République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de

la Recherche Scientifique

Universitaire Yahia FARES de Médéa



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'étude

Filière : Génie Civil

Spécialité : matériaux

Étude des propriétés thermomécaniques d'un matériau à Matrice cimentaire renforcée des fibres cellulosique

Présenté par :

BENAMAR Amine
RAHAL Zoubir

Proposé et dirigé par :

M er DEBIEB Farid

M me KALLOU Amel

Année universitaire 2019/2020

Remercîments

Tout d'abord, nous sommes très reconnaissants à notre Dieu
de nous avoir guidés pour une fin réussie de notre travail.
Rien de tout cela n'aurait été possible sans son aide notre Dieu
merci pour l'occasion

Dans le cadre de la réalisation de ce mémoire,
un certain nombre de personnes ont contribué de façon ou d'autre
nous tenons à les reconnaître :
Nous tenons a exprimer nous profonde gratitude
et nos remerciements à notre promotrice M^{ME} KALLOU AMEL ,
prof au département de génie civil pour le sujet qu' il nous a proposé
et nous a dirigé ainsi que pour sa disponibilité
et pour tous les moyens mis a notre disposition pour l'élaboration de ce mémoire.
La plupart de ce projet n'aurait pas été réalisé sans son aide et ses conseils

Nous voudrons adresser nos sincères remerciements
à tous les professeurs du département de génie civil.

Nous tenons aussi à remercier
les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce travail.

Enfin, nous tenons a remercier
nos familles et nos amis pour leurs soutiens et leurs encouragements.

.

Dédicaces

Nous dédions cette modeste travail

À nos parents

À nos frères et sœurs

Pour toute notre famille

A tous ceux qui nous ont aimés

Résume

La présente étude porte sur l'analyse des propriétés mécaniques et physiques des mortiers de ciment à base de fibres cellulosiques serment de vignes. Les fibres cellulosiques ont été incorporées dans un mortier de ciment portland CPJ 45 à différents pourcentages volumiques à savoir 0.5, 1, 1.5, 2 et 3 % et ce, pour mettre en évidence la fraction de fibre optimale qui donnera au mortier.

Les caractéristiques mécaniques. Des essais de compression, de flexion, ont été réalisés sur des éprouvettes de mortier de 4x 4 x 16 cm à 28 et à90 jours.

MOT CLES

Fibre cellulosique de serment de vigne –Résistance à la Compression - Résistance à la Traction par flexion- Conductivité thermique

Abstract

The present study concerns the analysis of the mechanical and physical properties of cement mortars made from cellulose fibers oath of vines the cellulose fibers have been incorporated into a CPJ 45 Portland cement mortar at different volume percentages namely 0.5, 1, 1.5, 2 and 3%, to demonstrate the optimum fiber fraction that will give the mortar.

The mechanical characteristics. Compressive and flexural tests were carried out on mortar specimens measuring 4x 4 x 16 cm at 28 and at 90 days.

Key words

Vine oath cellulose fiber – Compressive strength - Flexural tensile strength - Thermal conductivity

ملخص

تركز هذه الدراسة على تحليل الخواص الميكانيكية والفيزيائية للملاط الأسمنتي المصنوع من ألياف السليلوز في قسم الكروم تم دمج الألياف السليلوزية في ملاط أسمنت بورتلاند بنسب حجم مختلفة ، أي 0.5 ، 1 ، 1.5 ، 2 و 3٪ ، من أجل إظهار جزء الألياف الأمثل الذي سيعطي الملاط.

أجريت اختبارات الخصائص الميكانيكية الانضغاط والانحناء على عينات مونه اسمنت 4x4 x 16 cm في 28 و 90 يومًا

الكلمات الدالة

ألياف السليلوز – قوة الضغط – قوة الشد – الناقلية الحرارية

Table des matières

Résumé
Remerciements & Dédicace
Table des matières
Liste des figures
Liste des tableaux

Introduction General

CHAPITRE I

Synthèse bibliographique

Introduction……..05
I.1. Histoire de la construction en terre……05
I.2. La construction en terre en Algérie et dans le monde……..06
I.2.1. La construction de terre dans le monde…….06
I.2.2. La construction en terre dans l'Algérie……...07
I.3. Avantage de la construction en terre…….07
I.3.1. Matériau gratuit et disponible…….07
I.3.2. Matériau recyclable…….08
I.3.3. Matériau sain et écologique……..08
I.3.4. Matériau avec une très bonne inertie thermique……09
I.3.5. Matériau avec une bonne régulation hygrométrique…….09
I.3.6. Matériau avec un aspect esthétique incomparable ……..10
I.3.7. Matériau avec des techniques de construction simples ……..10
I.4. Les inconvénients de la construction en terre ……10
I.5. Brique de terre cuite ……11

I.5.1 Les propriétés et caractéristiques de brique de terre……..12
I.5.2 La composition des briques en terre……...13
I.5.3 Les usages de la brique en terre cuite……14
I.5.4 Les modèles de briques en terre cuite……14
I.5.5 Les avantages des briques en terre cuite……..15
I.5.6 Les inconvénient des briques en terre cuite……..15
I.6. Construction en terre crue……15
I.6.1 Le pisé……16
I.6.2 Adobes ……..17
I.6.3 Les blocs de terre comprimée (BTC)……17
I.6.4 Construction en paille ……..17
I.6.5 Bauge ……18
I.6.6 Les procédés techniques……19
I.7. La terre……20
I.7.1 Définition……20
I.7.2 Différents types de terre……...21
I.7.3 Propriétés de la terre……21
I.8. Stabilisation de la terre ……..24
I.9. Les stabilisants……..24
I.9.1 Les sables et graviers……..24
I.9.2 Les fibres……25
I.9.3 Le bitume……26
I.9.4 La résine……26
I.9.5 Le ciment……26
I.9.6 La chaux……27
I.110. Les fibres……..28
I.10.1 Définition de la fibre……28
I.10.2 Différents types de fibres……...28
I.10.3 Fibre métallique……...29
I.10.4 Les Fibres de Carbone……...29
I.10.5 Fibres synthétiques organique……..30
I.10.6 Les fibres naturelles……32

I.11. Les fibres végétales……32
I.11.1 Classification des fibres végétales……33
I.11.2 Caractéristiques Physiques et Mécaniques des fibres Végétales……33
I.11.3 Structure de la fibre végétale ……34
I.11.4 Composition chimique des fibres végétales……35
I.11.5 Organisation de la paroi végétale……..38
I.11.6 Les avantages et inconvénients des fibres……..38
I.12. Les sarments de vigne : sous-produits de la viticulture…….39
I.12.1 Bois des sarments de vigne……40
I.12.2 L'ultra structure du bois des sarments de vigne……..41
I.12.3 La composition chimique des sarments de vigne……42
I.12.4 Stockage des sarments de vigne……43
I.13 Influence des fibres végétales sur les propriétés mécaniques des BTC…….....43
I.13.1 Résistance à la compression …….....44
I.13.2 Résistance à la traction par flexion……44
I.13.3 Résistance au choc……..45
I.13.4 Résistance à l'usure……45
I.13.5 Résistance aux agents extérieurs……..45
I.14. Influence des fibres végétales sur les propriétés thermiques des BTC……46
I.15. Conclusion……46

Chapitre II : Matériaux utilisées et Méthodes Expérimentales

INTRODUCTION……...48
II.1 MATERIAUX UTILISÉES……48
II.1.1 Ciment ……48
II.1.2 Sable:……..50
II.1.2.1 Généralités……50
II.1.2.2 La Masse Volumique Apparente ……..50
II.1.2.3 La Masse Volumique absolue……50
II.1.2.4 Equivalent de sable……51
II.1.2.5 Granulométrie……..53
II.1.2.6 Module de finesse d'un sable (MF)……..54
II.1.3. Sol……59
II.1.3.1 La Teneur En Eau .....……55
II.1.3.2 ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE……55
II.1.3.3 Limite d'Atte berg.....56
II.1.4. L'eau de gâchage…….....57
II.1.5. Le fibre de vigne ..……58
II.1.5.1 Origine.....……58
II.1.5.2 Extraction des fibres……58
II.1.5.3 Traitement chimique de fibre……..……58
II.1.5.4 Traitement la résine des fibres.....59
II.1.5.5 Traitement thermique des fibres.....59
II.1.5.6 Absorption des fibres de vigne 60
II.2. Formulation des BTC……61
II.2.1 Compactage DES BTC.....……61
II.2.2 Optimisation de la teneur en eau.....61

II.2.3 Confection Et Conservation Des Eprouvettes…….....….62
Préparation des éprouvettes.....62
Composition des BTC.....63
Démoulage et conservation des éprouvettes.....64
II.3. Protocole expérimentale.....64
II.3.1 Résistance mécanique à la compression.....64
II.3.2 Essai traction par flexion.....66
II.3.3 Conductivité thermique.....66
II.3.4 Essai de Retrait (NFP 15-433)……..67
II.3.5 Imbibition par capillarite…….....67
II.3.6 Essai de porosité accessible à l'eau…… …….....68
II.4. Variable étudiées.....70
II.5. CONCLUSION.....71

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

I.01 Des vues général de la construction en Terre dans le monde ……**06**
I.02 Une vue général de la construction en Terre de la Ville de Timimoune le sud de l'Algérie ……..**07**
I.03 Gisement d'argile de B .Amer à Ouargla……**11**
I.04 Brique pleine et perforée et Brique……**13**
I.05 Mur en pisé à Béni Yenni……**16**
I.06 Un bloc en BTC……**17**
I.07 la terre-paille……**18**
I.08 Terre mélange aux végétaux……..**18**

I.09 Les procédés de production de la terre……**19**

I.10 Les procédés de production de la terre……**21**

I.11 Organigramme des différents types de fibres naturelles……**32**

I.12 Classification des fibres végétales selon l'origine……...**33**

I.13 Structure du bois (observations multi échelles)…… ……**34**

I.14 Molécule
de la cellulose……..**35**

I.15 Structure de la micro fibrille de cellulose……..**36**

I.16 Structure d'un type de xyloglucane……...**37**

I.17 Organisation de la cellule végétale……..**38**

I.18 Les sarments et charpentes de vigne peuvent.....**40**

I.19 Représentation schématique du bois……...**42**

CHAPITRE II : Méthode des essais

II.1 : Ciment utilisé……....**48**

II.2 : Essai d'équivalent de sable……...**51**

II.3 : Principe de mesure de l'équivalent de sable ……**52**

II.4 : Tamiseuse électrique ……**53**

II.5 : L'analyse granulométrique par tamisage……**54**

II.6 : Le sol utilisé……....**55**

II.7 : Tamiseuse……....**55**

II.8 : L'analyse granulométrique par sédimentométrie……....**56**

II.9 : Limites d'Atte berg.....…….**57**

II.10 : Boite de Casa grande et la plaque de verre……..**57**

II.11 : Préparation de solution…….....**58**

II.12 : traitement a la résine des fibres de tige de vigne……....**59**

II.13 : Traitement thermique l'étuvage ……....**60**

II.14 : malaxage……....**62**

II.15 : Préparation des éprouvettes …….....**63**

II.16 : Conservation des éprouvettes…….....**64**

II.17 : Résistance mécanique à la compression……...**65**

II.18 : Essai de compression simple…….....**65**

II.19 : Essai traction par flexion……....**66**

II.20 : Essai de Conductivité thermique …….....**66**

II.21 : essai de retrait.……....**67**

II.22 : Imbibition par capillarité ……..**.....68**

II.23 : Mesure de la porosité …….....**69**

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

Tableau I.1 : Résistance thermique des Briques creuses.....**12**

Tableau I.2 : Propriétés des briques pleines et perforés.....**12**

Tableau I.3 : Résistance thermique des briques pleines et perforés **13**

Tableau I.4 : Classification des fractions de grains.....**22**

Tableau I.5 : Classification des fibres.....**29**

Tableau.6 : composition des serment de vigne extractibles, cendre, holocellulose et lignine **43**

CHAPITRE II : Méthode des essais

Tableau II.1 : composition chimique et minéralogique de matine……**49**

Tableau II.2 : caractéristique physico-mécanique du ciment NA442……..**49**

Tableau II.3 : nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent ……..……**52**

Tableau II.4 : série de tamis employés pour la détermination du moule de finesse……**54**

Tableau II.5 : Absorbtion d'eau de la tige de vigne……**60**

Tableau II.6 : Composition des BTC à base de fibres de tiges de vigne ……..**63**

INTRODUCTION

GENERAL

Introduction General

La terre, matière première naturelle, est utilisée par l'homme dans la construction depuis des milliers d'années comme en témoignent les sites archéologiques découverts dans de nombreux endroits à travers la planète. La terre , comme d'autres matériaux naturels tels que la pierre et le bois, fait partie des premiers matériaux utilisés par l'homme dans la construction des logements d'habitations. Aujourd'hui on estime que l'habitat d'un tiers de l'humanité est encore en terre.

Malgré le développement technologique qu'a connu l'humanité ces derniers siècles et qui a permis à l'homme moderne de disposer d'une grande variété de matériaux de construction tels que le béton et l'acier, nous assistons aujourd'hui à un retour croissant à la construction en terre dans des pays du tiers monde comme dans les pays industrialisés. Il est à noter que les pays industrialisés ont la chance de profiter du développement des techniques de production très variées, soutenues par des recherches scientifiques. Une des raisons de l'utilisation de la terre en construction est sa disponibilité et sa proximité du site de réalisation de l'habitat. Parmi les avantages de la terre crue, nous pouvons aussi souligner le peu d'énergie que nécessite sa mise en œuvre, ses qualités esthétiques et une bonne inertie thermique, celle-ci permet d'avoir un habitat frais en saison chaude et qui conserve la chaleur en saison froide.

Malgré tous les avantages qu'on reconnait aux constructions en terre , elles présentent sous sa forme non stabilisée quelques défauts tels que : le déficit en résistance mécanique, la fissuration systématique due au retrait et surtout sa forte sensibilité à l'eau. Depuis l'antiquité à nos jours, l'homme a cherché à corriger ses défauts en utilisant plusieurs moyens de stabilisation de la terre en vue d'améliorer ses performances et sa sensibilité vis-à-vis de l'eau. Cette tentative a conduit à la naissance de plusieurs produit en terre : l'adobe, le pisé, le torchis, le bloc de terre comprimée (BTC) et autres. Par rapport à l'histoire de la construction en terre, la technique du bloc de terre comprimée (BTC) est une technique récente, elle permet d'avoir des blocs d'un format très souple sur le plan de la maçonnerie et peut s'intégrer aussi bien dans une structure poteau-poutre comme matériau de remplissage que comme matériau principal dans un mur porteur.

Les fibres végétales sont de plus en plus utilisées en substitution des fibres

de verre en tant que renfort de matériaux composites. En effet, celles-ci offrent une alternative judicieuse d'un point de vue environnemental et mécanique. Les fibres métalliques et synthétiques présentent l'inconvénient d'être issues de ressources naturelles renouvelables à très long terme. Les enjeux économiques liés aux coûts croissants des ressources fossiles et à leur raréfaction amènent donc à explorer d'autres sources de matières premières et à envisager d'autres filières de production. De ce point de vue, les fibres végétales pourraient constituer, pour l'industrie de la construction notamment, une solution d'avenir. En effet, la réduction de l'impact environnemental des matériaux de construction constitue un réel enjeu de développement durable y compris dans les zones sub-sahariennes.

Chapitre I:

Synthèse bibliographique

Introduction :

La terre est un matériau très largement utilisé dans le monde pour la construction que ce soit sous forme de clayonnage, de hourdis de torchis, de terre massive empilée ou bauge, de pisé moulé entre des banches ou encore de briques séchés au soleil ou cuites au four.

La terre possède en effet de nombreux atouts comme matériau de construction :

- elle se trouve partout, avec une extraction et un transport faciles ;
- ses modes de mise en œuvre sont simples et non coûteux et peuvent être réalisés pour l'habitat rural par des non spécialistes ;
- c'est un très bon isolant thermique ;
- elle présente de bonnes capacités de résistance à la pression ;
- elle permet une très grande variabilité des solutions techniques et décoratives ;
- la brique cuite, enfin, a une résistance proche de celle de la pierre pour un mode de mise en œuvre plus facile (mais nécessite une grande quantité de combustible). **[1]**

I.1. Histoire de la construction en terre :

Le matériau terre est à la fois l'un des plus anciens et des plus modernes des matériaux de construction. Grâce à une connaissance qui n'est qu'empirique, donc difficilement transmissible, on construit en terre depuis des millénaires. Dans les conditions économiques actuelles, les techniques de construction en terre présentent une alternative intéressante aux matériaux onéreux comme le béton et l'acier, sous réserve que celles-ci aient les bases scientifiques suffisantes pour garantir l'homogénéité et la fiabilité des briques et des produits en terre et des méthodes techniques de réalisations adaptées aux conditions économiques et sociales du site considéré. Contrairement au béton, la technique peut varier suivant le matériau, les conditions économiques et sociales du pays. Une technique ne doit pas être favorisée à priori par rapport à une autre.

Le choix doit être le résultat d'analyses tenant compte des paramètres :

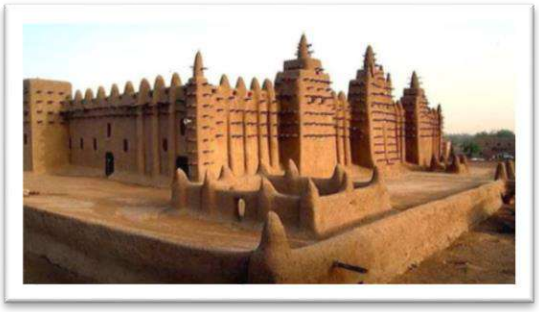
- physiques des sols (nature, liants disponibles, conditions climatiques) ;
- techniques (savoir-faire disponible, niveau de formation des techniciens et ouvriers, organisation et suivi de chantier, type de structures à construire, matériel disponible...) ;
- économiques (coût de la main d'œuvre, des matériaux et matériels,…) ;
- sociaux (acceptation des populations …) **[2].**

Fruit du temps sur la matière, la terre s'inscrit dans notre environnement ainsi que dans l'histoire de l'homme. Du Brésil en passant par l'Afrique, jusqu'à l'Europe entière.

I.2. La construction en terre en Algérie et dans le monde :

I.2.1. La construction de terre dans le monde :

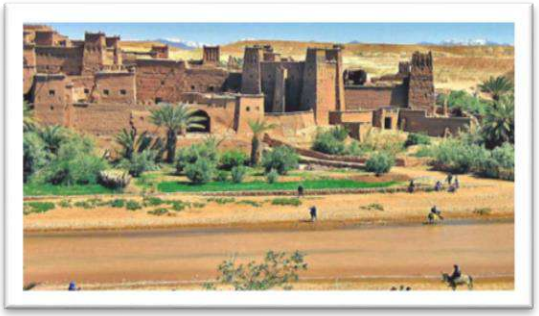
Les bâtiments en terre fournissent un abri à plus d'un tiers de la population mondiale. Des lieux aussi particuliers tels que monté dans les figures ci-dessous **(Figure I.1),** représentent environ 10% des sites inscrits sur la liste du patrimoine mondial.



mo Grande mosquée au Mali [3]



La ville de Shibām – Yémen [4]



Ksar Ait ben Haddou Ouarzazate



Tulou du Fujian- Chine [5]

I.2.2. La construction en terre dans l'Algérie :

La construction en terre a été la plus utilisée comme matériau de construction à travers la longue histoire de l'Algérie. Quelques villes historiques dans le désert et montagneuses régions sont connues de leur expérience dans l'utilisation de ce matériel à faible coût dans les projets de logement (Figure. I.2). Cependant, le principal inconvénient de ce matériau est la nécessité d'entretien continu et le manque de durabilité et résistance à l'eau. De nombreux échecs ont été signalés après les inondations saisonnières dans certaines villes d'Algérie, suite à l'utilisation de blocs de terre et a conduit les gens à l'utilisation à la place, des blocs de béton et de briques brûlées. Cependant, en raison de son coût plus élevé et de ses performances thermiques inférieures, beaucoup d'intérêt revient à la construction en terre.



Figure I.2 : Une vue générale de la construction en terre de la ville de Timimoune en le sud de l'Algérie.

I.3. Avantage de la construction en terre :

I.3.1. Matériau gratuit et disponible [6] :

L'avantage de la terre c'est qu'il y en a partout et de qualités différentes bien sûr. Dans presque tous les quatre coins du monde, la terre est présente, dans un astucieux mélange d'argile et de sable. Mais quelle est donc l'origine de l'argile et du sable ? Ils sont tous deux originaires de la dégradation de la roche mère constituée de granit qui, lui-même, est constitué de trois éléments minéraux élémentaires : le quartz, le mica et le feldspath qui vont donner par dégradation le sable et l'argile (beaucoup d'autres éléments sont

créés). L'argile est d'ailleurs considérée par les géologues comme une roche. Le fait que le granit est la base du sol terrestre, étant donné qu'il est issu du magma primordial refroidi, fait que l'on trouve cette terre minérale partout

I.3.2. Matériau recyclable [7] :

Le gros avantage d'un chantier de terre, c'est que tous les déchets de la construction peuvent être réintégrés au sol, ce qui est un avantage non négligeable lorsqu'on voit, dans nos paysages, les dégâts causés par les déchets de chantiers et les emballages des matériaux. On ne trouve, en général, dans une maison en terre que de la terre, de la paille, de la pierre et éventuellement du bois, ce qui permet lors de la destruction d'une maison d'étaler tout simplement les déchets sur le sol pour les voir disparaître. Le problème du recyclage est un problème qui est encore trop peu raisonné à la source : il est vrai que dans la plupart des pays industrialisés, le recyclage est organisé, mais il n'y a pas suffisamment de réflexion pour diminuer le problème à la source : trop d'emballages, de matériaux mélangés qui seraient recyclables séparément mais qui une fois mélangés sont indissociables, ce qui empêche le recyclage : trop de matériaux issus de la chimie et nocifs pour nous et l'environnement.

I.3.3. Matériau sain et écologique :

Nous sommes tous issus de la terre, notre terre mère et nourricière, c'est la base sur laquelle s'est établie la vie ; l'argile soigne et protège, c'est un produit non allergisant. Depuis toujours on utilise l'argile pour les soins de la peau mais aussi pour des soins internes tels que des problèmes gastriques ou intestinaux, elle a aussi la faculté d'absorber les toxines en cas d'intoxication alimentaire par exemple et de permettre d'évacuer la cause du problème. Tout cela met en évidence la capacité salvatrice et protectrice de cette matière originelle qu'est l'argile. Elle a de ce fait toute sa place dans nos demeures pour réaliser les enveloppes protectrices durables et saines. Le mur en terre respire telle la peau d'une personne et permet de conserver dans l'habitation une ambiance fraîche et saine.

I.3.4. Matériau avec une très bonne inertie thermique [8] :

Tel un glaçon dans un verre d'eau, la masse thermique a pour effet d'équilibrer la température intérieure d'un bâtiment. Quand un bâtiment est très isolé et ne bénéficie pas d'une masse thermique, il travaille alors comme une thermos ; il va conserver la température intérieure, mais dès que la porte ou la fenêtre seront ouvertes, la température extérieure va s'engouffrer dans le bâtiment et y rester.

Pour ce faire, on peut utiliser deux types de matériaux :

- En utilisant des matériaux isolants qui vont créer une barrière avec l'extérieur en coupant la conductivité ; c'est un peu le principe d'une couverture en laine qui va préserver la chaleur de notre corps du froid extérieur. Pour cela on va utiliser des matériaux légers tels que la paille, la laine de chanvre, la laine de bois, la cellulose. L'isolation doit être appliquée à l'extérieur pour couper tout pont thermique
- En utilisant des matériaux à inertie thermique c'est à dire qui crée une barrière avec l'extérieur par résistance, c'est le principe de la marmite en fonte qui une fois chauffée mettra beaucoup de temps à se refroidir. Pour cela on utilise un matériau lourd, dense tel que la pierre ou la terre et malgré cela, on va jouer en fonction des latitudes sur l'épaisseur des murs

I.3.5. Matériau avec une bonne régulation hygrométrique [9] :

Il y a des pays où l'humidité dans l'air est omniprésente comme les pays du Nord, très pluvieux ou bien les pays tropicaux ou encore les pays de bord de mer chauds tel que les pays méditerranéens. L'humidité dans l'air accentue les effets de la température ; la chaleur est plus intense et le froid plus pénétrant ; la possibilité de diminuer l'humidité présente dans l'air est un grand facteur de confort dans une maison de terre ; cela permet de chauffer plus facilement et de mieux rafraîchir.

I.3.6. Matériau avec un aspect esthétique incomparable [10] :

Incontestablement les constructions en terre sont d'une grande esthétique, non seulement, par la couleur mais de par les formes que l'on peut mettre en œuvre comme les formes arrondies, les voûtes, les arcades, les enduits fait à la main qui arrondissent les angles des murs. Les formes arrondies des voûtes et des arcades sont nécessaires dans la construction en terre pour couvrir et franchir les espaces, sinon, il est obligatoire d'utiliser d'autres matériaux tel le bois, le fer, le béton pour les franchissements horizontaux.

I.3.7. Matériau avec des techniques de construction simples [11] :

La construction en terre demande des compétences ; beaucoup de techniques existent sur les différentes manières de construire en terre, sur la stabilité, sur les éléments de structures, mais ces méthodes de bâti, et ces différentes techniques de construction sont en général relativement faciles à acquérir. Il est nécessaire de se former, mais l'acquisition de compétences reste à la portée de tous.

I.4. Les inconvénients de la construction en terre [12] :

Bien qu'étant un matériau très intéressant, la construction en terre présente quelques inconvénients

- Son principal point faible est résistance à la tension.
- Elle est aussi très sensible à l'érosion provoquée par l'eau.
- L'enduit (généralement de terre) doit être refait tous les deux ou trois ans. (il faut attendre que chaque couche sèche avant d'appliquer la suivante).
- Peu adapté aux climats pluvieux,
- La construction en terre est très sensible à l'humidité, notamment durant la construction.

I.5. Brique de terre cuite :

Les matériaux de terre cuite ont été utilisés depuis plusieurs siècles, ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs, dans le domaine traditionnel industriel. Ils sont fabriqués à partir d'argile devenant souvent rouge à la cuisson (sauf les argiles calcaires dont la couleur de cuisson varie du rose à jaune et blanc. **[13]**

1. L'extraction :

L'extraction peut se faire par des engins mécaniques : décapeuse, pelles chargeuses …etc. La matière première extraite, acheminée à l'usine par camions, voies ferrée, bandes transporteuses.



Figure I.3 : gisement d'argile de B .Amer à Ouargla

2. Façonnage :

Façonnage des produits (pleins, perforés et creux), est réalisé par deux procédures : étirage et pressage.

3. Séchage :

Les produits sont façonnés avec une teneur en eau de 15 à 30% (les chiffres exprimés en Pourcentage par rapport au poids sec). Il est nécessaire avant la cuisson d'éliminer la plus grande partie de cette eau, par des séchoirs bien réglés L'énergie consommée Varie de 3.5x106à 4.10x106J/Kg

d'eau évacuée, le séchage d'une tonne de produit nécessiteuse consommation d'énergie électrique de 6 à 13 KWh.

4. Cuisson :

C'est la dernière opération que doit subir le bloc d'argile façonné et séché pour devenir ensuite une brique de terre cuite. C'est donc une phase extrêmement importante qui doit se dérouler très progressivement, c'est-à-dire que la fournée est soumise à un échauffement régulièrement croissant jusqu'à la température de cuisson (comprise entre 850° et 1200°C selon l'espèce d'argile utilisée), ensuite elle doit refroidir aussi graduellement.

Il existe une très grande variété de fours, qui peuvent être classé en deux catégories principales : Les fours à fonctionnement discontinu et les fours à fonctionnement continu. Dans le premier cas, le mode opératoire comprend le chargement du four, sa mise à feu, son extinction et refroidissement lorsque la cuisson est terminée. Dans un four du type continu, le feu ne s'éteint jamais, et c'est le chargement qui est introduit et extrait du four suivant un cycle régulier et ininterrompu.

I.5.1. Les propriétés et caractéristiques de brique de terre cuite :

Les propriétés et les caractéristiques de brique de terre cuite sont indiquées dans les tableaux suivants :

Tableau I.1 : Résistance thermique des Briques creuses

e : épaisseur en (cm)	**5**	**10**	**20**	**25**
R (m2. °C/W)	**0.10**	**0.20**	**0.39**	**0.55**

Tableau I.2 : Propriétés des briques pleines et perforés

Masse volumique (kg/m3)	**1650-2000**
Absorption d'eau	**30 - 80 %**
Isolation acoustique	**41 - 54 Db**
Résistance à la compression	**12.5 - 40 MPa**

Tableau I.3 : Résistance thermique des briques pleines et perforés

Pleines			
Epaisseur (cm)	**5.5**	**10.5**	**22**
R (m2. °C/W)	**0.05**	**0.09**	**0.20**

1. **Brique pleine :** Brique ne comportant aucune perforation et dont le format d'appellation le plus courant est 6x11x22 cm.
2. **Brique perforée :** Brique comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose, la somme des sections des perforations étant inférieure ou égale à 50% de la section totale, et de largeur inférieure à14 cm.



Figure I.4 : Brique pleine et perforée et Brique **[14]**

I.5.2.La composition des briques en terre cuite :

La brique en terre cuite est une brique naturelle, issue de procédés de conception très anciens. Une brique en terre cuite sera généralement conçue à base d'argile et de sable. C'est la couleur de l'argile qui va donner une teinte à la brique, qui sera souvent une brique rouge ou jaune.

Les briques en terre cuite sont des briques de conception artisanale, cuites dans un four à 1200°. Cela en fait un matériau de construction

nettement plus authentique que le parpaing. (Faites chiffrer gratuitement vos travaux par des professionnels de votre région)

I.5.3.Les usages de la brique en terre cuite :

On va retrouver différents modèles de briques en terre cuite, adaptées à tous les usages :

1. ***La construction d'un mur intérieur :*** on peut utiliser n'importe quelle brique de terre cuite pour construire un mur en intérieur. C'est généralement les briques plâtrières qui seront utilisées à Cet effet.
2. ***La construction d'un mur extérieur*** : pour les murs extérieurs, on utilisera plus volontiers des briques pleines en terre cuite, mieux adaptés aux intempéries.
3. ***La construction d'un mur porteur :*** on peut également utiliser des briques pleines pour construire les murs porteurs d'une maison.
4. ***Le parement :*** on peut enfin trouver des briques en terre cuite de parement, qui vont tout simplement servir à orner un mur et à lui donner un aspect traditionnel. Vous l'aurez compris, la brique en terre cuite s'adapte à tous les projets, qu'ils soient décoratifs ou fonctionnels.

I.5.4. Les modèles de briques en terre cuite : [15]

Au moment de vos achats, il faut bien différencier les différents modèles de briques.

De manière générale, vous aurez le choix entre les briques en terre cuite suivantes :

1. ***La brique mono mur*** : est une brique particulièrement épaisse, idéale pour la construction d'une maison. Elle est à la fois solide et particulièrement isolante.
2. ***La brique de cloison*** : est une brique assez légère, qui permet de concevoir des murs de cloisons, mais en aucun cas des murs de façade.

3. ***La brique de parement*** : est un revêtement mural décoratif, qui permet d'imiter l'apparence de la brique.
4. ***Les briques étirées ou pressées*** : sont des briques en longueur, très efficaces pour construire une maison.
5. **Les briques moulées à la main** : sont des briques artisanales, particulièrement coûteuses.

I.5.5.Les avantages des briques en terre cuite :

Si ce matériau de construction est encore utilisé aujourd'hui, parfois au dépit de briques plus sophistiquées, comme la brique mono mur (que nous vous présentions il y a peu), c'est tout simplement car elle a de très nombreux avantages Citons ensemble l'intérêt d'utiliser des briques en terre cuite pour vos constructions :

1. ***Une bonne isolation*** : la brique en terre cuite est naturellement isolante. Associée à des isolants de qualité, elle vous offrira une maison très agréable à vivre
2. ***Un matériau naturel*** : contrairement à d'autres briques, la brique en terre cuite est artisanale et écologique. Sa production est en effet très peu polluante. Il s'agit d'ailleurs d'un matériau sain et respirant.
3. ***Une pose facile*** : monter un mur en briques est facile et rapide, et à la portée de n'importe quel bricoleur expérimenté.
4. ***Un matériau esthétique*** : enfin, la brique en terre cuite offre un côté naturel et très esthétique à n'importe quelle maison. Sans compter qu'elle n'a pas besoin d'un enduit.

I.5.6. Les inconvénient des briques en terre cuite :

Les briques de terre cuite nécessitent beaucoup d'énergie grise pour leur fabrication. Mise en œuvre délicate : la construction en mono mur implique des techniques particulières.

I.6.Construction en terre crue :

La construction en terre crue présente un bilan environnemental très intéressant. Il s'agit d'une matière première largement disponible, renouvelable, et même recyclable, puisque non transformée. L'énergie nécessaire à sa fabrication est très faible puisqu'aucune cuisson n'est nécessaire. Lorsque les filières locales existent, l'impact lié au transport est presque nul.

Il existe en effet une grande variété des types de construction en terre. Pour comprendre la diversité de la construction en terre, les types les plus couramment utilisés sont présentés ci- dessous.

I.6.1. Le pisé :

La terre est compactée dans les coffrages (traditionnellement en bois, mais actuellement ils peuvent être en métal), couche après couche, par une dame (manuelle ou pneumatique) **(Figure. I.5).**

Ce procédé utilise un matériau sableux ou graveleux préparé à l'état peu humide. La méthode artisanale traditionnelle de mise en œuvre consiste à compacter manuellement la terre entre deux banches de bois. Les murs en pisé sont constitués de bandes horizontales correspondant aux branches, leur donnant une allure assez massive. La mise en œuvre du pisé s'est modernisée en utilisant des dames adaptées sur un marteau piqueur et des branches modulables métalliques. Le pisé est utilisé comme matériau porteur. C'est la méthode traditionnelle utilisée dans certaines régions du Sud-est de la France jusqu'au début du siècle, et encore utilisée de nos jours au Maroc [13].

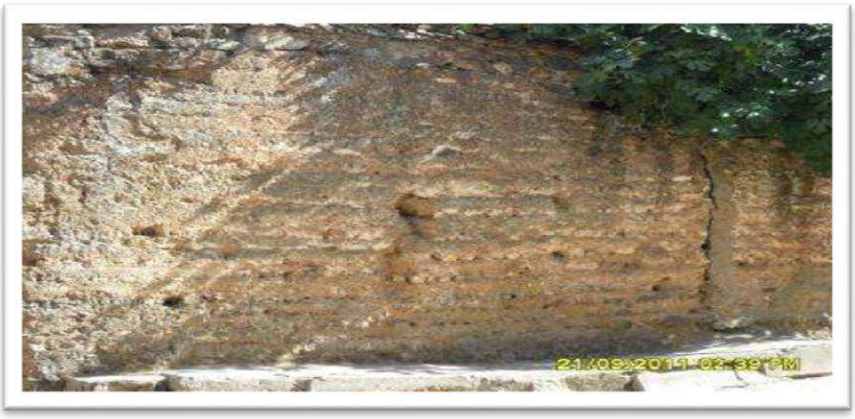


Figure I.5 : Mur en pisé à Béni Yenni

I.6.2 Adobes :

Ce procédé utilise un matériau très argileux, préparé à l'état liquide (teneur en eau de l'ordre de 30 %). Il s'agit d'un mode artisanal et manuel de fabrication de blocs, dans des moules de bois ou de métal. Ces blocs seront, après séchage au soleil, mis en place dans une maçonnerie dont le mortier est une boue de la même terre. Les blocs ainsi réalisés sont utilisés comme matériau porteur ou matériau de remplissage. Cette technique a été industrialisée et fortement mécanisée dans certains états du Sud aux U.S.A. (Arizona, Californie...) où elle est utilisée pour la construction neuve.

I.6.3. Les blocs de terre comprimée (BTC) :

Pendant longtemps, on a fabriqué des blocs de terre à l'aide de moules dans lesquels on comprimait la terre à l'aide d'un petit pilon ou en rabattant avec force un couvercle très lourd. La mécanisation a permis l'utilisation actuellement des presses de toutes sortes. Les produits obtenus sont extrêmement variés **(Figure. I.6).**



FIGURE I.6 : UN BLOC EN BTC

I.6.4. Construction en paille :

Pour cette technique, la terre utilisée doit avoir une bonne cohésion. Elle est diluée dans de l'eau jusqu'à l'obtention d'une barbotine homogène, que l'on verse sur de la paille, jusqu'à enrober chaque brin. Au séchage, on obtient un matériau dont la texture est essentiellement celle de la paille **(Figure. I.7).**



Figure I.7 : la terre-paille

I.6.5. Bauge :

La bauge est un système de construction monolithique en terre crue empilée. La terre est dans un état plastique, généralement mélangée à des fibres (végétales ou animales) (Figure. I.6). Les surfaces verticales sont dressées par découpe après un court temps de séchage, alors que le matériau n'est pas trop dur. La bauge est une technique de construction ancienne, répandue dans toute l'Europe (en France et en Bretagne notamment) ainsi qu'en Afrique, Asie et Amérique. En France, les constructions en bauge ont été principalement édifiées du 18ème au milieu du 20 ème siècle. Un temps délaissé, ce matériau écologique est à nouveau utilisé dans la construction. Il présente des avantages à plus d'un titre : possibilité de prélever la matière première directement sur le chantier et intérêt de ses qualités thermiques notamment. **[16]**



Figure I.8 : Terre mélangée aux végétaux

Ce procédé consiste à empiler des boules de terre les unes sur les autres et à les tasser légèrement à l'aide des mains ou des pieds jusqu'à confectionner des murs monolithiques. Habituellement, la terre est amendée de fibres naturelles diverses **(Figure. I.8).**

I.6.6. Les procédés techniques :

L'une des caractéristiques principales des constructions en terre est la diversité de ses techniques de mise en œuvre, qui traduisent l'identité des lieux ainsi que leurs cultures. Elles sont globalement répertoriées selon douze procédés **(Figure. I.9)**, classés en trois grandes familles, à savoir :

- Les murs appareillés (briques de terre crue, adobe);
- Les murs monolithiques (pisé, bauge…);
- Les murs mixtes (terre paille, torchis).

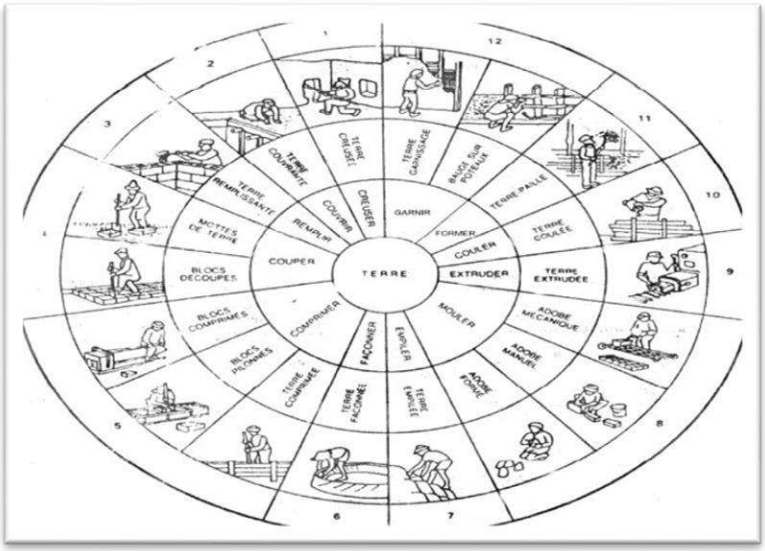


Figure. I.9 : Les procédés de production de la terre

L'architecture contemporaine utilise la terre, soit en structure visible à l'extérieur, soit protégée à l'intérieur. Sa plasticité permet d'obtenir une grande variété de formes, de textures et de couleur. Ses techniques constructives très souples permettent en effet d'avoir une variété de systèmes constructifs : Fondations, soubassements, piliers, murs, planchers, toitures plates et inclinées, voûtes et coupoles etc.

Son utilisation s'étend aussi au mobiliers intégrés, cheminées, escaliers, claustras ainsi que les ouvrages d'art: Réservoirs, caniveaux, ponts et aqueducs, routes, pistes d'atterrissages, etc. Elle peut offrir toute une gamme de produits architecturaux allant du logement social collectif à l'habitat de haut standing.

I.7. La terre :

I.7.1. Définition :

La terre est un milieu poreux multiphasique comprenant une phase solide, une phase liquide (principalement de l'eau) et une phase gazeuse (principalement de l'air). La phase solide est constituée de la matière minérale, ensemble de particules élémentaires d'origine et de composition diverses, et de la matière organique. La matière minérale est constituée de minéraux primaires inaltérés : Cailloux (20-200 mm), Graviers (2-20 mm), Sables constitués principalement de silice et de quartz (0.06-2 mm) et silts (0.06mm-2µm) et de minéraux secondaires altérés ou colloïdaux, comme les argiles (inférieur à 2µm) ou les oxy-hydroxydes. Les minéraux inaltérés forment le squelette granulaire et confère au matériau une ossature rigide. Ils apportent une grande partie de la résistance mécanique de la terre et, ont une grande friction interne mais n'ont pas de cohésion. Grace à leur stabilité, ils limitent le retrait. **[17]**

Les caractéristiques physiques et chimiques des argiles sont différentes de celles des autres constituants de la terre. Elles contribuent de manière importante aux propriétés de la terre : elles lui apportent sa plasticité en conditions très humides grâce aux couches d'eau qui adhérent aux couches d'argile et qui lient les particules entre elles. Les argiles forment une matrice liante qui enrobe et lie les granulats entre eux. La matrice argileuse se présente sous la forme d'une structure complexe poreuse dont la taille des pores varie du nanomètre au micromètre.

I.7.2. Différents types de terre

a- Terre organique : contient un pourcentage élevé de matières organiques (la tourbe, par exemple).

b- Terre graveleuse : avec une prédominance de graviers et cailloux, elle a l'apparence d'un béton.

c- Terre sableuse : avec une prédominance de sables, elle a une apparence d'un mortier.

d- Terre silteuse : c'est une terre fine peu cohésive et d'aspects soyeux où les limons dominent.

e- Terre argileuse : à prédominance d'argile, elle est très cohésive, collante et modelable à l'état humide.

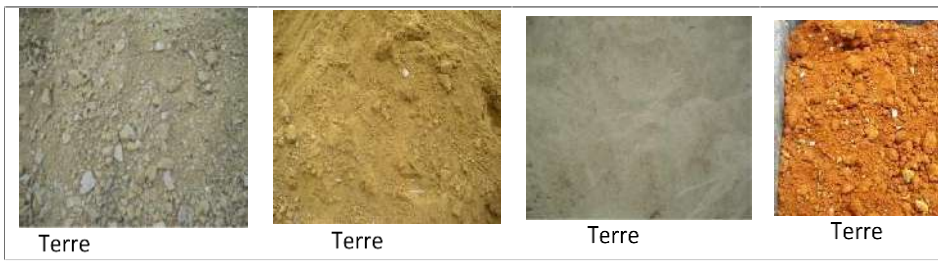


Figure. I.10 : Différents types de terre

I.7.3. Propriétés de la terre :

Pour travailler avec la terre, il convient surtout de connaître quelques propriétés fondamentales qui sont :

1. Granularité

Elle représente la quantité centésimale en fractions des différents grains, mesurée en pourcentage. La texture d'une terre se mesure par analyse granulométrique par tamisage pour les fractions de grains grossiers : cailloux, graviers, sables, limons. Et par sédimentométrie pour les fines particules argileuses. La représentation de la granularité d'une terre est une courbe granulométrique portée sur un diagramme.

La classification des fractions de grains adoptée par un grand nombre de laboratoires est la suivante :

Tableau I.4 : Classification des fractions de grains

V	**Cailloux**	200 mm -20 mm
V	**Gravies**	20 mm -2 mm
IV	**Sables grassier**	2 mm -0,2 mm
III	**Sables fins**	0.2 mm-0,06 mm
II	**Silts**	0,06 mm -0,02 mm
IIA	**Silts fins**	0,02 mm -0,002 mm
I	**Argils**	0,002 mm -0 mm

2. Plasticité

C'est l'aptitude de la terre à être modelée. Elle définit la propriété de la terre à subir des déformations sans réaction élastique notoire 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'Atte berg.

Elles s'effectuent sur la fraction « mortier fin » de la terre (ø des particules < 0,4mm). La Entre l'état plastique et l'état solide, la transition est nommée Limite de plasticité (LP).

- A L_L, le sol commence à manifester une certaine résistance au cisaillement.
- A, L_P, la terre cesse d'être plastique et devient cassante.
- L'indice de plasticité (IP) égal à $L_L - L_P$, précise la plage du comportement plastique de la combinaison de L_L et L_P précise la sensibilité de la terre aux variations d'humidité.

Les propriétés plastiques d'une terre sont représentées sur un diagramme de plasticité.

3. Compressibilité

C'est la potentialité de la terre de réduire au maximum sa porosité. La compressibilité d'une terre définit son aptitude à se laisser comprimer au maximum pour une énergie de compactage et un taux d'humidité donnés (teneur en eau optimale ou T.E.O). Lorsqu'un volume de terre est soumis à l'action d'une force, le matériau est comprimé et l'indice des vides décroît.

La compressibilité d'une terre est mesurée par l'Essai Proctor. On pourra le représenter dans un diagramme de compressibilité où sont mis en relation la Teneur en Eau Optimale et la Densité sèche Optimale, pour une énergie de compression donnée.

4. Cohésion.

C'est la propriété des particules de la terre à rester associées, elle exprime la capacité de ces 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 ø< 2mm) qui lie les grains inertes entre eux.

Cette propriété est donc tributaire de la quantité et de la qualité collante des argiles. On peut classer les mortiers grossiers de la façon suivante :

- Mortier sableux
- Mortier maigre
- Mortier moyen
- Mortier gras
- Argiles.

La cohésion d'une terre se mesure par l'essai de traction à l'état humide ou encore dénommé l'essai du "8" et elle est représentée sur un diagramme de résistance à la traction.

.

I.8. Stabilisation de la terre : [18]

Les constructions en terre présentent une vulnérabilité élevée face aux phénomènes d'érosion liés aux pluies, vents ou gels. L'enjeu est donc de les préserver en utilisant des techniques de stabilisation. La stabilisation a pour objectif d'améliorer la dureté (résistance aux chocs et aux frottements, réduction de l'effritement) et l'imperméabilité. Cependant un stabilisant ne remplace pas l'action du liant principal qui est l'argile.

La stabilisation de la terre consiste à lui donner des propriétés physiques «irréversibles». Elle se fait en fonction de la conception du bâtiment, de l'économie du projet, de la durabilité et de la qualité du matériau. Il existe plus d'une centaine de produits stabilisants de la terre à bâtir. À chaque variété de terre correspond le(s) stabilisant(s) approprié(s).

Il existe trois procédés de stabilisation :

1- **Stabilisation mécanique :** qui consiste à modifier les propriétés de la terre en agissant sur sa structure et plus particulièrement sur sa porosité, perméabilité, densité et compressibilité. Au niveau de la porosité, la stabilisation réduit le volume des vides entre les particules ainsi que les variations de volume du matériau (gonflement-retrait à l'eau). En ce qui concerne la perméabilité, la stabilisation agit en colmatant les vides. Cela améliore la résistance à l'érosion (du vent et de la pluie). La stabilisation améliore les liens entre les particules, ce qui augmente la résistance à la compression.

2- **Stabilisation physique :** qui consiste à modifier la texture de la terre en mélangeant des **grains** de tailles différentes.

3- **Stabilisation chimique :** qui consiste à mélanger la terre à d'autres matériaux ou des produits chimiques.

I.9. Les stabilisants :

I.9.1. Les sables et graviers : Ils permettent de structurer la terre trop argileuse en donnant un squelette au matériau. L'argile joue alors le rôle de liant. L'ajout de sable ou de gravier à la terre est donc un procédé de stabilisation physique qui modifie la granulométrie de la terre afin d'améliorer sa compacité. Il permet également d'utiliser moins d'argile et ainsi d'épargner les gisements.

I.9.2. Les fibres :

Elles sont utilisées pour apporter une armature à la terre. Elles sont d'origine animale (poils et crins de bétail), végétale (les pailles, les balles de céréales, le chanvre, les fibres de noix de coco, de palmier, ...) ou synthétique (acier, fibres de verre, cellophane). La paille est la fibre la plus employée pour stabiliser la terre. Elle s'adapte à l'état plastique, visqueux, et même à la compression. Elle réduit la fissuration au séchage et augmente la résistance à la traction.

Elle contribue à la résistance de la terre à l'échelle du grain, mais n'interagit pas directement avec les plaquettes d'argile, à l'échelle microscopique. L'ajout des fibres permet :

- d'empêcher la fissuration au séchage en répartissant les tensions dues au retrait de l'argile dans toute la masse du matériau ;
- d'accélérer le séchage grâce aux canaux de fibres qui agissent comme un drainage de l'humidité vers l'extérieur. Inversement la présence de fibres augmente l'absorption d'eau ;
- d'alléger le matériau en allégeant sa masse volumique et en améliorant ses propriétés d'isolation ;
- d'augmenter la résistance à la traction.

L'efficacité de la stabilisation aux fibres dépend des caractéristiques de la terre et des interactions entre les fibres et la terre. La terre stabilisée aux fibres présentera une bonne résistance à la fissuration, au cisaillement, et à la compression, et une meilleure capacité d'absorption d'énergie sismique. Certains paramètres sont néfastes à la stabilisation aux fibres. Il convient d'éviter, une quantité trop importante de fibres pour ne pas diminuer les points de contact entre les fibres et la terre et diminuer donc la résistance du matériau. L'orientation des fibres est importante : doivent être placées dans toutes les directions.

I.9.3 Le bitume :

C’est un produit composé d'au moins 40% d'hydrocarbures lourds et de filler. Il doit être mélangé à des solvants (gasoil, kérosène, naphta) ou à l'eau pour être utilisé comme stabilisant. Il permet d'imperméabiliser en entourant les grains de terre d'un film imperméable et boucher les pores et fissures. L'emploi du bitume comme stabilisant reste limité.

I.9.4.La résine :

Dérivent souvent de substances végétales comme par exemple de résidus du traitement du bois au cours de la fabrication de la pâte à papier. La résine est un hydrophobe qui réduit la sensibilité de la terre à l’eau. Le ciment est considéré comme un liant inorganique, et le meilleur stabilisant des BTC.

I.9.5. Le ciment :

Permet d'enchaîner : il crée une liaison inerte qui s'oppose à tout mouvement. Il améliore la résistance à l'eau en créant des liens entre les particules de sables et graviers. Les meilleurs résultats sont obtenus avec des terres sableuses. 5 ou 6% de ciment suffiraient pour avoir des résultats satisfaisants. La stabilisation au ciment diminue l'importance du retrait et du gonflement et nécessite peu d'eau. Le ciment diminue cependant la conductivité thermique de la terre. Plus il y aura de ciment dans un bloc de terre, plus la conductivité thermique se rapprochera de celle du ciment. L’inconvénient du ciment demeure son coût de production élevé et la nécessité des gisements calcaires.

La présence d'oxydes de fer (i.e., terres latéritiques) qui favorisent les réactions pouzzolaniques ou un indice de plasticité faible < 20 % (i.e., terres sableuses) sont des paramètres d'efficacité pour l’utilisation du ciment. Par contre, la matière organique, une eau chargée en sel, la présence des sulfates ou une terre trop argileuse (> 20 % d'argile) seraient des paramètres néfastes à l’utilisation du ciment comme stabilisant.

I.9.6.La chaux :

La chaux ou hydroxyde de calcium (CH), est un produit chimique très utilisé dans la construction mais aussi dans la sidérurgie, la chimie ou encore l'agriculture. Il est surnommé à juste titre, « versatile Chemical », ou produit chimique polyvalent à la vue de ses nombreuses applications industrielles. Une de ses applications sans doute des plus connues est la stabilisation des sols pour les routes. L'aéroport de Dallas datant de 1974 en est un bel exemple avec ses 70 km² nécessitant 300 000 tonnes de chaux.

La chaux a été très largement utilisée en construction jusqu'en 1890, date de la découverte du ciment Portland. Son usage s'est tourné ensuite vers la sidérurgie où il rentrait dans la fabrication de l'acier à hauteur de 150 kg par tonne d'acier. La production mondiale de chaux est d'environ 120 à 150 millions de tonnes par an (BECHOUX, 1999).

La chaux est un réactif basique peu couteux très utilisé dans plusieurs domaines. On la retrouve à l'état liquide dans un lait de chaux, ou à l'état solide sous forme pulvérulente (poudre) ou d'agglomérats (cailloux). Elle se décompose en plusieurs catégories en fonction de sa composition et de ses usages :

- ***Chaux hydraulique*** : semblable au ciment, peu recommandée pour la stabilisation même si les naturelles ont un pouvoir stabilisant plus important que les artificielles,
- ***Chaux agricole*** : utile pour fertiliser les terres, elle ne présente pas d'effet stabilisant,
- ***Chaux dolomitique :*** contient du magnésium utilisable en stabilisation mais avec une réaction très lente.
- ***Chaux aérienne :*** produite à partir de calcaires très purs, utilisée préférentiellement pour stabiliser, elle est celle qui intéresse le plus dans le domaine de la construction. Elle se décompose en deux catégories selon son état d'hydratation.

- ***Chaux vive (CAO) :*** produit par la cuisson de la pierre à chaux. Elle réagit directement avec l'eau par une réaction exothermique jusqu'à 150°C pour former de la chaux éteinte, ce qui exige un stockage particulier. A masse égale, elle est plus efficace que la chaux éteinte,
- ***Chaux éteinte (Ca(OH) 2)*** : ou portlandite : plus simple d'utilisation que la chaux vive, elle est le plus couramment utilisée en stabilisation.

I.10. Les fibres : [19]

Il existe plusieurs types de fibres qui se différencient par leur nature, leur diamètre, leur longueur (macro ou micro fibres), leur forme et leur état de surface. Par leurs caractéristiques, différentes les unes des autres, les fibres sont définies suivant qu'elles soient naturelles ou artificielles. Le choix des fibres dépend de l'usage recherché (pièces minces ou massives, renforcement de pâte pure, de mortier ou de béton, réparation des structures), de leurs propriétés (résistance et module élevés, bonne adhérence), de leur disponibilité et de leur prix.

I.10.1.Définition de la fibre :

Le terme "Fibre" se rapporte à un corps solide flexible, de forme sensiblement cylindrique, d'un diamètre de quelque centimètre dont la longueur égale à quelques milliers de fois ce diamètre. Ce terme est généralement aussi utilisé pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, de la fibre de grande longueur ou filament continu.

I.10.2. Différents types de Fibres :

Les différentes fibres actuellement disponibles peuvent être classées selon leur origine en trois grandes familles de fibres :

- Fibres naturelles minérales et végétales : amiante, cellulose ;
- Fibres synthétiques d'origine minérale : verre, carbone, Fibres métalliques

- Fibres synthétiques organiques : polyamides, polypropylène, acrylique, kevlar, aramide.

Tableau I.5 : Classification des fibres

Fibres naturelles		**Fibres artificielles**	
Végétales	**animales**	**minérales**	**organiques**
Lin Chanvre Celluloses Sisal Coir	Poil Laine Soie	Laitiers Carbone Métaux (acier, fonte) Verres spéciaux amiante	Polypropylène Polyamides polyesters

I.10.3. Fibre métallique :

Ce type de fibre, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été et reste encore l'objet de recherches très importantes dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil.

En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interfaçage entre fibre et matrice.

I.10.4. Les Fibres de Carbone :

Suivant les conditions de fabrication, il existe toute une variété de fibres de carbone mais actuellement trois types de fibres sont commercialisés :

- Les fibres hautement résistant (H.R.)
- Les fibres à module intermédiaire (I.M.)
- Les fibres à hauts modules (H.M.)

Les fibres de carbone sont très fragiles ce qui rend l'opération de malaxage du béton de ces fibres très difficile. Pour cela, elles sont ajoutées par la suite au béton par projection. Cependant, le béton de ces fibres présentes des caractéristiques de durabilité très Intéressantes

I.10.5. Fibres synthétiques organique :

1. Fibre d'amiante

Ces fibres sont considérées comme les renforcements les plus ancien des matrices cimentaires est aussi pour la confection de tissus résistants aux feux. Elles sont en fait des bûchettes de micro- fibres extrêmement fines, difficilement fusible (vers 1500 ˚C et ont l'avantage d'être inattaquables par les ciments. Elles possèdent un excellent tenu au feu, une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé. Elles sont aussi plus résistante agressions chimiques et micro-organismes, ainsi que leur résistance électrique élevée. Les fibres d'amiante sont utilisées dans les applications suivantes : voiles, tuyaux, panneaux, matériaux d'isolation thermique et protection contre le feu, tuyaux d'égout, plaques de toitures plates et ondulées, revêtements de mur.

2. Les Fibre polypropylène

Ces fibres obtenues par extrusion du polypropylène, se présentent en faisceaux ou sous forme de filament individuel. Lorsqu'elles sont utilisées sous forme de faisceaux, elles se séparent lors de malaxage. Elles se répartissent de façon multidirectionnelle dans le béton.

Les fibres polypropylène permettent en particulier de mieux contrôler le retrait plastique du béton frais mais n'améliorent pas son comportement post fissuration.

3. Les Fibres métalliques.

Elles améliorent la maniabilité et la cohésion du béton (en particulier dans le cas de béton projeté). Elles sont particulièrement souple et insensibles chimiquement mais peu résistantes au feu (température de fusion comprise entre 140à170°C).

Les propriétés des fibres polypropylène sont intéressantes pour les pièces à démoulage immédiate (meilleur comportement au jeune âge). Elles améliorent l'aspect et la précision des angles, des tranches ou des arêtes des pièces moulées. Elles permettent de réaliser des parements esthétiques, avec des motifs très précis, et sont utilisées aussi pour la formulation des bétons projetée ou des mortiers de réparation.

Les fibres en généralement pour rôle de renforcé ou remplacer l'action des armatures traditionnelles en s'opposent à la propagation des microfissures. Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives.

Selon les fibres utilisée et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, ce rôle se traduit par les améliorations relatives à:

- La cohésion du béton frais ;
- La déformabilité avant rupture ;
- La résistance à la traction par flexion ;
- à ductilité et la résistance post fissuration ;
- La résistance aux chocs ;
- La résistance à la fatigue ;
- La résistance à l'usure ;
- La résistance mécanique du béton aux jeunes âges ;
- La réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures ;
- La tenue au feu ;
- La résistance à l'abrasion.

I.10.6.Les fibres naturelles :

Les fibres naturelles sont classées généralement en fonction de leurs origines : Animale, végétale et minérale. Les fibres d'origine végétale sont constituées majoritairement de cellulose et possèdent des propriétés mécaniques supérieures à celles d'origine animale. Ces dernières, telles que la laine et la soie, sont largement utilisées dans le domaine du textile Les fibres d'origines végétales peuvent être classées en sous familles selon d'où elles ont été extraites ; graines, fruits, écorce, feuilles, bois, tiges ou canne []. Les différents types de fibres naturelles sont présentés sur la Figure N° 14

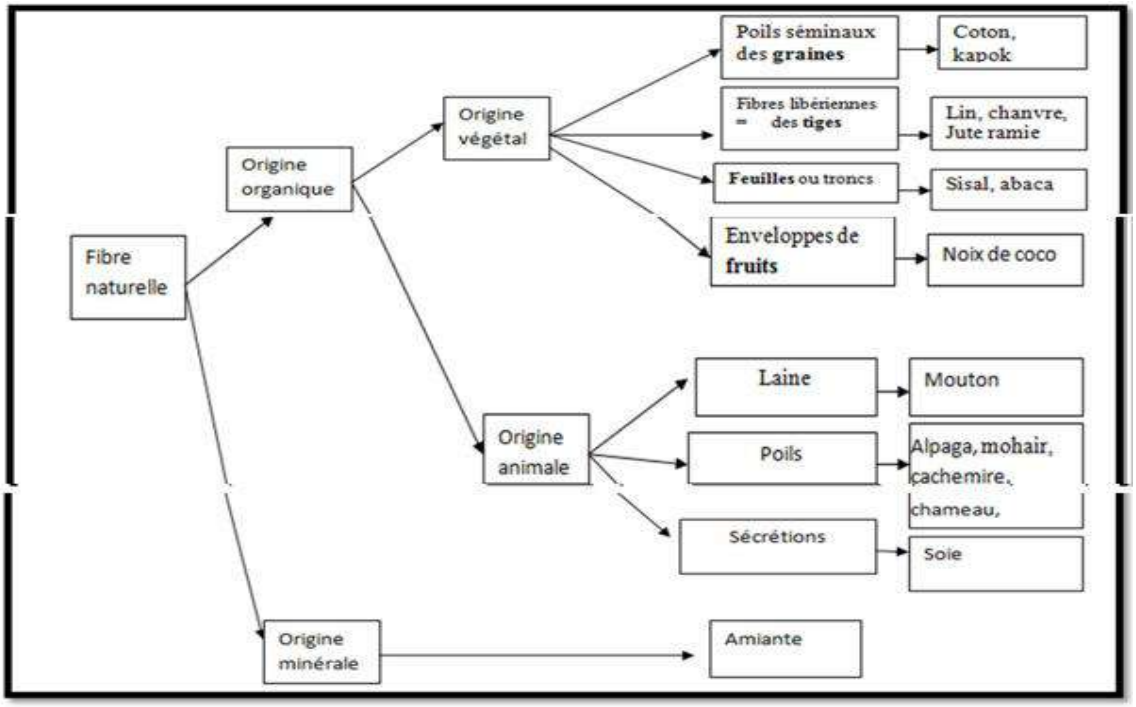


Figure I.11 : Organigramme des différents types de fibres naturelles

I.1. Les fibres végétales :

La principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétales, résistent aussi à la plupart des acides organiques, mais sont détruites par les acides minéraux forts.

Il existe quatre sortes de fibres végétales / les fibres provenant des poils, les fibres du liber, et les fibres extraites des troncs de certaines graminées.

Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction.



Figure I.12 : Classification des fibres végétales selon l'origine

I.11.1 Classification des fibres végétales :

Nous pouvons subdiviser les fibres végétales en 5 groupes selon leur origine. Les fibres provenant des poils séminaux de graines (coton, kapok), les fibres libériennes extraites de liber de plantes (lin, chanvre, jute, ramie), les fibres extraites de feuilles (sisal, abaca), d'enveloppes de fruits (noix de coco) ou les fibres dures extraites des tiges de plantes.

I.11.2 Caractéristiques Physiques et Mécaniques des fibres Végétales

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre sa densité et son teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau. Et elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité. Les propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales ont été traitées par beaucoup de chercheurs.

I.11.3 Structure de la fibre végétale :

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de micro fibrille cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine. La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radiale.

Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de micro fibrilles (S1, S2, S3).

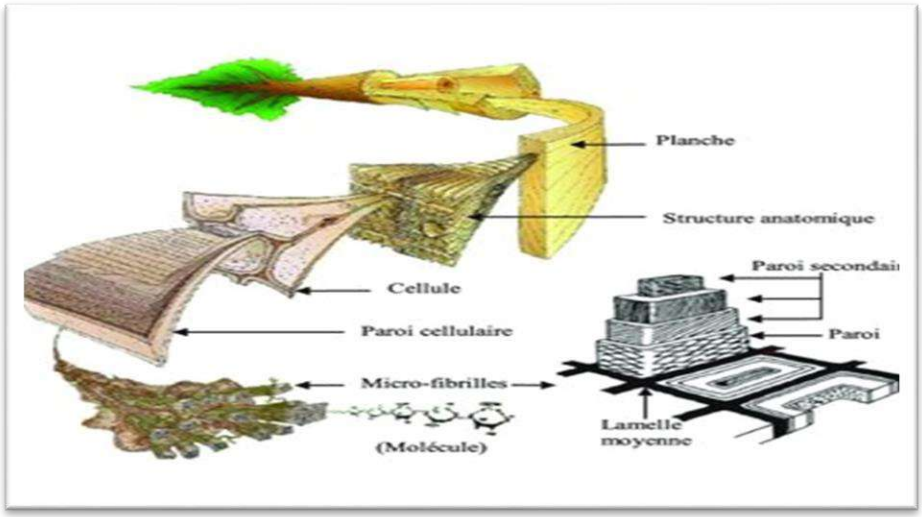


Figure I.13: Structure du bois (observations multi échelles)

Les micros fibrilles décrivent par rapport à l'axe de la fibre, un angle micro fibrillaire (MAF) dont la valeur varie d'une espèce à l'autre. L'orientation des microns fibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un grand rôle dans les propriétés mécaniques des parois des fibres, plus que l'angle des micros fibrilles augmente, le module de Young (une mesure de la rigidité) décroît, tandis que l'extensibilité des parois augment.

I.11.4 Composition chimique des fibres végétales

Les fibres végétales sont caractérisées par leur composition chimique qui influe énormément sur leur durabilité et spécialement dans les milieux alcalins. La composition chimique des fibres végétales est formée de plusieurs constituants ligno-cellulosiques et organiques.

1. **La cellulose :**

La cellulose est un polymère naturel dont les molécules, formées de longues chaînes, sont constituées de D-anhydro-glucopyranoses liés par des liaisons β-(1,4)-glycosuriques en position C1 et C4. Le degré de polymérisation (DP) est d'environ 10 000, il varie selon l'espèce végétale. Chaque unité de répétition comporte trois groupes hydroxyles. Ces groupes hydroxyles et leur capacité à réaliser des liaisons hydrogène jouent un rôle majeur pour la cristallinité.

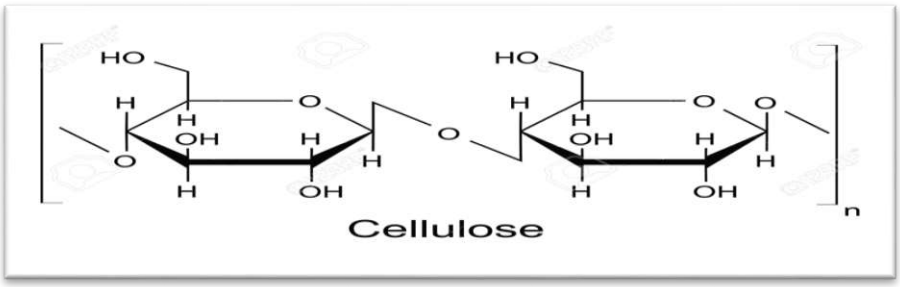


Figure I.14: Molécule de la cellulose

Les chaînes de cellulose sont rassemblées en structures basiques appelées micro fibrilles (Figure 12) qui ont des diamètres de 2 à 20 nm. Chaque micro fibrille peut être considérée comme des chaînes de cristaux de cellulose liés par des domaines amorphes. Contrairement aux autres composants des fibres qui possèdent une structure amorphe, la cellulose possède en effet une structure en grande partie cristalline. La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant le module d'élasticité le plus élevé, soit environ 136 GPa à comparer aux 75 GPa de la fibre de verre.

Les propriétés de la cellulose sont étroitement corrélées à la forte densité de liaison hydrogène qui se développent entre les chaînes. Malgré la présence de groupements fonctionnels hautement réactifs que sont les hydroxyles, la cellulose réagit difficilement. La cellulose n'est pas hydrosoluble mais est fortement hydrophile, propriété qui est à l'origine, pour les fibres exploitées, de leur grand confort en tant que fibres textiles. Dans les conditions normales d'utilisation, elle peut contenir jusqu'à 70% d'eau plus ou moins liée.

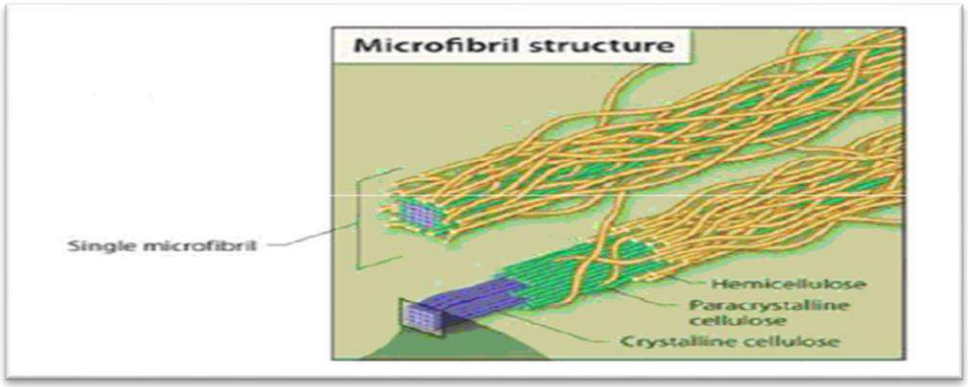


Figure I.15 : Structure de la micro fibrille de cellulose

2. L' hémicellulose

L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres, est un polysaccharide à chaîne courte ramifiée et repliée sur elle-même. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres et qui permet aux parois de s'allonger pendant la croissance.

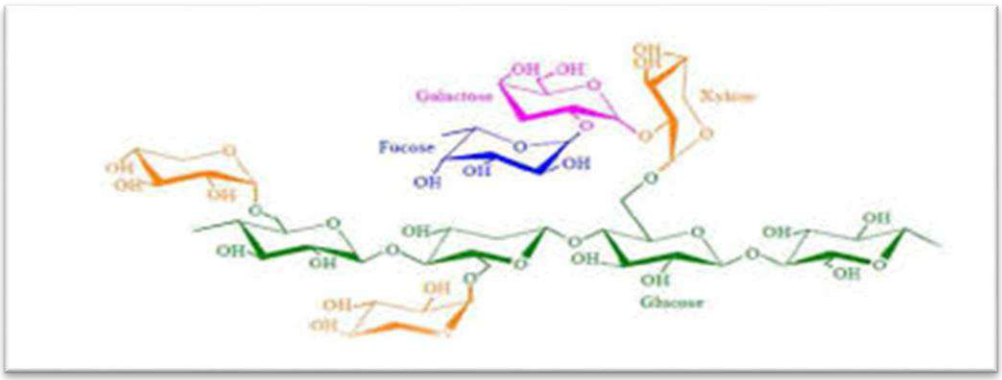


Figure I.16 : Structure d'un type de xyloglucane.

3. lignine

La lignine est le composant liant dans les tiges d'alfa et en général dans les plantes. C'est le liant entre les fibres formant des faisceaux ou des tiges. Sans la lignine, les tiges d'alfa n'existeraient pas. L'extraction des fibres consiste en la libération des fibres ultimes en dégradant les composants non-cellulosiques comme la lignine. L'élimination de la lignine est appelée la délignification.

Une structure de base de la lignine existe avec deux groupes fonctionnels qui peuvent varier, ainsi réalisant plusieurs molécules différentes de lignine. Par conséquent en réalité, le nom « la lignine » n'est pas correct car il s'agit de plusieurs molécules. Il est donc mieux de parler « des lignines ». En considérant la structure de base, il est clair qu'un groupe aromatique est présent, et que les deux groupes qui varient sont un groupe aromatique (-Ar) et aliphatique (-R). Mais pourtant la structure exacte reste inconnue. Cependant des analyses de spectroscopie UV-VIS donnent une idée de la structure de la lignine. Les liaisons covalentes sont relativement fortes, concluant à une bonne résistance biologique et chimique. C'est pour cela que l'élimination de la lignine afin d'obtenir des fibres d'alfa est difficile. Les propriétés mécaniques des lignines sont faibles.

4. Les pectines

Les pectines font parties des constituants des tissus végétaux et permettent le maintien de l'ensemble des cellules. Leurs actions dépendent des conditions ioniques du milieu (ex : présence d'ion Ca2+) Les pectines sont utilisées comme agent comptabilisant entre les fibres naturelles et les ligno-sulfonâtes. Dans ce travail différentes pectines d'origines diverses (écorces de citron ou pulpe de betterave sucrière) sont étudiées [19].

I.11.5. Organisation de la paroi végétale

Les fibres végétales sont des structures biologiques principalement composées de cellulose, d'hémicelluloses, et de lignine dont des proportions dépendent de l'organisme producteur du tissu. En plus elles contiennent aussi des extractibles, et certains composés inorganiques. Ces éléments confèrent à la cellule des propriétés biomécaniques de rigidité et d'élasticité, qui peuvent apparaitre contradictoires. En effet, d'une part la structure est rigide permettant le maintien de l'organisme et d'autre part l'enveloppe est souple et extensible assurant la croissance des cellules.

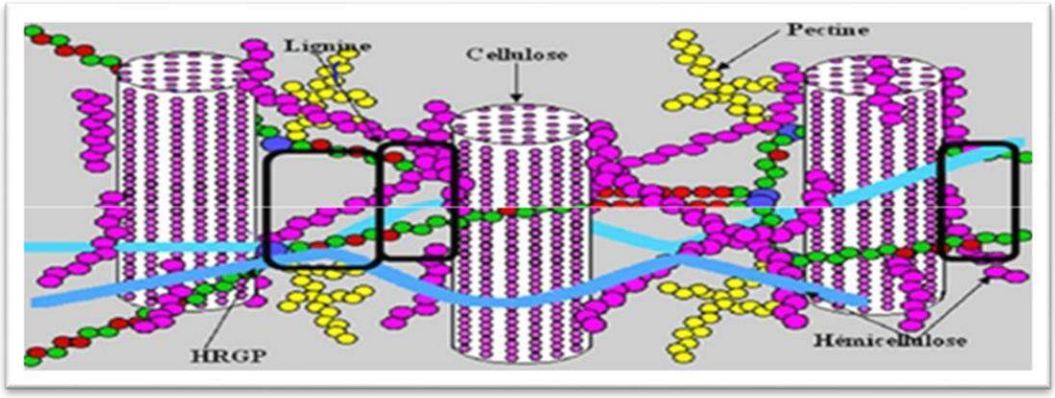


Figure I.17 : Organisation de la cellule végétale

I.11.6. Les avantages et inconvénients des fibres végétales [20]

Parmi les avantages des fibres végétales, on trouve :

- Faible coût,
- Biodégradabilité,
- Neutre pour l'émission de CO_2,
- Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres,
- Pas de résidus après incinération,
- Ressource renouvelable,
- Demande peu d'énergie pour être produite,
- Propriétés mécaniques spécifique importantes (résistance et rigidité),

Parmi les inconvénients, on trouve aussi :

- Absorption d'eau
- Faible stabilité dimensionnelle
- Mauvaise tenue en vieillissement
- Mauvaise tenue en vieillissement
- Faible tenue thermique (200 à 230 ˚C max
- Fibres anisotropes
- Variation de qualité en fonction du lieu de croissance de la météo…
- Pour des applications industrielles, demande de la gestion d'un stock
- Renfort discontinue.

I.12. Les sarments de vigne : sous-produits de la viticulture :

La viticulture est l'une des activités les plus étendus de l'agriculture avec 9,2 millions de tonnes de sous-produits, parmi lesquels 93 % résultent de la taille de la vigne (Sanchez et al., 2002) **[21].**Afin d'améliorer la qualité des raisins, de nombreuses pratiques culturelles sont effectuées chaque année au sein des vignes, tel que l'irrigation, la fertilisation et l'élagage. L'élagage ou la taille de vigne est une étape primordiale impliquée dans le fonctionnement de la vigne. Lataille d'hiver consiste à sélectionner les bourgeons fertiles au dépit de ceux qui poussent sur le vieux bois et qui ne donneront pas de fruits. La taille maintient l'équilibre entre la croissance végétative et fruitière, influence la forme et la taille de la vigne et la quantité et la qualité des raisins produits (Tassiez et al., 2001) **[22].** Le contenu phénolique des sarments de vigne est influencé par le moment de taille. Le contenu maximal en stilbénoïdes est observé dans les sarments de vigne taillés entre fin-février et mi-mars (Zaitsev et al. 2013) **[23].** La masse de sarments résultants de la taille d'une vigne peut varier entre 0,56 et 2,01 kg selon l'année (Reynolds et al., 1996) **[24]** . Les sarments de vigne causent des problèmes environnementaux majeurs concernant leur élimination, puisqu'ils sont soit abandonnés sur le sol, soit brûlés en produisant ainsi des méthoxyphénols (Kjällstrand et al. 1998) **[25]**. La valorisation des sarments de vigne est susceptible de réduire leurs effets écologiques néfastes.

Les études scientifiques antérieures se sont axées sur l'utilisation des sarments pour la production de pâte à papier, d'éthanol (Jiménez et al., 2008)

[24], de charbons actifs (Na bais et al.,2010), d'acide lactique, de bio surfactants (Molde et al., 2007)**[25]**, du DL-3-Phényle (C6H5CH2CH(OH)COOH) (Rodriguez-Pazo et al., 2013)**[26]**, d'additifs alimentaires (Portilla et al.,2008), d'engrais organique (Jiménez Gómez et al., 1993) et d'arômes de fumée (Guillén et al.,1996). De même l'exploitation des sarments en tant que source potentielle d'énergie, par gazéification (Ganan et al. 2006) **[27]** ou production de biocarburants (Mendívil et al. 2013) **[28]**a été étudiée et constitue un biocombustible de qualité **[29].**



Figure I.18 : Les sarments et charpentes de vigne peuvent

I.12.1. Bois des sarments de vigne :

La structure des sarments s'apparente à celle du bois des angiospermes aussi appelé bois feuillus **(Figure I.18).** Le duramen (du latin durale, durer) (appelé aussi bois de cœur ou bois parfait) est une zone sombre constituée de cellules parenchymateuses mortes et de fibres bouchées par des pigments :

Les composés phénoliques. Même si les fonctions conductrices et physiologiques du duramen sont perdues, le duramen garde sa fonction de soutien. De même, la durabilité du bois et sa résistance contre la pourriture et les insectes restent fortement reliées à la présence des pigments et des extractibles du duramen (Hon et al. 2000; Kirker et al. 2013)

[30].L'aubier conduit l'eau et les minéraux des racines par le biais des vaisseaux. Il contient le tissu parenchymateux vivant jouant un rôle physiologique de stockage d'amidon ou de graisse. Le cambium (du latin cambiaire, changer) est une couche de cellule capable de se diviser pour former les tissus constitutifs du bois qui assurent le soutien, la conduction et la réserve. Ayant lieu de l'extérieur vers l'intérieur, la différenciation des cellules fusiformes ou isodiamétriques résulte en la formation de tissus secondaires spécialisés (vaisseaux, fibres, parenchyme, etc.). Le cambium sépare la sève brute de la sève élaborée.

Le liber ou écorce interne, est une partie tendre et fibreuse qui véhicule la sève élaborée par la photosynthèse, des feuilles vers les régions de croissance. Quant à l'écorce externe, appelée aussi rhytidome (du grec rhutidôma, « ride, rugosité »), c'est un tissu mort, riche en extractibles et qui protège contre les agressions extérieures.

I.12.2. L'ultra structure du bois des sarments de vigne :

Il existe dans le bois des cellules longitudinales (direction longitudinale) et des cellules radiales (direction transversale) **(Figure I.19).** Les caractéristiques macroscopiques des bois des angiospermes dépendent de la distribution et du nombre des différents types cellulaires comme les vaisseaux, les cellules parenchymateuses et les fibres (Figure 1.3). Les vaisseaux, qui sont des éléments morts, transportent la sève brute grâce à leur forme de tube assurant la fonction de conduction dans le bois. Les fibres, éléments morts à paroi épaisse, assurent la fonction de soutien et de résistance mécanique. Quant aux cellules parenchymateuses axiales ou radiales, elles sont peu lignifiées et jouent le rôle de réserve stockant les matières nutritives.

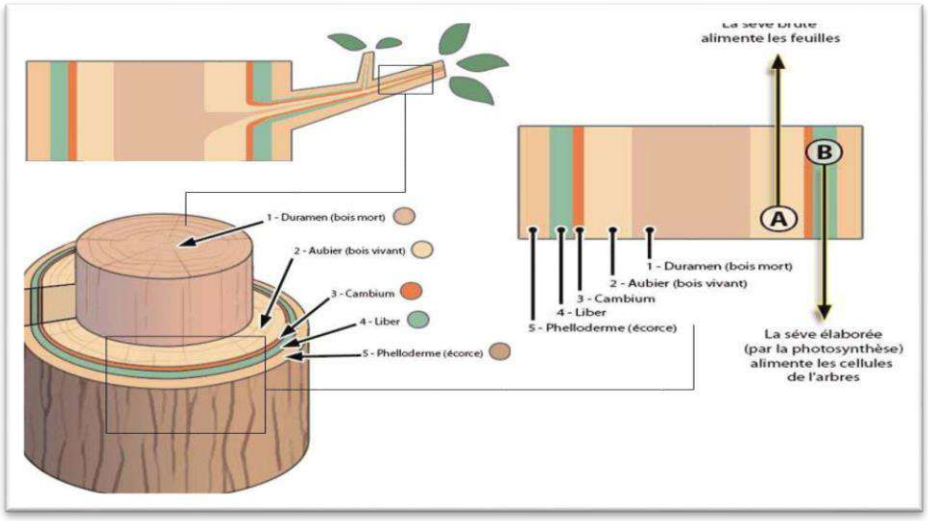


Figure I.19 : Représentation schématique du bois, de ses différentes couches et de la circulation de la sève dans les tissus **[22]**

I.12.3. La composition chimique des sarments de vigne :

Les sarments de vigne sont principalement composés d'holocellulose (cellulose et hémicellulose), de lignine, de cendre et d'extractibles (Hon et al. 2000) **[31].** L'effet de la variété (Airén, Cencibel, Cabernet, Macabeo) et la méthode de culture (systèmes en Goblet et espalier) sur la composition de la vigne, en cendres, holocellulose (cellulose et hémicelluloses) et lignine ont été étudiés (Jiménez et al. 2006) **[32]** La même composition est trouvée pour les différents échantillons. Les valeurs moyennes sont indiquées dans le Tableau 1.2. Des différences dans le contenu en glucides (saccharose, glucose, fructose), protéines, chlorophylle et sels minéraux (P, K, Ca, Fe, Mg, Zn) ont cependant été signalées entre les variétés **(Tableau I.3)**. La richesse minérale des sarments de vigne suggère leur potentielle utilisation comme engrais, étant donné que les minéraux sont des nutriments essentiels pour les plantes. Le contenu minéral quantitatif et qualitatif des

sarments dépend de leurs variétés et du sol où ils sont cultivés (De la Torre et al. 2014) **[33].**

Tableau I.6 : Composition des sarments de vigne en extractibles, cendre, holocellulose et lignine

Cellulose (g/100 g)	Hémicellulose (g/100 g)	Lignine (g/100 g)	Extractibles (g/100 g)	Cendre (g/100 g)	Référence
41,14	26,00	20,27	9,10	3,49	**Jiménez et al., 2006;[34].** **Jiménez et al., 2007) ; [35].**

I.12.4. Stockage des sarments de vigne :

L'effet du stockage des sarments après leur taille sur le niveau de stilbénoïdes contenu est étudié. Des sarments du cépage Pinot noir ont été stockés à température ambiante après leur taille. La concentration en stilbénoïdes a augmenté de cinq fois après 3 mois de stockage. Cette élévation est spécifiquement due à l'augmentation de la concentration du (E)-resvératrol, à l'opposé de la E)-ε-vinifieriez qui reste constante tout au long du stockage. Les résultats étant exprimés par rapport à la matière sèche, cette augmentation n'est pas due à une perte en eau. L'augmentation de la teneur en stilbénoïdes en fonction du temps n'a pas été observée sur des sarments congelés, lyophilisés ou broyés. Ceci suggère une nécessité de cellules initiales intactes afin de déclencher l'augmentation en composés phénoliques, cependant la raison reste inconnue, que ce soit une biosynthèse ou une simple libération de molécules qui sont liées.

I.13 Influence des fibres végétales sur les propriétés mécaniques des BTC :

la stabilisation des BTC, il a été confirmé maintenant que l'emploi des liants minéraux (ciment) et le bitume comme stabilisants améliore la résistance mécanique et l'insensibilité à l'eau des BTC **[36]** Mais la stabilisation des BTC par des fibres et en particulier les fibres végétales n'a pas eu le consensus de tous les chercheurs. Dans se qui suit, on va passer en revue l'influence de la présence des fibres en générale et les fibres végétales en particulier, sur les propriétés mécaniques BTC.

I.13.1. Résistance à la compression :

Les résultats mis en évidence par différents chercheurs sur l'effet des fibres sur la résistance à la compression du BTC renforce de fibres montrent quelques divergences.

Cependant ils sont d'accord pour dire que les fibres n'apportent pas d'amélioration appréciable en compression. Dans certains cas, on a une légère augmentation de la contrainte ultime, dans d'autres une légère diminution.

Dans la matrice, la fibre peut avoir deux effets contradictoires : celui en premier de maintenir les fissures ce qui favorable pour la phase post pic, et celui en second de créer des défauts supplémentaires à l'interface fibres - mortier ce qui peut contribuer à l'endommagement et donc limiter la charge maximale. **[37]**

I.13.2. Résistance à la traction par flexion

L'augmentation de la résistance en flexion du BTC de fibre est beaucoup plus importante, elle peut atteindre 200 % et plus. Elle est due à la déformabilité du matériau. Il y a un déplacement de l'axe neutre durant la flexion. La flexion varie avec la géométrie de la fibre, son orientation et son adhérence à la matrice. Avec les fibres de polypropylène, Dardar a obtenu des augmentations de résistance en flexion beaucoup plus faible est même des diminutions lorsque le pourcentage dépassait 1%, il explique ces diminutions par des mauvaises homogénéités du béton, dues à, des valeurs E/C trop élevées. Ainsi, le pourcentage de 1 % en volume doit être un maximum à ne pas dépasser résistance en flexion de l'éprouvette non renforcée résistance en flexion de l'éprouvette

Renforcée **[38]**

I.13.3. Résistance au choc :

Sous l'action de sollicitation dynamique, les structures en béton de fibres présentent souvent un très bon comportement, en augmentant les charges de rupture, en modifiant parfois les schémas de fissuration. Certains auteurs (Dardar et autre vont jusqu'à comparer le renforcement par des fibres au renforcement par armatures traditionnelles.**[39]**

I.13.4. Résistance à l'usure

La résistance à l'abrasion du béton de fibres n'est pas sensiblement augmentée d'autre auteurs affirment qu'après élimination de la laitance superficielle et mise à jour des fibres, la résistance est améliorée d'environ 15 % **[40]**

I.13.5. Résistance aux agents extérieurs

La résistance du béton renforcé de fibres aux attaques du milieu ambiant, par exemple à l'action du gel, dépend de la qualité de la matrice et ne devrait pas être très différente de celle d'un béton ordinaire.

Les fibres peuvent cependant réduire les dommages dus au gel car elles empêchent la fissuration. Pour obtenir une bonne résistance au gel et à la corrosion par le sel, il faut aussi s'assurer qu'il y a suffisamment d'air entraîné dans le mélange.**[41]**

I.14 Influence des fibres végétales sur les propriétés thermiques des BTC : [41]

La connaissance des caractéristiques thermiques d'un matériau de construction est indispensable pour permettre à l'ingénieur de juger de son application. Pour cela, dans les laboratoires, ingénieurs et chercheurs ont recours à diverses méthodes pour évaluer les propriétés thermiques d'un matériau en fonction de leurs besoins.

L'évolution de la conductivité thermique en fonction de la longueur des fibres pour

Différent teneurs en fibres. Pour le BTC non renforcé, la conductivité thermique décroît de 16% avec l'ajout de 0,5% de fibres de serment de vignes de longueur 5 mm. L'augmentation de la densité du BTC (diminution de la porosité totale) non fibré sous l'effet du compactage contribue à accroître la conductivité thermique. D'autre part, la présence des fibres très peu conductrices de la chaleur, contribue à diminuer la conductivité, ce d'autant qu'elles sont longues et que leur teneur est élevée. Le comportement thermique est donc globalement en phase avec l'évolution de la porosité, comme l'ont relevé certains auteurs L'incorporation de fibres végétales au BTC est une stratégie utilisée depuis des lustres pour la fabrication de matériaux de construction dans

Les régions chaudes, le choix de la nature des fibres, leur teneur et longueur ainsi que la naturel

I.15 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une synthèse bibliographique concernant les constructions en terre ainsi que les BTC renforcées de fibres naturelles de nature végétale. Cette présentation servira à définir les différents types des fibres végétales, leurs structures et leur composition chimique. Aussi, les caractéristiques physico-chimiques de différents types des fibres végétales et spécialement les fibres de sarments de vigne qui ont une influence importante sur leurs propriétés macroscopiques. Il est très important de prendre en compte ces propriétés avant de les utiliser dans le renforcement des matériaux composites biodégradable.

CHAPITRE II :

Matériaux utilisées et Méthodes Expérimentales

INTRODUCTION:

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux utilisés et les techniques expérimentales réalisées dans notre étude. On présente en première partie les Caractéristique physico-mécanique: caractéristiques et les propriétés des matériaux utilisés dans la composition de nos mortiers, à savoir : le ciment, la fibre, le sable, le sol et l'eau de gâchage.

II.1. MATERIAUX UTILISÉES:

II.1.1. Ciment :

Le ciment utilisé dans le cadre de ce travail est désigné sous le nom de MATINE. Ce dernier est un ciment composé, de classe 42.5 et de sous classe B. Il contient donc environ un tiers d'ajouts minéraux.



Figure. II.1 : Ciment utilisé.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat) logements et d'autres constructions civiles(;
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport, etc.) ;
- Secteur hydraulique) barrages, châteaux d'eau, station d'épuration, station de Kidessalement, etc.)
- Secteur industriel.

1. Composition chimique et minéralogique:

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux 5(Cao) à fonction basique et la silice (SiO2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al2O3) et le fer (Fe2O3). Sa composition chimique et minéralogique est résumée dans le tableau II.1. **[1]**

II.1 : Composition chimique et minéralogique de Matine**[1]**.

Analyze chimique						
Designation	Perte au feu %	Résidusinsolubles %	Tenure en sulfates SO_3 %	Teneur en oxyde de magnésium MgO %	Teneurenchlorures %	Teneure nalcalis %
%	**7.50 – 12**	**0.7 – 2**	**2 – 2.7**	**1 – 2.2**	**0.01 – 0.05**	**0.3 – 0.75**
Designation	**Composition hypothétique du clinker**					
%	C_3S %		C2S %	C3A %		C4AF %
	58 – 64		**12 – 18**	**6 – 8**		**10 – 12**

1. Caractéristiques physico-mécaniques:

Propriétés physiques	Consistance normale (%)	**25 – 28,5**
	Finesse suivant la méthode de Blaine (cm^2/g) (NA231)	**3750 – 5250**
	Retrait à 28 jours en µm/m	**< 1000**
	Expansion en mm	**0,3 – 2,5**
Temps de prise à 20 °C (NA 230)	Temps de début de prise (min)	**140 – 195**
	Temps de fin de prise (min)	**195 – 290**
Résistance à la compression (NA 234)	2 jours (MPa)	**≥ 10**
	28 jours (MPa)	**≥ 42,5**

II.1.2. Le sable:

1. Généralités:

Le sable utilisé est un sable moyen de couleur jaunâtre, de provenance de la région de Boughazoul de wilaya de Médéa. Pour les essais physiques sur le sable nous avons utilisé trois échantillons pour chaque type d'essai.

2. Masse Volumique Apparent :

Cet essai est régi par la norme **[2],** elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient [DUPAIN. R étal.].

On détermine la masse volumique apparente par la formule suivante :

$$\rho d = \frac{\text{Masse des granulats secs}}{\text{Volume du récipient}} = \frac{M1 - M0}{V}$$

ρ : Masse volumique absolue

M: Masse des grains solides

M: Masse des grains solides

V2: Volume total (grains solide + eau).

L'essai de La Masse Volumique Apparente doit être réalisé selon la norme **[2].**

3. Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Il ne faut pas confondre ρs avec la masse volumique ρ qui la masse de matériau par unité de volume, celui- ci intégrant à la fois les grains

et les vides. L'essai de La Masse Volumique absolue doit être réalisé selon la norme **[3].**

Les masses volumiques s'expriment en t/m3, en kg/m3, ou en g/cm3.

4. Equivalent de sable :

Cet essai permet de mesurer la propreté du sable, il 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 floculent. Il est défini par la norme **[4].**

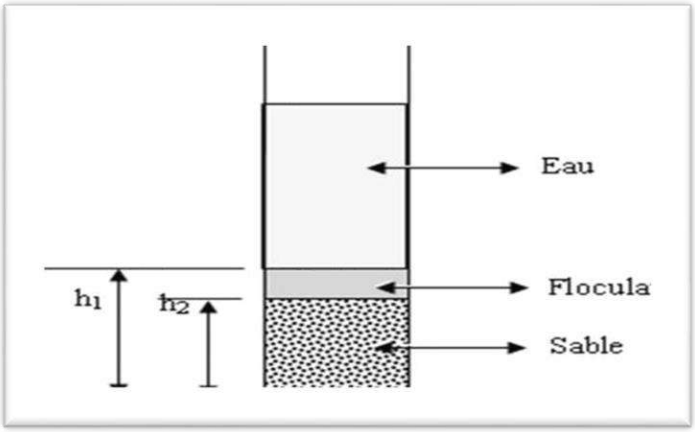


Figure .II.2 : Essai d'équivalent de sable.

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. On agite une quantité de sable dans une solution lavande (eau) dans un récipient tubulaire gradué, selon un processus normalisé, puis on laisse reposer le tout. Au bout de 20minutes, on mesure les éléments suivants :

- **Hauteur h1 :** sable propre +élément fins,
- **Hauteur h2 :** sable propre seulement.

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100.$$

On déduit l'équivalent de sable qui, par convention :

Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) et ES (équivalent de sable au piston).

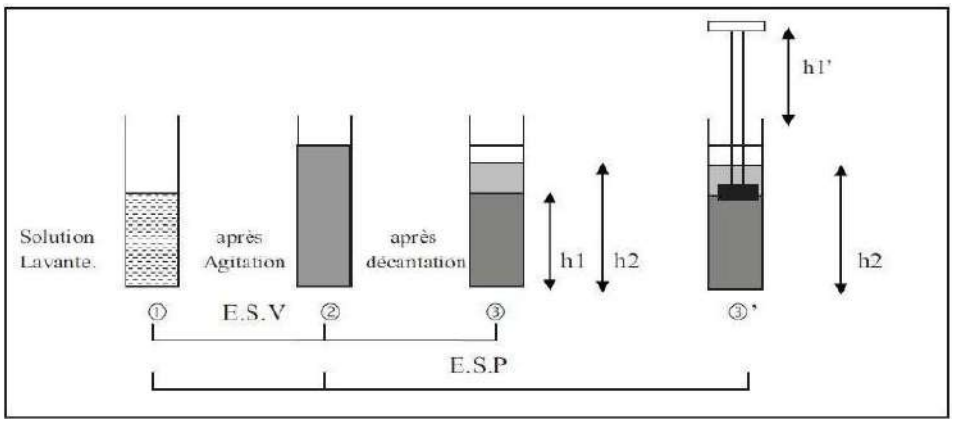


Figure .II.3 : Principe de mesure de l'équivalent de sable.

A partir de l'essai équivalent sable ES, il est possible selon le résultat obtenu, de catégoriser le sable selon état de propreté (sa qualité) et donc d'en définir les possibles applications telles que montrées dans le **tableau(II.3)**

Tableau II.3. Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable **[5].**

E.S à vue	E.S	Nature et qualité du sable
E.S.V < 65	E.S < 60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement, problème d'adhérence, à rejeter pour les bétons de qualité.
65 ≤ E.S.V < 75	60 ≤ E.S < 70	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand on ne craint particulièrement pas le retrait.
75 ≤ E.S.V <85	70 ≤ E.S < 80	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant Parfaitement pour des bétons de haute qualité (valeur optimale E.S = 75, E.S.V = 80).
E.S.V ≥ 85	E.S ≥ 80	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entrainer un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

5. Granulométrie:

L'analyse granulométrique est régie par les normes **[6].** Les granulats sont désignés par d et D, ou d et D représentent la plus petite et la plus grande des dimensions demandées **[7].** L'analyse granulométrique consiste à fractionner le matériau en différentes coupures au moyen de tamis **[8].** Les masses des différents refus sont rapportées à la masse initiale sèche du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique) **[7]**. Une bonne continuité de la courbe granulométrique est nécessaire pour obtenir un mortier maniable **[6].**



Figure II.4 : Tamiseuse électrique.

Le tamisage est l'opération qui consiste à séparer un matériau en différentes fractions au moyen d'une série de tamis de caractéristique connues.



Figure II.5 :L'analyse granulométrique par tamisage.

6. Module de finesse d'un sable (MF):

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis **[6].** Le Tableau II.4 présente la série des tamis employés pour la caractérisation du module de finesse selon la norme prise en compte **[9]** et **[7].**

Le Module de finesse d'un sable donne par la formule suivant :

$$MF = \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis}$$

Tableau II.4 : Séries de tamis employés pour la détermination du module de finesse du sable.

01 Tamis	0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 et 5 mm
02 Tamis	0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 et 4 mm

II.1.3. Le sol:

Les essais sont effectués sur un sol prélevé de la région de **Médéa.**



Figure II.6 : Sol utilisé

Les Caractérisation du sol utilisé sont les suivants :

1. La Teneur En Eau [10]:

Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux par étuvage. Elle consiste à calculer le rapport du poids d'eau que le sol contient au poids de ses éléments secs, après dessiccation à l'étuve à 105° C (50°C dans le cas des sols contenant des éléments organique).

2. Analyse granulométrique :

a. L'analyse granulométrique par tamisage [11]:



Figure II.7: Tamiseuse

On appelle (analyse granulométrique) l'opération permettant de déterminer la granulométrie : c'est-à-dire la détermination de la grosseur des grains et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant les échantillons.

Elle se fait sur la fraction du sol ayant un diamètre supérieur à 0.08mm.

b. L'analyse granulométrique par sédimentométrie [12] :

L'analyse granulométrique par sédimentométrie permet de déterminer la distribution en poids des particules fines (de diamètre inférieur à 80u) d'un sol en fonction de leurs dimensions. Elle complète l'analyse par tamisage. La séparation par décantation consiste à déterminer les diamètres équivalents des

particules sphériques en fonction de leur vitesse de chute dans un environnement visqueux afin d'obtenir le tracé d'une courbe granulométrique pour des particules inférieur à 0,08 mm.



Figure II.8:L'analyse granulométrique par sédimentométrie.

3. Limites d'Atte berg [13] :

Cet essai s'applique généralement sur les sols composant un pourcentage des fines (80 µm) supérieur à35%.Basé sur la détermination des deux limites d'Atte berg (Limite de Liquidité à la coupelle et Limite de Plasticité au rouleau) s'applique aux sols dont les éléments passent à travers le tamis de dimension nominale d'ouverture de maille 400µm.

Pour les besoins du présent essai, les définitions suivantes s'appliquent:

- ***Limite de liquidité WI*:** teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.
- ***Limite de plasticité Wp*:** teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.
- ***Indice de plasticité I_P* :** différence entre les limites de liquidité et de plasticité.Cetindicedéfinitl'étenduedudomaineplastique (voir la **fig. II.3**).

IP=WI-WP

- ***L'indice de consistance*** IC= (WI-Wnat)/ (WI-WP). Il permet de

caractériser la consistance d'un sol :

- **IC** inférieur à une valeur de l'ordre de 0,7 : sols peu Consistants avec lesquels on risque d'avoir des problèmes de traficabilité.
- **IC** supérieur à une valeur de l'ordre de 1,3 : sols de consistance élevée avec lesquels on risque d'être confronté à des problèmes d'extraction.

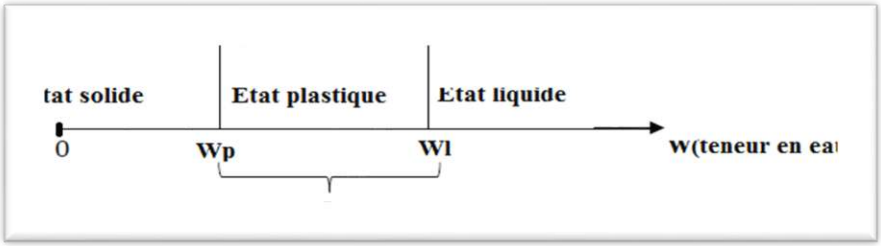


Figure II.9: Limites d'Atte berg.

L'essaie effet s'effectue en deux phases:

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



Figure II.10: Boite de Casa grande et la plaque de verre.

II.1.4.L'eau de gâchage :

L'eau utilisée est celle du robinet du laboratoire de génie civil de

l'université de Médéa.

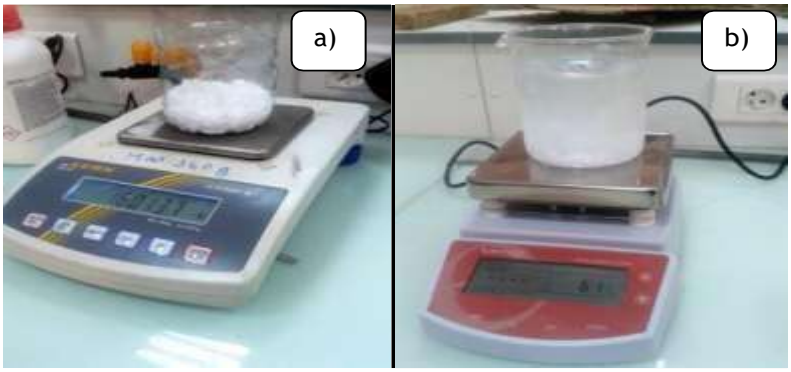
II.2.5.Le Fibres de vigne :

1. Origine :

Les fibres végétales utilisées dans notre recherche sont les fibres de tige de vigne, de provenance de la région de wilaya de Médéa.

2. Extraction des fibres :

Les fibres de la tige de vigne sont découpées manuellement à 4 cm de longueur et sont bien lavées à l'eau de javel pour éliminer la poussière. Elles sont ensuite séchées dans l'étuve à 60°C pendant 24h afin de garantir une teneur en humidité constante. A ce stade, les fibres séchées sont désignées sous le nom de fibres brutes. Les traitements de surface à l'aide de NAOH sont ensuite appliqués sur les fibres sèches. Les tiges de vigne sont traitées avec une solution de NaOH concentration de 2% durant une48h.



a)**NaOH** b) **NaOH dilué l'eau distillée.**

Figure II.12 : Préparation de solution

3. Traitement chimique des fibres :

Le traitement à l'hydroxyde de sodium des fibres de la tige de vigne consiste à tremper dans une solution contenant du NaOH à une concentration donnée pendant une durée de temps. Deux paramètres sont prédominants pour ce type de traitement : la concentration de la soude et la durée d'exposition des fibres. Etant donné le volume important de ce travail, on a choisi de prendre en considération

uniquement le facteur de la concentration en maintenant fixe la durée d'immersion des fibres de la tige de vigne dans la solution alcaline.

En ce qui concerne la concentration du NaOH on été à 10%. Après immersion pendant 2 heures, les fibres sont lavées à l'eau distillée à plusieurs reprises pour enlever les dernières traces de soude qui restent collées à la surface des fibres. Enfin, elles sont séchées à l'étuve à 60°C pendant 24 heures.

4. Traitement des fibres par la résine :

Le but est d'isoler les fibres végétales de l'humidité, et la solution consiste à les introduire dans la résine.



Figure II.12 : traitement a la résine des fibres de tige de vigne

5. Traitement thermique des fibres:

Les fibres de la tige de vigne sont placées dans une étuve de séchage à une température de 70°C durant 5 heures pour améliorer leur propriété mécanique.



Figure II.13 : Traitement thermique l'étuvage.

6. Absorption des fibres de vigne :

Les fibres tige de vigne ont été séchées durant 1h dans une étuve à 60°C avant l'immersion dans l'eau distillée à la température ambiante. Puis, elles ont été retirées de l'eau, au fur et à mesure, essuyé soigneusement avec du papier, ensuite la masse des échantillons a été mesurée. Le taux d'absorption d'eau a été calculé suivant la formule:

Taux d'absorption d'eau (%) = [(M2-M1)/M1].100

M1: La masse de l'échantillon avant l'immersion (g);

M2: La masse de l'échantillon après l'immersion (g).

Les résultats obtenus sont représentés sur le tableau suivant :

Tableau II.5 : Absorption d'eau de la tige de vigne.

	1min	2min	3min	4min	5min	15min	30min	1h	2h	3h
Masse M1(g)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Masse M2(g)	5	5	5	6	6	6	6	6	7	8
Taux d'absorption d'eau(%)	0	0	0	20	20	20	20	20	40	60

II. 2. Formulation des BTC :

II. 2.1. Compactage des BTC [14] :

Le compactage de sol vise à améliore les propriétés Géotechnique des sols Il est fonction de quatre principales variables:

- La masse volumique de sol sec.
- La teneur en eau.
- L'énergie de compactage.
- Le type de sol (étalement granulométrique, présence de minéraux argileux.

II.2.2.Optimisation de la teneur en eau :

La teneur en eau d'un sol, d'un granulat ou d'un matériau de façon plus générale est une action des plus courantes en géotechnique et également des plus fondamentales. Cette valeur permet en effet d'exprimer beaucoup d'autres valeurs en les ramenant à une expression de masse sèche. La teneur en eau d'un matériau est variable dans le temps et dépend de nombreux facteur**.**

Dans un ouvrage et notamment sous une structure, les matériaux naturels vont progressivement acquérir une teneur en eau relativement stable que l'on qualifiera de teneur en eau d'équilibre. Cette notion se retrouve principalement dans les dimensionnements utilisant les indices C.B.R. pratique très couramment appliquée avant 2013 dans le dimensionnement des sols supports de chaussées aéronautiques.

La teneur en eau à long terme ou teneur en eau d'équilibre après la construction de la chaussée est obtenue après au moins un cycle saisonnier. La teneur en eau d'équilibre, toutes choses égales par ailleurs, dépend de la période de construction. Schématiquement, on constate que lorsque les terrassements ont lieu en été, la teneur en eau d'équilibre (w_{es}) est plus faible que lorsqu'ils ont lieu en hiver (w_{eh}).

En fait, sauf sous la nappe où ils sont saturés, les sols ont une teneur en eau d'équilibre qui dépend du potentiel de succion auxquels ils sont soumis. Plusieurs facteurs entrent en jeu :

- l'environnement hydrique général lié au type de climat,
- la profondeur de la nappe, lorsqu'elle existe (au delà d'une profondeur de 5 m, elle est la plupart du temps considérée comme sans effet),
- Les infiltrations gravitaires de divers types évoquées,
- Les mouvements d'eau par capillarité des zones à forte humidité ou faible succion vers les zones moins humides ou à succion plus élevée (sol support après une période sèche selon la norme **[15].**

II.2.3. Confection et conservation des éprouvettes :

1. Préparation des éprouvettes :

Le malaxage est effectué au moyen d'un malaxeur spécifié est muni d'un axe vertical, à trois vitesses et de capacité de cinq (5) litre. Les mélanges sont préparés selon le protocole suivant :



Figure II.14: malaxage.

Puis on suit les étapes suivantes :

1. On verse le sol passé au tamis de 5mm au préalable ;
2. On ajoute par la suite le ciment ;
3. Puis en ajoute le sable après on malaxe pendant 30 sec vitesse lente ;
4. On ajoute ensuite l'eau, et sans plus tarder les fibres ;

5. on malaxe 30 sec encore en vitesse rapide ;
6. On remplit les moules avec le mélange molle en 3 couches et chaque fois on essaye de bien rétablir les moules avec un poids.
7. Ensuite on pose les moules sur la table vibrante et on laisse tomber en-dessus une charge d'environs de 20 Kg et on vibre pendant un minute.



Figure II.15 : Préparation des éprouvettes

2. Composition des BTC :

Les fibres de tiges de vigne sont incorporées dans les BTC par substitution volumiques du sol avec des pourcentages de (0.5 à 3%).

BTC	Sol *Kg/m3)*	sable *Kg/m3)*	Ciment *Kg/m3)*	Eau *l/m3)*	Fibres de tige le vigne	
					(Kg/m3)	*(%)*
BTCT	*915*	*450*	*135*	*270*	*0*	*0*
BTC0.5H	*907.5*	*450*	*135*	*270*	*7.5*	*0.5*
BTC1H	*900*	*450*	*135*	*270*	*15*	*1*
BTC1.5H	*892.5*	*450*	*135*	*270*	*22.5*	*1.5*
BTC2H	*885*	*450*	*135*	*270*	*30*	*2*
BTC2.5H	*877.5*	*450*	*135*	*270*	*37.5*	*2.5*

BTC3H	*870*	*450*	*135*	*270*	*45*	*3*

Tableau II.6 : Composition des BTC à base de fibres de tiges de vigne

3. Démoulage et conservation des éprouvettes:

Après 24 heures du coulage, les éprouvettes sans décoffrées et conservées soit à l'aire libre d'un climat moyen du Laboratoire pour effectuer les différents essais.



Figure II.16 : Conservation des éprouvettes

II.3.Protocole expérimentale :

II.3.1. Résistance mécanique à la compression [16] :

L'essai de compression est exécuté sur une presse pour matériaux durs, sur les demi- éprouvettes provenant de l'essai de flexion. Si la compression a lieu plus de 20mn après celui de la flexion, il faut conserver les demi éprouvettes dans l'armoire humide.

Chaque demi prisme est essayé en compression sur ses faces de moulage, sous une section de 40 × 40 mm, entre deux plaques de métal dur d'au moins 10mm d'épaisseur, de 40 ± 10,1mm de largeur, de longueur supérieur à 40mm et dont la tolérance de plénitude est de 0,01mm. Ces plaques sont en acier dur d'une dureté Vickers d'au moins 600, ou de préférence en carbure de tungstène.

Le demi-prisme est placé entre elles de manière que son extrémité intacte dépasse d'environ 1cm.

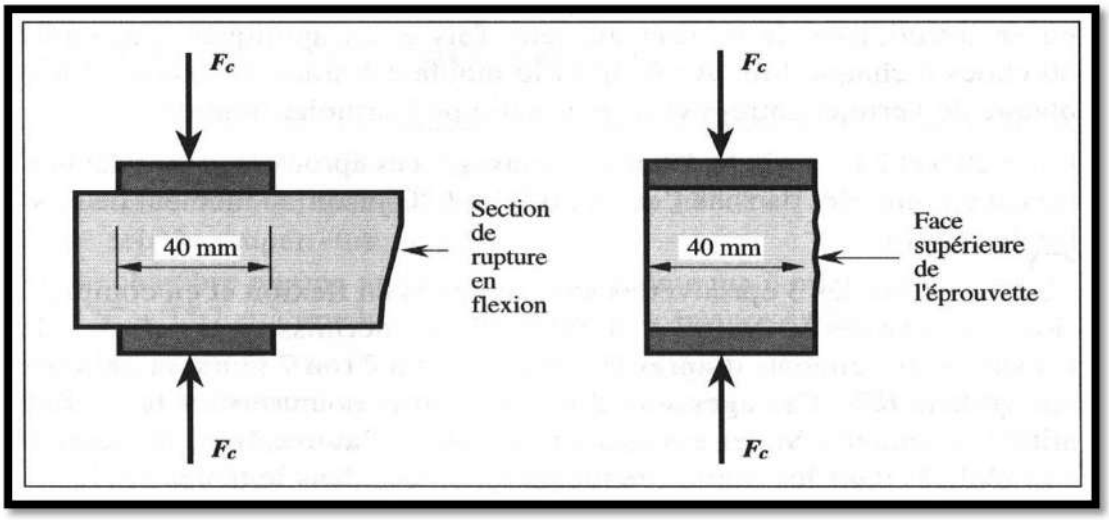


Figure II.17 : Résistance mécanique à la compression

d'une presse répondant aux spécifications du fascicule de documentation FD P n°18-308 « Spécification de construction, d'emploi et de contrôle des



Figure II .18 : Essai de compression simple.

II.3.2. Essai traction par flexion :

L'essai a été effectué selon la norme **[17].**Les éprouvettes sont testées après Une cure de 28 jours dans l'eau. On a pris la moyenne de toutes éprouvettes. L'éprouvette repose sur deux appuis simples distants de l =100 mm et la charge F est Appliquée au centre de l'échantillon, symétriquement par rapport aux appuis.

Les composites de section **b x h** étant supposés homogènes, la contrainte normale.



Figure II .19: Essai traction par flexion.

II.3.3. Conductivité thermique :

La conductivité thermique des échantillons de mortier a été déterminée en fonction de la procédure similaire à celle décrite dans **[18]**. La conductivité thermique à diverses humidités du mortier, après 28 jours de durcissement, a également été déterminée. La conductivité thermique est mesurée après la saturation totale et après différents temps de séchage dans l'étuve à 60°C, afin d'examiner l'effet de la teneur en eau sur la conductivité thermique des échantillons.



Figure II .20: Essai de Conductivité thermique**.**

II.3.4. Essai de Retrait (NFP 15-433) [19]:

Il consiste à mesurer la variation dimensionnelle longitudinale relative par rapport à la longueur initiale de l'éprouvette après 24 heures de moulage (L_0 = 16cm). L'axe longitudinal de l'éprouvette étant vertical. On prend la moyenne des trois mesures sur trois éprouvettes.

Si la variation de longueur d'une des 3 éprouvettes dépasse de plus de 0.03 mm celle de l'éprouvette avant la variation la plus voisine. Il y a lieu d'en rechercher la cause (poussière, mauvais contact, descellement des plots …etc.) et si celle-ci peut être éliminée l'éprouvette doit être rebutée.



Figure II .21 : essai de retrait.

II.3.5. Imbibition par capillarite [20]:

Les essais sont effectués sur des éprouvettes 4*4*16 cm3Les surfaces latérales des échantillons sont rendues imperméables et leur base est Immergée sur 5 mm. Le bac d'essai est ensuite couvert afin de limiter l'évaporation et Conserver une humidité relative de 100% autour des échantillons .La seule Précaution à prendre consiste, avant chaque pesée et a l'aide d'un chiffon légèrement humide, a éliminer la pellicule d'eau retenue sur la face inferieure de l'échantillon. Le suivi de masse des éprouvettes est réalisé à [1min ; 2min ; 3min ; 10min ; 15 min ; 30 min ; 1h ; 2h ; 4h ; 8h ; 12h ; 24h et 48h]. Les surfaces latérales des échantillons sont rendues imperméables et leur base est Immergée sur 5 mm. Le bac d'essai est ensuite couvert afin de limiter l'évaporation et Conserver une humidité relative

de 100% autour des échantillons La seule Précaution à prendre consiste, avant chaque pesée et à l'aide d'un chiffon légèrement humide, à Éliminer la pellicule d'eau retenue sur la face inferieure de l'échantillon. Le suivi de masse des éprouvettes est réalisé à [1min ; 2min ; 3min ; 10min ; 15 min ; 30 min ; 1h ; 2h ; 4h ; 8h ; 12h ; 24h et 48h].



Figure II.22 : Imbibition par capillarité

II.3.6. Essai de porosité accessible à l'eau :

Cet essai consiste à mesurer le pourcentage des vides connectés avec la surface, à l'intérieur de la masse du mortier, conformément à la norme **[21]** NF P 18-459. La porosité est mesurée sur des éprouvettes prismatiques âgées de plus de 28 jours. Une éprouvette de chaque formule a été soumise à un essai de flexion 3 points jusqu'à la rupture. Les deux demi-éprouvettes obtenues ont été rectifiées après la rupture. Leurs extrémités ont été sciées d'environ 0.8 cm afin d'obtenir deux demis échantillons prismatiques.

Les échantillons sont par la suite séchés à 60°C jusqu'à stabilisation de leur masse. On place ensuite les demi-éprouvettes dans un dessiccateur étanche. Après fermeture du récipient, à l'aide d'une pompe à vide connectée au dispositif, on fait le vide du récipient jusqu'à ce que l'on atteigne une pression voisine de 100 mbar. Pour vérifier l'achèvement du dégazage des échantillons, on déconnecte le récipient de la pompe à vide et on s'assure sur le manomètre que la pression ne remonte pas. On maintient la pression réduite pendant 44 h puis on casse le vide et on ouvre le récipient. À la fin de cette étape, une pesée dans l'air est réalisée suivie d'une pesée hydrostatique des échantillons (figure 2.30).

La porosité accessible à l'eau, ε, exprimée en pourcentage en volume est donnée par la relation suivante **:**

$$\varepsilon = \frac{Mair - Msec}{Mair - Meau} \times 100$$

Meau : la masse en grammes de la demi-éprouvette immergée dans l'eau.

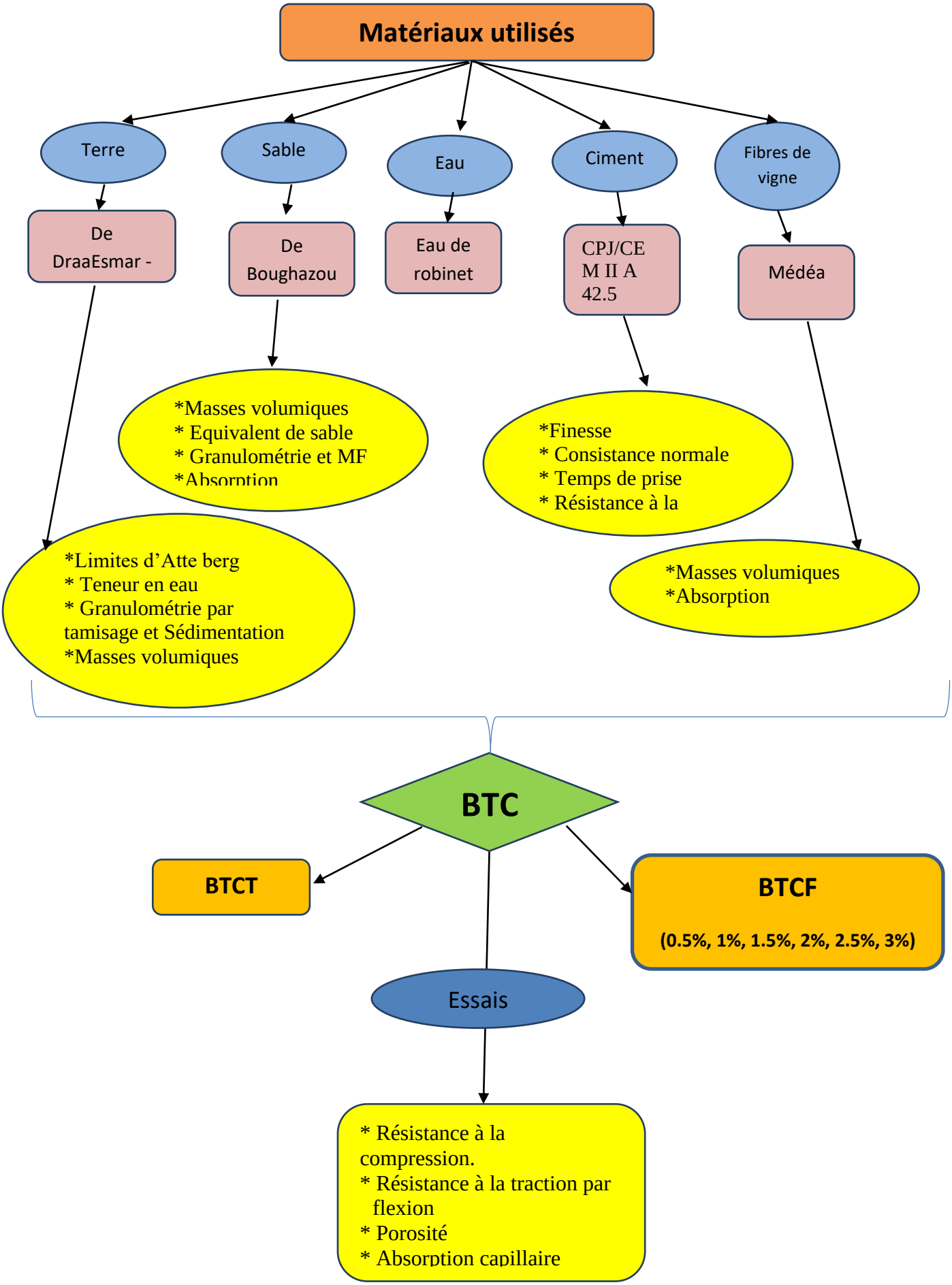
Mair : la masse en grammes de la demi-éprouvette imbibée, pesée dans l'air.

M sec : la masse en grammes de la demi-éprouvette sèche.



Figure II.23 : Mesure de la porosité

II.4. Variables étudiées



II.5.Conclusion :

La valorisation des fibres de tige de vigne dans la masse des BTC constituent une alternative économique et écologique importante dans certains pays qui encouragent la construction en terre. Cette étude présente une contribution à l'étude de l'effet des fibres de tige de vigne sur les propriétés mécaniques et thermiques des BTC, en traitant les points suivants :

- Caractérisation des matériaux utilisés dans la confection des BTC ;
- La méthode de traitement des fibres.
- La méthode de fabrication ;
- La procédure expérimentale et les essais réalisés sur BTC renforcés

Recommandations :

- ✓ Etude de là durabilité des BTC à base de différent type de fibre sarment de vigne.
- ✓ Valorisation d'autre type de fibre végétale comme un renfort pour les BTC.
- ✓ Etude gel et dégel des BTC à base de différent type de fibre de sarment de vigne.
- ✓ Remplacer le ciment par d'autre liant pour le BTC à base de fibre de sarment de vigne et comparer le résultat.

Références

Bibliographiques

[1] :https://archeorient.hypotheses.org/5598

[2] : http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guyane_-Le_materiau_terre.pdf

[3] : Yasmine Terky, « exposition de terre et d'argile », 2013, Alger,

[4] :http://middleeastrevised.com/2014/03/12/shibam-the-mud-brick-beauty-of-yemen/).

[5]: Site web http://dona-rodrigue.eklablog.fr/maisons-traditionnelles-du-fujian-tulou-housechine- a49679994).

[6]: https://www.archipill.tn/archimag/les-7-avantages-de-la-construction-en-terre-lexpertise-de-thierry-wallraf/

[7]:https://www.archipill.tn/archimag/les-7-avantages-de-la-construction-en-terre-lexpertise-de-thierry-wallraf/

[8]:https://www.archipill.tn/archimag/les-7-avantages-de-la-construction-en-terre-lexpertise-de-thierry-wallraf/

[9]:https://www.archipill.tn/archimag/les-7-avantages-de-la-construction-en-terre-lexpertise-de-thierry-wallraf/

[10]:https://www.archipill.tn/archimag/les-7-avantages-de-la-construction-en-terre-lexpertise-de-thierry-wallraf/

[11]:https://www.archipill.tn/archimag/les-7-avantages-de-la-construction-en-terre-lexpertise-de-thierry-wallraf/

[12]:http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guyane_-Le_materiau_terre.pdf

[13]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[14]: https://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[15]: https://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[16]:https://www.approcheecohabitat.org/images/Ecopole/Materiautheque/Construction/C6_Bauge_v2.pdf

[17]:Laetitia FONTAINE Cohésions et comportement mécanique de la terre comme matériau de construction,

[18]:https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/237179/1/Construct.terre.pdf

[19]:Optimisation des méthodes d'extraction des composés phénoliques des raisinsLibanais et de leurs coproduits par Par Hiba N. RAJEHA

[20]: Durand G., "les bétons à base de fibres d'acier" CERILH stage26-02-1986 N° 6 p6 et Annales N°347 Février 1977 pp 48-49.

[21]: https://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[22]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[23]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[24]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[25]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[26]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[27]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[28]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[29]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[30]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[31]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[32]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[33]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[34]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[35]:Lhttps://www.bioenergie-promotion.fr/54033/30-janvier-2018-la-valorisation-des-sarments-de-vigne-et-bois-de-taille/

[36]: Houben H, Guillaud H. Earth construction–a comprehensive guide. London: Intermediate Technology; 1994

[37]: Millogo Y, Morel J-C, Aubert JE, Ghavami K. Experimental analysis of pressed adobe blocks reinforced with Hibiscus cannabinus fibers. Constr Build Mater; 52:71–78, 2014.

[38] : Ramaswamy HS, Ahuja BM, Krishnamoorthy S. Behavior of concrete reinforced with jute, coir, and bamboo fibres. Int J Cem Compos Lightweight Concr;5(1):3–13, 1983

[39] : mémoire fin d'etude Caractérisations physico-mécaniques d'un bloc de terre stabilisé avec la chaux à base des fibres (déchet de pneu usés - Verre)

[40] : mémoire fin d'etude Caractérisations physico-mécaniques d'un bloc de terre stabilisé avec la chaux à base des fibres (déchet de pneu usés - Verre)

[41] : mémoire fin d'etude Caractérisations physico-mécaniques d'un bloc de terre stabilisé avec la chaux à base des fibres (déchet de pneu usés - Verre)

[1] : Ciment matine, Fiche Technique, Lafarge Algérie, Réf : DC/FT MT.v03.

[2] : EN 1097-3 : granulat, Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 3 : Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire, indice de classement : P 18-650-3, version française 6, 1998.

[3] : EN 1097-6 : granulat Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 6 , indice de classement : P 18-650-6, 1998.

[4] : XP P 18-598 : Granulats- Equivalent de sable, AFNOR, 1991.

[5] : CHABIA, Raihana, 2016. Contribution à l'étude des caractéristiques physico- mécaniques de béton se sable de dunes et l'influence de milieux de coacervation, mémoire mastère, Université Ouargla.

[6] : NF EN 933-2 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 2 : Détermination de la granularité — Tamis, dimensions nominales des ouvertures, 1996 Indice de classement : P 18-622-2, 1996.

[6] : XP P 18-540 : Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement: P 15-540, 1997.

[7] : F. GABRYSIAK : « Matériaux - Les Granulats - Chapitre 2 », Académie de Nancy- Metz, http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment_Pro/. P 7.

[8] :R. DUPAIN, R. LANCHAN & J.-C. SAINT-ARROMAN : « Granulats, Sols, Ciments et Bétons », Editions Casteilla, 2ème édition conforme aux normes européennes, 2000.

[9] : - GEORGES DREUX, JEAN FESTA « Nouveau guide du béton et de ses constituants» huitième édition ,2002.

[10] : NF P 94 050 : La teneur en eau.

[11] : NF P 94 -056 : AFNOR (1996) Norme Française : Sols : Reconnaissance et Essais – Analyse granulométrique, méthode de tamisage par voie humide.

[12] :https://www.academia.edu/35325043/Compte_rendu_ANALYSE_GRANULOMETRIQUE_PAR_SEDIMENTOMETRIE_R%C3%A9alis%C3%A9.

[13] : NF P 94-051 : Limite d'Atterberg.

[14] : NF94-093 : Compactage (Proctor normal-Proctor modifié).

[15] : NF P94-050 : sol support après une période sèche.

[16] : NF P 15-471 : Résistance mécanique à la compression**.**

[17] : NF P 18 – 407 : Essai de traction par flexion.

[18]: ASTM D5930-97: Standard Test Method for Thermal Conductivity of Plastics by Means of a Transient Line-Source Technique, 2001.

[19]: NFP 15-433: Essai de Retrait.

[20]: *NF B10-502* (1973) : coefficients de *Washburn* (Imbibition par capillarite).

[21] : NF P 18-459 : Essai de porosité accessible à l'eau**.**