



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie civil

Option : structure

Présenté par :

TRARI Fatima zohra

&

RAHAL Fatima zohra

Sujet du mémoire

VALORISATION DE LA BRIQUE
DE LA TERRE CRUE STABILISÉE DANS
LES CONSTRUCTIONS RURALE

Soutenu publiquement le 14 Septembre 2021 devant le jury composé de :

Mr,	B.DJEBLI	Président
Mr,	N.KERROUM	Encadreur
Mr:	A.KRIM	Examineur
Mr :	A.RABAHI	Examineur

PROMOTION :2020/2021.....

*R*emerciement

Allah le bénéfique soit loué et qu'il nous guide sur la bonne voie.

Ainsi Nous remercions très chaleureusement notre encadreur NADIR Kerroum pour tous ses conseils et ses orientations pour la réalisation de ce travail.

Aux membres du jury qui ont bien voulu lire et évaluer le présent Mémoire

Nous remercions tous ceux qui nous ont aidés et témoigner leur sympathie

*D*edicace

A nos chers parents, pour leurs dévouements, leurs amours, leur compréhension, leurs sacrifices, leur tendresse, leurs prières et leur patience a notre égard.

Ma sœur : Souad

Mes frère Mohamed et Habib

Ma belle-sœur que j'aime beaucoup

Pour leurs soutiens durant toute la période de nos études.

A toute la famille

Trari

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

*D*edicace

Je dédie ce projet :

A ma chère mère ,A mon cher père

Qui n'a jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs pendant tout le cursus.

A mes frères Abed Latif , Achref et salah Eddine ayoubi que dieu les protège

A ma sœur Ikram « karmoussa » et yasmine pour son aide et support dans les moments difficiles.

A mon très cher nourvid

A mon binome, trari fatima pour son entente et sa sympathie, malgré quelques étincelles pendant la période de l'élaboration de notre mémoire.

A mes chères amies « sarah, maisa,Raghda, Faiza ,Marwa ,Chahinaz ,Abir ,Chaima ,Soussou ,Zahra ,Romaissa et Dounia pour leurs indéfectibles soutiens et leurs partiences infinies à ce jour

Résumé

Depuis près de 10 000 ans, la terre est l'un des principaux matériaux de construction utilisés. Plus d'un tiers des habitants de la planète vivent désormais dans des habitats en terre. Il présente de nombreux avantages environnementaux et économiques.

Les résultats montrent que le retrait a un impact direct sur le comportement volumique du sol. Cependant, la résistance au cisaillement est influencée par le temps de séchage et l'humidité.

Les résultats montrent que le retrait a un impact direct sur le comportement volumique du sol. Cependant, la résistance au cisaillement est influencée par le temps de séchage et l'humidité.

Mots clés : Construction en terre, tuf, retrait, résistance, teneur en eau, bloc de terre comprimée; synthétiques

Abstract:

For nearly 10,000 years, soil has been one of the main building materials used. More than a third of the planet's inhabitants now live in earthen habitats. It has many environmental and economic benefits.

An experimental study was carried out on a tuff from the region of Tounina ($w_L = 36\%$ and $I_p = 16.8\%$). This study was carried out in a first phase at the civil engineering department, then at the LTPO laboratory in Tiaret. Shrinkage and shear tests (saturated and unsaturated) were tested on the Standard Optimum Proctor.

The results show that shrinkage has a direct impact on the volume behavior of the soil. However, shear strength is influenced by drying time and humidity.

Key words: Earthen construction, tuff, shrinkage, shear strength, water content, synthetic fibers.

الملخص :

منذ ما يقرب من 10000 عام ، يعتبر التراب أحد مواد البناء الرئيسية المستخدمة. يعيش أكثر من ثلث سكان العالم الآن في موائل ترابية. لها العديد من الفوائد البيئية والاقتصادية.

أجريت دراسة تجريبية على طف من منطقة توسنينا ($wl = 36\%$ و $Ip = 16,8\%$). أجريت هذه الدراسة في المرحلة الأولى في قسم الهندسة المدنية، ثم في مختبر LTPO في تيارت. تم اختبار اختبارات الانكماش والقص (المشبعة وغير المشبعة) أظهرت النتائج أن الانكماش له تأثير مباشر على السلوك الحتمي للتربة ومع ذلك تتأثر مقاومة القص بوقت التحفيف والرطوبة.

الكلمات المفتاحية : بناء الأرض، التف، الانكماش، القوة، محتوى الماء، كتلة الأرض المضغوطة؛ ألياف تركيبية.

Sommaire

Remerciement	
Résumé	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations et symboles	
Introduction générale	02
Problématique	03
Les hypothèses	03
Les objectifs de la recherche Méthodologie de recherche.....	04

PREMIÈRE PARTIE : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : Apeurent sur l'usage de la terre crue dans les constructions dans le monde

I. 1 Introduction.....	07
I.2 Rappel historique	07
I.3 la terre crue	07
I.4 Les différentes techniques de construction	09
I.4.1 Les Adobe	10
I.4.2 pisé	11
I.4.3 Mottes de terre.....	12
I.4.4 Terre empilée (bauge ou cob)	13
I.4.5 Blocs découpés	13
I.4.6 Terre façonnée	14
I.4.7 Terre de garnissage ou Torchis	15
I.4.8 Les blocs de terre comprimée	15
I.4.9.1 Définition	15
I.5 Diversités des produits de blocs de terre comprimée	16
I.6 Les Avantage de bloc de terre comprimée	17
I.7 Inconvénients des blocs de terre comprimée	18
I.8 La construction en bloc de terre comprimée dans le monde	18
I.9 Exemples de construction de terre en Algérie	19
I.10 Conclusion	20

Chapitre II : Stabilisation de terre crue

II.1 Introduction	22
II.2 Stabilisation	22
II.2.1 Définition	22
II.2.2 Objectifs	22
II.3 Les propriétés fondamentales pour la stabilisation de la terre	22
II.3.1 Texture ou Granularité	23
II.3.2 La plasticité	24
II.3.3 La compressibilité	25
II.3.4 La cohésion	25
II.4 Procédés	26
II.4.1 Stabilisation mécanique	26
II.4.2 Stabilisation physique	26
II.4.3 Stabilisation chimique	26
II.5 Moyens de stabilisation	26
II.6 Les matériaux de stabilisation	27
II.6.1 Stabilisation au ciment	27
II.6.1.1 Généralités	27
II.6.1.2 Mécanisme de stabilisation	28
II.6.1.3 L'influence de ciment sur le comportement des argiles	29
II.7 Stabilisation à la chaux	30
II.7.1 Généralités	30
II.7.2 Mécanismes	31
II.8 Stabilisation mixte chaux-ciment	31
II.9 Stabilisation par fibres	31
II.9.1 Les fibres	32
II.9.2 Différents types de fibres	32
II.9.3 Les fibres naturelles	32
II.9.4 Les fibres animales ont pour origine	32
II.9.5 Les fibres minérales	32
II.9.6 Les fibres végétales	32
II.9.7 Les fibres artificielles	33
II.9.8 Les fibres synthétiques	33
II.9.9 Effet des fibres sur les propriétés mécaniques	34

II.10 Conclusion	34
------------------------	----

Chapitre III: Le matériau terre crue dans les constructions rurales

III.1 Introduction	36
III.2.État des lieux du secteur de l’habitat en Algérie	36
III.3.Période avant l’indépendance.....	36
III.4.Situation de l’habitat au lendemain de l’indépendance	37
III.5.Les années 80 avènement d’un habitat anarchique dans les zones urbaines.....	37
III.6.La politique de l’habitat dans les années 90	38
III.7.Importance de la politique de l’habitat rural.....	38
III.8.La politique de l’habitat rural après l’indépendance	38
III.9.La nouvelle politique d’aide à la construction rurale durant les années 2000	39
III.10.Enjeux de la politique du logement en Algérie	40
III.11.La ressource locale et le métier du constructeur au sein de la politique de l’habitat rural .	40
III.7 Conclusion	40

DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Chapitre IV : Caractérisation des Matériaux Utilise

IV.1 Introduction.....	43
IV.2 Matériaux utilisés	43
IV.2.1 Sol.....	43
IV.2.1.1 Origine du sol	43
IV.3 Essais d’identification à la nature de la terre (Essais au laboratoire).....	43
IV .3.1 La granulométrie.....	43
IV.3.1.1 Analyse granulométrique par tamisage.....	44
IV .3.1.1.1 Le principe de la méthode	44
IV .3.2Analyse granulométrique par sédimentométrie NF P94-056 et NF P94-057	45
IV .3.2.1 Le principe de l’essai	45
IV .3.2.2 Mode opératoire.....	45
V .3.3 Essai D’équivalent De Sable : NFP 18-598	47
IV .3.3.1 But.....	47
IV .3.3.2 Exécution de l’essai	47
IV .3.3.3 Expression des résultats	47
IV .3.4 Limites d’Atterberg	48

IV .3.4.1 But de l'essai	48
IV .3.4.2 Principe de l'essai	48
IV .3.4.3 Equipement nécessaire	49
IV.4 Analyse chimique.....	51
IV .4.1 Essai au bleu de méthylène [NF P 94-068].....	51
IV .4.1.1 But de l'essai	51
IV.4.1.2 Principe de l'essai.....	52
IV .4.1.3.Matériels utilisés.....	52
IV .4.2.Détermination de la teneur en carbonates CaCO ₃ NA -2789	53
IV.5 Confection des éprouvettes la norme (NF P98-230-2).....	55
IV.6 Compression simples selon la Norme-NF-XP-P13-901.....	55
IV.7 l'essai l'ultrason	57
IV.8 Les essais de durabilité	59
IV.8.1 Essai de remontée capillaire ASTM-D559	59
IV.8.2 Procédure.....	59
IV.8.3 Procédé d'interprétation.....	59
IV.8.4 Les résultat	60
IV.9 fabrication des adobes selon la norme française XP-P13-901	61
IV.10 les essais de durabilité.....	62
IV.10.1 Les résultats	62
IV.11 L'essai d'abrasion selon la norme ASTM-D4977.....	64
IV .11.1 Les résultats.....	64
IV.12 Conclusion	67

CHAPITRE V :Présentation et discussion des résultats

V.1 Introduction.....	69
V.2 Présenté le résultat	69
V.2.1 Résistance à la compression.....	69
V.2.1.1les résistances mécaniques des sols brut	69
V.2.1.2 les résistances mécaniques à 3 j des BTC	70
V2.1.3 L'effet de la résistance à la compression à 3j de BTC	71
V2.1.4les résistances mécaniques à7 j des BTC	72
V.2.1.5 L'effet de la résistance à la compression à 7j de BTC.....	73
V.2.1.6 les résistances mécaniques à 14 j des BTC	74

V.2.1.7 L'effet de la résistance à la compression à 14j de BTC	75
V.2.1.8 les résistances mécaniques à 21 j des BTC	76
V.2.1.9 L'effet de la résistance à la compression à 21j de BTC	77
V.2.1.10 les résistances mécaniques à 28 j des BTC.....	77
V.2.1.11 L'effet de la résistance à la compression à 28j de BTC	78
V.3 l'essai l'ultrason	80
V.4 essais de durabilité	80
V .4.1 L'action de capillarité de l'absorption	80
V.6 Conclusion.....	81
Conclusion générale	84

Liste des figures

Figure.I. 1 : Arche de Ctésiphon ; Pyramide d'El-Lahoun ; Ziggourat d'Etemenanki ; Cité Chan-Chan...	08
Figure.I.2 : Carte de répartition des constructions de terre en le	09
Figure.I.3:des techniques de construction en terre	09
Figure.I.4.Moulage et séchage des blocs adobes	10
Figure.I.5 : Constructions en adobe : Shibam, Yémen ; Ghadamès, Libye ; Lima,	11
Figure.I.6 : Technique de pisé ; Mansourah, Tlemcen.....	11
Figure.I.7.Coffrage utilisé dans la conception de murs en pisé.....	12
Figure.I.8 : Constructions en mottes de terre ; Lima, Pérou	12
Figure.I.9 : Construction en terre empilée ; Maison à Sa'dahYémen	13
Figure.I.10 : Construction en blocs découpés, Burkina Faso	14
Figure.I.11:Terre façonnée	14
Figure I.12 : Constructions en torchis ; Strasbourg, France	15
Figure I.13.Bloc de terre crue compressée réalisée à l'aide d'une presse manuelle.....	16
Figure I.14 : Diversités des produits de blocs de terre comprimée.....	17
Figure.I.15 : Différents produits de blocs de terre comprimée.....	17
Figure. I.16 : Maison palmier à Marrakech, Maroc	19
Figure. I.16 : Domaine de la terre, l'Isle d'Abeau , France.....	19
Figure I.17 : Constructions en blocs de terre la région gourara	20
Figure II.1 : Fuseaux de plasticité conseillées pour construire en BTM selon la norme française [Norme-NF-XP-P13-901, 2001].....	25
Figure II.2 : Classification des fibres naturelles en fonctions de leur origine	33
Figure IV 1 : Série de tamis.....	44
Figure IV 2 : Mode opératoire l'essai analyse granulométrique par tamisage voie humide Les résultats de cette analyse sont résumés dans le tableau suivant	44
Figure IV.3: Mode opératoire l'essai analyse granulométrique par sédimentométrie	46
Figure IV.4: Courbe granulométrique(sol brut).....	46
Figure IV.5 :Disposition de la courbe granulometrique (brut) dans le fuseau des adobes selon (Houben.H 1989)	47
Figure IV .6 : mode opératoire de l'essai équivalent de sab mode opératoire de l'essai équivalent de sable	48
Figure IV .7 : Manipulation de l'essai de limites d'Atterberg.....	49
Figure IV 8 : Présentation des limites d'Atterberg.....	49
Figure IV .9 : la courbe de la limite d'atterberg	50
Figure IV .10 : la limite de liquidité et l'indice de plasticité.....	52
Figure IV11 : Essai de bleu de méthylène.....	59
Figure IV .12: Mode opératoire de CaCO3	54

Figure IV .13: classification de sol du GTR 2000	55
Figure IV .14 : Confection des éprouvettes d'essais mécaniques par compactage statique.....	56
Figure IV .15: mode opératoire du compression simple	58
Figure IV.16 Mesure du module d'élasticité E par l'ultrason	60
Figure IV.17: mode opératoire de l'essai remontée capillaire.....	61
Figure IV.18 : Le moule d'adobe 295x14x95 mm	61
Figure IV.19 : les fibre.....	62
Figure IV.20: Mode opératoire de fabrication des adobes	62
Figure IV.21: Schéma du dispositif de l'essai d'absorption.....	63
Figure IV.22: mode opératoire de l'essai remontée capillaire.....	64
Figure IV 23 : Surface broyée	64
Figure IV .24: Résistance à l'abrasion (Dispositif de l'essai)	66
Figure IV.25: Brosse utilisée pour l'essai.....	66
Figure IV .26: mode opératoire de l'essai	66
Figure V.1: Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement	69
Figure V.2.1: Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement(3%chaux 3j)	70
Figure V.2.2: Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement(6%ciment 3j)	70
FigureV.2.3: Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement (3%chaux+4%ciment3j).....	71
Figure V.3.1: Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement(3%chaux 7j)	72
Figure V.3.2: Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement(6%ciment 7j)	72
Figure V.33 Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement (3%chaux+4%ciment7j).....	73
Figure V.4.1: Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement(3%chaux 14j)	74
Figure V.4.2: Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement(6%ciment14j)	75
Figure V.4.3:Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement (3%chaux+4%ciment14j).....	75
Figure V.5.1: Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement(3%chaux21j)	76
Figure V.5.2: Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement(6%ciment21j)	77
Figure V.5.3: Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement(3%chaux+4%ciment21j).....	77
Figure V.6.1: Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement(3%chaux28j)	78

Liste des tableaux

Tableau I.1: Synthèse des différentes caractéristiques des techniques de construction en terre	18
Tableau 1.2 : Moyens de stabilisation des terre remaniées (Houben,2006	27
Tableau IV 1 : Résultats d'analyse granulométrique par tamisage voie humide (brut).....	45
Tableau IV .2: Analyse granulométrique par sédimentométrie	46
Tableau IV 3 : les résultats de l'équivalent de sable obtenus	48
Tableau IV.4 : les résultats de la limite de liquidité.....	50
Tableaux IV .5 : les résultats de la limite de plasticité (brut)	51
Tableau IV .6: la limite de liquidité et l'indice de plasticité	51
Tableau IV .7: Valeurs de bleu méthylèn	53
Tableau IV .8: Détermination de la teneur de calcaire.....	54
Tableaux IV 9 : les résultats de ultrason	59
Tableau IV .10: des résultats de l'essai de remontée capillaire	60
Tableau IV .11 : des résultats de l'essai de remontée capillaire	63
Tableau IV .12:de résultats de l'essai d'abrasion	66.
Tableau V.2.1. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX à 3 jours.....	70
Tableau V.2.2. Résistance à la compression TERRE+6% CIMENT à 3 jours	70
Tableau V.2.3. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX+4%CIMENT à 3 jours	71
Tableau V 3.1. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX à 7 jours	72
Tableau V 3.2. Résistance à la compression TERRE+6%CIMENT à 7 jours	72
Tableau V 3.3. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX+4%CIMENT à 7 jour.....	73
Tableau V4.1. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX à 14 jours en fonction du teneur	74
Tableau V4.2. Résistance à la compression TERRE+6%CIMENT à 14 jours en fonction du teneur	74
Tableau V4.3. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX+4%CIMENT à 14 jours en fonction du teneur.....	75
Tableau V 5.1. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX à 21 jours en fonction du teneur	76
Tableau V5.2. Résistance à la compression TERRE+6%CIMENT à 21 jours en fonction du teneur	76

Tableau V5.3. Résistance à la compression TERRE+3%CH+4%CIM à 21 jours en fonction du teneur	77
Tableau V 6.1. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX à 28 jours en fonction du teneur	78
Tableau V 6.2. Résistance à la compression TERRE+6%CEMENT à 28 jours en fonction du teneur	78
Tableau V6.3. Résistance à la compression TERRE+3%CH+4%CIM à 28 jours en fonction du teneur	79

Introduction générale

La terre, matériau disponible en quantité et omniprésent, est utilisée dans la construction depuis des millénaires, faisant de la construction en terre crue l'habitat le plus répandu au monde. Qu'elle soit en pisé, en torchis, en adobe ou encore en briques de terre comprimée, l'architecture de terre permet de construire des édifices simples ou monumentaux dans des environnements variés. Depuis toujours, cette technique de construction est soumise à des perfectionnements.

Des essais de normalisation de la construction en terre crue sont d'ailleurs déjà présents dans les textes de Vitruve, Varron, Caton ou encore Palladius (de Chazelle, 2003). Malheureusement, cette technique aux nombreux avantages écologiques, thermiques et économiques est supplantée dans de nombreux pays au profit par la construction en béton, type d'architecture qui ne semble pourtant pas adapté à tous les contextes environnementaux et sociaux. Il semble en effet que la construction en terre crue ait acquis une connotation négative (habitat pauvre, de mauvaise qualité, etc.). De ce fait, dès qu'une personne voit son capital financier s'élever, elle rejette la terre comme matériau de construction et se tourne vers le béton et la tôle.

En effet, ces deux matériaux, bien que ne contribuant pas à l'économie locale et ne répondant bien souvent pas aux exigences du climat, font référence à l'image du développement européen, à la richesse, à la solidité et la durabilité. Pourtant, les techniques de construction en terre crue évoluent encore aujourd'hui grâce aux différents procédés de stabilisation. Les briques de terre comprimée sont par exemple de plus en plus solides. Elles permettent aujourd'hui d'édifier des bâtiments sur plusieurs niveaux, grâce à des ajouts qui permettent d'augmenter leur capacité portante ainsi que leur durabilité.

Au vu de leurs avantages, pourquoi sont-elles alors si peu utilisées ? Ce travail tente de comprendre le phénomène de disparition de la construction en terre crue de par le monde. Il tente également de comprendre pourquoi les briques de terre comprimée sont si peu utilisées par la population burkinabée. Cela est-il dû à une méconnaissance du matériau ? À une mise en œuvre inadéquate des briques de terre comprimée dans les bâtiments construits, ce qui entraîne une durée de vie limitée ? Le refus d'utilisation de la terre comme matériau de construction est-il lié aux assimilations faites entre les logements en terre crue et les logements « pauvres » ? Est-ce dû à une non-connaissance des propriétés thermiques/hygrométriques du matériau ? La terre ne répond-elle pas aux souhaits de la population en termes de logements ? Y a-t-il un intérêt et une connaissance des ouvrages contemporains réalisés en BTC ou la terre est-elle toujours associée aux logements traditionnels ? Si tel est le cas, la population rêve-t-elle de changement ? ...

Problématique:

Depuis l'antiquité, la recherche du confort dans son abri est l'objectif éternel de l'homme. Il a utilisé toutes les stratégies pour atteindre cet objectif. Le choix des matériaux de construction a une importance primordiale dans ces stratégies de l'homme à cause de ses hautes performances thermiques.

Au fur et à mesure de la modernisation et l'industrialisation, ainsi que l'invention des matériaux de construction tels que le béton, métal et verre, le matériau terre est négligé. Il est devenu inacceptable et considéré comme le matériau des pauvres et le symbole de précarité et d'indigence.

L'évolution du concept de développement durable et l'augmentation d'une conscience écologique ont fait du matériau terre le choix souhaitable quand à la création des constructions saines et confortables qui respectent l'environnement ont poussé l'homme à penser à ces stratégies de construction. Le matériau terre comme un matériau de construction est apparu comme une alternative écologique pour redécouvrir l'architecture de nos ancêtres à travers ces capacités puissantes de réaliser un confort souhaitable.

Cependant, la terre a toujours présenté une problématique liée aux obstacles psychologiques malgré les capacités prometteuses qu'elle possède. Ces obstacles affectent son utilisation et acceptation de la part de l'homme. Elle présente ainsi un aspect de résistances psychologiques, qui entravent son évolution à l'échelle nationale,

Dans ce sens, notre recherche tend à répondre à ces questions:

Peut-on considérer la terre à travers ses propriétés physiques et thermiques comme une alternative vers une architecture parfaitement durable ?

Pourquoi la terre malgré toutes ses qualités continue à être rejetée ?

II. Les hypothèses:

Pour répondre à ces questions, on va aborder le sujet de telle façon qu'on va démontrer que :

La terre constitue une bonne solution pour faire une conception écologique à cause de ses avantages thermiques qu'elle offre au bâtiment.

Le matériau terre continue à être rejeté à cause de l'image négative qu'il véhicule (précarité, pauvreté, poussière ...). En plus, les difficultés de réalisations dont la main d'œuvre spécialisée influe sur le choix de ce genre de construction.

III. Les objectifs de la recherche :

Les objectifs de cette étude se résument dans les points suivants:

Approfondir les connaissances et les recherches sur l'architecture de terre comme un nouvel axe à entreprendre dans la conception écologique des bâtiments.

- Étudier ses avantages et ses possibilités d'être une solution écologique.
- Étudier les caractéristiques et les propriétés physiques et thermiques du matériau terre.
- Revaloriser cette matière rejetée et oubliée.

Méthodologie de recherche :

La recherche tente d'étudier le matériau terre comme un matériau écologique pour répondre aux problèmes d'actualité liés à l'exigence de l'utilisation des ressources naturelles pour la conception architecturale. De même, le point sera mis d'une part, sur la compréhension de la matière terre et la maîtrise de sa mise en œuvre adaptée aux nouvelles techniques de construction. D'autre part, l'architecture de terre comme étant une source de patrimoine architectural qu'il faut traiter dans cette recherche.

PREMIÈRE PARTIE

Recherche bibliographique

Chapitre I

Aperçu sur l'usage de la terre crue dans les
constructions dans le monde

1. Introduction

La terre, matériau largement disponible et omniprésent, est utilisée dans la construction depuis des milliers d'années comme au (Yémen et Marrakech au Maroc...), ce qui fait de l'argile de construction l'habitat le plus répandu dans le monde. Malheureusement, cette technologie aux nombreux avantages tend à disparaître dans de nombreux pays au profit de la construction en béton, un type d'architecture qui ne semble pas adapté à tous les contextes. Ce travail tente d'éclairer l'exploitation des terres dans les bâtiments ruraux en essayant de comprendre la raison pour laquelle les briques de terre compactée sont moins utilisées par les habitants de l'Algérie afin de réaliser une extension appropriée. Pour ce faire, un rappel a été fait concernant la construction en terre, et des recherches bibliographiques et des tests de laboratoire (Compression simple, durabilité...) ont été réalisés. La BTC devrait être promue avec des bâtiments pilotes bien conçus et un changement de politique du logement rural en Algérie afin de promouvoir les matériaux localement. Pour la population.

I.2 la terre crue

La terre crue est le matériau de construction traditionnel par excellence. On en retrouve la trace à l'âge de Bronze et la muraille de Chine présente des tronçons. De nombreux monuments inscrits au patrimoine mondial de l'humanité sont en terre crue: forteresses marocaines, pyramides d'Égypte..... [1] Aujourd'hui encore, environ 40% de l'humanité habite des constructions en terre crue. Facilement mobilisable dans les régions où pierre et bois manquent, sa mise en œuvre est simple et ne nécessite pas de matériel sophistiqué. De même sa mise en œuvre, sans transport, sans cuisson, sans processus de transformation industriel lui confère une empreinte écologique et bilan CO2 exceptionnel [1].

I.3 Rappel historique

La terre, utilisée depuis plus de onze millénaires, est sans aucun doute un des matériaux de construction les plus anciens de l'histoire de l'humanité. En effet, les fouilles archéologiques ont montré que les civilisations perses, assyriennes, égyptiennes et babyloniennes édifiaient déjà de nombreux bâtiments à l'aide de ce matériau. Certains étaient même monumentaux tout comme l'arche de Ctésiphon en Irak (Fig. 1a), certaines pyramides en Égypte (pyramide d'El-Lahoun (Fig. 1b) par exemple), la ziggourat d'Étemenanki à Babylone (Fig. 1c), la cité précolombienne de Chan-Chan au Pérou (Fig. 1d) et encore bien d'autres (Doat, Hays, Houben, Matuk & Vitoux, 1979). Les sites archéologiques en terre crue sont donc présents sur tous les continents habités. Cela est dû au fait que « la terre est l'un des trois matériaux premiers, au même titre que la pierre et le bois » [2].

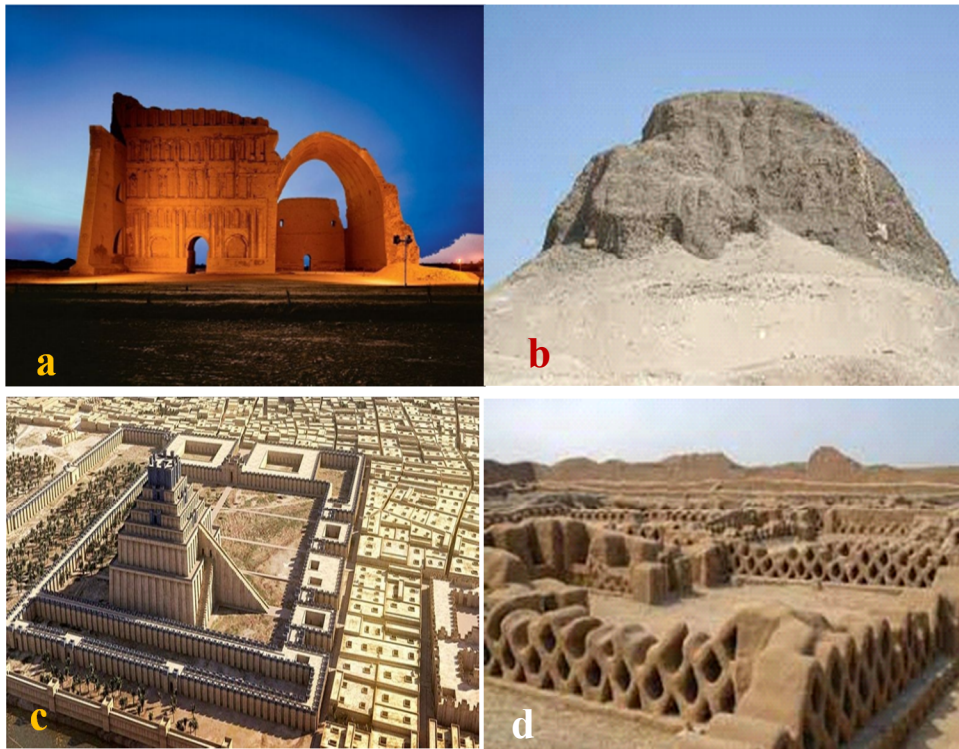


Figure. I. 1 : Arche de Ctésiphon ; Pyramide d'El-Lahoun ; Ziggourat d'Etemenanki ; Cité Chan-Chan[3].

La terre est définie comme la couche d'épaisseur variable de matière meuble disponible sur la surface terrestre. Cette fine couche est issue de la dégradation des roches mères par des procédés d'altération sur des périodes géologiques. A l'épreuve des années d'érosion causée par le vent, la pluie, le soleil ou encore le gel, les particules de roches solides se fragmentent progressivement pour former des grains de plus en plus petits, les sédiments [4].

Jusqu'au territoire les plus bas comme au bord du Nil en Egypte ou dans les vallées fertiles de Chine le long du Huanghe. Elle est utilisée sur tous les continents comme matériau de construction depuis plus de onze millénaires comme on le peut le voir sur cette carte réalisée par le CRATerre[5].

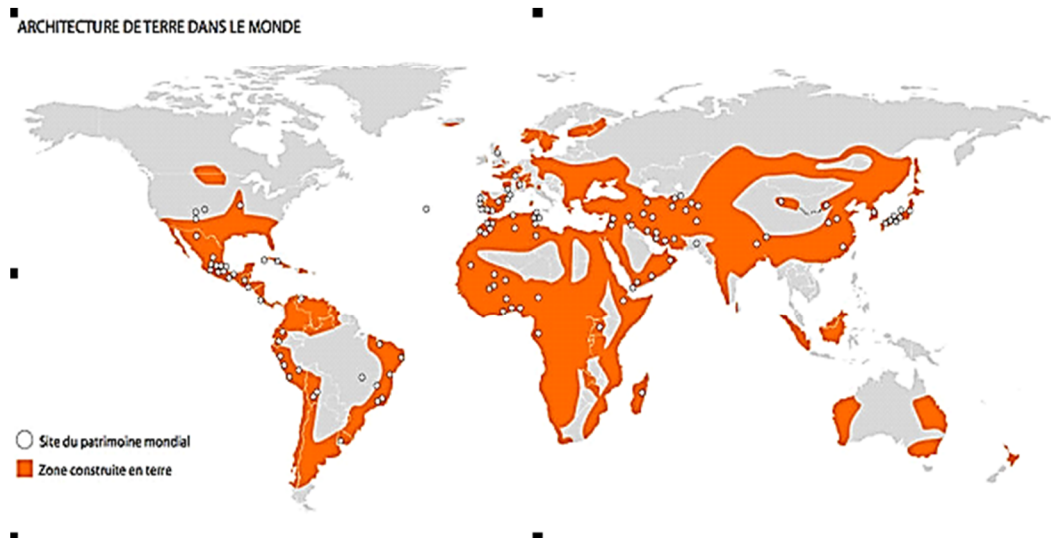


Figure.I.2 : Carte de répartition des constructions de terre en le monde. [6].

I.4 Les différentes techniques de construction :

La terre crue est un matériau de construction composée d'un mélange de sol ou plus précisément, le sous-sol (utilisation du terre végétale riche en matière organique. le cas échéant, doit être réservée à l'agriculture), qui a été utilisé depuis l'antiquité sous diverses formes, pisé, bloes de terre comprimé . La technique de construire en terre offre des possibilités inimaginables tant d'un point de vue des diversités d'application. que des traductions culturelles reproduites. Car la terre crue se prête à bien des manipulations permettant de l'utiliser en murs monolithes garnissant un support de nature diverse

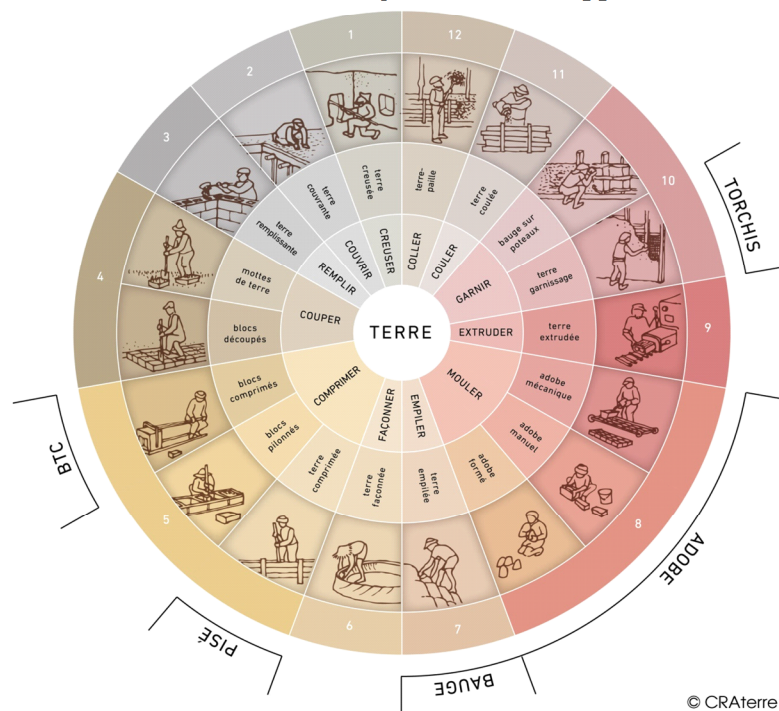


Figure.I.3: des technique de construction en terre [2]

I.4.1 L'adobe

Les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme étaient des briques moulées en terre crue appelées « adobes », on est une technologie utilisée depuis des millénaires partout à travers le monde. L'adobe est un matériau de construction fait d'un mélange de sable, d'argile, une quantité de paille hachée ou d'autre fibre. De nature assez argileuse (jusqu'à 30% de fraction fine), mais très sableuse, ajoutée d'eau jusqu'à obtenir un état de pâte semi ferme (15 à 30% d'eau) . Chaque élément du mélange joue son rôle.

Le sable réduit la probabilité de microfissures dans le bloc de terre, l'argile agglutine les particules et la paille hachée, quant à lui, donne un certain grade de flexible . Ce mélange est par la suite déposé à la main dans un moule en bois de façon fabriqué des petits éléments de maçonnerie, la dimension requise pour être démoulé et séché directement au sol (Figure.I.4.). La brique d'adobe peut varier d'une dimension de 15 X 25X 10 cm soit 30 X 60 X 10cm. La construction en adobe est très répandue dans le monde, de la Chine aux pays du Moyen – Orient, de l'Afrique ,à l'Amérique latine, en France et Etats Unis d'Amérique [7] .



Figure.I.4.Moulage et séchage des blocs adobes[6]

On recense une vingtaine de centres historiques bâtis en adobes comme Shibam au Yémen (surnommé le Manhattan du désert) (Fig.I.5.a), Ghadamès en Libye (Fig.I.5.b) [8].



Figure.I.5 : Constructions en adobe : Shibam, Yémen ; Ghadamès, Libye ; Lima, Pérou[9]

I.4.2 pisé

Le pisé, technique séculaire de mise en œuvre de terre crue, offre des qualités d'habitabilité et d'adaptation exceptionnelles mais nécessite une attention et un suivi régulier. Bien construit et protégé, le bâtiment en pisé traverse les siècles et s'adapte tout naturellement aux divers besoins des hommes[10] . Traditionnellement, les bâtiments en pisé portent de « bonnes bottes » et un « bon chapeau ». C'est à dire que le soubassement est traité de manière à éviter les remontées capillaires, (le plus souvent en galets, en pierre ou en briques de terre cuites maçonnées) et le débord de toiture est suffisant pour éviter le ruissellement de l'eau sur la façade. Le pisé, quant à lui, est en fait la compaction d'un volume de terre à l'intérieur d'un coffrage de façon manuelle en utilisant un pilon ou à l'aide de machinerie spécialisée. (Figure I.6) montre un exemple de coffrage qui peut être utilisé pour la fabrication de murs en pisé[11].

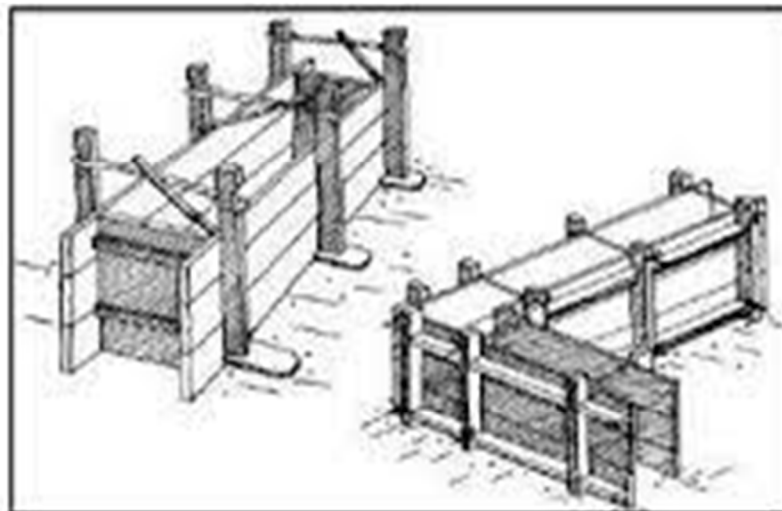


Figure.I.6.Coffrage utilisé dans la conception de murs en pisé. [6]



Figure.I.7 : Technique de pisé ; Mansourah, Tlemcen [12]

I.4.3 Mottes de terre

La seconde technique présentée ici est celle des mottes de terre. Cette technique est très ancienne et se retrouve principalement dans les régions des grandes plaines. Il s’agit de construire avec la terre de surface des sols, c’est-à-dire avec des mottes de gazon (figure I.8).

La terre contient donc de nombreuses racines et plantes herbacées. Les racines lui confèrent une résistance due à leur entrelacement.

Les avantages de cette technique sont la mise en œuvre rapide et plutôt simple (pas de mélange ni de compactage ni de mortier), le peu d’outils nécessaires (simple bêche ou pioche), la réutilisation facile des blocs pour un second usage et la bonne résistance à l’érosion.

L’inconvénient est qu’il faut ériger des murs de grosse épaisseur si on veut qu’ils soient porteurs (plus de 50cm) mais en même temps, cette épaisseur confère une bonne inertie thermique au bâtiment. [11]



Figure.I.8 : Constructions en mottes de terre ; Lima, Pérou [11]

I.4.4 Terre empilée

La technique de la terre empilée (figure I.9) est également appelée technique de la bauge ou cob. Tradition constructive relativement ancienne datant de plusieurs millénaires d’années, elle consiste à « empiler des paquets de terre plastique. Les murs épais obtenus, construits d’un seul bloc on dit qu’ils sont monolithiques, ressemblent aux murs en pisé ».

La terre utilisée pour cette technique ne doit pas contenir trop de cailloux ni de graviers car la mise en œuvre des boules de terre se fait à la main. Selon la région, la terre sera donc sableuse ou plus fine et argileuse. Elle est souvent amendée de fibres végétales pour éviter la fissuration [2].



Figure.I.9 : Construction en terre empilée ; Maison à Sa'dah Yémen [11]

I.4.5 Blocs découpés

Selon les régions, cette technique (figure I.10) est connue sous différents noms : « tepate » au Mexique, « caliche » aux U.S.A. « mergel » en Hollande, « marl » en Angleterre et « tuf » dans les pays méditerranéens. La taille des blocs découpés se réalise en carrière. L’extraction de ces blocs est semblable à celle de la pierre traditionnelle, c’est-à-dire qu’elle se réalise à l’aide de pioches, burins, coins et scies. Ces carrières présentent une terre suffisamment cohérente et d’une dureté telle qu’on peut directement y tailler des blocs utilisables pour la construction.

La terre de ces carrières est généralement riche en éléments carbonatés. Les blocs découpés se mettent en œuvre comme des [13].



Figure.I.10 : Construction en blocs découpés, Burkina Faso [11] .

I.4.6 Terre façonnée

La technique de la terre façonnée (figure I.11) 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 [2].



Figure.I.11: Terre façonnée[11]

I.4.7 Terre de garnissage ou Torchie

La technique du torchis est « mise en œuvre à l'état plastique, la terre recouvre une structure en lattis de bois fixée entre des poteaux, appelés colombes. La structure en bois est en général extrêmement légère et rapide à monter, tandis que la terre constitue un excellent matériau de garnissage, facile à poser » [2].



Figure I.12 : Constructions en torchis ; Strasbourg, France[11]

I.4.8 Les Blocs de terre comprimée

I.4.8.1 Définition

Les blocs de terre comprimée (BTC) sont des éléments de maçonnerie, des dimensions réduites et des caractéristiques régulières et contrôlées, obtenus par compression statique ou dynamique (Figure I.13.) de terre à l'état humide suivie d'un démoulage immédiat. Les blocs de terre comprimée ont généralement un format parallélépipédique rectangle et sont pleins ou perforés, à relief verticale ou horizontal. Les blocs de terre comprimée sont constitués principalement de terre crue et doivent leur cohésion à l'état humide et à l'état sec essentiellement à la fraction argileuse composant la terre (gravier, sable, limon et argile) ; un additif tel que de (ciment, chaux, pouzzolane etc..) peut être ajouté néanmoins à la terre pour améliorer ou développer des caractéristiques particulières des produits. Les caractéristiques final des BTC dépendent de la qualité des matières premières de (terre, additif) et de la qualité de l'exécution des différentes étapes de fabrication (préparation, malaxage ,compression, cure) [5] .



Figure I.13. Bloc de terre crue compressée réalisée à l’aide d’une presse manuelle

I.5 Diversités des produits de blocs de terre comprimée

Aujourd’hui, le marché accueille une large gamme de produits de terre comprimée (Houben, 2006) (voir figure I.14 et figure I.15):

- **Blocs pleins**

Ils sont principalement de forme prismatique (parallélépipèdes, cubes, hexagones multiples, etc.). Leur usage est très varié.

- **Blocs creux**

On observe normalement de 15 % de creux, 30 % avec des procédés sophistiqués. Les évidements créés au sein des blocs améliorent l'adhérence du mortier et allègent les blocs. Certains blocs évidés permettent la réalisation de chaînages (coffrage perdu).

- **Blocs alvéolaires**

Ils présentent l'avantage d'être légers mais exigent des moules assez sophistiqués ainsi que des pressions de compression plus forte que la normale

- **Blocs à emboitements**

Ils peuvent éventuellement permettre de se passer de mortier mais exigent des moules assez sophistiqués et en général des pressions de compression plus ou moins élevées.

- **Blocs parasismiques**

Leur forme améliore leur comportement parasismique ou permet une meilleur intégration de systèmes structuraux parasismiques : chaînage par exemple.

- **Blocs spéciaux**

Les blocs sont fabriqués exceptionnellement pour une application spécifique [6].

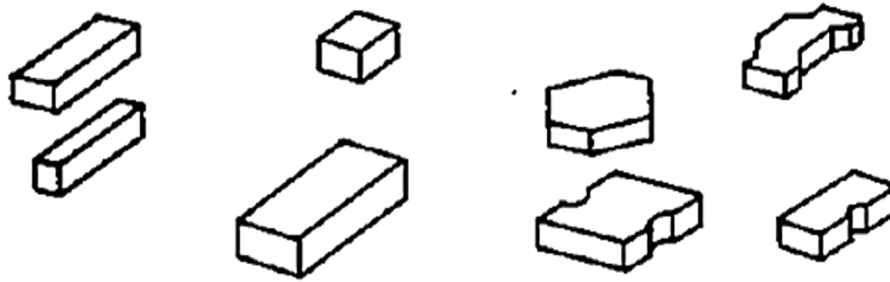


Figure I.14. Diversités des produits de blocs de terre comprimée [6].



Figure I.15: Différents produits de blocs de terre comprimée [15].

I.6 Les Avantages de bloc de terre comprimée

- BTC est un matériau écologique : composée essentiellement d'argile, sable et gravillons et d'un peu de ciment, fabriquée sans cuisson.
- BTC procure un confort thermique et phonique excellent : de part son inertie thermique et sa masse, un mur en BTC apporte confort thermique et isolation phonique
- BTC offre une grande résistance : la résistance à la compression d'une BTC dépasse les 60 bars (60kg/cm^2)
- BTC présente un intérêt architectural et esthétique : en cloison, en mur porteur, la BTC permet une richesse de formes, et de motifs variés dans son utilisation.
- BTC est simple à mettre en œuvre : la BTC se monte avec un mortier de terre amendé. Les règles de construction sont simples à suivre [16].

I.7 Inconvénients des blocs de terre comprimée :

- Fabrication des briques longue et fatigante
- Fragilité : au moindre choc la brique se brise ou s'effrite
- Se détériore sous l'effet du gel

Tableau I.1 : Synthèse des différentes caractéristiques des techniques de construction en terre.

Type de construction	Avantages	Inconvénients
Adobe	Méthode très économique	Des fissures au séchage
Pisé	Extraction du site de construction	Des fissures au séchage
Mottes de terre	La bonne résistance à l'érosion	Des murs de grosse épaisseur et Les problèmes de tassement
Terre empilée	Bonne résistance	Les fissures
Blocs découpés	Une meilleure cohésion	Induisant des faiblesses dans la construction
Terre façonnée	Moins chère	Les fissurations de retrait sont complexes
Torchis	Coûts moins chères	Le retrait au séchage est Important
Les blocs de terre comprimée	La mise en œuvre rapide et simple	Les fissurations de retrait

I.8 La construction en bloc de terre comprimée dans le monde

Plusieurs constructions ont été réalisées en blocs de terre comprimée à travers les quatre coins du monde, profitant des avantages de cette technique moderne, que ce soit sur le plan économique, écologique, esthétique, thermique et environnemental. On peut citer ici quelques exemples fascinants : Maison palmier à Marrakech, Maroc (figure 1.15), Domaine de la terre, l'Isle d'Abeau à Lyon, France (figure 1.6) [17].



Figure. I.16 : Maison palmier à Marrakech, Maroc **Figure. I.16 :** Domaine de la terre, l'Isle d'Abeau, France

I.9 Exemples de construction de terre en Algérie

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

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

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

Nous n'oublions pas non plus la ville de Ghardaïa, qui se caractérise par sa magnifique architecture et son vieux bâtiment en briques crues soutenu par de la chaux [18].



Figure I.17 : Constructions en blocs de terre la région Qourara.

I.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons montré le caractère ancien de la construction en terre et son importance dans le domaine de l'éco construction.

Aussi, on a traité les différentes techniques de la construction en mettant en avant les avantages et inconvénients de chaque méthode.

A travers cette étude bibliographique, nous arrivons à dire que le type de sol utilisé donc la granulométrie est très important dans le choix de la technique de construction. Aussi, on remarque un problème majeure pour la majorité des technique c'est le phénomène d'apparition de fissures donc le retrait.

Dans cette optique, nous envisageons dans le chapitre suivant de voir le type de sol ou la granulométrie idéale pour la construction en terre et montrer quelques aspects bibliographiques sur le retrait et la résistance qui restent des éléments importants dans la construction en terre.

Chapitre II

Stabilisation de la terre crue

II.1 Introduction

Les caractéristiques de très nombreuses variétés de terre peuvent être améliorées grâce à l'ajout de stabilisants. La stabilisation consiste donc à modifier les caractéristiques d'une terre en vue de l'améliorer. Elle induit des processus de modification qui agissent directement sur le système terre-eau-air et permet l'obtention des propriétés permanentes qui peuvent convenir à une ou des applications particulières du matériau terre en construction.

Il est en effet possible d'intervenir sur deux des principales caractéristiques d'une terre qui sont : la texture et la structure. Ces interventions visent notamment à agir sur la propriété principale qui est la résistance mécanique. Le principal objectif que l'on poursuit en intervenant sur ces caractéristiques et ces propriété est l'obtention de meilleures résistances a la compression à l'état sec et humide.

II.2 Stabilisation

II.2.1 Définition

Le Centre des Nations Unies pour les établissements humains a défini la stabilisation d'un sol comme étant, la modification des propriétés d'un système terre-eau-air pour obtenir des propriétés permanentes compatible avec une application particulière (United Nations, 1992). Mais la stabilisation est un problème complexe car de très nombreux paramètres interviennent. Il faut en effet connaître : les propriétés de la terre, les améliorations envisagées, l'économie du projet, les techniques de mise en œuvre de la terre choisie pour le projet et la maintenance du projet réalisé (Houben, 2006).

II.2.2 Objectifs

Les principaux objectifs de stabilisation des sols sont (Winterkorn, 1975; Nations Unies, 1992; Symons, 1999):

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

II.3 Les propriétés fondamentales pour la stabilisation de la terre

D'une terre à l'autre, les propriétés sont changeantes et dépendent de la nature et du mélange complexe des tractions granulaires qui les composent. C'est souvent la fraction

granulaire dominante d'une terre qui caractérise ses propriétés fondamentales et se ses propriétés fondamentales et régit son comportement.

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

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

- La texture ou granularité;
- La plasticité;
- La compressibilité;
- La cohésion.

II.3.1 Texture ou Granularité

Elle se mesure par analyse granulométrique pour les fractions de grains grossiers (graviers, sables, silts) et par analyse sédimentométrique pour les fractions fines argileuses. Les éléments tels que les graviers et les sables sont les éléments résistants du matériau; les argiles assurent la cohésion de l'ensemble et contrôlent la plasticité et la manière dont la terre réagit à l'humidité, par conséquent elles contrôlent le retrait et le gonflement (Walker, 1995). En plus, les réactions chimiques entre l'argile et la chaux (la réaction pouzzolanique) forment de nouveaux produits qui contribuent effectivement dans la valeur finale de la résistance d'une terre stabilisée à la chaux et ciment) (Akpodje, 1985; Bell, 1996). Les silts ont une fonction intermédiaire, moins nette.

La classification des fractions des grains adoptée par un grand nombre de laboratoires et référente aux normes (A.S.T.M, AFNOR) est la suivante (Houben, 2006):

Type des grains	Diamètre max	Diamètre min
Cailloux	200 mm	20 mm
Graviers	20 mm	2 mm
Sables grossiers	2 mm	0.2 mm
Sables fins	0.2 mm	0.06 mm
Silts	0.06 mm	0.02 mm
Silts fins	0.02 mm	0.002 mm
Argiles	0.002 mm	0

II.3.2 La plasticité

La plasticité définit la propriété de la terre à subir des déformations sans réaction élastique notable caractérisée par une fissuration ou une pulvérisation. La plasticité d'une terre 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, l'indice de plasticité IP).

Les limites d'Atterberg sont des propriétés importantes de sols fins, et sont utilisées dans l'identification et la classification des sols. En outre, elles sont utilisées dans les spécifications pour contrôler les propriétés de compressibilité et le comportement des mélanges de sols (Burrough, 2001).

Pour un sol à gros grains, ou pour un sol à grains fins contenant une faible teneur en argile, une faible augmentation de l'humidité au-dessus de la limite plastique détruit les forces d'attraction, qui fournissent la résistance au cisaillement. Cela signifie que la différence entre la limite de plasticité et la limite de liquide est faible, et l'indice de plasticité est également faible. Alors que, pour un taux élevé d'argile dans un sol, il faut une importante quantité d'eau pour détruire les forces d'attractions. Dans ce cas, l'indice de plasticité est élevé. Ainsi, l'indice de plasticité est un moyen indirect pour mesurer les quantités et les affinités de l'humidité de l'argile dans le sol.

Les sols sableux et les limons ont des valeurs typiquement faibles de l'indice de plasticité, tandis que la plupart des argiles ont des valeurs plus élevées. Les sols qui ont des valeurs élevées d'IP sont très plastiques et sont généralement très compressibles et très cohérents. Un sol plastique est considéré comme cohérent (USACE, 2000).

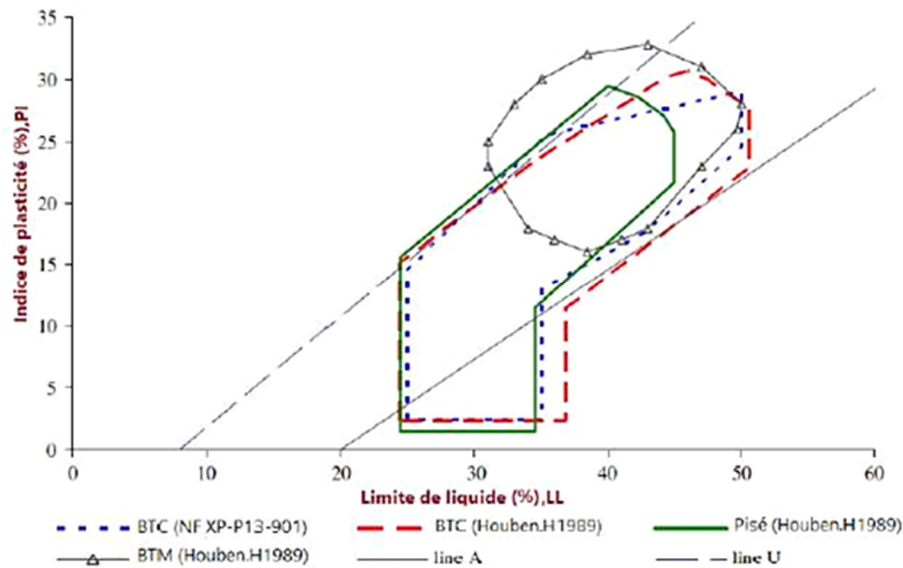


Figure II.1 : Fuseaux de plasticité conseillés pour construire en BTM selon la norme française [Norme-NF-XP-P13-901, 2001], CRATerre-EAG [1998] et Houben and Guillaud [1989]

II.3.3 La compressibilité

La compressibilité d'une terre définit son aptitude à se laisser compresser au maximum pour une énergie de compactage et un taux d'humidité donnés (teneur en eau optimale ou TEO). Lorsqu'un volume de terre est soumis à l'action d'une force, le matériau est comprimé et l'indice des vides décroît. Plus la densité d'une terre peut être augmentée, plus sa porosité sera bloquée et moins l'eau pourra y pénétrer. Cette propriété résulte de l'imbrication plus étroite des particules qui réduit les risques de perturbation de la structure sous l'action de l'eau.

La teneur en eau doit être suffisante pour permettre une lubrification des grains et leur permettre de se réarranger afin d'occuper le moins de place possible. Cette teneur en eau ne doit pas non plus être trop importante car les vides seraient remplis d'eau et, de ce fait, incompressibles. [17].

II.3.4 La cohésion

La cohésion d'une terre exprime la capacité de ses particules à se maintenir ensemble lorsque l'on exerce sur le matériau une contrainte de traction. La cohésion d'une terre dépend des caractéristiques de collage ou de cimentation de son mortier grossier (fraction de grains de $\Phi < 2 \text{ mm}$) qui lie les grains inerte entre eux. Cette propriété est donc tributaire de la quantité et de la qualité collante des argiles. Les mortiers grossiers sont classés de la façon suivante (Houben, 2006):

- Mortier Sableux,
- Mortier Maigre,

- Mortier Moyen,
- Mortier Gras,
- Argiles.

La cohésion se mesure par l'essai de traction à l'état humide.

II.4 Procédés

On dénombre trois procédés de stabilisation (Winterkorn, 1975; Nations Unies, 1992, Webb, 1994) :

II.4.1 Stabilisation mécanique :

La stabilisation mécanique est le terme général utilisé pour la stabilisation du sol par compactage. Ce procédé modifie les propriétés de la terre (la densité, la compressibilité, la perméabilité et la porosité), en intervenant sur la structure.

II.4.2 Stabilisation physique :

Les propriétés d'une terre peuvent être modifiées en intervenant sur la texture : mélange contrôlé de fractions de grains différentes (argile et sable).

II.4.3 Stabilisation chimique :

La stabilisation de la terre est assurée par l'ajout d'autres matériaux ou de produits chimiques qui modifient ses propriétés, soit du fait d'une réaction physicochimique entre les particules de la terre et le produit ajouté soit en créant une matrice qui lie ou enrobe les particules. On peut citer, en particulier du ciment, de la chaux, du bitume, et de sous-produits industriels. Le choix et la quantité de matériau ou de produit chimique à ajouter dépendent de la nature du sol et du degré d'amélioration de la qualité du sol souhaité (Akpodje, 1985). Le traitement du matériau terre par des produits chimiques se fait pratiquement de deux manières :

- Un traitement dans la masse (introduction dans la masse du sol d'une quantité minimale de stabilisant).
- b. Un traitement de surface (enduits, badigeons, hydrofuges), pour protéger la surface par imprégnation sur la partie exposée (Ghoumari, 1989).

II.5 Moyens de stabilisation







Dans la littérature, on peut trouver divers classifications, selon : la nature, la forme, etc. Selon Rigassi (Rigassi, 1995), il y a six modes de stabilisations :

- Densifier.
- Armer.
- Enchaîner.

- Liaisonner.
- Imperméabiliser.
- Hydrofuger.

Chaque stabilisant n’agit pas obligatoirement selon un procédé exclusif, mais il peut aussi cumuler plusieurs procédés : physique et chimique (Houben,2006) (tableau 1.2) .

Tableau 1.2 : Moyens de stabilisation des terre remaniées (Houben,2006).

Stabilisant	Nature	Procédé	Moyens	Principe	Symbole
Sans ajout de stabilisant		Mécanique	Densifier	Créer un milieu dense qui bloque les pores et les canaux capillaires	
Stabilisants inorganes	Minéraux	Physique	Armer	Créer une armature omnidirectionnelle qui réduit le mouvement	
	Fibres				
Avec ajout de stabilisant	Liantes	Chimique	Enchaîner	Créer un squelette rigide qui s'oppose à tout mouvement	
			Liaisonner	Former des liaisons chimiques stables entre les cristaux d'argile	
	Stabilisant physico-chimique		Imperméabiliser	Enduire les grains de terre d'un film imperméable et boucher les pores et canaux	
			Hydrophobiser	Filmer au maximum l'adsorption et l'absorption d'eau	

II.6 Les matériaux de stabilisation :

II.6.1 Stabilisation au ciment

II.6.1.1 Généralités

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

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

graviers comme dans le béton ou dans un mortier sable- ciment. De ce fait, il est inutile, voire néfaste, d'utiliser des terres trop argileuses (> 30 %) (Houben ,1996).

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

- Sol contenant un certain pourcentage d'argile : emploi du ciment riche en alite C3S et béliteC2S qui donne, après hydratation, beaucoup de portlandite, Ca(OH)₂. Verdeyen conseille le ciment pour les sols dont la teneur en argile n'excède pas 20 à 30 % (Ip<25 %) (Verdeyen,1971).

II.6.1.2 Mécanisme de stabilisation

La poudre de ciment contient plusieurs phases différentes. Les phases principales sont: l'alite (C3S), la bélite (C2S), l'aluminate tricalcique (C3A), l'aluminoferriite tétracalcique (C4AF) et la périclase (MgO). Des phases mineures sont également trouvées: la chaux libre (CaO), les sulfates de sodium et de potassium (Na₂SO₄ et K₂SO₄) (Moszkowicz, 2001).

Suivant les proportions de ces éléments, les ciments pourront avoir des propriétés différentes. Par exemple, une forte teneur de C3S donnera une résistance élevée, par contre un ciment à forte teneur en C3A 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 (C3S et C2S) qui forment deux nouveaux composés:

la portlandite (CH) et le silicate de calcium hydraté (C-S-H :3CaO.2SiO₂.3H₂O) :



L'hydratation des aluminates tricalciques (C3A) dépend de la teneur en gypse du ciment. En présence de gypse, l'ettringite est formée ce qui contribue à l'augmentation de la résistance :



En l'absence de gypse, les C3A réagissent avec l'eau pour donner des C4AH₁₃, C2AH₈, et des C3AH₆. Les C4AH₁₃ et C2AH₈ sont instables. Sous l'action de la chaleur d'hydratation, ils se transforment en C4AH₈.

La phase ferrite (C4AF) réagit rapidement en présence de gypse pour former de l'ettringite selon la réaction suivante :



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

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

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

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

1. L'hydratation provoque la formation de gels de ciment à la surface des agglomérats d'argile. La chaux libérée pendant l'hydratation du ciment réagit aussitôt avec l'argile. La chaux est vite consommée et l'argile entame une dégradation.
2. Progression de l'hydratation, la désagrégation des agglomérats d'argile ; ceux-ci sont Pénétrés en profondeur par les gels de ciment.
3. Interpénétration intime des gels de ciment et des agglomérats argileux. L'hydratation persiste, mais plus lente.

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

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

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

II.6.1.3 L'influence de ciment sur le comportement des argiles :

Plus le sol est argileux, moins en général les résistances sont élevées, compte tenu de la faible proportion d'éléments grenus constituant l'édifice granulaire. En particulier, il n'est pas judicieux d'envisager a priori un traitement des sols des classes A2 et A3, avec un liant

hydraulique seul. Toutefois, des liants dégageant une importante quantité de chaux au cours de la prise (cas du ciment CPA-CEM I, par exemple) ou de liants comportant une forte proportion de chaux ou de clinker peuvent, dans certains cas, s'avérer efficaces sur ces matériaux, car leur prise hydraulique est renforcée par une prise de type pouzzolanique (de la chaux sur les argiles). En fait, la meilleure solution pour ces sols sera souvent de combiner les actions complémentaires de la chaux et du liant hydraulique en réalisant un « traitement mixte

Dans le cas des ciments, qui sont des produits normalisés et certifiés, on pourra en général se référer à l'identification du produit annoncée par le producteur. [19]

II.7 Stabilisation à la chaux

II.7.1 Généralités

Comme le ciment, la chaux a joué aussi un rôle dans la stabilisation des matériaux de construction depuis très longtemps. Elle fut employée par les Romains et d'autres anciennes civilisations pour stabiliser la chaussée des pistes .

La chaux est une matière généralement poudreuse et de couleur blanche, obtenue par décomposition thermique du calcaire. Chimiquement, c'est un oxyde de calcium avec plus ou moins d'oxyde de magnésium, mais la désignation usuelle de chaux peut englober différents états chimiques de ce produit. On les distingue notamment dans le langage courant par rapport à leurs utilisations dans la construction :

- La chaux vive est le produit direct de calcination du calcaire, principalement de l'oxyde de calcium (CaO).
- La chaux aérienne, ou chaux éteinte, est obtenue par la réaction de la chaux vive avec de l'eau. Elle est constituée surtout d'hydroxyde de calcium (Ca(OH)₂). Elle est dite « aérienne », car elle réagit avec le CO₂ de l'air.
- La chaux hydraulique contient en plus des silicates et des aluminates, car elle provient de calcaires argileux. Elle est appelée « hydraulique » parce qu'elle durcit en présence d'eau. Tous les types de chaux peuvent être employés, mais la préférence est donnée néanmoins aux chaux aériennes qu'aux chaux hydrauliques (Doat, 1979). La chaux est surtout conseillée pour les sols contenant une fraction argileuse de 20 % et les sols ayant IP > 17 et LL > 40.

La chaux éteinte est beaucoup plus conseillée que la chaux vive, car cette dernière présente deux inconvénients majeurs : conservation difficile à l'abri de l'humidité avant son emploi et manipulation pénible lors des mélanges (Le Roux, 1969) ; (Gresillon, 1976). Le Roux (Le Roux, 1987) a prouvé que pour des sols riches en kaolinite, la résistance (de 2 jusqu'à 90 jours) croît avec la teneur en chaux, mais que pour des sols riches en illite, un optimum de 5 % de chaux se caractérise à moyen et à long terme.

II.7.2 Mécanismes

Deux phases regroupant quatre types de réactions peuvent se produire lors d'une stabilisation à la chaux ; l'échange cationique, la floculation et l'agglomération des argiles, la carbonatation de la chaux et les réactions pouzzolaniques entre la chaux, la silice et/ou l'alumine (Choquette, 1988; Locat, 1990; Roger, 1996a). Dans un premier temps, les deux premières réactions augmentent la plasticité, la maniabilité ainsi que la résistance du sol et réduisent typiquement l'indice de plasticité tel qu'illustré sur la figure 1.25. Cette première phase est reconnue comme étant la période de modification du sol.

II.8. 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 friable 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 (Guettala, 2003).

II.9. Stabilisation par fibres

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

Dans le reste de ce chapitre, nous allons passer en revue les principales fibres utilisées dans la fabrication des matériaux composites en général et les briques de terre fibrée et le renforcement des sols en particulier.

II.9.1 Les fibres

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

II.9.2 Différents types de fibres

Les différents types des fibres utilisées dans la construction sont classés par familles et illustrées par la (figure 1-30).

- a. Les fibres naturelles.
- b. Les fibres artificielles.
- c. Les fibres synthétiques.

II.9.3 Les fibres naturelles

Elles sont réparties en trois groupes selon leurs origines.

- Les fibres animales (poils ; sécrétions)
- Les fibres minérales
- Les fibres végétales

II.9.4 Les fibres animales ont pour origine :

« Les poils : la laine (obtenue par la tonte de moutons), alpaga, angora, chameau, cachemire » ;

« Les sécrétions : soie (Bombyx Mori), soie sauvage, fils d'araignée » ;

II.9.5 Les fibres minérales :

L'amiante est la seule fibre minérale naturelle ». Elle a été employée dans plusieurs domaines à cause de ses qualités de résistance à la chaleur, au feu, aux agressions chimiques et électriques et pour son pouvoir absorbant. Cette fibre a été interdite progressivement à cause des risques cancérigènes qu'elle présente.

II.9.6 Les fibres végétales :

Leur utilisation dans la construction présente deux avantages. Elles sont disponibles et obtenues à faibles coût. Elles procurent également des revenus aux agriculteurs. D'autre part, elles permettent la réduction des impacts environnementaux. Ce sont des matières premières

renouvelables, biodégradables, sans émission de CO₂ et qui ne demandent pas trop d'énergie pour ça production. Elles comprennent :

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

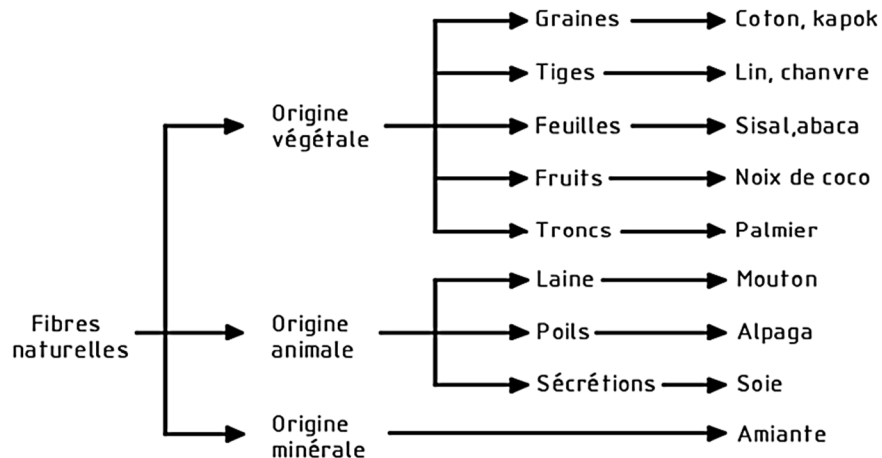


Figure II.2 : Classification des fibres naturelles en fonctions de leur origine [20].

II.9.7 Les fibres artificielles

Ces fibres sont utilisées aussi bien dans l'industrie que dans le génie civil. Il s'agit des fibres de verre, de carbone, d'acier et d'autres. Elles représentent aujourd'hui un taux élevé dans l'industrie de la construction.

II.9.8 Les fibres synthétiques :

Les fibres synthétiques proviennent des substances ou composés fournis par l'industrie pétrochimiques. Elles sont découvertes au 20^e siècle après la réussite de la fibre de « Viscose ». Depuis ce jour, plusieurs fibres synthétiques ont été fabriquées. Leurs propriétés correspondent à des applications particulières. Comme les fibres artificielles, les fibres synthétiques sont obtenues par filage. Elles sont utilisées dans différentes industries à cause de leur faible coût, de leurs disponibilités et aussi leur indépendance de saisons. Par ailleurs, l'utilisation des fibres synthétiques est critiquée à cause de leur comportement environnemental soit au moment de sa fabrication, ou pendant leurs utilisations et également pour son recyclage difficile. Les principaux types de fibres synthétiques commercialisées sont :

- Les polyamides (Nylons) ;

- Les polyesters ;
- Les dérivés polyvinyliques ;
- Les polyoléfines : les polyéthylènes et les polypropylènes sont beaucoup évoluées et leurs productions sont estimées à 8% de toutes les fibres synthétiques.

II.9.9.1 Effet des fibres sur les propriétés mécaniques

Des études apparues depuis plusieurs années sur le BTM ont montré que l'addition des Fibres synthétiques réduit la taille des fissures causées par le retrait et améliore la durabilité et la Résistance à la traction [19].

II.10 Conclusion

On a constaté que plusieurs travaux de recherches ont confirmé que l'emploi des liants minéraux (ciment et chaux) comme stabilisants améliorent la résistance mécanique et l'insensibilité à l'eau des BTC.

- La compression de la brique joue un rôle important dans la résistance à la compression. Donc on constate que pour tous les matériaux, une relation très nette entre la densité sèche et la résistance mécanique.

C'est à partir de cette conclusion qu'on a défini notre objectif de travail en choisissant le type d'argile adapté pour ces stabilisant.

Chapitre III

Le matériau terre crue dans les constructions rurales

III.1.Introduction :

Le bâti en terre crue a servi aux activités agricoles comme bâtiments d'élevage et de stockage, mais aussi parfois en tant qu'habitation dans certaines régions où la pierre n'était pas abondante. Ce type de construction peut être perçu comme modeste dans certaines zones rurales. Or pour les agriculteurs ces bâtiments avaient de nombreuses qualités : faible coût, facilité de construction ainsi que leur durabilité dans le temps et leur possible réutilisation en fin de vie dans la construction de nouveaux bâtiments. Malgré ses qualités, la fonctionnalité de ces bâtis en terre pour l'agriculture est passée en un siècle d'un avantage à un inconvénient.

Cette perte d'atout aux yeux des agriculteurs est due aux nombreuses évolutions du monde rural notamment celles liées à l'agriculture. Les évolutions technologiques puis sociales et économiques ont eu des impacts sur le paysage et le bâti vernaculaire dont la présence se fait de plus en plus rare dans les campagnes algériennes.

Le choix d'un matériau utilisé comme isolant dépend naturellement de sa disponibilité et de son coût. Contrairement au ciment, au béton ou à l'acier, la terre à l'état naturel peut être utilisée comme matériau de construction pratiquement sans dépense d'énergie. Elle présente de nombreux avantages environnementaux, sociaux et culturels.

III.2.État des lieux du secteur de l'habitat en Algérie

Durant les 20 ans qui ont suivi l'indépendance, les besoins de la population ont connu une évolution rapide suite à la croissance démographique et l'exode rural. Le logement est considéré comme un bien de consommation durable, sa construction exige d'importants capitaux. La fabrication des logements a été caractérisée par une adaptation difficile des savoir-faire aux procédés importés, des problèmes d'organisation des procès de travail et des filières, et des conflits entre acteurs. Ces conditions ont impliqué des résultats néfastes sur la construction de logements (faible quantité de logements livrés, accroissement des délais de livraison et des coûts, augmentation du volume d'assistance technologique à l'égard de l'étranger). « Les filières de construction en Algérie et plus globalement l'industrie du bâtiment et des travaux publics appartiennent à un secteur trop important » (BOUBEKEUR.S, 1986, p. 91). Il est devenu nécessaire de définir des orientations dans le secteur de la construction et de réaliser une cohérence entre les objectifs et les moyens . [21]

III.3.Période avant l'indépendance

Estimé à 1.050.000 habitations en 1945 [Rachid Hamidou ,1989] la production du logement est laissé presque totalement à l'initiative privée, le nombre de logement accordé à la population musulmane est très limité, malgré l'accroissement démographique très important ce qui a entraîné l'amplification de l'habitat informel, et afin de contrecarrer la

révolution, l'administration française s'est intéressé au secteur de l'habitat à travers « le plan de Constantine » (1959 -1963). 210.000 logements urbains et quelque 110.000 logements ruraux ont été programmés et dont 80% devait aller à la population musulmane, mais ce plan s'est arrêté vers la fin de l'année 1961 vu la situation que vivait le pays. [21] habitat rural en Algérie impact des mutations sociales sur la production du logement cas de la vallée la Seybouse wilaya de Guelma

III.4.Situation de l'habitat au lendemain de l'indépendance :

Au lendemain de l'indépendance, l'Algérie avait hérité d'une situation socio-économique déplorable. La situation du logement, malgré qu'elle était alarmante, n'était pas la priorité pour les dirigeants vue l'instabilité politique qui caractérisait le pays. Pour BOUHABA (1986), l'analyse du bilan économique et social de la période flottante (1962/1966) démontre l'inaptitude certaine des moyens de réalisation et les difficultés d'approvisionnement en matériaux de construction (manque d'ouvriers qualifiés, concurrence des entreprises industrielles, manque de ressources financières). Par ailleurs, l'importance des besoins et l'existence d'un marché immense ont favorisé le développement de l'industrie du bâtiment dès le début des années 70. À la veille du plan quadriennal, la crise du logement retrouve toute sa signification (décalage quantitatif et qualitatif entre une offre limitée de logements et des besoins d'une population en croissance). Sur le plan quantitatif, le taux de croissance annuel du nombre de logements pour la période 1966/1977 était de 1,5% contre un taux de croissance démographique de 3,4%. Sur le plan qualitatif, le parc de logement en 1977 (2 208 712 logements) est loin d'offrir le minimum de conditions, de commodités et d'espace (BOUHABA.M, 1986, p. 59). [21]

III.5.Les années 80 avènement d'un habitat anarchique dans les zones urbaines

La décennie 1980 correspond à la poussée des quartiers non réglementaires, bâtis en dur sans autorisation officielle (TEULIER.J, 2010, p. 57). Ce type d'habitat représente une filière de substitution et un régulateur face à l'inadéquation qualitative et quantitative entre l'offre de logement et les besoins des populations à bas revenus. Cette situation du logement a affirmé que la crise du logement a atteint son sommet. Ainsi, dans un pays à économie socialiste,

Les objectifs du premier plan quinquennal en matière de construction de logements ne sont que d'un apport modeste par rapport à l'importance des besoins. Le total en volume des investissements consacrés à l'habitat représente 15% de l'ensemble des investissements. En termes physiques, les livraisons prévues étaient de 700 000 logements, dont 150 000 logements ruraux ; le logement occupe toujours la deuxième place après l'industrie dans la

structure des investissements. Les livraisons prévues dans ce deuxième plan quinquennal s'élèvent à 542 000 logements, tous programmes confondus (BOUHABA.M, 1986, p. 63). Ce volume qui comprend les restes à réaliser du plan précédent s'avère moins ambitieux en raison de la faiblesse constatée des capacités de réalisation.

Dans cette période, l'accès à la propriété devient la forme majeure de promotion de l'habitat. La promotion immobilière devient la forme essentielle de réalisation de logement et traduit un recul appréciable de l'État. [21]

III.6.La politique de l'habitat dans les années 90

Le plan d'ajustement structurel accepté dans la décennie noire (années 90), La politique de logement en Algérie est restée focalisée sur des objectifs d'absorption des déficits l'encouragement et l'aide de l'État pour la construction individuelle ou collective à des fins personnelles sont réaffirmés. Cette démarche d'offre de logements se base sur l'élaboration d'une typologie discriminante des classes sociales selon les différentes tranches de revenu. Ce dispositif piloté par une structure déconcentrée du secteur de l'habitat (direction du logement et des équipements publics), [21]

III.7.Importance de la politique de l'habitat rural

Depuis les années 70, l'habitat rural a été plus avantagé. Il a connu son premier essor avec le développement des villages socialistes. Sur les trois décennies de l'indépendance, 45,4 % des nouvelles constructions étaient localisées dans le milieu rural (BOULAHBAL.B, 2008). Mais la politique industrielle et l'insécurité dans les zones rurales de la décennie noire ont engendré des flux très importants des populations vers les villes. Le maintien des populations rurales sur place est devenu une priorité. [21]

III.8.La politique de l'habitat rural après l'indépendance

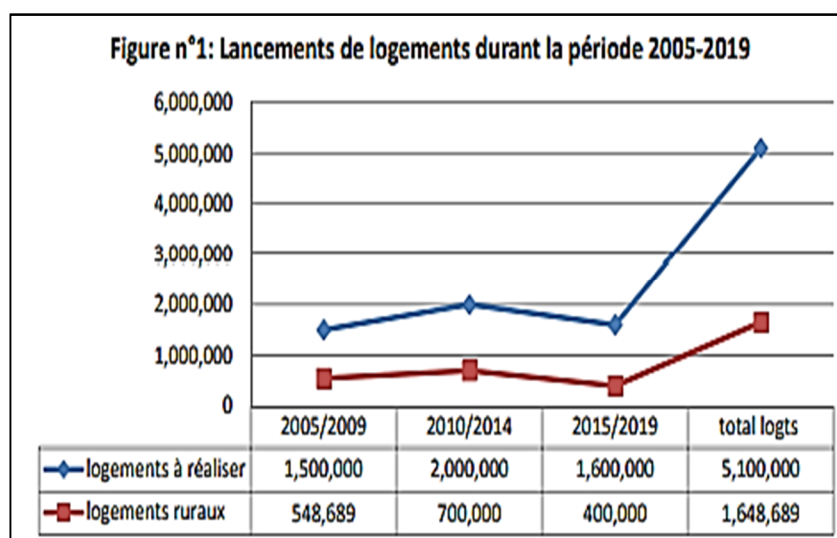
Le milieu rural a subi un fort mouvement d'exode rural, mais cet exode a été compensé par le croît démographique¹. L'espace rural a été confronté à une réadaptation spatiale exigée par les conditions économiques et sociales engendrées par la colonisation et le modèle algérien de développement. Comme conséquence à ces mouvements importants, de nouvelles constructions, nécessitées par la croissance démographique, ont été mises en place renouvelant ainsi le parc logement. Plusieurs programmes spéciaux et plans de développement nationaux ont été mis en application durant les années 1970-1980, accompagnés par des réformes administratives. Ce qui a favorisé, à un certain niveau, une meilleure répartition du progrès dans ces zones rurales (à titre d'exemple, le désenclavement des régions isolées, l'électrification rurale etc.) et une résorption des inégalités territoriales (BESSAOUD.O, 2006). [21]

III.9. La nouvelle politique d'aide à la construction rurale durant les années 2000

La décennie 2000, est marquée par une politique de rattrapage des déficits accumulés lors des années précédentes. La croissance, de la rente pétrolière pendant cette période, a permis de mobiliser des ressources financières appréciables. La variation a été de près de 170 000 logements nouveaux par an.

L'habitat rural a attiré l'attention des pouvoirs publics, le considérant comme un moyen d'atténuer l'exode rural. Par conséquent, un programme d'aide à la construction de logements ruraux a été mis en place. Dans ce contexte, il y a eu réalisation d'un important programme de logements destinés aux familles rurales. Les livraisons de logements ont profité essentiellement au logement rural avec 31,2% du total des livraisons (le logement, axe prioritaire, 2009).

Le graphe suivant permet de résumer les lancements en logement durant les programmes quinquennaux de la période 2005-2019, ainsi que la part destinée à l'habitat rural. [21]



Source : établi par nous même à partir des données de Taleb et Aknine, 2017, p 123

Le programme 2005-2009, a vu le lancement d'un projet de construction de 1,5 million de logements dont 548 689 ruraux avec une enveloppe financière 1581 milliards DA .Pour le programme 2010-2014, 2 millions de logements ont été prévus à la construction dont 700 000 logements ruraux, dotés d'une enveloppe de 3700 milliards DA. Le quinquennat actuel fixe deux objectifs : réduire la crise du logement d'ici à la fin de l'année 2019 et finaliser le programme de l'éradication des bidonvilles. La part du logement pendant ce quinquennat est de 1,6 million de logements tous segments confondus dont 400 000 logements ruraux (TALEB.K et AKNINE.R, 2017, p. 123).L'intérêt accordé au logement rural contribuera très

certainement à la fixation de la population rurale et à la revitalisation des espaces ruraux pour un meilleur équilibre dans la répartition spatiale de la population. Les logements qui ont été livrés sous différentes formes, financés partiellement ou entièrement par l'État, ont crû. Cette réalité caractérisera le secteur de construction d'évolutif et de soutenu. Le parc logement est passé de 5,4 M de 2000 à 8,5M en 2015. Le taux d'occupation par logement est passé de 5,6 à 4,5 personnes pour la même période. (Rapport national sur les objectifs du Millénaire pour le développement 2000-2015, 2016) [21]

III.10. Enjeux de la politique du logement en Algérie :

Exemple d'une commune rurale Le logement est un besoin social fondamental et un indicateur principal du niveau de vie d'une population. Par ses effets économiques en amont (création directe et indirecte d'emploi, consommation de matières premières, utilisation des ressources naturelles et humaines locales etc), la construction est une activité motrice et stratégique dans le développement économique. La construction de logements entretient des effets socio-économiques capables de stimuler les bienfaits de la croissance. [21]

III.11. La ressource locale et le métier du constructeur au sein de la politique de l'habitat rural

La faiblesse de l'économie locale prend origine dans la non exploitation des ressources locales (matières premières, ressources humaines, savoir faire) surtout lors qu'un projet d'envergure comme celui de l'habitat n'est pas conditionné par l'utilisation des ressources locales au lieu de faire le bonheur des importateurs des matériaux de construction et des fabriques de briques sises à l'extérieur de la commune. Avec l'arrivée du nouveau mode d'habitation, ce projet a eu aussi comme conséquence la destruction d'un patrimoine matériel (maison Kabyle traditionnelle) et environnemental. [21]

Conclusion

Aujourd'hui le monde a compris que pour préserver la Terre, il faut construire de manière durable. Les matériaux naturels ont montré leur capacité à perdurer dans le temps même si beaucoup de sites millénaires sont délabrés aujourd'hui. Les performances techniques comme celles de résister aux tremblements de terre, au confort thermique ainsi qu'au comportement dynamique ne sont plus à démontrer les solutions ont été déjà é adoptées par les anciens ».

Deuxième Partie

Etude expérimentale

Chapitre IV

Caractérisation des matériaux utilisés

IV.1 Introduction

Les blocs de terre et les produits céramiques, dont les matières premières sont des argiles, avec ou sans additifs. La forme des blocs est généralement parallélépipède rectangle. Elles sont couramment utilisées dans la construction des bâtiments et des travaux publics. Par rapport aux autres matériaux, c'est un des plus anciens matériaux de construction. Le bloc en terre est un mélange composé de sable de dune, d'argile et d'eau débâchage, sans doute, liée aux caractéristiques de ses constituants.

Dans ce chapitre nous allons étudier les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition des BTC, en suite nous allons donner le principe des méthodes utilisé dans la détermination des caractéristiques étudiés.

IV.2 Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans cette recherche sont : le sol, la chaux, le ciment, les fibres synthétiques. Et l'eau de robinet.

IV.2.1 Sol

IV.2.1.1.Origine du sol

Le sol utilisé provient de la région de Tounina, il est choisi sur la base de sa disponibilité et son abondance dans la région.

IV.3 Essais d'identification à la nature de la terre (Essais au laboratoire)

Dans ce chapitre nous allons étudiés les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition des briques à savoir :

- Granulométrie
- D'équivalent De Sable
- Limite Atterbergue
- Bleu de méthylène
- La teneur en carbonates CaCO_3

IV.3.1 La granulométrie

L'essai a pour but de déterminer les proportions pondérales des grains de différentes tailles qui constituent un matériau (argile, limon, sable, gravier ou mélange), au moyen d'un tamis à mailles carrées de dimensions inférieures ou égales à 100 mm et supérieures à 80 μm , selon la norme NF P 94 -560 de mars 1996 [3].

Pour les particules $< 80 \mu\text{m}$, le tamisage est pratiquement impossible. Dans ce cas, on utilise la sédimentométrie qui est mieux adaptée pour déterminer les proportions pondérales des grains, selon la norme NF P 94-057 du mai 1992 [4]. Cette méthode est basée

sur la loi de Stokes, qui exprime la vitesse de chute d'une particule sphérique dans un liquide visqueux.

IV.3.1.1 Analyse granulométrique par tamisage

IV.3.1.1.1 Le principe de la méthode

Le matériau d'étude est argileux, donc extrêmement fin. Dans un premier temps, la terre est lavée sur un tamis de 0,080 mm pour récupérer le refus. Il est séché à l'étuve à $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ puis passé sur une série de tamis : 1,6 mm ; 1mm ; 0,63mm ; 0,5 mm ; 0,4 mm ; 0,25 mm ; 0,2 mm ; 0,1 mm et 0,08 mm avec couvercle et fond de tamis (voir figure 3.3). Le tamisage est fait manuellement pendant environ une minute et le refus sur chaque tamis est pesé pour en déduire le pourcentage des passants. Nous constatons que plus de 50% des matériaux passent à travers le tamis de 0,08 mm Dans ce cas, il s'agit des matériaux fins. L'analyse granulométrique par tamisage est complétée par la sédimentométrie pour la détermination des toutes les dimensions de nos grains.



Figure IV 1 : Série de tamis



Figure IV 2 : Mode opératoire l'essai analyse granulométrique par tamisage voie humide

Les résultats de cette analyse sont résumés dans le tableau suivant:

Tableau IV 1 : Résultats d'analyse granulométrique par tamisage voie humide (brut)

Diamètre des tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
5	0	0	100
2	0.0075	1.5	98.5
1.6	0.0085	1.7	98.3
1.25	0.0101	2.02	97.98
0.630	0.015	3	97
0.4	0.0245	4.9	95.1
0.315	0.043	8.6	91.4
0.2	0.125	25	75
0.16	0.2005	40.1	59.9
0.125	0.2655	53.1	46.9
0.08	0.34	68	32

IV.3.2 Analyse granulométrique par sédimentométrie NF P94-056 et NF P94-057:

▪ IV .3.2.1 Le principe de l'essai

L'essai est fondé sur la loi de Stokes ou la vitesse de sédimentation des particules en suspension dans un milieu dépend de leurs diamètres.

▪ IV.3.2.2 Mode opératoire

L'analyse par sédimentation est un essai géotechnique qui complète l'analyse granulométrique par tamisage. Les particules inférieures à 80 µm séparées du reste du sol par tamisage sont mises en suspension dans de l'eau additionnée d'un défloculant. Les particules 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 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: Mode opératoire l'essai analyse granulométrique par sédimentométrie(...)

Tableau IV .2: Analyse granulométrique par sédimentométrie

Temps de lecture	R lecture densimètre	T (°C)	Ct	P% sur tamis 80µm	D (µm)
30s	1.025	23	1.1	34	59
01min	1.023	23	1.1	29	43
02min	1.021	23	1.1	19	31
05min	1.019	23	1.1	18	20
10min	1.016	23	1.1	15	14
20min	1.013	23	1.1	14	10
40min	1.010	23	1.1	12	08
80min	1.009	23	1.1	10	05
04 heures	1.007	23	1.1	8	03
24 heures	1.000	23	1.1	4	01

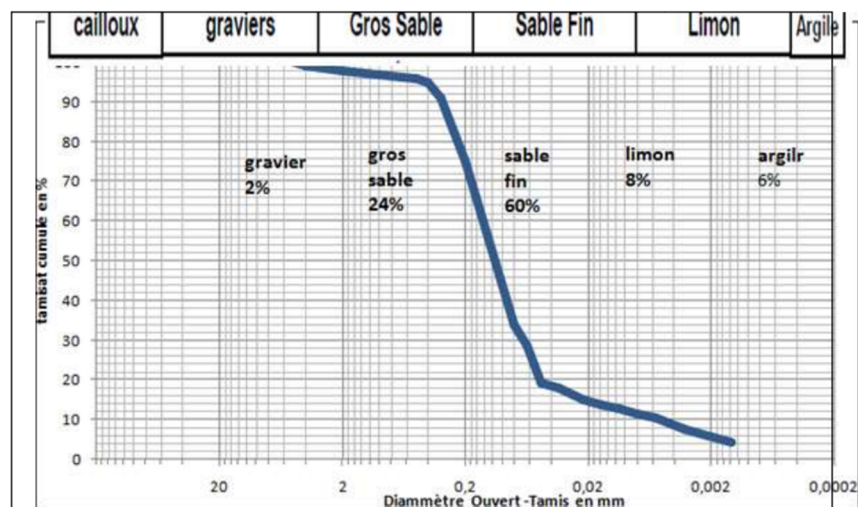


Figure IV.4: Courbe granulométrique(sol brut)7

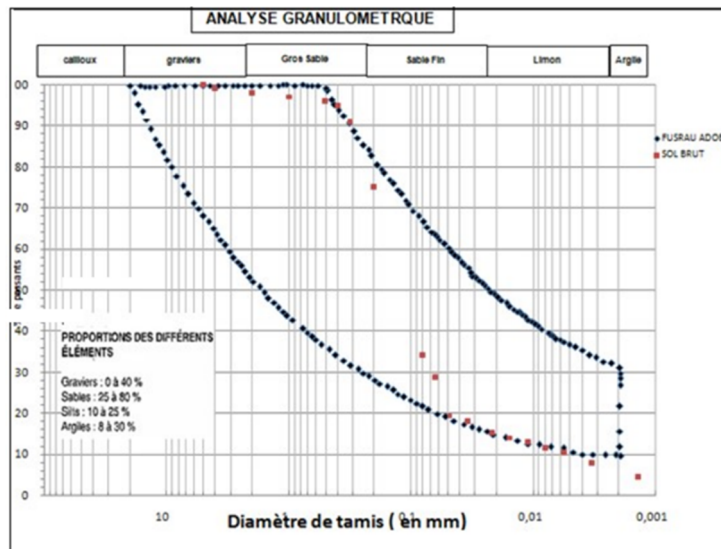


Figure IV.5 :Disposition de la courbe granulométrique(brut) dans le fuseau des adobes selon (Houben.H 1989)

IV.3.3 Essai D'équivalent De Sable : NFP 18-598

IV.3.3.1 But :

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté du Temchemt , est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

IV.3.3.2 Exécution de l'essai :

La solution lavant ayant été siphonnée dans l'éprouvette cylindrique, jusqu'au trait repère inférieur, la prise d'essai humide, correspondant à une masse sèche de $120 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ de matériau, est versée soigneusement à l'aide de l'entonnoir dans l'éprouvette posée verticalement. Pendant $10 \text{ min} \pm 10 \text{ s}$; Agitation de l'éprouvette ; Lavage Laisser reposer pendant $20 \text{ min} \pm 10 \text{ s}$.

IV.3.3.3 Expression des résultats :

La figure III.1 montre schématiquement, les dimensions à considérer dans l'essai de l'équivalent de sable



Figure IV .6 : mode opératoire de l’essai équivalent de sab
mode opératoire de l’essai équivalent de sable(...)

On mesure les éléments suivants :

- h1** : hauteur de sable propre + éléments fines (floculant).
- h2** : sable propre seulement.

Tableau IV 3 : les résultats de l’équivalent de sable obtenus

	Ech1	Ech2
Mesure h_1	30.7	33.7
Mesure h_2	10.7	9.8
Mesure $h'2$	6.29	3.8
ES (Piston) = $100 \cdot h'2 / h_1$	20.48	11.27
ESES Piston = 15.87		
ES (Visuel) = $100 \cdot h_2 / h_1$	34.85	29.08
ES = 31.96		

IV.3.4 Limites d’Atterberg

IV.3.4.1 But de l’essai :

Les limites d’Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état au moyen de son indice de consistance.

IV.3.4.2 Principe de l’essai :

L’essai effectue en deux phases :

- Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiqué dans le un sol placé dans une coupelle de caractéristiques imposées se ferme lorsque la coupelle et son contenu sont soumis à des chocs répétés
- Recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimension fixée et confectionné manuellement se fissure.

IV.3.4.3 Equipement nécessaire :

- Appareil de Casagrande.
- Etuve de dessiccation à température réglable à 105 C0 et à 50 C0 de classe d'exactitude C.
- Balance numérique
- -Capsules ou tares , spatules, truelles



Figure IV .7 : Manipulation de l'essai de limites d'Atterberg

les limites sont déterminées sur la fraction de sol passant au travers du tamis 400µm

Les deux limites utilisées sont :

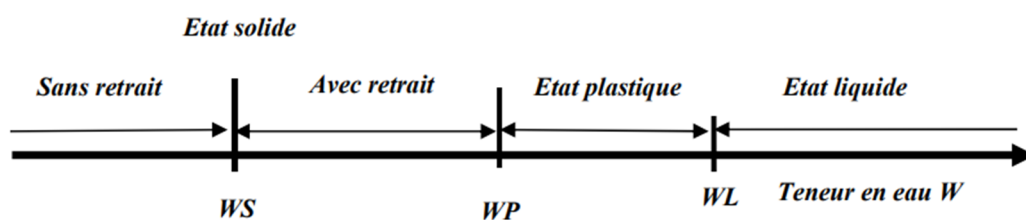
- **WL** : limite de liquidité : teneur en eau d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état liquide et un état plastique.
- **WP** : limite de plasticité : teneur en eau d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état plastique et un état solide.

A partir des résultats obtenus, nous déterminons l'indice de plasticité.

- **IP** : indice de plasticité : Cet indice définit l'étendue du domaine plastique du sol entre les limites de liquidité et de plasticité :

$$IP = WL - WP$$

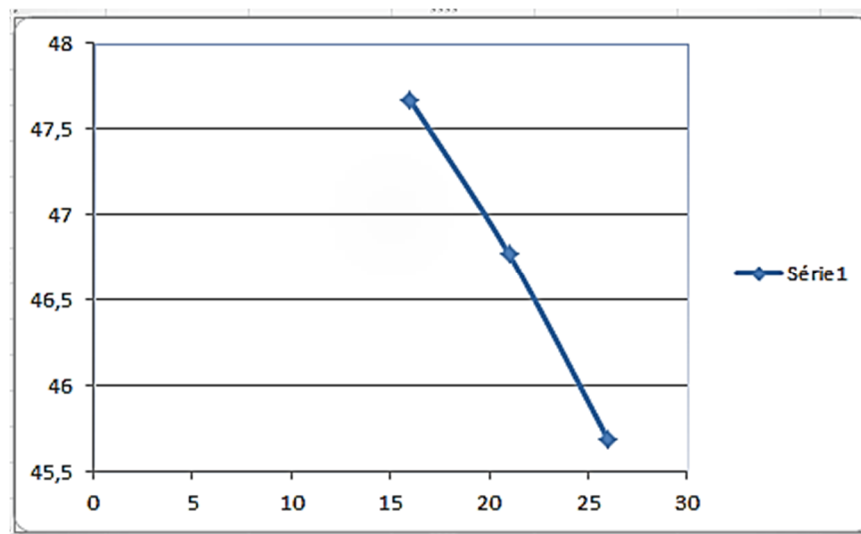
Le teneur en eau étant exprimées en pourcentage, l'indice de plasticité est un nombre sans dimension.



FigureIV 8 : Présentation des limites d'Atterberg

Tableau IV.4: les résultats de la limite de liquidité

	1° ESSAI	2° ESSAI	3° ESSAI	4° ESSAI
N° de la terre	214	2D	17	1CA
Poids total humide(g)	5.37	4.97	5.4	5.17
Poids total sec(g)	5.1	4.7	5.13	4.9
Poids de la terre(g)	4.02	3.63	4.08	3.84
Poids de l'eau	0.27	0.27	0.27	0.27
Poids de sol sec(g)	1.08	1.07	1.05	1.06
Teneur en eau	25.00	25.23	25.71	25.47
La moyen	25.12		25.59	
	25.35			

**Figure IV .9 :** la courbe de la limite d'atterberg

Tableaux IV .5 : les résultats de la limite de plasticité (brut)

	1° ESSAI		2° ESSAI		3° ESSAI	
Nombre de coups	16		21		26	
N° de la terre	H3	D7	B1	B37	117	AHY
Poids total humide(g)	6.58	6.79	5.78	5.95	6.81	6.07
Poids total sec(g)	5.72	6.01	5.03	5.18	5.92	5.26
Poids de la terre(g)	3.92	4.37	3.43	3.53	3.98	3.48
Poids de l'eau	0.86	0.78	0.75	0.77	0.89	0.81
Poids de sol sec(g)	1.80	1.64	1.60	1.65	1.94	1.78
Teneur en eau(%)	47.78	47.56	46.88	46.67	45.88	45.51
La moyen	47.67		46.77		45.69	

Limite de liquidité a la coupelle de casa grande

Mesures n°	1	2	3
Teneur en eau	47.67	46.77	45.69
Nombre de coups N	16	21	26

Teneur en eau de plasticité(%)	W=25.00	W=25.12	W=25.71	Wp=25 .59
	W=25.23		W=25.47	
Limite de liquidité :wl=45.92(%)	Indice de plasticité IP=20.57			
Limite de plasticité :wp=25.35(%)				

Tableau IV .6: la limite de liquidité et l'indice de plasticité**IV.4 Analyse chimique****IV.4.1 Essai au bleu de méthylène [NF P 94-068] :****IV.4.1.1 But de l'essai :**

Cet essai a pour but d'évaluer l'influence des fines d'origine argileuse contenues dans les sables et grave d'origine naturelle ou artificielle.

IV.4.1.2 Principe de l'essai :

On fixe sur les grains d'argile des molécules de bleu de méthylène et par test simple on évalue la quantité de bleu fixé, on en déduit la valeur du bleu méthylène.

IV.4.1.3.Matériels utilisés :

- 1) Balance de précision
- 2) Un bûcher plastique ou verre
- 3) Un agitateur à ailettes de diamètre 70 à 80 mm et de vitesse de rotation 600 à 800 tr/min
Une burette de 100 ml
- 4) Papier filtre sans cendre (<0.010)
- 5) Une baguette en verre de 8 mm de diamètre
- 6) Une solution de bleu de méthylène qualité médicinale à 10g/l 8- Eau déminéralisée

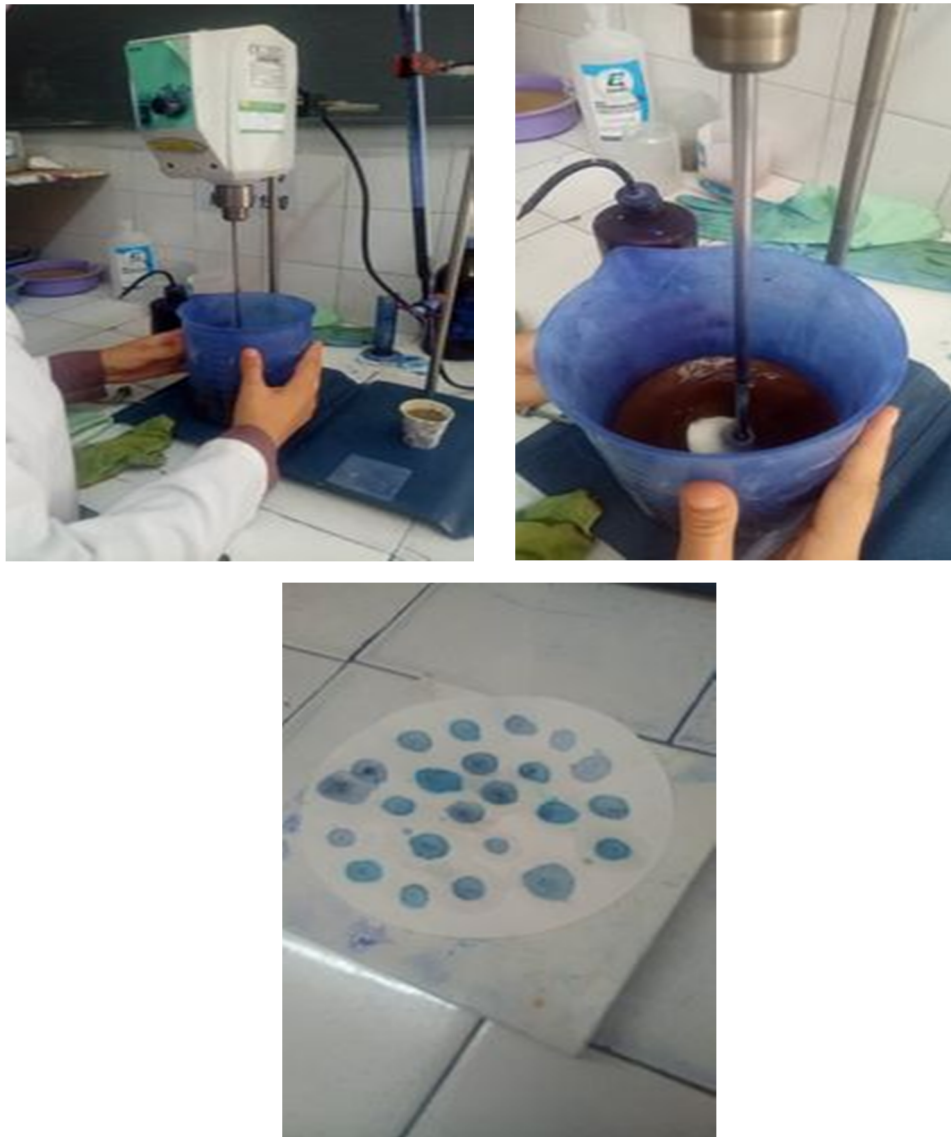


Figure IV.10 : Essai de bleu de méthylène

Ce test consiste à injecter, successivement des dosages précis de bleu de méthylène jusqu'à avoir saturation des particules d'argiles.

La valeur de bleu est exprimée par la formule suivante :

$$\text{VBS} = 100 \cdot (V \times 0.01 / M)$$

Avec

V : volume de bleu méthylène absorbé ;

M : la masse de prise d'essai.

Tableau IV .7: Valeurs de bleu méthylène

Volume (ml)	VBS (gr/100 gr)
58	1.93

L'essai au bleu de méthylène donne $\text{VBS} = 1.93\% > 1\%$ (selon [NF P 94-068])

- Notre sol est entre $0.2 \leq \text{VBS} \leq 2.5$, cela implique qu'il n'est pas très absorbant. Sol limoneux (sol peu plastique et sensible à l'eau).

IV.4.2.Détermination de la teneur en carbonates CaCO_3 NA -2789 :

Cet essai détermine le pourcentage de la fraction carbonatée contenue dans un sol .et Le principe de L'essai détermine le volume de dioxyde de carbone dégagé sous l'action d'acide chlorhydrique en excès pour un échantillon préparé pour l'essai.

- ① Flacon avec ampoule de niveau
- ② Burette graduée
- ③ Robinet
- ④ Bac d'eau de refroidissement à température ambiante
- ⑤ Flacon à réaction
- ⑥ Tube à essai
- ⑦ Matériau soumis à essai
- ⑧ Système réfrigérant
- ⑨ Tubulure souple reliant ① à ②
- ⑩ Liquide (avec colorant éventuel)
- ⑪ Gaz dégagé par la réaction

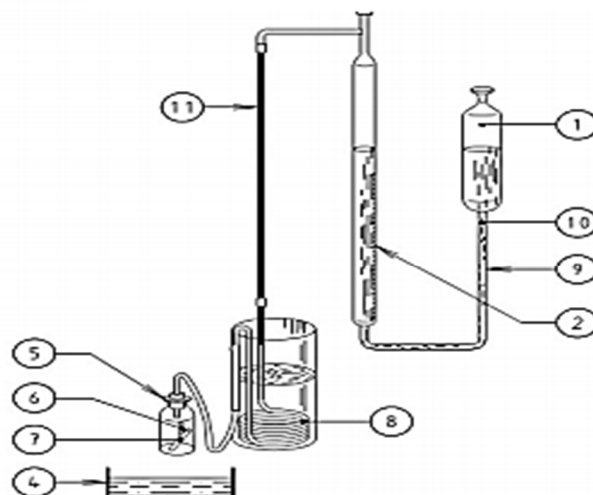




Figure IV .11: Mode opératoire de CaCO3

Tableau IV .8: Détermination de la teneur de calcaire

Teneur de calcaire (%)	Nature
13%	Sol faiblement carbonaté

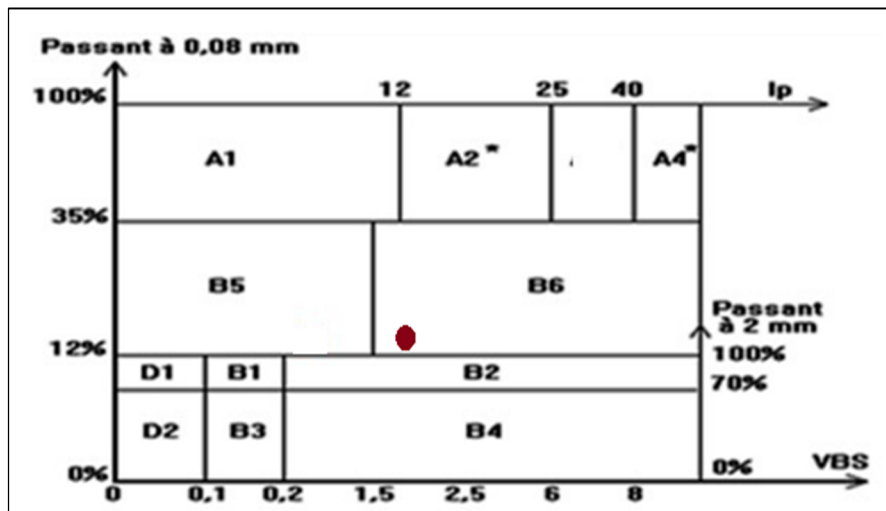


Figure IV .12: classification de sol du GTR 2000

IV.5 Confection des éprouvettes la norme (NF P98-230-2) :

De part la finesse du matériau à étudier ($D_{max} < 6,3$ mm) et en suivant la norme (NF P 98-114-3) relative à l'étude des matériaux traités aux liants hydrauliques, d'éprouvettes cylindriques sont utilisées pour réaliser l'essai de compression simple : «5 x 10» ($\varnothing = 5$ cm; $h = 10$ cm), qui sont fabriquées avec une teneur en eau optimale WOPM et 98,5 % de la masse volumique sèche Proctor p_{dOPM} , confectionnées par un compactage statique suivant la norme (NF P98-230-2)



Figure IV .13 : Confection des éprouvettes d'essais mécaniques par compactage statique

IV.6 Compression simples selon la Norme-NF-XP-P13-901 :

Les essais de résistance à la compression simple (RC) sont effectués sur des éprouvettes cylindriques de 5 cm de diamètre et de 10 cm de longueur (d'éclatement 2), confectionnées à WOPM et $0.985 \times p_{dOPM}$ et compactées statiquement à l'aide d'une presse

statique. La détermination de cette résistance a pour but d'étudier l'effet des liants utilisés sur les paramètres de résistance mécanique de sol traités. Ceci nous permettra de caractériser le comportement du sol traité.

Nous avons donc mesuré les résistances à la compression simple des éprouvettes concernant le sol traité avec ciment et la chaux et mixte ciment et la chaux proposées après 3 ,7,14 ,21,28 jours de maturation.

Les éprouvettes sont placées entre les plateaux de la presse et subissent une force axiale croissante jusqu'à la rupture à l'aide d'un capteur qui permet d'afficher les résultats de la capacité maximale et le déplacement de course.

Le calcul de la résistance à la compression simple se fait par la formule suivante:
 $R_c = \frac{F_r}{S}$ Fr: la valeur maximale de la force appliquée sur l'éprouvette au moment de la rupture

S: la surface de la section de l'éprouvette, (cm²)

Les résultats des essais de résistance à la compression simple (Rc) effectués sur des éprouvettes cylindriques (5x10) cm, confectionnées à (Wopm, 98,5% γ_{dopm}) par un compactage statique :



Figure IV .14: mode opératoire du compression simple

Comme tous les matériaux cohésif-frottant, La terre crue devient plus résistante et rigide avec l'augmentation de la densité. Généralement, la résistance de terre crue augmente dans l'ordre [la terre séchée à l'air libre (adobes, bauges) < la terre en pisé < le bloc de terre crue compressée (BTC)], [Van-Damme and Houben, 2017], [Miccoli et al., 2014].

Le matériau de terre est mélangé avec une quantité d'eau pour optimiser les propriétés mécaniques du produit final.

La résistance à la compression simple de la terre crue (non stabilisée) séchée à l'air libre est généralement de quelques dixièmes de MPa, (0.5 à 1.5 MPa pour bauge, 1 à 2.5 MPa pour l'adobe) à quelques MPa pour le pisé (1 à 4 MPa) et les blocs de terre compressée BTC entre (1 à 7 MPa), (**Figure IV .14**), [Van-Damme and Houben, 2017].

Dans la littérature, le manque des normes sur la terre crue constitue le point délicat. La résistance à la compression simple de la terre, c'est une propriété mécanique faisant l'objet d'exigences réglementaire fortes. Selon la norme [Norme-NF-XP-P13-901, 2001], la résistance à la compression simple des BTC doit être supérieure ou égale à 1.6 MPa.

Nous cherchons donc à valider nos essais à cette norme, [Norme-NF-XP-P13-901, 2001], pour trouver un résultat à la compression également fiable.

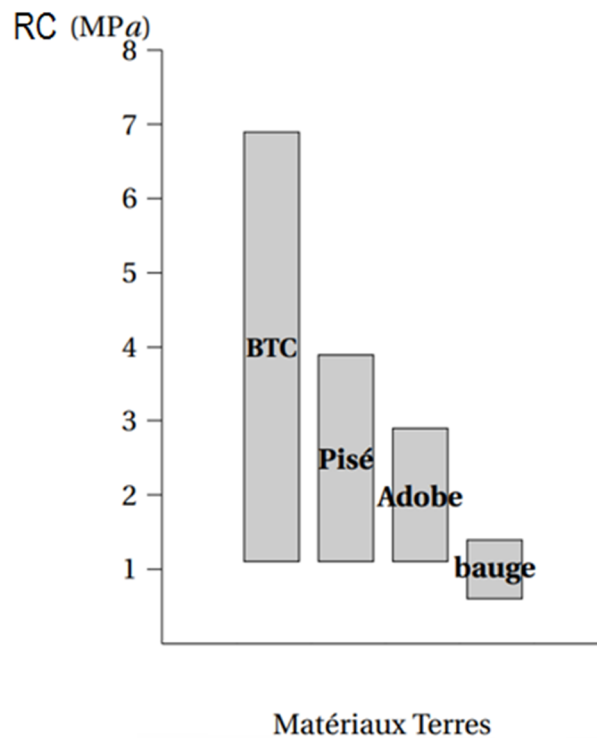


Figure IV .14 : Matériaux Terres

IV.7 l'essai l'ultrason :

Après avoir franchi une longueur de parcours (L) dans l'éprouvette, l'impulsion de vibration est convertie en un signal électronique à l'aide d'un récepteur et la base de temps électronique permet de mesurer le temps de propagation des ondes Ultrasonores.

Appareille utilisée :

L'appareillage est essentiellement constituée d'un générateur d'impulsion électrique de plusieurs transducteurs (un émetteur et un ou plusieurs récepteur) et d'un dispositif de

chronométrage permettant de mesurer l'intervalle de temps qui s'écoule entre le départ de l'impulsion générée par le transducteur –émetteur et la détection de son arrivée au transducteur-récepteur, ou le temps qui s'écoule entre passage de cette impulsion entre deux transducteur .

▀ Objectifs d'essai :

Mesure de la vitesse des impulsions ultrasoniques de vibrations longitudinaux passant à travers le brique peut être utilisé pour les applications suivantes :

- La détermination de l'uniformité de la brique à l'intérieur.
- La mesure des changements qui surviennent avec le temps dans les propriétés de la brique.
- Corrélation de la vitesse d'impulsion et la force comme une mesure de la qualité de la brique.

▀ Principe de l'essai :

Mesure du temps de propagation de la première impulsion des ondes appelées ondes longitudinales généré par un transducteur entre deux points déterminés de la brique. On peut à partir du temps de propagation mesuré, exprimer une vitesse

Conventionnelle de propagation : c'est le quotient de la distance entre transducteur par le temps mesuré.



Figure IV.15: Mesure du module d'élasticité E par l'ultrason

IV.7.1.Expression des résultats :

La vitesse conventionnelle de propagation est calculée par la formule :

$$V=L/T$$

L : est la distance entre le transducteur en mètre

T : est le temps de propagation en secondes.

La vitesse des ondes sonores dans la brique dépend des caractéristiques élastiques, de la densité et de la teneur en humidité. C'est pourquoi, il est possible de faire des indications sur la régularité du brique la fissuration, les endroits creux et sur les dommages dus au gel ou au feu.

A partir des temps de propagation mesurés et de la distance de propagation, on calcule V, la célérité ou vitesse ultrasonique des ondes.

Pour la réalisation des essais nous avons confectionné au total 3 briques (10L.5D)

Tableaux IV 9 : Les résultats d'ultrason

Echantillon	Ech1 (6%ciment)	Ech2 (3%chaux)	Ech3(4% ciment+3%chaux)
T(s)	125	137	126.5
D (cm)	05	05	05
V (km/s)	0.04	0.036	0.039

ECH	Module d'élasticité
Ech2 (6 % ciment)	46028.52
Ech1 (3% la chaux)	39240
Ech3 (3%la chaux+ 6% ciment)	46558.26

IV.8 Les essais de durabilité:

IV.8.1 Essai de remontée capillaire ASTM-D559:

Afin de rapprocher des conditions réelles d'utilisation du matériau terre, nous avons préféré un essai de remontée capillaire, qui est plus représentatif de l'action de la remontée capillaire dans les murs eau de pluie en pied de mur, ...).

Pour ce faire, ces échantillons vont subir des immersions dans un récipient rempli d'eau.

Des pesées seront faites à des intervalles de temps en fonction de la vitesse d'absorption d'eau.

IV.8.2 Procédure :

Avant d'entamer l'essai, les spécimens seront pré-conditionnés en les séchant dans l'étuve à environ 105°C, jusqu'à une masse constante.

Ils seront ensuite pesés, puis mis en contact avec de l'eau à une profondeur de 5 mm. La petite surface de l'échantillon (la face immergée) sera mesurée et enregistrée. Le gain de

pois sera lui également mesuré à plusieurs moments sur une période de 13 heures 20 minutes (typiquement 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120, 180 et 240 minutes).

IV .8.3 Procédé d'interprétation.

Les résultats de l'essai d'absorptivité des différentes briques, sont présentés en traçant toutes les droites lissées sur les segments d'augmentation des masses des éprouvettes en fonction de la racine carrée du temps.

L'équation de ces droites a la forme : $Q / A = S \sqrt{t}$ Q : La quantité d'eau absorbée en (cm³) ;

A : La surface du spécimen en contact avec l'eau (cm²) t : Le temps (s),

S : Le coefficient de Sorptivité du spécimen (cm/s^{1/2}).

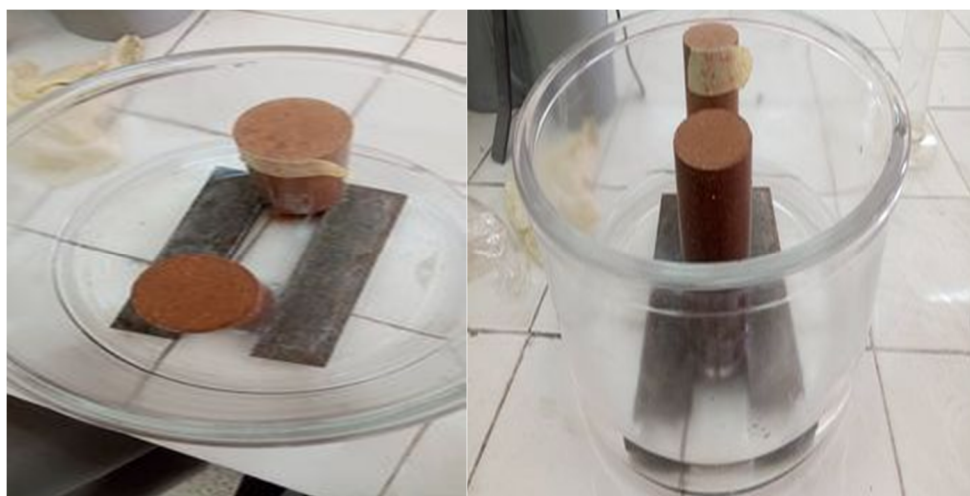


Figure IV.16: mode opératoire de l'essai remontée capillaire

IV.8.4 Les résultats :

Tableau IV .10 : des résultats de l'essai de remontée capillaire

Les échantillons	Brut(g)	La chaux(g)	Ciment(g)	La chaux + ciment
0	359	361	356	350
5	359	368	366	367
10	360	370	368	372
20	360	373	372	377
40	362	376	376	383
60	362	379	381	388

90	394	382	385	392
120	365	385	389	396
180	366	388	393	400
240	369	392	398	404

IV.9 fabrication des adobes selon la norme française XP-P13-901 :

Les adobes sont fabriqués dans des moules de bois séchés au soleil à même le sol après démoulage. Leur procédé de mise en forme nécessite une préparation à l'état plastique donc une teneur en eau de fabrication (W_m) élevée. Cependant, cette préparation doit avoir une consistance suffisante pour ne pas couler sous son propre poids.

A notre connaissance, il n'existe pas dans la littérature de méthodes de détermination de cette teneur en eau mais, en général, les adobes sont réalisés sur les chantiers à des teneurs en eau voisines de la limite de plasticité. Pour la confection de nos adobes, la terre de Tousnina est gâchée à des teneurs en eau différentes. Nous l'avons baissée pour les autres échantillons. Cette terre est malaxée jusqu'à l'obtention d'un Mélange homogène à la vue. Ensuite, ce mélange eau-terre homogène est coulé à même le sol dans un moule en bois de dimension 295x14x95 mm. Avec les mains, Ce mélange est tassé ou pétri dans les coins et le surplus est enlevé avec une règlette en bois.

Enfin, les adobes sont séchés à la température de laboratoire jusqu'à masse constante (Environ 3 semaines).



Figure IV.17 : Le moule d'adobe 295x14x95 mm



Figure IV.18 : les fibre



Figure IV.19: Mode opératoire de fabrication des adobes

IV.10 les essais de durabilité :

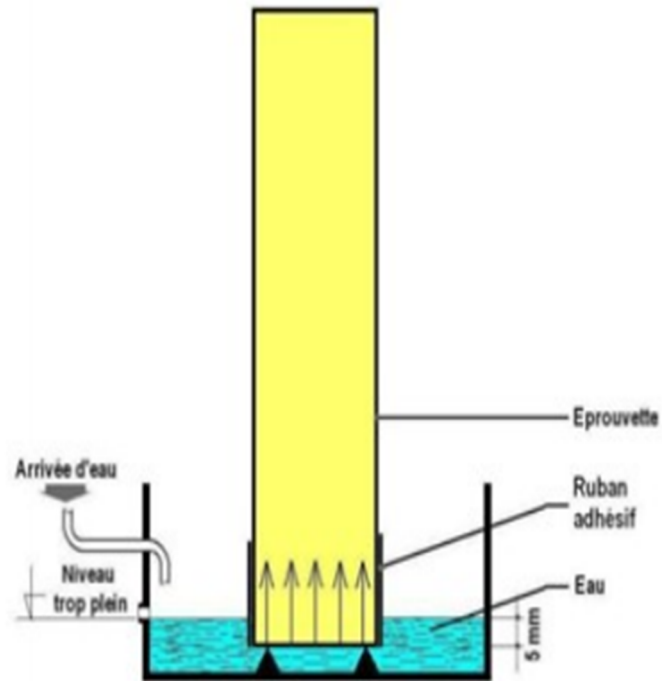


Figure IV.20: Schéma du dispositif de l'essai d'absorption



Figure IV.21: mode opératoire de l'essai remontée capillaire

Tableau IV .11 : des résultats de l'essai de remontée capillaire

Les échantillons	Brut(g)	Fibres (g)
0min	5016	5266
5 min	5001	5241
10 min	4986	5225
20 min	4989	5241
40 min	4990	5245
60 min	5002	5259
90 min	5037	5250
120 min	4959	5199
180 min	4974	5195
240 min	4972	5206

IV.11 L'essai d'abrasion selon la norme ASTM-D4977 :

Basé sur l'essai : ASTM - D4977, Méthode d'essai standard de frottement par abrasion, des grains des surfaces des toitures minérales.

Cette partie est consacrée à l'observation du comportement des briques échantillonnes face à un essai de vieillissement accéléré. Pour ce faire, ces échantillons ont subi des contraintes de frottement par une brosse métallique lestée d'un fardeau.

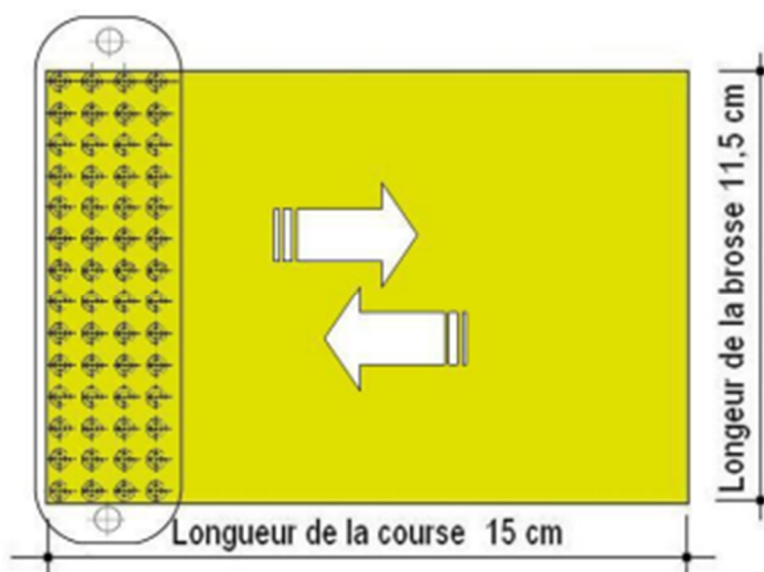


Figure IV 22 : Surface broyée

A la fin de cet essai, des mesures de poids seront effectuées pour apporter les éventuelles observât L'appareil de l'essai, est conçu pour réaliser le test en assurant horizontalement, et en mouvement rectiligne, 50 cycles en aller et retour sur l'échantillon.



Figure IV .23: Résistance à l'abrasion (Dispositif de l'essai)

La brosse utilisée est procurée à partir d'un magasin de quincaillerie, elle a 140mm de long et 30mm de large, la hauteur des poils varie de 22 à 23 mm

Ce sont les dimensions de la brosse et les dimensions des fers plats, utilisés comme masses qui ont engendré celles du bac porte-poids.

La brosse comporte 56 trous (4 files de 14) contenant chacun 24 poils raids réalisés à partir de fil d'acier traité, le diamètre du poil est de l'ordre de 0.35 mm

– Préparation du Dispositif.

Avant de lancer l'opération, une procédure de dispositions a été effectuée pour faire achever dans des bonnes conditions les tests, il s'agit notamment de :

– Faire coulisser le bac porte-poids à l'état vide vers le haut afin libérer l'espace pour la mise en place de la brique échantillon.

– Introduire la brique dans le plateau coulissant en la posant sur sa grande surface de 295x140 mm

– Immobiliser la brique sur le plateau par la vis de serrage prévue à cet effet, des calles parallépipédiques en bois seront nécessaires.

-faire coulisser le bac porte-poids à l'état vide vers le bas jusqu'au contact de la brosse avec la brique.

– S'assurer que tous les poils de la brosse ont presque la même longueur et que le plan formé par les extrémités des poils est bien parallèle à celui de la brique.

- Introduire dans le bac porte-poids la masse constituée par les pièces de fer plat pour lester la brosse de son poids de 3kg. S'assurer du chevauchement de la surface frottée par la brosse par rapport à la surface de la brique.
- Commencer les 50 cycles d' «aller et retour» en couissant le plateau par sa pognée. - Vérifier après chaque essai l'état des composants du dispositif.
- En utilisant un pinceau plat à poils souples, enlever les grains dégagés de l'échantillon avec des légers petits coups.
- Peser avant l'essai, l'échantillon à 0,01 g près et enregistrer sur un papier la masse initiale.
- Nettoyer le plateau coulissant de tout résidu et fixer l'échantillon dans ce dernier avec la face choisie pour être testée de la surface enduite vers le haut. (Contrôler visuellement et s'assurer du chevauchement de la surface frottée par la brosse par rapport à la surface de la brique.
- Placez la brosse en contact avec l'échantillon.

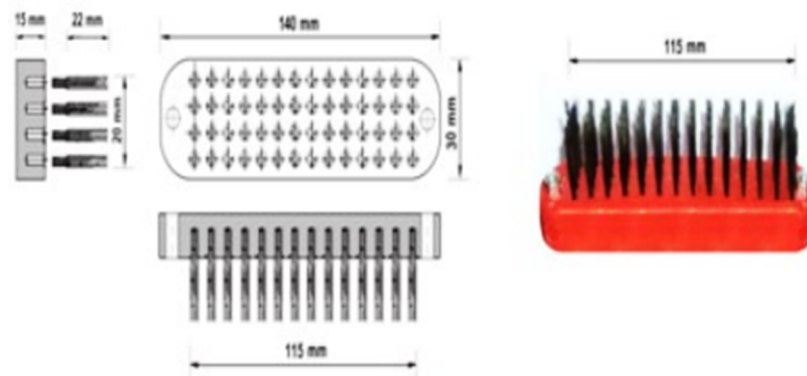


Figure IV.24: Brosse utilisée pour l'essai



Figure IV .25: mode opératoire de l'essai

IV.11.1 Les résultats :

Tableau IV .12: de résultats de l'essai d'abrasion

Echantillons	P :Poids de l'échantillon avant l'essai (g)	P' :Poids de l'échantillon après l'essai (g)	$\Delta p = p - p'$ (g)
Brut	5396	5092	304
98%sol+2% fibres	5005	4827	178

Evaluation :

- A $\Delta P/S \leq 0.003$ =====>Excellent
 B $0.004 \leq \Delta P/S \leq 0.028$ =====>Bon
 C $0.028 \leq \Delta P/S \leq 0.051$ =====>Acceptable
 D $\Delta P/S \geq 0.051$ =====>Médiocre

IV.12 Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les caractéristiques des différentes matières premières qui entrent dans la composition des blocs de terre comprimée. Il s'agit de la terre et

de stabilisants : le ciment, la chaux et les fibres. Les fibres utilisées dans cette étude sont d'origine synthétique (fibres de polypropylène).

Les données présentées dans ce chapitre sont issues de la bibliographie ou des essais de caractérisation menés lors de notre étude.

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

Chapitre V

Présentation et discussion des résultats

V.1 Introduction

Dans ce chapitre, après avoir réalisé toutes les formulations nécessaires de tous les échantillons bruts et traités par la chaux, ciment et la combinaison de ces derniers. Les résultats de ces échantillons ont été présentés et interprétés les différents essais.

V.2 Présenté le résultat

V.2.1 Résistance à la compression

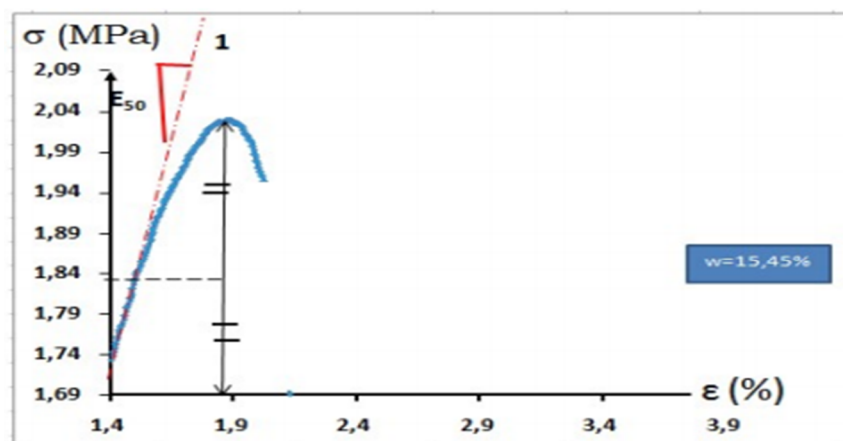
V.2.1.1 les résistances mécaniques des sols bruts

Le tableau V112 montre les résultats des sols bruts qui ont été effectuée par les deux binômes Ben Cherif Asma, Benhamadi Asmaa (2019).

Tableau V 1 : Résistance à la compression simple et le module d'élasticité

ECH	$\sigma_{\max}/2$	σ_{\max} (MPa)	$\epsilon_{50}(\%)$	E50(MPA)
1	1.0115	2.023	1.9	53.24
2	0.0369	0.06138	0.343	8.95
3	1.10765	2.2153	2.509	44.15

La résistance à la compression simple (RC) correspond à la contrainte à la rupture. A partir de la courbe contrainte-déformation obtenue, deux paramètres peuvent être déduits : la résistance (RC), le module sécant moyen E50. Ce dernier est défini pour un niveau de déformation ϵ_{50} correspondant à 50% de valeur de la résistance maximale [Taïbi et al., 2009], (figure V.1).



ECH(3)

Figure V.1: Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement

Selon les résultats de la résistance à la compression RC obtenue par les étudiantes (Ben Cherif Asma, Benhamadi Asmaa (2019). la valeur à l'ordre de 2MPa. A cet effet, notre matériau traité a été comparé par ces valeurs.

V 2.1.2. les résistances mécaniques à 3 j des BTC

Les résultats de l'essai de compression simple sont représentés dans les figures (figure V.2) et dans les tableaux V.2 (1.2.3) par leurs moyennes.

Tableau V.2.1. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX à 3 jours

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	1.08	0.54	6.98	0.64
2	1.60	0.80	7.20	0.11

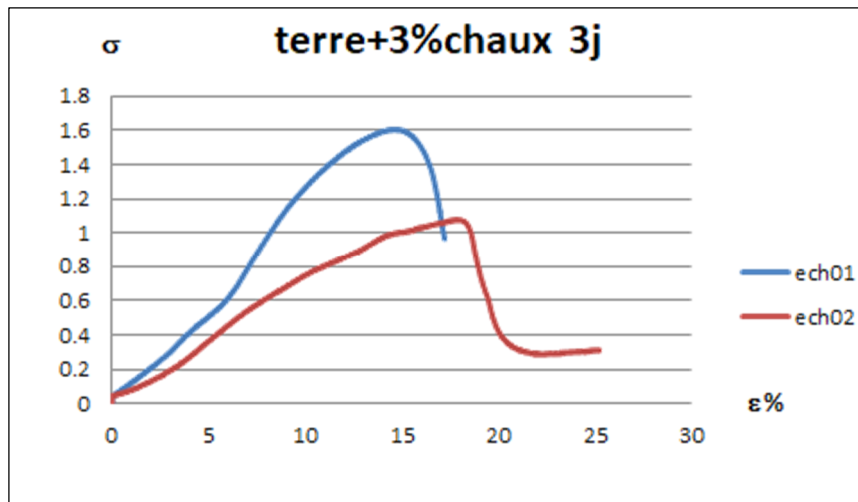


Tableau V.2.2. Résistance à la compression TERRE+6% CIMENT à 3 jours

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	2.62	1.31	7.73	1.69
2	2.90	1.45	8.15	0.17

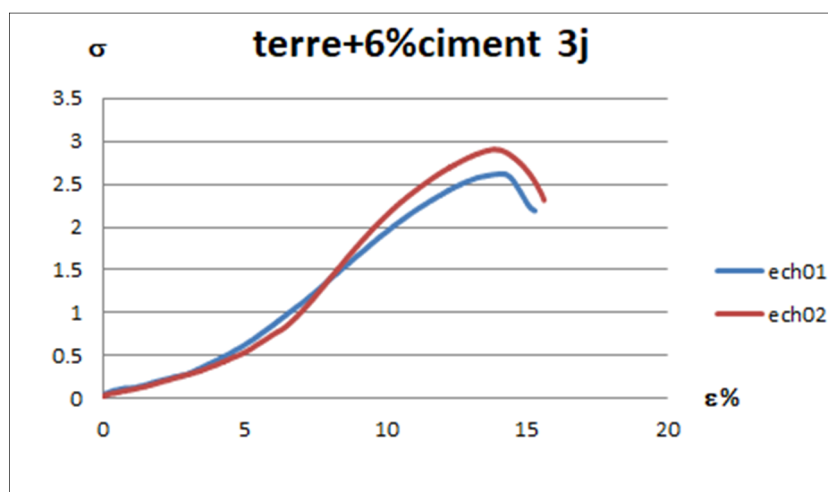
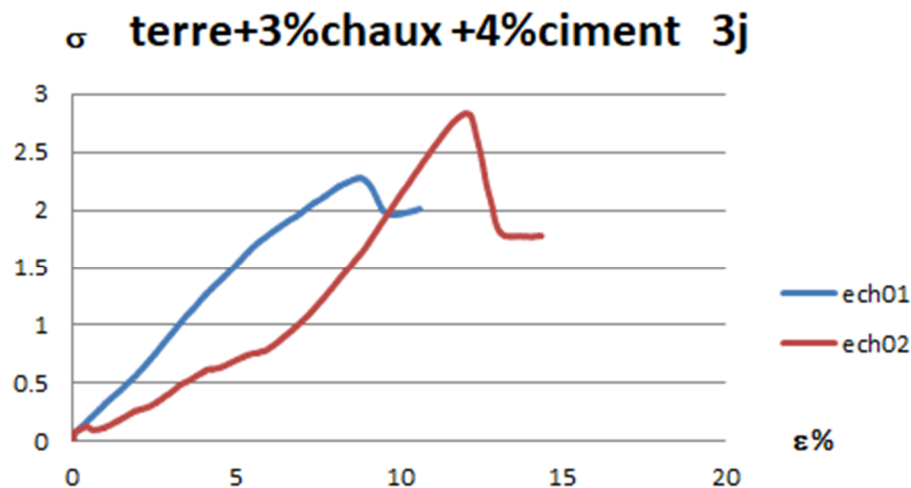


Tableau V.2.3. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX+4%CEMENT à 3 jours

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	2.72	1.36	8.64	1.57
2	2.83	1.41	8.20	0.17

**Figure V.2:** Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement

V.2.1.3.L'effet de la résistance à la compression à 3j de BTC

Les (figures V.2) présente les résultats des mesures de la résistance à la compression simple réalisée sur des éprouvettes de 3ch et 6 ciment et 3ch+4ciment compactées dans les conditions de l'optimum Proctor modifié plus 25 coups (MPO+25coups). Après compactage, les échantillons sont conservés durant 3j enrobés dans un film plastique étanche afin d'homogénéiser leurs teneurs en eau. Celles-ci correspondant aux teneurs en eaux optimums de compactage. L'écrasement a donc été effectué après 3j.

Concernant les échantillons compactés à MPO+25coups, le chemin de chargement présente au voisinage de l'origine une rigidité très faible caractéristique du comportement des milieux poreux et qui peut être liés à la fermeture de micro-fissures et au resserrement des particules. Ensuite la contrainte varie linéairement avec la déformation jusqu'à une valeur de l'ordre de 5%. Au-delà de cette valeur de déformation, le matériau présente un comportement élasto-plastique ductile présentant un pic de résistance pour une déformation entre (7 à 17% puis une chute de résistance qui ne se stabilise pas.

Concernant les échantillons compactés à MPO+25, la valeur moyenne maximale de la résistance à la compression (RC) est entre 1.1 et 3 MPA, valeur vérifiant la norme [Norme-NF-XP-P13-901, 2001] et proche de celles trouvées par [Bui, 2008] (1.74 à 2.22 MPA sur des éprouvettes cylindriques) et [P'kla, 2002] (1.8 MPA pour les BTC).

V.2.1.4 les résistances mécaniques à 7 j des BTC

Les résultats de l'essai de compression simple sont représentés dans les (figure V.3) et dans les tableaux V.3 (1.2.3) par leurs moyennes.

Tableau V 3.1. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX à 7 jours

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	1.67	0.83	8.33	0.99
2	2.47	1.23	5.25	0.23

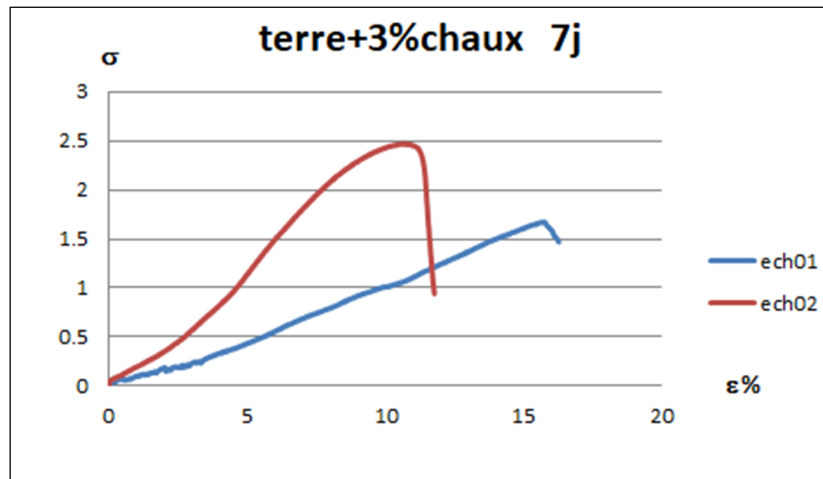


Tableau V 3.2. Résistance à la compression TERRE+6%CEMENT à 7 jours

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	4.23	2.11	6.12	3.44
2	3.88	1.94	6.48	2.99

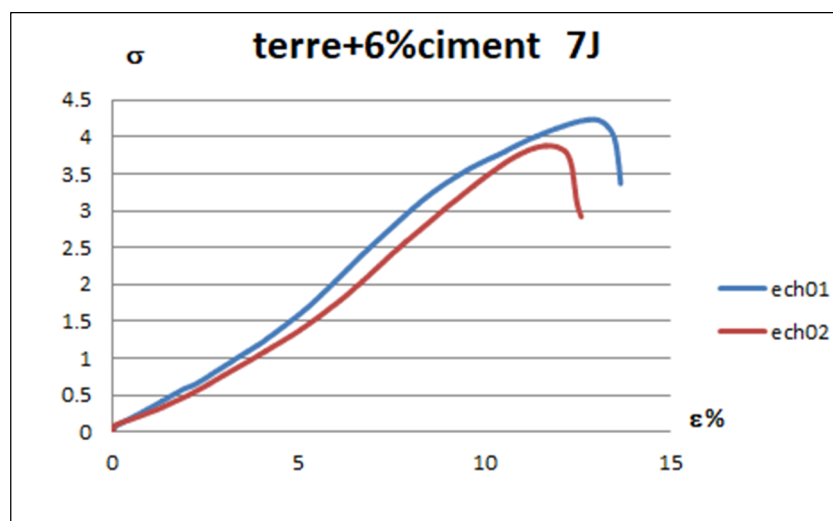
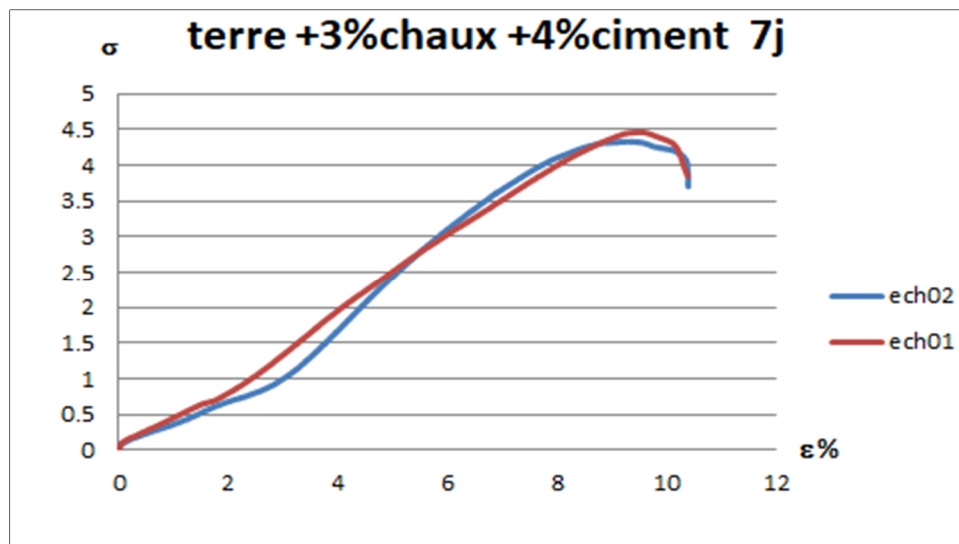


Tableau V 3.3. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX+4%CEMENT à 7 jour

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	4.46	2.23	4.49	0.49
2	4.33	2.16	4.62	0.46

**Figure V.3:** Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement

V.2.1.5 L'effet de la résistance à la compression à 7j de BTC

Les (figures V.3) présente les résultats des mesures de la résistance à la compression simple réalisée sur des éprouvettes de 3ch et 6 ciment et 3ch+4ciment compactées dans les conditions de l'optimum Proctor modifié plus 25 coups (MPO+25coups). Après compactage, les échantillons sont conservés durant 7j enrobés dans un film plastique étanche afin d'homogénéiser leurs teneurs en eau. Celles-ci correspondant aux teneurs en eaux optimums de compactage. L'écrasement a donc été effectué après 7j.

Concernant les échantillons compactés à MPO+25coups, le chemin de chargement présente au voisinage de l'origine une rigidité très faible caractéristique du comportement des milieux poreux et qui peut être liés à la fermeture de micro-fissures et au resserrement des particules. Ensuite la contrainte varie linéairement avec la déformation jusqu'à une valeur de l'ordre de 4%. Au-delà de cette valeur de déformation, le matériau présente un comportement élasto-plastique ductile présentant un pic de résistance pour une déformation entre (10 à 15% puis une chute de résistance qui ne se stabilise pas.

Concernant les échantillons compactés à MPO+25, la valeur moyenne maximale de la résistance à la compression (RC) est entre 1.6 et 4.5 MPA, valeur vérifiant la norme [Norme-

NF-XP-P13-901, 2001] et proche de celles trouvées par [Bui, 2008] (1.74 à 2.22 MPA sur des éprouvettes cylindriques) et [P'kla, 2002] (1.8 MPA pour les BTC).

V 2.1.6. les résistances mécaniques à 14 j des BTC

Les résultats de l'essai de compression simple sont représentés dans les figures (figure V.4) et dans les tableaux V.4 (1.2.3) par leurs moyennes.

Tableau V4.1. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX à 14 jours en fonction du teneur

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	2.09	1.04	6.63	
2	2.31	1.15	6.63	

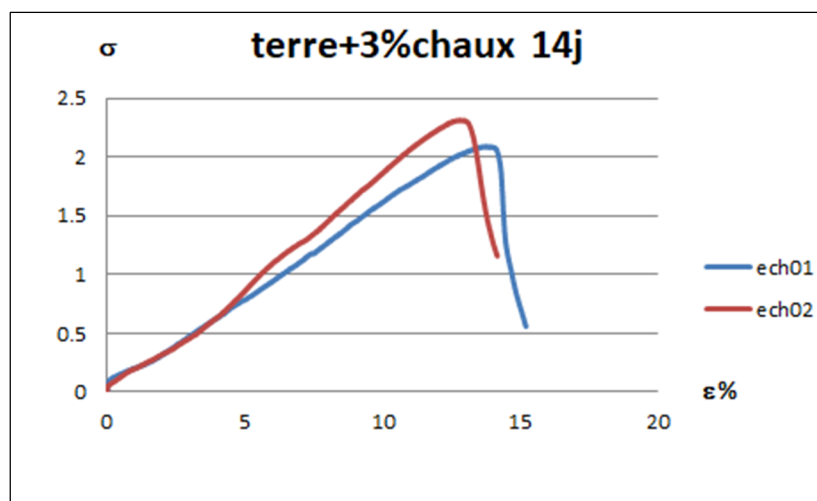


Tableau V4.2. Résistance à la compression TERRE+6%CEMENT à 14 jours en fonction du teneur

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	4.65	2.32	6.50	0.35
2	4.70	2.35	8.28	0.28

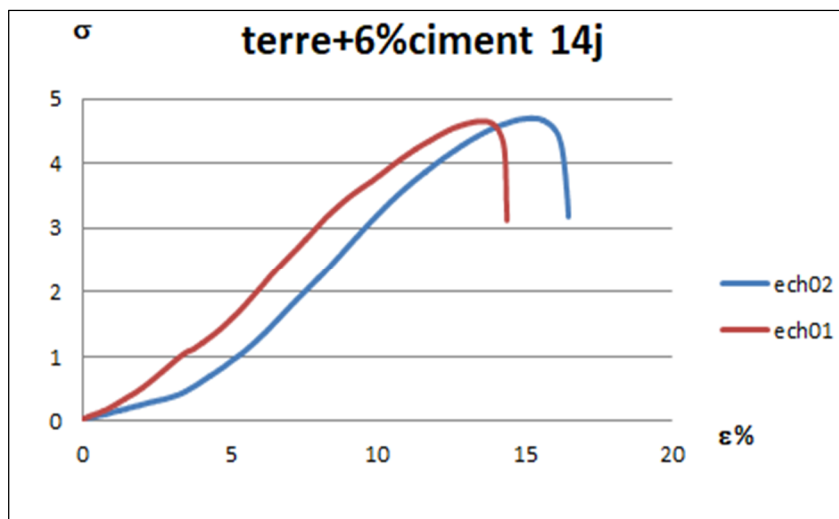


Tableau V4.3. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX+4%CIMENT
à 14 jours en fonction du teneur

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	5.77	2.88	10.67	0.26
2	2.88	1.44	7.59	0.18

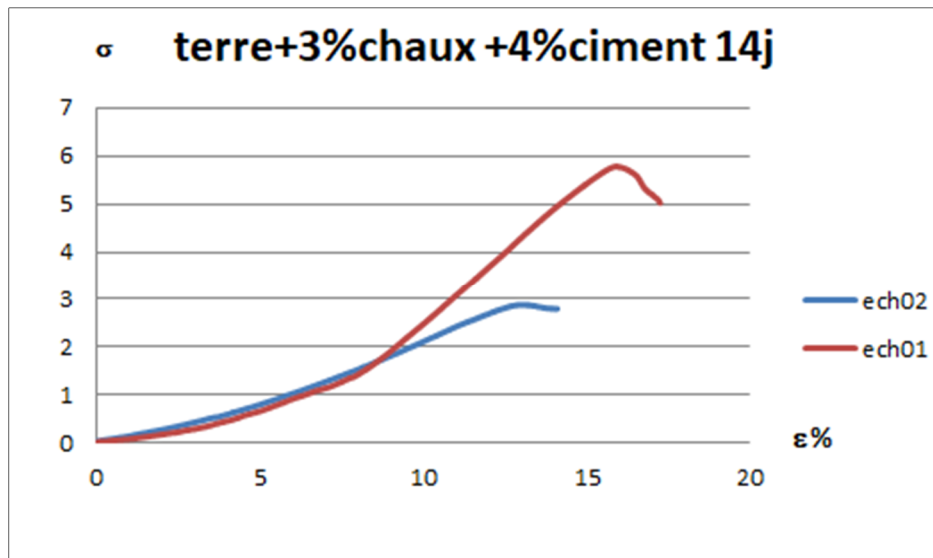


Figure V.4: Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement

V.2.1.7.L'effet de la résistance à la compression à 14j de BTC

Les (figures V.4) présente les résultats des mesures de la résistance à la compression simple réalisée sur des éprouvettes de 3ch et 6 ciment et 3ch+4ciment compactées dans les conditions de l'optimum Proctor modifié plus 25 coups (MPO+25coups). Après compactage, les échantillons sont conservés durant 14j enrobés dans un film plastique étanche afin d'homogénéiser leurs teneurs en eau. Celles-ci correspondant aux teneurs en eaux optimums de compactage. L'écrasement a donc été effectué après 14 j.

La contrainte varie linéairement avec la déformation jusqu'à une valeur de l'ordre de 5%. Au-delà de cette valeur de déformation, le matériau présente un comportement élasto-plastique ductile présentant un pic de résistance pour une déformation entre (12 à 16% puis une chute de résistance qui ne se stabilise pas.

Concernant les échantillons compactés à MPO+25, la valeur moyenne maximale de la résistance à la compression (RC) est entre 2.9et 5.5 MPA, valeur vérifiant la norme [Norme-NF-XP-P13-901, 2001].

V 2.1.8 les résistances mécaniques à 21 j des BTC

Les résultats de l'essai de compression simple sont représentés dans les figures (figure V.5) et dans les tableaux V.5(1.2.3) par leurs moyennes.

Tableau V 5.1. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX à 21 jours en fonction du teneur

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	2.90	1.45	6.85	0.21
2	4.19	2.09	8.39	0.24

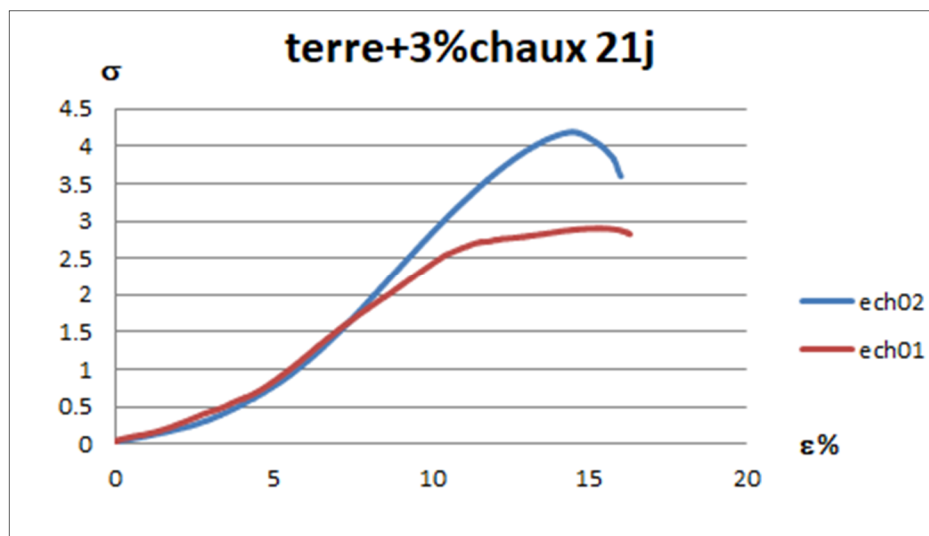


Tableau V5.2. Résistance à la compression TERRE+6%CEMENT à 21 jours en fonction du teneur

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	4.53	2.26	8.14	0.27
2	7.81	3.90	9.00	0.43

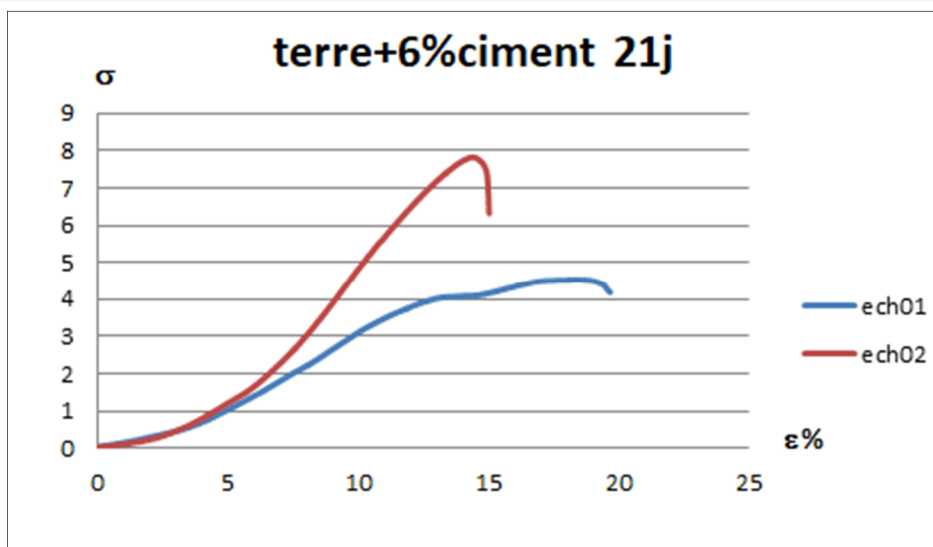
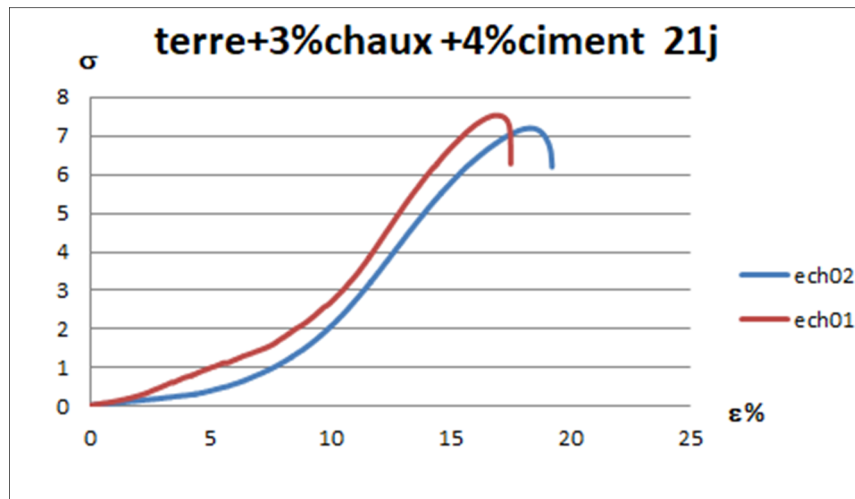


Tableau V5.3. Résistance à la compression TERRE+3%CH+4%CIM à 21 jours en fonction du teneur

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	7.50	3.76	11.48	0.32
2	7.19	3.59	12.13	0.29

**Figure V.5:** Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement

V.2.1.9 L'effet de la résistance à la compression à 21j de BTC

Les (figures V.5) présente les résultats des mesures de la résistance à la compression simple réalisée sur des éprouvettes de 3ch et 6 ciment et 3ch+4ciment compactées dans les conditions de l'optimum Proctor modifié plus 25 coups (MPO+25coups). Après compactage, les échantillons sont conservés durant 21j enrobés dans un film plastique étanche afin d'homogénéiser leurs teneurs en eau. Celles-ci correspondant aux teneurs en eaux optimums de compactage. L'écrasement a donc été effectué après 21 j.

la contrainte varie linéairement avec la déformation jusqu'à une valeur de l'ordre de 5%. Au-delà de cette valeur de déformation, le matériau présente un comportement élasto-plastique ductile présentant un pic de résistance pour une déformation entre (14 à 18% puis une chute de résistance qui ne se stabilise pas.

Concernant les échantillons compactés à MPO+25, la valeur moyenne maximale de la résistance à la compression (RC) est entre 3.9et 7.9 MPA, valeur vérifiant la norme [Norme-NF-XP-P13-901, 2001].

V.2.1.10 les résistances mécaniques à 28 j des BTC

Les résultats de l'essai de compression simple sont représentés dans les figures (figure V.6) et dans les tableaux V.6 (1.2.3) par leurs moyennes.

Tableau V 6.1. Résistance à la compression TERRE+3%CHAUX à 28 jours en fonction du teneur

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	4.03	2.01	1.02	1.97
2	2.72	1.36	9.24	0.14

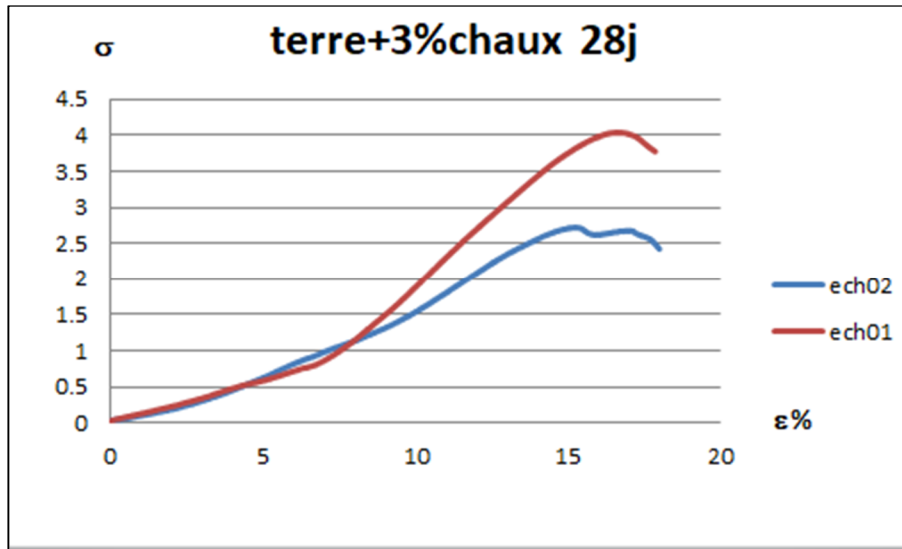


Tableau V 6.2. Résistance à la compression TERRE+6%CEMENT à 28 jours en fonction du teneur

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	5.01	2.50	9.21	0.27
2	7.82	3.91	14.39	0.22

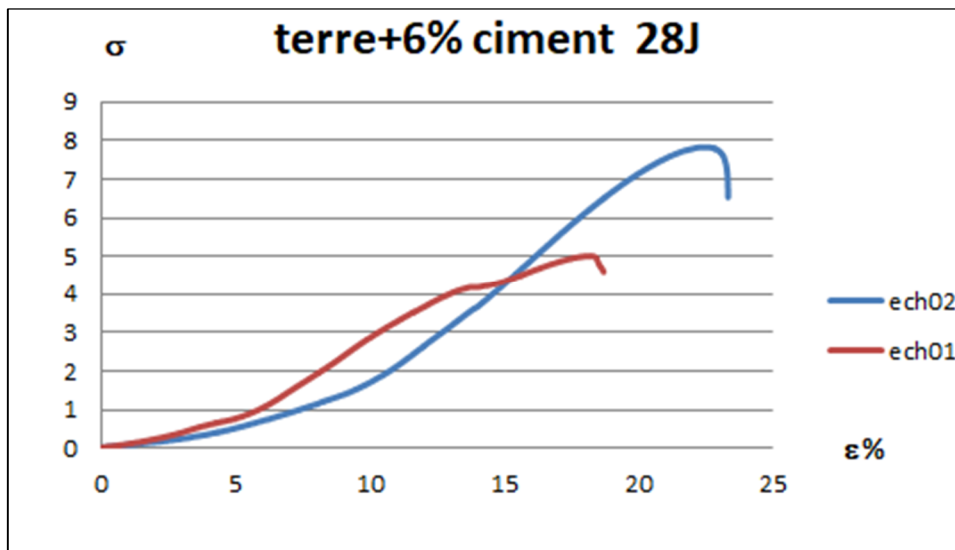
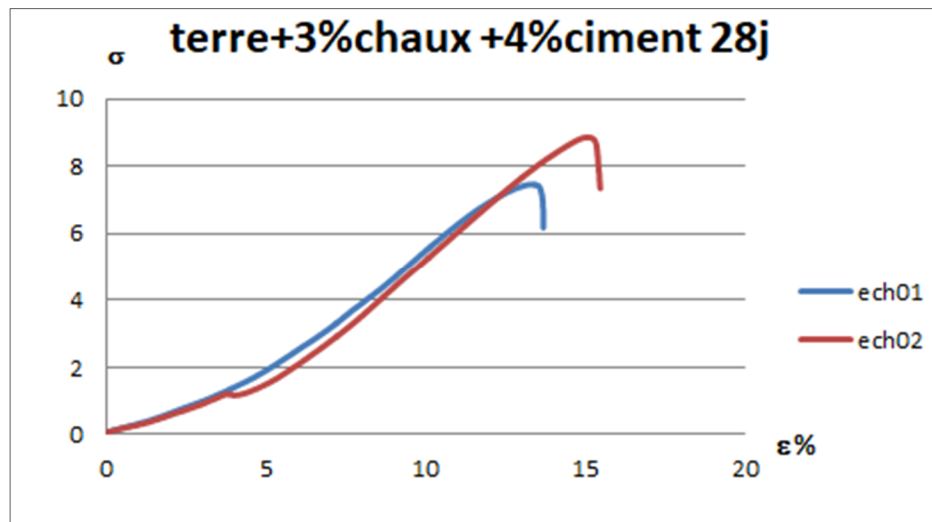


Tableau V6.3. Résistance à la compression TERRE+3%CH+4%CIM à 28 jours en fonction du teneur

ECH	σ max(MPA)	σ max/2	ϵ 50%	E50(MPA)
1	7.45	3.72	7.74	0.48
2	8.86	4.43	8.91	0.49

**Figure V.6:** Evolution de la résistance RC en fonction de déplacement

V.2.1.11 L'effet de la résistance à la compression à 28j de BTC

Les (figures V.6) présente les résultats des mesures de la résistance à la compression simple réalisée sur des éprouvettes de 3ch et 6 ciment et 3ch+4ciment compactées dans les conditions de l'optimum Proctor modifié plus 25 coups (MPO+25coups). Après compactage, les échantillons sont conservés durant 28j enrobés dans un film plastique étanche afin d'homogénéiser leurs teneurs en eau. Celles-ci correspondant aux teneurs en eaux optimums de compactage. L'écrasement a donc été effectué après 28j.

la contrainte varie linéairement avec la déformation jusqu'à une valeur de l'ordre de 5%. Au-delà de cette valeur de déformation, le matériau présente un comportement élasto-plastique ductile présentant un pic de résistance pour une déformation entre (13 à 23% puis une chute de résistance qui ne se stabilise pas.

Concernant les échantillons compactés à MPO+25, la valeur moyenne maximale de la résistance à la compression (RC) est entre 2.6et 8.3 MPA, valeur vérifiant la norme [Norme-NF-XP-P13-901, 2001].

V.3 l'essai l'ultrason

Après avoir franchi une longueur de parcours (L) dans l'éprouvette, l'impulsion de vibration est convertie en un signal électronique à l'aide d'un récepteur et la base de temps électronique permet de mesurer le temps de propagation des ondes Ultrasonores (T).

V.4 essais de durabilité

La Majorité des constructions en terre qui ont vécu longue temps, sont principalement localisées dans des zones de faible précipitation annuelle (zones arides), qui sont protégées par un large avant toit, ou par couvert de revêtement protecteurs. La résistance La Majorité des constructions en terre qui ont vécu longue temps, sont principalement localisées dans des zones de faible précipitation annuelle (zones arides), qui sont protégées par un large avant toit, ou par couvert de revêtement protecteurs. La résistance

V.4.1 L'action de capillarité de l'absorption

Les matériaux en terre peuvent absorber la vapeur de l'humidité relative ambiante et la relâcher (désorber) dans des milieux secs, avec des changements typiques du poids d'environ 3-4%, [Bruno et al, 2015]. Ils sont aussi exposés à des variations de pression, de température. Par ailleurs, le matériau de terre a la possibilité de transfert de l'eau en état liquide (absorption) du sol vers le mur en contact avec le terrain. Ces remontées capillaires se produisent en cas de fondations et de soubassements constitués de matériaux à porosité fine et ouverte. **Que se passe-t-il lorsqu'on met au contact de l'eau un matériau comme la terre crue, connue pour être très sensible à l'eau ?**

[Couvreur, 2014] a présenté dans ses travaux l'expérience de la remontée capillaire pour les blocs de pisé qui a été réalisée par Maxime Nicolas et Blanche Dalloz 2014, L'action de capillarité des pores provoque l'absorption rapide de toute l'eau libre qui se trouve en contact avec les blocs en terre. L'eau monte progressivement dans le bloc, le niveau de l'eau n'est plus qu'à quelques centimètres du haut du bloc, (figures 3.9)

Cette expérience s'apparente en réalité à un test d'absorption d'eau tel qu'on le pratique pour déterminer la capacité d'absorption capillaire des matériaux. Plusieurs chercheurs montrent que la quantité d'eau absorbée par la terre au bout de 5 minutes varie entre 0,15 et 0,74%, contre 0,77 à 1,29% pour la brique cuite et 0,31% pour le béton, [Couvreur, 2014].



FIGURE V-7 – Placé au contact d'un tissu humide, ce bloc de pisé se charge d'eau. Au bout de 24h, [Couvreur, 2014].

V.5 Conclusion :

L'analyse et l'interprétation des résultats obtenus après avoir réalisé les essais pour la détermination des propriétés mécanique et thermique des briques confectionnées nous a permis d'en tirer comme conclusion .

Conclusion générale

Conclusion générale

L'histoire de la construction des habitations avec la terre crue remonte de très loin. Les ouvrages construits en terre dans les différents pays en témoignent. L'utilisation de la terre comme matériau de construction est rendue possible à cause de ses avantages économiques et de son faible impact environnemental. Ce matériau terre, disponible dans la plupart des pays et facile à exploiter, a été abandonné à cause de son défaut de résistance mécanique et à l'eau de pluie, au profit des matériaux industriels (ciment, chaux, acier). Pour lutter contre le réchauffement climatique, des dispositions sont prises pour limiter la pollution environnementale et donc le matériau terre fait son retour dans la construction.

A travers le patrimoine mondial de construction en terre, on dénombre plusieurs techniques d'utilisation de terre pour la construction : l'adobe, le pisé, le torchis, la terre-paille, la bauge, la terre façonnée, la terre extrudée, la terre comprimée.....etc.

Par rapport à l'histoire de la construction en terre, la technique du bloc de terre comprimée (BTC) est une technique récente, qui est une évolution moderne du bloc de terre moulée, plus communément dénommé bloc d'adobe. Comparé à l'adobe, le BTC est très régulier en formes et en dimensions, plus dense et présente une meilleure résistance à la compression et à l'eau.

Le principal but de cette étude est d'améliorer la durabilité de briques de terre crue stabilisé par l'emploi d'une nouvelle procédure de compactage à pression élevée maintenue dans des conditions de cure bien déterminés.

Pour améliorer les caractéristiques mécaniques, thermiques et la durabilité, les professionnels ont utilisé des liants minéraux (ciment, chaux), des fibres synthétiques et des contraintes de compactages plus importantes. L'ajout de sable est recommandé dans le matériau argileux trop plastique pour corriger sa plasticité, ou des ajouts d'éléments fins dans les éléments grossiers pour augmenter sa compacité.

Pour l'ajout de fibres, les résultats ne sont pas unanimes. Dans certains cas, elles ont apporté une bonne résistance en traction et une stabilité par rapport au retrait du matériau. Dans d'autres cas, elles contribuent plus tôt à la chute des résistances mécaniques.

Pour atteindre notre but, l'étude est scindée en cinq chapitres :

Le premier chapitre est réservé à une synthèse bibliographique, à travers laquelle nous avons réalisé, un état de l'art approfondi sur l'utilisation technique de construction en se focalisant sur bloc de terre comprimée.

Le deuxième chapitre est réservé à les moyens de stabilisation, en se focalisant sur son renforcement par les fibres d'une manière générale, notamment les fibres synthétique, . Le

Conclusion générale

chapitre 2 décrit aussi sur les mécanismes de la stabilisation sol-ciment, sol-chaux, et sol-ciment-chaux.

Il a été également discuté en chapitre 2 la caractérisation et le choix du sol pour la production du BTC. La littérature a montré que le choix du sol exige la connaissance de quatre propriétés fondamentales de la terre, qui sont:

La texture ou granularité, la plasticité, la compressibilité et la cohésion.

Pour la stabilisation des BTC, plusieurs travaux ont confirmé que l'emploi des liants minéraux (ciment et chaux) comme stabilisants améliore la résistance mécanique et l'insensibilité à l'eau des BTC. Mais la stabilisation des BTC par des fibres et en particulier les fibres synthétique n'a pas eu le consensus de tous les chercheurs. Alors que des auteurs ont constaté que l'addition des fibres naturelles réduit la taille des fissures causées par le retrait et améliore la durabilité et la résistance à la traction, d'autres auteurs ont montré que l'amélioration des performances du composite est seulement dans certaines limites. Finalement, il y a des chercheurs qui déconseillent l'incorporation des fibres dans le BTC.

Le troisième chapitre est réservé à le matériaux terre crue dans les constructions rurale

Le quatrième et le Cinquième chapitre constituent la partie expérimentale de la thèse.

Le quatrième chapitre a été consacré à la caractérisation des nombreuses matières

Premières utilisées dans ces travaux. Il s'agit:

- Sol.
- Ciment.
- chaux vive.
- Fibres synthétique.

Et est scindée en 4 phases :

■ **La première phase** : Identification du sol et positionnement de ses propriétés par rapport aux normes BTC (granulométrie, plasticité).

■ **La deuxième phase** : traitement et amélioration du sol par des formulations :

- Formulation (1) : 94% sol + 6% ciment,
- Formulation (2) : 97% sol + 3% la chaux
- Formulation (3) : 93% sol + 3% la chaux +6% de ciment

■ **La troisième phase** : Sa résistance en compression

■ **La quatrième phase** : La fabrication des BTC avec des différentes formulations

Enfin, l'étude de la résistance mécanique des BTC et l'étude de durabilité (remontée par capillarité).

Conclusion générale

La Cinquième phase : La fabrication des adobes avec les fibres synthétique et l'étude de durabilité (remontée par capillarité et l'abrasion).

Chapitre englobe l'ensemble des résultats obtenus et les discussions. Dans ce chapitre on a étudié l'effet de la présence le ciment et la chaux, sur les propriétés mécaniques du bloc de terre comprimée, et La fabrication des adobes avec les fibres synthétique

Les résultats obtenus sur ce matériau terre montrent que leurs propriétés en termes de plasticité et résistance sont non concluants (loin de satisfaire les normes) et les recommandations concernant son aptitude à être utilisé comme matière première pour les adobes.

Enfin, nous souhaitons que notre travail contribue d'une façon rationnelle à une plus large diffusion de l'utilisation de BTC dans le domaine de la construction.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1]. Fiche technique Qualiremo ,« La terre crue » , « [www. tkTerreCrue.html](http://www.tkTerreCrue.html). », Avril 2008
- [2].(Anger & Fontaine, 2009 : p. 52).
- [3](Sources :<http://www.antikforever.com/Perse/Parthes%20arsacides/ctesiphon.htm>,
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:El_Lahun_Pyramid_01.JPG,
<http://www.sun-nation.org/merkl-sumeria.html>, <http://www.actulatio.com/2013/12/09/perou-une-tombe-chimu-est-mise-au-jour-dans-le-nord-du-pays/>)
- [4]. (Miraucourt, 2017).
- [5].CRATerre : (Stabilisation du matériau terre crue pour application en brique de terre comprimée au Burkina Faso 2016-2017).
monde (Source : <http://craterre.org/>)
- [6]. (LAYEB Abdelouhab HALBAOUI Ahmed., «Caractérisations physico-mécaniques d'un bloc de terre stabilisé avec la chaux à base des fibres (déchet de pneu usés - Verre)» mémoire magister ,Université de Djelfa, 2016-2017.)
- [7].(Anger & Fontaine, 2009 ; Guillaud & Houben, 1995).
- [8] RHONE A ., « Le pisé » [www .ageden.org](http://www.ageden.org) , Edition Décembre2010./
- [9] Pérou (Sources : socks-studio.com ; WHEAP, 2012 : pp. 58 & 195)
- [10]MAKRI M., « Projet GE12 Construction en terre » Technologie compiéme , 2010)
- [11] (Paulus, 2015).
- [12] (Google)
- [13] (AMEUR Oussama et DICH Zakarya « MATERIAU TERRE : ETUDE DE LA RESISTANCE AU CISAILLEMENT ET RETRAIT » 21 Juin 2017)
- [15]. (Architectures des terre cure /Sophie Bronchart 2013).
- [16].(LIVERT S., «Bâtir un mur en briques de terre compressée », Février2011.)
- [17].(TAALLAH Bachir « ETUDE DU COMPORTEMENT PHYSICO-MECANIQUE DU BLOC DE TERRE COMPRIMÉE AVEC FIBRES » 14/12/2014)
- [18].(Hamdoune Abdelhamid « Contribution à la production des blocs de terre comprimée et renforcée par des fibres » 2018 /2019).
- [19] (Ben Cherif Asma Benhamadi Asmaa « Matériaux terre et développement durable » 07/07/2019)
- [20].Caractéristiques mécaniques et thermiques de l'argile stabilisée par la gomme arabique et renforcée par la paille de riz Ali Abakar 2018.
- [21] (TALEB Kamir1, AKNINESOUIDI Roza 2 L'impact de la politique de l'habitat rural sur le développement de la ressource humaine et des compétences managériales en Algérie 2019)

Références Bibliographies

[15] Taibi, Said, Anne, Duperret a, Jean, Marie, and Fleureau. The effect of suction on the hydro-mechanical behaviour of chalk rocks. *Engineering Geology*, 106 :40–50, 2009.