

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

N° :



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE
FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : MATERIAUX

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : Hamdoune Abdelhamid

Intitulé

Contribution à la production des blocs de terre
comprimée et renforcée par des fibres

Soutenu devant le jury composé de :

Mr. Naceri Abdelghani	Université de M'sila	Président
Dr. MEDDAH Abdelaziz	Université de M'sila	Encadreur
Pr. BEDDAR Miloud	Université de M'sila	Co-Encadreur
Mr.A Siline	Université de M'sila	Examineur

Année Universitaire : 2018 /2019

Dédicace

*****Je dédie mon travail à *****

- ***Ma très chère mère qui a toujours éclairé ma voie.***
- ***Mon cher père qui a toujours un appui dans ma vie.***
- ***Mes frères*** (souhaib, Abdelaziz, Mohamed,).
- ***Mes sœurs*** (halima,naima,Djmaa et son mari, Fatima et son mari, Fadila et son mari).
- ***Mon oncle Abdelkader, ma tante aicha, ma tante tout,***

Et à ma grand-mère bachira et ,Fatima et mon grand-père.

- ***Ainsi que le meilleur ami:*** Ahmed, Ibrahim, Abdel Hadi, Amhamed, , Cheikh Omar, Abdel Malik, Abdel Jalil, Omar, Mohammed, Yacine, Abdelkrim ,abdelhafid , Abdelhamid, Adel, Seddik,berrah abdelhafid Yousef.....

À chaque personne chère à mon cœur, je n'ai pas mentionné son nom.

*****Ainsi que tous mes amis à la fois à l'intérieur et à l'extérieur du territoire national*****

ABDELHAMID

Remerciements

Au terme de ce travail, nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre encadreur Mr:MEddah Abdelaziz et beddar M, pour nous avoir permis de bénéficier de son grand savoir dans la matière, pour sa disponibilité, sa pédagogie, ses compétences, sa modestie et son aide précieuse tout au long de ce projet même pendant les moments les plus difficiles. Vraiment merci pour une qualité d'encadrement si sérieuse et si consistante ...

Nous remercions tous les enseignants de département Génie civil et les personnels administratifs et techniques, qui ont contribué de près ou de loin à notre formation durant ces trois années.

Nous remercions toutes les personnes qui nous ont soutenus, d'une façon ou d'une autre, nous éprouvons incessamment leur estime et amabilité.

Nous terminons ces remerciements en saluant vivement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de lire et juger ce travail.

Que la paix d'Allah soit toujours avec vous !

ABDELHAMID HAMDOUNE

ملخص

بالرغم من ان تقنية البناء بالطين هي طريقة قديمة والقوانين التي تتحكم في تصرفاتها تبقى غير معروفة والهدف من هذا العمل هو معرفة الحركيات الرئيسية التي تتحكم في تصرفه وقد قمنا بتجارب على التربة المضغوطة الناتجة من تراب الشعبة الحمراء والياف طبيعية بنسب مختلفة (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5) وفي هذا النهج التجريبي الذي يهدف الى تأثير معالجة على المقاومة التربة المضغوطة النتائج المحصل عليها تبين ان إضافة الياف في التربة تسمح بتحسين المقاومة.

كلمات المفتاحية: التربة المضغوطة. طين. النفايات. ياجور الأحمر. الياف. مقاومة. الضغط. الاستقرار التقوية.

Abstract

Although the Earth-based structures are very old technique, technical standards which describe its material behaviors are limited. In this context, this study aims to understand the principal rules governed its behavior. Compressed earth blocs are produced from local clay (Chaaba El Hamra, M'sila). Natural fibers (sisal) are incorporated in blocs with different percentages ;(0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5.)%

The experimental program carried out is consisted to analyze the effect of treatment of bloc on its strength. The obtained results showed that the strength of cement-stabilized clay is considerably ameliorated with incorporated fibers.

Key words: CEB, clay, brick, fiber, compressive strength, stabilisation, reinforcement.

Résumé

Malgré que la technique en construire en terre est très ancienne, les règles qui gèrent son comportement est assez mal connues. Il n'existe en effet de règles techniques concernant ce matériau. C'est dans ce contexte, ce travail de recherche vise à comprendre les mécanismes fondamentaux géant son comportement. Le BTC soumis aux essais est produit à partie du sol de Chaaba El Hamra (M'sila). Des fibres naturelles (filasse de sisal), ont été incorporées dans le BTC en différents pourcentages 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5.

La démarche expérimentale entreprise consiste en l'étude de l'effet d'un traitement combiné sur la résistance du BTC. Les résultats obtenus montrent que l'incorporation des fibres dans l'argile stabilisée permet d'améliorer considérablement la résistance.

Mots clés: BTC, argile, déchets de brique, fibre, résistance en compression, stabilisation, renforcement.

Sommaire

Dédicace

Remerciement

Résumé

Sommaire

Liste des tableaux et figures

Références

Annax

Introduction générale..... 1

Chapitre I Synthèse Bibliographique Sur BTC

I.1 Introduction..... 3

I.2. Historique construction en terre..... 3

I.3 La construction en bloc de terre comprimée dans le monde..... 4

I.4. Exemples de construction de terre en Algérie 4

I.5 Techniques de construction en terre 6

I.6 Les blocs de terre comprimée 8

I.6.1 Définition 8

I.6.2- Avantages des blocs de terre comprimée (H.Houben, Al, 1994)..... 8

I.7 Constituants..... 9

I.7.1 Argiles 9

I.7.1.1 Rappel sur les argiles 9

I.7.1.2 Définition..... 9

I.8 Les propriétés fondamentales pour la stabilisation de la terre 10

I.8.1 Stabilisation..... 10

I.8.1.1 Définition :..... 10

I.8.1.2 Objectif 10

I.8.1.3 Procédés..... 11

I.8.1.4 Stabilisation au ciment..... 11

I.8.1.4.1 Généralités 11

I.8.1.4.2 Mécanisme de stabilisation 12

I.8.1.5 Stabilisation à la chaux..... 14

I.9 Conclusion 15

Sommaire

Chapitre II Généralités sur les fibres

II.1 Introduction	16
II.2 Historique et perspective de l'utilisation des fibres.....	16
II.3. Stabilisation par fibres	17
II.4. Les fibres	17
II.4.1 Différents types de fibres.....	17
II.4.1.2 Les fibres naturelles.....	17
II.4.1.3 Fibres synthétiques	19
II.4.1.4 Fibres artificielles :	19
II.5 Les fibres végétales	19
II.5.1 Propriétés mécaniques des fibres végétales.....	19
II.6 Classification des Fibres Végétales	20
II.7 Avantages Et Inconvénients Des Fibres Végétales	21
II.8 Conclusion	22

Chapitre III Matériaux et procédures expérimentales

III.1 Introduction	23
III.2 Matériaux.....	23
III.2.1 Localisation du site de prélèvement.....	24
III.2.2 Caractérisation du sol étudié.....	25
III.2.2.1 Analyses de terrain.....	25
III.2.2.2 Analyse chimique	25
III.2.2.3 Essais d'identification de l'argile rouge	25
III.2.2.4Analyse granulométrique (NF P 94-056).....	25
III.2.2.5 Les Masses Volumiques du sol.....	27
III.2.2.6 Les limites d'Atterberg (NF P94-051)	27
III.2.2.7 L'essai au bleu de méthylène (NA1948, NF P 94-068).....	29
III.3.1 Déchets de brique.....	31
III.3.3 Masse volumique de la brique broyée.....	31

Sommaire

III.4.1 Ciment.....	32
III.5.1 Fibres.....	32
III.6.1 Procédures Expérimentales.....	34
III.7.1 Confection des blocs.....	35
III.7.1.2 Conservation au laboratoire.....	35
III.7.2.2 Essai de compression simple (la norme P 18-406).....	36
III.7.2.3 Essai de traction par fendage :.....	36
III.9 Conclusion.....	39

Chapitre IV : Interprétation Des Résultats Et Discussion

IV.1 Introduction	
.....	40
IV.2 Présenté le résultat	40
IV.2.1 Effet des fibres sisal sur la résistance à la compression Rc a 28j de BTC.....	40
IV.3Résultats globale.....	47
IV.3.1La résistance à la compression.....	47

Liste des tableaux

Tableau II. 3. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts dans les matrices polymères (Meukam P).....	22
Tableau.III.1 : Analyse chimique du l'argile rouge.....	25
Tableau.III.2 : Analyse granulométrique par tamisage.....	26
Tableau.III.3 : Masses volumiques du sol.....	27
Tableau.III.1. Resultats De L'essai De La Limite De Liquidite.....	28
Tableau. IV.3: Determination De La Limite De Plasticite.....	29
Tableau.III.4 : Récapitulatif des résultats des essais des limited' Atterberg.....	29
Tableau.III.5 : Valeurs au bleu de méthylène par l'essai tâche.....	30
Tableau.III.6 : Masses Volumiques De La Brique Broyee.....	31
Tableau.III.7 : les essais expérimentaux du sol étudié	33
Tableau.III.8 : Codage d'essais.....	38
Tableau IV.1.: Effet de Fibre de sisal sur la résistance à la compression Rc a 28j sur BTC.....	40
Tableau IV.2 : Effet de Fibre de sisal et dosage de 5 % ciment sur la résistance à la compression Rc a 28j sur BTC.....	41
Tableau.IV.3 : Effet de Fibre de sisal et dosage de 7 % ciment sur la résistance la compression à 28jours sur BTC.....	42
Tableau.IV.4 : Effet de Fibre de sisal et dosage de 9 % ciment résistance la compression à 28jours sur BTC.....	43
Tableau.IV.5 : Effet de Fibre de sisal et dosage de 0 % ciment sur la résistance à la traction Rt par fondage a 28j sur BTC.....	45
Tableau.IV.6 : Effet de Fibre de sisal et dosage de 5% ciment sur la résistance à la traction Rt par fondage a 28j sur BTC.....	45
Tableau.IV.7 : Effet de Fibre de sisal et dosage de 7 % ciment sur la résistance à la traction Rt par fondage a 28j sur BTC.....	45
Tableau.IV.8 : Effet de Fibre de sisal et dosage de 9 % ciment sur la résistance à la traction (Rt) par fondage a 28j sur BTC.....	46

LIST DE FIGURE

Figure I.1 : Le Manhattan du désert, à Shibam au Yémen	4
Figure I.2 : Maison palmier à Marrakech.....	4
Figure I.3 : Domaine de la terre, l'Isle d'Abeau, France.....	4
Figure I. 4 : Constructions réalisées en blocs de terre comprimée.....	4
Figure I.5 : Constructions en blocs de terre la région Qourara.....	5
Fig.I.6 Constructions en blocs de terre comprimée Stabilisée avec la Chaux (ville de Ghardaïa)...	6
Figure.I.7 : Schéma des différentes techniques de construction en terre établi par le groupe CRATERRE en 1986 (Houben, 2006).....	7
Fig.II.1 : Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine (Baley, 2013).....	18
Figure II. 4. Fibre d'abaca (Mvenueat).....	20
Figure II. 5. Fibre de sisal (Mvenueat).....	21
Fig.III.1 Localisation de site de prélèvement.....	24
Figure.III.2 Appareillage de l'analyse granulométrique par tamisage.....	25
Fig.III.3 : Courbe Analyse granulométrique par tamisage.....	26
Fig.III.5 : Appareillage d'essai.....	27
Figure. IV.6 :Détermination de la limite de liquidité.....	28
Fig. III.6 : Appareillage d'essai.....	30
Fig.III.7 : Courbe granulométrique de la brique broyée.....	31
Figure. III.8 : Fibres de filasse utilisées.....	32
Figure III.9 : la courbe granulométrique du mélange sol-brique.....	33
Figure.III.10 Le Présurasse De Fabrication De BTC.....	34
Figure.III.11 Presse Hydraulique Du Laboratoire De Développement LMMS, Université De M'sila.....	35
Fig.III.13 : Le bloc après écrasement.....	36
Fig.III.14 : l'essai de traction par fendage.....	36
Figure.IV.1. : Effet des fibres sur la résistance à la compression à 28j sur BTC.....	44
Figure.IV.2 : Effet de la teneur en ciment sur la résistance à la compression à 28j sur BTC.....	44
Figure.IV.3 : Effet de la teneur en fibre sur la résistance à la compression et à la Traction par fendage d'échantillons de terre comprimée et stabilisée au ciment.....	46
Figure.IV.4 : Effet de la teneur en ciment sur la résistance à la compression et à la Traction par fendage d'échantillons de terre comprimée et stabilisée au ciment.....	
Figure .IV.5. diagramme comparatif des Effet de ciment et de fibre sur la résistance en compression.....	49

Introduction générale

Le développement technologique considérable dans le domaine de matériaux de construction est associé par des problèmes majeurs liés à l'environnement. Dans ce contexte, les recherches actuelles en Génie Civil s'orientent de plus en plus vers la recherche de matériaux de construction alternatifs qui respect l'environnement, dans l'objectif de réduire l'utilisation du béton. Ce dernier est considéré comme le matériau le plus utilisé dans le monde, après l'eau, et l'industrie ciment est la source principale des émissions du CO₂ dans la planète.

Les techniques de construction en terre évoluent encore aujourd'hui grâce aux différents procédés de stabilisation et des ajouts qui permettent d'édifier des bâtiments sur plusieurs niveaux. Ces procédés de stabilisation sont basés parfois sur une approche chimique ; stabilisation par ciment et/ou chaux ou approche mécanique ; incorporation des fibres synthétiques ou naturelles.

Par ailleurs, les quantités énormes des déchets qui sont générées sans cesse immobilisent de plus en plus de grandes surfaces pour le stockage et réduisent ainsi les disponibilités des terrains, d'une part, et peuvent affecter l'environnement avec toutes ses conséquences, d'autre part. De ce fait, la valorisation des déchets est devenue la bonne solution qui peut offrir de nouvelles ressources renouvelables et durables qui contribuent dans le processus de la construction dans le domaine de génie civil et ainsi pour protéger l'environnement. Les déchets de briques rouges (DBR) constituent une alternative intéressante dans ce cas vue que ces déchets sont disponibles et sont abandonnés au niveau de chantiers.

L'objectif principal de ce travail expérimental consiste à caractériser des blocs de terre comprimée (BTC) produit à base d'un sol prélevé de la commune de M'sila. Ce travail vise également à produire un éco-matériau, pour cela des déchets de briques collectés de différents chantiers ont été ajoutés au sol avec un pourcentage de 20% par rapport à la masse totale du bloc. D'un autre coté des fibres végétales commercialisées localement (filasse de sisal) ont été incorporées en différents pourcentages (0,1; 0,2; 0,3; 0,4 et 0,5), jouant ainsi le rôle des renforts dans ce matériau.

Ce travail de recherche est inscrit dans le cadre des projets de recherche du Laboratoire de Matériaux et Mécanique des Structures. Ce projet est agréé par le Ministère sous le numéro PRFU /N° A01L02UN280120180004)

Le manuscrit est composé des chapitres suivants :

- Introduction générale.
- Chapitre 1 : Revue générale sur le matériau : Bloc de terre comprimée.
- Chapitre 2 : Revue générale sur les fibres.
- Chapitre 3 : Matériaux et procédures expérimentales.
- Chapitre 4 : Résultats et discussions.
- Conclusion générale.

Chapitre I

Synthèse Bibliographique Sur BTC

I.1 Introduction

La terre crue est un matériau naturel, second matériau de construction en termes de volumes mis en œuvre après le ciment. Mise en œuvre de différentes manières en fonction des usages ou de contraintes climatiques locales, elle peut être utilisée sous forme de Briques de Terre Compressées (BTC). Cependant, la terre crue utilisée seule ne permet pas de satisfaire certaines propriétés d'usage du matériau et il est nécessaire d'y ajouter des renforts soit sous la forme de liants divers (ciment, géopolymères...) soit sous la forme de fibres, notamment végétales. Dans ces études, nous avons étudié l'influence de l'ajout de fibres végétal sur les propriétés mécaniques de BTC réalisées à base de terre crue.

I.2. Historique construction en terre

Par rapport à l'histoire de la construction en terre, la technique du bloc 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 bloc 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 au bloc 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 (CRATerre, 1991).

L'idée de compacter la terre pour améliorer la qualité et la résistance des blocs de terre moulée est pourtant ancienne et c'est à l'aide de pilons en bois que l'on réalisait les premiers blocs de terre comprimée. Ce procédé est encore utilisé de par le monde. Les premières machines à comprimer la terre auraient été imaginées au XVIIIe siècle. Mais ce n'est qu'au début du XXe siècle que l'on imagina les premières presses mécaniques qui utilisaient de lourds couvercles rabattus avec force dans le moule. Des presses de ce type ont même été motorisées. L'industrie de la brique cuite a ensuite utilisé des presses à compression statique où la terre était comprimée entre deux plateaux. Le développement significatif de l'emploi des presses et de l'utilisation constructive et architecturale du bloc de terre comprimée n'a été finalement engagé qu'à partir de 1952 suite à l'invention de la fameuse petite presse "CINVARAM", imaginée par l'ingénieur Raul Ramirez, au centre CINVA de Bogota, en Colombie. Elle fut utilisée dans le monde entier. Les années 70 et 80 ont amené l'apparition d'une nouvelle génération de presses manuelles, mécaniques et motorisées et le

développement aujourd'hui considérable d'un véritable marché de la production et de l'utilisation du bloc de terre comprimée (Rigassi, 1995).

I.3 La construction en bloc de terre comprimée dans le monde

Plusieurs constructions ont été réalisées en blocs de terre comprimée à travers les quatre coins du monde, profitant des avantages de cette technique moderne, que ce soit sur le plan économique, écologique, esthétique, thermique et environnemental. On peut citer ici quelques exemples fascinants : Maison palmier à Marrakech, Maroc (figure I.) Domaine de la terre, l'Isle d'Abeau à Lyon, France (figure 1.)

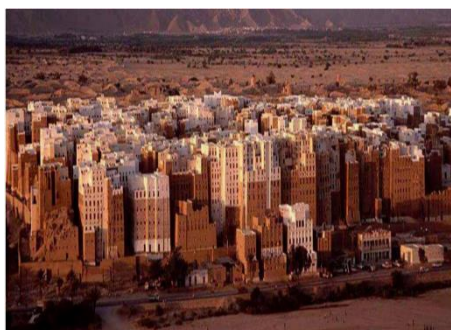


Figure I.1 : Le Manhattan du désert, à Shibam au Yémen **Figure I.2:** Maison palmier à Marrakech, Maroc



Figure I.3 : Domaine de la terre, l'Isle d'Abeau, France

Figure I. 4: Constructions réalisées en blocs de terre comprimée

I.4. Exemples de construction de terre en Algérie

L'Algérie regorge de paysages charmants et d'une grande richesse touristique. La diversité de son climat et ses différents terrains lui confèrent une nature charmante différente de celle d'une autre région.

Les régions méridionales des zones les plus en vue caractérisées par des structures en argile, qui contiennent les avantages de la population connue depuis l'Antiquité pour renforcer et maintenir.

Timimoun est situé dans le sud de l'Algérie dans la région de Qourara et fait partie d'un trio de trois villes, Adrar et Aïn Salé, Timimoun Benet, situé dans une oasis du même nom.. Et les bâtiments originaux sont des palais construits avec de la terre et de l'argile rouge en hauteur, c'est un magnifique cercle de beaux palais en hiver.

Nous n'oublions pas non plus la ville de Ghardaïa, qui se caractérise par sa magnifique architecture et son vieux bâtiment en briques crues soutenu par de la chaux.



Figure I.5 : Constructions en blocs de terre la région Qourara.



Fig.I.6 Constructions en blocs de terre comprimée Stabilisée avec la Chaux (ville de Ghardaïa)

I.5 Techniques de construction en terre

A travers le patrimoine mondial des traditions de la construction en terre crue, on dénombre de très 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. Il existe douze techniques d'utilisation de terre pour la construction présentées sur le diagramme établi par le groupe CRATERRE en 1986 (figure 1.1) (Houben,2006). Parmi celle-ci huit sont d'un usage courant et constituent les techniques principales (CRATerre, 1991) :

Adobe : la terre à l'état de pâte plastique souvent amendée de paille ou autre fibres, moulée sous forme de briques séchées au soleil.

Pisé : la terre est compactée en masse dans des coffrages, couche par couche et banchée par banchée, avec une dame.

Terre-paille : la terre est dispersée dans de l'eau jusqu'à l'obtention d'un liquide épais homogène que l'on mélange à la paille afin de former un film sur chaque brin. Le matériau ainsi obtenu conserve l'aspect de la paille et est banché pour ériger un mur monolithique qui nécessite une structure porteuse.

Torchis : la terre argileuse, amendée de paille ou autres fibres, recouvre en une ou plusieurs couches des claies qui hourdent une structure en colombages.

Terre façonnée : la terre, souvent amendée de paille ou autres fibres, est façonnée sous forme de murs de la même façon que pour la technique de poterie, sans outil.

Terre extrudée : la terre est extrudée par une puissante machine proche ou dérivée du matériel utilisé pour la fabrication de produits destinés à être cuits.

Bauge : la terre, généralement amendée de paille ou autres fibres, est mise sous forme de boules grossières, qui sont empilées les unes sur les autres et entassées légèrement à l'aide des mains ou des pieds jusqu'à ériger des murs monolithiques façonnés. Dans d'autres cas, la bauge est incorporée dans une structure en bois.

Terre comprimée : la terre est comprimée sous forme de bloc dans un moule. Auparavant, on compactait la terre dans un moule à l'aide d'un petit pilon, ou en rabattant avec force un couvercle très lourd dans le moule. Aujourd'hui, on utilise des presses dont il existe une grande variété.

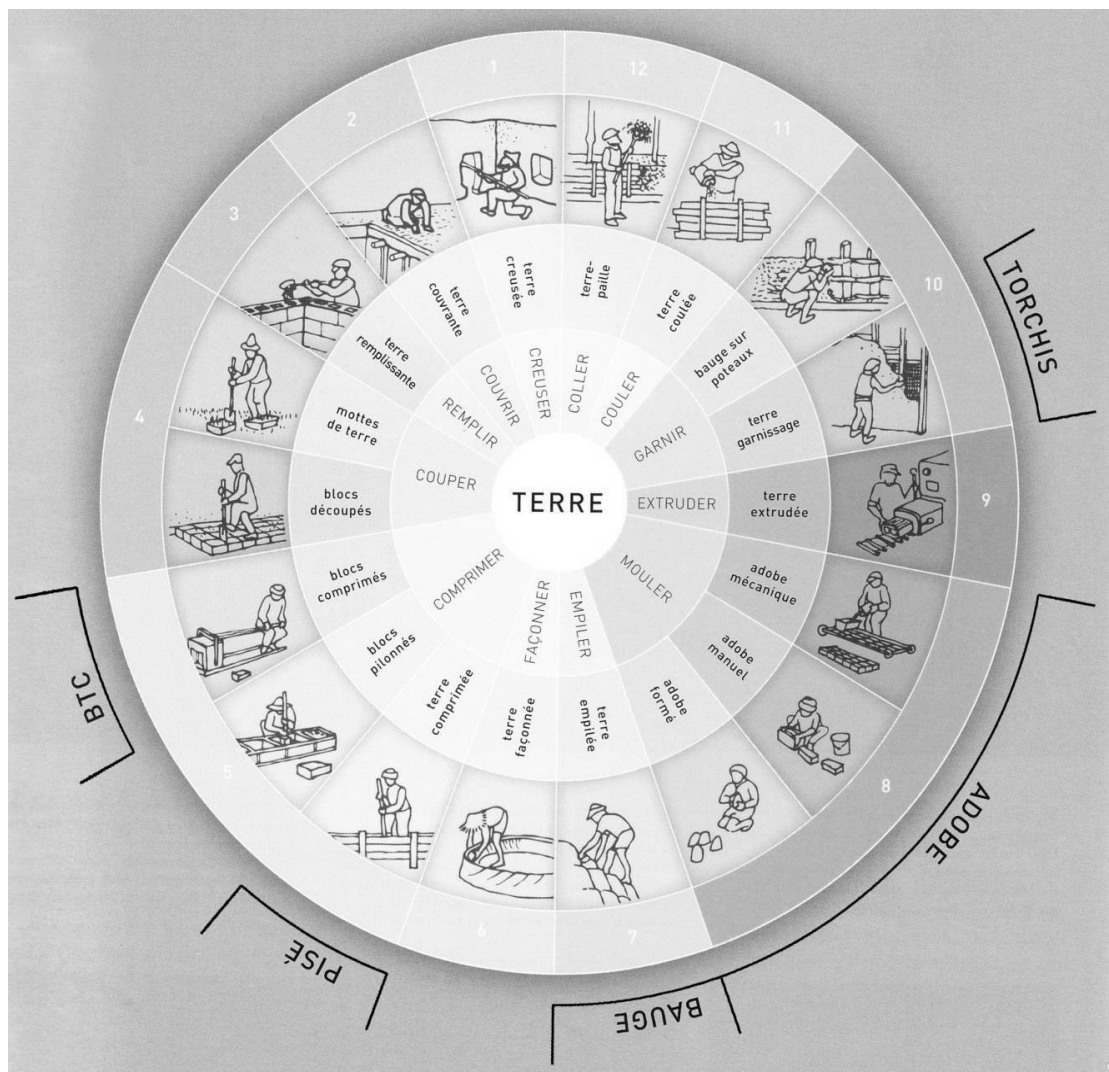


Figure.I.7 : Schéma des différentes techniques de construction en terre établi par le groupe CRATERRE en 1986 (Houben, 2006).

I.6 Les blocs de terre comprimée

I.6.1 Définition

Le bloc de terre comprimée est une évolution moderne du bloc de terre moulée, plus communément dénommé bloc d'adobe. L'idée de compacter la terre pour améliorer la qualité et la résistance de bloc de terre moulée est pourtant ancienne et à l'aide de piliers de bois que l'on réalisait les premiers blocs de terre comprimée. Elle a été développée aux années 50 dans le cadre d'un programme de recherche sur l'habitat rural en Colombie.

Le BTC est très régulier en forme et en dimension, ils sont pleins ou perforés ce qui permet de réaliser des travaux de maçonnerie très variés. Les blocs de terre comprimée, sont fabriqués à partir de terre humide et compactée dans une presse.

Le bloc de terre comprimée peut être stabilisé. Dans ce cas on parle alors de « bloc de terre comprimée stabilisée ». Stabiliser la terre, c'est modifier les propriétés d'un système terre, eau et air pour obtenir des propriétés permanentes compatibles avec des applications particulières.

I.6.2- Avantages des blocs de terre comprimée (H.Houben, Al, 1994)

✳ économiques :

- Réduction de la fuite des devises par une diminution des matériaux importés (ciment, acier et bois)
- une production manuelle à haute intensité de main d'œuvre qui favorise l'économie locale.

✳ écologiques :

- réduction d'émission de CO₂, dont 5% de l'émission mondiale provient de la production de ciment,
- réduction importante d'énergie consommée pour le transport du matériau de construction.

✳ disponibilité :

- la terre est disponible en quantités quasiment illimitées dans la plupart des régions.
- production possible de l'échelle artisanale à l'échelle industrielle, possibilité de produire directement sur le chantier,

✳ confort :

- atténuation de l'amplitude et de la rapidité des variations climatiques à l'intérieur des bâtiments, grâce à une grande inertie thermique.
- autorégulation du taux d'humidité à l'intérieur des réalisations grâce aux matériaux
- * Qualité architecturale
- produits aux dimensions standardisées, modulaires, réguliers et précis,
- permet la réalisation des architectures aux murs apparents

I.7 Constituants

I.7.1 Argiles

I.7.1.1 Rappel sur les argiles

Les argiles sont des minéraux issus de la décomposition de roches. Il s'agit de matériaux hétérogènes à différentes échelles. A l'échelle macroscopique, elles sont souvent associées à d'autres minéraux (quartz, feldspath...). A l'échelle microscopique, elles présentent une structure en feuillet. Il est important de prendre en compte la nature physicochimique des argiles, du fait que leur comportement rhéologique est gouverné par les interactions entre les feuillets argileux. Dans cette partie, et pour définir cette nature physicochimique, on présente la caractérisation minéralogique des différents niveaux d'organisation qui constituent les argiles.

I. 7.1.2 Définition

Il n'y a pas de définition universelle du terme « argile ». En effet, il en existe autant que de disciplines. Elles se fondent sur les propriétés physiques étudiées, comme par exemple la plasticité, sur l'emploi qui en est fait ou encore sur la structure cristallographique. L'argile à l'état naturel est rarement composée d'un seul minéral. Ainsi, elle correspond souvent à un mélange de phyllosilicates ; le minéral majoritaire lui donne alors son nom. Il y a, de plus, de nombreux minéraux associés comme les carbonates (dolomite, diobertite, calcite, aragonite...), la silice (quartz, cristobalite, tridymite), des oxydes et hydroxydes d'aluminium (corindon, gibbsite, diaspore,...) ou encore des minéraux ferri-fères (lépidocrocite, maghémite...).

Le terme argile désigne donc un mélange de minéraux argileux associés à d'autres minéraux

(feldspaths, quartz etc.) ainsi que des impuretés (oxyde de fer, titane etc.). Par ailleurs, ce mélange est caractérisé par une certaine plasticité et des grains ayant une taille inférieure à 2 μm (Michot, 2008).

I.8 Les propriétés fondamentales pour la stabilisation de la terre

D'une terre à l'autre, les propriétés sont changeantes et dépendent de la nature et du mélange complexe des tractions granulaires qui les composent. C'est souvent la fraction granulaire dominante d'une terre qui caractérise ses propriétés fondamentales et régit son comportement.

On distingue d'une part des propriétés chimiques liées à la présence de sels, d'oxydes, de carbonates ou de sulfates et, d'autre part, des propriétés physiques nombreuses telles que la couleur, la stabilité structurale, l'adhérence, la masse volumique apparente, la teneur en eau, la porosité ou indice des vides, le pouvoir adsorbant, le potentiel et la diffusion capillaire, la perméabilité, le retrait linéaire, la résistance sèche et d'autres encore. La connaissance de ces propriétés chimiques et physiques permet de préciser la qualité et le comportement d'une terre pour la construction (Rigassi, 1995).

On observera cependant que la connaissance exhaustive des propriétés chimiques et physiques d'une terre n'est pas toujours nécessaire. Il convient en effet de bien connaître quatre propriétés fondamentales de la terre, qui sont (Houben, 2006):

- la texture ou granularité ;
- la plasticité ;
- la compressibilité ;
- la cohésion ;

I.8.1 Stabilisation

I.8.1.1 Définition :

La stabilisation est l'ensemble des procédés permettant d'améliorer les caractéristiques d'une terre, afin de créer un matériau permettant la fabrication des blocs de terre comprimée.

I. 8.1.2 Objectif

En stabilisant, nous intervenons sur la texture et structure de la terre. Cinq opérations possibles sont :

- La réduction de volume de vide entre les particules ;
- La fermeture des vides qui ne peuvent être
- L'augmentation des liens entre les particules.
- Améliorer les caractéristiques mécaniques de la terre (résistance à la compression, cohésion) en réduisant les vides entre les particules, en améliorant ou en créant des liaisons entre les particules.
- Réduire la sensibilité à l'eau (gonflement, retrait) et la perméabilité en bouchant les vides entre les particules.

I.8.1.3 Procédés

Trois procédés permettent de stabiliser la terre :

- 1) **Stabilisation mécanique** : le compactage de la terre modifie sa densité, sa résistance mécanique ainsi que sa compressibilité, sa perméabilité et sa porosité.
- 2) **Stabilisation physique** : les propriétés d'une terre peuvent être modifiées en intervenant sur sa texture, c'est-à-dire en mélangeant judicieusement des fractions de grains de taille différentes.
- 3) **Stabilisation chimique** : d'autres matériaux ou des produits chimiques peuvent être ajoutés à la terre. Les liants (ciment et chaux éteinte) créent entre les grosses particules du sol des liaisons mécaniquement résistantes même si le matériau se trouve ensuite en présence d'eau.

I.8.1.4 Stabilisation au ciment

I.8.4.1 Généralités

Les premières tentatives de stabilisation au ciment dans le domaine routier, ont lieu aux U.S.A en 1915. La stabilisation au ciment, en construction de bâtiments, s'est développée indépendamment en Allemagne, dès 1920. Aux U.S.A, à partir de 1935, le sol-ciment est de plus en plus employé : routes, pistes d'aérodrome. Depuis lors, dans le monde entier, on ne compte plus les applications de la stabilisation au ciment autant dans le domaine des travaux publics que dans celui du bâtiment (Houben, 2006).

Le ciment est sans doute l'un des meilleurs stabilisants pour le bloc de terre comprimée. L'ajout de ciment, avant la compression, permet d'améliorer les caractéristiques du matériau, en particulier sa résistance à l'eau, par l'irréversibilité des liens qu'il crée entre les particules

les plus grosses. Le ciment va agir principalement sur les sables et les graviers comme dans le béton ou dans un mortier sable-ciment. De ce fait, il est inutile, voire néfaste, d'utiliser des terres trop argileuses (> 30 %) (Houben, 1996).

D'après Venuat (Venuat, 1980), tous les ciments normalisés conviennent en principe pour la stabilisation des sols, mais la préférence est donnée aux ciments de classes faibles, car une grande résistance n'est pas nécessaire. Alors que d'autres auteurs (Doat, 1979), préconisent un type de ciment selon la nature du sol :

- Sol contenant un certain pourcentage d'argile : emploi du ciment riche en alite C_3S et bélite C_2S qui donne, après hydratation, beaucoup de portlandite, $Ca(OH)_2$. Verdeyen conseille le ciment pour les sols dont la teneur en argile n'excède pas 20 à 30 % ($I_p < 25\%$) (Verdeyen, 1971).

I.8.4.2 Mécanisme de stabilisation

La poudre de ciment contient plusieurs phases différentes. Les phases principales sont: l'alite (C_3S), la bélite (C_2S), l'aluminate tricalcique (C_3A), l'aluminoferrite tétracalcique (C_4AF) et la périclase (MgO). Des phases mineures sont également trouvées: la chaux libre (CaO), les sulfates de sodium et de potassium (Na_2SO_4 et K_2SO_4) (Moszkowicz, 2001).

Suivant les proportions de ces éléments, les ciments pourront avoir des propriétés différentes. Par exemple, une forte teneur de C_3S donnera une résistance élevée, par contre un ciment à forte teneur en C_3A aura une faible résistance à l'action des eaux agressives. Une fois le mélange avec le sol est réalisé, le ciment va se dissoudre et s'hydrater si la quantité d'eau est suffisante pour former des constituants hydratés. La principale réaction provient de l'hydratation des deux silicates de calcium (C_3S et C_2S) qui forment deux nouveaux composés: la portlandite (CH) et le silicate de calcium hydraté ($C-S-H : 3CaO.2SiO_2.3H_2O$) :



L'hydratation des aluminates tricalciques (C_3A) dépend de la teneur en gypse du ciment. En présence de gypse, l'ettringite est formée ce qui contribue à l'augmentation de la

résistance :



En l'absence de gypse, les C_3A réagissent avec l'eau pour donner des C_4AH_{13} , C_2AH_8 , et des C_3AH_6 . Les C_4AH_{13} et C_2AH_8 sont instables. Sous l'action de la chaleur d'hydratation, ils se transforment en C_4AH_8 .

La phase ferrite (C_4AF) réagit rapidement en présence de gypse pour former de l'ettringite selon la réaction suivante :



La minéralogie et la granulométrie des sols traités influent peu sur les effets du ciment puisque la poudre de ciment contient en elle-même tout ce dont elle a besoin pour réagir et former des produits cimentaires ; le ciment va créer des liens physiques entre les particules augmentant ainsi la résistance des sols (Tran, 2009).

Pour le cas des sols pulvérulents, leurs particules ont des tailles plus grandes que celles des grains de ciment, donc elles peuvent être revêtues de ciment. Le ciment peut réagir avec lui-même ou avec le squelette granulaire du sable (United Nations, 1992).

Dans le cas des sols cohérents, beaucoup de particules sont plus fines que les grains de ciment, donc elles ne peuvent pas être revêtues par du ciment (Bell, 1975). Cependant, suite au compactage appliqué sur les hydrates de ciment, ces derniers forment un squelette rigide qui sera de plus en plus résistant à mesure que l'hydratation avance, menant à l'augmentation de la résistance.

De plus, une réaction en trois étapes avec de l'argile se produit (United Nations, 1992):

1. L'hydratation provoque la formation de gels de ciment à la surface des agglomérats d'argile.

La chaux libérée pendant l'hydratation du ciment réagit aussitôt avec l'argile. La chaux est vite consommée et l'argile entame une dégradation.

2. Progression de l'hydratation, la désagrégation des agglomérats d'argile ; ceux-ci sont Pénétrés en profondeur par les gels de ciment.

3. Interpénétration intime des gels de ciment et des agglomérats argileux. L'hydratation persiste, mais plus lente.

Dans certains cas, les particules d'argile pourront ralentir la prise du ciment en formant autour des grains une enveloppe protectrice. La composition chimique et minéralogique des argiles ainsi que leur quantité jouent donc un rôle fondamental dans les phénomènes d'interaction qui auront lieu et qui se poursuivront dans le temps entre elles et le ciment (Vénuat, 1980).

Il en résulte en fait trois structures mêlées (Houben, 2006) :

- une matrice inerte sableuse liée au ciment,
- une matrice d'argile stabilisée,
- une matrice de terre non stabilisée.

I.8.1.5 Stabilisation à la chaux

I.8.1.5.1 Mécanisme de stabilisation

Les théories de la stabilisation à la chaux suggèrent cinq mécanismes de bases (H. Hauben et H. Guillaud, 1995) :

- Absorption d'eau : plus remarquable en cas d'utilisation de la chaux vive. La chaux subit une réaction d'hydratation qui abaisse la teneur en eau du mélange.
- Echange cationique : L'addition de la chaux à une terre humidifiée correspond à un apport important d'ions de calcium. Par un phénomène d'échange cationique, ces ions de calcium se substituent aux cations échangeables (magnésium, sodium, hydrogène...) de la terre. La capacité d'échange cationique de la terre est déterminante dans ce phénomène.
- Floculation et agglomération : l'échange cationique et l'augmentation de la quantité d'électrolytes dans l'eau interstitielle conduisent à la floculation et agglomération des particules fines de la terre. Ainsi, il y a augmentation de la taille des agrégats de la fraction fine de la terre. La structure et la texture de la terre changent.
- Carbonatation : la chaux ajoutée à la terre réagit avec le dioxyde atmosphérique pour former du carbonate de calcium. Cette réaction consomme une partie de la chaux disponible pour les réactions pouzzolaniques.

- Réaction pouzzolanique : C'est le mécanisme le plus important influençant la stabilisation à la chaux. Les propriétés de résistances du matériau sont dues essentiellement à une dissolution des minéraux argileux dans un environnement alcalin produit par la chaux et à la recombinaison de la silice et de l'alumine des argiles avec le calcium pour former des silicates d'aluminium et de calcium qui ciment les grains entre eux.

I.9 Conclusion

A travers cette recherche bibliographique, on a remarqué que plusieurs travaux de recherches ont confirmé que l'emploi des liants minéraux (ciment et chaux) et le bitume comme stabilisants améliore la résistance mécanique et la sensibilité à l'eau des BTC.

Chapitre II

Généralités sur les fibres

II.1 Introduction

Les fibres sont de plus en plus utilisées dans le domaine de la construction. Depuis plus d'un siècle, les fibres naturelles sont utilisées dans de nombreux domaines d'application tels que le textile et le papier. Aujourd'hui avec l'intérêt croissant des industries pour des produits écologiquement corrects, des fibres naturelles sont produites pour des applications en tant que renfort dans le domaine de Génie civil. De bonnes propriétés mécaniques, une faible densité, un faible coût ainsi que la disponibilité des fibres naturelles, représentent les avantages majeurs par rapport aux fibres traditionnelles (M. Duriez, Jarrambide).

II.2 Historique et perspective de l'utilisation des fibres.

L'idée de l'utilisation des fibres est très ancienne. Les fibres ont été utilisées dans la fabrication des cordes et textiles. Comme élément de renforcement des matériaux de construction traditionnels, la première utilisation des fibres a été observée dans la fabrication des briques argileuses ou dans les mises en œuvre des plâtres, et spécialement par des fibres végétales. La naissance de la fibre industrielle, suite aux développements technologiques, a augmenté les champs d'applications des fibres dans plusieurs domaines. Utilisé dans le domaine des textiles depuis le XIXe siècle sous forme de fibre de coton, et partir de l'année 1935 la fibre de Nylon (plastique), et récemment la fibre de polypropylène prédomine depuis l'année 1950 la production des cordes et câbles utilise les fibres de verre et d'acier. Cependant, dans le domaine de la construction, la première fibre utilisée dans le renforcement des ciments fut la fibre d'amiante vers les années 1900 Si la fibre d'amiante est considérée comme étant la première fille dans la famille des fibres minérales utilisées dans le renforcement des ciments, la fibre de verre est la première sœur. En effet, le renforcement des ciments par les fibres de verre a commencé à partir des années 50, pour répondre aux exigences et aux nécessités de production des matériaux résistants, durables et légers, mais aussi et surtout pour se substituer à l'amiante, originaire de plusieurs maladies sanitaires. Depuis 1966, les efforts ont été concentrés pour l'amélioration de la qualité de la fibre de verre notamment sa résistance aux alcalis Parallèlement, la technologie d'utilisation des fibres d'acier fût développée. Des recherches se poursuivent pour adapter ces matériaux aux bétons à hautes performances Dernièrement, des recherches sont axées vers l'incorporation des fibres végétales ou naturelles tels que le sisal, la jute et la hampe dans le renforcement des matériaux de construction et particulièrement dans les ciments L'avenir du développement dans le domaine du béton de fibre sera fort probablement attribué aux fibres végétales, notamment pour les pays en voie de développement.

II.3. Stabilisation par fibres

La stabilisation par armature à l'aide de fibres est très employée de par le monde en construction en terre. Les fibres sont principalement employées pour la confection des blocs Moulés par pétrissage, avec des terres plutôt argileuses présentant souvent un important retrait. Les productions artisanales de briques d'adobe stabilisées à la paille sont très variées mais on connaît aussi l'emploi de fibres pour construire en torchis, en terre-paille, en bauge ainsi qu'en blocs comprimés et en pisé (Houben, 2006). Pour le cas des fibres synthétiques, elles sont utilisées généralement dans le renforcement des sols pour augmenter les résistances à la compression et au cisaillement (Estabragh, 2011 ; Prabakar, 2002).

II.4. Les fibres

Les fibres sont caractérisées par une longueur au moins trois fois supérieure à leur diamètre. On peut dire que sous l'appellation " fibres" se cache une grande famille de matériau qui a été introduite dans le commerce comme de nouvelles applications. Elles sont classées selon leur origine (naturelles, synthétiques et artificielles), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc), leur dimension (macro ou micro-fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour une application donnée, il faut tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et le mode de performance du composite.

II.4.1 Différents types de fibres

Plusieurs types des fibres sont utilisés dans la construction, elles peuvent être classées par famille :

II.4.1.2 Les fibres naturelles

On peut subdiviser les fibres naturelles en trois grands groupes selon leur origine (figure II.1) (Baley, 2013) :

Les fibres végétales : 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.

Les fibres végétales comprennent :

- des fibres provenant des poils séminaux de graines (coton, kapok),
- les fibres libériennes extraites de tiges de plantes (lin, chanvre, jute, ortie),
- les fibres extraites de feuilles (sisal), de troncs (palmier), d'enveloppes de fruits (noix de coco) ;

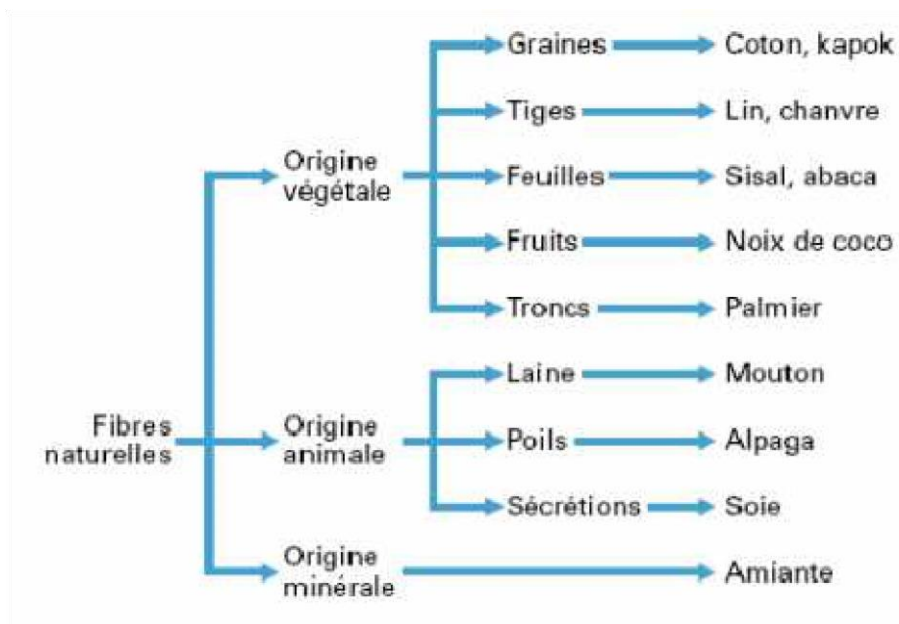


Fig.II.1 : Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine (Baley, 2013)

– **Les fibres animales** : La fibre la plus importante et la plus utilisée est la fibre de laine connue pour ses qualités de bon isolant thermique, son pouvoir absorbant élevé (16-18%) et son élasticité importante (45%) (Feughelman, 1997). Les fibres animales sont classées selon leur provenance, on note essentiellement :

- Poils : la laine (obtenue par la tonte de moutons), alpaga, angora, chameau, cachemire,...
- Sécrétions : soie (Bombyx Mori), soie sauvage, fils d'araignée ;

– **Les fibres minérales** : L'amiante est la seule fibre minérale naturelle. Elle a attiré

L'attention des industriels pour sa résistance à la chaleur, au feu, aux agressions électriques et chimiques et pour son pouvoir absorbant. Elle a été utilisée dans diverses installations industrielles et même en construction avant de l'interdire progressivement à cause des risques cancérogènes qu'elle présente (Service, 2004).

II.4.1.3 Fibres synthétiques

Les fibres synthétiques sont fabriquées avec des polymères de synthèse obtenus à partir de substances ou de composés fournis par l'industrie pétrochimique. Elles ont fait leurs apparitions au début de 20^{ème} siècle, après la réussite de la fibre de Viscose, depuis lors, un grand nombre de fibres synthétiques ont été mises au point ; elles possèdent chacune des propriétés qui répondent à un type particulier d'application. Ces fibres, tout comme les fibres artificielles, sont obtenues par filage. Elles suscitent l'intérêt de beaucoup d'industriels pour leur faible coût, leur disponibilité et leur indépendance des saisons et surtout la possibilité de les adapter et modifier leurs propriétés, par contre, elles sont très critiquées quant à leur comportement vis-à-vis de l'environnement que ce soit pendant le processus de fabrication ou après leur utilisation et les difficultés de leur recyclage.

Les principales catégories de fibres synthétiques commercialisées sont :

- Les polyamides (Nylons) ;
- Les polyesters ;
- Les dérivés polyvinyliques ;
- Les polyoléfines : les polyéthylènes et les polypropylènes : sont d'une importance croissante et leur production s'élève maintenant à environ 8% de

Toutes les fibres synthétiques (Quinn, 2002).

II.4.1.4 Fibres artificielles :

Ce type de fibres est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine de génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres d'acier et d'autres. Elles sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie de la construction.

II.5 Les fibres végétales

II.5.1 Propriétés mécaniques des fibres végétales

De manière générale, les fibres naturelles sont convenables à renforcer des matrices therm durcissables et thermoplastiques, grâce à leur résistance et leur rigidité relativement hautes et leur basse densité. Les propriétés mécaniques des fibres végétales en traction présentent de nombreux atouts pour renforcer les matériaux composites si on s'intéresse aux impacts environnementaux. Cependant, il y a relativement peu de données fiables disponibles

dans la littérature pour leur sélection, dues aux limitations dans la méthodologie d'essai (M. DURIEZ, JARRAMBIDE).

II.6 Classification des Fibres Végétales

II.6.1 Les fibres de feuilles

Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Les fibres sont fabriquées par chevauchement de paquet qui entoure le long des feuilles pour les renforcer ces fibres sont dures et rigides. Les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont (R. Delebecque, Collection Mémento Technique) :

a) L'abaca

L'Abaca ou chanvre (Figure II. 4) de Manille est un bananier textile (Musacées) qui pousse aux Philippines : les fibres dans les gaines foliaires forment un pseudo tronc très recherché pour la fabrication de cordages légers et insubmersibles, et aussi de rabanes, nappes, stores, vêtements.

La fibre d'Abaca a une longueur de 6 mm pour un diamètre de 22 μm . Elle est utilisée principalement dans la composition des papiers filtres, des sachets de thé. Ce sont des papiers poreux demandant une bonne résistance, en particulier au déchirement (Collection Mémento Technique).

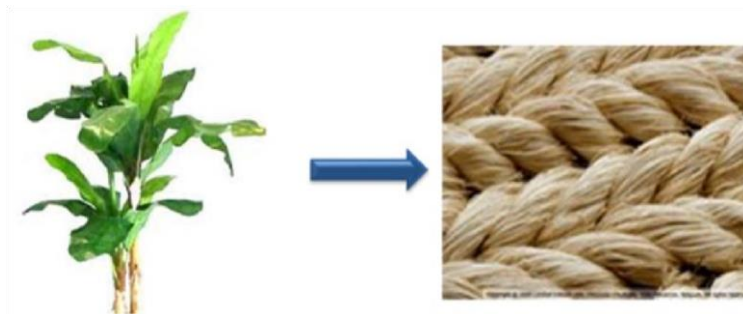


Figure II. 4. Fibre d'abaca (Mvenueat)

b) Le sisal

Le sisal est une espèce d'agave, ses fibres sont extraites des feuilles de la plante sisal (Figure II. 5) dont le nom scientifique est *agave sisalana*. Originnaire du Yucatan (près des Antilles), elle est essentiellement cultivée en Amérique du sud, en Afrique et en extrême orient.

Un plant de sisal produit jusqu'à 300 feuilles et chaque feuille contient 1000 à 1200 paquets de fibres. Ces dernières sont relativement rigides et flexibles et sont multicellulaires avec des cellules ayant différentes formes.

La longueur des fibres de sisal varie de 0,6 à 1,2 m avec un diamètre moyen de 200 μm leur couleur est crème (parfois jaunâtre).

Les méthodes de traitement pour l'extraction des fibres ressemblent étroitement à celles du lin ; les fibres sont ensuite lavées à grande eau afin d'enlever les déchets (Edition AFNOR).



Figure II. 5. Fibre de sisal (Mvenueat).

II.7 Avantages Et Inconvénients Des Fibres Végétales

Le tableau II. 3 présente les avantages et les inconvénients des fibres végétales comme renfort dans la matrice polymère. La biodégradabilité des fibres peut être considérée comme un avantage ou un inconvénient. Pour la recyclabilité, les fibres sont considérées comme avantageuses. Par ailleurs, il n'existe pas de structure composite à durée de vie illimitée, tout matériau étant voué à devenir déchet. L'utilisation de ce type de matériau impose de placer la structure composite en dehors des conditions de biodégradabilité. Cette démarche est appliquée par exemple pour le bois.

Tableau II. 3. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts dans les matrices polymères (Meukam P).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Faible coût -Biodégradable -Neutre pour l'émission de CO₂ -Pas de résidus après incinération -Resource renouvelable -Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité) <ul style="list-style-type: none"> - Non abrasif pour les outillages Demande peu d'énergie pour la production <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres - Bon isolant thermique et acoustique 	<ul style="list-style-type: none"> -Absorption d'eau -Fibres anisotropes <ul style="list-style-type: none"> -Pour des applications industrielles, nécessite de gestion d'un stock -Faible stabilité dimensionnelle. Faible tenue thermique (200 à 300°C max). <ul style="list-style-type: none"> - Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, des conditions météorologiques - Renfort discontinu

II.8 Conclusion

La stabilisation des BTC par des fibres et en particulier les fibres végétales n'a pas eu le consensus de tous les chercheurs. Il y a des recherches qui n'ont pas recommandé l'utilisation des fibres végétales dans la fabrication du BTC à cause de son incompatibilité avec le mode de compactage des BTC, alors que d'autres reconnaissent les fibres végétales comme une importante catégorie de stabilisants des BTC. Donc la synthèse sur les travaux antérieurs a mis en évidence les besoins d'expérimentation sur l'effet de l'introduction des fibres.

Chapitre III

Matériaux et procédure expérimentale

III.1 Introduction

L'objectif principal de ce travail est l'étude de l'influence des fibres naturelles sur les propriétés mécaniques d'un BTC préparé à base de l'argile de Chaaba E Hamra (Wilaya de M'sila). Ce chapitre a pour objectif de présenter les résultats d'identification des matériaux utilisés, les procédures expérimentales suivies. De plus, une brève description du site de prélèvement de l'argile étudiée.

III.2 Matériaux

III.2.1 Localisation du site de prélèvement

Le sol utilisé provient de la région de M'sila (Algérie), il est choisi sur la base de sa disponibilité et son abondance dans la région (dite également bou khmissa).

Cet endroit se trouve à la partie Nord de la commune de M'sila (Algérie) (**Figur.III.1**).



Fig.III.1 Localisation de site de prélèvement

III.2.2 Caractérisation du sol étudié

III.2.2.1 Analyses de terrain

Nous avons pratiqué sur le terrain quelques essais simples permettant d'apprécier certaines caractéristiques de la terre de l'argile rouge.

III.2.2.2 Analyse chimique

Les résultats de l'analyse chimique sont présentés dans le Tableau.III.1

Tableau.III.1 : Analyse chimique du l'argile rouge

Elément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl	K ₂ O	Na ₂ O	PAF
%	34,62	9,16	3,44	22,52	4,66	0,94	0,63	1,1	0,14	22,98

III.2.2.3 Essais d'identification de l'argile rouge

III.2.2.4 Analyse granulométrique (NF P 94-056)

Elle a pour but de déterminer la distribution des particules qui forment le squelette des sols en vue de leur classification et elle s'effectue en deux opérations successives et complémentaires :

- L'analyse granulométrique par tamisage du sol à l'eau suivant le mode opératoire de la norme (NF P 94-056). Cet essai réalisé sur la fraction supérieur à 0.08mm (Figure).



Figure.III.2 Appareillage de l'analyse granulométrique par tamisage

Tableau.III.2 : Analyse granulométrique par tamisage

Tamis (mm)	Tamisats (%)			Moyenne
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	
2	99,51	99,42	99,55	99,49
1,6	97,64	96,847	95,261	96,582
1,25	89,56	88,38	86,02	87,98
1	83,9	82,77	80,51	82,39
0,8	75,98	74,953	72,899	74,61
0,63	69,12	68,334	66,762	68,072
0,5	63,78	63,175	61,965	62,97
0,315	49,94	49,651	49,073	49,554
0,2	48,44	47,351	45,173	47,48
0,125	18,8	18,519	17,957	18,42
0,1	12,28	11,797	10,831	11,636
0,08	6,8	6,338	5,414	6,184

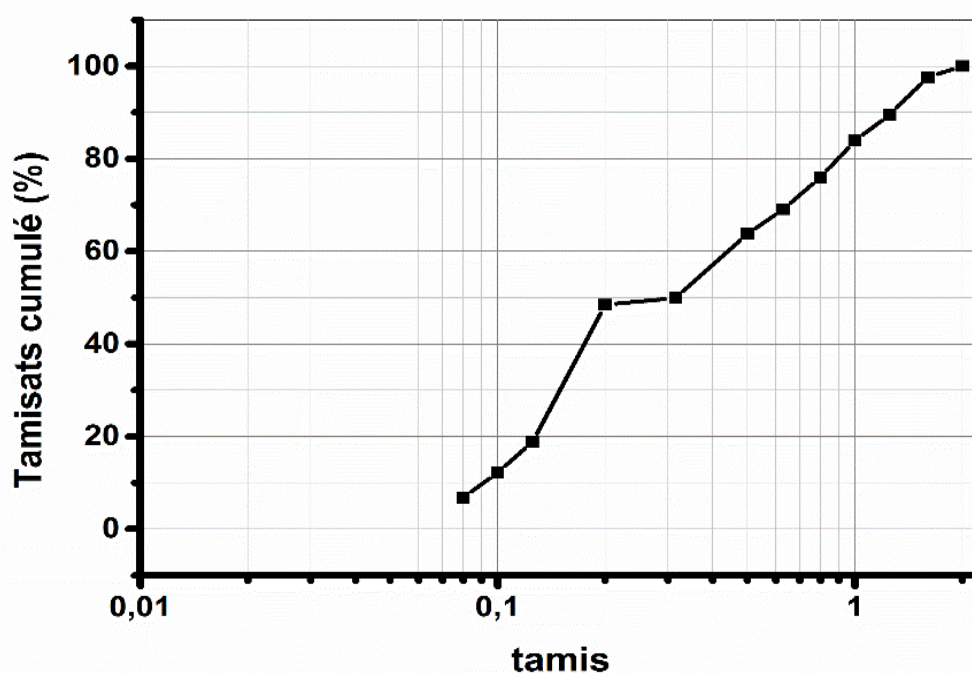


Fig.III.3 : Courbe Analyse granulométrique par tamisage

III.2.2.5 Les Masses Volumiques du sol

Le tableau.III.3 montre les masses volumiques apparente et absolue du sol étudié.

Tableau.III.3 : Masses volumiques du sol.

Masse volumique apparente /état lache		Masse volumique apparente/état compact		Masse volumique absolue	
valeur (g/cm ³)	Moy (g/cm ³)	valeur (g/cm ³)	Moy (g/cm ³)	valeur (g/cm ³)	Moy (g/cm ³)
1,195	1,207	1,347	1,371	2,5	2,5
1,218		1,368		2,35	
1,208		1,399		2,66	

III.2.2.6 Les limites d'Atterberg (NF P94-051)

Les limites d'Atterberg sont des caractéristiques géotechniques conventionnelles d'un sol qui marquent les seuils entre :

- Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique : limite de liquidité (WL).
- Le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide : limite de plasticité (Wp).

Ces limites ont pour valeur la teneur en eau du sol à l'état de transition considérée, exprimée en pourcentage de masse de la matière première brute.

La différence $I_p = WL - Wp$ qui définit l'étendue du domaine plastique, est particulièrement importante, c'est l'indice de plasticité. L'indice de plasticité permet d'apprécier la quantité et le type d'argiles présentes dans un échantillon. Il définit donc l'argilosité de l'échantillon (Figure.).



Fig.III.5 : Appareillage d'essai

Le Tableau ci-après représente les résultats obtenus

Tableau.III.1. Résultats de l'essai de la limite de liquidité.

Essai	1		2		3		4		5	
Tare+sol humide (g)	25.7	25.22	17.03	17.15	24.63	24.53	22.58	25.12	41.97	33.65
Tare+sol sec (g)	23.05	22.75	15.23	15.32	22.39	22.3	20.2	22.81	39.88	31.22
Masse d'eau (g)	2.65	2.47	1.8	1.83	2.24	2.23	2.38	2.31	2.09	2.43
Tare (g)	13.7	13.71	8.6	8.56	13.69	13.71	10.78	13.65	31.29	21.11
Masse de sol sec (g)	9.35	9.04	6.63	6.76	8.7	8.59	9.42	9.16	8.59	10.11
Teneur en eau (%)	28.34	27.32	27.15	27.07	25.75	25.96	25.26	25.22	24.33	24.03
Nombre de coups N	19		22		26		31		34	
Teneur en eau moyenne (%)	27.32		27.11		25.85		25.24		24.18	

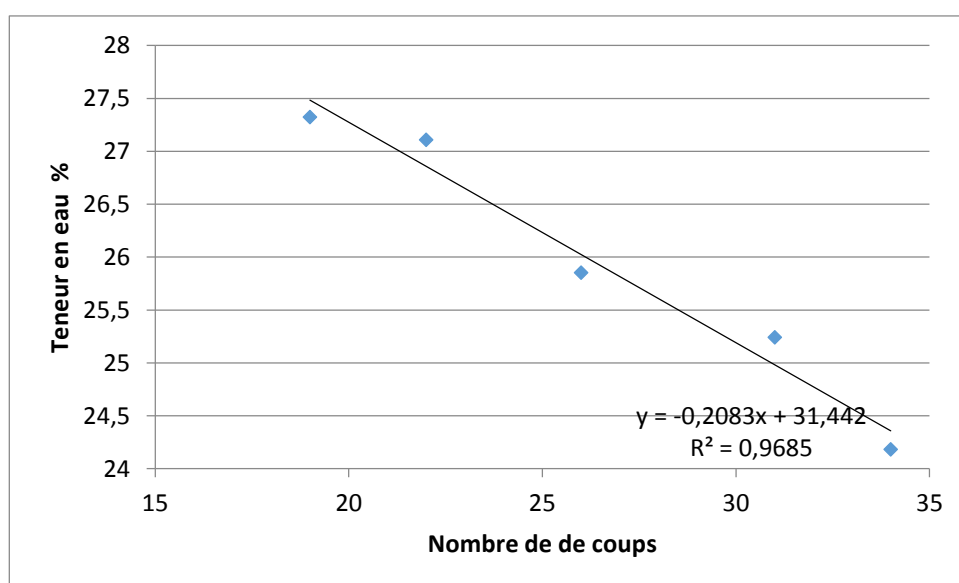


Figure. IV.6:Détermination de la limite de liquidité.

les résultats de cet essai sont regroupés dans le tableau suivant:

Tableau. IV.3: Détermination de la limite de plasticité.

Essai	1	2	3
Tare +Sol humide (g)	10.77	29.13	10.92
Tare +Sol sec (g)	10.47	28.83	10.62
Masse d'eau (g)	0.3	0.3	0.3
Tare (g)	8.7	27.28	8.92
Masse de sol sec (g)	1.77	1.55	1.7
Teneur en eau (%)	16.95	19.35	17.65
Moyenne (%)	17.98		

Tableau.III.4 : Récapitulatif des résultats des essais des limites d'Atterberg

Limite de liquidité ω_L (%)	Limite de plasticité ω_P (%)	Indice de plasticité
26	18	8

III.2.2.7 L'essai au bleu de méthylène (NA1948, NF P 94-068)

L'essai est réalisé sur la fraction <0.08 mm, il consiste à déterminer la quantité de bleu de méthylène nécessaire à la saturation des particules argileuses en suspension dans l'eau et en permanence agitation.

La valeur au bleu de méthylène constitue un paramètre d'identification permettant de mesurer la surface spécifique des particules solides contenues dans les sols fins et de déterminer l'activité de leur fraction argileuse.



Fig. III.6 : Appareillage d'essai

Tableau.III.5 : Valeurs au bleu de méthylène par l'essai à la tâche

	Masse du sol (g)	Volume de la solution (cm ³)	VBS
Essai 1	80	125	1,68
Essai 2	80	115	1,56
Moyenne	80	120	1,62

La valeur de bleu VBS est égale à 1,62. D'après la norme française (NF P 11-300), il s'agit d'un sol argileux.

III.3.1 Déchets de brique

La brique utilisée dans cette étude est obtenue par broyage du déchet collecté de différents chantiers (Figure III.7).

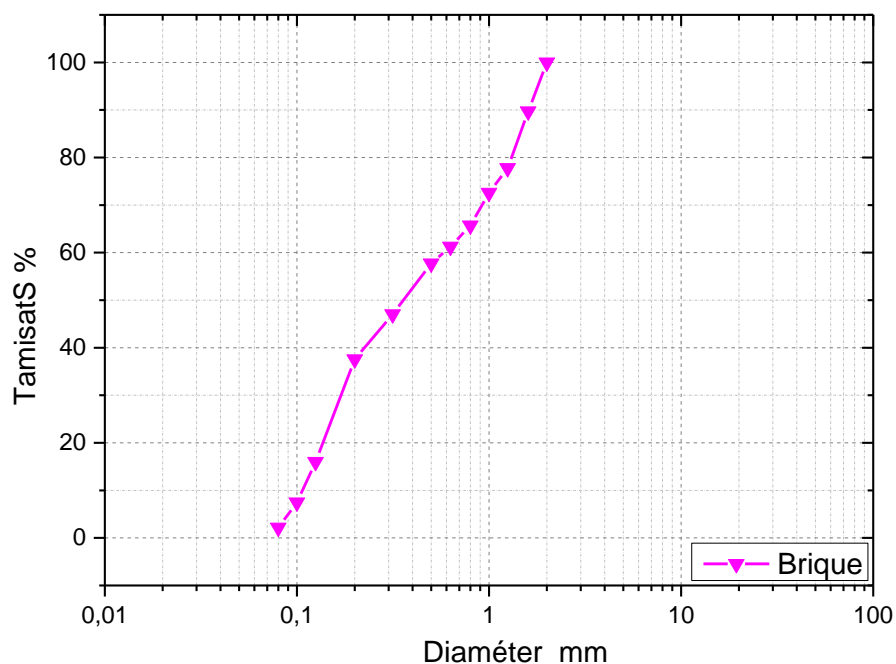


Fig.III.7 : Courbe granulométrique de la brique broyée.

III.3.3 Masse volumique de la brique broyée

Tableau.III.6 : Masses volumiques de la brique broyée.

Masse volumique apparente /état lache		Masse volumique apparente/ état compact		Masse volumique absolue	
valeur (g/cm ³)	Moy (g/cm ³)	valeur (g/cm ³)	Moy (g/cm ³)	valeur (g/cm ³)	Moy (g/cm ³)
1,134	1.124	1,327	1.329	2,352	2,358
1.118		1.328		2,5	
1.121		1.334		2,222	

III.4.1 Ciment

Nous avons utilisé un ciment CEMII/A-L classe 42,5 de Ain touta produit l'usine la wilaya de Batna. Les caractéristiques chimiques du ciment utilisé tirées de la fiche technique sont présentées sur le Tableau jointes en annexe.

III.5.1 Fibres

Les fibres utilisées dans cette étude sont des fibres végétales (Filasse de sisal)



Figure. III.8 : Fibres de filasse utilisées.

Caractéristiques des fibres utilisées

Longueur : 5cm.

Diamètre : 7- 47

Densité : 1,20(d/cm)

III.6.1 Procédures Expérimentales

Les blocs de BTC utilisés dans cette étude sont produits à base des déchets de brique. La première phase de l'étude consiste en l'optimisation du taux de brique employée. Cette dernière est déterminée sur la base de critères granulométriques du mélange sol-brique, d'une part, et des critères de plasticité du mélange, d'autre part.

La Figure ci-après montre la position de la courbe granulométrique combinée dans le fuseau recommandé. D'après la Figure, il est clair que la majorité de la courbe est incluse dans le

fuseau. Nous avons limité l'utilisation de la brique à 20%, pour conserver l'aspect plastique de l'argile ($25\% < W_l < 50\%$; $10\% < W_p < 25\%$).

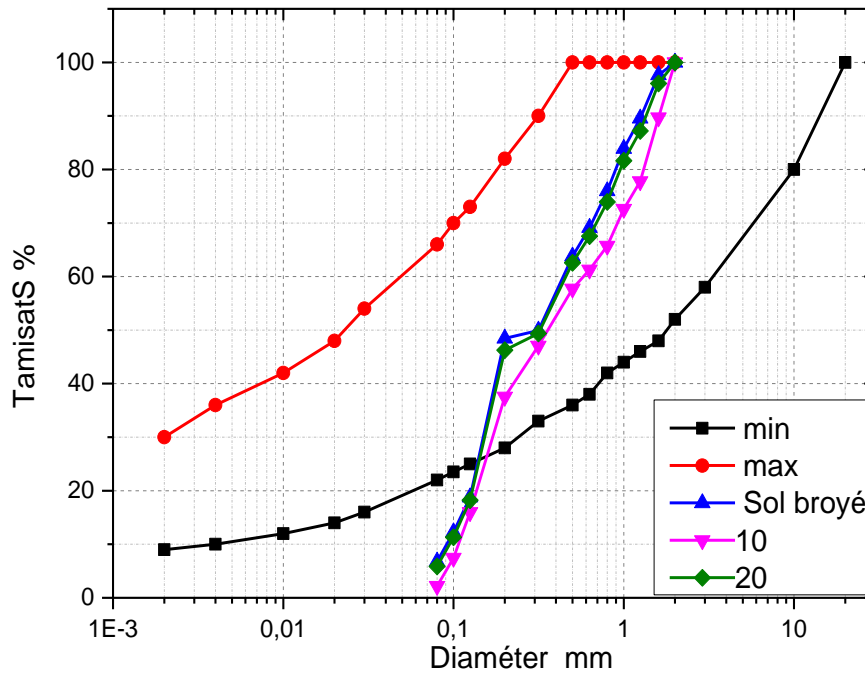


Figure III.9 : la courbe granulométrique du mélange sol-brique.

Tableau.III.7 : les essais expérimentaux du sol étudié

Essai	Norme
Analyse granulométrique par tamisage	<i>NF P 94-056</i>
Les limites d'Atterberg	<i>NF P94-051</i>
L'essai au bleu de méthylène	NF P 94-068
La résistance à la compression	NF P 18-406

III.7.1 Confection des blocs

Préparation des mélanges :

1-Tamisage et étuvage : le sol a été tamisé à l'aide d'un tamis de 0.8mm de maille puis séché à l'étuve à 55°C.

2- On pèse les quantités nécessaires des différents matériaux : argile, ciment, déchet de brique Fibre et eau.

3- Préparation des moules : après le nettoyage et graissage à l'aide d'une huile les moules sont prêts pour utilisation.

4- le malaxage : L'opération est exécutée comme suit :

On pose l'argile sèche avec la quantité du ciment et fibre et également déchet de brique, on malaxe le mélange à sec durant 60 à 120 secondes

On ajoute une quantité d'eau puis on malaxe pendant 120 à 180 seconde

Jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène et humide.

Le malaxage est la préparation des moules sont des opérations importantes dans la Fabrication de la BTC

Le moulage des éprouvettes : cette opération est exécutée à l'aide d'une presse hydraulique du laboratoire de matériaux et mécanique de structure (LMMS) (figure).

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes cylindriques des dimensions (10*20) cm³.



Figure.III.10 Le Présurasse De Fabrication De BTC



Figure.III.11 Presse Hydraulique Du Laboratoire De Développement LMMS, Université De M'sila.

III.7.1.2 Conservation au laboratoire

Tous les blocs étudiés sont conservés au laboratoire à une température $T= 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 28 jours (figure).



Fig.III.12 : Conservation des blocs au laboratoire.

III.7.2.2 Essai de compression simple (la norme P 18-406)

L'essai de compression est réalisé suivant la norme P18-406

La résistance à la compression est réalisé suivant est donnée par la formule suivante :

$$R_c = F/S$$

Où :

R_c : Résistance à la compression des blocs en (MPa).

F : Charge maximale supportée par les deux demi-blocs (KN).

S : Surface moyenne des faces d'essai en cm^2



Fig.III.13 : Le bloc après écrasement

III.7.2.3 Essai de traction par fendage :

Cet essai est dérivé de l'essai de traction par fendage (essai Brésilien). Il s'agit de soumettre le bloc après une cure à une compression le long de deux baguettes situées de part et d'autre d'un bloc, ce qui se traduit en une contrainte moyenne de traction suivant une facette verticale passant entre ces deux baguettes. Cet essai est réalisé selon la procédure de Centre pour le développement de LABORATOIRE de université de m'sila LMMS (2019) (figureIII.15).



Fig.III.14 : l'essai de traction par fendage.

La résistance à la traction par fendage des blocs est donnée par la formule suivante :

$$R_t = 0.9 \times 10 \times 2F / \pi l h$$

R_t : Résistance à la traction des blocs en Méga Pascal (MPa).

F : Charge maximale supportée par les deux demi- blocs en KN

l : Largeur du bloc en centimètres (cm).

h : Epaisseur du bloc en centimètres (cm)

III.8.1 Codage d'essais

Pour faciliter l'interprétation des résultats le codage suivant a été adopté :

C_a/F_b

Avec :

c : désigne le ciment

a : pourcentage du ciment utilisé

F : fibres

b : pourcentage des fibres ajoutées

Tableau.III.8 : Codage d'essais.

Code	Sol %	Brique %	Ciment %	Fibres %
C_0/F_0	80	20	0	0
C_0/F_0,1	80	20	0	0,1
C_0/F_0,2	80	20	0	0,2
C_0/F_0,3	80	20	0	0,3
C_0/F_0,4	80	20	0	0,4
C_0/F_0,5	80	20	0	0,5
C_5/F_0	76	19	5	0
C_5/F_0,1	76	19	5	0,1
C_5/F_0,2	76	19	5	0,2
C_5/F_0,3	76	19	5	0,3
C_5/F_0,4	76	19	5	0,4
C_5/F_0,5	76	19	5	0,5
C_7/F_0	74.4	18.6	7	0
C_7/F_0,1	74.4	18.6	7	0,1
C_7/F_0,2	74.4	18.6	7	0,2
C_7/F_0,3	74.4	18.6	7	0,3
C_7/F_0,4	74.4	18.6	7	0,4
C_7/F_0,5	74.4	18.6	7	0,5
C_9/F_0	72.8	18.2	9	0
C_9/F_0,1	72.8	18.2	9	0,1
C_9/F_0,2	72.8	18.2	9	0,2
C_9/F_0,3	72.8	18.2	9	0,3
C_9/F_0,4	72.8	18.2	9	0,4
C_9/F_0,5	72.8	18.2	9	0,5

III.9 Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les caractéristiques des différentes matières premières qui entrent dans la composition des blocs de terre comprimée fibrés développés dans cette étude. Il s'agit de la terre et de stabilisants : le ciment, et les fibres. Les fibres utilisées dans cette étude sont d'origine végétale (fibres de SISAL).

La présentation de la composition des mélanges et les procédures de fabrication des BTC dans ce chapitre, va nous permettre de mieux analyser les résultats et d'avoir une meilleure compréhension de l'influence des différents paramètres étudiés sur les propriétés du BTC fibré.

Chapitre IV

Interprétation des résultats et discussion

IV.1 Introduction

Ce chapitre a pour objet de présenter et interpréter l'ensemble des résultats des essais réalisés sur le sol de chaaba alhamra (bou khmissa). La première partie du chapitre est consacrée aux résultats d'essais effectués sur le sol naturel, tandis que la deuxième partie traite le comportement du sol renforcé par les fibres de sisal et traité au ciment.

IV.2 Présenté le résultat

IV.2.1 Effet des fibres sisal sur la résistance à la compression Rc a 28j deBTC

Les résultats de l'essai de compression sont représentés dans la le tableau (IV.1) et la Figure (IV.1) par leurs moyennes.

Tableau(IV.1).: Effet de Fibre de sisal sur la résistance à la compression Rc a 28j sur BTC

Fibre(%)	masse(g)	temps (s)	Résistance Rc(MPA)	Rc moyenne MPA
F_0/C_0	3394.05	65.2	1.13	1,12
	3384.33	66.6	1.09	
	3417.02	79.6	1.14	
F_0.1/C_0	3268.10	56.3	1.39	1,43
	3280.02	47.7	1.41	
	3224.33	45.3	1.49	
F_0.2/C_0	3314,1	50,1	1,46	1,52
	3425,23	62,1	1,44	
	3334,17	51,3	1,66	
F_0.3/C_0	3440.06	55.2	1.39	1,79
	3389.58	51.4	1.76	
	3434.98	48.6	2.22	
F_0.4/C_0	3429.37	61.3	1.85	1,62
	3419.87	70.0	1.54	
	3366.98	52.4	1.47	
F_0.5/C_0	3399.58	65.9	1.86	1,91
	3403.95	58.7	1.94	
	3413.96	70.6	1.936	

Tableau(IV.2) : Effet de Fibre de sisal et dosage de 5 % ciment sur la résistance à la compression Rc a 28j sur BTC

Teneur en ciment/fibre (%)	masse(g)	Temps (s)	Résistance RC (Mpa)	RC moyenne (Mpa)
F_0/C_5	3314.04	69.4	4.16	4,12
	3328.01	57	3.33	
	3319.33	71	4.87	
F_0.1/C_5	3376.68	24.2	5.13	5,023
	3407.62	20.61	4.22	
	3322.17	22.15	5.719	
F_0.2/C_5	3292.23	42.3	6.05	5,616
	3302.77	19.8	5.29	
	3315.02	20.5	5.508	
F_0.3/C_5	3384.19	23.9	5.23	5,426
	3395.23	20.4	4.96	
	3355.11	21.6	6.07	
F_0.4/C_5	3284.32	21.5	5.63	5,09
	3390.77	22.3	4.12	
	3310.11	24.5	5.52	
F_0.5/C_5	3405.07	25.8	5.2	6,01
	3422.27	28	6.33	
	3402.59	30.15	6.5	

Tableau.IV.3 : Effet de Fibre de sisal et dosage de 7 % ciment sur la résistance à la compression à 28 jours sur BTC.

Teneur en ciment/fiber (%)	masse(g)	temp(s)	Résistance RC (MPa)	Rc moyenne MPA
F_0/C_7	3219.79	77.2	4.42	4,87
	3327.68	85.8	4.33	
	3108.59	92.2	5.86	
F_0.1/C_7	3349.40	21.2	5.23	6,01
	3288.60	20.98	6.55	
	3492.21	23.15	6.25	
F_0.2/C_7	3282.67	21.7	6.23	7,22
	3325.10	23.1	7.98	
	3339.77	22.2	7.45	
F_0.3/C_7	3310.36	39	7.20	7,16
	3327.67	32,1	7.04	
	3392.17	41	7.24	
F_0.4/C_7	3324,28	46,3	5,46	5,45
	3351,47	39,78	6,11	
	3363,93	42,65	4,78	
F_0.5/C_7	3332.26	47.2	6.85	6,33
	3303.35	47.5	5.43	
	3368.31	41.5	6.71	

Tableau.IV.4 : Effet de Fibre de sisal et dosage de 9 % ciment résistance la compression à 28jours sur BTC.

Teneur en ciment/fibre (%)	masse(g)	temp(s)	Résistance Rc (MPa)	Rc moyenne MPa
F_0/C_9	3225.59	26,23	5.61	5,46
	3222.76	19,45	5.24	
	3212.52	22,17	5.53	
F_0.1/C_9	3317.71	25.2	8.31	8,17
	3359.46	19.5	7.56	
	3319.46	23.6	8.64	
F_0.2/C_9	3238.62	35	7.51	8,65
	3368.03	33.2	9.45	
	3189.88	39.07	8.99	
F_0.3/C_9	3289.12	30.5	8.33	8,43
	3261.48	35	8.36	
	3396.78	33.2	8.6	
F_0.4/C_9	3286.29	29.8	7.78	7,89
	3311.04	35.7	8.26	
	3402.33	39.7	7.63	
F_0.5/C_9	3382.24	41.4	6.67	7,11
	3319.65	45	7.97	
	3351.84	39.1	6.69	

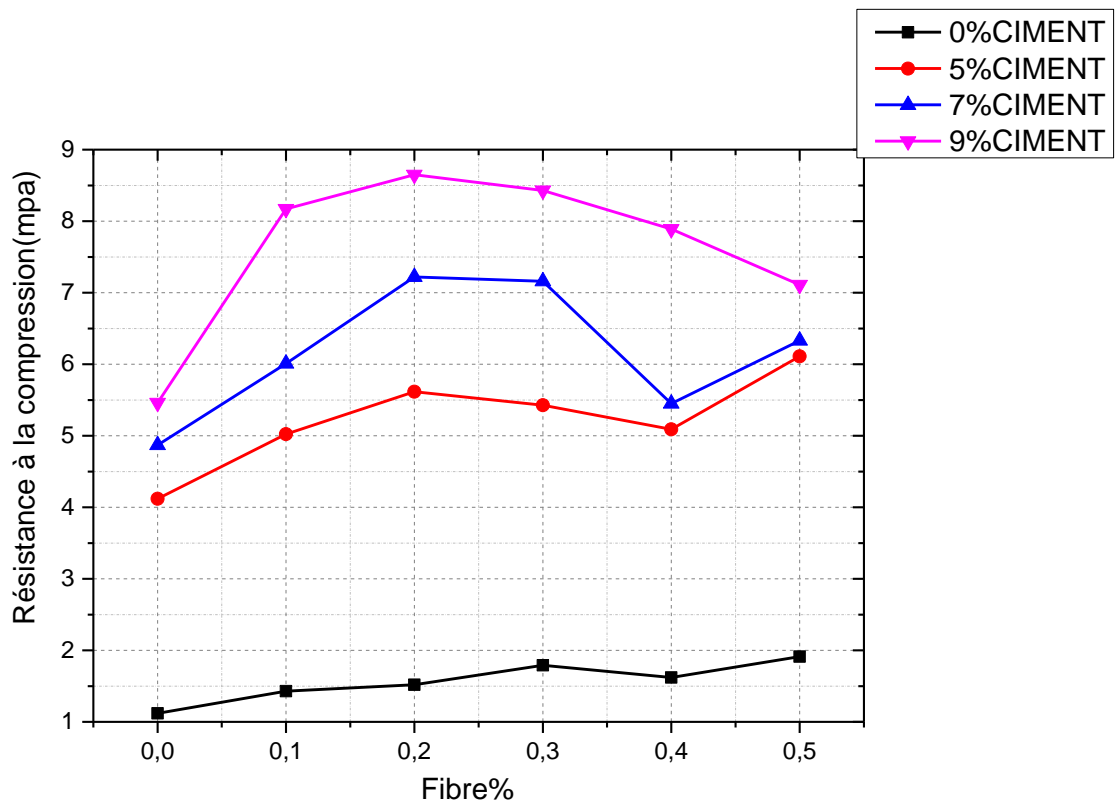


Figure.IV.1. : Effet des fibres sur la résistance à la compression à 28j sur BTC.

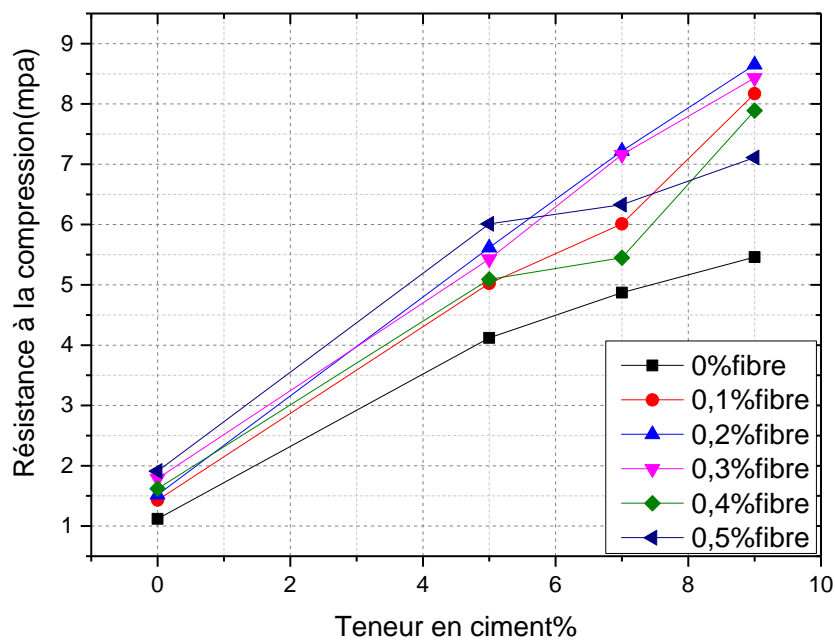


Figure.IV.2 : Effet de la teneur en ciment sur la résistance à la compression à 28j sur BTC.

IV.2.2 Effet des fibres sisal sur la résistance à la traction R_t a 28j de BTC

Les résultats de l'essai de compression sont représentés dans la le tableau () et la Figure (4.1) par leurs moyennes.

Tableau.IV.5 : Effet de Fibre de sisal et dosage de 0 % ciment sur la résistance à la traction R_t par fondage a 28j sur BTC.

Fibre(%)/ciment(%)	b (cm)	h (cm)	RC
F0/C0	10	19.83	0.78
F0.1/C0	9.81	19.92	0.83
F0.2/C0	9.91	19.99	0.92
F0.3/C0	10.1	19.81	1.11
F0.4/C0	9.95	19.88	0.82
F0.5/C0	9.98	19.75	1.21

Tableau.IV.6 : Effet de Fibre de sisal et dosage de 5% ciment sur la résistance à la traction R_t par fondage a 28j sur BTC.

Fibre(%)/ciment(%)	b (cm)	h (cm)	Rc
F0/C5	10,1	19.56	2,98
F0.1/C5	9.98	19.08	3,29
F0.2/C5	9.96	19.45	3,47
F0.3/C5	10	19.72	3,51
F0.4/C5	9.97	19.22	3,41
F0.5/C5	10,01	19.70	3,64

Tableau.IV.7 : Effet de Fibre de sisal et dosage de 7 % ciment sur la résistance à la traction R_t par fondage a 28j sur BTC.

%de fiber en/ciment	b (cm)	h (cm)	Rc
F0/C7	10	20,7	2,15
F0.1/C7	10,2	19.28	3,13
F0.2/C7	9.99	19.11	3,38
F0.3/C7	10	19.8	3,66
F0.4/C7	9.98	19.23	3,7
F0.5/C7	10,1	19.68	3,35

Tableau.IV.8 : Effet de Fibre de sisal et dosage de 9 % ciment sur la résistance à la traction (R_t) par fondage a 28j sur BTC.

Fibre(%)/ciment(%)	b (cm)	h (cm)	Rc
F0/C9	10,01	20,2	2,78
F0.1/C9	10	19.55	3,45
F0.2/C9	9.95	19.32	4,15
F0.3/C9	10	19.72	4,23
F0.4/C9	9.91	19.46	3,98
F0.5/C9	10,03	19.08	3,89

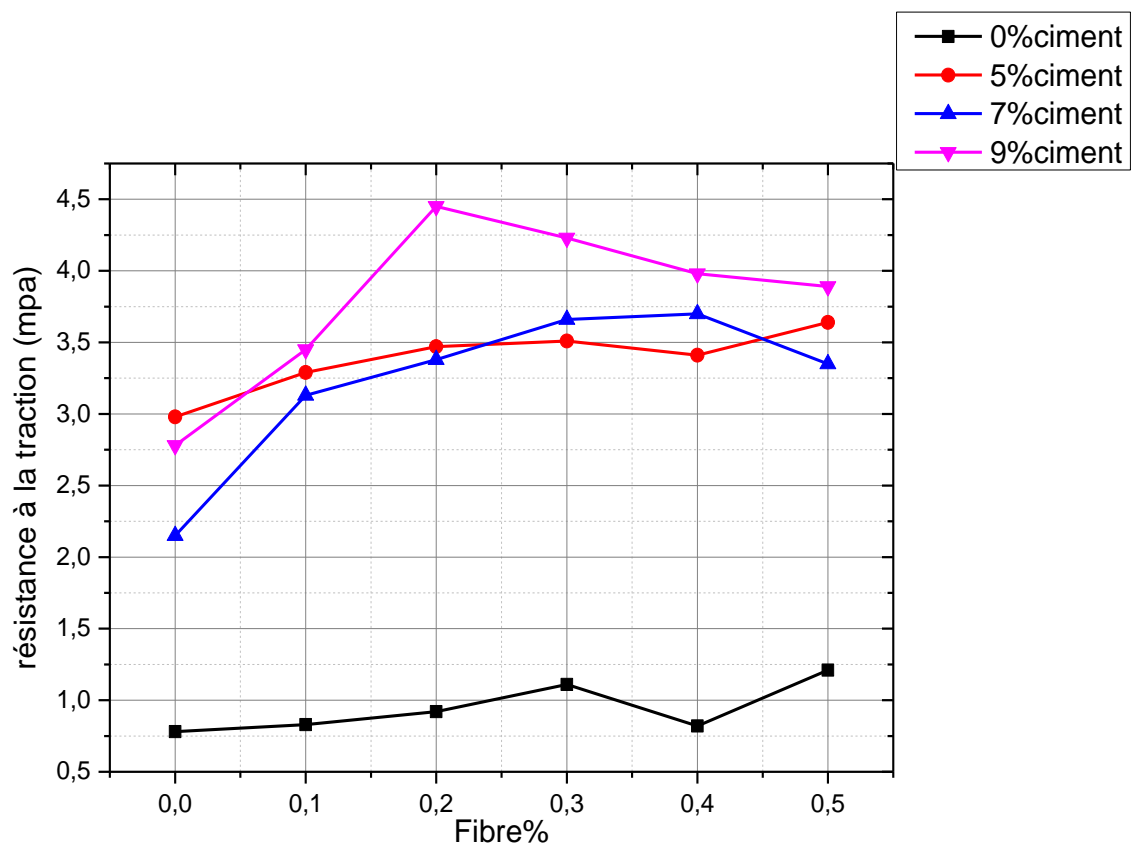


Figure.IV.3 : Effet de la teneur en fibre sur la résistance à la compression et à la Traction par fendage d'échantillons de terre comprimée et stabilisée au ciment.

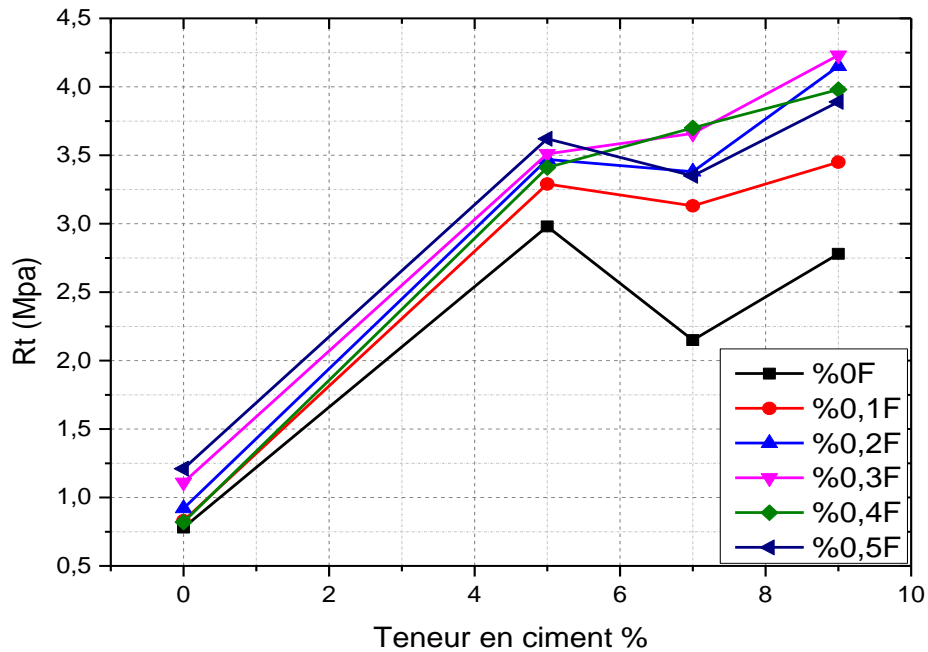


Figure.IV.4 : Effet de la teneur en ciment sur la résistance à la compression et à la Traction par fendage d'échantillons de terre comprimée et stabilisée au ciment.

IV.3 Résultats globale

IV.3.1 La résistance à la compression

Les BTC à base de ciment

L'effet de la variation de la teneur en fibres sur la résistance à la compression du BTC est présenté dans la figure. À travers ces résultats de BTC sans traitement (0% ciment) on observe une augmentation de la résistance avec l'augmentation des fibres. Les éprouvettes contenant les fibres résistent mieux à la compression que les éprouvettes de sol naturel.

Pour les autres cas 5 et 7 et aussi 9% de teneur en ciment, on remarque que l'ajout des fibres a conduit à une augmentation de la résistance jusqu'à 0.2 % en fibres.

Pour les blocs renforcés avec un dosage en fibres supérieur à 0,2%, il y a une diminution de la résistance avec l'augmentation de la teneur en fibres. La diminution de la résistance à la compression du BTC peut être attribuée à la domination de l'effet des fibres sur celui de la teneur en ciment. Ceci peut être expliqué par le fait que la quantité de produits d'hydratation est faible devant l'importance des vides créés par les fibres. Ces vides sont dus au caractère élastique des fibres durant le compactage. Une fois la contrainte de compactage enlevée, le matériau relâche et le volume occupé par les fibres augmente créant ainsi une porosité supplémentaire et conséquemment affecte négativement la résistance.

A titre d'exemple, la résistance à la compression des mélanges non renforcés en fibres augmente de 267%, 334.82% et 388%MPa quand les blocs sont stabilisés par 5, 7 et 9%, respectivement. Ces pourcentages sont calculés par rapport au mélange de référence (sol naturel).

IV.3.2 La résistance à la traction

L'effet de la variation de la teneur en fibres sur la résistance à la traction Présenté sur la Figure .IV.4

Les résultats montrent aussi, que la résistance à la traction augmenté avec l'augmentation de la teneur en fibres jusqu'à certain taux des fibres . Pour ce cas, l'augmentation de la résistance à la traction pour une teneur en ciment respectivement de 5%,7% et 9 %. Conformément aux résultats obtenus pour la résistance à la compression. De la figure.IV.4 on observe que l'augmentation de la teneur en ciment a causé une augmentation de la résistance à la traction. A titre d'exemple, la résistance à la traction des mélanges renforcés par 0.3% en fibres augmente de 216.22%, 230% et 281%MPa quand les blocs sont stabilisés par 5, 7 et 9%, respectivement. Ces pourcentages sont calculés par rapport au mélange de référence (sol naturel avec 0.3 % fibres).

Conclusion générale

Dans le présent travail, les propriétés physico-mécaniques d'un BTC produit à base d'une argile collectée de la ville de M'sila (Chaaba El Hamra), ont été déterminées. L'étude expérimentale réalisée s'articule sur deux approches ;

- la première consiste à l'incorporation des déchets de brique dans le but de produire un matériau respectant l'environnement (matériau vert),
- la seconde consiste à l'emploi des fibres naturelles comme renforts dans le sol et l'utilisation du ciment comme agent stabilisant.

Les fibres ont été ajoutées en différents pourcentages: 0 ; 0,1 ; 0,2, 0,3,0,4 et 0,5% par rapport à la masse totale du BTC, tandis que le ciment a été employé en trois pourcentages ; 5, 7 et 9%. Les résultats obtenus montrent que l'ajout du ciment et des fibres aux blocs du BTC affecte ses propriétés mécaniques finales. En effet, l'utilisation des fibres et du ciment rend l'argile de Chaaba utilisable pour produire un BTC. Les principales conclusions qui l'on peut tirer de ce travail peuvent se résumer comme suit:

1. Le choix de type d'argile est un paramètre important dans le processus de fabrication du BTC, puisqu'elle influe sur la compacité et la résistance finale. Ce choix doit être fait sur la base des critères liés à la fois à la granulométrie du sol utilisé et également à sa plasticité. En plus, le produit final doit avoir une résistance suffisante pour qu'il puisse considérer comme BTC.
2. Le BTC produit à base du sol non stabilisé au ciment et même avec l'existence des fibres, ne satisfait pas les propriétés mécaniques requises pour produire un BTC (résistance inférieure à 2 MPa).
3. L'utilisation du ciment conduit à des améliorations importantes de la résistance en compression. A titre d'exemple, la résistance du BTC stabilisé avec 9% du ciment et contenant 0,2% de fibres est améliorée par 672%, par rapport au BTC produit à base du sol non traité.
4. Les blocs produit à base du sol seul et ceux renforcé en fibres de sisal (non traité au ciment) présente une faible résistance à la traction. La résistance à la traction augmente avec l'augmentation du dosage en fibres.

Toutefois, en plus des avantages techniques apportés par l'utilisation d'un traitement combiné chimique/mécanique, l'approche proposée dans cette étude, présente un

aspect environnemental important consistant à introduire les déchets de brique dans le processus de fabrication du BTC.

Références bibliographiques

CRATerre. GATE. Bloc de terre comprimée. Eléments de base. , Eschborn, Allemagne, 28 p, 1991.

Rigassi V. Blocs de terre comprimée. Volume I. Manuel de production, CRATerre-EAG, Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, Allemagne, 104 p, 1995.

Houben H, Guillaud H. Earth construction—a comprehensive guide. London : Intermediate Technology ; 1994.

Houben H, Guillaud H. Traité de construction en terre. CRATerre, Edition Parenthèse, Marseille, France, , 355 p, 2006.

Houben H, Rigassi V, Garnier P. Blocs de terre comprimée : équipements de production. CRATerre, Bruxelles, Belgique, 149 p, 1996.

Michot A. Caractéristiques thermophysiques de matériaux à base d'argile : évolution avec des traitements thermiques jusqu'à 1400°C. Thèse de Doctorat, Université de Limoges, France, 116 p, 2008.

Venuat M. Le traitement des sols à la chaux et au ciment. Publié par l'auteur, 66 av. C. Perrière, 92320 Châtillon-sous-Bagneux, 459 p, 1980.

Doat P, Hays A, Houben H, Matuk S, Vitoux F. Construire en terre. Editions Alternatives et Parallèles, collection AnArchitecture, Paris, France, 265p, 1979.

Verdyen J., Roisin V, Nuyens J. Applications de la mécanique des sols", Dunod Ed. Paris, 1971.

Moszkowicz P, Barna R. Stabilisation - solidification des déchets. Techniques de l'ingénieur, Article G 2 080, Volume G. 04. 2001.

TRAN N T. Valorisation de sédiments marins et fluviaux en technique routière. Thèse de doctorat de l'Université d'Artois, France, 2009

United Nations. Earth Construction Technology. United Nations Centre For Human Settlements, Nairobi, Kenya, 200 p, 1992.

Bell FG. Methods of treatment of unstable ground. Newnes-Butterworth, London, 1975.

(**M. DURIEZ, JARRAMBIDE,** Nouveau Traite De Matériaux De Construction Edition DUNOD 1962.

CRA Terre Centre International pour la Construction en Terre, H.

GUILAUD, Ecole d'Architecte de Grenoble, Encyclopédie de Bâtiment Tome 2 Edition Wake 1997.

R. Delebecque, Éléments de Construction "Bâtiment", Edition Delagrave 1990.

Collection Mémento Technique, Tuiles et Briques de Terre Cuite, Edition Moniteur paris 1998

MVENUAT ,Produits Silico –calcaire "Techniques de l'Ingénieur"1994.

Recueil de Norme Française "Bâtiment Maçonneries " **Edition AFNOR**,1984.

David Miraucourt « Stabilisation du matériau terre crue pour application en brique de terre comprimée au Burkina Faso

المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر



Groupe Industriel des Ciments d'Algérie

المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر
GROUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE

شركة الإسمنت عين التوتة

شركة ذات أسهم رأس مالها الاجتاعي : 2.250.000.000 د.ج

N° Identification Fiscale : 099805022210668 - N° Article d'imposition : 05010212840 - N° Registre de Commerce : 0222106/8/98

Enreg : **FTC 13-1/PRO5**Réf : **019/SceCQ/18****FICHE DE QUALITÉ**

Produit

CEM II/A - L 42.5N NA 442

Conformément à la norme NA442 édition 2013

Caractéristiques Physico - Mécaniques

Désignations	Unités	Garanties NA.442	Mesures
Poids Spécifique (NA 2595/2006)	G/cm ³	-	3.07
Surface Spécifique Blaine (NA 231/2006)	cm ² /g	-	4465
Consistance Normale (NA 230/2010)	%H ₂ O	-	27.04
Temps De Prise (NA 230/2010)	Début	h : min	≥1h :00 02h05
	Fin	h : min	- 03h05
Expansion à Chaud (NA 232/2002)	mm	≤10	0.47
Refus sur tamis 45 µm (NA 231/2006)	%	-	10.32
Chaleur d'hydratation (NA 5061/2006)	120 Heures	J/g	≤270 J/g LH
Résistance à la Flexion (NA 234/2007)	02 jours	MP a	- 4.99
	07 jours	MP a	- 6.78
	28 jours	MP a	- 7.80
Résistance à la Compression (NA 234/2007)	02 jours	MP a	≥10.00 23.19
	07 jours	MP a	≥42.50 35.24
	28 jours	MP a	≤62.50 44.64

Composition Chimique

Eléments	Garanties NA.442	Teneur %
SiO ₂	-	18.47
Al ₂ O ₃	-	4.63
Fe ₂ O ₃	-	3.34
CaO	-	61.08
MgO	-	1.16
K ₂ O	-	0.71
Na ₂ O	-	0.40
SO ₃	≤3.5%	2.64
Cl ⁻	≤0.1%	0.017
P.A.F (NA235/2005)	-	6.69
CaO Libre	-	0.87
Résidus Insolubles	-	2.15

Ce ciment est analysé par nos soins est un ciment portland composé, dont les caractéristiques physico mécanique et chimiques Satisfont aux exigences des ciments CEM II/A - L 42.5N Selon norme en vigueur.

Siège social : 73 bis rue Benflis La Verdure - Batna - BP n° 67 El Boustene - Batna - Algérie.

Tél : +213 33 85 13 00 (lignes groupées) Fax : +213 33 85 11 01 / +213 33 85 12 47

Unité Cimenterie Ain-Touta - Batna : BP 10 Ain Touta - Batna - Algérie Tél /fax : +213 33 35 57 84

www.scimat.dz



