage d'exploiter les résultats déterminés tout au long de ce travail, dans le cadre d'une étude de durabilité et thermique des BTC. Cela permettra de vérifier la possibilité de réaliser des BTC avec ce type de matériaux locaux en particulier dans les régions arides. Ce complément fera l'objet d'un travail d'investigation dans le cadre de la recherche.

Références bibliographiques

- [1] CRAterre : Traité de construction en terre : Parenthèses Editions; Projet GE1 Construire en terre.
- [2] <http://www.wikipedia.org/>
- [3] ASTERRE: association nationale des professionnels de la terre.
- [4] Approche contemporaine de la construction en terre.
- [5] CNERIB: "Recommandations pour la production et la mise en œuvre des bétons de terre stabilisée", (Arrêté ministériel du 5 décembre 1987), Algérie, 1993. P. 33.
- [6] Berrehail.Tahar : mémoire magister : "La terre un matériau de construction, une alternative pour une solution durable".2009
- [7] [RDMC] Réunion D'ingénieurs, Matériaux de Construction, Edition Ayrolle, 1979.
- [8] Makri m. "Projet GE12 Construction en terre" Technologie Compiègne, 2010.
- [9] CRAterre, EAG, "Bloc de terre comprimée volume I Manuel de production".
- [10] <http://mapio.net/> les photos de terre paille.
- [11] Bensaada.A, "Valorisation des sols locaux dans la construction en terre Cas de la Région de Laghouat", Thèse de magister 2011. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf.
- [12] <http://elanfourapain.canalblog.com/>. "Villiers, autour du four à pain Horticulture Thématique horticulture", tressage d'osiers 12 janvier 2010
- [13] <http://www.lesavoirfaire.fr/>. "Comment financer votre stage ou votre formation?"
- [14] www.papercrete.com. High Performance Cement Mixer Best Price & After-sales Services!
- [15] www.oskam-vf.com. "Compressed earth block machines",
- [16]] Gueddouda. M. K, "Stabilisation des argiles gonflantes par ajout de sable de dunes Cas : Région de Laghouat". Thèse de magister 2005. Université d'Oran Mohamed Boudiaf.
- [17] Mekhermeche. A, mémoire de magister, "Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des ksours sahariennes" université d'Ouargla 2012.
- [18] Heathocote. K, "compressive strength of cement stabilized pressed earth blocks building research and information volume 19 Number 2". 1991.
- [19] GOIGNET.F SABLOCRETE., 1994, "Bétons de sable caractéristiques et pratiques d'utilisation, Projet National de Recherche et Développement, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, France".
- [20] Benchaa. B, Lakhdar. A, El-hadj. K, Belaidi. A, Soualhi. H, article" Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes", Université Amar Telidji de Laghouat, Algérie, Laboratoire L2MGC, Université de Cergy-Pontoise, France,
- [21] Guermiti – C.U.Z.A Djelfa mémoire : "contribution à l'amélioration de certaines caractéristiques du béton de structure à base de sable de dune corrigé et renforcé par des fibres métalliques".
- [22] United Nations. "Earth Construction Technology". United Nations Centre For Human Settlements, Nairobi, Kenya, 200 p, 1992.

- [23] Houben H, Guillaud H. "Traité de construction en terre". CRATERre, Edition Parenthèse, Marseille, France, 355 p, 2006
- [24] Winterkorn HF. Soil stabilization, Chapter 8 in "Foundation Engineering Handbook", Winterkorn, H.F. & Fang, H.-Y., Van Nostrand Reinhold Company, 750 p, 1975.
- [25] Winterkorn HF. Soil stabilization, Chapter 8 in "Foundation Engineering Handbook", Winterkorn, H.F. & Fang, H.-Y., Van Nostrand Reinhold Company, 750 p, 1975.
- [26] CASAGRANDE. A, "Research the Atterberg Limits of Soils", Public Road. vol. 13, 1932.
- [27] LAMBE. T, "The engineering behavior of compacted clay: Jour. Soil Mech. and Fdns. Div., Am. Soc. Cir. Engrs". 1985.
- [28] Houben. H, Guillaud. H ; "Traité de construction en terre CRATERre-EAG". Éditions Parenthèses, Marseille (France) ,1995.
- [29] Seed H.B. et CHAN C.K., "Structure and strength characteristics of compacted" clays, ASCE, J. Soil. Mech. Found. Div., Vol. 85, n° SM5, pp. 87-128, 1959.
- [30] Bell FG. "Methods of treatment of unstable ground". Newnes-Butterworth, London, 1975.
- [31] Nguyen Dag Chi (1977) "The epidemiology of typhoid fever in the Dong Thap Province, Mekong Delta region of Vietnam. Source: The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, Volume 62, Issue 5, May 2000, p. 644 – 648.
- [32] B. Melbouci (1991) l'entrepreneuriat en algerie et internationalisation : une approche par le capital social MM Leïla - asjp.cerist.dz
- [33] (Bivigou ,1983), « Etude expérimentale de l'aptitude au compactage des sables-ciment en présence d'argile inactive » ;F Bivigou-Dipouma, C Legrand, B Thenoz - Matériaux et Construction, 1983 – Springer.
- [34] Mitchel J.M, El Jack S.A: "The fabric of Soil-Cement and its formation. In Clays and Clay Minerals", Proceedings of fourteenth National Conference, Berkeley, California, 1966.
- [35] (Leonars ,1968), " Packages for bunches of flowers " WH Leonard - US Patent 3,376,666, 1968.
- [36] (Sicali et al ,1980). "Palaeomagnetism and deformation of the Mesozoic continental margin in Sicily" Tectonophysics Volume 61, Issue 4, 10 January 1980, Pages 391-407.
- [37] V.V Askalanov et al (1957) "The morphology of the auroral displays of 1957–1958" 2. "Detail analyses of Alaska data and analyses of high-latitude data".
- [38] Olivier. M, "Comportement des sols fin argileux pendant un essai de compactage statique", "détermination des paramètres pertinents, Matériaux et constructions", vol 32, N°223, 1999.
- [39] Olivier, M, "Le matériau terre compactage, comportement, application aux structures en bloc de terre" .Ph. D., institut national des sciences appliquées Lyon. 1994
- [40] Guettala. A, Guenfoud. M, : article "Béton de Terre Stabilisée Propriétés Physico-Mécaniques et Influence des Types d'argiles", 1997.
- [41] Mesbah A, Morel JC, Walker P. and Ghavami Kh. "Development of a direct tensile test for compacted earth blocks reinforced with natural fibers". Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 16, no. 1, pp. 95-98, 2004.

- [42] Morel JC, Olivier M, "Comportement des sols fin argileux pendant un essai de compactage statique : détermination des paramètres pertinents, Matériaux et constructions", vol 32, N°223, 1999.
- [43] Walker, P. "Review and experimental comparison of erosion tests for earth blocks", Terra 2000, Proceedings of the 8th International Conference on the study and conservation of earthen architecture, Torquay, Devon, UK, May 2000, pp. 176 - 181.
- [44] Montgomery, D. E. "Dynamically-compacted cement stabilised soil blocks for lowcost walling". PhD thesis, University of Warwick, School of Engineering, 2002.
- [45] The Fiber Year 2009/10, "A world survey on textile and nonwovens industry", Oerlikon, Issue 10 2010.
- [46] Fibres Recherche Développement (FRD), Troyes – France (Mars 2012).
- [47] Kaniraj R, Gayathri V. "Geotechnical behavior of fly ash mixed with randomly oriented fiber inclusions". Geotext Geomembr; 21:123–149, 2003.
- [48] Abtahi SM, Zadhoush A. "A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers". Constr Build Mater, 2012.
- [49] Rao J. "Jute geotextile for improving the performance of highway embankment on soft marine soil. In: Proc nat sem jute based geotextiles", New Delhi, India; 1996.
- [50] (Vidal, 1969) Heat-Pipe Oven: A New, Well-Defined Metal Vapor Device for Spectroscopic Measurements Journal of Applied Physics 40, 3370 (1969);
- [51] (Azeem, 1992) "Some biological effects of Bayluscide on Physaacuta and Helisoma duryi." - Journal of the Egyptian, 1992.
- [52] Ghavami K. "Experimental analysis of pressed adobe blocks reinforced with Hibiscus cannabinus fibers". Constr Build Mater; 52:71–78, 2014.
- [53] Doat P, Hays A, Houben H, Matuk S, Vitoux F. "Construire en terre. Editions Alternatives et Parallèles, collection An Architecture", Paris, France, 265p, 1979.
- [54] (Ramaswamy, Ziegler, Filho,; article "Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres. Cem Concr Compos", 2000 .
- [55] Millogo Y, Morel J-C, Aubert JE, Ghavami K. "Experimental analysis of pressed adobe blocks reinforced with Hibiscus cannabinus fibers". Constr Build Mater; 52:71–78, 2014.
- [56] fiche aide-mémoire "formulation complète de béton méthode de DREUX GORISSE" Mars 2004 page 4/11.
- [57] Cours pratique de mécanique des sols T1 sanglerat, p43
- [58] Philipponnat.G, Huber.B. "Fondations et ouvrages en terre". Edition Eyrolles, 1997. 548p.
- [59] Gaillabaud et Cinot (1982). Article sur "Recherche des paramètres d'identification géotechnique optimaux pour une classification des sols sensibles au retrait-gonflement".
- [60] (Bultel, 2001). "Prise en compte du gonflement des terrains dans le dimensionnement des revêtements des tunnels", Sciences de l'ingénieur physics. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2001. Français
- [61] Technique de l'ingénieur, (1996). Construction C2. [C301 (1-20), C 208 (1-15)].
- [62] M. Harche, D. Bounaga, Etude comparative du tissu fibreux dans la feuille d'alfa « Stipa tenacissima L. », Bull Soc. – Hist. Nat. Alger, (1979) 113-120.

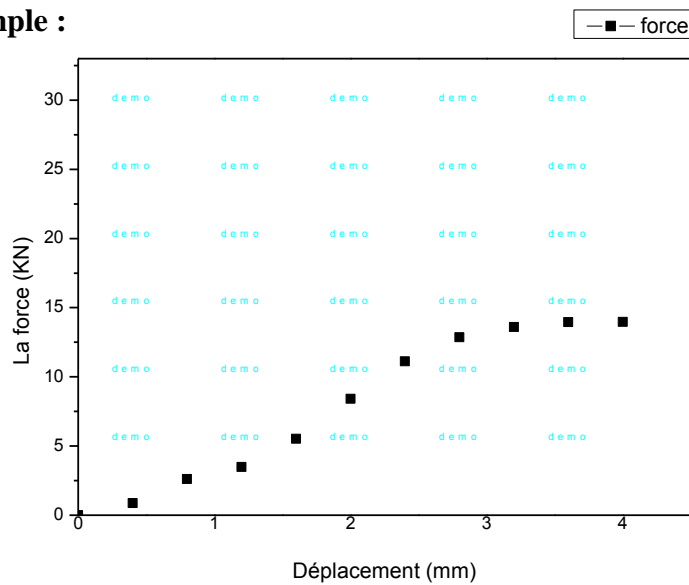
Tableau IV. 1 Tableau analyse granulométrique d'argile

Diamètre de tamis Ø	Refus partiel (gr)	Cumulé des Refus (gr)	Cumulé %	Tamisât %
3,15	2,5	2,5	0,13%	99,88%
2,5	0,1	2,6	0,13%	99,87%
2	0,3	2,9	0,15%	99,86%
1,6	0,2	3,1	0,16%	99,85%
1,25	0,2	3,3	0,17%	99,84%
1	0,1	3,4	0,17%	99,83%
0,8	0,1	3,5	0,18%	99,83%
0,63	0,3	3,8	0,19%	99,81%
0,5	0,2	4	0,20%	99,80%
0,315	0,8	4,8	0,24%	99,76%
0,16	5,5	10,3	0,52%	99,49%
0,08	12,6	22,9	1,15%	98,86%
0,06637643				97,99%
0,0472045				96,01%
0,03356795				94,03%
0,02146772				90,08%
0,01534606				86,12%
0,01096749				82,17%
0,00783648				78,21%
0,00556975				76,24%
0,00334148				62,02%
0,00141337				49,74%
0,00104207				45,47%

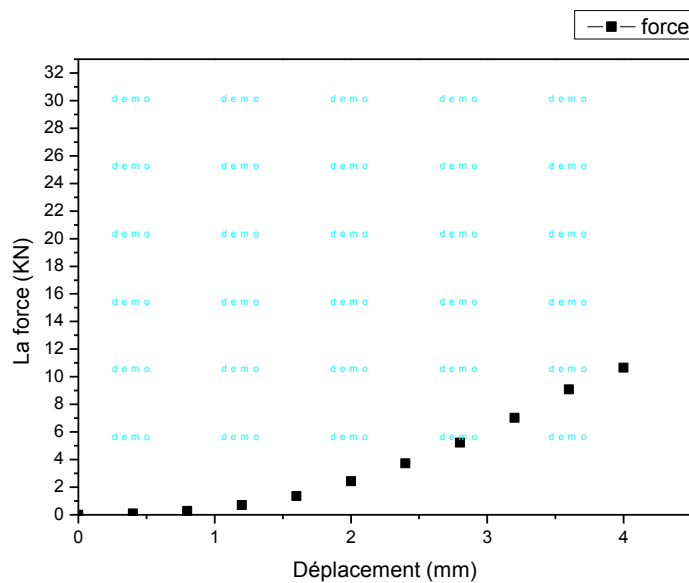
Tableau IV. 2 Analyse granulométrique de sable des dunes[16]

Diamètre équivalent (mm)	Poids cumulé (%)
0.5	98.9
0.425	98.1
0.315	88.2
0.25	59.4
0.2	39
0.16	12
0.125	5
0.1	2
0.08	0.2
0.063	0

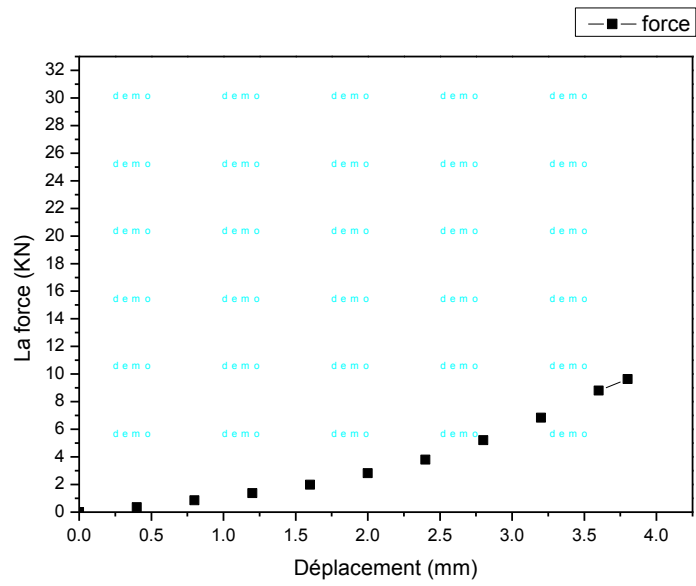
Compression simple :



Courbe de résistance à la compression simple A₁₀₀ -28journs-

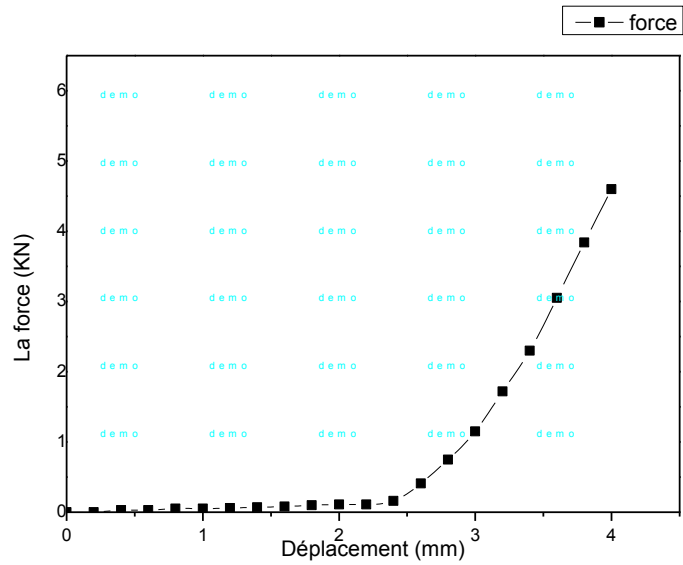


Courbe de résistance à la compression simple A₈₀ -28journs-

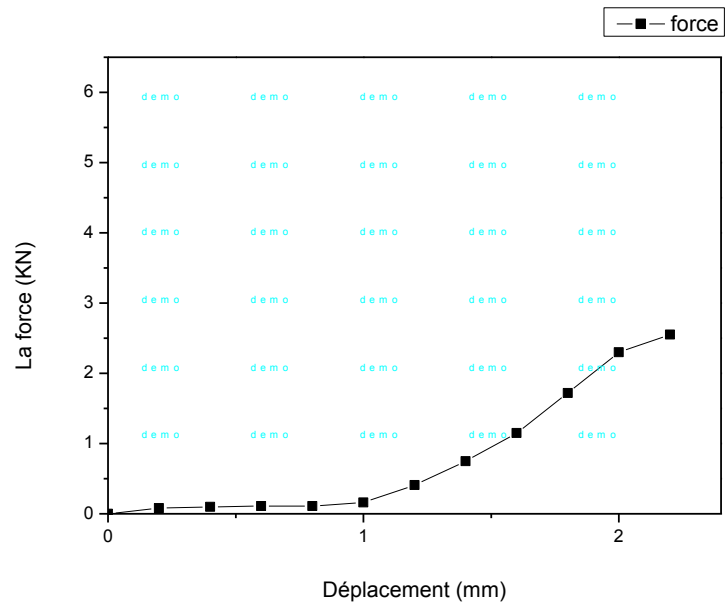


Courbe de résistance à la compression simple A₆₀ -28jours-

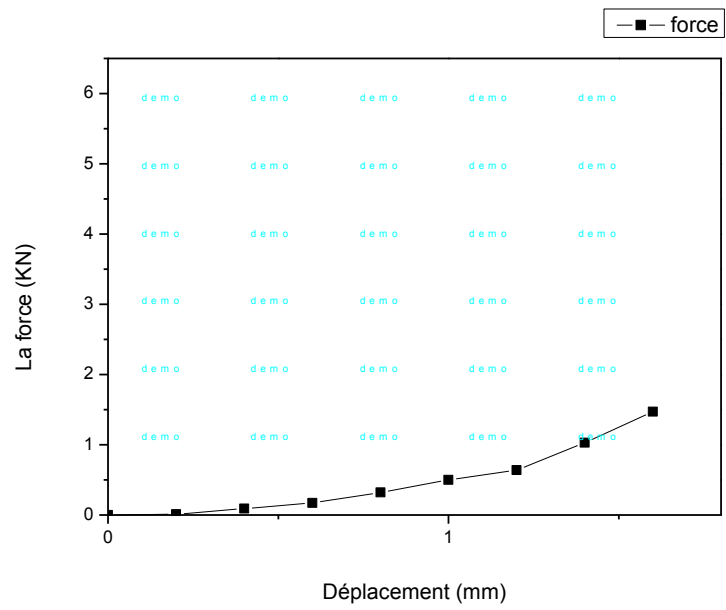
Flexion par trois points :



Courbe de résistance à la flexion par trois points A₁₀₀ -28jours-

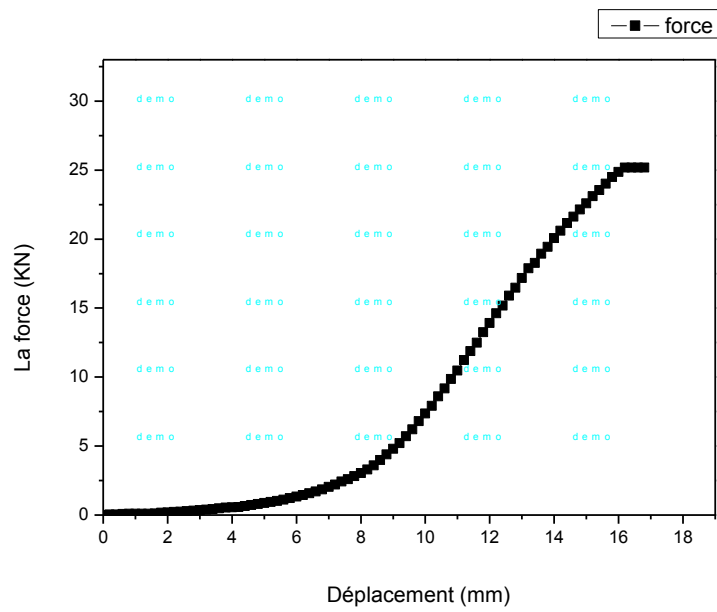


Courbe de résistance à la flexion par trois points A₈₀ -28jours-



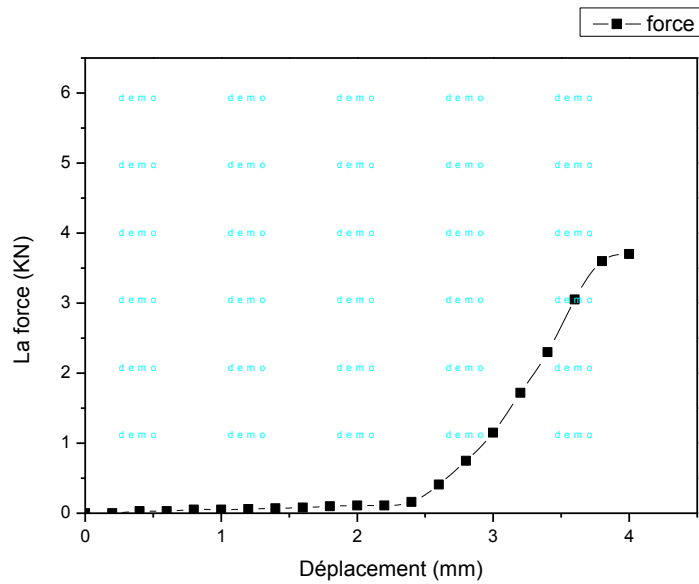
Courbe de résistance à la flexion par trois points A₆₀ -28jours-

L'optimum de compression :



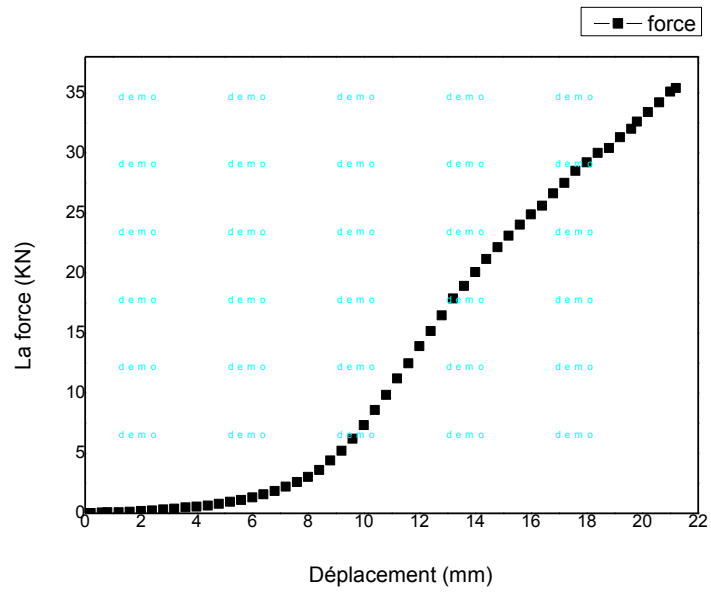
Courbe de résistance à la compression simple $A_{80/6}$ -14jours-

L'optimum de flexion :

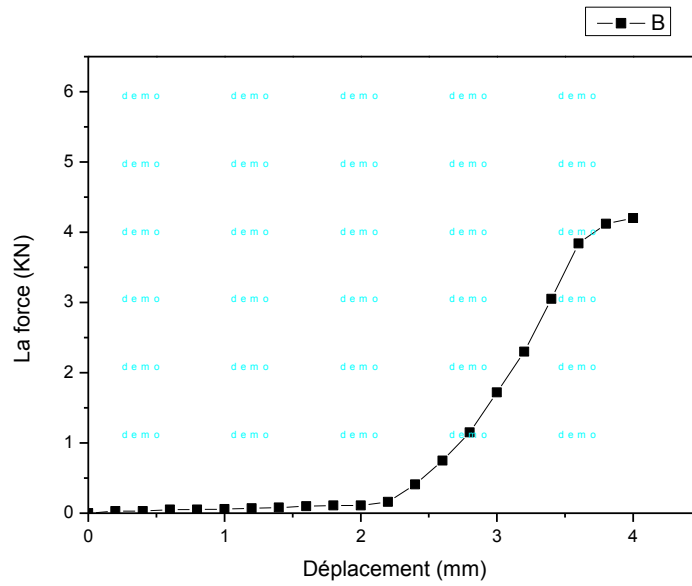


Courbe de résistance à la flexion par trois points $A_{60/10}$ -28jours-

Stabilisation par la chaux:



Courbe de résistance à la compression simple Après traitement A_{80/6/8} -28jours-



Courbe de résistance à la flexion par trois points Après traitement A_{60/10/6} -28jours-

عنوان المذكرة: تأثير تباين الأبعاد للطوب الأرضي المستقر على الجدران الحاملة في المنطقة الصحراوية.
اللقب: خطارة
الإسم: عمر
المؤطر: نويوة. ط
اللقب: قلاع الضروس
الإسم: كمال

ملخص: يتعلق هذا العمل بالتحقيق في تامين المواد المحلية لاستخدامها في بناء الطوب الطيني المضغوط المستقر في المناطق الجنوبية من الجزائر.
ان المواد الأساسية في هذه الدراسة، هي الطين ورمل كثنائي، وكلاهما على وفرة في محيط مدينة الأغواط حيث هذه الدراسة لتكوين مخاليط من رمل الكثنان والطين بكثافات جافة مختلفة معززة بالألياف طبيعية تسمى الحلفاء.
استناداً إلى معيار قوة الانضغاط في حين تبقى في مجال المواد الإيكولوجية، فإن النتائج تسمح بتبني خليط مثالي.
ثم أجريت دراسة علاجية مثالية بإضافة نسب مختلفة من الموثق الهيدروليكي (الجير) إلى الخلطات لتحسين السلوك الميكانيكي للطوب الطيني المضغوط.
النتائج التي تم الحصول عليها مشجعة للغاية وتفي بمتطلبات القواعد التنظيمية.
كلمات مفتاحية: الطين، الرمل الكثنان، الطوب الطيني المستقر، السلوك الميكانيكي.

Memory title: Effect of dimensional variation of stabilized earth bricks on load-bearing walls in the Saharan region.

Name: Khattara

First name: Omar

Directed by: Nouioua. T

Name: Guellaadrous

First name: Kamel

Abstract: The present work concerns the valorization of local materials for using in the construction of stabilized compressed clay brick (BTCS) in the southern regions of Algeria.

The basic materials used in this study are clay and sand dune, both are in abundance around the city of Laghouat; study of formulation of dune sand and clay mixtures at different dry densities reinforced by natural fibers called *Alfa* or *Halfa*.

Based on the criterion of compressive strength while regarding the case of eco-materials, the results allowed to adopt an optimal mixture.

An optimum treatment study was then conducted by adding different percentages of hydraulic binder (lime) to the mixes in order to improve the mechanical behavior of the compressed clay bricks.

The obtained results are very positive and meet the requirements of the regulations.

Key words: sand dune, hydraulic lime, stabilized clay brick (BTCS), mechanical behavior.

Titre du mémoire : Effet de la variation dimensionnelle des briques en terre stabilisée des murs porteurs en région saharienne

Nom: Khattara

Prénom: Omar

Encadreur: Nouioua. T

Nom: Guellaadrous

Prénom: Kamel

Résumé : Le présent travail concerne une investigation de valorisation de matériaux locaux en vue d'une utilisation dans la construction en brique de terre comprimée stabilisée (BTCS) dans les régions sud de l'Algérie.

Les matériaux de base dans cette étude, étant l'argile et le sable de dune, tous deux se trouvent en abondance au périphérique de la ville de Laghouat ; une étude de formulation des mélanges de sable de dune et argile à différentes densités sèches renforcée par des fibres naturelle appelées Alfa ou Halfa a été menée basée sur le critère de résistance à la compression tous en restant dans le cas de l'éco-matériaux, les résultats ont permis d'adopter un mélange optimal.

On a conduit ensuite une étude de traitement de l'optimum par ajout de différents pourcentage de liant hydraulique (la chaux hydrolique) sur les mélanges afin d'améliorer le comportement mécanique des briques en terre comprimés.

Les résultats obtenus sont très encourageants et répondent aux exigences des dispositions réglementaires.

Mots clés : Argile, sable de dune, chaux hydraulique, brique en terre comprimé stabilisé (BTCS), comportement mécanique.