

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 : Hadji hadda & Saouache ikram

Intitulé

**Caractérisation d'une terre comprimée, stabilisée et
renforcée en fibres naturelles.**

Soutenu devant le jury composé de :

.....	Université de M'sila	Président
Dr. MEDDAH Abdelaziz	Université de M'sila	Encadreur
Pr. BEDDAR Miloud	Université de M'sila	Co-Encadreur
.....	Université de M'sila	Examineur

Année Universitaire : 2018 /2019



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciements

On remercie Allah de nous avoir donné le courage et la détermination nécessaire pour finaliser ce travail.

Et n'oublions pas nos parents & notre famille qui apportent tout le soutien nécessaire dans notre parcours scolaire.

Je tiens aussi à remercier Mes encadreurs enseignants : Pr.BEDDAR Miloud et Dr .MEDDAH Abdelaziz

Pour leur entière disponibilité, leurs conseils et leurs éclaircissements qui m'ont tant servi à réaliser ce travail.

Mes sincères remerciements vont au président et aux membres de jury de soutenance qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce travail.

A tous ceux qui, de près ou de loin, ont œuvré pour l'aboutissement de ce travail et de ma formation, et dont les noms n'ont pas été mentionnés ici, qu'ils veuillent bien accepter l'expression de ma profonde reconnaissance.



Dédicace

Je dédie ce travail, Aux êtres les plus chers à mon cœur, **mes parents, frères et sœurs** pour

Leurs soutiens multiformes

Aux ingénieurs des laboratoires ;

A mes **amis**, et tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail

et spécialement LABIAD Yacine, qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute

Considération. et à toutes les promotions 2019

ملخص

في هذا العمل التجريبي الذي تم على اجر الطين المضغوط والذي يتكون من 80 من طين الشعبة الحمراء (المسيلة) و20 من نفايات الأجر الأحمر. والتي تم تقويتها بألياف طبيعية (فيلاس السيزال) والمستقر بالاسمنت. تضاف الألياف إلى اجر الطين بنسب مختلفة (0.1.0.2.0.3.0.4.0.5) وثلاث نسب من الاسمنت 9.5.7 و هذا بالنسبة للوزن الكلي لاجر الطين النهج التجريبي الذي تم فيه دراسة تأثير معالجة مقاومة اجر الطين المضغوط النتائج المتحصل عليها تثبت ان إضافة الاليف في الطين المستقر يسمح بتحسين المقاومة

الكلمات المفتاحية

اجر الطين المضغوطة, نفايات الأجر الأحمر, ألياف مقاومة, استقرار, تقوية

Résumé

Dans ce travail expérimental un BTC (blocs de terre comprimée) préparé à base de 80% d'argile de Chaaba El Hamra (M'sila) et 20% de déchets de brique, a été caractérisé. Les blocs ont été renforcés par des fibres naturelles (filasse de sisal) et stabilisés par le ciment. Les fibres sont ajoutées au BTC en différents pourcentages 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5. Tandis, que le ciment est employé en trois pourcentages 5, 7 et 9% par rapport à la masse totale du BTC.

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, stabilisation, renforcement.

Abstract

In this investigation, compressed earth blocs (CEB) produced from 80% of Chaaba El Hamra clay (M'sila) and 20% of brick waste are tested. CEB blocs were reinforced with natural fibers (sisal) and stabilized with cement. The fibers are incorporated in blocs with different percentages; 0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5, while cement is used in three contents (5, 7 and 9%). 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, fibre, compressive strength, stabilisation, reinforcement.

Liste des figures

Figure I.1 : (a) le temple de philae ; (b) les jardins suspendus de Babylone ; (c) Tabomonastry.....	5
Figure. I. 2. "Roue" des techniques de construction en terre.....	6
Figure I .3 . exemple de fabrication d'Adobe	7
Figure I.4. (a) Mosquée de Dgingareyber au Tombouctou en adobe ,(b) ville de Shibam en Yemen,(c) LIMA au Péro	7
Figure I.5. Patrimoine en pisé:(a)la grande muraille de Chine), (b) l’Alhambra de Grenade en Andalousie, (c) les tulous des Hakkas en chine,(d) Meknes et Aït Ben Haddou à Marrakech, , et(e;f) manoirs en France	8
Figure I.6. Constructions en torchis : (a)Safranbolu, Turquie ;(b) Diamantina, Brésil (c); Strasbourg, France.....	9
Figure I. 7. Construction en terre façonnée (les fermes Lobis du Nord du Ghana).....	9
Figure I .8 . Exemple de construction en bauge: (a) palais en Arabie Saoudite, (b) les greniers du sahel au Niger, (c) les cases –obus des Musgums au Cameroun	10
Figure I.9. Des blocs de terre comprimée.....	10
Figure I. 10. (a): l’Isle d’Abeau, France (Architectures des terre cure /Sophie Bronchart 2013) (b) maison en voûte nubienne au Burkina Faso, (c) Mosquée de Djenné,Mali.....	12
Figure.I.11. Cycle de production BTC (V.HOUBEN et AL, 1995	13
Figure II.1. Laitier de haut fourneau.....	30
Figure II.2. laitier d'acier.....	30
Figure II.3. Cendres volantes.....	30
Figure II.4. Mâchefer.....	31
Figure II.5. Béton récupéré.....	31
Figure II.6. Sciure de bois.....	32
Figure II.7. Marbre.....	32

Figure II.8. Brique concassée.....	32
Figure III.1: Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine (Baley, 2013).....	38
Figure III.2. Les types de fibres végétales	39
Figure III.3 .exemples de fibres animales	39
Figure III.4. Exemple de fibre minérale (amiante).....	40
Figure III.5 .Exemples de fibre synthétique(Polypropylène).....	40
Figure III.6. Exemples des fibres artificielles	41
Figure IV.1. Le site de prélèvement.....	43
Figure IV.2. Argile rougeâtre	44
Figure IV.3. Dispositif expérimental de l'essai d'analyse granulométrique	44
Figure IV.4. Courbe granulométrique du sol utilisé	45
Figure IV.5. Appareillage de limites d'Atterberg	46
Figure IV.6. Détermination de la limite de liquidité	47
Figure IV.7. Essai VBS	49
Figure IV.8. Courbe granulométrique de la brique broyée	50
Figure IV.9. Fibres de filasse utilisées.....	51
Figure IV.10. La courbe granulométrique du mélange sol-brique	52
Figure IV.11. Processus de confection de BTC	53
Figure IV.12. La cure des éprouvettes	54
Figure IV.13. Presse hydraulique pour l'essai de compression	54
Figure V.1. Effet des fibres sur la résistance en compression.....	58
Figure V.2. Effet des fibres sur la résistance en compression (5% de ciment).....	59
Figure V.3. Effet des fibres sur la résistance du BTC (7% de ciment).....	60
Figure V.4. Effet des fibres sur la résistance en compression.....	61

Figure V.5. Récapitulatif de l'effet d'un traitement combiné sur la résistance en compression.....	61
Figure V.6. Effet des fibres sur l'absorption d'eau (non stabilisé).....	62
Figure V.7. Effet de (5%) ciment et de fibre de filasse sur l'absorption d'eau.....	62
Figure V.8. Effet de (7%) ciment et de fibre de filasse sur l'absorption d'eau.....	62
Figure V.9. Effet de (9%) ciment et de fibre de filasse sur l'absorption d'eau.....	63
Figure V.10. dissolution du BTC non stabilisé.....	64

Liste des tableaux

Tableau I.1. AVANTAGE des blocs de terre comprimée (H.Houben, Al, 1994).....	12
Tableau IV.1. Granulometrie par tamisage	45
Tableau IV.2. Analyse chimique du sol	46
Tableau IV.3. Résultats de l'essai de la limite de liquidité	47
Tableau IV.4. Détermination de la limite de plasticité.....	48
Tableau IV.5. Récapitulatif des limites d'Atterberg	48
Tableau IV.6. Masses volumiques du sol	48
Tableau IV.7. Valeurs au bleu de méthylène par l'essai à la tache	49
Tableau IV.8. Masses volumiques de la brique broyée	50
Tableau IV.9. la composition chimique de ciment Ain Touta.....	50
Tableau IV.10. Propriétés physico-mécaniques	51
Tableau IV.11: Codage d'essai.....	55
Tableau V.1. Effet des fibres sur la résistance en compression	57
Tableau V.2. Effet des fibres la résistance du BTC stabilisé par 5%.....	58
Tableau V.3. Effet des fibres sur la résistance du BTC stabilisé avec 7% du ciment...59	
Tableau V.4. Effet des fibres sur la résistance du BTC stabilisé par 9% du ciment...60	

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
 Chapitre I : Revue Générale sur le matériau Bloc de terre comprimée	
I.1.Introduction.....	5
I.2. Historique de la construction en terre.....	5
I.3. Techniques de construction en terre.....	6
I.4. Procédé de blocs de terre comprimée (BTC).....	11
I.5. Avantages des blocs de terre comprimée.....	12
I.6. cycle de production du BTC.....	12
I.7. Constituants.....	14
I.7.1. L'Argile.....	14
I.7.2.Ciment.....	15
I.7.3. la chaux.....	16
I.8.Propriétés fondamentales pour la stabilisation de la terre.....	17
I.8.1.Granulométrie.....	17
I.8.2. La plasticité.....	18
I.8.3.La compactibilité.....	18
I.9. Stabilisation.....	18
I.9.1. Stabilisation au ciment.....	19
I.9.2. Stabilisation à la chaux.....	21
I.9.3.Stabilisation mixte chaux –ciment.....	22
Conclusion.....	24

Chapitre II : Valorisations de déchets en génie civil

II.1. Généralité.....	26
II.2. Définition des déchets.....	26
II.3. Classification des déchets.....	26
II.4. Différents types des déchets.....	27
II.5. Classification des déchets.....	29
II.6. Déchets utilisés en génie civil.....	29
II.7. Déchets de brique.....	33
II.7.1. Définition de brique.....	33
II.7.2. Types de brique.....	33
II.7.3. Principaux constituants de la brique et caractéristiques chimiques.....	33
II.7.4. Mode de fabrication de brique.....	34
II.8. Avantage des déchets.....	34
Conclusion.....	35

Chapitre III : Revue Général sur les fibres

III.1. Introduction.....	37
III.2. Le rôle de fibres.....	37
III.3. Différents types de fibres.....	37
III.4. Fibres synthétiques.....	40
Conclusion.....	41

Chapitre IV: Matériaux et procédures expérimentales

IV.1. Introduction.....	43
-------------------------	----

IV.2. Matériaux.....	43
IV.2.1. Sol utilisé.....	43
IV.2.1.1. Analyse granulométrique par tamisage (NF P 94-056).....	44
IV.2.1.2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051).....	46
IV.2.1.3. Masse volumique du sol.....	48
IV.2.1.4. Valeur de Blue de méthylène (NA P 94 068).....	48
IV.2.2. Déchets de brique.....	49
IV.2.2.1. Analyse granulométrique de la brique broyée.....	49
IV.2.2.2. Masse volumique de la brique broyée.....	50
IV.2.3. Ciment.....	50
IV.2.4. Fibres.....	51
IV.3. Caractéristiques des fibres utilisées.....	51
IV.4. Procédures expérimentales.....	52
IV.5. Confection des éprouvettes.....	52
IV.5.1. Préparation des mélanges.....	52
IV.5.2. la cure des éprouvettes.....	53
IV.6. Essai décompression (la norme P 18-406).....	54
IV.7. Codage d'essai.....	54

Chapitre V: Résultats et discussions

V.1. Introduction.....	57
V.2. Présentation de résultats.....	57
V.2.1. Effet des fibres sur la résistance à la compression.....	57

V.2.2. Effet du ciment sur la résistance à la compression.....	58
V.3. Absorption d'eau.....	61
V.4. Interprétation.....	63
V.4.1. Effet des fibres de sisal sur la résistance à la compression.....	63
V.4.2. Absorption capillaire.....	64
Conclusion générale.....	66

INTRODUCTION GENERALE

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 respectent 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 vu 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 30% par rapport à la masse totale du bloc. D'un autre côté 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)

Introduction générale

Le manuscrit est composé des chapitres suivants :

- Introduction générale.
- Chapitre 1 : Revue générale sur le matériau: Bloc de terre comprimée.
- Chapitre 2 : La valorisation des déchets en génie civil.
- Chapitre 3 : Revue générale sur les fibres.
- Chapitre 4 : Matériaux et procédures expérimentales.
- Chapitre 5 : Résultats et discussions.
- Conclusion générale.

Chapitre I

Revue Générale sur le matériau Bloc de terre comprimée

Revue Générale sur le matériau : Bloc de terre comprimée

I.1. Introduction

La terre ou le sol est le matériau le plus constamment rencontré dans la nature, elle occupe une grande partie de l'écorce terrestre et résulte de la transformation de la roche mère dégradée et enrichie en matières organiques. Le sol est un complexe multiphasique formé en général de trois phases solide, liquide et gazeuse. A cause de sa grande diversité et variabilité, il est difficile de donner une définition précise normalisée à ce matériau.

Dans ce chapitre on présente un état de l'art sur la technologie de construction en terre compactée par compression appelée simplement terre comprimée.

I.2. Historique de la construction en terre

La construction en terre est la pratique de construire avec de la terre crue, non traitée. Il est utilisé avec succès dans le monde depuis plus de 11000 ans et on estime qu'environ la moitié de la population mondiale vit et travaille actuellement dans des bâtiments en terre. (Jennifer Gray, 2018).

Les fouilles archéologiques ont montré que les civilisations anciennes construiraient des Différents bâtiments et même monumentaux à l'aide de ce matériau. Comme le temple de Philae en Égypte (fig.I.1a) et les Jardins suspendus de Babylone (fig.I.1b) et aussi TAbomonastry en Inde (fig.I.1c).



Figure. I.1. (a) le temple de philae ; (b) les jardins suspendus de Babylone ; (c) Tabomonastry

I.3. Techniques de construction en terre

Il existe différents modes de mise en œuvre de la terre crue. Chacune de ces techniques est née de contextes géographiques différents, de modes de vie particuliers, de coutumes différentes, de climats variés ou encore selon les matériaux disponibles. Les cinq techniques de construction les plus répandues sont les suivantes : le pisé, l'adobe, le torchis, la bauge et les briques de terre comprimée (BTC) mais il en existe de nombreuses autres. Chaque technique a ses spécificités et utilise une terre bien précise. En effet, chacune d'elle demande une courbe granulométrique différente ainsi que des états hydriques et hygrométriques différents.

H. Guillaud et H. Houben(1995) ont schématiquement répertorié les douze techniques principales dans une « roue » des techniques de construction en terremais ils récusent tout de même qu'il en existe environ une centaine dans la réalité. En plus d'être simplificateur, ce tableau circulaire ne fait pas non plus la distinction entre les techniques traditionnelles et les techniques nouvelles.

Parmi celle-ci huit sont d'un usage courant et constituent les techniques principales :

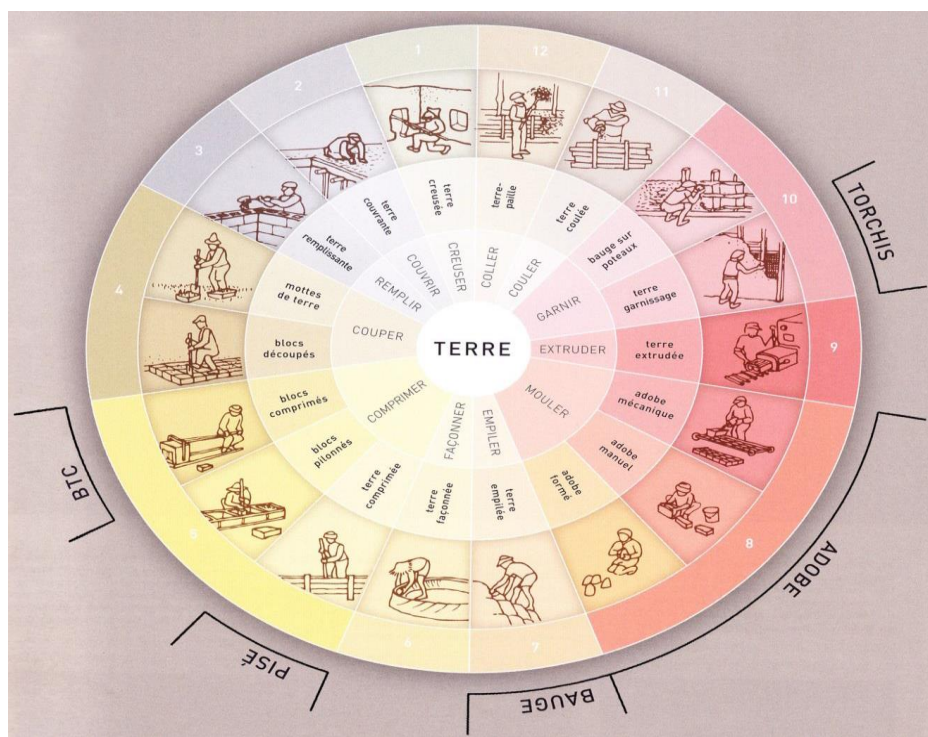


Figure. I.2. "Roue" des techniques de construction en terre (Source : Anger & Fontaine, 2009 : p. 26)

1-Adobe

Le mot "Adobe" vient de l'arabe "al-tub" est un mélange d'argile, d'eau et éventuellement de débris végétaux (paille hachée, copeaux de bois, sciure) en très petites quantités. Les briques sont moulées dans des moules en bois. Après un temps de repos de quelques jours, les briques sont démoulées et sont laissées à sécher au soleil le temps nécessaire à un séchage complet. Elles sont utilisables ensuite dans la réalisation de murs porteurs comme pour les cloisons intérieures (Mahmoud s,2013-2014).



Figure. I.3.exemple de fabrication d'Adobe.



Figure. I.4. (a) Mosquée de Dgingareyber au Tombouctou en adobe, (b) ville de Shibam en Yemen, (c) LIMA au Pérou.

2-pisé

le pisé est un principe de construction de murs épais en damant à l'aide d'un pilon ou d'un fouloir de la terre de différentes natures, stabilisée à la chaux dans des coffrages latéraux, qu'on déplace au fur et à mesure de l'avancement du travail, ce

dernier procédé connu aussi en Algérie avant 1962 est encore employé à ce jour au Maroc. (Mahmoudi s.2013-2014).



Figure. I.5. Patrimoine en pisé:(a)la grande muraille de Chine),(b) l'Alhambra de Grenade en Andalousie.(c) les tulous des Hakkas en chine,(d) Meknes et Aït Ben Haddou à Marrakech, , et(e; f) manoirs en France.

3-Terre-paille

Pour cette technique, la terre utilisée doit avoir une bonne cohésion, elle est dispersée dans de l'eau jusqu'à l'obtention d'une barbotine homogène, que l'on verse sur de la paille jusqu'à enrober chaque brin, au séchage on obtient un matériau dont la texture est essentiellement celle de la paille.

4-Torchis

Le torchis est considéré comme étant le premier matériau composite de l'histoire car il est composé d'une matrice plastique (terre) et de renfort (fibres végétales). Torchis vient de "tordre", car sa pose traditionnelle consiste à poser de la paille ou du foin torsadés dans une boue ou pute de limon argileux projetée ou placée en enrobage sur ossature de bois ou de bambou, qui assure la fonction porteuse, le torchis forme naturellement un écran de sécurité contre le feu (Mahmoudi s, 2013-2014).



Figure. I.6. Constructions en torchis : (a)Safranbolu, Turquie ;(b) Diamantina, Brésil (c); Strasbourg, France

5-Terre façonnée

La technique de la terre façonnée se met en œuvre avec de la terre à l'état plastique, sans moule ni coffrage. Cette façon de faire permet d'obtenir une large gamme de formes architecturales souvent très riches tout en réduisant la main d'œuvre et les coûts de construction. Les outils utilisés sont simples et les murs réalisés avec cette technique permettent un bon accrochage des enduits. Par contre, le contrôle du séchage et des fissurations de retrait sont complexes et les performances mécaniques du matériau sont plutôt problématiques.

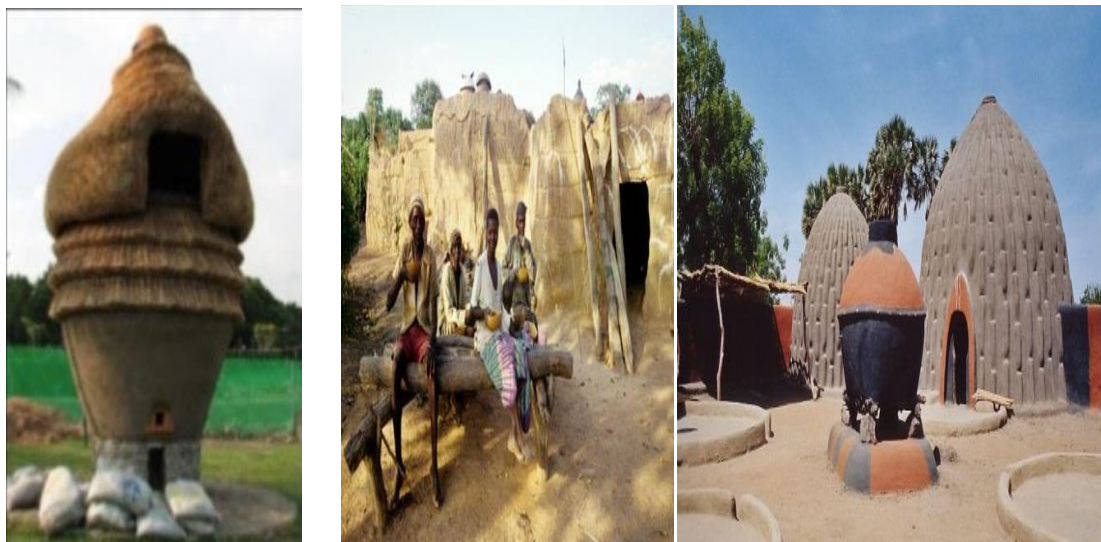


Figure. I.7.construction en terre façonnée (les fermes Lobis du Nord du Ghana).

6-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.

7-Bauge

ce procédé consiste à empiler des boules de terre les unes sur les autres et à les tasser légèrement à l'aide des mains ou des pieds jusqu'à confectionner des murs monolithiques .habituellement , la terre est amendée de fibres de natures diverses.



Figure .I.8. Exemple de construction en bauge: (a) palais en Arabie Saoudite, (b) les greniers du sahel au Niger, (c) les cases –obus des Musgums au Cameroun.

8-Bloc de terre comprimée

Les blocs de terre comprimés sont fabriqués à partir d'une terre tamisée, très légèrement humide stabilisée puis comprimée. Traditionnellement ces blocs étaient moulés dans du bois puis comprimés par battage ou en laissant tomber un couvercle très lourd. Aujourd'hui la technique a été améliorée d'un point de vue compression et rendement avec la mécanisation .On utilise alors des presses qui compriment la terre. qui permet de réduire le volume des vides dans le bloc diminuant ainsi sa sensibilité à l'eau et augmentant sa résistance.



Figure. I.9. des blocs de terre comprimée.

I.4. Procédé de blocs de terre comprimée (BTC)

Principe et contexte historique

Les Blocs de Terre Comprimée ou (BTC) permettent une utilisation moderne de la terre crue. Ils sont utilisés pour créer les cloisons de distribution ou doubler les murs extérieurs, dans le but de donner de l'inertie thermique à l'habitat. Différentes des adobes, des briques de terre moulée, les BTC sont très fortement comprimées à l'aide d'une presse. Faites à partir d'une terre légèrement humide, les BTC, une fois pressées, sont stockées en cure humide (sous bâche) pendant 3 semaines à la suite desquelles elles pourront être mises en œuvre. 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).

Techniquement, la terre est tamisée pour être rendue homogène et surtout enlever les cailloux de diamètre $> 6\text{mm}$. En fonction de sa nature, elle peut ensuite être amendée de sable ou d'argile, avec ajout de stabilisant éventuellement. Légèrement humidifiée, elle va être ensuite mise en brique. Un bac doseur permet de préparer la quantité de terre nécessaire à une brique. (Bokor,y-sakine-2011).

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 pions 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 "CINVA-RAM", 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).

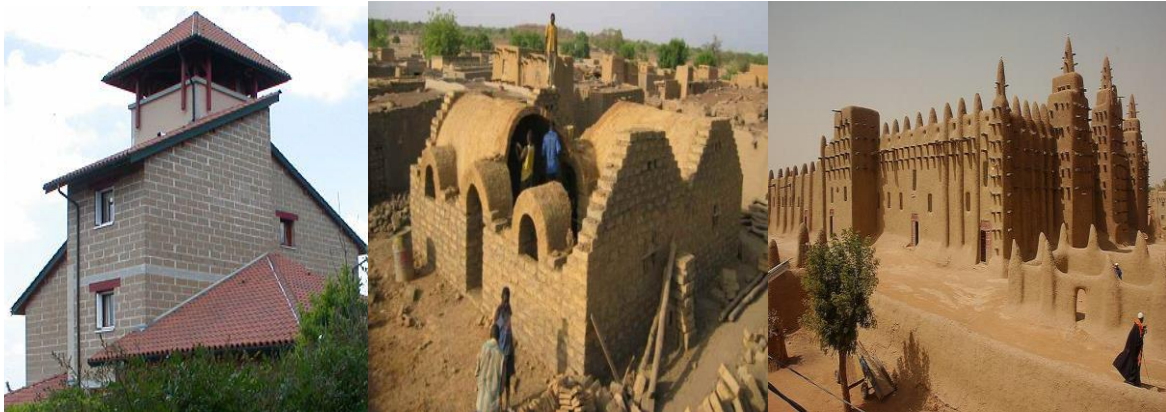


Figure. I.10. (a) l'Isle d'Abeau, France (Architectures des terre cure /Sophie Bronchart 2013) (b) maison en voûte nubienne au Burkina Faso, (c) Mosquée de Djenné, Mali.

I.5. Avantages des blocs de terre comprimée

Tableau I.1. Avantages des blocs de terre comprimée (H.Houben, Al, 1994)

Aspect	Avantages
économiques	<ul style="list-style-type: none"> - 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.
disponibilité	<ul style="list-style-type: none"> - 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.
Ecologiques	<ul style="list-style-type: none"> 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.
Confort	<ul style="list-style-type: none"> - 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 architectural	<ul style="list-style-type: none"> - produits aux dimensions standardisées, modulaires, réguliers et précis, - permet la réalisation des architectures aux murs apparents.

I.6. cycle de production du BTC: Le cycle de production est résumé par un organigramme (figure I.11) nous permettant de comprendre le processus d'obtention

Des BTC.

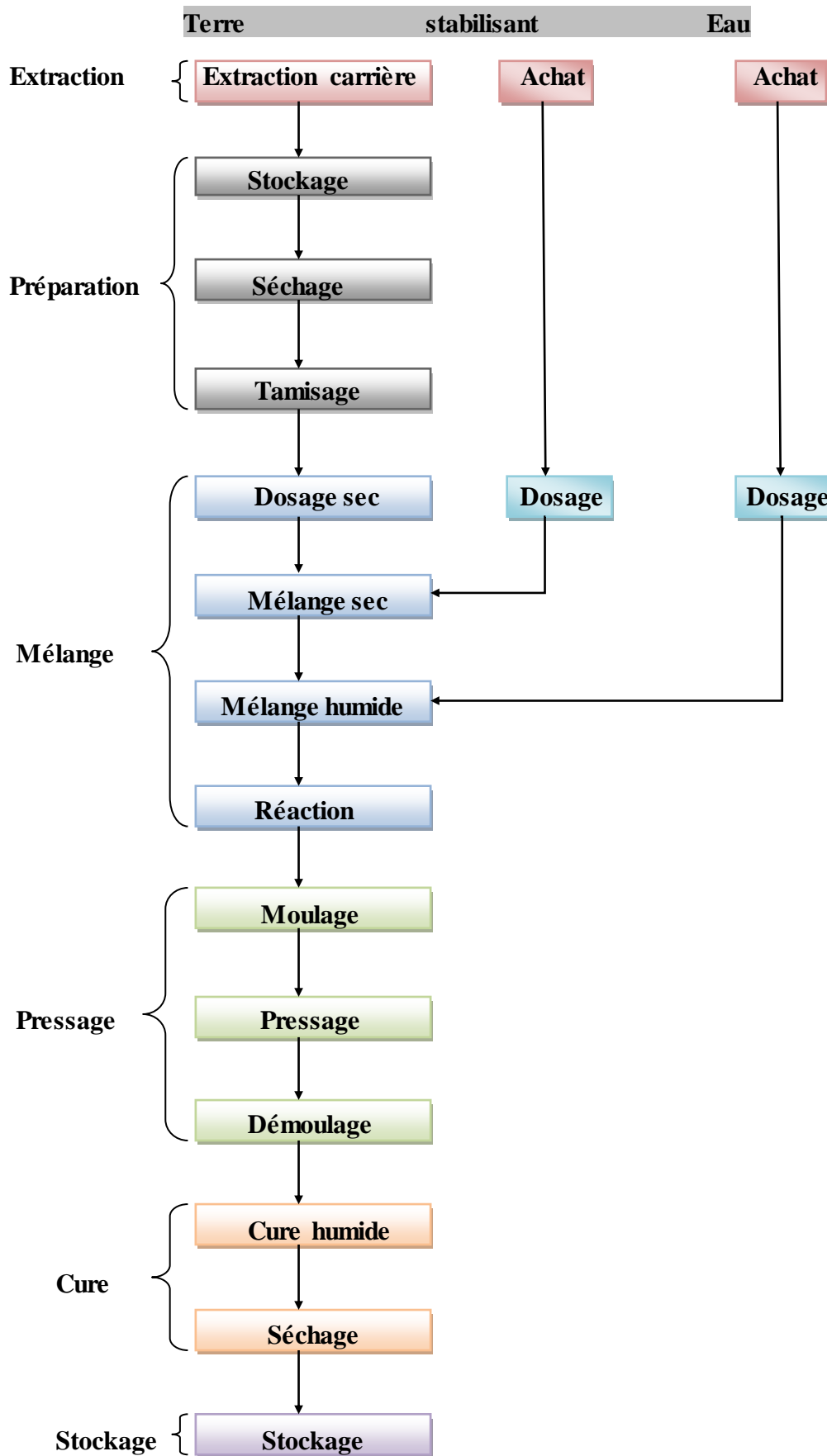


Figure.I.11. Cycle de production BTC (V.HOUBEN et AL, 1995)

I.7. Constituants

I.7.1. L'Argile

a) histoire de l'argile

Le mot argile provient du latin Argilla. Ce même mot est dérivé du grec argilo, dont la racine, Argos, signifie " d'une blancheur éclatante ". Du XIIe au XVIe siècle, argile se disait "Ardille", puis ce mot est devenu "arzille", puis "arsille" pour finir en "argile". [P. Chavanne, 2011, page 11].

b) Définition

Le terme générique, « argile » est couramment utilisé pour désigner différentes roches sédimentaires, cristaux, présentant une forte teneur en minéraux. Il n'existe pas une mais des argiles. Selon leur composition et concentration en minéraux, les différentes argiles ont des structures et des propriétés différentes.

c)formation

Les argiles naissent du sol en constant mouvement. Elles apparaissent selon trois grands processus de formation,. Le premier est relatif à la simple décomposition des roches par érosion. Les phénomènes caractérisant une érosion des sols sont nombreux. La pluie, le vent, le gel, le dégel, les vagues et bien d'autres sont autant de phénomènes naturels à l'origine de la formation des argiles. Le deuxième processus est appelé néoformation. Ceci correspond à la formation du minéral. Par combinaison, des substances transportées par l'eau du sol vont, par combinaison, s'arranger pour former une structure minérale. Le troisième mécanisme correspond au processus de transformation des minéraux évoluant par dégradation (perte d'équilibre du sol) ou aggradation (accumulation de sédiments dans un cours d'eau par excès de transport par l'eau) d'ions minéraux argileux. [F. Villieras, 2008, page 16].

d) Les différents types d'argiles

d. 1. Kaolin : Cette roche argileuse tire son nom du site chinois Kao-Ling, où elle fut découverte. On appelle la roche kaolin et la minérale argileuse kaolinite. Cette argile blanche, douce, friable, réfractaire, contient autant d'aluminium que de silice. [D. Merabet, H. Belkacemi, 2003].

d.2. Montmorillonite : Argile la plus communément récoltée, elle est généralement vendue verte mais peut-être trouvée sous d'autres coloris : gris, blanc, bleuté. Son nom provient de sa ville d'origine, Montmorillon située dans la Vienne. Elle détient une forte concentration en silice, en minéraux, dont de la potasse, des oxydes de magnésium, de fer, de manganèse, d'aluminium, de la soude,... [M. Segad et coll., 2010] D'une rare pureté.

d.3. Illites : Son nom fait référence à l'Illinois, aux États-Unis où elle a été étudiée. Sa composition est riche en calcium (14%), en fer (9%) et pauvre en magnésium Cette argile est retrouvée dans le nord de la France.

I.7.2. Ciment

a) définition : Le ciment est une matière pulvérulente, à base de silicate et d'aluminate de chaux, obtenue par cuisson, en proportions variables selon les matières premières utilisées :

- silicate tricalcique, ou C_3S ($3 CaO, SiO_2$).
- silicate bicalcique, ou C_2S ($2 CaO, SiO_2$).
- aluminate tricalcique, ou C_3A ($3 CaO, Al_2O_3$).
- aluminoferrite tricalcique, ou C_4AF ($4 CaO, Al_2O_3, Fe_3O_3$).

Les matières premières essentielles sont la roche calcaire et l'argile. Elles sont broyées et éventuellement additionnées de produits secondaires. Le mélange obtenu s'appelle le cru et est composé d'environ 80 % de calcaire et d'environ 20 % d'argile.

b) principe de fabrication des ciments courants : Sa fabrication passe par ces étapes : l'extraction des matières premières, leur homogénéisation, les méthodes de fabrication par voie humide ou sèche, le séchage, le broyage, la cuisson et le refroidissement. Dans le procédé dit à voie sèche, le plus courant aujourd'hui, le cru est préchauffé (et donc séché) dans un précalcinateur. Il est ensuite introduit dans un four cylindrique et tournant, horizontal (légèrement incliné). Leur longueur varie de 30 à 110 mètres. Un brûleur chauffe l'intérieur du four entre 1400 et 1500 °C. La matière extraite du four s'appelle le clinker et est formée de blocs solides ressemblant à de la lave. Ce clinker est broyé et on ajoute au moins du sulfate de calcium, sous forme de gypse ou d'anhydrite, à raison de 3 à 5 %. Le résultat est le ciment. Cette formule classique est celle du ciment dit Portland.

I.7.3. la chaux : La chaux est le résultat de la cuisson d'un calcaire à une température entre 800° et 1000°C. Ce calcaire qui va être calciné trouve son origine dans les sédiments et dépôts des organismes marins laissés en place, après le retrait des mers dans certaines régions, il y a plusieurs dizaines de milliers d'années. Ce calcaire contient principalement du carbonate de calcium (CaCO_3), mais aussi de la silice, de l'oxyde de fer, de l'aluminium ou d'autres minéraux dans des proportions plus faibles. Il y a trois grandes familles de chaux (chaux aériennes, chaux naturelles et chaux hydrauliques) qui se différencient par la composition de leur matière première, le calcaire, et leur manière de faire prise.

- Les chaux aériennes: fabriquées à base de calcaire pur, ces chaux font prise et durcissent au contact du gaz carbonique contenu dans l'air. Cette prise très longue, limite le retrait et développe une faible résistance à long terme.
- La chaux vive (CaO): C'est le premier produit de la cuisson de la pierre à chaux (calcaire). C'est un matériau très avide d'eau. La chaux vive en contact de l'eau produit des explosions et sa température peut dépasser 150°C (réaction très exothermique).
- La chaux éteinte Ca(OH)_2 : Elle est obtenue par hydratation de la chaux vive. Cette opération qui permet le passage de la Chaux vive à la chaux éteinte s'appelle Extinction. Elle s'accompagne d'une augmentation de volume du produit (foisonnement).
- les chaux naturelles: fabriquées à base de calcaire siliceux, elles débutent leur prise au contact de l'eau et finissent de durcir au contact de l'air. Plus réactive, leur résistance augmente dans le temps.
- Les chaux hydrauliques sont des chaux recomposées avec différents liants. Elles suivent le même processus de prise, dans des proportions différentes liées au pourcentage des matériaux qui les composent.

I.8. Propriétés fondamentales pour la stabilisation de la terre

Les propriétés de la terre diffèrent selon les quantités des fractions qui constituent. C'est souvent la fraction dominante d'une terre qui régit les propriétés fondamentales du matériau.

On mentionne d'une part des propriétés chimiques, elles diffèrent selon la composition chimique de la terre, la nature de ses constituants ainsi que leurs teneurs, parmi les éléments les plus influents du point de vue chimique sont notamment les sels, les oxydes de carbonates et les sulfates. D'autre part des propriétés physiques y compris la couleur des terres, l'adhérence, la stabilité structurale, la masse volumique apparente, la porosité, la teneur en eau, le pouvoir absorbant, le potentiel et la diffusion capillaire, la perméabilité et aussi la résistance sèche...etc. elles permettent de préciser la qualité d'une terre pour la construction.

I.8.1. Granulométrie

La granulométrie est la répartition de la taille des particules d'un sol. Elle se mesure par analyse granulométrique pour les fractions de grains grossiers (cailloux, graviers, sable et limons) et par sédimentométrie pour les fines argileuses. A partir de la courbe granulométrique montrant les variations des tamisats exprimés en pourcentages en fonction de diamètres des particules.

I.8.2. La plasticité

La plasticité définit la propriété de la terre à subir des déformations sans fissuration ou pulvérisation. Ainsi que les limites entre différents états de consistance sont déterminées par les mesures des limites d'Atterberg (limite de liquidité LL, limite de plasticité LP et l'indice de plasticité IP).

La connaissance des limites d'Atterberg permet de présumer le comportement d'un sol donné (en fonction de la nature et de la quantité d'argile qu'il contient) lorsqu'il est soumis à différentes sollicitations. (Mahmoudi, s). et aussi pour l'identification et la classification des sols (Burrough, 2001).

I.8.3. La compactibilité

La compactibilité d'une terre définit son aptitude à se laisser comprimer au maximum pour une énergie de compactage et un taux d'humidité donnés (teneur en eau optimale) lorsqu'un volume de terre est soumis à l'action d'une force, le

matériau est comprimé et l'indice des vides décroît. Cette propriété est quantifiée par l'essai de Proctor.

I.9. Stabilisation

La stabilisation d'une terre cherche à rendre ce matériau utilisable pour la construction en améliorant ses caractéristiques rhéologiques, chimiques, mécaniques, et sa stabilité. La stabilisation peut servir à :

- La réduction de volume de vide entre les particules ;
- La fermeture des vides qui ne peuvent être supprimés ;
- 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.

On distingue Trois procédés de stabilisation: Ils permettent de densifier, armer, enchaîner, liasonner, imperméabiliser ou encore hydrofuger la terre:

- Stabilisation mécanique: Elle agit en modifiant la densité naturelle, sans ajout d'un matériau stabilisant. il s'agit du compactage qui consiste essentiellement à comprimer les grains, ce qui a pour effet la réduction de la porosité du matériau par resserrement de ses particules.
- Stabilisation physique : Elle consiste à améliorer les caractéristiques d'un sol moyennant l'adjonction de stabilisants inertes Qui peut modifier les propriétés de la terre en intervenant sur sa texture.
- Stabilisation chimique: Elle consiste à ajouter des produits chimiques (ciment et/ou chaux) à la terre, ce qui permet de créer des liaisons mécaniquement résistantes entre les grosses particules du sol même si le matériau se trouve ensuite en présence d'eau.

I.9.1. Stabilisation au ciment

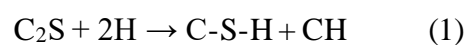
a) Principe

L'utilisation du ciment pour la stabilisation de la terre remonte aux années 1915 dans le domaine routier. Depuis lors, la technique a largement évolué et se retrouve autant dans les travaux publics que dans le bâtiment. Mélangé à la terre, le ciment hydraté réagit de deux manières. La première est une auto-réaction qui donne naissance à un mortier de ciment pur hydraté et à une réaction avec le squelette sableux. La deuxième est une réaction en trois étapes du ciment avec l'argile. Ces phases sont les suivantes : premièrement, des gels de ciment sont formés à la surface des argiles suite à l'hydratation du ciment qui libère de la chaux. Celle-ci est vite consommée par les argiles qui rentrent alors en détérioration. Deuxièmement, on est face à une dissociation des agrégats d'argile suite à l'évolution de l'hydratation. Les gels de ciment formés à l'étape précédente peuvent alors pénétrer à l'intérieur des argiles. La troisième phase est celle de l'« interpénétration intime des gels de ciments et des agglomérats argileux. L'hydratation persiste, mais plus lente » (Guillaud & Houben, 1995 : p. 90).

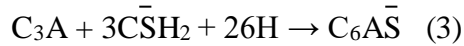
b) Mécanisme de stabilisation

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'aluminoferritetétracalcique (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 porlandite (CH) et le silicate de calcium hydraté ($C-S-H$: $3CaO.2SiO_2.3H_2O$):

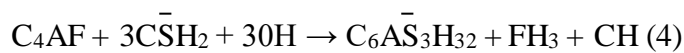


L'hydratation des aluminates tricalciques (C_3A) dépend de la teneur en gypse du ciment. En présence de gypse, l'étrangéité est formée ce qui contribue à l'augmentation de la résistance :



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'étrangéité 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).

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.

Dans la terre, le ciment hydraté réagit de deux façons (H. Hauben et H. Guillaud, 1995) la réaction avec lui-même : formation d'un mortier de ciment pur hydraté et la réaction avec les squelettes sableux.

Réaction avec l'argile selon trois phases :

.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.

-Progression de l'hydratation qui active la désagrégation des agglomérats d'argile ;

Ceux-ci sont pénétrés en profondeur par les gels de ciment.

-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).

I.9.2. Stabilisation à la chaux

La stabilisation à la *chaux* est apparue aux U.S.A. en 1920 pour les chaussées. Aujourd'hui, elle rencontre un intérêt croissant dans le domaine de la construction et principalement dans le cas de moulage par compression. L'ajout de chaux à la terre se fait dans les mêmes proportions que pour la stabilisation au ciment, c'est-à-dire un dosage de 6 à 12%. Ici par contre, contrairement au cas de la stabilisation au ciment, il existe pour chaque type de terre une quantité optimale. Différents types de chaux peuvent être mis en œuvre mais on utilise principalement les chaux aériennes qui sont obtenues par cuisson de calcaires très purs. La chaux vive (CaO) est moins utilisée que la chaux éteinte Ca(OH)_2 même si elle est plus efficace que la seconde à poids égal, car elle nécessite des conditions de stockage et de transport particulières.

La stabilisation à la chaux peut se décomposer en cinq mécanismes. Le premier est l'absorption d'eau de la terre humide par la chaux. Cette hydratation est accompagnée par un important dégagement de chaleur. Le second est l'échange cationique des ions de calcium de la terre humide : ceux-ci se substituent aux cations échangeables de la terre. Le troisième est la floculation et l'agglomération des particules de terre suite au nombre plus important d'électrolytes dans l'eau interstitielle dû à l'échange de cations précédant, ce qui entraîne un changement de texture et de structure. Le quatrième mécanisme est la carbonatation : « la chaux ajoutée à la terre réagit avec le dioxyde de carbone de l'air pour former des ciments carbonatés médiocres » (Guillaud & Houben, 1995 : p. 94). Le dernier mécanisme est la réaction pouzzolanique. Celle-ci est très importante car c'est elle qui influence le plus les performances de la stabilisation à la chaux. Cette dernière produit en effet un environnement alcalin au pH élevé dans lequel se dissolvent les minéraux argileux. La silice et l'alumine des argiles se recombinaient alors avec le calcium, formant des silicates d'aluminium et de calcium qui vont cimenter les grains entre eux.

La stabilisation à la chaux nécessite donc une terre argileuse contenant principalement des silicates d'alumine, de la silice ou des hydroxydes de fer. La

présence de matières organiques dans la terre est moins problématique que dans le cas de la stabilisation au ciment : ici, des terres contenant jusqu'à 20% de matières organiques peuvent être utilisées. Par contre, les sulfates sont néfastes à l'état humide (Guillaud & Houben, 1995).

I.9.3. Stabilisation mixte chaux – ciment

Ce type de traitement s'effectue sur les sols trop humides et plastiques. On utilise d'abord la chaux seule à des faibles teneurs puis le ciment. Les deux liants ne sont pas concurrents mais complémentaires. Un traitement préalable à la chaux permet l'assèchement du sol trop humide. Sa floculation en présence de chaux le rend pulvérulent et faible donc plus apte à être mélangé ensuite au ciment. Le ciment dont la cinétique d'hydratation est plus grande que celle de la chaux permet l'obtention des résistances mécaniques dès les premiers jours de traitement. Il n'existe pas à notre connaissance d'étude sur les mécanismes qui régissent ce traitement. Apparemment, on peut penser que la portlandite Ca(OH)_2 libérée par le ciment en solution joue le même rôle stabilisant que celui de la chaux. Les hydrates formés par la chaux libre et par la portlandite du ciment vont se cumuler à ceux provenant du ciment dissous (Geuttala, 2003).

La stabilisation à la *chaux* est apparue aux U.S.A. en 1920 pour les chaussées. Aujourd'hui, elle rencontre un intérêt croissant dans le domaine de la construction et principalement dans le cas de moulage par compression. L'ajout de chaux à la terre se fait dans les mêmes proportions que pour la stabilisation au ciment, c'est-à-dire un dosage de 6 à 12%. Ici par contre, contrairement au cas de la stabilisation au ciment, il existe pour chaque type de terre une quantité optimale. Différents types de chaux peuvent être mis en œuvre mais on utilise principalement les chaux aériennes qui sont obtenues par cuisson de calcaires très purs. La chaux vive (CaO) est moins utilisée que la chaux éteinte Ca(OH)_2 même si elle est plus efficace que la seconde à poids égal, car elle nécessite des conditions de stockage et de transport particulières. La chaux hydraulique naturelle (XHN) et la chaux hydraulique artificielle (XHA) quant à elles ne sont utilisées qu'en dépit d'une autre chaux disponible. La stabilisation à la chaux peut se décomposer en cinq mécanismes. Le premier est l'absorption d'eau de la terre humide par la chaux. Cette hydratation est accompagnée par un important dégagement de chaleur. Le second est l'échange cationique des ions de calcium de la

terre humide : ceux-ci se substituent aux cations échangeables de la terre. Le troisième est la floculation et l'agglomération des particules de terre suite au nombre plus important d'électrolytes dans l'eau interstitielle dû à l'échange de cations précédant, ce qui entraîne un changement de texture et de structure. Le quatrième mécanisme est la carbonatation : « la chaux ajoutée à la terre réagit avec le dioxyde de carbone de l'air pour former des ciments carbonatés médiocres » (Guillaud & Houben, 1995 : p.94). Le dernier mécanisme est la réaction pouzzolanique. Celle-ci est très importante car c'est elle qui influence le plus les performances de la stabilisation à la chaux. Cette dernière produit en effet un environnement alcalin au pH élevé dans lequel se dissolvent les minéraux argileux. La silice et l'alumine des argiles se recombinaient alors avec le calcium, formant des silicates d'aluminium et de calcium

qui vont cimenter les grains entre eux. La stabilisation à la chaux nécessite donc une terre argileuse contenant principalement des silicates d'alumine, de la silice ou des hydroxydes de fer. La présence de matières organiques dans la terre est moins problématique que dans le cas de la stabilisation au ciment : ici, des terres contenant jusqu'à 20% de matières organiques peuvent être utilisées. Par contre, les sulfates sont néfastes à l'état humide (Guillaud & Houben, 1995).

Conclusion

Dans ce chapitre d'après l'étude bibliographique Nous avons identifié les propriétés et les avantages du BTC et son importance dans la construction afin de protéger l'environnement ainsi que les techniques courantes de construction en terre.

On a choisi le ciment comme mode de stabilisation et les fibres végétales comme un renfort dans la confection de BTC.

Chapitre II

Valorisations de déchets en génie civil

Valorisations de déchets en génie civil

II.1. Généralité

Toute activité humaine, matérielle consomme des matières premières et produit à plus au moins à long terme des déchets. Les grandes villes, les sociétés rurales sont confrontées à ce problème s'il n'y a pas un système de collecte systématique. Tout déchet, produit dans un pays ou exporté et importé, doit être géré de façon écologique pour protéger la santé et l'environnement (Encyclopédie Encarta, 2006).

La valorisation des déchets s'appelle également revalorisation (« cycling » en anglais). Elle désigne l'ensemble des opérations effectuées sur un objet inutile afin de le rendre à nouveau utile. La valorisation permet de réaliser :

- un nouveau matériau,
- un nouveau produit de qualité égale ou supérieure.

II.2. Définition des déchets

L'article L. 541-1 du Code de l'Environnement, selon La loi française du 15 juillet 1975 définit le déchet comme " tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon " . La directive européenne du 18 mars 1991 considère comme déchet " toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ". Les déchets sont donc un ensemble de résidus se présentant sous forme solide, voire liquide quand ils sont contenus dans des récipients réputés étanches. Ces déchets résultent des différentes activités humaines : domestiques, industrielles et agricoles.

II.3. Classification des déchets

« Les techniques de l'ingénieur » fait une classification très détaillée des déchets en six groupes comme suit selon leurs origines :(Bourema.M.2015).

- **Biologique**

Les déchets d'origine biologique sont définis par le fait que tout cycle de vie produit des métabolites (matières fécales, cadavre.....).

- **Chimique**

Toute réaction chimique est régie par les principes de la conservation de la matière et dès lors si l'on veut obtenir un produit C à partir des produits A et B par la réaction $A+B \rightarrow C+D$; D sera un sous-produit qu'il faut gérer si on n'en a pas l'usage évident.

- **Technologique**

Quelles que soient la fiabilité et la qualité des outils et procédés de production, il y a inévitablement des rejets qu'il faut prendre en compte tels que chutes, copeaux, solvants usés, emballage, etc....

- **Economique**

La durabilité des produits, des objets et des machines a forcément une limite qui les conduit un jour ou l'autre à leur élimination ou leur remplacement.

- **Ecologique**

Les activités de dépollution (eau, air, déchets) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront eux aussi une gestion spécifique, ...et ainsi de suite.

- **Accidentelle**

Les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont à l'origine des déchets.

II.4. Différents types des déchets

- **Déchets ménagers et assimilés**

Déchets issus de l'activité domestique des ménages ou déchets non dangereux provenant des entreprises industrielles, des artisans, commerçants, écoles, services publics, hôpitaux, services tertiaires et collectés dans les mêmes conditions que les déchets des ménages. [1]

▪ Déchets encombrants

Toutes déchets provenant des ménages qui par leur poids, leur dimension ou leur volume ne peuvent être chargés dans les véhicules de collecte avec les déchets ménagers ordinaires et qui doivent faire l'objet d'une collecte spéciale. [2]

▪ Déchets spéciaux

Toutes déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui, en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent, ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes.[3]

▪ Déchets spéciaux dangereux

Tous déchets spéciaux qui, par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent, sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement. Sont considérés comme déchets dangereux les déchets de matériaux de construction suivant :

- ✓ Mélange de béton, briques, tuiles et céramiques contenant des substances dangereuses
- ✓ Verres contenant des substances dangereuses ou contaminés par de telles substances.
- ✓ Goudron et produit goudronnés. (Bourema.M-2015)

▪ Déchets inertes

Tous déchets provenant de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation et qui ne sont pas constitués ou contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances. Ces déchets ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique. (Bourema.M-2015).

▪ Déchets ultimes

Tous résidus résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. (Bourema.M-2015).

▪ Déchets biodégradables

Tous déchets pouvant subir une décomposition biologique naturelle, comme les déchets alimentaires, les déchets de jardins ainsi que le papier et le carton.[2]

II.5. Classification des déchets

❖ Selon l'origine :

- Déchets industriels
- Déchets urbains.

Après le tri et le traitement on adoptera une étape cruciale dans le processus de valorisation de ces déchets .La bonne gestion nous permettra de mieux exploiter ces déchets et ainsi réduire leurs nuisances et leurs impacts environnementaux, leur réutilisation devient ainsi profitable et conduit à un résultat très positif sur le plan économique. (Bourema.M-2015).

❖ Selon leur mode de traitement :

Les chercheurs s'accordent à regrouper les déchets solides en quatre grandes familles, selon :

- Déchets inertes
- Déchets banales
- Déchets spéciaux
- Déchets dangereux

❖ Selon leurs effets sur l'environnement :

A ce titre on distingue :

- Déchets inertes
- Déchets fermentescibles
- Déchets toxiques. (Bourema. -2015).

II.6. Déchets utilisés en génie civil

- ❖ **Laitiers de haut fourneau** : C'est un résidu issu de la fabrication de la fonte au haut fourneau, où il correspond au mènèrai de fer, isolée de la fonte liquide où il flotte par différence de densité.



Figure II.1.laitier de haut fourneau.

- ❖ **Laitier d'acier:** Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. [3]



Figure II.2. Laitier d'acier.

- ❖ **Cendres volantes :** Est un produit provenant de la combustion des charbons dans les centrales thermiques, peuvent être utilisées à la fabrication des ciments, à l'exécution des bétons. [4]



Figure II.3.Cendres volantes.

- ❖ **Mâchefer** : C'est les résidus de la combustion de la houille, dans les centrales électriques anciennes. Il contient une proportion considérable de charbon non brûlé et d'autres impuretés. [5]



Figure II.4.Mâchefer.

- ❖ **Béton récupéré**: Il s'en suit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton. Par ailleurs, les sinistres fournissent des millions de tonnes de débris de béton. [6]



Figure II.5.béton récupéré.

- ❖ **Sciure de bois**: Le bois est utilisé dans l'industrie, la menuiserie, les charpentes ou le chauffage. Dans tous les cas, il génère une grande quantité de déchets. [6]



Figure II.6. Sciure de bois.

- ❖ **Marbre:** Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris.



Figure II.7.Marbre.

- ❖ **Brique concassée :** Les débris de terre cuite sont, généralement, classés parmi les déchets de démolition, que ce soit du point de vue recyclage ou réutilisation comme granulats légers.

Les débris de briques contenus dans les déchets de démolition, sont désignés sous le nom collectif de « débris de terre cuite ». [7]



Figure II.8.Brique concassée.

II.7. Déchets de brique

La valorisation des déchets a devenu aujourd'hui 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 intéressant dans ce cas vue que ces déchets sont disponibles et sont abandonnés au niveau de chantiers. Pour atteindre ces objectifs on essaye à travers ce travail d'ordre expérimental de valoriser les DBR en les utilisant comme constituant dans le BTC.

II.7.1. Définition de brique

La brique est un parallélépipède rectangle, de terre argileuse crue et séchée au soleil ou cuite au four, utilisé comme matériau de construction. L'argile est souvent mêlée de sable.

II.7.2. Types de brique

On distingue différents types de briques :

- la brique de terre crue, qui peut aussi contenir des fibres (pailles, lin, crin...),
- la brique de terre compressée,
- la brique cuite pleine, matériau traditionnel très ancien, avec une variante appelée brique pleine perforée (les perforations sont perpendiculaires au plan de pose),
- la brique légère et isolante (qui flotte sur l'eau) utilise une terre silico-magnésienne sans consistance mais qui mélangée à un vingtième environ d'argile plastique produisait des briques aussi résistantes que des briques ordinaires, mais très poreuses, conduisant mal la chaleur ou le froid et flottant sur l'eau.
- la brique cuite creuse, plus légère (et donc moins coûteuse à transporter) et plus isolante, est devenue la plus utilisée, Ses perforations sont parallèles au plan de pose de manière à ne pas diminuer sa résistance à la pression,
- la brique réfractaire, pour la construction des fours, chaudières, foyers, cheminées [8]

II.7.3. Principaux constituants de la brique et caractéristiques chimiques

Les briques cuites sont fabriquées avec tous types d'argile : les illitiques (couleur marron gris à rouge, après cuisson), les kaoliniques (très claires) et les bravais tiques (couleur orange à rose).

On trouve dans la pâte argileuse essentiellement des éléments métalliques, sous forme d'oxydes plus ou moins hydratés :

- les éléments dits "réfractaires" dont le degré de fusion est très supérieur à celui de la température (de 800 à 1000°) des fours à briques : il s'agit de la silice (SiO_2), et de l'aluminium (Al_2O_3).

Les éléments "colorants" dont la proportion détermine la couleur basique de la brique (le degré de cuisson étant l'autre facteur déterminant de cette couleur). Ce sont :

- l'oxyde de fer,
 - l'oxyde de titane,
 - l'oxyde de manganèse.
- les "fondants", de deux types :
- les oxydes alcalins : oxydes de sodium et de potassium,
 - les oxydes alcalino-terreux : chaux et magnesia[9]

II.7.4. Mode de fabrication de brique

Cinq stades se succèdent dans la fabrication de la brique [9]

- l'extraction de la terre (argile ou limon)
- la préparation de la pâte
- le façonnage
- le séchage
- la cuisson

II.8. Avantage des déchets

➤ La valorisation des déchets préserve des ressources naturelles rares et coûteuses, mais il permet aussi de réutiliser des matériaux localement disponibles, ce qui diminue les coûts et les transports.

➤ La réduction la pollution en valorisant des matériaux dont il est difficile

De se débarrasser, ainsi qu'en réduisant les besoins en nouveaux matériaux, dont la Production fait appel à des procédés industriels polluants.

- Fournir une grande quantité d'énergie pour la production de nouveaux matériaux
- Contribuer à l'amélioration de la qualité de certains matériaux

Conclusion

La valorisation des déchets, nous montre la possibilité d'utilisation de ces derniers dans le domaine de génie civil, pour limiter les impacts négatifs sur le plan environnemental et aussi pour protéger les ressources naturelles et la santé humaine.

Chapitre III

Revue Général sur les fibres

Revue Général sur Les fibres

III.1.Introduction

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.

III.2. Le rôle de fibres

Les fibres jouent plusieurs rôles : Elles permettent :

- D'empêcher la fissuration au séchage en répartissant les tensions dues au retrait de l'argile dans toute la masse du matériau ;
- Accélérer le séchage grâce à un drainage de l'humidité vers l'extérieur par les canaux des fibres .inversement, la présence de fibres augmente l'absorption en présence d'eau ;
- Alléger le matériau : le volume de pailles est souvent très important, allégeant la masse volumique du matériau et améliorant ses propriétés d'isolation ;
- Augmenter la résistance à la traction (Guillaud & Houben, 1995 :p.88).

III.3. Différents types de fibres

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

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

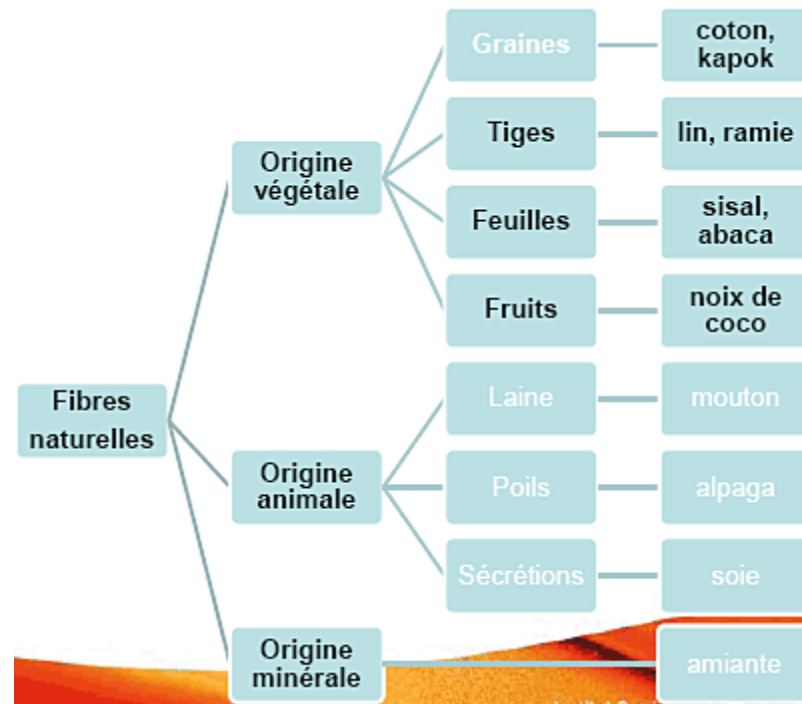


Figure.III.1. Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine (Baley, 2013).

- **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).

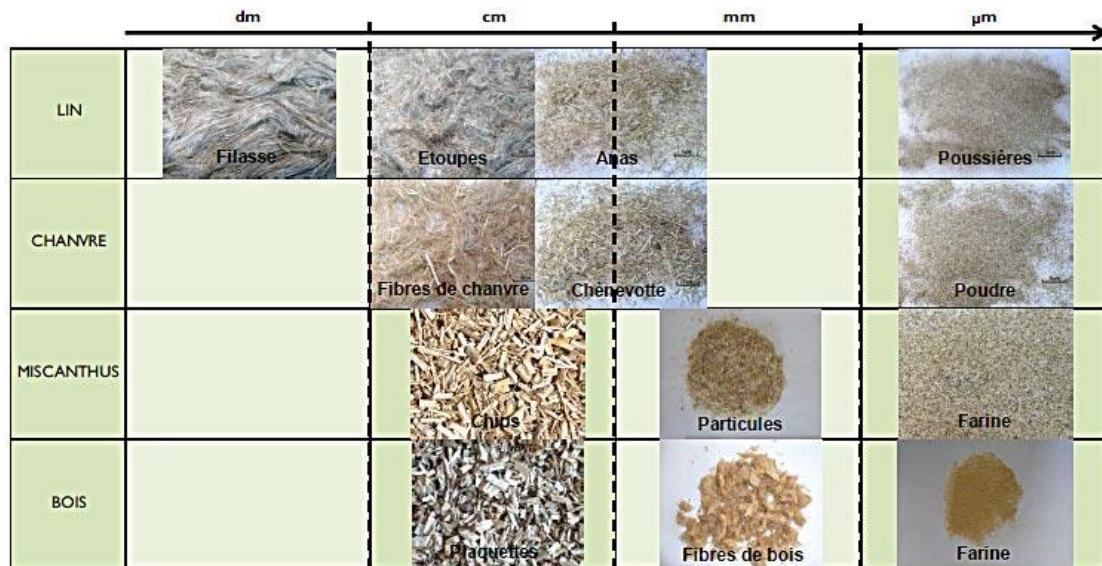


Figure.III.2. Les type de fibres végétales.

- **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 ;



Figure.III.3. exemples de fibres animales.

- **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).



Figure.III.4. Exemple de fibre minérale (amiante).

III.4. 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, tel que :

- 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).



Figure III.5. Exemples de fibre synthétique (Polypropylène).

- **Les 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. ellesontaujourd'hui les plus répondues dans l'industrie de la construction.



Figure.III.6. exemples des fibres artificielles.

Conclusion

L'utilisation des fibres dans le domaine du génie civil a connu un développement rapide durant les dernières années. a cause de sa nécessité et son emploi par le monde Dans les construction en terre.

Chapitre IV

Matériaux et procédures expérimentales

Matériaux et procédures expérimentales

IV.1.Introduction

L'objectif principal de ce travail est la caractérisation d'un BTC préparé à base d'un sol stabilisé au ciment et renforcé en fibres végétales. L'objectif principal du travail consiste à déterminer l'effet du renforcement mécanique (par fibres) et du traitement chimique (par ciment) sur la performance du BTC. Ce chapitre a pour objectif de présenter les résultats d'identification des matériaux utilisés, les procédures expérimentales suivies et le protocole expérimental entrepris. De plus, une brève description du site de prélèvement de l'argile étudiée, est présentée.

IV.2.Matériaux

IV.2.1.Sol utilisé (argile de Chaaba El Hamra)

Le site de prélèvement est situé à la partie Nord de la ville de M'sila, dite localement Chaaba El Hamra, Cité Boukhemissa (Figure IV.1). Le sol de la région est composé essentiellement d'une argile rougeâtre (Figure IV.2).



Figure IV.1 : Le site de prélèvement



Figure IV.2. Argile rougeâtre.

IV.2.1.1 Analyse granulométrique par tamisage (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 4.3).
- Par sédimentométrie (NF P 94-057) de la fraction inférieure à 0.08 mm Les particules du sol sédimentent à différentes vitesses en relation avec leur taille. Au moyen d'un densimètre est mesurée l'évolution dans le temps de la masse volumique de la solution et de la profondeur d'immersion de l'appareil. La distribution pondérale de la taille des particules est calculée à partir de ces données.



Figure IV.3. Dispositif expérimental de l'essai d'analyse granulométrique.

Les résultats de cette analyse sont donnés dans le Tableau suivant:

Tableau IV.1. Granulometrie par tamisage.

Tamis (mm)	Refus(g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât(%)
2	0	0	0	100
1.6	6.01	6.01	0.601	99.399
1.25	45.23	51.24	5.124	94.876
1	46.91	98.15	9.815	90.185
0.8	63.33	161.48	16.148	83.852
0.63	54.88	216.36	21.636	78.364
0.5	35.03	251.39	25.139	74.861
0.315	138.33	389.72	38.972	61.028
0.2	44.69	434.41	43.441	56.559
0.125	251.74	686.15	68.615	31.385
0.1	72.78	758.93	75.893	24.107
0.08	108.99	867.92	86.792	13.208
Fond	120	987.92	98.792	1.208

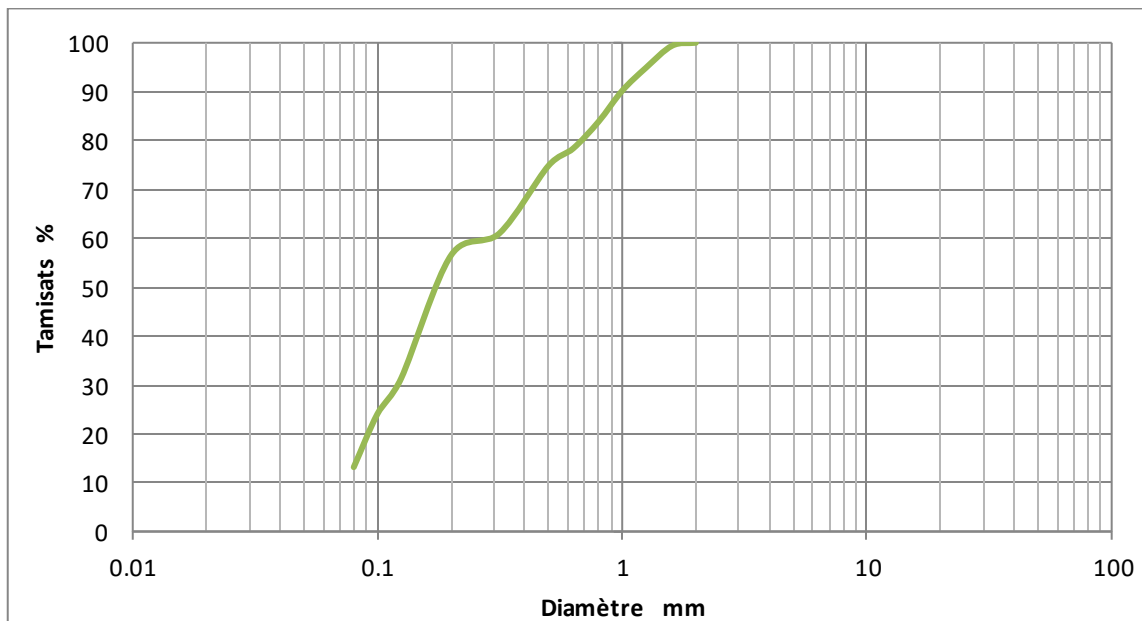


Figure IV.4 : Courbe granulométrique du sol utilisé.

Tableau IV.2. analyses chimiques du sol

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

IV.2.1.2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

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 $I_p = W_l - W_p$ 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. IV.5).



Figure IV.5 : Appareillage de limites d'Atterberg.

Le Tableau ci-après représente les résultats obtenus

Tableau IV.3. 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	

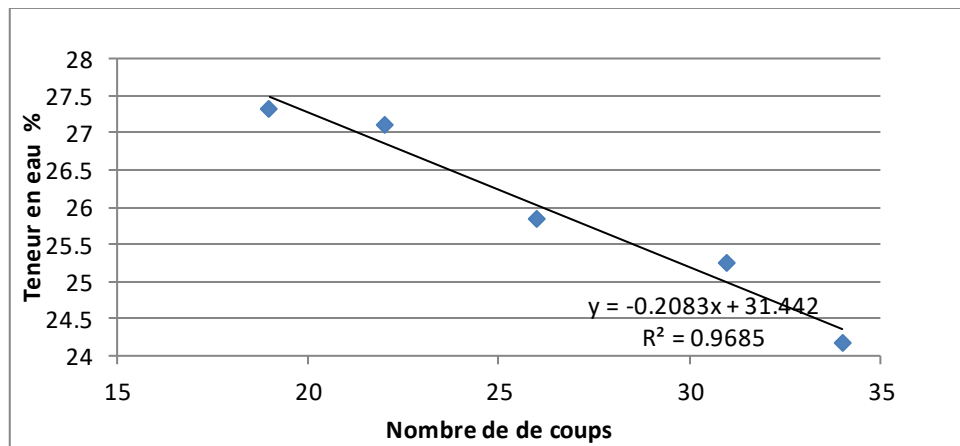


Figure IV.6. Détermination de la limite de liquidité.

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

Tableau IV.4 .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 IV.5:Récapitulatif des limites d'Atterberg.

Limite de liquidité ω_l (%)	Limite de liquidité ω_p (%)	Indice de plasticité
26	18	8

IV.2.1.3.Masse volumique du sol

Tableau IV.6: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	2,50
1,218		1,368		2,35	
1,208		1,399		2,66	

IV.2.1.4.Valeur de Bleu de méthylène (NA P 94 068).

L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu méthylène pouvant être adsorbée par le matériau mis en suspension dans l'eau. Cette quantité est rapportée par proportionnalité directe à la fraction 0/50 mm du sol. La valeur de bleu du sol est directement liée à la surface

spécifique des particules constituant le sol ou le matériau rocheux.

Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène et en contrôlant l'adsorption après chaque ajout. Pour ce faire, on prélève une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre, ce qui provoque la création d'une tache.

L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleu clair persistante apparaît à la périphérie de la tache.



Figure IV.7:Essai VBS.

Tableau IV.7:Valeurs au bleu de méthylène par l'essai à la tache.

	Masse du sol(g)	Volume de la solution(cm^3)	VBS
Essai 1	50	105	1,56
Essai 2	50	125	1.68
Moyenne	50	115	1.62

IV.2.2.Déchets de brique

La brique utilisée dans cette étude est obtenue par broyage du déchet collecté de différents chantiers (Figure IV.8).

IV.2.2.1. Analyse granulométrique de la brique broyée

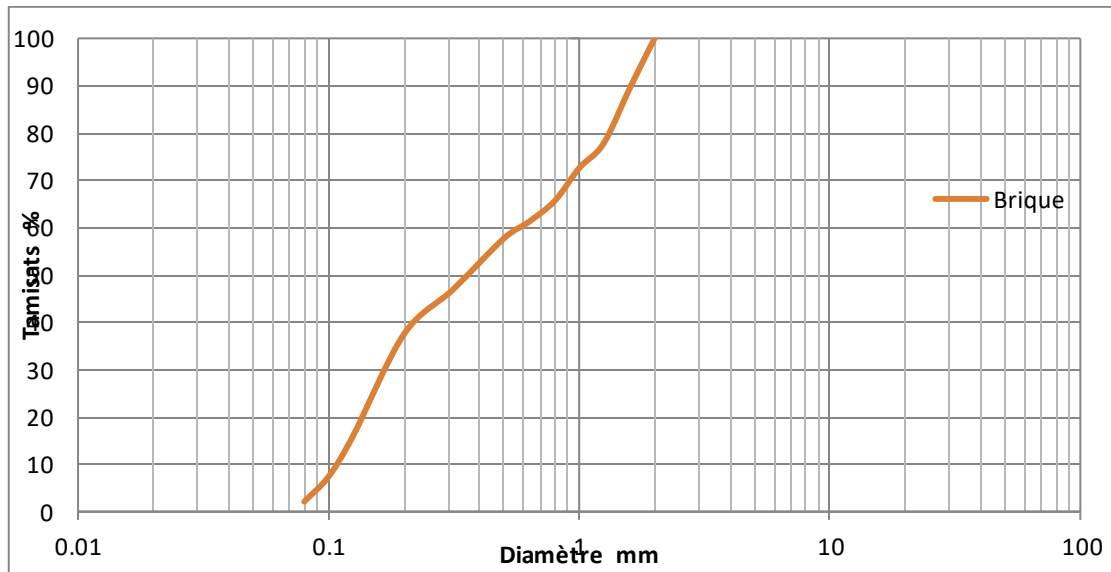


Figure IV.8: Courbe granulométrique de la brique broyée.

IV.2.2.2. Masse volumique de la brique broyée

Tableau IV.8: 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	

IV.2.3. Ciment

Le ciment utilisé de Ain Touta de classe CEM II/A-L 42.5, sa composition chimique est présentée dans le Tableau IV.9 tandis que ses propriétés physico-mécaniques sont données dans le Tableau IV.10

Tableau IV.9. la composition chimique de ciment Ain Touta.

Elément	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Cao	MgO	K_2O	SO_3	Na_2O
%	21,45	4,31	4,56	61,43	1,24	0,61	2,28	0,39

Tableau IV.10. Propriétés physico-mécaniques.

Caractéristique Physico-mécaniques				
Désignations		Unités	Garanties NA.442	Mesures
Poids Spécifique (NA 2595/2006)		G/cm ³	-	3.20
Surface Spécifique Blaine (NA 230/2006)		cm ² /g	-	3945
Consistance Normale (NA 230/2010)		%H ₂ O	-	25.82
Temps De Prise (NA 230/2010)	Début	h : min	≥ 1h : 00	02h24
	Fin	h : min	-	03h25
Expansion à Chaud (NA 231/2006)		mm	≤ 10	0.71
Refus sur tamis 45µm (NA 231/2006)		%	-	10.49
Chaleur d'hydratation (NA 5061/2006)	120	j/g	≤ 270 j/g	LH
	Heures			
Résistance la Flexion (NA 234/2007)	02 jours	MPa	-	5.09
	07 jours	MPa	-	6.93
	28 jours	MPa	-	8.01
Résistance à la compression (NA 234/2007)	02 jours	MPa	≥ 20.00	22.73

IV.2.4.Fibres

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



Figure IV.9: Fibres de filasse utilisées.

IV.3. Caractéristiques des fibres utilisées

Longueur : 5cm

Diamètre : 7- 47

Densité : 1,20 (d/cm)

IV.4. 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 ($25\% < W_I < 50\%$; $10\% < W_p < 25\%$).

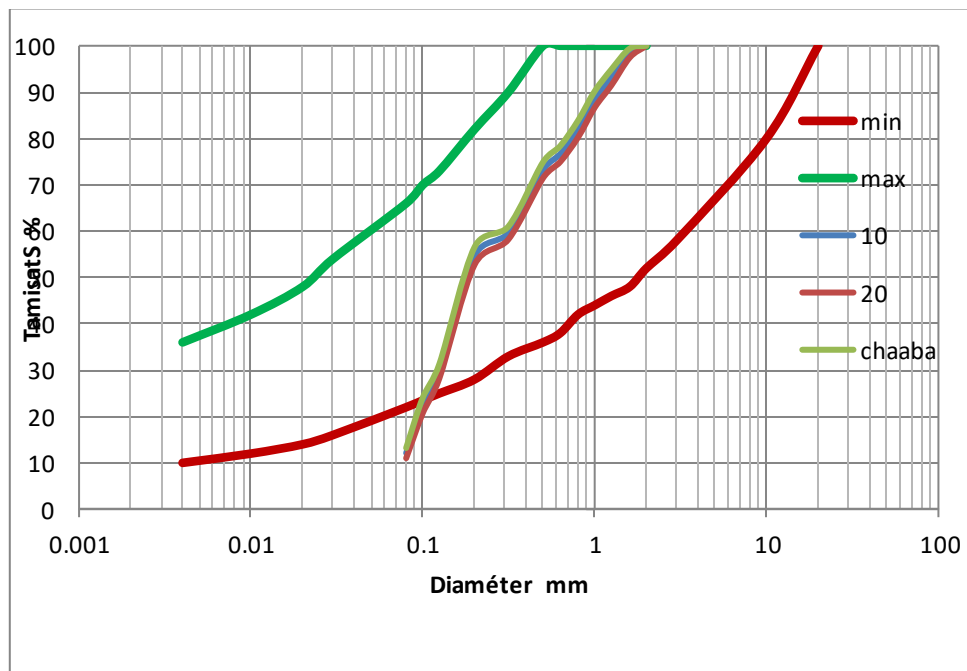


Figure IV.10 : la courbe granulométrique du mélange sol-brique.

IV.5. Confection des éprouvettes

IV.5.1. Préparation des mélanges :

Les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes cubiques de dimension $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$

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 50°C.

Préparation du mélange :

2-préparation des moules : après le nettoyage et graissage à l'aide d'huile.

3-on pèse les quantités nécessaires des matériaux : argile, ciment, fibre végétale (la filasse), déchets de brique, et l'eau.

4-le malaxage : le processus est comme suit :

On mit l'argile sèche avec la quantité de déchets de brique et la quantité de ciment et les fibres de filasse et on malaxe le mélange à sec durant 40à60 secondes puis on ajoute une quantité d'eau et on malaxe pendant 120à180 seconde jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène.

5-le compactage : est effectué à l'aide d'une presse hydraulique de laboratoire.

6-le démoulage : cette opération est exécutée à l'aide d'une presse manuelle de laboratoire.



Figure IV.11:processus de confection de BTC.

IV.5.2.la cure des éprouvettes : après démoulage, on mis les éprouvettes dans des sachets plastiques pendant 28 jours .cette période de cure permet au stabilisant de durcir .le séchage s'est effectué à la température ambiante du laboratoire.



Figure IV.12:La cure des éprouvettes.

IV.6.Essai décompression (la norme P 18-406).

L'essai de compression est réalisé suivant la norme P18-406. $\sigma_c = \frac{F}{S}$

F : la charge appliquée en KN.

S: section transversale de l'éprouvette ($S=a*a$).



Figure IV.13:Presse hydraulique pour l'essai de compression (avec une pression de 3000KN).

IV.7.Codage d'essai

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 IV.11:Codage d'essai.

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

Chapitre V

Résultats et discussions

Résultats et discussions

V.1. Introduction

Ce chapitre a pour objet de présenter et interpréter l'ensemble des résultats obtenus sur le sol de Chaaba El Hamra renforcé par les fibres de filasse (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5) et traité au ciment (5, 7 et 9%).

V.2. Présentation de résultats

V.2.1. Effet des fibres sur la résistance à la compression

Le Tableau V.1. et la Figure V.1. présentent la variation de la résistance en compression en fonction des concentrations des fibres dans le sol

Tableau V.1. Effet des fibres sur la résistance en compression

Teneur en fibre(%)	masse(g)	h (cm)	RC(MPa)	Temps(S)	Moy (MPa)
F_0/C_0	2372,52	10,6	2,31	66,8	1,30
	2337,69	10,7	1,38	229,5	
	2245,74	10,1	1,21	128,7	
F_0,1/C_0	2401,8	10,9	0,94	119,4	0,93
	2365,12	10,9	0,92	103,8	
	2361,06	11	0,72	93,4	
F_0,2/C_0	2303,3	10,7	1,95	60,1	1,01
	2476,04	10,5	1,63	142,8	
	2377,72	10,8	1,01	182,4	
F_0,3/C_0	2390,81	11,02	0,7	73,4	0,74
	2366,86	11,2	0,74	67,8	
	2286,11	10,92	0,69	80,6	
F_0,4/C_0	2368,53	11	0,98	203,2	1,04
	2271,35	10,8	0,88	132,7	
	2213,33	10,4	1,1	246,6	
F_0,5/C_0	2400,56	11,2	0,86	123,4	1,005
	2408,13	11,2	1,07	143	
	2389,57	10,9	0,94	122	

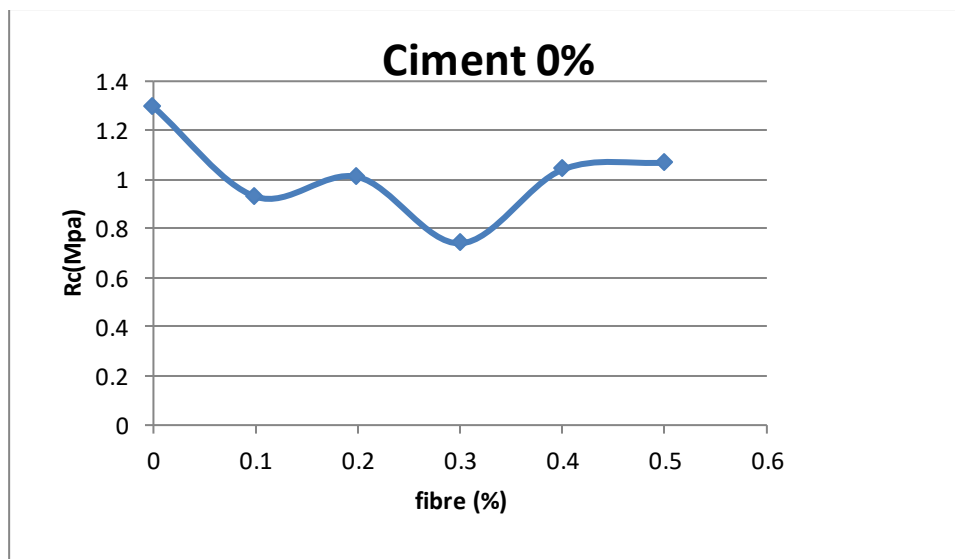


Figure V.1. Effet des fibres sur la résistance en compression

V.2.2. Effet du ciment sur la résistance à la compression

Les résultats sont présentés dans les Tableaux et les Figure suivantes

Tableau V.2. Effet des fibres la résistance du BTC stabilisé par 5%

Teneur en fibre(%)	Masse(g)	h (cm)	RC(MPa)	Temps(S)	Moy (MPa)
F_0/C_5	2938,86	10,7	2,5	76,9	2,46
	2201,36	10,5	2,41	71,6	
	2374,97	11,6	2,48	57,7	
F_0,1/C_5	2394.45	11.5	3.15	71.5	3.14
	2352.43	10.7	2.88	65.6	
	2398.44	11.4	3.39	77.5	
F_0,2/C_5	2346.33	11.26	3.75	81.6	3.67
	2373.2	11.25	3.58	84.2	
	2373.28	11.4	3.67	85.4	
F_0,3/C_5	2338.83	11.2	3.73	96	3.84
	2349.12	11.3	3.77	89.9	
	2350.3	11.3	4.03	89.5	
F_0,4/C_5	2294.33	11	4.22	93.9	4.14
	2321.82	11.12	4.25	95.9	
	2342.63	11.23	3.95	92	
F_0,5/C_5	2314.13	11.2	4.87	105.3	4.91
	2342.61	11.35	4.9	108.6	
	2401.13	11.22	4.96	109.2	

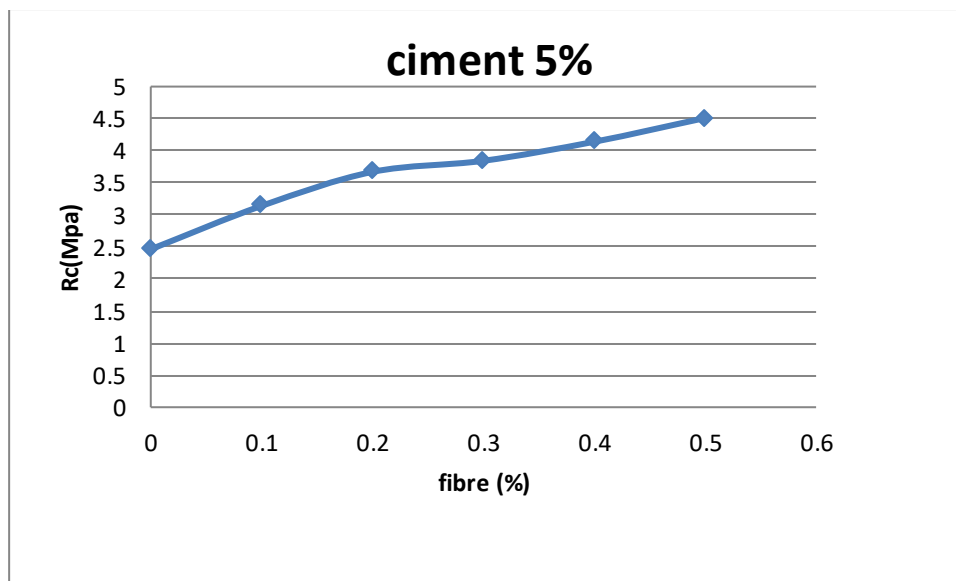


Figure V.2. Effet des fibres sur la résistance en compression (5% du ciment)

Tableau V.3. Effet des fibres sur la résistance du BTC stabilisé avec 7% du ciment

Teneur en fibre(%)	masse(g)	h (cm)	RC(MPa)	temps(S)	Moy (MPa)
F_0/C_7	2266.07	10.59	2.73	64.4	3.04
	2405.36	11.5	3.4	72.7	
	2296.06	10.9	2.67	59.9	
F_0,1/C_7	2260,27	10,8	2,45	63,1	2.93
	2240,87	11,24	2,46	66,9	
	2324,81	11,06	3,89	82	
F_0,2/C_7	2328.17	10.54	4.92	105.6	4.72
	2307.44	10.95	4.29	91.4	
	2304.18	11.21	4.96	98,2	
F_0,3/C_7	2132.7	10.09	5.32	113.1	4.67
	2167.2	10.27	4.81	103	
	2176.38	10.67	3.89	98.3	
F_0,4/C_7	2041.33	9.78	5.91	123.9	5.55
	2245.93	10.67	5.35	115.9	
	2128.66	10.25	5.38	115.8	
F_0,5/C_7	2243.14	11	5.89	121	5.44
	2238.32	11.01	5.11	106.9	
	2282.1	11.08	5.33	112	

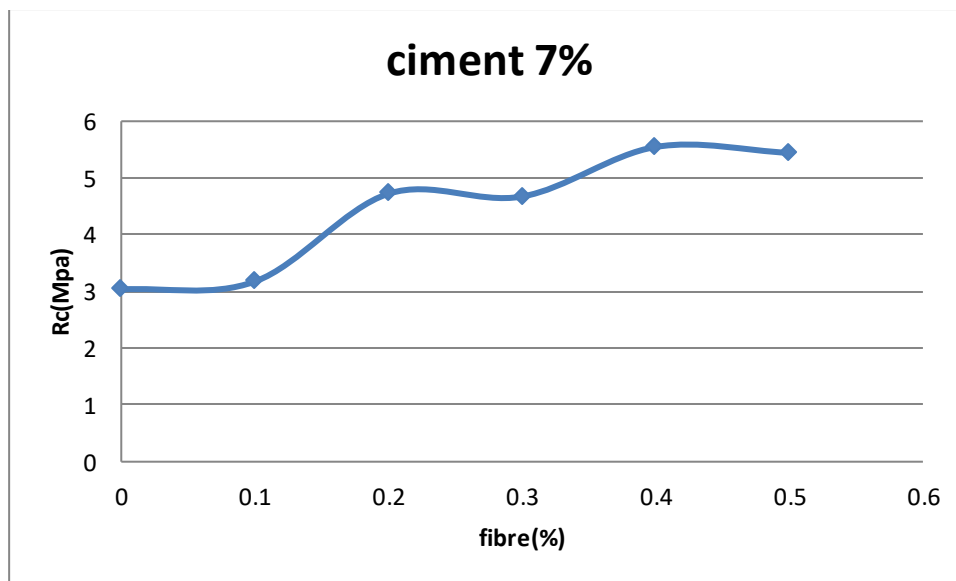


Figure V.3. Effet des fibres sur la résistance du BTC (7% du ciment)

Tableau V.4. Effet des fibres sur la résistance du BTC stabilisé par 9% du ciment

Teneur en fibre(%)	Masse(g)	h (cm)	RC(MPa)	temps(S)	Moy (MPa)
F_0/C_9	2303.13	10.9	4.39	90.8	4.31
	2240.42	10.61	3.44	81.2	
	2127.37	9.98	5.11	104.8	
F_0,1/C_9	2241.33	10.62	4.83	101.1	5.14
	2176.43	10.17	5.5	112.3	
	2278.19	10.8	5.09	105.1	
F_0,2/C_9	2177.13	10.49	4.65	100.9	4.85
	2237.41	10.1	4.69	99.6	
	2282.63	10.81	5.21	109.6	
F_0,3/C_9	2270.23	10.69	5.04	108.25	5.12
	2321.43	10.02	5.3	111.3	
	2355.85	11.23	5.03	106.5	
F_0,4/C_9	2326.31	11.04	6.1	127	6.03
	2337.6	11.06	5.99	126.8	
	2329.72	11.11	5.99	124.7	
F_0,5/C_9	2305.99	11.06	6.91	143.6	6.59
	2282.72	10.94	6.58	137.8	
	2290.2	11.34	6.28	130.8	

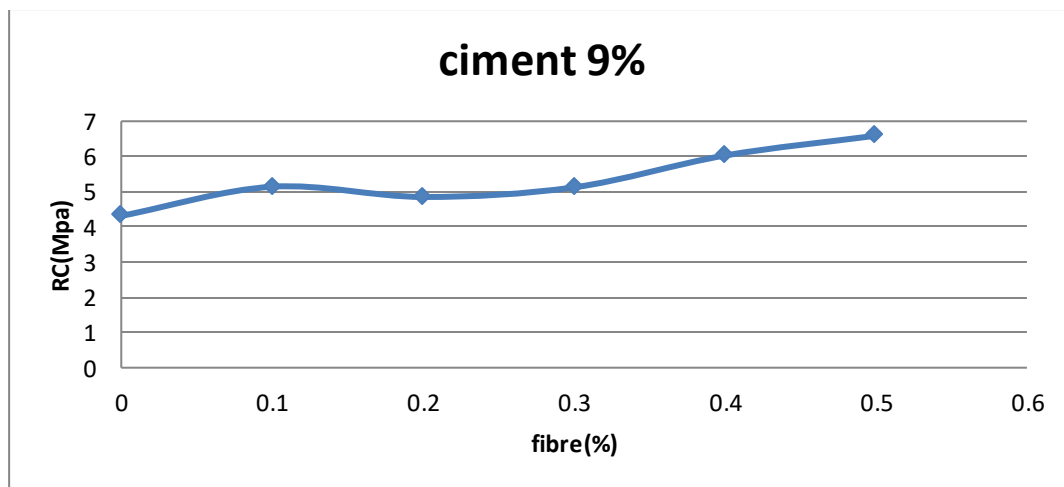


Figure V.4. Effet des fibres sur la résistance en compression

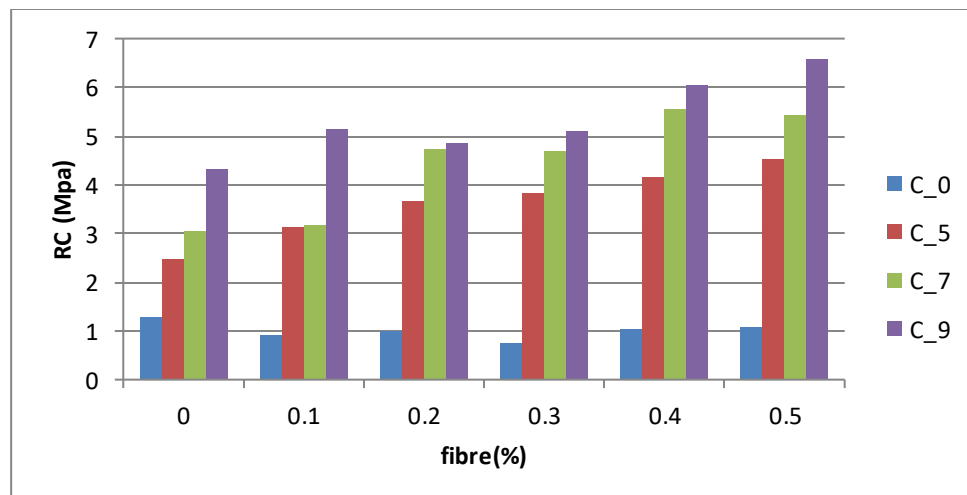


Figure V.5. Récapitulatif de l'effet d'un traitement combiné sur la résistance en compression

V.3. Absorption d'eau

Les résultats d'absorption d'eau sont présentés dans les Figures suivantes:

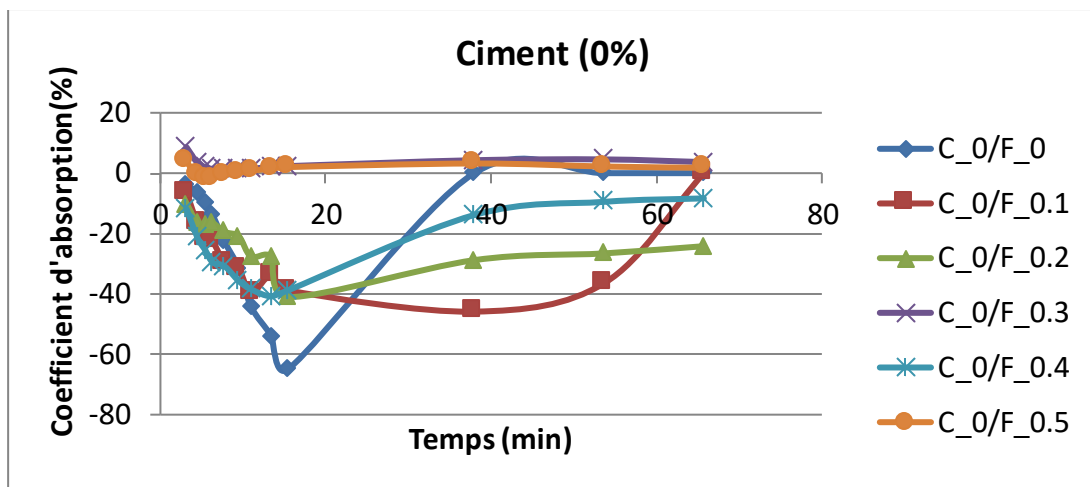


Figure V.6. Effet des fibres sur l'absorption d'eau (non stabilisé)

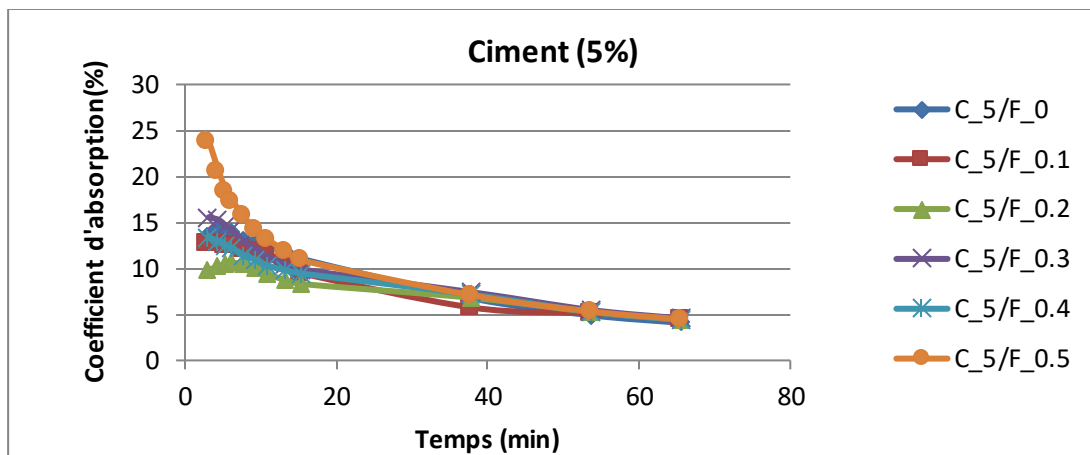


Figure V.7. Effet de (5%) ciment et de fibre de filasse sur l'absorption d'eau

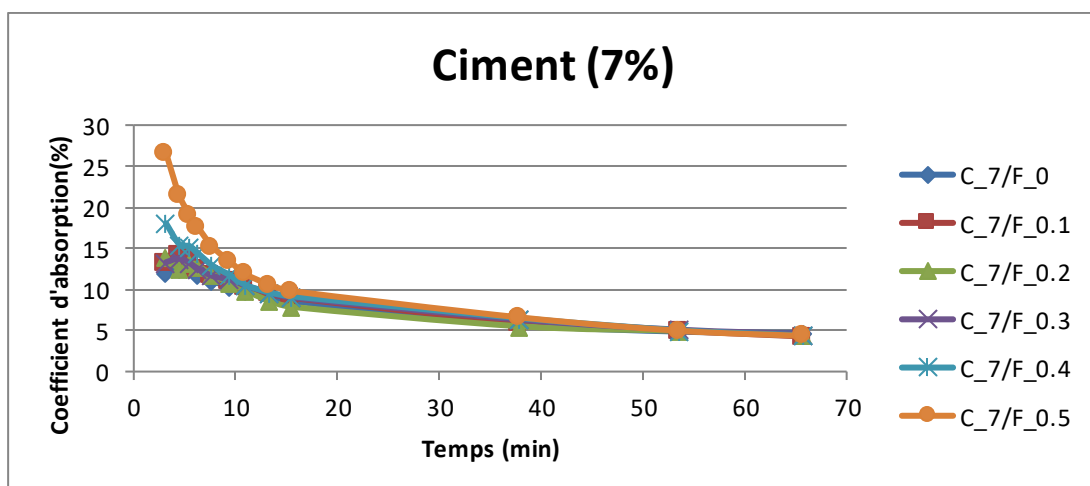


Figure V.8. Effet de (7%) ciment et de fibre de filasse sur l'absorption d'eau

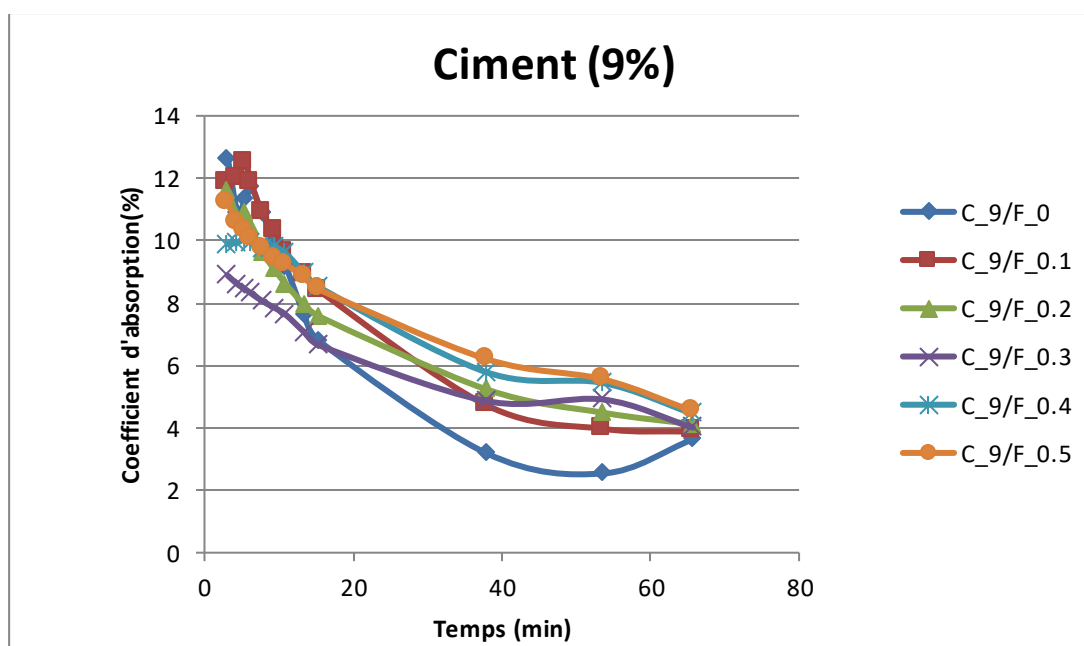


Figure V.9. Effet de (9%) ciment et de fibre de filasse sur l'absorption d'eau

V.4. Interprétation

V.4.1. Effet des fibres de sisal sur la résistance à la compression

L'essai de compression a été réalisé sur des éprouvettes cubiques (10x10x10) cm. Les éprouvettes ont été fabriquées par compactage des éprouvettes de sol à l'aide d'une presse hydraulique. Les blocs de BTC sont stabilisés par trois dosages en ciment 5, 7 et 9% du ciment. Pour chacun de ces dosages les fibres ont été ajoutées en différents pourcentages. Les résultats obtenus sont présentés dans les Tableaux V.2 ; V.3 ; V.4 et les Figures V.2 ; V.3 ; V.4. D'après ces résultats on remarque que le traitement des blocs de BTC affecte le comportement des blocs, spécifiquement ;

Le renforcement mécanique des blocs de terre non stabilisé, n'a pas un effet positif remarquable sur la résistance.

Les résistances développées par les mélanges par les blocs renforcés par des fibres et non stabilisée sont relativement faibles et le matériau final ne pas considérer comme un BTC.

Pour les blocs cimentés, la résistance augmente avec l'augmentation du dosage en fibres et les résistances développées dépassent la résistance minimale demandées par les normes en vigueur, pour produire un BTC.

Il est important de signaler que l'aspect des éprouvettes à la rupture change en présence des fibres. Il est en effet le matériau devient plus ductile.

La résistance maximale a été obtenue par les blocs cimentés avec 9% du ciment et renforcés par 0,5 de fibres

V.2.Absorption capillaire

Les résultats de l'essai montre que les blocs non traités c'est –à-dire à base du sol naturel seul et ceux renforcés par des fibres et non stabilisés (sans ciment) sont caractérisés par une faible résistance vis à vis de l'eau, une fois les blocs mettent en contact avec de l'eau, elle se commence à dissoudre (voir FigureV.10). En présence, des fibres cette sensibilité à l'eau diminue légèrement.



Figure V.10.dissolution du BTC non stabilisé

Pour les mélanges stabilisés avec du ciment, les blocs restent intacts ce qui montre une réduction de la sensibilité à l'eau ce qui donne une résistance plus élevée contre l'absorption. D'autre part, les résultats montrent que l'absorption diminue dans le temps. Il est important de signaler que pour une teneur en ciment donnée, le taux d'absorption diminue avec l'augmentation du dosage en fibres, puisque ces dernières créent des canaux d'écoulement d'eau. Mais avec l'augmentation du ciment ces fissures se colmatent et l'absorption diminue.

CONCLUSION GENERALE

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 que 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 0,5% de fibres est améliorée par 556 %, par rapport au BTC produit à base du sol non traité.
4. Les blocs produits à base du sol seul et ceux renforcés en fibres de sisal (non traité au ciment) présentent une faible résistance vis à vis l'eau. Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité augmente avec l'augmentation du dosage en fibres, puisque ces dernières créent des fissures et des conduites d'écoulement d'eau. Cependant l'utilisation du ciment réduit la porosité et colmate ces canaux d'écoulement.

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.

Liste des références

CRATerre. (1991).le bloc de terre comprimée Elément de base.

HoubenH, G.H. (2006).traité de construction en terre, CRATerre, Editions parenthèses.

(France, Ed.) (Edition pa).

Krami A®gadi S. (2011).Thème étude des briques de terre gypso-calcaire stabilisée par le ciment ou par la chaux Génie civil et aux ingénieurs de laboratoire de génie civil sans acception.

Burrough VS. Quantitative criteria for the selection and stabilization of soils for rammed earth wall construction, PhD Thesis, university of New South Wales, Australia, 2001

BOKOR YOUSOUF SAKINE.Vérificationdes caractéristiques des BTC stabilisée avec la chaux (2011).

Mahmoudi Saadia, le béton de terre stabilisée renforcé par des fibres. (2013.2014).

Jehanne PAULUS. CONSTRUCTION EN TERRE CRUE:

DISPOSITIONS QUALITATIVES, CONSTRUCTIVES ET ARCHITECTURALES –

Application à un cas pratique (2014.2015).

MoufidaBourema, étude des caractéristiques d'un BHP à base de déchets de brique rouge a l'état frais et durci(2015).

Site internet :

Thèse argile PDFdébut et fin –DUNE.

<http://dune.univ-angers.fr/fichiers/20073109/2016PHA5426/fichier/5426F.pdf>

[1]: Les déchets :les classer pour mieux les connaître,les réduire pour mieux les maîtriser,Disponible sur :

http://www.eduquer-au-developpement-durable.com/wp-content/uploads/2011/04/Fiche_enseignant_1_petite_histoire_dechets.pdf.

. [2] Rapport sur l'Etat de l'Environnement du Maroc. Chapitre IV : Milieux Humains Déchets. Disponible sur :

[http:// www.minenv.gov.ma/PDFs/R_EEM/Dechets.pdf.p221-235](http://www.minenv.gov.ma/PDFs/R_EEM/Dechets.pdf.p221-235).

http://www.orsnpdc.org/observation/228815_1dechetsa.pdf. Année 2010.

. [3]: Boussaoui.W. : « Valorisation des sous-produits Caractérisation de bétons à base des granulats issus de recyclage des matériaux de construction ».

Master en génie civil Option : Structures et Matériaux .Constantine : Université Mentouri, 2010-2011.

[4]Nicolescu L, « Généralités : Rapport Général Colloque International sur l'utilisation des sous-produits et Déchets dans le Génie Civil », Recueil des communications, Volume III, ENPC, Paris, 1978, p15.http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_%28mat%C3%A9riau%29

[5] MEKHERMECHE Abdessalam. « Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksour sahariennes ».

Magister en Génie Civil Option : Géo-Matériaux.Ouargla : universitekasdi merbah, 2012.

.http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_%28mat%C3%A9riau%29

[6] Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, CBD-215-Fjuin 1981.

http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_%28mat%C3%A9riau%29

[7] [26] : BARKAT ABDEREZZAK. : « Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton ».

[8] BARKAT ABDEREZZAK. : « Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton ».

Magister en génie civil Filière : Aménagement Hydraulique et Génie Civil. Ouargla: Université KASDIMERBAH

.05/11/2006http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_%28mat%C3%A9riau%29

[9] manuel de sensibilisation à la restauration de la maçonnerie, 92p, juin 2006

http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_%28mat%C3%A9riau%29

Rigassi, 1995.bloc de terre comprime .volume 1 : Manuel de production –CRAterre

<https://craterre.hypothese.org>>...

ANNAX

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 الاجتماعي : 2.250.000.000 دج

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

Enreg : FTC 13-1/PR05

Réf: 019/SceCQ/18

FICHE DE QUALITÉ

Produit

CEM I 42.5 R SR5 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	-	3.20
Surface Spécifique Blaine (NA 231/2006)	cm ² /g	-	3945
Consistance Normale (NA 230/2010)	%H ₂ O	-	25.82
Temps De Prise (NA 230/2010)	Début	h : min	≥1h:00 02h24
	Fin	h : min	- 03h25
Expansion à Chaud (NA 232/2002)	mm	≤10	0.71
Refus sur tamis 45 µm (NA 231/2006)	%	-	10.49
Chaleur d'hydratation (NA 5061/2006)	120	j/g	≤270 j/g LH
	Heures		
Résistance à la Flexion (NA 234/2007)	02 jours	MP a	- 5.09
	07 jours	MP a	- 6.93
	28 jours	MP a	- 8.01
Résistance à la Compression (NA 234/2007)	02 jours	MP a	≥20.00 22.73
	07 jours	MP a	- 36.42
	28 jours	MP a	≥42.50 45.56

Composition Chimique

Eléments	Garanties NA.442	Teneur %
SiO ₂	-	21.45
Al ₂ O ₃	-	4.31
Fe ₂ O ₃	-	4.56
CaO	-	61.43
MgO	-	1.24
K ₂ O	-	0.61
Na ₂ O	-	0.39
SO ₃ (NA237/2005)	3.5%	2.28
Cl-(NA5038/2005)	≤0.1%	0.018
PA.FIN(A235/2005)	≤5.00%	2.19
CaO Libre	-	0.73
Résidus Insolubles (NA236/2005)	5.00%	2.36
Composition Potentielle du Clinker C3A	C3A≤5.00%	4.20

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.



