



**UNIVERSITÉ MOHAMED BOUDIAF M'SILA
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE**

Département de Génie Civil

**MÉMOIRE
Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER**

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux De Génie Civil

Par : Idriss Oucif ET Badis Senouci

Intitulé

**Effet de l'incorporation des fibres sur les
caractéristiques mécaniques du béton d'argile stabilisé**

Soutenu devant le jury composé de :

**Pr. RAHMOUNI Zine
El Abidine**

Dr. BOUALAG Saida

**Dr. AMRIOU
Abderrachid**

Université : M'SILA

Université : M'SILA

Université : M'SILA

Président

Examineur

Encadreur

Année universitaire: 2022 /2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ
الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu de nous avoir donné la force de finir ce modeste travail de recherche dans les meilleures conditions.

Nous tenons à remercier par cette occasion, notre encadreur Dr AMRIOU Abderachid pour leurs conseils qui ont permis de mener à bien ce mémoire.

Comme nous remercions nos parents, nos camarades, nos amis et tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

CE MODESTE TRAVAIL EST DEDIE

À NOS FAMILLES À Chaïma

À NOS AMIS

À NOTRE ENCADREUR DR AMRIOU

ABDERRACHEID

NOUS AVOIR GUIDE ET ORIENTE.

À CHAQUE PROFESSEUR QUI NOUS

A APPRIS LES LETTRES

A TOUS CEUX QUI NOUS

CONNAISSENT

Résumé :

Dans le but de réduire la consommation de l'énergie et la production du CO₂ dans les usines de ciment, les matériaux écologiques de construction issue de terre crue sont aujourd'hui de grande importance.

L'objectif principal du présent travail est d'étudier l'effet de l'incorporation de fibres naturel sur les caractéristiques du béton d'argile issu de terre crue, principalement les résistances mécaniques à la compression, à la flexion et sur la durabilité suite à des essais de séchage/mouillage.

Les essais sont réalisés sur des échantillons confectionnés à base d'argile, de granulats concassé ou naturel et du ciment comme stabilisant, ensuite l'incorporation d'un pourcentage de fibres naturel.

Dans ce cadre, il a été confectionné plusieurs mélanges à base d'argile avec 8% de ciment en variant le pourcentage de granulats (0, 10, 20, 40, 60, 80 et 100 %) et enfin l'incorporation de 0.4% (du poids sec du mélange) de fibres. Les échantillons ont été conservés à l'intérieur du laboratoire à une température de l'ordre de T= 23 °C pendant 28 jours. Les résultats indiquent que la résistance à la compression et la durabilité du béton de terre sont influencées par la présence de fibres, type et pourcentage des granulats.

Mots Clés : ciment, matériaux écologiques, béton d'argile, compression, flexion, fibres, durabilité

ملخص

من أجل تقليل استهلاك الطاقة وإنتاج ثاني أكسيد الكربون في مصانع الأسمنت، تعتبر مواد البناء البيئية من التربة الخام ذات أهمية كبيرة اليوم.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة تأثير دمج الألياف الطبيعية على خصائص الخرسانة الطينية من التربة الخام، وخاصة المقاومة الميكانيكية للضغط والانحناء والمتانة على اختبارات التجفيف / الترطيب.

تجرى الاختبارات على عينات مصنوعة من الطين أو الركام المسحوق أو الطبيعي والاسمنت كمتبث ثم دمج نسبة من الألياف الطبيعية.

في هذا السياق، تم تصنيع العديد من الخلائط القائمة على الطين من الأسمنت بنسبة 8 % من خلال تغيير النسبة المئوية للركام (0، 10، 20، 40، 60، 80 و100 %) وأخيراً دمج 0.4 % (من الوزن الجاف للركام). الخليط من الألياف. تم حفظ العينات داخل المختبر عند درجة حرارة تتراوح بين $T = 23$ درجة مئوية لمدة 28 يوماً. تشير النتائج إلى أن مقاومة الانضغاط وقوة التحمل للخرسانة الأرضية تتأثر بوجود الألياف ونوع ونسبة الركام.

الكلمات المفتاحية: أسمنت، مواد صديقة للبيئة، خرسانة طينية، ضغط، انحناء، ألياف، ديمومة

ABSTRACT

In order to reduce energy consumption and co2 production in cement factories, ecological construction materials from raw earth are of great importance today.

The main objective of this work is to study the effect of the incorporation of natural fibers on the characteristics of clay concrete from raw earth, mainly the mechanical resistance to compression, bending and durability. to drying/wetting tests.

The tests are carried out on samples made from clay, crushed or natural aggregates and cement as a stabilizer, then the incorporation of a percentage of natural fibers.

In this context, several clay-based mixtures were made with 8% cement by varying the percentage of aggregates (0, 10, 20, 40, 60, 80 and 100%) and finally the incorporation of 0.4% (of the dry weight of the mixture) of fibers. The samples were kept inside the laboratory at a temperature of the order of $T= 23^{\circ}\text{C}$ for 28 days. The results indicate that the compressive strength and durability of earth concrete are influenced by the presence of fibers, type and percentage of aggregates.

Keywords: cement, green materials, clay concrete, compression, bending, fibers, durability

Liste des tableaux

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIE ET PRESENTATION		
Tableau_I_1 :	Brève description de quelques techniques traditionnelles de construction en terre crue	24
Tableau_I_2	Résumé des différents types d'argile	35
Tableau_I_3	Liste des différents types des ciments courants normalisés par la norme n f p15 301	40
Tableau_I_4	Les classes du ciment selon la norme NF en 196-1	41
Tableau_I_5	Principaux avantages et inconvénient des fibres végétales comme renforts	50
CHAPITRE II : MATERIAUX DE L'ETUDE ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES		
Tableau_II_1	Analyse granulométrique pour d'argile verte	63
Tableau_II_2	Les résultats obtenus pour l'essai de la limite liquidité de argiles	65
Tableau_II_3	Les résultats obtenus par l'essai de la limite plasticité de argiles	66
Tableau_II_4	Valeurs au bleu de méthylène par l'essai à la tâche	67
Tableau_II_5	Module de finesse du sable	69
Tableau_II_6	La nature du sable en fonction des mesures par l'équivalent de sable selon la norme (NF P 18-598)	70
Tableau_II_7	Équivalent du sable de dun	71
Tableau_II_8	La masse volumique absolue de sable de dune (Boussaâda	72
Tableau_II_9	La masse volumique apparente à l'état lâche	74
Tableau_II_10	La masse volumique apparente à l'état compact	74
Tableau_II.11	Résultats de la masse volumique	74
Tableau_II_12	Masse volumique apparente du gravier à l'état lâche	76
Tableau_II_13	Masse volumique apparente du gravier à l'état compact	76
Tableau_II_14	Composition des mélanges (sable concassé, sans fibres)	80
Tableau_II_15	Composition des mélanges (sable concassé, avec 0.5% de fibres)	81
Tableau_II_16	Composition des mélanges (sable de Boussaâda, sans fibres)	81
Tableau_II_17	Composition des mélanges (sable de Boussaâda, avec 0.5% de fibres)	82
Chapitre III : Résultats et discussion		
Tableau_III_1	Tableau III 1. Résistance à la compression (sable concassé sans gravier)	88

Tableau _III 2.	Tableau _III 2. Résistance à la compression (sable Boussaâda sans gravie)	88
Tableau _III 3.	Tableau _III 3. Résistance à la compression (sable Boussaâda avec gravie)	90
Tableau _III 4.	Tableau _III 4. Résistance à la flexion (sable concassé sans gravie)	92
Tableau _III 5 :	Tableau _III 5 : Résistance à la flexion (sable concassé sans gravier)	94
Tableau _III 6	Tableau _III 6 : mélanges (sable concassé sans gravies et sans fibre)	96
Tableau _III 7	Tableau _III 7 : mélanges (sable Boussaâda sans gravies et sans fibre)	97
Tableau _III 8	Tableau _III 8 : mélanges (sable concassé avec gravies et sans fibre)	98
Tableau _III 9	Tableau _III 9 : mélanges (sable boussaâda avec gravies et sans fibre)	99
Tableau _III 10	Tableau _III 10 : mélanges (sable concassé sans gravies et avec fibre)	100
Tableau _III 11	Tableau _III 11 : mélanges (sable Boussaâda sans gravies et avec fibre)	101
Tableau _III 12	Tableau _III 12 : mélanges (sable concassé avec gravies et avec fibre)	102
Tableau _III 13	Tableau _III 13 : mélanges (sable boussaâda avec gravies et avec fibre)	104

Listes des figures

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIE ET PRESENTATION		PAGE
Figure _I 1	Carte de répartition des constructions de terre en le monde.	19
Figure _I 2	Constructions réalisées en blocs de terre comprimée	20
Figure _I 3	Constructions en blocs de terre la région Qourara.	21
Figure _I 4	Exemple de Fabrication d'Adobe	23
Figure _I 5	Les techniques de fabrication de la BTC.	23
Figure _I 6	Les techniques de la construction en pisé (vallée du Todrha,)	24
Figure _I 7	Schéma des différentes techniques de construction en terre établi par le groupe CRATERRE en 1986 (Houben, 2006).	27
Figure _I 8	Couches tétraédrique et octaédrique	28
Figure _I 9	Agencement des couches octaédriques et tétraédriques	29
Figure _I 10	Structure des minéraux argileux	35
Figure _I 11	Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine (Baley, 2013).	43
Figure _I 12	Fibre d'abaca (Mvenueat)	48
Figure _I 13	Fibre de sisal (Mvenueat).	49
CHAPITRE II : MATERIAUX DE L'ETUDE ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES		
Figure II _1.	Localisation de site de prélèvement	60
Figure _II 2	Argile verte	61
Figure _II 3	Appareillage de l'analyse granulométrique par tamisage	62
Figure _II 4	Analyse granulométrique pour le type d'argile verte	63
Figure _II 5	Présentation des limites d'Atterberg	64
Figure _II 6	Limite de plasticité au rouleau	66
Figure _II 7	Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande	66

Figure II 8	Essai VBS	67
Figure II 9	Classification LCPC des sols fins en laboratoire. Diagramme de plasticité.	68
Figure II 10	Courbe granulométrique du sable de Boussaâda	69
Figure II 11	Appareil de l'essai d'équivalent de sable	71
Figure II 12	Mode opératoire des Masse volumique absolue du sable	72
Figure II 13	Mode opératoire des Masse volumique apparente du sable	73
Figure II 14	Courbe d'analyse granulométrique du sable concassée	75
Figure II 15	Courbe d'analyse granulométrique de gravier 3/8	77
Figure II 16	Sacs 50 kg de ciment portlands calcaire	78
Figure II 17	Fibres de filasse (sisal)	78
Figure II 18	Moule prismatique 4 x 4 x 16 cm	79
Figure II 19	Malaxage à sec (a), avec l'eau (b)	80
Figure II.20	Machine pour l'essai de compression	83
Figure II.21	Noté les résultats des masses.	84
Figure II.22	Bac d'eau	84
Figure II.23	Étuve	84
Chapitre III : Résultats et discussion		
Figure III.1	Résistance à la compression en fonction de la teneur en sable mélange sans graviers	89
Figure III.2	Résistance à la compression en fonction de la teneur en sable mélange avec gravier	91
Figure III.3	Résistance à la flexion en fonction de la teneur en sable mélangé sans gravier	93
Figure III.4	Résistance à la flexion en fonction de la teneur en sable mélange avec gravier	95
Figure III.5	Masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges sans gravies	96
Figure III.6	Des éprouvettes après 10 cycle	97
Figure III.7	Masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges sans gravies	97
Figure III.8	Masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges avec gravies	98
Figure III.9	Masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges avec gravies	99
Figure III.10	Des éprouvettes après 10 cycle	99
Figure III.11	Masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges sans gravies	100
Figure III.12	Des éprouvettes après 10 cycle	101
Figure III.13	Masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges sans gravies	101
Figure III.14	Des éprouvettes après 10 cycle	102

Figure III.15	Masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges avec gravies	103
Figure III.16	Des éprouvettes après 10 cycle	103
Figure III.17	Masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges avec gravies	104
Figure III.18	Des éprouvettes après 10 cycle	104

Sommaire

Introduction générale :		Page
CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIE ET PRESENTATION		17
I introduction		18
I_1 La construction en bloc de terre dans le monde		19
I_2_1 Afrique de l'Ouest		19
I_2_3 Amérique latine		20
I_2_4 Inde		20
I_2_5 Maroc		20
I_3 Historique sur la construction en bloc de terre en Algérie		20
I_3_1 Exemples de construction de terre en Algérie		21
I_4 Avantage de la terre comme matériau de construction		21
I_4_1 Abondance		22
I_4_2 Faible coût		22
I_4_3 Durabilité		22
I_4_4 Isolation thermique		22
I_4_5 Écologique		22
I_4_6 Confort		22
I_4_7 Résilience aux tremblements de terre		22
I_5 Techniques de construction en terre		22
I_5_1 Adobe		22
I_5_2 BTC (Brique de Terre Compressée)		23
I_5_3 Pisé		23
I_5_4 Terre crue		24
I_5_5 Terre coulée		24
I_6 L'Argile		27
I_6_1 Histoire de l'argile		27
I_6_2 Définition		29
I_6_3 Formation		29
I_6_4_1 Les différents types d'argiles		29
d. 1. Kaolin		30
1) Origine		30
2) Composition et propriétés		30
3) Utilisations		30
4) Industrie de la céramique		30
5) Industrie du papier		30
6) Industrie des cosmétiques		30
7) Industrie pharmaceutique		31
8) Industrie de la peinture		31
d.2. Montmorillonite		31
1) Cosmétiques et produits de soins personnels		32

2) Produits pharmaceutiques	32
3) Applications environnementales	32
4) Construction	32
5) Agriculture	32
d .3. Illites	32
1) Non expansif	33
2) Granulométrie fine	33
3) Teneur élevée en potassium	33
4) Structure lamellaire	33
5) Industrie de la construction	33
6) Fluides de forage	33
7) Agriculture	33
8) Génie géotechnique	33
9) Recherche scientifique	33
I_6_4_2 Classification des minéraux argileux	34
Les minéraux à 7Å de type 1/1	34
Les minéraux à 10Å de type 2/1	34
Le groupe de minéraux a 14Å de type 2/1/1	35
I_7 Stabilisation	36
I_7_1 Stabilisation mécanique	36
1) Stabilisants	36
2) Compactage	36
3) Vibrocompression	36
4) Stabilisation thermique	36
5) Incorporation de fibres	37
6) Utilisation d'adjuvants	37
I_7_2 Stabilisation physique	37
1) Ajout de sable	37
2) Contrôle du rapport argile/sable	37
3) Fractionnement du matériau	37
4) Granulométrie contrôlée	38
I_7_3 Stabilisation chimique	38
1) Ciment	38
2) Chaux	38
3) Bitume	38
4) Sous-produits industriels	38
I_7_4_1 Stabilisations par le ciment	39
I_7_4_2 Les types du ciment	40
I_7_5 Stabilisation à la chaux	41
I_7_6 Stabilisation par les fibres	42
I_8 Revue générale sur les fibres	43
I_8_1 Les fibres naturelles	43
I_8_2 Les fibres végétales	43
I_8_3 Les fibres animales	44
1) La laine	44
2) Les poils d'animaux	44
3) Les plumes	44
4) La soie	44
I_8_4 Les fibres minérales	44
I_8_5 Fibres synthétiques	45
1) Polyester :	45

2) Nylon :	45
3) Polypropylène	45
4) Spandex	46
I_8_6 Fibres artificielles	46
I_8_2 Les fibres végétales	46
I_8_2_1 Propriétés mécaniques des fibres végétales	46
1) Résistance à la traction	46
2) Rigidité	46
3) Allongement à la rupture	46
4) Ténacité	46
5) Flexibilité	47
I_8_2_2 Classification des Fibres Végétales	47
1) Les fibres de feuilles	47
2) L'abaca	47
3) Le sisal	48
I_8_2_3 Avantages et inconvénients des fibres végétales	49
I_9 Revue sur l'incorporation de fibres dans le BTC	50
I_10 Exigences pour l'utilisation du bloc de terre	51
1) Normes de construction	51
2) Composition du mélange de terre	51
3) Fabrication des blocs de terre	51
4) Résistance structurelle	51
5) Isolation thermique et acoustique	52
6) Traitement et protection	52
7) Suivi et entretien régulier	52
I_11 Principaux facteurs influents les caractéristiques du BTC	52
1) Composition du mélange	52
2) Teneur en eau	52
3) Méthode de fabrication	52
4) Traitement thermique	52
5) Texture et finition de surface	52
6) Qualité de l'argile	52
7) Traitement de stabilisation	53
8) Conditions environnementales	53
I_12 Impacts des constructions par les blocs de terre stabilisée sur les aspects environnement	54
I_12_1 Influence Sur le l'aspect sanitaire	54
I_12_3 Confort et esthétique	54
1) Atténuation des variations climatiques	54
2) Autorégulation de l'humidité	55
3) Esthétique appréciée	55
I_12_4 Sur le plan écologique	55
1) Facilité de recyclage	55
2) Moindre consommation d'énergie	55
3) Réduction des émissions de gaz à effet de serre	55
I_12_4 Sur le plan développement durable	56
1) Disponibilité et accessibilité	56
2) Faible consommation d'énergie	56
3) Absence d'émissions de gaz à effet de serre	56
4) Recyclabilité	56
I_12_5 Aspect psychologique	56

I_13 CONCLUSION	58
CHAPITRE II : MATERIAUX DE L'ETUDE ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES	59
II_1 Introduction	60
II_1_1 Matériaux	60
II_2 Analyse granulométrique (NF P 94-056)	61
II_2_1 But de l'analyse granulométrique	61
II_2_2 Equipement nécessaire	61
II_2_3 Mode opératoire	61
II_3 Limite d'Atterberg (Norme NF P 94-051)	63
II_3_1 Objectif	64
II_3_2 Mode opératoire	64
II_3_3 Limite de liquidité et II_3_4 limite de Plasticité :	64
Valeur de Blue de méthylène (NA P 94 068)	67
II_4 Sable de Boussaâda	68
II_4_1 Analyse granulométrique par tamisage (NF 18-304)	68
II_4_2 Le module de finesse	69
II_4_3 Equivalent de sable (NF P 18-598)	70
II_4_4 La masse volumique	71
II_4_5 Masse volumique absolue : NF P 18-555	71
II_4_6 But de l'essai	71
II_4_6 Matériel et Matériaux	71
II_4_8 Masse volumique apparente : NF P 18-554	72
II_4_9 L'état lâche	72
II_4_10 L'état compact	72
II_4_11 Principe	72
II_4_12 Matériel	73
II_4_13 Mode opératoire	73
II_4_14 Sable concassée	74
II_4_15 Modules de finesse (NF P18 304)	75
II_5 Gravier 3/8	75
II_5_1 Masse volumique apparente à l'état lâche	76
II_5_2 Mode opératoire	76
II_5_3 Masse volumique apparente à l'état compact	76
II_6 Ciment	77
II_6_1 Caractéristiques Techniques : Analyses chimiques	77
II_6_2 Les essais physiques	77
II_7 Fibres	78
II_7_1 Caractéristiques des fibres utilisées	78
II_8 ELABORATION DE BTS	78
II_8_1 Introduction	78
II_8_2 Matériel spécifique	78
II_8_3 Tamisage et étuvage	79
II_8_4 Préparation des moules	79
II_8_5 Le malaxage	79
II_8_6 Après le démoulage	79
II_9 programme expérimentale	80
II_10 Résistance à la compression	82
II_11 Résistance à la traction par flexion	82
II_12 Essai de la durabilité sur le BTS (Séchage/ mouillage)	83
II_13 Conclusion	85

Chapitre III : Résultats et discussion.	87
III.1 Introduction	87
III.2 Résistance à la compression (sans gravier)	87
III.2.1/ Echantillons réalisés avec sable, sans gravier 3/8	87
III.4 Résistance à la compression (échantillons réalisés avec gravier)	90
III.5 Résistance à la flexion (éprouvettes préparés sans gravier)	92
III.6 Résistance à la flexion (éprouvettes confectionnés avec gravier)	94
III.7 la durabilité sur le BTS	96
III.8 Conclusions générales et perspectives	105

Introduction Générale

Introduction générale :

La production importante de ciment dans le monde conduit à l'émission de quantités énormes de gaz CO₂ qui participe au réchauffement de la planète, la fonte de la glace polaire et aux inondations dans plusieurs pays. La terre crue est disponible en grande quantité et partout et ne nécessite que très peu d'énergie pour sa fabrication et ne génère pas de déchets. Elle est utilisée dans la construction sous différentes formes telles que : l'adobe, la terre paille, les briques de terre compressée, etc. La terre crue peut également être utilisée comme matériau de remplissage et d'isolation ou pour formuler des enduits.

Les matériaux écologiques à base de sol représentent l'avenir de la construction surtout dans les zones arides et chaudes. Dans ces matériaux l'objectif doit être de réduire la quantité du stabilisant principalement le ciment dans le but de réduire la production du CO₂ dans l'air tout en maintenant les propriétés mécaniques et de durabilité acceptable. Plusieurs recherches ont été établies dans le but de comprendre les phénomènes liés aux interactions physico-chimiques entre les sols argileux et les liants et ainsi mettre en évidence les différents paramètres qui influent les caractéristiques des matériaux issues de sols. Pour obtenir de meilleures caractéristiques mécaniques du béton d'argile, réduction de sa porosité, limiter les variations de volume (gonflement et retrait) et améliorer de la résistance à l'érosion par le vent et à la pluie (réduire l'abrasion de surface et la perméabilité du bloc de terre), plusieurs stabilisants peuvent être utilisés : le ciment, la chaux, le bitume, les fibres, etc.

Comme tout matériau. Le béton à base de sol argileux, sujet étudié dans ce mémoire, nécessite des essais expérimentaux permettant de mieux comprendre son comportement en ce qui concerne la résistance mécanique, la durabilité et l'influence d'adjonction de fibres naturelles sur les caractéristiques de ce matériau.

Etude

bibliographies

I introduction:

La construction en terre présente de nombreux avantages, grâce à la Matériaux: recyclable, performance énergétique, résistance au feu, durabilité... mais évidemment, il Les règles de base de l'art architectural en terre cuite doivent être suivies pour assurer ce travail. La variété des techniques de construction en terre et la simplicité de mise en œuvre sont deux en lui donnant une indépendance technique et en réduisant les coûts financiers et Améliorer l'environnement bâti en économisant de l'énergie. Ces structures s'enracinent dans Une vision du progrès contemporain.

En effet, la terre a été l'un des premiers matériaux de construction utilisés par l'humanité, et son utilisation s'est estompée avec l'avènement du ciment dans les zones urbaines et les pays industrialisés. Cependant, ces dernières années, le matériau terre connaît un regain d'intérêt, notamment en raison de la crise du logement et de la recherche de solutions durables et abordables.

La construction en terre présente de nombreux avantages écologiques, environnementaux et économiques. Contrairement au béton ou à l'acier, la terre n'a pas besoin d'être transformée ou cuite, ce qui réduit considérablement la consommation d'énergie associée à sa production. De plus, elle est un matériau abondant et souvent disponible localement, ce qui réduit les coûts de transport et favorise l'économie locale.

Du point de vue environnemental, la terre est un matériau naturel et renouvelable, ce qui en fait un choix durable. Son utilisation permet de réduire l'empreinte carbone des constructions, car elle emprisonne le CO₂ au lieu d'en émettre lors de sa fabrication. De plus, elle est recyclable et biodégradable, ce qui facilite la gestion des déchets de construction.

D'un point de vue social et culturel, la construction en terre permet de préserver les savoir-faire traditionnels et de promouvoir l'identité culturelle d'une région. Elle favorise également la participation communautaire, car de nombreuses techniques de construction en terre peuvent être mises en œuvre collectivement, impliquant ainsi les habitants dans le processus de construction de leur propre habitat.

Cependant, il est important de noter que la construction en terre présente également des défis, notamment en ce qui concerne la résistance aux intempéries. Les constructions en terre crue, en particulier celles qui n'ont pas été traitées, peuvent être vulnérables aux pluies intenses et à l'érosion. C'est pourquoi il est essentiel d'adopter des techniques de construction

Appropriées, telles que l'utilisation de stabilisants ou de techniques de renforcement, pour améliorer la résistance et la durabilité des structures en terre.

Au Burkina Faso, par exemple, où la construction en terre est courante, les communautés ont été confrontées à des défis liés à l'érosion et à l'effondrement de bâtiments en terre crue lors de fortes pluies. Cependant, des initiatives sont en cours pour promouvoir des pratiques de construction plus résistantes et durables, en combinant des matériaux locaux et des techniques modernes pour renforcer les structures en terre. [1]

I_2 La construction en bloc de terre dans le monde



Figure_I 1 : Carte de répartition des constructions de terre en le monde.

La construction en bloc de terre, également connue sous le nom de construction en terre crue ou en adobe, est une méthode ancienne de construction qui est utilisée dans de nombreuses régions du monde. Les blocs de terre sont fabriqués en mélangeant de l'argile, du sable, de l'eau et parfois des fibres végétales ou animales, puis en les séchant au soleil ou en les cuisants.

Cette technique de construction a une longue histoire et est traditionnellement utilisée dans les régions où les ressources en matériaux de construction sont limitées. Elle est durable, économique et écologique, car elle utilise des matériaux disponibles localement et nécessite peu d'énergie pour sa fabrication. De plus, les blocs de terre ont de bonnes propriétés thermiques, offrant une isolation naturelle contre la chaleur et le froid.

La construction en bloc de terre est répandue dans de nombreuses régions du monde, notamment en Afrique, en Asie, en Amérique du Sud et au Moyen-Orient. Voici quelques exemples notables :

I_2_1 Afrique de l'Ouest: La technique de construction en terre, notamment l'adobe, est couramment utilisée dans les pays d'Afrique de l'Ouest tels que le Mali, le Sénégal et le Burkina Faso. Les grandes mosquées en adobe de Djenné, au Mali, sont des exemples emblématiques de cette technique.

I_2_3 Amérique latine: Dans des pays comme le Pérou et le Mexique, la construction en adobe est répandue depuis des siècles. Des sites archéologiques tels que Chan Chan au Pérou montrent des exemples impressionnants de cette technique.

I_2_4 Inde: La construction en terre est pratiquée depuis des millénaires en Inde. L'État du Rajasthan est connu pour ses maisons en adobe et ses havelis, des demeures traditionnelles richement décorées.

I_2_5 Maroc: Dans les régions rurales du Maroc, la construction en terre est encore largement utilisée, notamment dans les villages de l'Atlas. La ville de Aït Benhaddou est un exemple célèbre de l'architecture en terre marocaine.

Cependant, il est important de noter que l'utilisation de la construction en bloc de terre a diminué dans certaines régions en raison de l'avènement de matériaux de construction modernes et de l'urbanisation croissante. Malgré cela, de nombreux architectes et constructeurs continuent de valoriser cette méthode pour ses avantages écologiques et culturels. [2]



Figure _I 2. Constructions réalisées en blocs de terre comprimée [4].

I_3 Historique sur la construction en bloc de terre en Algérie:

En Algéri-e, on compte de nombreux édifices en terre qui ont été construits aussi bien par la population que par les autorités à une époque récente qui démarre des années70, une impulsion a été donnée à la construction en terre par l'état, dans le cadre d'une politique de

construction de logements économiques, entre autres dans le projet des villages agricoles Socialistes. Cette relance a été accompagnée de programmes de recherches scientifiques qui ont été principalement menés par le LNTPB (laboratoire national de travaux publics et du bâtiment) et les CPRA (chantés populaires de la révolution agraire). On peut citer à titre d'exemple : logements Tipaza (1970), villages agricoles Sidi Bel Abbés et M'sila (1973-1976), prototype Tamanrasset (1982) ...

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

Les régions méridionales des zones les plus en vue caractérisées par des structures en argile, qui contiennent les avantages de la population connue depuis l'Antiquité pour renforcer et maintenir. Timimoun est situé dans le sud de l'Algérie dans la région de Qourara et fait partie d'un trio de trois villes, Adrar et Aïn Salé, Timimoun Benet, situé dans une oasis du même nom... et les bâtiments originaux sont des palais construits avec de la terre et de l'argile rouge en hauteur, c'est un magnifique cercle de beaux palais en hiver. Nous n'oublions pas non plus la ville de Ghardaïa, qui se caractérise par sa magnifique architecture et son vieux bâtiment en briques crues soutenu par de la chaux. [3]

I 3_1 Exemples de construction de terre en Algérie



Figure _I 3 : Constructions en blocs de terre la région Qourara.

I_4 Avantage de la terre comme matériau de construction:

La terre est un matériau de construction naturel et durable qui offre plusieurs avantages notamment :

I_4_1 Abondance: La terre est disponible en quantité abondante dans la plupart des régions du monde, ce qui la rend facilement accessible et économique.

I_4_2 Faible coût: La construction en terre est souvent moins coûteuse que les autres types de construction en raison de la disponibilité et de la simplicité des matériaux.

I_4_3 Durabilité: Les bâtiments en terre ont une longue durée de vie avec des exemples de bâtiments en terre qui ont été construits il y a plusieurs siècles.

I_4_4 Isolation thermique: La terre possède d'excellentes propriétés d'isolation thermique, ce qui signifie que les bâtiments en terre sont naturellement frais en été et chauds en hiver.

I_4_5 Écologique: La construction en terre est une méthode de construction respectueuse de l'environnement, car elle utilise des matériaux naturels et renouvelables et génère peu de déchets.

I_4_6 Confort: Les bâtiments en terre offrent un haut niveau de confort acoustique et visuel, créant un environnement de vie agréable et sain.

I_4_7 Résilience aux tremblements de terre: Les bâtiments en terre ont montré une résilience exceptionnelle lors de tremblements de terre, grâce à leur capacité à absorber l'énergie sismique. En raison de ces avantages, la construction en terre reste une méthode de construction populaire dans de nombreuses régions du monde, notamment en Afrique, en Asie et en Amérique latine. [4]

I_5 Techniques de construction en terre

Les techniques de construction en terre font référence à l'utilisation de la terre comme matériau principal dans la construction de bâtiments. Ces techniques sont anciennes et ont été utilisées dans de nombreuses régions du monde depuis des milliers d'années. Voici quelques-unes des principales techniques de construction en terre :[4]

I_5_1 Adobe: L'adobe est l'une des techniques de construction en terre les plus anciennes. Elle consiste à fabriquer des briques en mélangeant de l'argile, du sable, de la paille et de l'eau, puis en les séchant au soleil. Les briques d'adobe sont ensuite assemblées à l'aide de mortier

d'argile pour construire les murs. Cette technique est couramment utilisée dans les régions arides.



Figure_I 4 : Exemple de Fabrication d'Adobe

I_5_2 BTC (Brique de Terre Compressée): Les BTC sont des briques fabriquées en compactant de la terre crue dans des moules. Cette technique permet de produire rapidement un grand nombre de briques uniformes. Les briques sont ensuite empilées et liées à l'aide de mortier d'argile. Les BTC offrent une bonne isolation thermique et sont utilisées dans de nombreux projets de construction durable.



Figure _I 5 : Les techniques de fabrication de la BTC.

I_5_3 Pisé: Le pisé, également connu sous le nom de construction en terre battue, implique la compression de couches successives de terre argileuse dans un coffrage en bois. Cette.

Technique crée des murs solides et durables. Le pisé est couramment utilisé dans les régions où la terre argileuse est abondante



Figure_I 6 : Les techniques de la construction en pisé (vallée du Todra,)





I_5_4 Terre crue: La construction en terre crue utilise de la terre non stabilisée directement prélevée sur le site de construction. Elle peut être utilisée de différentes manières, notamment sous forme de torchis (mélange de terre et de fibres végétales utilisé pour remplir des structures en bois), de mortier d'argile ou de construction en pisé. La terre crue offre une grande flexibilité de conception et est considérée comme une option écologique et économique.

I_5_5 Terre coulée: Cette technique consiste à couler de la terre argileuse liquide dans des coffrages en bois. La terre coulée est utilisée pour construire des murs et des structures monolithiques, offrant une bonne résistance et une grande durabilité.

Les techniques de construction en terre présentent plusieurs avantages, notamment leur faible coût, leur disponibilité locale, leur durabilité, leur isolation thermique et leur faible impact environnemental. Cependant, elles peuvent nécessiter des compétences spécifiques en matière de construction et une protection adéquate contre l'humidité pour éviter les problèmes de détérioration.

Tableau_I 1 : Brève description de quelques techniques traditionnelles de construction en terre crue

Technique	Description	Illustration
Adobe (Houben et al., 2006)	Briques de terre moulées à la main et séchées au soleil. Le matériau a une consistance visqueuse. Des fibres végétales ou animales sont parfois ajoutées au mélange.	
Pisé (Houben et al., 2006)	Murs de terre compactée par couches dans des banches. Le matériau a une consistance ferme.	
Brique de Terre Compri mée (BTC) (Houben et al., 2006)	Briques le plus souvent parallélépipédiques de terre obtenues par compaction mécanique. Elles sont souvent stabilisées par du ciment ou de la chaux. Le matériau à une consistance ferme.	
Torchis/terre paille (Houben et al., 2006)	Parois à structure en bois sur laquelle est appliqué un mélange de terre et de fibres végétales telles que la paille.	
Technique	Description	Illustration

<p>Bauge (Houben et al., 2006)</p>	<p>Mur monolithique à base de terre (avec ajout de fibres ou non). Elle est montée en posant successivement des couches du mélange sur des couches inférieures sèches. Les parois des couches encore fraîches sont arasées pour avoir un aspect lisse.</p>	
<p>Façonnage (Houben et al., 2006)</p>	<p>Parois monolithiques en terre façonnée à la main comme en poterie.</p>	
<p>Extrusion</p>	<p>Procédé mécanique préalable à la cuisson des briques. La pâte de terre est mise sous vide pour une compacité maximale, puis extrudée à travers d'une filière qui lui confère la forme de sa section transversale. Elle est enfin découpée en briques régulières.</p>	
<p>La terre coulée (Moevus et al., 2013)</p>	<p>Le mélange de terre et d'eau d'une consistance liquide est coulé dans un coffrage comme on peut le faire pour un béton hydraulique. Cette technique nécessite l'ajout de liants et/ou d'adjuvants.</p>	

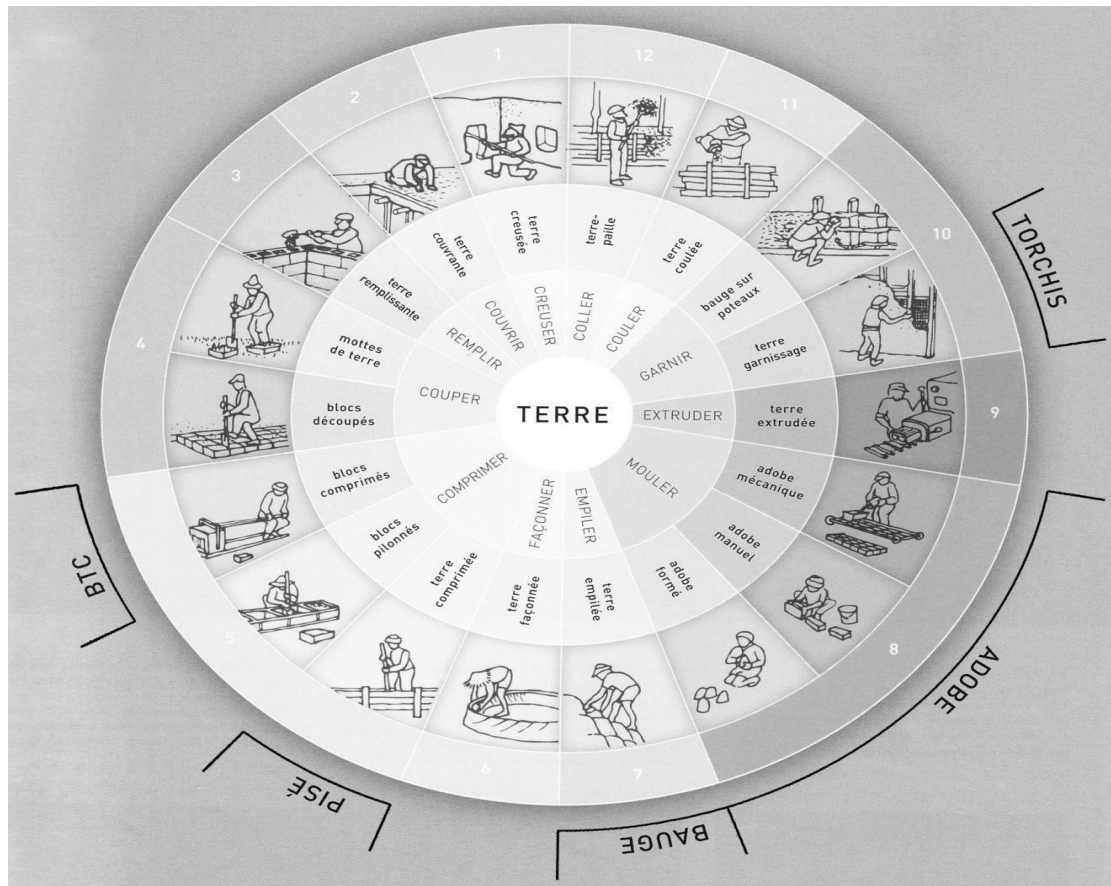


Figure I 7 : Schéma des différentes techniques de construction en terre établi par le groupe CRATERRE en 1986 (Houben, 2006).

I_6 L'Argile:

I_6_1 Histoire de l'argile:

Le mot argile provient du latin Argilla. Ce même mot est dérivé du grec argilo, dont la racine, Argos, signifie " d'une blancheur éclatante ". Du XIIe au XVIe siècle, argile se disait "Ardille", puis ce mot est devenu "arzille", puis "arsille" pour finir en "argile". [5]

L'argile est constituée de particules fines de taille inférieure à 2 μm . Les argiles se forment de l'altération et de la dégradation des roches qui affleurent à la surface de l'écorce terrestre en contact avec l'eau et sous l'effet des variations de température. Les argiles se trouvent dans des zones superficielles, le dépôt sédimentaire, provenant des roches magmatiques, métamorphiques ou sédimentaires rencontrées dans le substratum régional. Les particules argileuses sont formées principalement de phyllosilicates (silicates en feuillets, silicates d'aluminium et parfois de silicates de magnésium). Elles ont la forme de plaquettes fines développées dans un plan de l'espace qui résulte de l'empilement de couches tétraédriques et octaédriques. [6]

Montre que, le plan des tétraèdres, noté T, est composé de tétraèdres d'atomes d'oxygène autour de chaque atome noté Z (figure 8). Dans la couche tétraédrique, le cation dominant est Si_4^+ mais de fréquentes substitutions ont lieu avec Al_3^+ et, plus rarement, avec Fe_3^+ . Le plan d'octaèdres, noté O, est formé par des atomes d'oxygène et des groupements hydroxyles autour de chaque atome noté M. Ces octaèdres (figure 8) forment un réseau hexagonal répété infiniment dans le plan du feuillet.

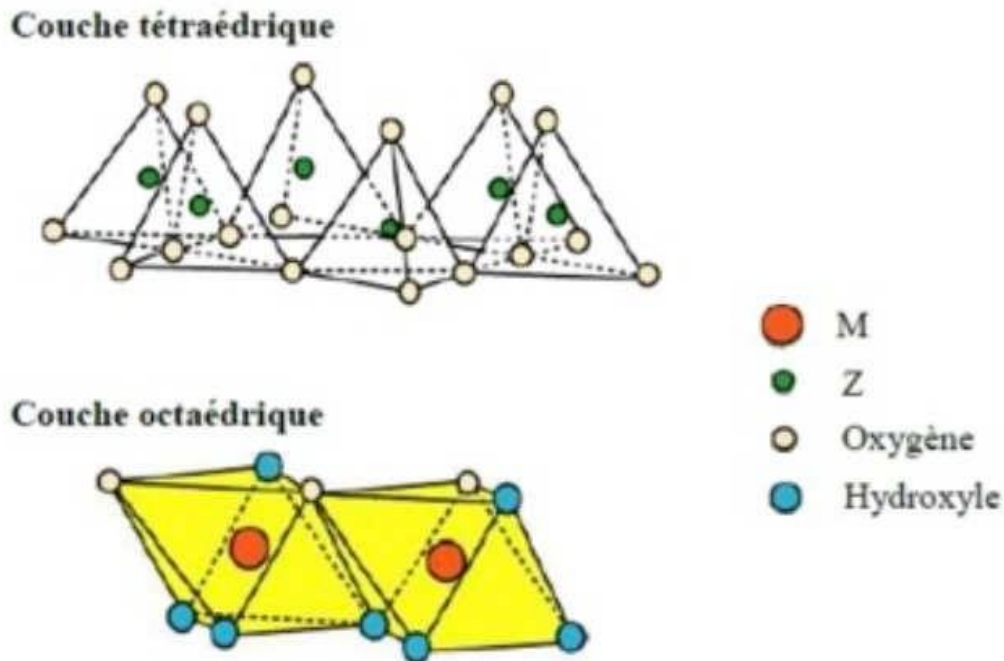
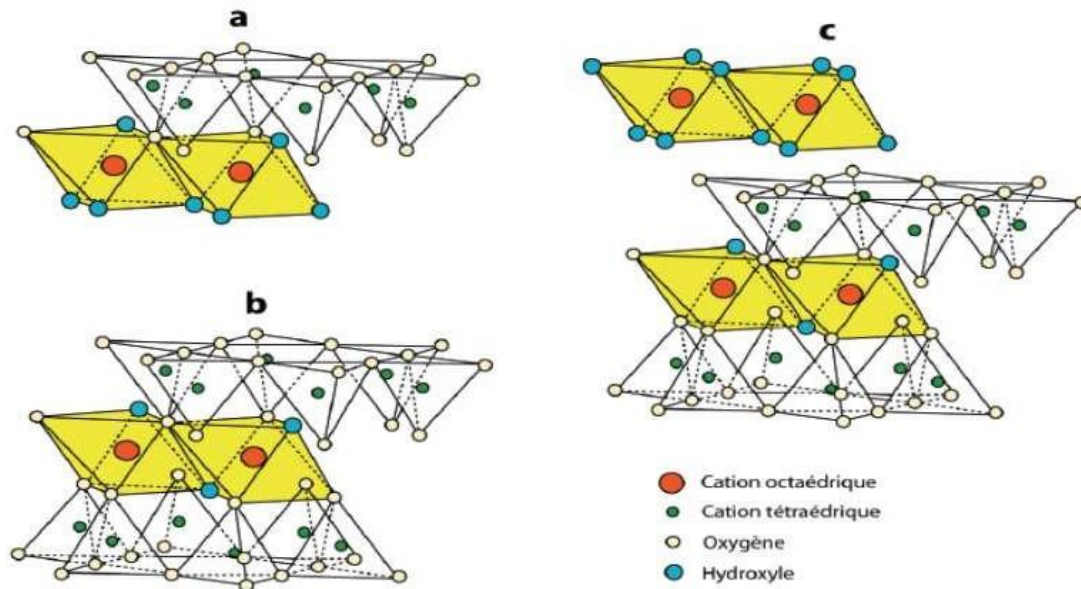


Figure I 8 Couches tétraédrique et octaédrique [7].

En mécanique de sol, on distingue trois grandes familles d'argiles (figure 8) :

- Groupe 1 :1, les kaolinites ou T-O (1 couche octaédrique et 1 couche tétraédrique) équidistance voisine de 7 Å.
- Groupe 2 :1, les micas ou T-O-T (1 couche octaédrique insérée entre 2 couches tétraédriques) équidistance variable entre 9 et 15 Å, suivant le remplissage ou non de l'espace interfoliaire ;
- Groupe 2 :1 :1, la famille des smectites ou T-O-T est similaire au type précédent mais l'espace interfoliaire est occupé par une couche d'octaèdre brucitique (cation octaédrique = Mg) ou gibbsitique (cation octaédrique = Al). L'équidistance caractéristique est alors de 14 Å environ.



Figure_I9 : Agencement des couches octaédriques et tétraédriques [7].

I_6_2 Définition:

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

I_6_3 Formation:

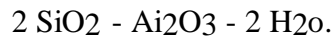
Les argiles naissent du sol en constant mouvement. Elles apparaissent selon trois grands processus de formation, Le premier est relatif à la simple décomposition des roches par érosion. Les phénomènes caractérisant une érosion des sols sont nombreux. La pluie, le vent, le gel, le dégel, les vagues et bien d'autres sont autant de phénomènes naturels à l'origine de la formation des argiles. Le deuxième processus est appelé néoformation. Ceci correspond à la formation du minéral. Par combinaison, des substances transportées par l'eau du sol vont, par combinaison, s'arranger pour former une structure minérale. Le troisième mécanisme correspond au processus de transformation des minéraux évoluant par dégradation (perte d'équilibre du sol) ou aggradation (accumulation de sédiments dans un cours d'eau par excès de transport par l'eau) d'ions minéraux argileux. [8]

I_6_4_1 Les différents types d'argiles

d. 1. Kaolin :

Le kaolin est une argile blanche ou légèrement colorée qui est largement utilisée dans diverses industries.

La kaolinite est un "phyllosilicate" caractérisé par une structure en feuillets. Elle est composée de silice (SiO_2) et d'alumine $\text{Al}(\text{OH})_3$. Sa formule est :



Voici quelques informations sur le kaolin :

1) Origine : Le kaolin est principalement formé par la décomposition des minéraux d'argile, tels que le feldspath, par des processus géologiques tels que l'érosion et le transport. Il se trouve dans de nombreux endroits du monde, mais les principales sources de kaolin sont situées en Chine, aux États-Unis, au Brésil, au Royaume-Uni, en Allemagne et en France.

2) Composition et propriétés : Le kaolin est composé principalement de kaolinite, un minéral d'argile de la famille des kaolinites. Il a une structure cristalline en couches et se présente sous forme de particules fines. Le kaolin est connu pour sa couleur blanche, bien qu'il puisse également présenter des nuances de gris, de jaune ou de rose. Il est non plastique, c'est-à-dire qu'il ne peut pas être facilement modelé ou façonné à l'état humide, contrairement à d'autres argiles.

3) Utilisations : Le kaolin est utilisé dans de nombreuses industries en raison de ses propriétés particulières. Voici quelques-unes de ses utilisations courantes :

4) Industrie de la céramique : Le kaolin est un composant clé dans la fabrication de la porcelaine et de la céramique. Il est utilisé comme matière première pour la fabrication de la pâte céramique, car il apporte la blancheur, la plasticité et la résistance nécessaires.

5) Industrie du papier : Le kaolin est utilisé comme agent de revêtement dans la production de papier. Il est ajouté à la pâte à papier pour améliorer la brillance, l'opacité et l'imprimabilité du papier.

6) Industrie des cosmétiques : En raison de sa texture fine et de sa blancheur, le kaolin est utilisé dans de nombreux produits cosmétiques, tels que les masques faciaux, les poudres pour bébés, les produits de maquillage et les produits de soins de la peau.

7) Industrie pharmaceutique : Le kaolin est utilisé comme excipient dans certains médicaments, en particulier les antiacides, en raison de sa capacité à absorber les substances indésirables et à fournir une protection gastrique.

8) Industrie de la peinture : Le kaolin est utilisé dans la fabrication de peintures, en particulier les peintures à base d'eau. Il agit comme un pigment inerte, améliore la viscosité et contribue à la stabilité de la peinture.

Il convient de noter que le kaolin peut également être utilisé dans d'autres domaines, tels que la fabrication du caoutchouc, la production de produits en papier mâché, l'industrie de la porcelaine dentaire, etc. En raison de sa large disponibilité et de ses propriétés polyvalentes, le kaolin

Cette roche argileuse tire son nom du site chinois Kao-Ling, où elle fut découverte. On appelle la roche kaolin et la minérale argileuse kaolinite. Cette argile blanche, douce, friable, réfractaire, contient autant d'aluminium que de silice [9]

d.2.Montmorillonite :

La montmorillonite est un type de minéral argileux qui appartient au groupe des smectites. Il tire son nom de la ville de Montmorillon en France, où il a été découvert pour la première fois. La montmorillonite est composée principalement de silicate d'aluminium hydraté et a une structure en couches.

Le minéral a une granulométrie très fine, les particules individuelles ayant moins de 2 micromètres de diamètre. On le trouve souvent dans les dépôts sédimentaires, où il se forme à partir de l'altération des cendres volcaniques ou d'autres minéraux silicatés. L'argile montmorillonite peut varier en couleur du blanc au gris pâle, vert ou bleu, selon les impuretés présentes.

L'une des propriétés notables de la montmorillonite est sa capacité à absorber l'eau et à se dilater. Au contact de l'eau, le minéral gonfle et peut augmenter plusieurs fois de volume. Cette propriété est due à la structure en couches de l'argile, qui permet aux molécules d'eau de pénétrer entre les couches et de les séparer.

L'argile montmorillonite a diverses applications dans différentes industries. Certaines de ses utilisations incluent :

1) Cosmétiques et produits de soins personnels : Il est utilisé dans les produits de soins de la peau, tels que les masques faciaux et les enveloppements corporels, en raison de sa capacité à absorber les impuretés et les huiles de la peau.

2) Produits pharmaceutiques : la montmorillonite peut être utilisée comme excipient dans les médicaments pour améliorer leur stabilité et contrôler la libération des médicaments.

3) Applications environnementales : Il est utilisé dans les processus de remédiation environnementale, tels que le traitement des sols et de l'eau contaminés, en raison de ses capacités d'adsorption des métaux lourds et d'autres polluants.

4) Construction : L'argile montmorillonite est utilisée dans l'industrie de la construction pour ses propriétés de plasticité et de liaison dans la production de briques, de tuiles et de céramiques.

Fluides de forage : L'argile est ajoutée aux fluides de forage dans l'exploration pétrolière et gazière pour augmenter la viscosité, la lubrification et contrôler la stabilité des trous de forage.

5) Agriculture : La montmorillonite peut être utilisée comme additif du sol pour améliorer sa capacité de rétention d'eau, la rétention des nutriments et la fertilité globale.

Il convient de mentionner que l'argile montmorillonite présente également un intérêt scientifique en raison de ses propriétés uniques et qu'elle a été largement étudiée pour ses applications en nanotechnologie, en catalyse et en science des matériaux.

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

[10]

d .3. Illites :

L'illite est un type de minéral argileux qui appartient au groupe des micas. Il porte le nom de la région d'Illiers en France, où il a été identifié pour la première fois. L'illite est un minéral argileux non expansif et se compose principalement de silicate d'aluminium hydraté, semblable à la montmorillonite. Cependant, l'illite contient un pourcentage plus élevé de potassium par rapport à la montmorillonite.

Les minéraux d'illite ont une structure lamellaire ou feuilletée caractéristique, les particules individuelles étant minces et plates. Ils ont généralement une couleur jaune, grise ou verdâtre. L'illite se forme à partir de l'altération de divers types de roches, comme le granit, le schiste ou les cendres volcaniques, par un processus appelé altération.[11]

Certaines caractéristiques et propriétés clés de l'illite comprennent :

1) Non expansif : Contrairement à la montmorillonite, l'illite ne présente pas d'expansion significative au contact de l'eau.

2) Granulométrie fine : Les particules d'illite ont généralement un diamètre inférieur à 2 micromètres, semblable à la montmorillonite.

3) Teneur élevée en potassium : L'illite est riche en potassium, ce qui lui confère ses propriétés distinctives et la distingue des autres minéraux argileux.

4) Structure lamellaire : Les particules d'illite sont en forme de plaque, avec une structure en couches similaire à d'autres minéraux de mica.

L'argile illite a diverses applications et utilisations, notamment :

5) Industrie de la construction : il est utilisé comme matière première dans la production de céramique, de briques, de tuiles et de ciment.

6) Fluides de forage : Illite est ajouté aux fluides de forage pour contrôler la viscosité, la lubrification et les propriétés de filtration dans les opérations de forage pétrolier et gazier.

7) Agriculture : L'illite peut être utilisée comme amendement du sol pour améliorer la structure du sol, la rétention d'eau et la disponibilité des éléments nutritifs.

8) Génie géotechnique : Il est utilisé en génie géotechnique pour ses propriétés stabilisatrices dans les applications de stabilisation des sols et de stabilité des pentes.

9) Recherche scientifique : L'illite, ainsi que d'autres minéraux argileux, est largement étudiée dans les domaines de la géologie, de la géochimie et de la science des matériaux pour ses propriétés uniques et son rôle dans les processus géologiques.

Il est important de noter que l'illite n'est qu'un type de minéral argileux et qu'il existe plusieurs autres minéraux argileux aux propriétés et applications distinctes, tels que la kaolinite, la smectite et le chlorite.

Son nom fait référence à l'Illinois, aux États-Unis où elle a été étudiée. Sa composition est riche en calcium (14%), en fer (9%) et pauvre en magnésium. Cette argile est retrouvée dans le nord de la France. [11]

I_6_4_2 Classification des minéraux argileux:

On trouve dans la littérature des modèles différents pour la classification des phyllosilicates, la première classification adoptée en 1966 par le comité de nomenclature de l'association internationale pour l'étude des argiles (AIEA) (Caillere et al. 1982a) s'appuie sur les grandes données structurales.

La deuxième établie par Mering et Pedro (1969) (Mering and Pedro, 1969) prend en compte la localisation des substitutions, leur distribution et le type de cations compensateurs, on distingue 3 grandes familles [12]

a) Les minéraux à 7 Å de type 1/1 :

Ils sont constitués de feuillets comprenant une couche tétraédrique, accolée à une couche octaédrique, son épaisseur est d'environ 7 Å, l'exemple le plus cité est la kaolinite.

b) Les minéraux à 10 Å de type 2/1 :

Cette structure comporte trois couches : deux tétraédriques encadrant une couche octaédrique, elle est variable en fonction du contenu de la couche interfoliaire de 9 Å à 15 Å, elle est de :

- 1) 9 Å si l'espace est vide (groupe des pyrophyllites-talcs) ;
- 2) 10 Å si les cations interfoliaires sont anhydres (cas de K^+ pour le groupe des micas et micas durs).
- 3) 12,5 Å si les cations échangeables interfoliaires sont entourés d'une couche d'eau (cas de Na^+ pour le groupe des smectites et celui des vermiculites) ;
- 4) 15 Å si les cations échangeables interfoliaires sont entourés de deux couches d'eau (cas de Ca^{2+} pour le groupe des smectites et celui des vermiculites).
- 5) Le tableau 1 montre la classification des principaux groupes de minéraux argileux et de leurs espèces .

c) Le groupe de minéraux a 14Å de type 2/1/1 :

Cette famille est caractérisée par un feuillet a quatre couches (te, oc, te, oc) constitue en plus destrois couches de la série 2/1, par exemple appartiennent à cette famille : [12]

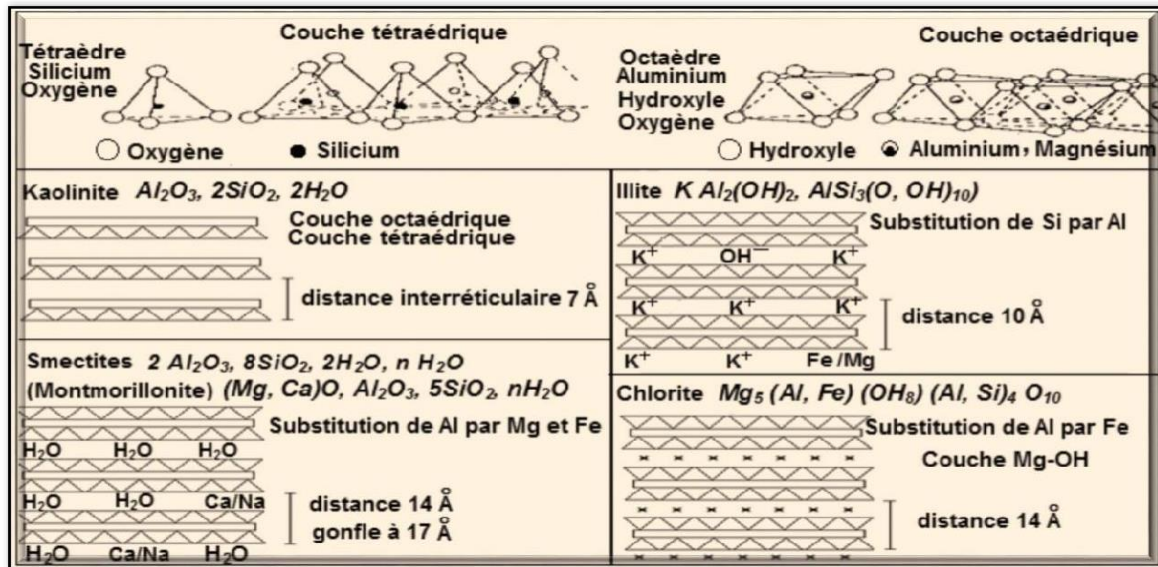


Figure _I 10 : structure des minéraux argileux [12]

Tableau _I 2 : Résumé des différents types d'argile

Groupe de minéraux argileux	Espèce minérale	Structure
Kaolinites	Kaolinite halloysite dickite	t = couche de tetraedres = couche d'octaèdres Minéraux à 2 couches t-o t-o
Smectites	Montmorillonite saponite Beidellite nontronite	Minéraux à 3 couches t-o-t t-o-t
Illites vermiculites micas	Illite vermiculite Muscovite biotite	H ₂ O, cations
Chlorites	Chlorite	Minéraux à 4 couches t-o-t-o t-o-t-o

I_7 Stabilisation:

Le principe de stabilisation des sols consiste à modifier les propriétés physiques et/ou chimiques d'un sol afin de renforcer sa résistance, sa durabilité et sa capacité portante. Cela peut être réalisé par diverses méthodes, telles que l'ajout de matériaux de stabilisation, le compactage, le traitement chimique, le traitement thermique, etc.

L'objectif de la stabilisation des sols est d'améliorer la qualité du sol et de le rendre plus adapté à une utilisation spécifique. Par exemple, la stabilisation des sols peut être utilisée pour renforcer les fondations de bâtiments ou de routes, pour réduire l'érosion du sol ou pour améliorer la portance d'une surface de circulation. Sa texture et sa structure selon les 3 procédés suivants :

- Résistance mécanique : augmenter les forces de liaisons internes.
- Porosité : diminuer le volume des vides entre les grains.
- Perméabilité : combler les vides impossibles à éliminer.

I_7_1 Stabilisation mécanique:

La stabilisation mécanique des briques de terre consiste à renforcer leurs propriétés mécaniques pour améliorer leur résistance et leur durabilité. Voici quelques méthodes couramment utilisées pour la stabilisation mécanique des briques de terre :

1) Stabilisants : L'ajout de stabilisants dans le mélange d'argile est une technique courante pour renforcer les briques de terre. Les stabilisants couramment utilisés comprennent le ciment, la chaux, les stabilisants chimiques et les stabilisants géopolymères. Ces matériaux améliorent la résistance à la compression et la résistance à l'eau des briques.

2) Compactage : Un compactage adéquat du mélange d'argile lors de la fabrication des briques peut augmenter leur densité et leur résistance. Le compactage peut être réalisé à l'aide de machines de compactage manuelles ou mécaniques pour obtenir des briques plus denses et plus résistantes.

3) Vibrocompression : La vibrocompression est une technique qui utilise des vibrations pour compacter le mélange d'argile dans les moules à briques. Cela permet d'obtenir des briques de terre plus denses et plus résistantes.

4) Stabilisation thermique : Certains types de briques de terre peuvent être soumis

à un traitement thermique, tel que la cuisson dans un four, pour renforcer leur résistance et leur durabilité. La chaleur aide à renforcer les liens entre les particules d'argile, ce qui rend les briques plus solides.

5) Incorporation de fibres : L'ajout de fibres, telles que des fibres végétales ou des fibres synthétiques, dans le mélange d'argile peut améliorer la résistance à la traction des briques de terre. Les fibres renforcent la structure de la brique et aident à prévenir les fissures et les déformations

6) Utilisation d'adjuvants : Certains adjuvants, tels que des plastifiants ou des agents de dispersion, peuvent être ajoutés au mélange d'argile pour améliorer les propriétés de travail et la résistance des briques de terre.

Il est important de noter que les techniques de stabilisation mécanique peuvent varier en fonction des ressources disponibles, des exigences de construction et des conditions locales.

La stabilisation mécanique est le terme général pour la consolidation du sol par compactage. Ce processus modifie les propriétés de la terre (densité, compressibilité, perméabilité et porosité), interférant avec la structure. [13]

I_7_2 Stabilisation physique:

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

Effectivement, l'intervention sur la texture de la terre est l'un des moyens de stabiliser physiquement les matériaux à base de terre. Cela peut être réalisé en contrôlant les fractions de grains présentes dans le mélange, notamment l'argile et le sable. Voici comment cela peut influencer les propriétés de la terre :

1) Ajout de sable : L'ajout de sable à une terre riche en argile peut améliorer sa stabilité physique. Le sable contribue à augmenter la porosité du mélange, ce qui favorise le drainage de l'eau et réduit la rétractabilité de l'argile. Cela peut aider à prévenir les fissures et les déformations dues aux variations de l'humidité.

2) Contrôle du rapport argile/sable : En ajustant le rapport entre les fractions d'argile et de sable dans le mélange, il est possible d'obtenir une texture optimale pour la stabilité. Un rapport équilibré peut améliorer la cohésion du matériau, tout en permettant une bonne perméabilité à l'eau.

3) Fractionnement du matériau : En utilisant des tamis ou d'autres techniques de séparation, il est possible de fractionner la terre en différentes granulométries. Cela permet de sélectionner les fractions de grains les mieux adaptées aux propriétés recherchées,

comme la résistance et la compacité.

4) Granulométrie contrôlée : En contrôlant la granulométrie des fractions de grains (argile, sable, limon), il est possible d'optimiser la densité et la résistance du matériau. Une granulométrie appropriée permet d'obtenir une distribution des grains cohérente, ce qui améliore la compacité et la résistance du matériau.

Il convient de noter que l'ajustement de la texture d'une terre en modifiant les fractions de grains peut également avoir des implications sur d'autres propriétés, telles que la plasticité, la perméabilité et la rétention d'eau. [13]

I_7_3 Stabilisation chimique:

La stabilisation de la terre peut être réalisée en ajoutant d'autres matériaux ou produits chimiques qui modifient ses propriétés, que ce soit par des réactions physico-chimiques avec les particules de terre ou par la création d'une matrice qui lie ou recouvre ces particules. Voici quelques exemples courants de matériaux et produits chimiques utilisés pour la stabilisation de la terre :

1) Ciment : L'ajout de ciment à la terre permet d'activer une réaction chimique appelée hydratation, qui forme des liaisons solides entre les particules et améliore la résistance du matériau. Le ciment est souvent utilisé pour stabiliser les sols argileux ou limoneux.

2) Chaux : La chaux est un autre matériau couramment utilisé pour la stabilisation de la terre. Elle réagit chimiquement avec les particules de terre, augmentant la stabilité, la résistance et la durabilité du matériau. La chaux est particulièrement efficace pour traiter les sols argileux.

3) Bitume : Le bitume est utilisé dans la stabilisation des sols pour créer une liaison hydrophobe et imperméable entre les particules de terre. Cela améliore la résistance à l'eau et la durabilité du matériau. Le bitume est souvent utilisé dans la construction de routes et de revêtements.

4) Sous-produits industriels : Certains sous-produits industriels, tels que les cendres volantes, les laitiers de hauts fourneaux ou les résidus de scories, peuvent être utilisés comme stabilisants pour la terre. Ces matériaux réagissent chimiquement avec la terre, améliorant sa résistance et ses propriétés mécaniques.

Il est important de noter que le choix et la quantité de matériau ou de produit chimique à ajouter dépendent de la nature du sol d'origine, des objectifs de stabilisation et des exigences spécifiques du projet. [13]

Le traitement du matériau terre par des produits chimiques se fait pratiquement de deux manières :

- Un traitement dans la masse (introduction dans la masse du sol d'une quantité minimale de stabilisant).
- Un traitement de surface (enduits, badigeons, hydrofuges), pour protéger la surface par imprégnation sur la partie exposée [14]

I_7_4_1 Stabilisations par le ciment:

Les stabilisations par le ciment sont des techniques utilisées dans la construction et l'ingénierie pour renforcer et stabiliser les sols. Cette méthode consiste à mélanger du ciment avec le sol existant afin d'améliorer ses propriétés mécaniques.

Lorsqu'un sol présente des caractéristiques insuffisantes pour supporter une charge structurelle ou qu'il est sujet à l'érosion, la stabilisation par le ciment peut être utilisée pour le rendre plus solide et durable. Les principaux objectifs de cette technique sont d'augmenter la résistance à la compression du sol, de réduire sa perméabilité et de contrôler sa teneur en eau.

Le processus de stabilisation par le ciment implique généralement les étapes suivantes :

Évaluation du sol : Une analyse géotechnique est effectuée pour déterminer les caractéristiques du sol et évaluer sa capacité à être stabilisé par le ciment.

Conception : En fonction des propriétés du sol, des calculs et des normes de conception appropriée, la quantité de ciment nécessaire est déterminée

Mélange : Le ciment est mélangé au sol existant à l'aide d'équipements spéciaux tels que des fraiseuses ou des stabilisateurs de sol. L'eau peut également être ajoutée pour faciliter le mélange.

Compactage : Le sol stabilisé par le ciment est compacté à l'aide de rouleaux compresseurs pour améliorer sa densité et sa résistance.

Durcissement : Le mélange sol-ciment est laissé à sécher et à durcir pendant une période spécifiée, généralement plusieurs jours. Pendant cette période, une hydratation chimique se produit entre le ciment et les particules de sol, ce qui renforce le matériau.

Une fois la stabilisation par le ciment terminée, le sol présente une meilleure résistance structurelle, une réduction de la perméabilité et une plus grande capacité à supporter des charges. Cela le rend approprié pour la construction de routes, de fondations de bâtiments, de digues, de pistes d'aéroport, et d'autres infrastructures nécessitant un sol solide et durable.

Il convient de noter que la stabilisation par le ciment est une technique spécialisée qui

nécessite une expertise en génie civil et en géotechnique. Il est recommandé de faire appel à des professionnels qualifiés pour la mise en œuvre de cette méthode afin d'assurer sa réussite et sa conformité aux normes de sécurité et de qualité. [15]

Les ciments courants ont pour constituant le clinker, auquel il peut être ajouté suivant leur type : [16]

Calcaire - laitier de haut fourneau - cendre volantes - fines calcaires - pouzzolane Naturelle - schistes calcines - fumées de silice.

I 7_4_2 Les types du ciment:

Le ciment se classe en cinq catégories : CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V.

- ❖ CEM I : LE CEM I est le ciment traditionnel, sans constituant secondaire on l'utilise pour du béton précontraint et armé, pour lequel on recherche une haute résistance.
- ❖ CEM II : LE CEM II est le ciment avec des constituants secondaires. Il est très utilisé sur des chantiers. Il s'adapte à divers usages.
- ❖ CEM III A CEM V : ces autres catégories de ciment sont davantage « diluées », avec des produits secondaires : laitiers de haut fourneau, pouzzolane et autres.

Ces types de ciment sont destinés à des usages spécifiques.

- ❖ LE CEM III ET V : ils sont adaptés pour les travaux de fondation et conviennent bien pour les milieux agressifs
- ❖ LE CEM IV : il n'est pas manufacturé en France.

Tableau_I 3 : liste des différents types des ciments courants normalisés par la norme NF EN 12518 p15 301.

Désignation	Types De Ciment	Clinker %	Ajouts Et Teneurs En %	Matières Secondaire
CEM I	Ciment Portland	95 A 100 %		
CEM II /A	Ciment Portland	80 A 94 %	L'un Des Ajouts - 6 A 20 %	
	Portland	65 A 79 %	- 21 A 35 %	
CEM II	Composé			

/B				
CEM III/A	Ciment	35 A 64 %	Laitier -35 A 65 %	0 à 5%
	De Haut	20 A 34 %	- 66 A 80 % -	
CEM III/B	Fourneau	5 A 19 %	81 A 95 %	
CEM III/C				
CEM IV/A	Ciment Pouzzolanique	65 A 90 %	Pouzzolane, - 10 A 35 %	
CEM IV/B		45 A 64 %		
			Cendre Ou Fume Silice - 36 A 55 %	
CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64 %	Laitier 18 à 30 % et cendre 31 à 50 %	
CEM V/B				
20 à 39 %				

Tableau I 4 : les classes du ciment selon la norme NF en 196-1.

Classe de résistance	Résistances minimales absolues en MPA (2jours)	Résistances minimales absolues en MPA (28jours)
32,5 N	-	≥ 32.5
32,5 R	≥ 13.5	≥ 32.5
42,5 N	≥ 12.5	≥ 42.5
42,5 R	≥ 20	≥ 42.5
52,5 N	≥ 20	≥ 52.5
52,5 R	≥ 30	≥ 52.5

I_7_5 Stabilisation à la chaux

La stabilisation à la chaux est un processus utilisé pour améliorer les caractéristiques des sols. Elle consiste à mélanger de la chaux avec le sol afin de renforcer sa résistance et sa durabilité. La chaux, généralement sous forme de chaux vive (oxyde de calcium) ou de chaux éteinte (hydroxyde de calcium), réagit chimiquement avec les particules du sol pour former des composés qui stabilisent la structure du sol.

La stabilisation à la chaux présente plusieurs avantages. Elle peut augmenter la résistance à la compression du sol, réduire sa sensibilité à l'eau en améliorant sa capacité de drainage, et augmenter sa résistance aux cycles de gel-dégel. Elle peut également réduire la susceptibilité

du sol au gonflement et au retrait, ce qui est important dans les zones sujettes à des mouvements du sol excessifs.

Le processus de stabilisation à la chaux implique généralement le mélange mécanique de la chaux avec le sol existant. Cela peut être réalisé à l'aide d'équipements spéciaux tels que des mélangeurs de sol ou des pulvérisateurs de chaux. Le mélange est généralement effectué jusqu'à ce que la chaux soit uniformément répartie dans le sol.

Après le mélange, le sol stabilisé à la chaux doit être compacté pour atteindre la densité requise. Cela peut être réalisé à l'aide de compacteurs vibrants ou de rouleaux compresseurs. Une fois compacté, le sol doit être correctement humidifié pour permettre la réaction chimique entre la chaux et les particules du sol.

Il est important de noter que la stabilisation à la chaux est adaptée à certains types de sols et de conditions. Les sols argileux ou sableux fins sont généralement les plus appropriés pour ce processus. De plus, la teneur en chaux nécessaire peut varier en fonction des propriétés spécifiques du sol.

la stabilisation à la chaux est une technique utilisée pour améliorer les caractéristiques des sols en mélangeant de la chaux avec le sol existant. Cela permet d'augmenter la résistance et la durabilité du sol, ainsi que de réduire sa sensibilité aux conditions environnementales défavorables :[16]

I_7_6 Stabilisation par les fibres

La stabilisation par les fibres est une méthode utilisée depuis longtemps dans le renforcement des matériaux de construction. Les fibres sont utilisées dans les matériaux présentant une forte plasticité afin de corriger le retrait et les fissures. Par exemple, l'argile mélangée à de la paille est utilisée pour fabriquer des briques de terre moulée (adobe). Cette technique de renforcement est également utilisée dans la construction en torchis, en terre paille, en bauge, en pisé et en blocs de terre comprimée (BTC).

Les fibres synthétiques sont généralement utilisées dans le sol pour améliorer ses propriétés mécaniques telles que la résistance à la compression et au cisaillement. Au début du XXI^e siècle, il y a eu un retour à l'utilisation des fibres végétales, encouragé par les gouvernements en raison de leurs qualités environnementales, de leur coût relativement bas et de l'épuisement des ressources pétrolières.

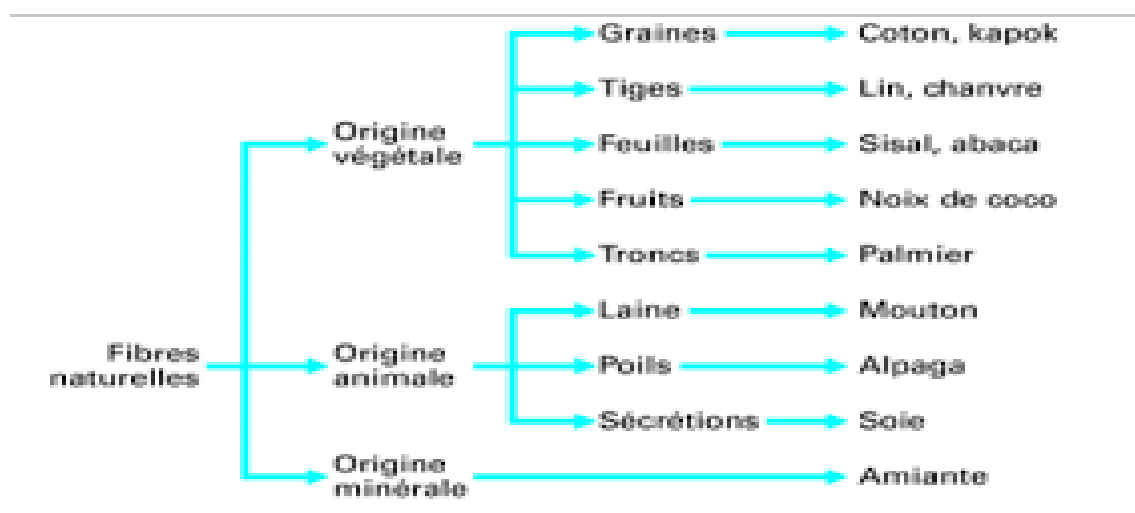
Il existe différentes fibres utilisées comme renfort dans les matériaux de construction. Les fibres sont caractérisées par leur longueur et leur diamètre, avec une longueur d'environ trois fois leur diamètre. Il existe plusieurs variétés de fibres utilisées, identifiées en fonction de leur origine (naturelle ou synthétique), leur forme (droite, ondulée, en forme d'aiguille), leurs dimensions (macrofibre ou microfibre) et leurs propriétés spécifiques. Le choix des fibres

dépend de leur utilisation et de leur compatibilité avec la matrice dans laquelle elles sont incorporées.[17]

I_8 Revue générale sur les fibres

I_8_1 Les fibres naturelles

Les fibres naturelles utilisées dans la construction peuvent être classées en trois groupes en fonction de leur origine. Les fibres végétales sont un premier groupe et présentent plusieurs avantages dans le domaine de la construction. Elles sont largement disponibles et obtenues à faible coût, ce qui en fait des matériaux économiquement accessibles. De plus, leur utilisation dans la construction offre des revenus supplémentaires aux agriculteurs. Un autre avantage majeur des fibres végétales est leur contribution à la réduction des impacts environnementaux. En effet, elles sont des matières premières renouvelables, biodégradables, et leur production n'émet pas de CO2 excessif. De plus, leur production nécessite une faible consommation d'énergie.



Figure_I 11 : Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine (Baley, 2013).

I_8_2 Les fibres végétales:

Parmi les fibres végétales utilisées dans la construction, on trouve :

Les fibres provenant des poils séminaux des graines, telles que le coton et le kapok. Les fibres libériennes qui sont extraites des tiges des plantes, telles que le lin, le chanvre, le jute et l'ortie.

Les fibres provenant des feuilles, comme le sisal, des troncs d'arbres, comme le palmier, ou encore des enveloppes de fruits, comme la noix de coco.

Ces fibres végétales offrent des caractéristiques spécifiques en fonction de leur type, telles

que leur résistance, leur flexibilité et leur durabilité. Elles peuvent être utilisées dans diverses applications de construction, notamment dans les matériaux composites, les panneaux isolants, les revêtements, les renforts de terre [18]

I_8_3 Les fibres animales:

Les fibres animales sont un autre groupe de fibres naturelles utilisées dans la construction. Ces fibres sont généralement obtenues à partir des poils, des plumes ou de la soie d'animaux. Elles peuvent être utilisées seules ou mélangées à d'autres matériaux pour renforcer les produits de construction. Voici quelques exemples de fibres animales couramment utilisées

1) La laine : La laine de mouton est une fibre animale populaire pour ses propriétés d'isolation thermique et acoustique. Elle est souvent utilisée dans les matériaux d'isolation et les panneaux de construction.

2) Les poils d'animaux : Certains animaux, tels que les chameaux, les yaks ou les lapins, fournissent des poils qui peuvent être utilisés dans la fabrication de textiles et de matériaux de construction. Ces poils peuvent apporter des propriétés d'isolation et de résistance mécanique.

3) Les plumes : Les plumes d'oiseaux, notamment les plumes d'oie et de canard, peuvent être utilisées dans les matériaux d'isolation et les rembourrages. Elles offrent des propriétés légères et thermiques intéressantes.

4) La soie : La soie est une fibre naturelle produite par les vers à soie. Bien qu'elle soit principalement utilisée dans l'industrie textile, elle peut également être incorporée dans des matériaux de construction pour améliorer leurs propriétés mécaniques.

Les fibres animales peuvent présenter des avantages tels que leur résistance, leur flexibilité et leur durabilité. Cependant, leur utilisation peut être limitée en raison de facteurs tels que la disponibilité limitée, le coût élevé et les considérations éthiques liées à la collecte des fibres animales. Ces facteurs doivent être pris en compte lors de la sélection et de l'utilisation des fibres animales dans la construction.

Il convient également de noter que certaines fibres animales peuvent nécessiter un traitement supplémentaire pour garantir leur durabilité et leur résistance aux attaques biologiques, telles que les insectes et les moisissures.[19]

I_8_4 Les fibres minérales

Les fibres minérales, également appelées fibres minérales réfractaires, sont des matériaux fabriqués à partir de minéraux inorganiques. Elles sont principalement utilisées dans des applications industrielles, notamment dans l'isolation thermique et acoustique, ainsi que dans les matériaux de construction.

Il existe plusieurs types de fibres minérales, les plus courantes étant la laine de roche et la

laine de verre.

Laine de roche : Elle est fabriquée à partir de roches volcaniques, telles que le basalte ou la diabase, qui sont fondues à très haute température puis filées pour obtenir des fibres. La laine de roche est utilisée principalement pour l'isolation thermique et acoustique des bâtiments, des conduits et des équipements industriels. Elle présente une excellente résistance au feu, une bonne performance thermique et une grande durabilité.

Laine de verre : Elle est fabriquée à partir de sable et de verre recyclé. Le processus de fabrication implique la fusion du verre à haute température, suivi du filage des fibres. La laine de verre est couramment utilisée pour l'isolation des bâtiments, des toitures, des murs et des planchers. Elle est également utilisée dans les applications industrielles nécessitant une isolation thermique. La laine de verre offre de bonnes performances thermiques, une résistance au feu et une absorption acoustique.

Ces fibres minérales sont appréciées pour leurs propriétés isolantes, leur résistance au feu, leur incombustibilité et leur faible coût. Elles sont souvent utilisées dans l'industrie de la construction et de l'isolation pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, réduire les pertes de chaleur et fournir une isolation phonique.

Il convient de noter que certaines formes de fibres minérales peuvent présenter des risques pour la santé lorsqu'elles sont inhalées sous forme de poussières. Il est donc important de prendre des précautions appropriées lors de la manipulation et de l'installation de ces matériaux, en suivant les recommandations de sécurité fournies par les fabricants.

I_8_5 Fibres synthétiques

Les fibres synthétiques sont des fibres artificielles produites à partir de polymères synthétiques. Ces polymères sont généralement dérivés de produits pétroliers tels que le pétrole brut ou le gaz naturel. Les fibres synthétiques sont fabriquées par un processus de polymérisation, dans lequel de petites molécules appelées monomères sont combinées pour former de longues chaînes de polymères.

Il existe plusieurs types de fibres synthétiques couramment utilisées, notamment :

1) Polyester : Le polyester est une fibre synthétique populaire utilisée dans de nombreux vêtements, textiles d'ameublement et matériaux industriels. Il est résistant aux plis, durable, facile à entretenir et possède de bonnes propriétés d'étirement et de résistance à l'usure.

2) Nylon : Le nylon est une fibre synthétique connue pour sa résistance et sa durabilité. Il est souvent utilisé dans la fabrication de vêtements de sport, de bas, de cordes et de matériaux industriels.

3) Polypropylène : Le polypropylène est une fibre synthétique légère et résistante à

l'humidité. Il est souvent utilisé dans les textiles d'extérieur, les tapis et les tapisseries.

Acrylique : L'acrylique est une fibre synthétique douce et légère qui imite la laine. Il est souvent utilisé dans les vêtements d'extérieur, les couvertures et les tissus d'ameublement.

4) Spandex : Le spandex, également connu sous le nom d'élasthane, est une fibre synthétique élastique et extensible. Il est utilisé dans la fabrication de vêtements ajustés, tels que les vêtements de sport, les maillots de bain et les sous-vêtements.

Les fibres synthétiques offrent plusieurs avantages par rapport aux fibres naturelles, notamment leur durabilité, leur résistance aux plis, leur résistance à l'humidité et leur facilité d'entretien. Cependant, elles peuvent également présenter des inconvénients tels que leur faible respirabilité et leur impact environnemental lors de leur production et de leur élimination. [20]

I_8_6 Fibres artificielles:

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

I_8_2 Les fibres végétales

I_8_2_1 Propriétés mécaniques des fibres végétales

Les fibres végétales présentent différentes propriétés mécaniques en fonction de leur composition chimique et de leur structure. Voici quelques propriétés mécaniques couramment associées aux fibres végétales : [21]

1) Résistance à la traction : Les fibres végétales peuvent avoir une résistance à la traction variable en fonction de leur type. Par exemple, les fibres de jute et de chanvre sont généralement plus résistantes que les fibres de coton. La résistance à la traction mesure la force maximale qu'une fibre peut supporter avant de se rompre.

2) Rigidité : Les fibres végétales peuvent varier en termes de rigidité, c'est-à-dire leur résistance à la déformation sous une charge appliquée. Par exemple, les fibres de lin sont souvent considérées comme plus rigides que les fibres de coton.

3) Allongement à la rupture : Il s'agit de la capacité d'une fibre à s'étirer avant de se rompre. Certaines fibres végétales peuvent avoir un allongement à la rupture relativement faible, ce qui signifie qu'elles ont tendance à se rompre lorsqu'elles sont soumises à une tension élevée.

4) Ténacité : La ténacité est une mesure de la capacité d'une fibre à absorber l'énergie avant de se rompre. Les fibres végétales ont généralement une ténacité plus faible par rapport

à certaines fibres synthétiques, ce qui signifie qu'elles ont une résistance relativement plus faible aux chocs et aux charges élevées.

5) Flexibilité : Les fibres végétales peuvent varier en termes de flexibilité, c'est-à-dire leur capacité à se plier sans se rompre. Certaines fibres végétales, comme le coton, sont connues pour leur flexibilité, ce qui les rend adaptées à des applications nécessitant un certain degré de confort et de souplesse.

Il est important de noter que les propriétés mécaniques des fibres végétales peuvent être influencées par des facteurs tels que le traitement, la structure de la fibre et les conditions environnementales. De plus, ces propriétés peuvent être améliorées par des traitements chimiques ou mécaniques pour renforcer les fibres végétales et les rendre plus adaptées à certaines applications spécifiques.

I_8_2_2 Classification des Fibres Végétales

1) Les fibres de feuilles

Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Les fibres sont fabriquées par chevauchement de paquet qui entoure le long des feuilles pour les renforcer ces fibres sont dures et rigides. Les types de fibres de feuilles les plus cultivées son (Rdelebecque,Collection Mémento Technique) : [22]

2) L'abaca

L'Abaca ou chanvre (Figure 10) de Manille est un bananier textile (Musacées) qui pousse aux Philippines : les fibres dans les gaines foliaires forment un pseudo tronc très recherché pour la fabrication de cordages légers et insubmersibles, et aussi de rabanes, nappes, stores, vêtements.

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



Figure _ I 12 : Fibre d'abaca (Mvenueat)

3) Le sisal

Le sisal est une espèce d'agave, ses fibres sont extraites des feuilles de la plante sisal (Figure I. 11) dont le nom scientifique est *agave sisalana*. Originaires du Yucatan (près des Antilles), elle est essentiellement cultivée en Amérique du sud, en Afrique et en extrême orient.

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

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

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



Figure _I 13 : Fibre de sisal (Mvenueat).

I_8_2_3 Avantages et inconvénients des fibres végétales

Le tableau 5 présente les avantages et les inconvénients des fibres végétales commerenfort dans la matrice polymère. La biodégradabilité des fibres peut être considérée commeun avantage ou un inconvénient. Pour la recyclabilité, les fibres sont considérées comme avantageuses. Par ailleurs, il n'existe pas de structure composite à durée de vie illimitée, toutmatériau étant voue à devenir déchet. L'utilisation de ce type de matériau impose de placerla structure composite en dehors des conditions de biodégradabilité. Cette démarche est appliquée par exemple pour le bois. [23]

Tableau_I 5 : Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts dans les matrices polymères (Meukamp)

Avantages	Inconvénients
-Faible coût	-Absorption d'eau
-Biodégradable	-Fibres anisotropes
-Neutre pour l'émission de CO2	-Pour des applications industrielles, nécessite de gestion d'un stock
-Pas de résidus après incinération	-Faible stabilité dimensionnelle.
-Resource renouvelable	Faible tenue thermique (200 à 300°C max).
-Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)	-Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, des conditions météorologiques
-Non abrasif pour les outillages	-Renfort discontinu
Demande peu d'énergie pour la production	
-Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres	
-Bon isolant thermique et acoustique	

I_9 Revue sur l'incorporation de fibres dans le BTC

L'incorporation de fibres dans les blocs de terre est une technique utilisée pour renforcer les structures en terre crue et améliorer leur résistance mécanique. Cette pratique permet de surmonter certaines des limitations intrinsèques de la terre en tant que matériau de construction. Les fibres utilisées dans les blocs de terre peuvent être d'origine végétale, animale ou synthétique. Les fibres végétales couramment utilisées incluent la paille, le roseau, le bambou et le lin. Les fibres animales telles que les poils d'animaux ou la laine peuvent également être utilisées. En outre, des fibres synthétiques comme les fibres de polypropylène sont parfois incorporées.

L'ajout de fibres dans les blocs de terre présente plusieurs avantages. Tout d'abord, les fibres renforcent la résistance à la traction de la terre, réduisant ainsi les fissures et les déformations. Cela permet aux structures en terre de mieux résister aux contraintes mécaniques, y compris aux secousses sismiques. De plus, les fibres peuvent améliorer la résistance à l'usure et à l'érosion, prolongeant ainsi la durée de vie des structures en terre.

La quantité et le type de fibres à incorporer dépendent des exigences spécifiques de la construction et des propriétés recherchées. Des études expérimentales et des essais ont été

réalisés pour déterminer les proportions optimales de fibres et les meilleures combinaisons de fibres pour différentes applications

Cependant, il est important de noter que l'incorporation de fibres peut également présenter certains défis. La distribution uniforme des fibres dans le mélange de terre est essentielle pour obtenir des performances homogènes. De plus, la compatibilité entre les fibres et la terre doit être prise en compte pour éviter toute réaction indésirable ou une détérioration prématurée des matériaux

L'incorporation de fibres dans les blocs de terre est une technique prometteuse pour améliorer la résistance et la durabilité des structures en terre crue. Les fibres offrent des avantages significatifs en termes de renforcement mécanique et de résistance à l'usure. Cependant, des études supplémentaires et une expérimentation continue sont nécessaires pour optimiser les proportions et les combinaisons des fibres, ainsi que pour évaluer les performances à long terme des structures renforcées par des fibres [24]

I_10 Exigences pour l'utilisation du bloc de terre :

L'utilisation du bloc de terre dans la construction nécessite de respecter certaines exigences pour garantir la sécurité, la durabilité et la performance des structures. Voici quelques-unes des exigences courantes

1) Normes de construction : Il est essentiel de se conformer aux normes de construction locales et nationales régissant l'utilisation du bloc de terre. Ces normes peuvent inclure des spécifications sur les dimensions et les caractéristiques du bloc de terre, les méthodes de construction, les essais de résistance et d'autres critères de qualité.

2) Composition du mélange de terre : Le mélange de terre utilisé pour fabriquer les blocs doit être soigneusement conçu pour assurer une résistance adéquate et une bonne durabilité. La composition peut varier en fonction des caractéristiques du sol disponible localement, mais généralement, le mélange comprend de la terre argileuse, du sable, de l'eau et parfois des stabilisants tels que de la chaux ou du ciment.

3) Fabrication des blocs de terre : Les blocs de terre doivent être fabriqués selon des méthodes appropriées pour garantir leur qualité. Cela peut inclure le moulage des blocs dans des moules spécifiques, le compactage du mélange de terre pour assurer une cohésion adéquate, et le séchage approprié des blocs pour éviter les fissures ou les déformations.

4) Résistance structurelle : La conception des structures utilisant des blocs de terre doit prendre en compte les charges, les forces sismiques et autres contraintes auxquelles la structure peut être soumise. Des calculs de résistance structurelle doivent être effectués pour s'assurer que la structure peut résister aux charges prévues et aux contraintes environnementales.

5) Isolation thermique et acoustique : Les blocs de terre peuvent offrir une bonne isolation thermique et acoustique. Il est important de concevoir et de construire les structures en tenant compte de ces propriétés pour assurer le confort intérieur et l'efficacité énergétique.

6) Traitement et protection : Les blocs de terre doivent être traités et protégés pour les rendre résistants à l'humidité, à l'érosion et aux ravageurs. Cela peut impliquer l'utilisation de revêtements appropriés, de traitements hydrofuges ou de méthodes de finition pour assurer la durabilité à long terme des structures.

7) Suivi et entretien régulier : Comme pour toute autre construction, il est important de surveiller et d'entretenir régulièrement les structures en bloc de terre. Cela peut inclure des inspections périodiques, des réparations si nécessaire et l'entretien général pour préserver l'intégrité des blocs de terre.[25]

I_11 Principaux facteurs influents les caractéristiques du BTC

Les caractéristiques d'une brique de terre, également connue sous le nom de brique d'argile ou de brique de terre cuite, sont influencées par différents facteurs. Voici quelques-uns des principaux facteurs qui jouent un rôle dans les caractéristiques de la brique de terre :

1) Composition du mélange : La composition du mélange utilisé pour fabriquer les briques de terre est un facteur essentiel. Il comprend généralement de l'argile, du sable et parfois d'autres matériaux tels que de la paille ou des stabilisants. La proportion et la qualité de ces matériaux affectent la résistance, la durabilité et d'autres propriétés de la brique.

2) Teneur en eau : La quantité d'eau utilisée pour préparer le mélange joue un rôle crucial. Une teneur en eau appropriée permet d'obtenir une bonne cohésion des particules, facilitant ainsi la formation de la brique et son séchage ultérieur.

3) Méthode de fabrication : La façon dont les briques de terre sont fabriquées peut également influencer leurs caractéristiques. Les méthodes traditionnelles comprennent le moulage manuel, la compression ou l'extrusion du mélange dans des moules. Les techniques modernes peuvent également inclure des processus automatisés.

4) Traitement thermique : Le traitement thermique, généralement par cuisson, est souvent utilisé pour durcir les briques de terre. La température et la durée de cuisson peuvent influencer la résistance, la couleur et d'autres propriétés de la brique.

5) Texture et finition de surface : La texture de la brique de terre, qui peut être lisse ou rugueuse, ainsi que la finition de surface, peuvent varier en fonction des techniques de fabrication et des préférences esthétiques.

6) Qualité de l'argile : La qualité de l'argile utilisée est un facteur clé. Différents types d'argile présentent des caractéristiques différentes, comme la rétractabilité, la plasticité et la capacité à retenir l'eau, ce qui influence les propriétés finales de la brique.

7) Traitement de stabilisation : Dans certains cas, des stabilisants peuvent être ajoutés au mélange d'argile pour améliorer les propriétés de la brique, comme la résistance à l'eau, la résistance aux intempéries ou la réduction du retrait.

8) Conditions environnementales : Les conditions environnementales, telles que l'humidité, la température et le climat local, peuvent affecter le processus de séchage et de durcissement des briques de terre, ainsi que leur résistance et leur durabilité à long terme.

Il est important de noter que les caractéristiques des briques de terre peuvent varier en fonction de ces facteurs, ainsi que des techniques de fabrication spécifiques utilisées dans différentes régions et cultures.[26]

I_12 Impacts des constructions par les blocs de terre stabilisée sur les aspects environnement :

La position du bloc de terre comprimée par rapport à d'autres matériaux de maçonnerie peut s'établir sur les aspects d'utilisation de matériau. Ainsi notre analyse sur ce point abordera les aspects suivants :

L'aspect sanitaire.

L'aspect écologique.

L'aspect psychologique.

L'aspect confort et esthétique.

L'aspect développement durable.

I_12_1 Influence Sur le l'aspect sanitaire

Les matériaux locaux de construction, tels que les blocs de terre comprimée (BTC), sont souvent considérés comme respectueux de l'environnement et favorables au développement durable. Ils contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre, car leur fabrication n'implique pas l'utilisation de composants chimiques nocifs ou radioactifs. Contrairement au ciment, qui représente environ 5% des émissions mondiales de CO2 lors de sa fabrication, les matériaux locaux ont un impact environnemental moindre.

Cependant, il est important de noter que la présence d'insectes dans les murs construits avec des matériaux locaux, tels que les BTC, peut être un problème potentiel sur le plan sanitaire. En raison de leur forme irrégulière, ces matériaux peuvent créer des poches ou des creux dans lesquels les insectes peuvent se loger. Certains de ces insectes peuvent être nuisibles pour notre bien-être et peuvent également être des vecteurs de transmission de maladies.

Il convient donc de prendre des mesures appropriées pour prévenir la présence d'insectes indésirables dans les constructions en matériaux locaux. Cela peut inclure des techniques de construction appropriées, des traitements préventifs ou l'utilisation de solutions complémentaires pour minimiser le risque d'infestation.

I_12_3 Confort et esthétique :

Effectivement, la construction de bâtiments à base de briques en terre comprimée présente certains avantages en termes de confort et d'esthétique par rapport à la construction en aggloméré de ciment. Voici quelques points importants :

1) Atténuation des variations climatiques : Les briques en terre comprimée ont une grande inertie thermique, ce qui signifie qu'elles peuvent absorber, stocker et libérer lentement

la chaleur. Cela permet d'atténuer l'amplitude et la rapidité des variations de température à l'intérieur des bâtiments, créant ainsi un environnement intérieur plus stable et confortable.

2) Autorégulation de l'humidité : Les matériaux locaux, tels que les briques en terre comprimée, ont la capacité d'autoréguler le taux d'humidité à l'intérieur des bâtiments. Ils peuvent absorber et libérer l'humidité selon les conditions environnementales, ce qui contribue à maintenir un niveau d'humidité confortable et sain à l'intérieur.

3) Esthétique appréciée : Les constructions en blocs de terre comprimée sont souvent appréciées pour leur esthétique naturelle et chaleureuse. Les briques en terre comprimée offrent une variété de textures, de couleurs et de finitions qui permettent de créer des bâtiments esthétiquement attrayants, en harmonie avec l'environnement environnant.

En revanche, la construction en aggloméré de ciment ne fournit généralement pas une isolation thermique efficace. Les blocs de ciment ont une faible inertie thermique et peuvent conduire la chaleur plus facilement, ce qui peut entraîner des variations plus rapides de la température à l'intérieur des bâtiments.

I_12_4 Sur le plan écologique :

En effet, sur le plan écologique, les blocs de terre comprimée (BTC) présentent plusieurs avantages par rapport au béton armé.

Récupération et absence de déchets indésirables : Les matériaux locaux, tels que les BTC, peuvent être récupérés et réutilisés lorsqu'un ouvrage doit être détruit. Ils ne génèrent pas de déchets indésirables lorsqu'ils sont démolis, car ils peuvent être facilement désagrégés et recyclés.

1) Facilité de recyclage : Les débris et résidus de matériaux locaux, tels que les BTC, peuvent être recyclés plus facilement que le béton armé. Dans le cas du béton armé, il est nécessaire de séparer les fers d'armature du béton pour les recycler individuellement, ce qui peut être un processus plus complexe et coûteux.

2) Moindre consommation d'énergie : La fabrication des BTC nécessite généralement moins d'énergie que celle du béton armé. Les BTC sont fabriqués à partir de terre crue, un matériau naturel disponible localement, tandis que la production du béton nécessite des procédés de fabrication plus intensifs en énergie, tels que le chauffage du ciment.

3) Réduction des émissions de gaz à effet de serre : La fabrication des BTC émet moins de gaz à effet de serre que la production de béton armé. Comme mentionné précédemment, la fabrication du ciment utilisé dans le béton est responsable d'une part importante des émissions de CO₂ au niveau mondial.

En choisissant d'utiliser des blocs de terre comprimée, on peut donc contribuer à réduire la quantité de déchets indésirables, faciliter le recyclage des matériaux et limiter les émissions de gaz à effet de serre. Cela favorise un mode de construction plus respectueux de l'environnement.

I_12_4 Sur le plan développement durable :

Tout à fait, la terre et l'argile sont des matériaux disponibles en abondance dans de nombreuses régions du monde. Leur utilisation dans la fabrication de blocs de terre comprimée présente plusieurs avantages en termes de développement durable :

1) Disponibilité et accessibilité : La terre et l'argile sont des ressources naturelles largement disponibles, ce qui facilite leur utilisation dans la construction. Elles peuvent être trouvées localement, réduisant ainsi la dépendance aux matériaux importés et les coûts de transport associés.

2) Faible consommation d'énergie : La transformation de la terre en blocs de terre comprimée nécessite très peu, voire pas du tout, d'énergie, par rapport à d'autres matériaux de construction comme le béton ou la brique cuite. Cela réduit l'empreinte énergétique et contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre associées à la production de matériaux de construction.

3) Absence d'émissions de gaz à effet de serre : Contrairement à la fabrication du ciment utilisé dans le béton, la transformation de la terre en blocs de terre comprimée ne produit pas d'émissions de gaz à effet de serre. Cela contribue à atténuer le changement climatique en réduisant l'impact environnemental de la construction.

4) Recyclabilité : Les blocs de terre comprimée sont recyclables et réutilisables. Lorsque des bâtiments construits avec ces blocs doivent être démolis, les matériaux peuvent être récupérés et réutilisés dans d'autres projets, réduisant ainsi les déchets et la consommation de nouvelles ressources.

En considérant ces points, il est indéniable que les briques en blocs de terre comprimée contribuent au développement durable en utilisant des ressources abondantes, en réduisant la consommation d'énergie, en évitant les émissions de gaz à effet de serre et en favorisant le recyclage. Leur utilisation permet de construire de manière plus respectueuse de l'environnement et de promouvoir une gestion durable des ressources naturelles.

I_12_5 Aspect psychologique :

Effectivement, il est essentiel de prendre en compte l'aspect psychologique lié à l'utilisation des matériaux locaux tels que les blocs de terre comprimée. Au fil des années, la terre a été

largement utilisée dans la construction à travers le monde. Cependant, certains préjugés persistent quant à la qualité et à la durabilité de ces matériaux locaux, les considérant souvent comme précaires et réservés aux personnes défavorisées.

Il est donc nécessaire de sensibiliser la population et de mettre en avant les aspects positifs des matériaux locaux. Il faut souligner que la construction avec des blocs de terre comprimée peut être une option viable et durable. Il est important de faire comprendre que ces matériaux participent à la protection de l'environnement en réduisant les émissions de gaz nocifs, contrairement au ciment qui peut avoir des effets néfastes sur la santé.

La sensibilisation doit s'attacher à déconstruire les préjugés et à promouvoir une meilleure compréhension des avantages des matériaux locaux. Il est crucial de mettre en évidence leur durabilité, leur efficacité thermique, leur capacité à réguler l'humidité et leur esthétique appréciée. En montrant les multiples avantages de ces matériaux, il est possible de changer les perceptions négatives et de favoriser une plus grande acceptation de leur utilisation dans la construction.

Il est également important de souligner que l'utilisation de matériaux locaux ne doit pas être associée à un statut social ou à une classe économique spécifique. Au contraire, elle peut être une réponse durable et respectueuse de l'environnement pour tous, quel que soit leur niveau de revenu.

En résumé, il est nécessaire de sensibiliser la population et de changer les perceptions négatives associées aux matériaux locaux. En mettant en avant les aspects positifs, tels que la durabilité, la protection de l'environnement et la contribution à la santé, on peut encourager une utilisation plus répandue de ces matériaux et promouvoir leur acceptation comme une option de construction viable et respectueuse de l'environnement.[27]

I_13 CONCLUSION :

A travers cette analyse bibliographiques, nous avons remarqué que plusieurs recherches ont mis l'accent sur l'utilisation de matériaux de terre stabilisés. Afin d'aboutir à des BTS résistants et durables. Donc la synthèse des recherches antérieures ont mis en évidence le besoin de faire des recherches sur les caractéristiques des matériaux issus de terre en particulier le BTS tout en respectant l'environnement. Nous essayons à travers de cette étude d'aboutir à des résultats efficaces afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques et la durabilité du BTS.

CHAPITRE II :
« MATERIAUX DE
L'ETUDE ET
TECHNIQUES
EXPERIMENTALE »

II_1 Introduction :

L'objectif principal de ce travail est d'étudier l'influence des fibres naturelles sur les propriétés mécaniques d'un béton de terre stabilisé (BTS) préparé à base de l'argile de Maâdid, située dans la Wilaya de M'sila.

II_1_1 Matériaux :

L'argile utilisé provient de la région de M'sila (Algérie), il est choisi sur la base de sa disponibilité et son abondance dans la région (dite également Maâdid). Cet endroit se trouve à la partie Nord de la commune de M'sila (Algérie)



Figure II_1. Localisation de site de prélèvement

- Le sable de dune (0/5) :

Le sable des dunes est le résultat d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivi d'un transport fluviatile et parfois éolien. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz. Pour notre étude nous avons utilisé le sable de dune Sable de Boussaâda

- **Le sable concassé (0/5) :** provient de carrière de concassage des roches

- **Granulaires :** gravier 3/8

- **Le Ciment :** Ciment Portland NA 442/2013. GICA

- **La fibre :** fibre de sisal

- L'eau de gâchage (NA EN 1008) : Eau potable prise au niveau du laboratoire de génie civil de l'université de M'SILA

- L'argile :

La teneur en argile du sol est la fraction de particules inférieures à 2 μm l'argile est Phyllosilicates plus ou moins hydratés formés par combinaison de feuilles et d'espaces est échelonné. Cet espace est constitué d'eau, selon différents types d'argile, son empilement différentes couches signifient différentes propriétés de l'argile

II_2 Analyse granulométrique (NF P 94-056) :

Pour fabriquer notre BTS, nous avons utilisé une argile disponible se forme de roche à notre wilaya de M'sila. C'est un matériau presque gratuit (juste prix de livraison)



Figure _II 2 : Argile verte

II_2_1 But de l'analyse granulométrique:

- Détermination de la grosseur et du pourcentage en poids des différentes formes de granulats
- Trace la courbe granulométrique.

II_2_2 Equipement nécessaire:

- Série de tamis normalisés
- Balance
- Table vibrante
- Tare

II_2_3 Mode opératoire:

- Tamisez le sol, puis passez-le à travers un tamis 0.5 mm
- Pesé 2 kg et placé dans une série de tamis de 5 mm à 0,08 mm (**Figure**)
- Placez le tamis dans le mixeur pendant 30 secondes
- Ensuite, nous pesons chaque tamis séparément
- Nous joignons les résultats comme indiqué dans le tableau _II 1



Figure _II 3 : Appareillage de l'analyse granulométrique par tamisage

Remarque : avant l'opération de tamisage, l'argile sous forme de roche a été broyé et passé dans un tamis de 2.5 mm

Tableau _II 1 : analyse granulométrique pour d'argile verte

Poids de l'échantillon (g)	tamis (mm)	Poids des Refus partiel(g)	Poids des Refus cumulés(g)	Refus cumulé en %	Tamisât cumulés en %
2000	2.5	1	1	0.05	99.95
	1.25	2	3	0.15	99.85
	0.63	7	10	0.5	99.5
	0.315	1792	1802	90.1	9.9
	0.16	78	1880	94	6
	0.08	46	1926	96.3	3.7
	0	38	1964	98.2	1.8

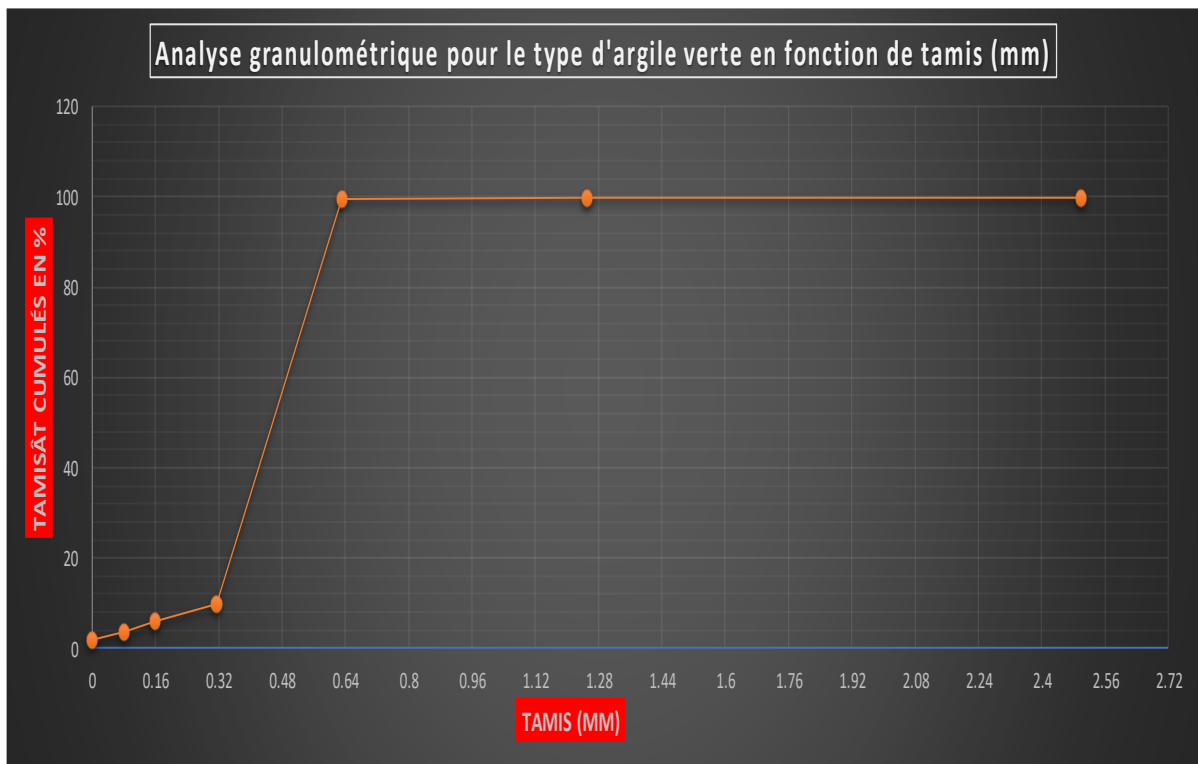


Figure _II 4 : Analyse granulométrique pour le type d'argile verte

II_3 Limite d'Atterberg (Norme NF P 94-051) :

Les limites d'Atterberg permettent d'analyser les variations de consistance des sols fins en fonction de la teneur en eau. Comme pour la granularité, des études statistiques ont été faites afin de définir les limites d'Atterberg les mieux adaptées pour les blocs de terre et de prévoir

rapidement les possibilités constructives d'un sol. Les essais définis par Cassagnarde s'effectuent sur le mortier de sol ($d < 0,4 \text{ mm}$) selon la procédure de la norme NF P 94 051. Les résultats des essais sont présentés dans le tableau.

II_3_1 Objectif : déterminer les teneurs en eau qui caractérisent le changement d'état

- Solide → Plastique: w_P
- Plastique → Liquide: w_L
- $IP = w_L - w_P$
- Passant à $400\mu\text{m}$

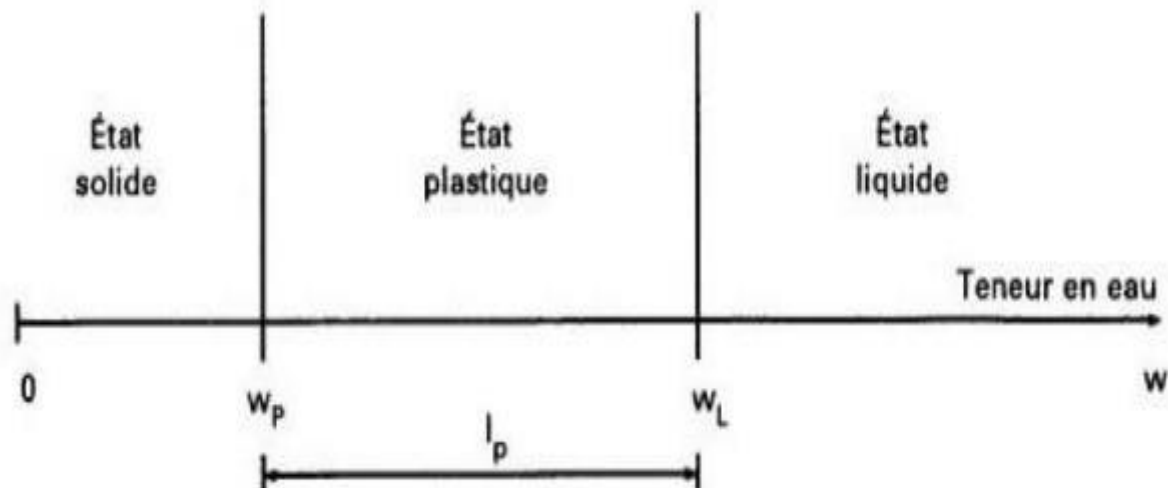


Figure II 5 : Présentation des limites d'Atterberg

II_3_2 Mode opératoire:

L'essai s'effectue sur le mortier du sol (fraction inférieure à $400 \mu\text{m}$).

II_3_3 Limite de liquidité :

Le sol est mélangé à une quantité d'eau. La pâte obtenue est placée dans une coupelle de 100 mm de diamètre environ. On trace sur la pâte lissée une rainure normalisée avec un outil spécial. À l'aide d'une came, on fait subir une série de chocs à la coupelle. On observe en fin d'expérience le contact des deux lèvres de la rainure. La limite de liquidité est la teneur en eau en % qui correspond à une fermeture en 25 chocs.

II_3_4 limite de Plasticité :

On mélange l'échantillon avec des quantités variables d'eau ; on façonne avec la pâte un rouleau de 6 mm de diamètre pour une centaine de mm de longueur. Puis on atteint 3 mm

de diamètre en le roulant (souvent avec les doigts), après 5 à 10 allers-retours maximum. La limite de plasticité est la teneur en eau en % du rouleau qui se fissure et se brise lorsqu'il atteint un diamètre de 3 mm

La précision de l'essai est de l'ordre du demi-point de teneur en eau pour la détermination de la limite de liquidité et du point de teneur en eau pour la détermination de la limite de plasticité.

Tableau _II 2 : Les résultats obtenus pour l'essai de la limite liquidité de argiles.

	21 coups	25 coups	17 coups	24 coups	35 coups
NT	5	1	9	2	7
Masse tare	18.2	18.8	18.3	18.6	7
Masse t+mh	27,9	29,7	29,4	26,2	26,6
Masse t+ms	24,7	25,6	26,3	23,9	25,6
Masse eau	3,2	4,1	3,1	2,3	1
Masse sec	6,5	6,8	8	5,3	7
W %	49,23	60,29	38,75	43,39	14,28
Moyen wl %	41,18 %				



Figure _II 6 : Limite de plasticité au rouleau **Figure _II 7 :** Limite de liquidité à lacoupelle de Casagrande

Tableau _II 3 : Les résultats obtenus par l'essai de la limite plasticité de argiles

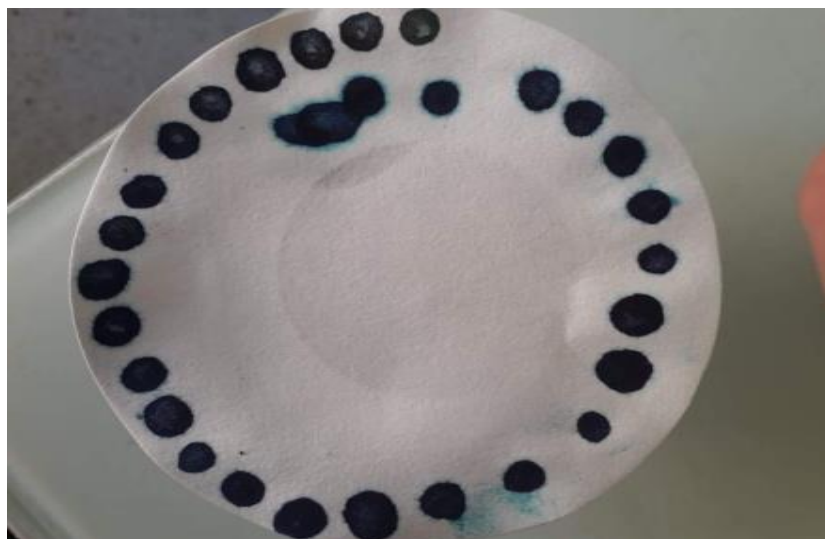
Nt	1	3	5	6
Masse tare (g)	12.7	10.1	10.5	13
Masse t+h	14.6	11.5	11.9	14.3
Masse t+ms	14.1	11.5	11.9	14.3
Masse eau	0.5	0.6	0.5	0.6
Masse sec	1.4	1.4	1.4	1.3
W %	35.71	42.85	35.71	46.15
Moyen WP %	40.1			

Valeur de Blue de méthylène (NA P 94 068).

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

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

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



Figure_II 8 : Essai VBS.

Tableau_II 4 : Valeurs au bleu de méthylène par l'essai à la tache.

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



Figure II 9 : Classification LCPC des sols fins en laboratoire.
Diagramme de plasticité.

II_3_5 Commentaire :

On remarque que le sol se situe dans la zone de limite de liquidité ($25 < W_L < 50$) et dans la zone de limite de l'indice de plasticité ($2,5 < I_P < 29$) selon la norme XP P 13-901. Le graphique (figure 8) permet d'affirmer que le sol présente une plasticité tout à fait adaptée à la production des BTS.

II_4 Sable de Boussaâda :

Les essais d'identifications :

II_4_1 Analyse granulométrique par tamisage (NF 18-304) :

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage comme l'ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

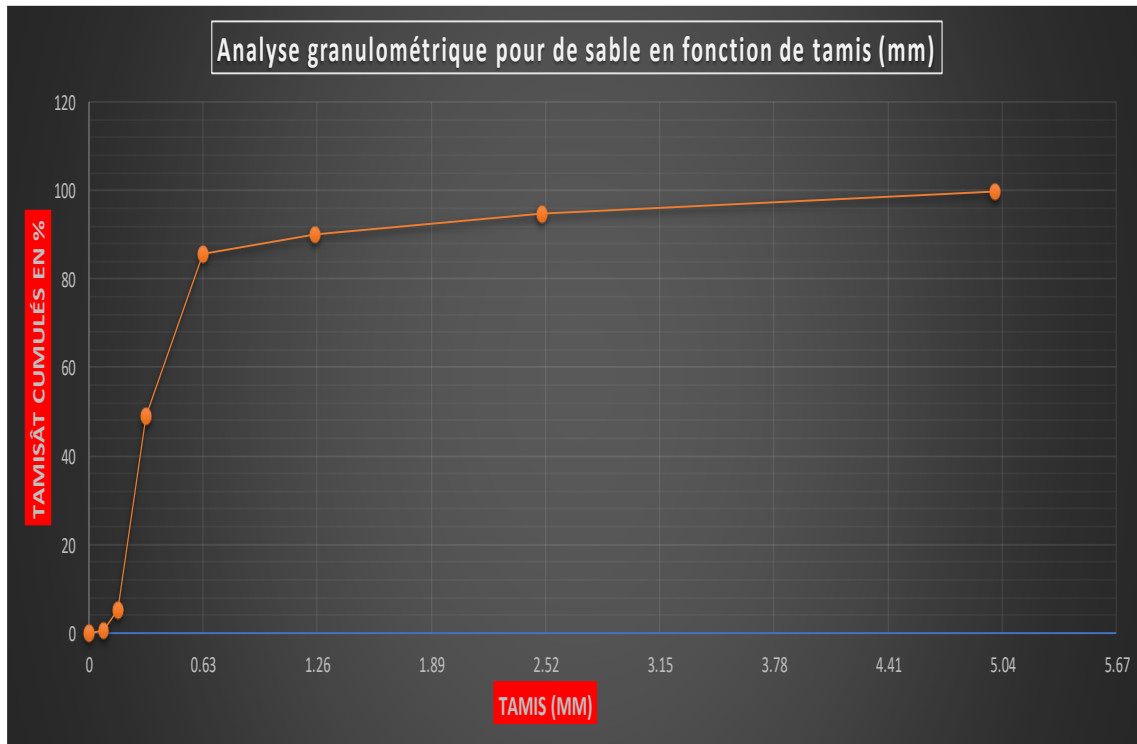


Figure _II 10 : Courbe granulométrique du sable de Boussaâda

II_4_2 Le module de finesse :

La finesse du sable est quantifiée par le calcul de son module de finesse à partir de l'analyse granulométrique. Plus le module est faible plus le sable est riche en éléments fins, il est égal au 1/100 de la somme des refus, exprimé en pourcentage sur les différents tamis de la série utilisée.

$$MF = \Sigma R / 100$$

Tableau _II 5 : module de finesse du sable.

Qualité du sable	Module du finesse
Gros	>2.5
moyen	2 à 2.5
fin	1.5 à 2
Très fin	1.5à 1

Après l'analyse granulométrique on trouve que le MF du sable testé est égal à MF =1.55

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant :

→ Notre sable est un Sables fin

II_4_3 Equivalent de sable (NF P 18-598) :

Il est effectué sur des éléments de diamètre (2 mm) son importance est capitale car la présence des éléments fins peut modifier le comportement rhéologique du matériau et pour pouvoir interpréter correctement les résultats et les indispensables de répéter l'essai au moins deux fois. Il est essentiel pour le choix et le contrôle.

Tableau II_6 : la nature du sable en fonction des mesures par l'équivalent de sable selon la norme (NF P 18-598)

ESV (visuel)	ESP (par piston) Nature et qualité du sable	Nature et qualité du sable
ES < 65%	ES < 60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de Qualité
65% ≤ ES < 75%	60% ≤ ES < 70%	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de Conséquence notable sur la qualité du béton
75% ≤ ES < 85%	70% ≤ ES < 80%	Sable propre à faible proportion de fines Argileuses convenant parfaitement pour les bétons de hautes qualités
ES ≥ 85%	ES ≥ 80%	Sable très propre ; l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par Une augmentation du dosage en eau.

$$ESV = (h_2 / h_1) * 100\%$$

$$ESP = (h'_2 / h_1) * 100\%$$



Figure _II 11 : Appareil de l'essai d'équivalent de sable.

Tableau _II 7 : équivalent du sable de dune

Essai	H1	H2	ESV (%)	ESV moy (%)	h'2	ESP (%)	ESP moy (%)
1	11.20	8.80	78.57	74.81	7.80	72.75	67.48
2	12.20	8.90	72.65		7.9	64.75	
3	12.10	8.86	73.23		7.86	64.75	

II_4_4 La masse volumique:

II_4_5 Masse volumique absolue : NF P 18-555

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu. La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule :

$$\rho_{abs} = M / (V_2 - V_1) \text{ (g/cm}^3 \text{)}$$

Avec : M=300g

II_4_6 But de l'essai :

Mesurer la masse volumique absolue d'un gravier et d'un sable de carrière et la Comparer avec la valeur théorique donnée.

II_4_6 Matériel et Matériaux:

- Un récipient
- Un entonnoir
- Une balance
- Un échantillon de sable

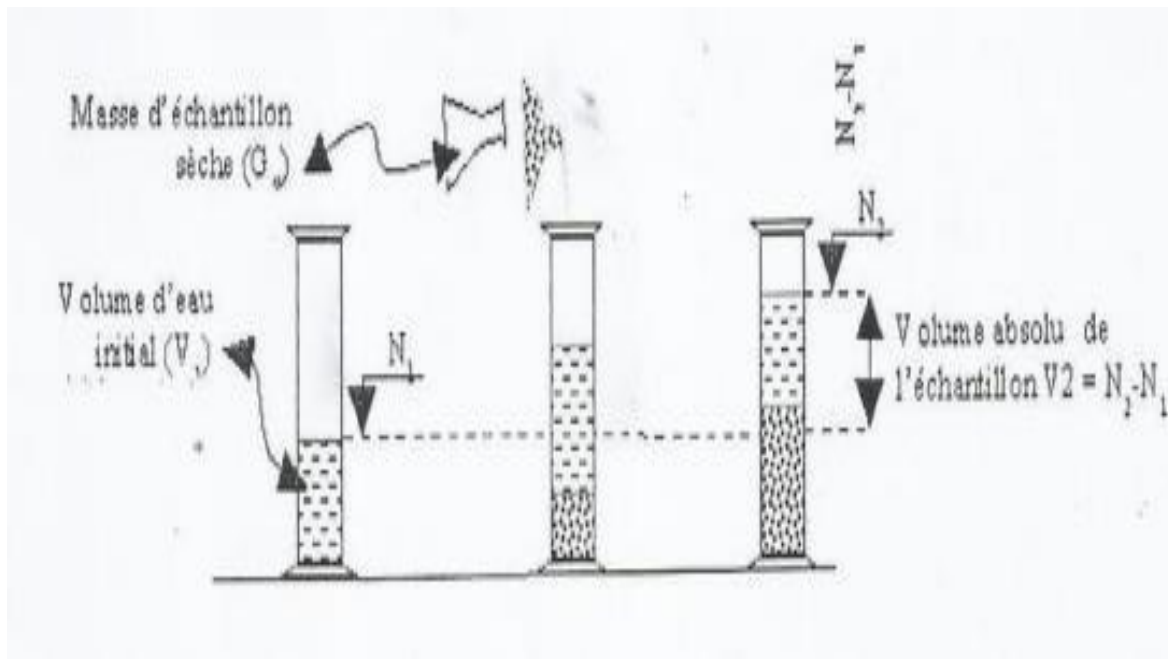


Figure II 12 : Mode opératoire des Masse volumique absolue du sable

Tableau II 8 : la masse volumique absolue de sable de dune (Boussaâda).

N° d'essai	M (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	ρ_{abs} (g/cm ³)	ρ_{abs} moy(g/cm ³)
1	300	400	510	2.72	2.67
2	300	400	512	2.678	
3	300	400	515	2.608	

II_4_8 Masse volumique apparente : NF P 18-554

II_4_9 L'état lâche :

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existants entre les grains.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

II_4_10 L'état compact :

La masse volumique à l'état compact est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les vides restants entre les grains, elle est souvent supérieure à la masse volumique à l'état lâche. Même procédure que celle à l'état lâche après remplissage du récipient avec compactage. Les résultats représentés dans les tableaux suivants

II_4_11 Principe :

Remplir une mesure de 1dm³, et en déterminer la masse.

II_4_12 Matériel:

- Balance technique à 0.01g.
- Une règle à araser.
- Une mesure d'un litre.
- Entonnoir.
- Main écopé.
- Tamis de 0.2m
- Un échantillon de sable

II_4_13 Mode opératoire:

- Peser la mesure d'un litre vide.
- Prendre le sable (ou le granulat) dans les deux mains formant entonnoir.
- Placer les mains à 10cm environ au-dessus de la mesure d'un litre, et laisser tomber ce
- Sable (ou gravier), ni trop vite, ni trop lentement.
- Verser ainsi le corps, toujours au centre de la mesure, Jusqu' à ce qu'il déborde tout
- Autour en formant un cône.
- Araser à la règle.
- Peser le récipient rempli : noter. (M)
- Calculer la masse volumique apparente : $\rho_{app} = M/V$
- Refaire la mesure 3 fois

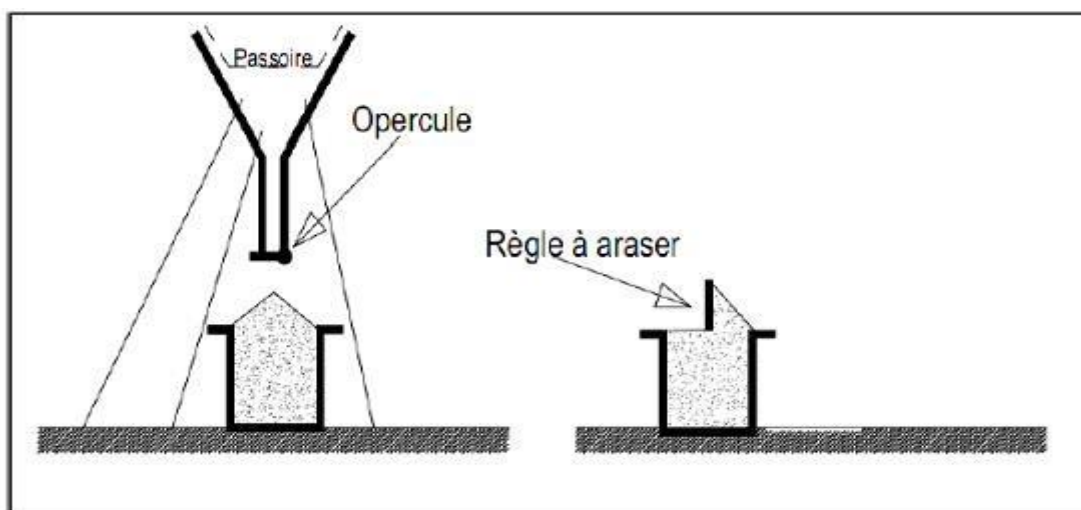


Figure _II 13 : Mode opératoire des Masse volumique apparente du sable

Tableau II. 9 : la masse volumique apparente à l'état lâche.

N° d'essai	M1 (g)	V1 (ml)	M2 (ml)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} moy(g/cm ³)
1	1443.5	1000	2944	1.50	1.51
2	1443.5	1000	2988	1.544	
3	1443.5	1000	2947	1.503	

Tableau II. 10 : la masse volumique apparente à l'état compact.

N° d'essai	M1 (g)	V1 (ml)	M2 (ml)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} moy(g/cm ³)
1	1443.5	1000	3051	1.607	1.60
2	1443.5	1000	3048	1.604	
3	1443.5	1000	3037	1.593	

II_4_14 Sable concassé

La source de sable concassé est une carrière. Il est fabriqué par concassage de roches. L'utilisation de sable de carrière est déterminée par sa granulométrie et ses caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques. En générale, il s'utilise pour des applications liées au ciment, par exemple du béton.

La source du sable concassé est la carrière, où il peut broyer des roches naturelles ou recycler des déchets de construction en les concassant, comme dans notre cas, nous avons utilisé des déchets de gravier ses fraction (1.25-0.63-0.08).

Tableau II.11 Résultats de la masse volumique.

	Masse volumique Apparente (g/cm ³)	Masse volumique Absolue (g/cm ³)
Sable concassé	1,449	2,777

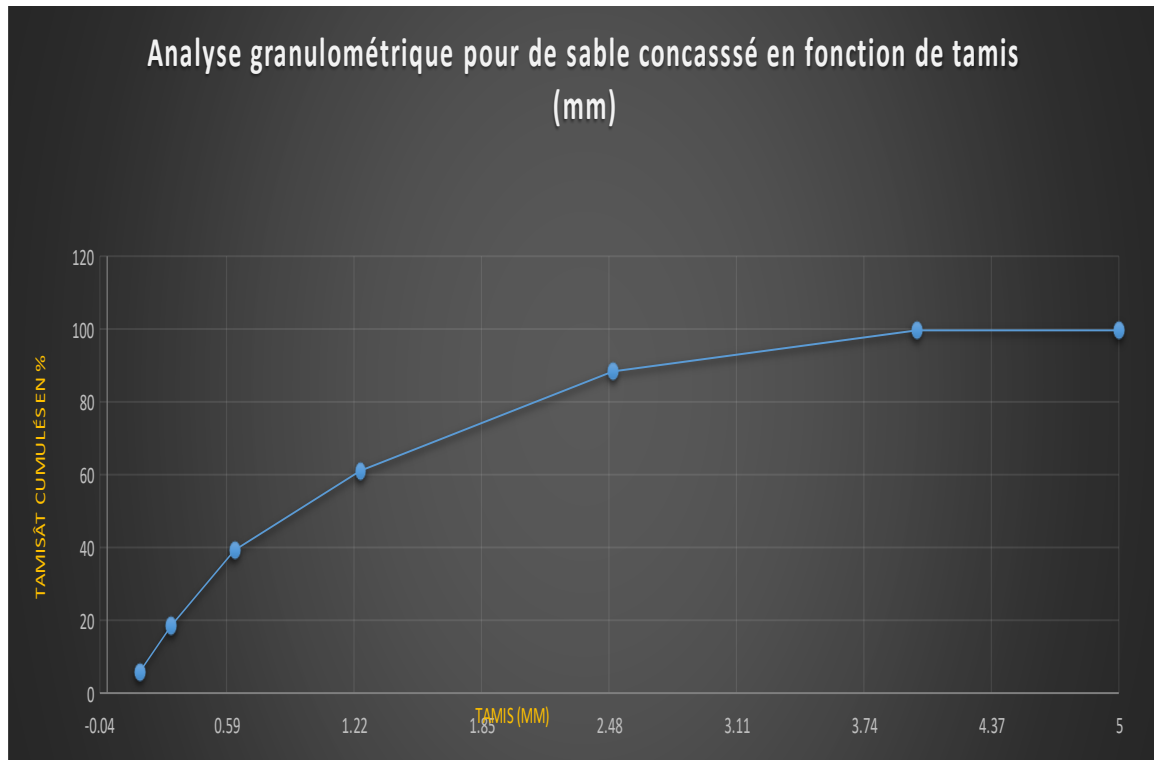


Figure _II 14 Courbe d'analyse granulométrique du sable concassée.

II_4_15 Modules de finesse (NF P18 304)

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion s'il y a trop de grains fins il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendre a la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (Mf). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité

$$MF=2.86$$

II_5 Gravier 3/8 : Origine de gravier :

Le gravier de base utilisé dans la confection du béton est obtenu, par concassage de la roche d'une carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers B.B.A (carrière COSIDER).

Caractéristiques physiques du gravier utilisé :

II_5_1 Masse volumique apparente à l'état lâche.

II_5_2 Mode opératoire :

→ Sécher le matériau jusqu'au poids constant.

→ Peser le récipient à l'état vide (M1)

→ Poser le récipient sur une table et à l'aide d'une pelle le remplir de gravier avec un certain excédent que l'on relève au ras de la surface du récipient. La distance séparant le récipient de la pelle doit être aux environs de 10cm.

→ Peser de nouveau le récipient plein de gravier. Soit M2 ce poids. La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\text{Où : } \gamma = (M2 - M1) / V$$

V : Volume du récipient.

M1 : Le poids du récipient à l'état vide.

M2 : Le poids du récipient plein de gravier.

Tableau _II 12 : Masse volumique apparente du gravier à l'état lâche.

	N° d'essai	M (kg)	M2 (kg)	V (L)	ρ moy (kg /L)
3/8	1	2.921	12.815	7	1.41
	2	2.921	12.945	7	
	3	2.921	12.828	7	

II_5_3 Masse volumique apparente à l'état compact.

Tableau _II 13 : Masse volumique apparente du gravier à l'état compact.

	N° d'essai	M (kg)	M2 (kg)	V (L)	ρ moy (kg /L)
3/8	1	2.921	13.625	7	1.53
	2	2.921	13.697	7	
	3	2.921	13.701	7	

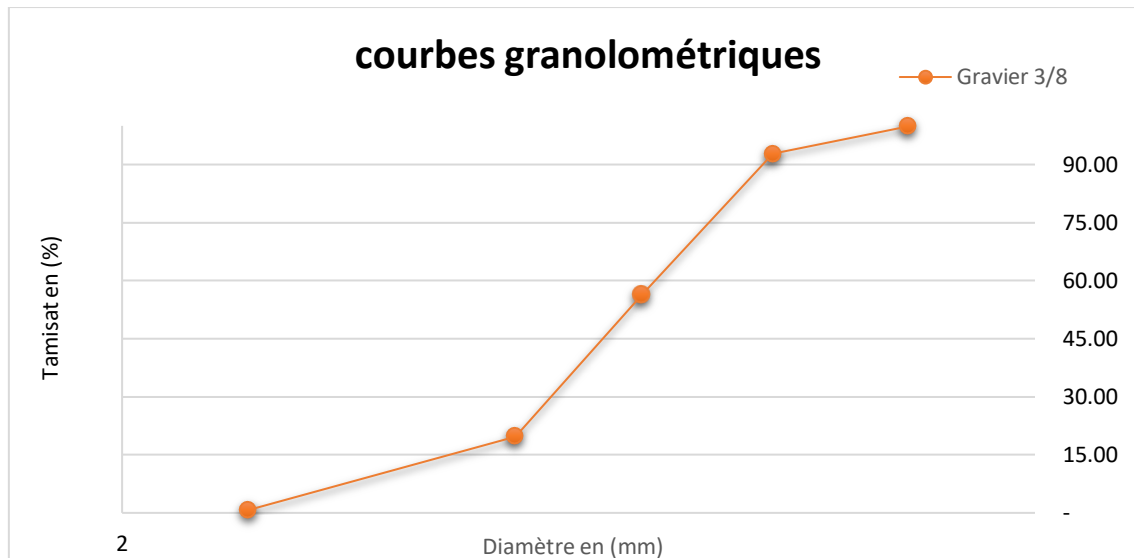


Figure _II 15 Courbe d'analyse granulométrique de gravier 3/8

II_6 Ciment :

Ciment Portland NA 442/2013 : est un ciment portland, contenant 95% clinker et 5% de gypse entant que régulateur de prise.

II_6_1 Caractéristiques Techniques: Analyses chimiques:

- Les sulfates (SO_3) $\leq 4\%$
- Perte au feu $\leq 5\%$
- Les chlorures $\text{cl} \leq 0.1 \%$
- L'oxyde de magnésium $\text{MgO} \leq 3\%$
- Insolubles $\leq 5\%$

II_6_2 Les essais physiques:

Résistances mécaniques à la compression : 02 jours ≥ 10 MPA, 28 jours ≥ 42.5 MPA

- Consistance normale: 28.0%
- Début de prise > 60 min.
- Expansion à chaux ≤ 10 mm
- Fin de prise > 250 min.
- Refus sur tamis $45 \mu\text{m}$: 8-12 %
- Chaleur d'hydratation à 41 h ≤ 270 j/g

- Surface spécifique de Blaine $\geq 3500 \text{ cm}^2/\text{g}$



Figure _II 16 : sacs 50 kg de ciment portlands calcaire

II_7 Fibres :

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



Figure _II 17 : Fibres de filasse (sisal)

II_7_1 Caractéristiques des fibres utilisées

Longueur : 5cm

Diamètre : 7- 47

Densité :1.20 (d /cm)

II_8 ELABORATION DE BTS :

II_8_1 Introduction :

Basé sur la caractérisation de différents matériaux Utilisé, dans ce chapitre nous présenterons les tests effectués sur des BTS par le ciment et comportant des fibres.

II_8_2 Matériel spécifique :

Moule utilisée :

Moules prismatique $4 \times 4 \times 16$ pour essais de compression et de flexion

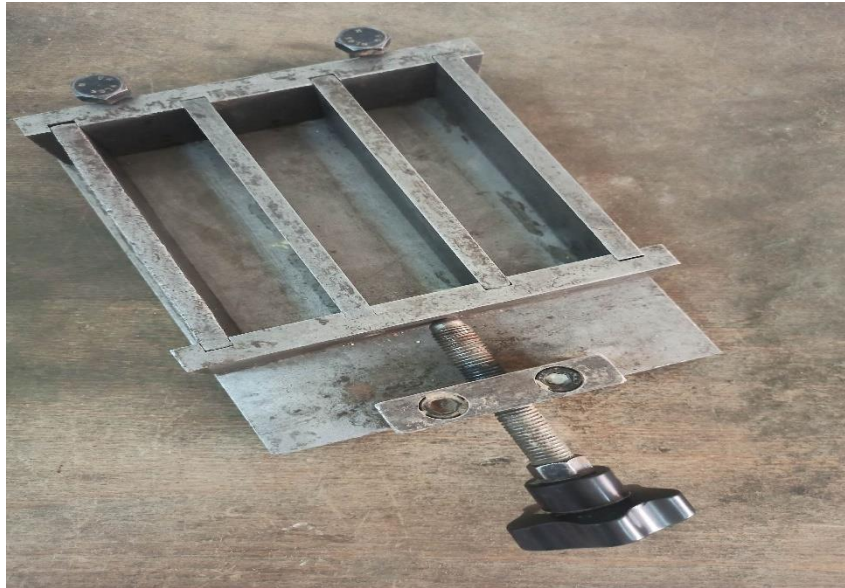


Figure _II 18 : Moule prismatique 4 x 4 x 16 cm

II_8_3 Tamisage et étuvage : le sol a été tamisé à l'aide d'un tamis de 2.5 mm de diamètre puis séché à l'étuve.

II_8_4 Préparation des moules : les moules sont nettoyés et graissés à l'aide d'huile.

On pèse les quantités nécessaires des matériaux : argile, ciment, fibre végétale (sisal), gravier 3/8, et l'eau.

II_8_5 Le malaxage : le processus est comme suit :

On met l'argile sèche avec la quantité de ciment et les fibres de fillasse et on malaxe le mélange à sec durant 40 à 60 secondes puis on ajoute une quantité d'eau et on malaxe pendant 120 à 180 seconde jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène.

II_8_6 Après le démoulage : Les éprouvettes sont recouvertes en plastique et conservés à l'intérieur du laboratoire (Température environ 20 ± 2 °C) pendant 28 Jours



Figure _II 19 : Malaxage à sec (a), avec l'eau (b).

II_9 programme expérimentale :

La composition des mélanges employés dans cette étude est présentée dans le tableau suivant

Tableau _II 14 : composition des mélanges (sable concassé, sans fibres)

N	Argile %	Sable%	Graviers %	Ciment %	Fibre %	Essais
B1	92	0	0	8	. Sable concassé . 0% de fibres	.Compression
B2	82	10	0	8		. Flexion
B3	72	20	0	8		. Séchage / mouillage
B4	52	40	0	8		(Perte de masse)
B5	32	60	0	8		
B6	12	80	0	8		
B7	82	5	5	8	. Sable concassé . Gravier 3/8 . 0% de fibres	.Compression
B8	72	10	10	8		. Flexion
B9	52	20	20	8		. Séchage / mouillage
B10	32	30	30	8		(Perte de masse)
B11	12	40	40	8		

Tableau _II 15 : composition des mélanges (sable concassé, avec 0.4% de fibres)

N	Argile %	Sable %	Gravies %	Ciment %	Fibre	Essais
B12	92	0	0	8	. Sable concassé . 0.4% de fibres	Compression .Flexion .Séchage / mouillage (Perte de masse)
B13	82	10	0	8		
B14	72	20	0	8		
B15	52	40	0	8		
B16	32	60	0	8		
B17	12	80	0	8	. Sable concassé . Gravier 3/8 . 0.4% de fibres	Compression Flexion Séchage / mouillage (Perte de masse)
B18	82	5	5	8		
B19	72	10	10	8		
B20	52	20	20	8		
B21	32	30	30	8		
B22	12	40	40	8		

Tableau _II 16 : composition des mélanges (sable de Boussaâda, sans fibres)

N	Argile %	Sable%	Graviers %	Ciment %	Fibre	Essais
B23	92	0	0	8	. Sable Boussaâda . 0% de fibres	Compression .Flexion .Séchage / mouillage (Perte de masse)
B24	82	10	0	8		
B25	72	20	0	8		
B26	52	40	0	8		
B27	32	60	0	8		
B28	12	80	0	8	. Sable Boussaâda . Gravier 3/8 . 0% de fibres	Compression .Flexion .Séchage / mouillage (Perte de masse)
B29	82	5	5	8		
B30	72	10	10	8		
B31	52	20	20	8		
B32	32	30	30	8		
B33	12	40	40	8		

Tableau _II 17 : composition des mélanges (sable de Boussaâda, avec 0.4% de fibres)

N	Argile %	Sable%	Graviers %	Ciment %	Fibre	Essais
B34	92	0	0	8	.Sable Boussaâda .0.4% fibers	Compression
B35	82	10	0	8		.Flexion
B36	72	20	0	8		.Séchage / mouillage (Perte de masse)
B37	52	40	0	8		
B38	32	60	0	8		
B39	12	80	0	8		
B40	82	5	5	8	.Sable Boussaâda Gravier 3/8 .0.4% fibers	Compression
B41	72	10	10	8		.Flexion
B42	52	20	20	8		.Séchage / mouillage (Perte de masse)
B43	32	30	30	8		
B44	12	40	40	8		

II_10 Résistance à la compression :

L'essai de compression à la compression est mené sur des éprouvettes de forme prismatique normalisée (4*4*16) cm³. La vitesse de chargement est constant.

$$f_c = \frac{F}{AC}$$

f_c : résistance en compression, exprimée en méga pascal (Newton par millimètres carrés)

F : charge maximale, exprimée en Newtons

AC : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

La résistance à la compression doit être exprimée à MPa (N/mm²) près.

II_11 Résistance à la traction par flexion :

Des éprouvettes prismatiques de dimensions (4 x 4x 16) cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée.

Pour une charge totale P, le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est :

$$M = \frac{P * A}{2}$$

Et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est = $6M / a^3$
La relation suivante permet de calculer la résistance :

$$F_{t f j} = 1.8 \frac{P}{a^2}$$



Figure II.20 : machine pour l'essai de compression.

II_12 Essai de la durabilité sur le BTS (Séchage/ mouillage) :

Pour déterminer la tenue et le comportement de béton de terre comprimée lorsqu'elle subit des alternances pluviométriques (saturation en hiver et séchage en été), un ensemble d'essais de mouillage /séchage a été effectué sur les différentes éprouvettes étudiés suivant la norme (ASTM D559-57,1977) dont le principe de l'essai est le suivant :

- Dessécher les blocs jusqu'à masse constante à une température de 60-75°C.
- Peser chaque bloc (masse sèche) et subir une série de cycles comprenant :
- 05 heures d'immersion au bout desquelles le bloc est pesé
- 42 heures de séchage à l'étuve à une température de 75°C

Les éprouvettes sont et pesés. Le cycle complet ne doit pas excéder 48heures. On recommence ce cycle plusieurs fois de suite puis les éprouvettes sont séchés à une température de 75°C jusqu'à masse constante. Les résultats de cet essai donnent la perte en masse maximum admise après les cycles de mouillage / séchage.

Les limites sévères selon ASTM D559, la perte en masse admissible pour les constructions rurales est de :

5% pour tout climat dont la pluviométrie annuelle est supérieure à 500 mm

10% pour les climats secs dont la pluviométrie annuelle est inférieure à 500 mm

A noter que ces tests effectués au laboratoire sont généralement plus sévères qu'en réalité.



Figure II.21 : noté les résultats des masses.



Figure II.22 : Bac d'eau



Figure II.23 : étuve

II_13 Conclusion :

Ce chapitre a permis de présenter les caractéristiques des différentes matières premières qui entrent dans la composition des éprouvettes de béton de terre stabilisé.

Les données présentées dans ce chapitre sont issues de la bibliographie ou des essais de caractérisation menés lors de notre étude. La présentation de la composition des mélanges et les procédures de fabrication des BTS, va nous permettre de mieux analyser les résultats et d'avoir une meilleure compréhension de l'influence du taux de sable et de l'incorporation de fibres sur les caractéristiques du BTS.

Chapiter III: Résultats et discussion

III.1 Introduction :

Le présent chapitre est consacré à l'étude de l'effet de l'incorporation des fibres sur les caractéristiques mécaniques du béton d'argile stabilisé (BTS). L'étude expérimentale est réalisée en utilisant deux types de sable (sable concassé et sable de Boussaâda) en incorporant ensuite du gravier 3/8. Les échantillons ont été réalisés avec 8% de ciment, la teneur de fibre utilisée est 0.4% (du poids total sec du mélange). La quantité d'eau utilisée garantit la maniabilité du mélange et facilite sa mise en place dans les moules. Les essais réalisés comportent :

- Des essais de compression, de flexion et de traction sur des échantillons (4x4x16) cm³
- Evaluation de la durabilité par mesure de la perte de masse suite aux cycles de séchage/mouillage (Norme **ASTM D 559-57**), le nombre de cycle réalisé est de 10 cycles.

Selon la norme **ASTM D 559-57**, l'essai consiste à faire sécher les éprouvettes jusqu'à un poids constant à une température de 60° à 70°C, les éprouvettes sont pesées après le séchage puis soumises à une série de cycles comprenant : 5 heures d'immersion dans l'eau au bout

Après leurs démoulages, les échantillons ont été recouvertes de plastique pendant 28 jours à l'intérieur du laboratoire.

III.2 Résistance à la compression (sans gravier) :

La résistance à la compression exprime la capacité des BTS à résister à la destruction sous l'action des contraintes dues à la charge de compression.

III.2.1/ Echantillons réalisés avec sable, sans gravier 3/8 :

Les résultats de l'essai de compression sont représentés sur la figure 1 et dans le tableau 1.

Tableau III 1. Résistance à la compression (sable concassé sans gravier).

Résistance à la compression (MPa)					
N	Résistance des éprouvettes			Résistance moyenne	FIBRES
B1	2.55	1.6	1.9	2.02	Sable concassé 0% Fibres Sans gravier 3/8
B2	2.07	2.22	2.22	2.17	
B3	1.83	2.15	2.47	2.15	
B4	2.06	2.13	2.51	2.23	
B5	2.83	2.49	2.42	2.58	
B6	2.69	2.48	2.69	2.62	
N	Résistance des éprouvettes			Résistance moyenne	FIBRES
B12	1.17	1.09	1.35	0.16	Sable concassé 0.4% FIBRE Sans gravier 3/8
B13	1.67	1.42	1.38	0.18	
B14	1.81	1.61	1.78	0.26	
B15	1.39	1.53	1.95	0.30	
B16	2.58	2.58	2.45	0.64	
B17	1.74	2.39	2.24	0.62	

Tableau _III 2. Résistance à la compression (sable Boussaâda sans gravie).

Résistance à la compression (MPa)					
N	Résistance des éprouvettes			Résistance moyenne	FIBRES
B23	1.59	1.86	1.78	1.74	0% FIBRE Sans gravier 3/8
B24	1.86	1.59	1.53	1.66	
B25	1.67	2.09	1.96	1.91	
B26	2.01	1.91	2.03	1.98	

B27	1.93	1.86	2.05	1.95	Sable Boussaâda
B28	3.21	2.95	3.05	3.07	
N	Résistance des éprouvettes			Résistance moyenne	FIBRES
B34	1.45	1.6	1.39	1.48	0.4% FIBRE Sans gravier 3/8 Sable Boussaâda
B35	1.59	1.55	1.66	1.60	
B36	1.94	1.93	1.94	1.94	
B37	2.08	2.02	2.4	2.17	
B38	1.94	2.26	1.78	2.10	
B39	2.02	2.27	2.17	2.15	

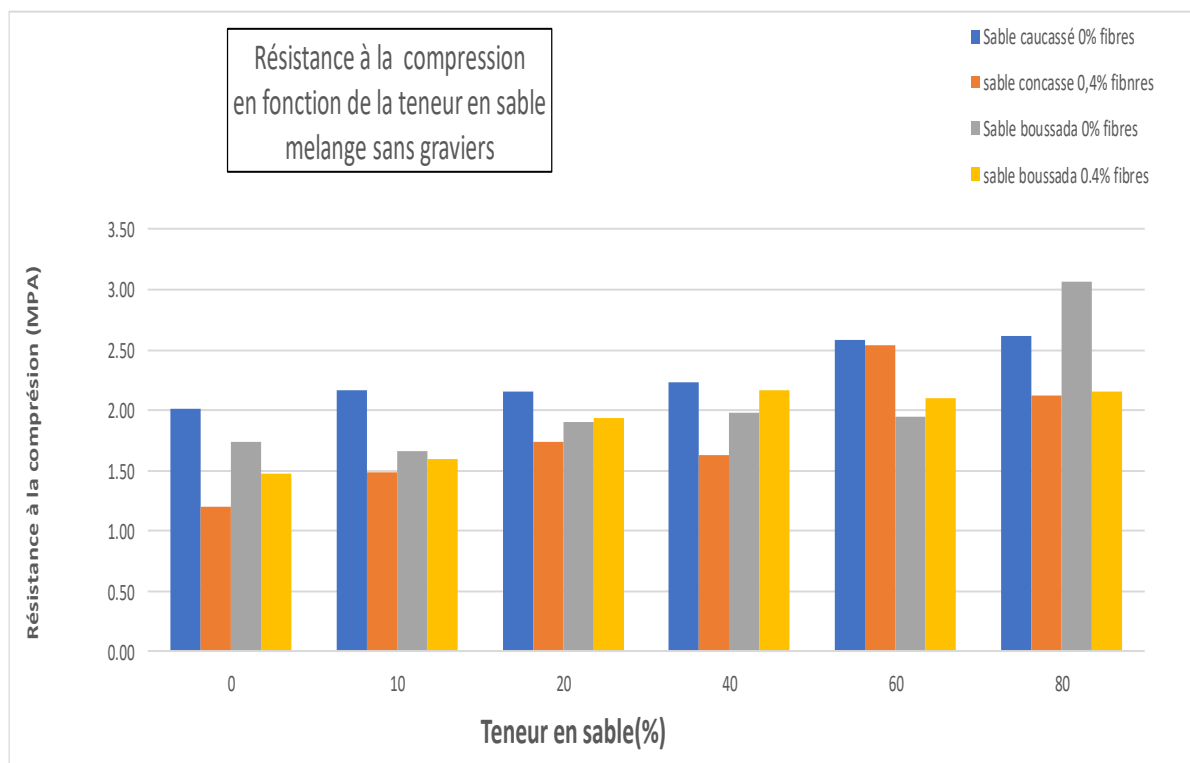


Figure III.1 : Résistance à la compression en fonction de la teneur en sable mélange sans graviers.

Commentaire : la figure III.1 représente la résistance à la compression en fonction de la teneur en sable pour les échantillons confectionnés sans graviers et sans fibres, d'après les courbes de cette figure, on remarque que :

- La résistance à la compression augment lorsque la teneur en sable augmente dans les

mélanges (sable concassé ou sable de boussaâda).

- Les résistances maximales sont obtenues dans le cas du sable concassé.
- Dans le cas du sable concassé, l'incorporation de fibres a conduit à une diminution de résistance.
- Dans le cas de sable boussaâda, l'incorporation de fibres n'a pas une grande influence sur les résultats sauf dans le cas de 80% de sable, ou remarque une réduction de résistance lorsque les fibres sont introduites.
- Généralement, les meilleurs résultats sont obtenus avec 60% de sable.

III.4 Résistance à la compression (échantillons réalisés avec gravier) :

Tableau _III 3. Résistance à la compression (sable concassé avec gravier).

Résistance à la compression (MPa)					
N	Résistance des éprouvettes			Résistancemoyenne	FIBRE
B7	1.37	1.43	1.58	1.46	Sable concassé 0% FIBRE Avec gravier 3/8
B8	1.67	1.67	2.33	1.89	
B9	1.51	1.86	1.48	1.62	
B10	2.09	2.57	2.44	2.37	
B11	4.22	3.43	1.95	3.20	
N	Résistance des éprouvettes			Résistancemoyenne	FIBRE
B18	1.73	1.76	1.76	1.75	Sable concassé 0.4% FIBRE Avec gravie 3/8
B19	1.46	2.07	1.8	1.78	
B20	2.47	2.43	2.54	2.48	
B21	3.6	3.42	3.58	3.53	
B22	4.61	3.71	4.13	4.15	
Tableau _III 3. Résistance à la compression (sable Boussaâda avec gravie) :					
Résistance à la compression (MPa)					
N	Résistance des éprouvettes			Résistancemoyenne	FIBRE

B29	1.61	1.64	1.59	1.61	0% FIBRE Avec gravie 3/8 Sable Boussaâda
B30	2.05	1.72	1.69	1.82	
B31	1.66	1.69	1.69	1.68	
B32	2.4	2.46	2.66	2.51	
B33	3.88	3.38	3.41	3.56	
N	Résistance des éprouvettes			Résistancemoyenne	FIBRE
B40	1.52	1.76	1.57	1.62	0.4% FIBRE Avec gravie 3/8 Sable Boussaâda
B41	1.85	1.75	1.87	1.82	
B42	2.27	2.08	2.42	2.26	
B43	2.92	2.51	2.38	2.60	
B44	3.37	3.96	4	3.78	

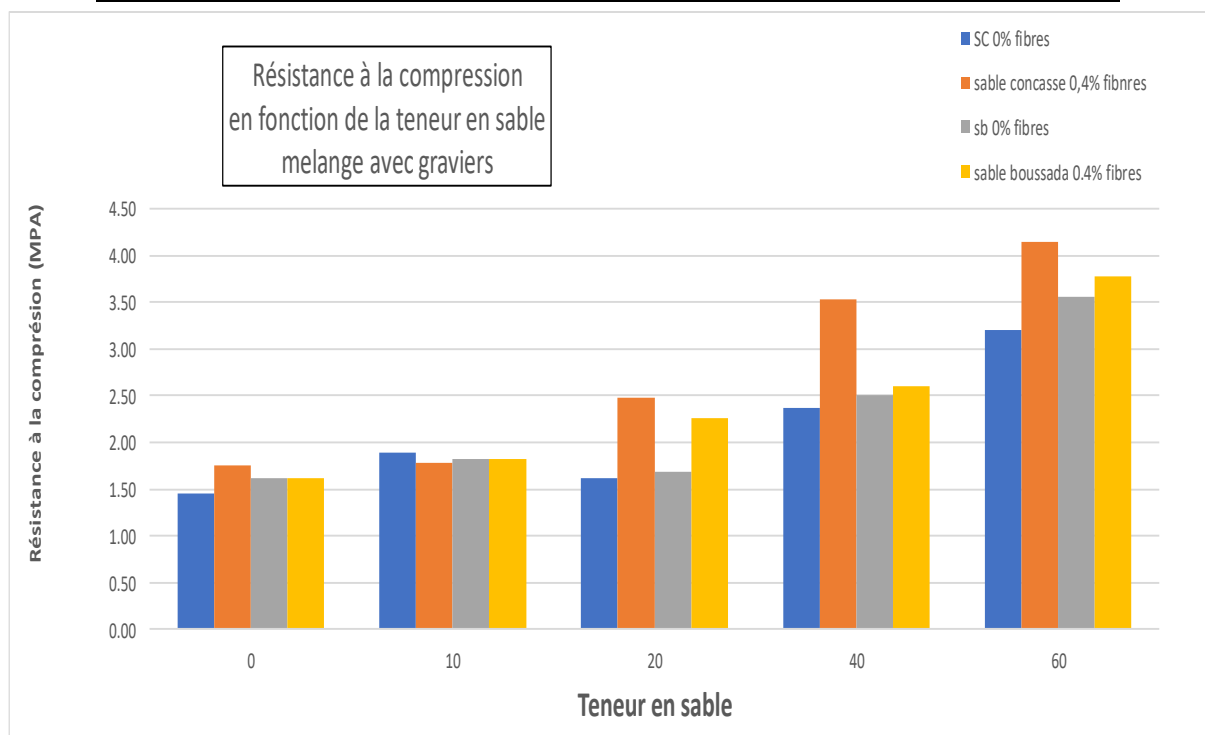


Figure III.2 : Résistance à la compression en fonction de la teneur en sable mélange avec gravier

Commentaire : la Figure III.2 représente les résistances à la compression des échantillons préparés en utilisant les gravier 3/8 avec et sans fibres d'après cette figure, on remarque que :

- Dans le cas de 10 % de granulats (10% sable + 10% gravier), dans ces deux cas les

résistances sont généralement constantes.

- Lorsque le pourcentage en granulats dépasse 40%, on remarque que la résistance augmente.
- Dans les mélanges contenant du gravier, l'introduction de fibre a conduit à une augmentation de résistance.

III.5 Résistance à la flexion (éprouvettes préparés sans gravier) :

Tableau_III 4. Résistance à la flexion (sable concassé sans gravie)

Résistance à la flexion (MPa)				
N	Résistance des éprouvettes		Résistance moyenne	FIBRE
B1	0.75	0.75	0.75	0% FIBRE Sans gravier 3/8 Sable concassé
B2	0.65	0.65	0.65	
B3	0.53	0.58	0.56	
B4	0.64	1.12	0.88	
B5	0.59	0.52	0.56	
B6	0.93	0.77	0.85	
N	Résistance des éprouvettes		Résistance moyenne	FIBRE
B12	0.03	0.29	0.16	0.4% FIBRE Sans gravier 3/8 Sable concassé
B13	0.13	0.22	0.18	
B14	0.26	0.26	0.26	
B15	0.25	0.34	0.30	
B16	0.75	0.53	0.64	
B17	0.55	0.68	0.62	

Tableau_III 4. Résistance à la flexion (sable Boussaâda sans gravie)

Résistance à la flexion (MPa)				
N	Résistance des éprouvettes		Résistance moyenne	FIBRE
B23	0.45	0.47	0.46	

B24	0.27	0.38		0.33	0% FIBRE Sans gravie 3/8 Sable Boussaâda
B25	0.44	0.53		0.49	
B26	0.62	0.54		0.58	
B27	0.47	0.51		0.49	
B28	0.87	0.81		0.84	
N	Résistance des éprouvettes			Résistance moyenne	
B34	0.36	0.26		0.31	0.4% FIBRE Sans gravier 3/8 Sable Boussaâda
B35	0.18	0.33		0.26	
B35	0.43	0.3		0.37	
B36	0.39	0.36		0.38	
B38	0.49	0.45		0.47	
B39	0.58	0.66		0.62	

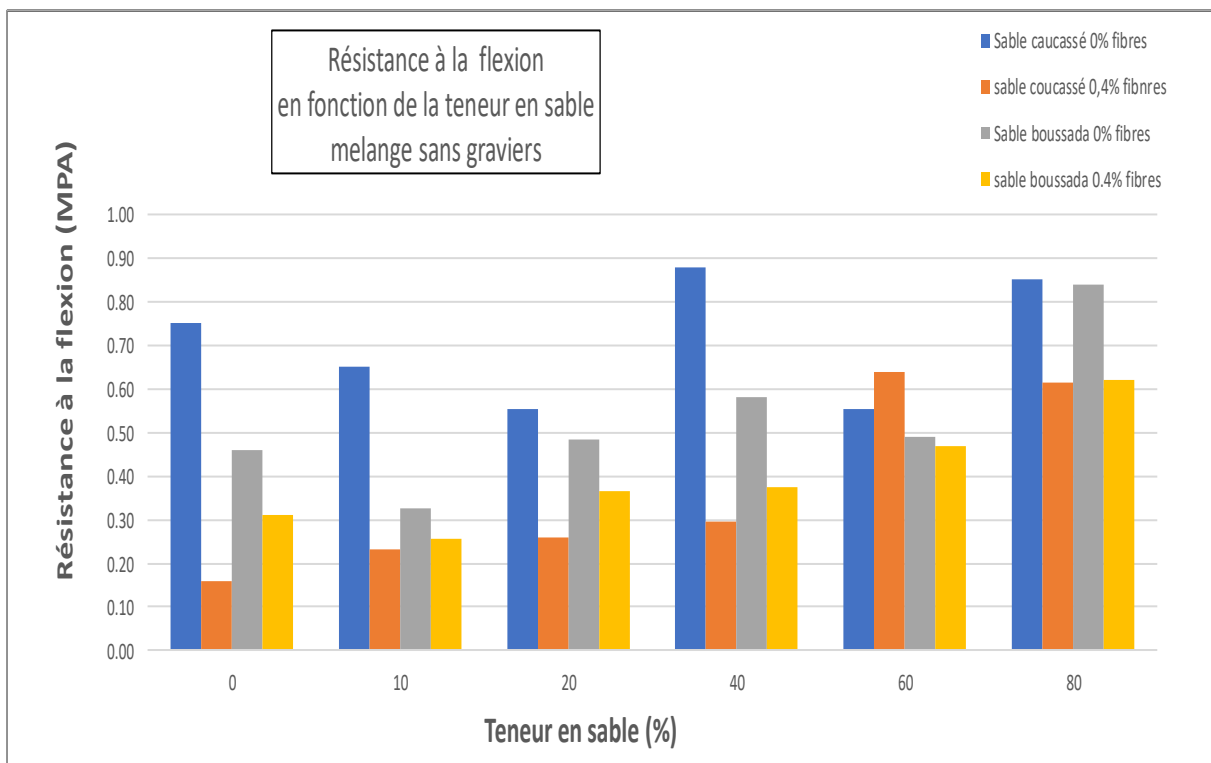


Figure III.3 : Résistance à la flexion en fonction de la teneur en sable mélangé sans gravier

Commentaire : la Figure III.3 représente la résistance à la flexion des différents mélanges sans gravier, dans cette figure, on remarque que :

- Les meilleures résistances à la flexion sont obtenues avec le sable concassé.
- L'incorporation de fibre a conduit généralement à une réduction la résistance à la flexion.

III.6 Résistance à la flexion (échantillons confectionnés avec gravier) :

Tableau III 5 : Résistance à la flexion (sable concassé sans gravier)

Résistance à la flexion (MPa)				
N	Résistance des éprouvettes		Résistance moyenne	FIBRE
B7	0.2	0.18	0.19	0% FIBRE Avec gravier 3/8 Sable concassé
B8	0.2	0.22		
B9	0.18	0.13		
B10	0.77	0.58		
B11	0.86	0.86		
N	Résistance des éprouvettes		Résistance moyenne	FIBRE
B18	0.66	0.82	0.74	0.4% FIBRE Avec gravier 3/8 Sable concassé
B19	0.62	0.45		
B20	0.56	0.47		
B21	0.78	0.81		
B22	1.28	1.08		
Tableau III 5. Résistance à la flexion (sable Boussaâda sans gravie)				
Résistance à la flexion (MPa)				
N	Résistance des éprouvettes		Résistance moyenne	FIBRE
B29	0.29	0.24	0.27	0% FIBRE
B30	0.41	0.34		

B31	0.36	0.42		0.39	Avec gravier 3/8 Sable Boussaâda
B32	0.56	0.52		0.54	
B33	0.7	0.81		0.76	
N	Résistance des éprouvettes			Résistance moyenne	FIBRE
B40	0.38	0.28		0.33	0.4% FIBRE Avec gravier 3/8 Sable Boussaâda
B41	0.27	0.34		0.31	
B42	0.46	0.31		0.39	
B43	0.47	0.65		0.56	
B44	0.59	0.99		0.79	

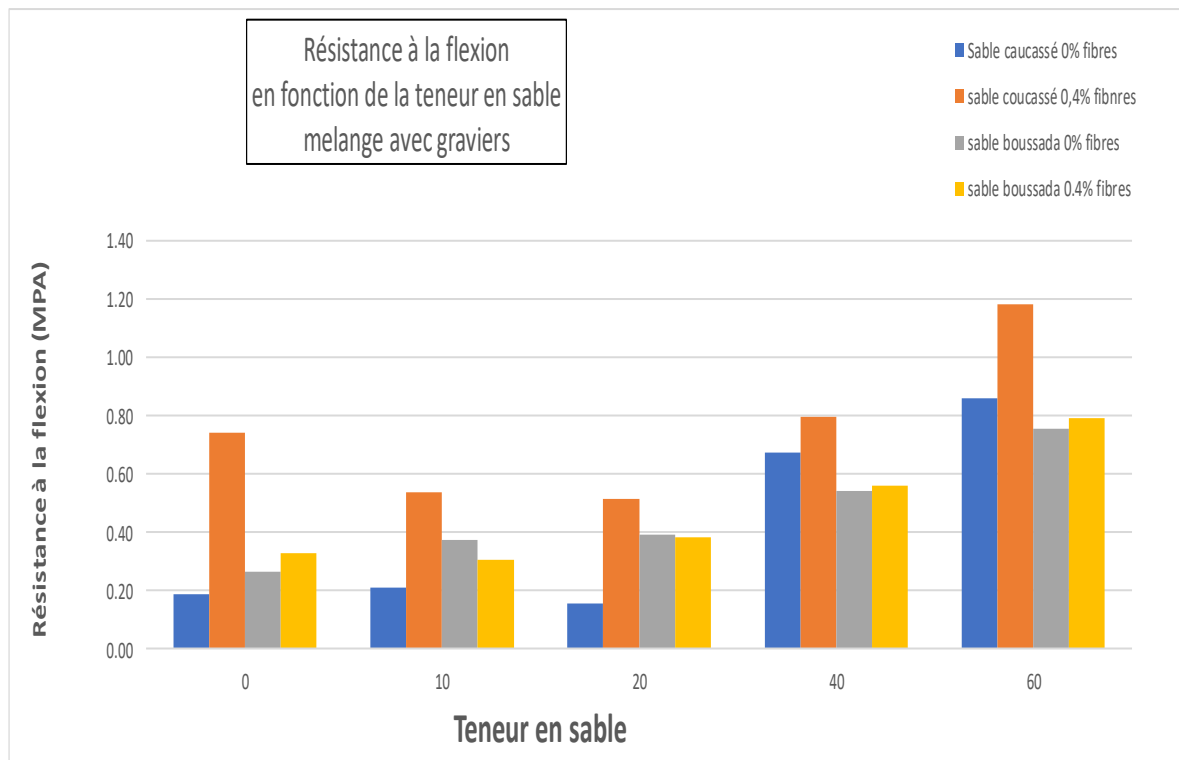


Figure III.4 : Résistance à la flexion en fonction de la teneur en sable mélange avec gravier

Commentaire : dans cette figure, on voit que :

- L'incorporation de fibre a conduit à une augmentation de la résistance à la flexion pour les mélanges comportant du gravier 3/8.
- Les meilleures résistances à la traction sont obtenues avec 60% de sable.

III.7 la durabilité sur le BTS

Suite à l'étude de la perte de masse après l'essai de séchage/mouillage en plusieurs cycle, on peut conclure que :

III.7.1 Séchage/ mouillage

Mélanges (sable concassé sans gravies et sans fibre) :

Tableau _III 6 : mélanges (sable concassé sans gravies et sans fibre)

N	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
B1	200	214	204	206	171	56	42	40	35	35
B2	232	250	238	242	202	228	232	225	189	208
B3	222	231	220	224	187	213	216	210	176	194
B4	185	203	189	192	171	192	189	184	158	175
B5	229	248	234	234	219	243	248	243	215	234
B6	245	260	247	249	239	260	266	258	238	258

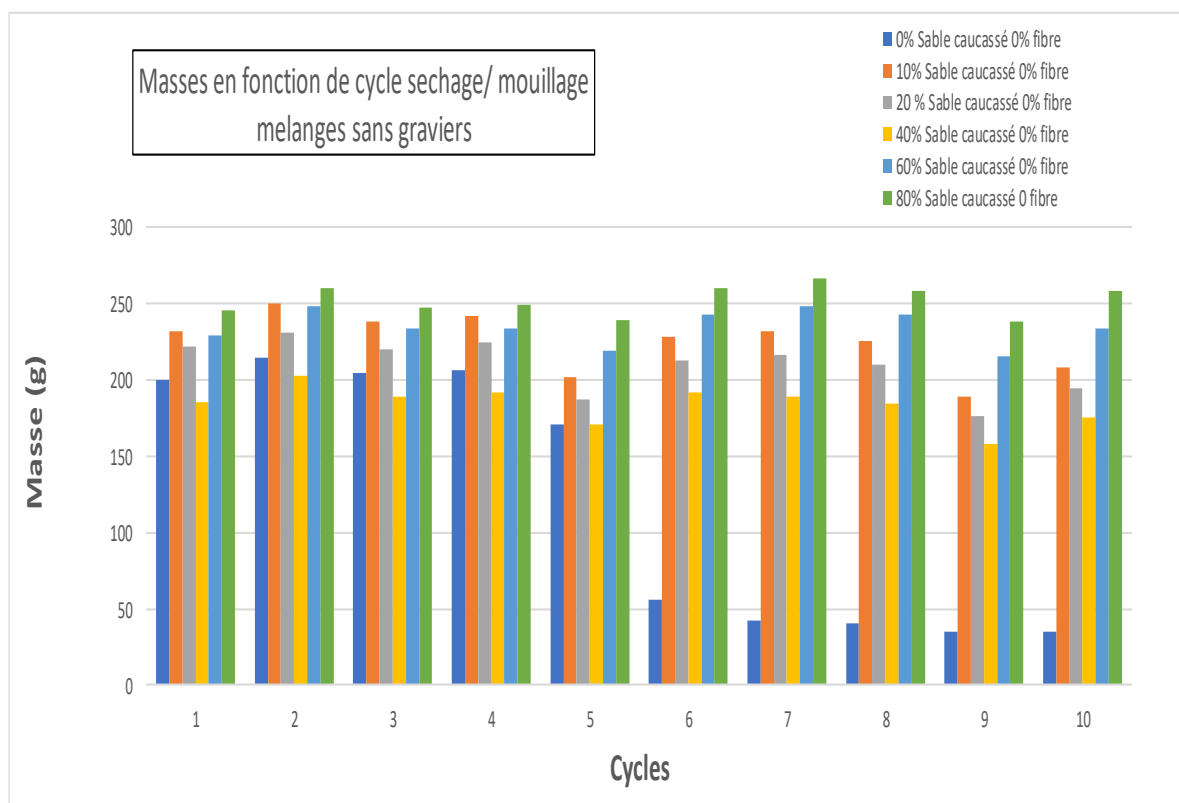


Figure III.5 : masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges sans gravies

Commentaire : la Figure III.5 qui représente masse des échantillons dans plusieurs cycles de séchage /mouillage et cela pour les mélanges confectionnés sans gravier et sans fibres et avec le sable concassé d'après cette figure, on peut remarquer que :

- La teneur d'argile dans les mélanges influe sur la durabilité des échantillons de sorte que

la perte de masse est grande après la 5 -ème cycle dans les mélange contenant 0% de sable.

- Les meilleurs résultats sont obtenus avec 60% et 80% de sable : généralement une masse constante ou une très faible réduction de masse.



Figure III.6 : Des éprouvettes après 10 cycle

III.7.2 Séchage/ mouillage

Mélanges (sable Boussaâda sans gravies sans fibre)

Tableau _III 7 : mélanges (sable Boussaâda sans gravies et sans fibre)

N	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
B23	169.4	185	173	176	139	160	145	141	119	123
B24	190.5	203	199	197	161	183	173	166	140	133
B25	182.3	192	187	188	156	176	171	161	141	154
B26	178.3	183	172	179	150	174	172	171	145	166
B27	218	235	220	220	200	228	223	226	196	225
B28	239.7	252	243	242	230	157	251	255	230	257

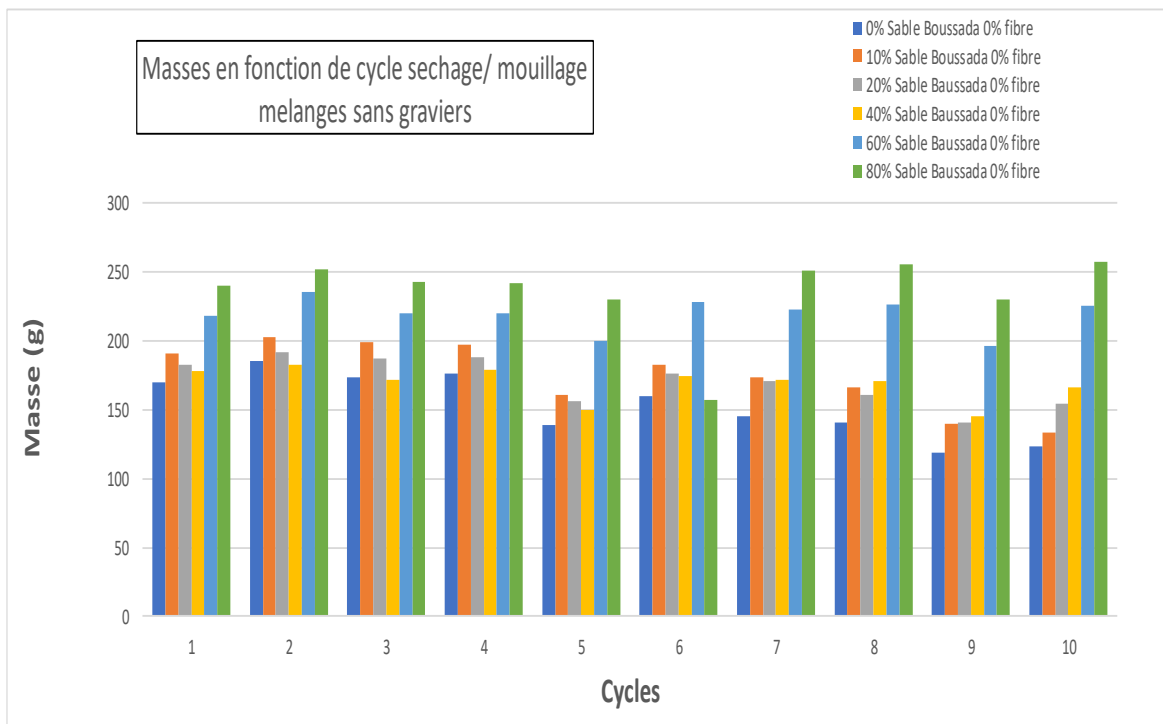


Figure III.7 : masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges sans gravies

Commentaire : dans la figure III.7, les échantillons représentés sont confectionnés avec le sable de boussaâda, sans gravier et sans fibres d'après cette figure, ou à :

- Généralement les échantillons ont subi une très faible réduction ou augmentation de masse dans les cycles sauf dans le cas de 60 % et 80 % de sable ou on remarque une augmentation de masse des échantillons.

III.7.3 Séchage/ mouillage

Mélanges (sable concassé avec graviers et sans fibre) :

Tableau III 8 : mélanges (sable concassé avec graviers et sans fibre)

N	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
B7	158	/	/	/		/	/	/	/	/
B8	199	213	189	139	118	126	126	91	79	87
B9	191	208	192	139	168	183	179	175	156	166
B10	218	234	224	224	207	225	232	225	204	222
B11	234	244	238	239	229	242	250	243	229	242

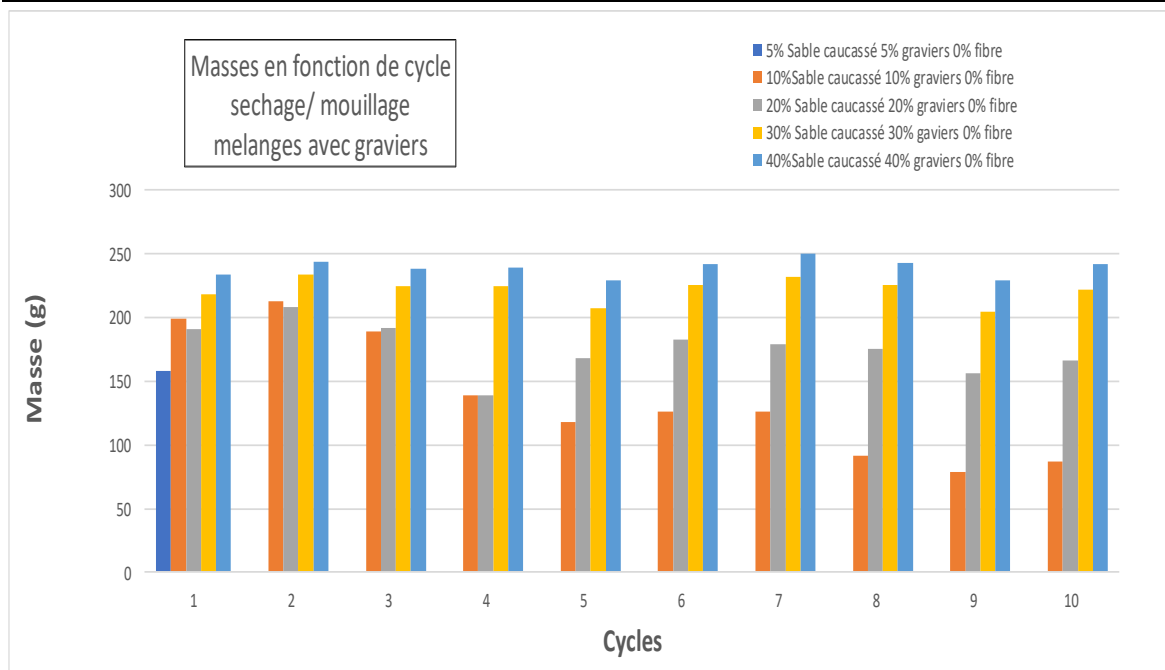


Figure III.8 : masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges avec graviers

Commentaire : cette figure représente la masse des échantillons confectionnés avec le sable concassé avec le gravier 3/8 et sans fibres :

- Dans cette figure, on remarque qu'il y a augmentation de masse en fonction de la teneur en sable pour tous les cycles
- Dans le cas de 5% de sable et 5% de gravier, on remarque un effondrement des éprouvettes après le 1^{er} cycle.

III.7.4 Séchage/ mouillage

Mélanges (sable Boussaâda avec gravies et sans fibre) :

Tableau _III 9 : mélanges (sable boussaâda avec gravies et sans fibre)

N	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
B29	207.7	217	207	204	165	184	163	156	127	134
B30	216.4	226	217	212	182	205	191	194	165	187
B31	205.7	212	201	195	173	193	184	182	160	184
B32	248.7	254	248	247	230	255	245	251	225	256
B33	238.5	248	242	246	232	253	247	254	231	256

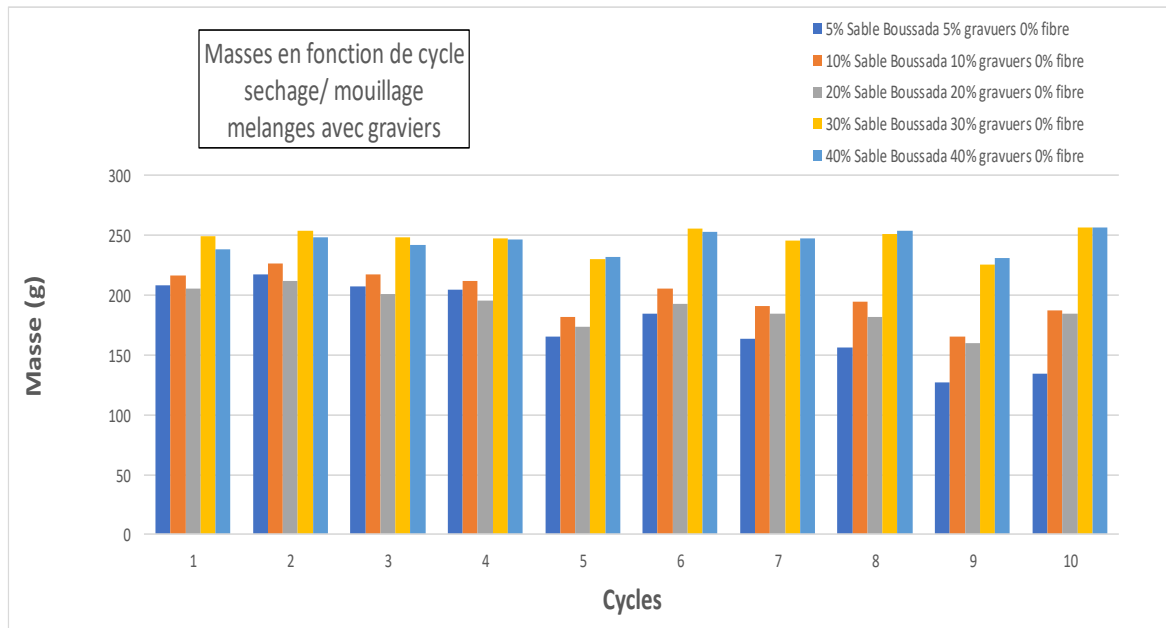


Figure III.9 : masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges avec gravies

Commentaire : la Figure III.9 représente les masses des échantillons dans le cas des échantillons préparés avec sable de boussaâda et du gravier 3/8 et sans fibres :

Dans cette figure on remarque que :

- Les échantillons ont subi une diminution de masse a partir du 2 éme cycle .



Figure III.10 : Des éprouvettes après 10 cycle

III.7.5 Séchage/ mouillage

Mélanges (sable concassé sans gravies et avec fibre) :

Tableau_III 10 : mélanges (sable concassé sans gravies et avec fibre)

N	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
B12	160	107	94	87	70	72	53	47	39	37
B13	168	180	165	160	133	144	147	136	115	120
B14	216	235	219	208	183	208	210	197	170	190
B15	214	228	220	220	197	220	223	209	187	199
B16	211	222	210	217	195	218	219	207	192	212
B17	232	241	234	238	223	236	238	224	216	229

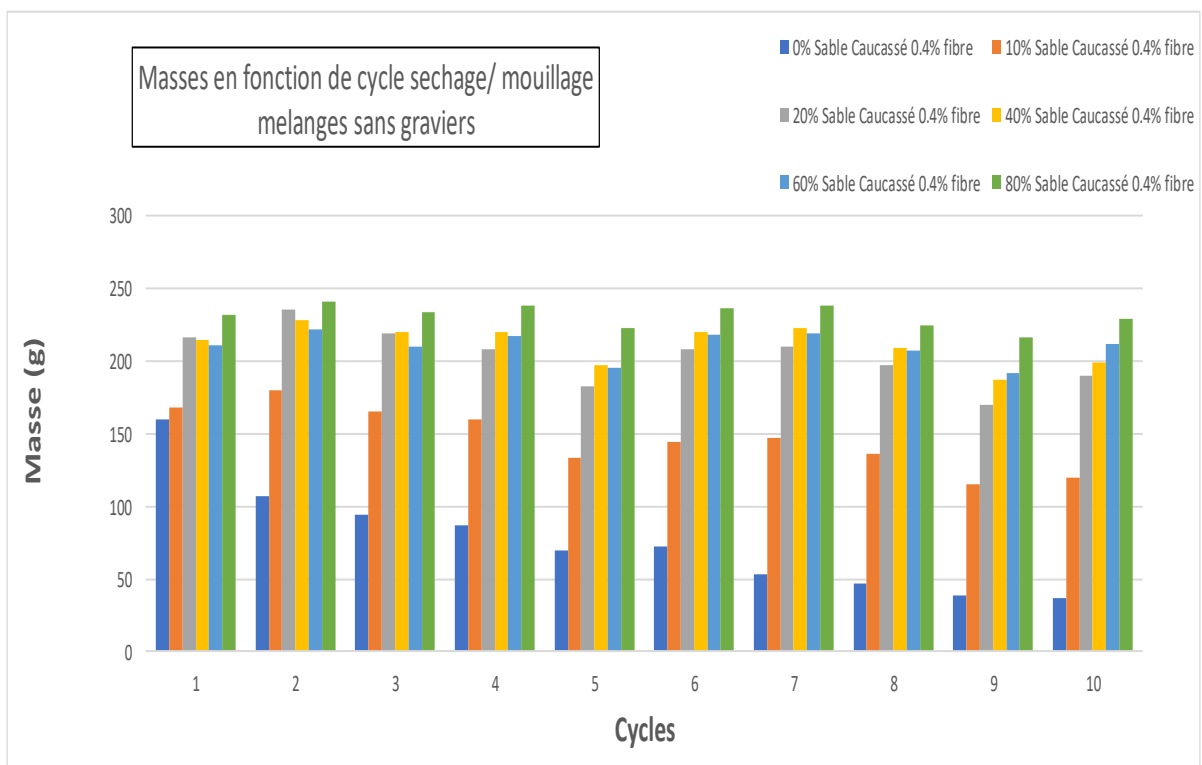


Figure III.11 : masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges sans gravies

Commentaire : dans cette figure, on remarque :

- Les échantillons confectionnés avec 0% de sable ont subis une perte de masse importante.
- Les échantillons préparés avec 20% à 80% de sable, ces échantillons ont subis une faible augmentation ou réduction de masse suivant la teneur en sable.



Figure III.12 : Des éprouvettes après 10 cycle

III.7.6 Séchage/ mouillage

Mélanges (sable Boussaâda sans gravies et avec fibre) :

Tableau _III 11 : mélanges (sable Boussaâda sans gravies et avec fibre)

N	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
B34	183.8	194	186	181	144	166	146	143	114	120
B35	203	215	210	203	165	192	187	182	145	168
B36	221.1	227	227	223	187	216	216	211	174	203
B37	207.3	209	216	212	187	203	204	202	172	199
B38	204.1	210	211	214	192	223	224	221	191	222
B39	230.5	235	233	237	224	252	238	246	225	253

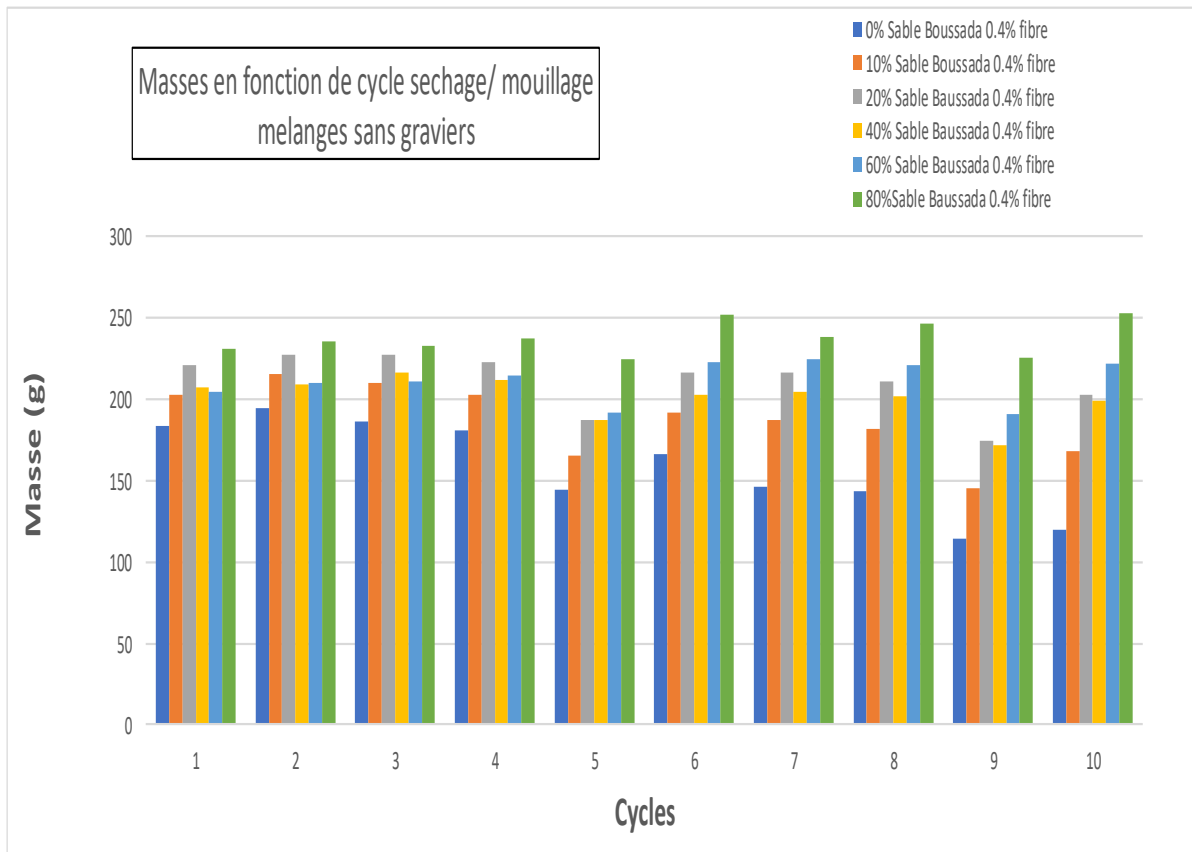


Figure III.13 : masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges sans gravies

Commentaire : dans la Figure III.13 qui représente les masses des échantillons confectionnés avec le sable de boussaâda sans gravier et comportant les fibres, dans cette courbe on a :

- Des pertes de masse pour les échantillons contenant 0% ,10%,20% et 40% de sable pour les échantillons ayant 60% et 80% on remarque que les masses sont constantes jusqu' à le 6 -ème cycle on voie un gain de masse.
- D'après les différents courbes de la Figure III.13, on remarque que les fibres ont un effet bénéfique en utilisant le sable de boussaâda



Figure III.14 : Des éprouvettes après 10 cycle

III.7.7 Séchage/ mouillage

Mélanges (sable concassé avec gravies et avec fibre) :

Tableau_III 12 : mélanges (sable concassé avec gravies et avec fibre)

N	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
B18	156	85	77	74	62	48	37	34	30	33
B19	200	209	194	190	158	167	267	120	107	50
B20	228	231	222	222	196	218	220	209	188	207
B21	233	246	237	238	220	241	243	235	216	235
B22	294	302	298	302	287	308	304	300	287	302

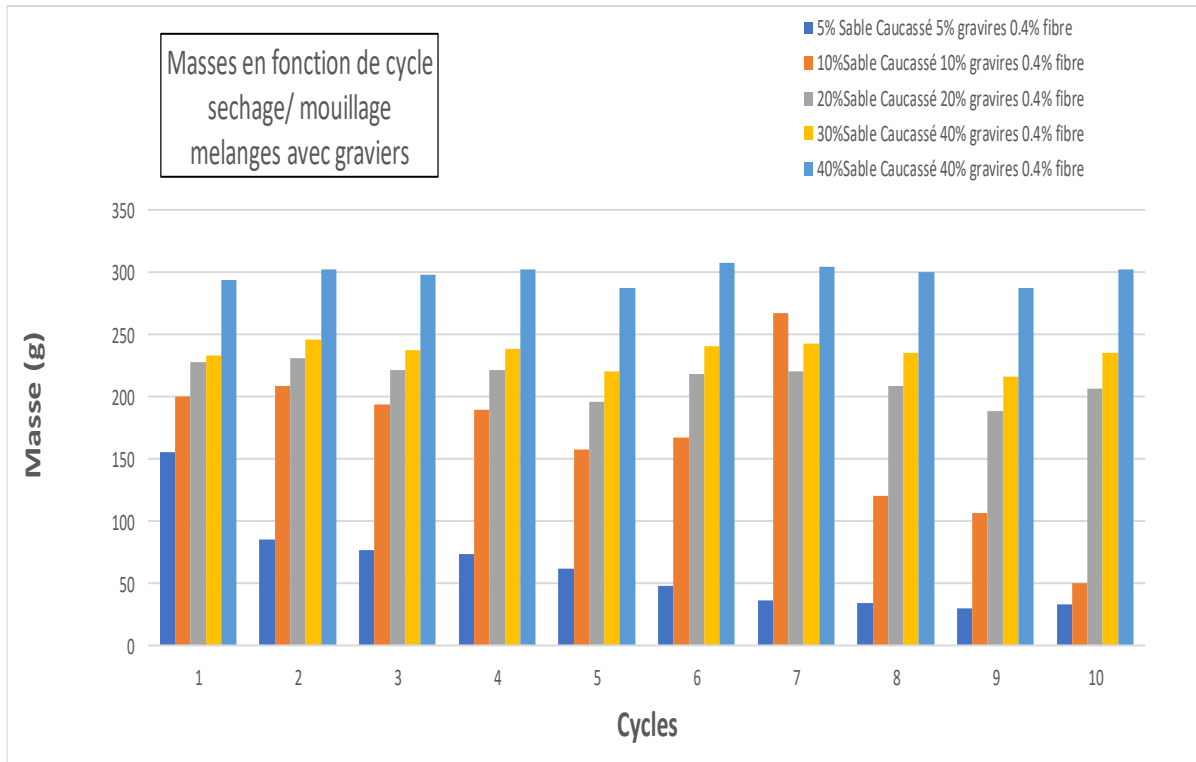


Figure III.15 : masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges avec graviers

Commentaire : la Figure III.15 représente les résultats pour les échantillons réalisés avec le sable concassé, la gravier 3/8 et les fibres dans cette figure, ou vois que :

- Les mélanges contenant un teneur faible de sable ont une perte de masse élevée au-delà de 60% de granulats (sable + gravier) on remarque que les masse sont pratiquement constats.



Figure III.16 : Des éprouvettes après 10 cycle

III.7.1 Séchage/ mouillage

Mélanges (sable Boussaâda avec gravies et avec fibre) :

Tableau _III 13 : mélanges (sable boussaâda avec gravies et avec fibre)

N	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
B40	192.3	200	191	191	157	228	220	222	186	205
B41	228	230	224	229	191	221	218	218	183	216
B42	211.4	213	211	213	182	181	180	176	143	158
B43	228	230	234	236	217	243	246	241	217	246
B44	331.8	337	336	340	323	350	315	349	323	356

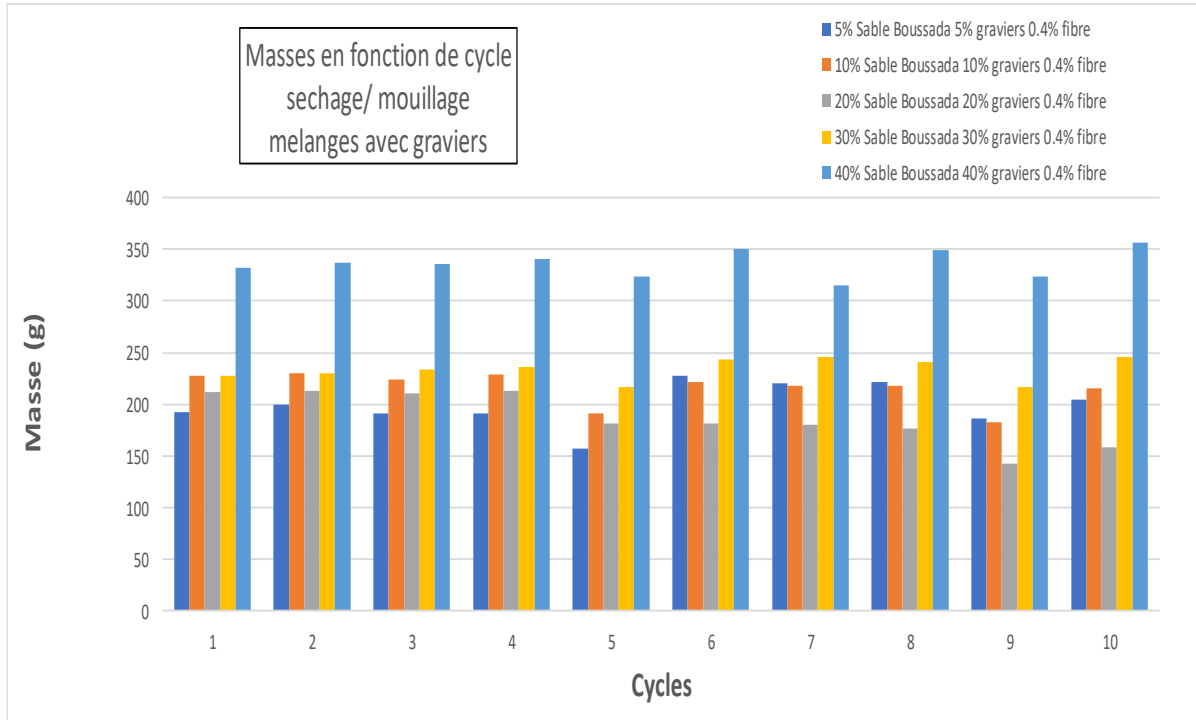


Figure III.17 : masses en fonction de cycle séchage/ mouillage mélanges avec gravies

Commentaire : la Figure III.17, représente les échantillons foluïques avec le sable de boussaâda, du gravier 3/8 et contenant les fibres dans cette figure, on remarque que les pertes de masse sont enregistrées dans le mélange contenant un teneur faible de granulats.

Dans le cas de 100% de granulats, les masses sont constante après 10 cycle de séchage/mouillage



Figure III.18 : Des éprouvettes après 10 cycle

III.8 Conclusions générales et perspectives

L'objectif de notre travail expérimental est de mieux comprendre l'effet de l'adjonction de fibres sur le comportement mécanique et la durabilité du béton à base de terre argileux ou béton d'argile stabilisé (BTS). Les BTS sont des éco – matériaux ou bétons écologiques qui peuvent être utilisés dans le bâtiment et les travaux publics ou des ouvrages qui ne nécessite pas une grande résistance.

Dans ce cadre, on a utilisé cinq teneurs de granulats (0, 20, 40, 60 et 80 %) dans les mélanges, ces granulats sont soit du sable concassé ou sable de Boussaâda ou bien un gravier 3/8 avec 8% de ciment comme stabilisant et 0.4 % de fibres (du poids sec du mélange). Les échantillons ont été recouvert de plastique et conservé 28 jours à l'intérieur du laboratoire. Ces échantillons ont été soumis à des essais de résistance mécanique à la compression et à la flexion et des essais de durabilité (séchage/mouillage). Ainsi, des mesures de perte de masse ont été effectués.

Les résultats obtenus montrent que :

- La résistance à la compression augment lorsque la teneur en sable augmente dans les mélanges (sable concassé ou sable de Boussaâda).
- Généralement, les meilleurs résultats sont obtenus avec 60% de sable.
- Dans les mélanges contenant du gravier, l'introduction de fibre a conduit à une augmentation de résistance.
- Les meilleures résistances à la flexion sont obtenues avec le sable concassé.
- L'incorporation de fibre a conduit généralement à une réduction la résistance à la flexion.
- La teneur d'argile dans les mélanges influe sur la durabilité des échantillons de sorte que la perte de masse est grande après la 5 -ème cycle dans les mélange contenant 0% de sable.
- Les meilleurs résultats sont obtenus avec 60% et 80% de sable : généralement une masse constante ou une très faible réduction de masse.
- Les mélanges contenant un teneur faible de sable ont une perte de masse élevée au-delà de 60% de granulats (sable + gravier) on remarque que les masse sont pratiquement constats.

En perspectives, trois domaines méritent d'être approfondis :

- Etudier les propriétés thermiques des BTS à base de ciment et sable.
- Etudier la durabilité des BTS dans les conditions hivernales rigoureuses.

Références bibliographiques

- [1] **Salmis. (2014).** « La Construction en pisé entre performances énergétiques et perception d'usagers cas du village kabyle Ait Tchir
- [2] **LAYEB A, HALBAOUI A** « Caractérisations physico-mécaniques d'un bloc de terre stabilisé avec la chaux à base des fibres (déchet de pneu usés - Verre) » Mémoire de Fin d'Etudes Université Ziane Achour de Djelfa, 2017.
- [3] **Chai Esdras (2019)** « Etude de la durabilité d'un béton de terre stabilisée dans son environnement » (Doctoral dissertation).
- [4] **Armel B L** « Comportement hygro-thermo-mécanique de matériaux structuraux pour la construction associant des fibres de kénaf à des terres argileuses » Thèse doctorat, Université de Caen Normandie décembre 2017]
- [5]. **Chavanne**, 2011, page 11].
- [6] **Caillère S., Henin S. et Rautureau M.**, 1982. Minéralogie des argiles : Classification et nomenclature (Tome 2), vol. 2, Paris : Masson
- [7]**Gautier M.**, 2008. Interactions entre argile ammoniée et molécules organiques dans le contexte du stockage des déchets. Cas de molécules à courtes chaînes. Thèse de doctorat de l'Université d'Orléans.
- [8]. **Villieras**, 2008, page 16]
- [9]. **Merabet, H. Belkacemi**, 2003].
- [10]. **Segad et coll.**, 2010]
- [11] **Robert H. Sneider et P. Claypool** "Illite : Origins, Evolution and **Metamorphism**" (Illite : origines, évolution et métamorphisme)
- [12] **Jiménez Delgado MC, Guerrero IC.** The selection of soils for unstabilised earth building A normative review. *Construction and Building Materials* vol 21 (2007) 237–251.
- [13]. **Doat P, Hays A, Houben H, Matuk S, Vitoux F.** Construire en terre. Editions Alternatives et Parallèles, collection An Architecture, Paris, France, 265p, 1979
- [14]**Izemmouren O, Guettala A.** Amélioration de la durabilité des blocs de terre comprimée à base d'un sol de la région de Biskra. *Matec web of conférence*, vol 11 02001, 2014.
- [15] **Saussaye L.**, 2012. Traitement des sols aux liants hydrauliques : aspects géotechniques et physico-chimiques des perturbations de la solidification, Caen. Thèse de l'Université de Caen Basse Normandie
- [16] **Cabane N.**, 2004. Sols traités à la chaux et aux liants hydrauliques : contribution à l'identification et à l'analyse des éléments perturbateurs de la stabilisation. Thèse de doctorat. Ecole National Supérieure des Mines, Saint Étienne
- [17]**Lasledj A.**, 2009. Traitement des sols argileux à la chaux : processus physico-chimique et propriétés géotechniques. Thèse de doctorat. Université d'Orléans.
- [18]**Omiri imen Yamina**, « l'effet du traitement des fibres naturelles sur l'endommagement d'un béton polymère » mémoire master, université du m'sila, 2014/2015.
- [19]**Yahiaoui Lamia**, « caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales DISS » option mécanique appliquée, université de Sétif, 2011.
- [20]**S. R. Mohanty** "Natural Fibers, Biopolymers, and Bio composites: An Introduction." CRC Press, 2005.
- [21]**S. O. B. Alotaibi.** "Effect of Polyester and Nylon Fibers on the Mechanical Properties of Concrete." *Construction and Building Materials*, vol. 49, 2013, pp. 107-114.

- [22] **Martin N.A.M**, Contribution à l'étude de paramètres influençant les propriétés mécaniques de fibres élémentaires de lin : Corrélation avec les propriétés de matériaux composites, PhD Thésis, Université de Bretagne Sud, 2014
- [23] **Yahiaoui Lamia**, «caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales DISS» option mécanique appliquée, université de Sétif, 2011.
- [24] **Talal, B.** Utilisation d'une méthode optique sans contact pour décrire le comportement mécanique de composites Bois/Plastiques _'WPC _'. Thèse de doctorat de l'université de Pau et des pays de l'Adour, 2011.
- [25] **C. K. Yoo.** "Effect of Natural Fiber Reinforcement on the Properties of Compressed Earth Blocks." Construction and Building Materials, vol. 117, 2016, pp. 82-89
- [26] **M. L. Baker.** "Earth Building: Methods and Materials, Repair and Conservation." Taylor & Francis, 2012
- [27] **R. Ramachandran.** "Influence of Stabilizer and Moisture Content on the Properties of Compressed Stabilized Earth Blocks." Construction and Building Materials, vol. 149, 2017, pp. 281-288
- [28] Traité de construction en terre **Hugo Houben, Hubert Guillaud**, CRATerre-EAG 1995
Vérification des caractéristiques des BTC stabilisées à la chaux BOKOR
YOUSSOUF SAKINE Mémoire de fin d'étude de master Génie civil 2010-2011 Page 17