



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
University Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم الهندسة المدنية
Civil engineering department



N° d'ordre : M /GCA/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Civil

Option : Matériaux en Génie Civil

Thème :

**COMPORTEMENT PHYSIQUE ET MECANIQUE DES BRIQUES EN
TERRE COMPRIMEE A BASE DE DECHETS DE PLASTIQUE.**

Présenté par :

- ZENOUD NACERA
- HAMMOU AICHA

Soutenu le 24/06/ 2025 devant le jury composé de :

Présidente : Dre GUERZOU TOURKIA

Examineur : Pre BELAS NADIA

Encadrant : Dr BELARIBI OMAR

Invité : Dr CHACHOUR Madjid

Année Universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Avant de débiter ce mémoire, je tiens à exprimer ma sincère gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Je remercie tout d'abord Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné la force, la patience et le courage nécessaires pour mener à bien ce mémoire.

Je tiens à adresser mes plus profonds remerciements à mon encadrant, Mr **BELARIBI Omar**, pour sa disponibilité, ses précieux conseils, son accompagnement rigoureux et bienveillant tout au long de ce travail.

Nous remercions également les membres du jury qui ont bien voulu évaluer notre mémoire. Une mention particulière à Mme **GUERZOU TOURKIA**, pour avoir accepté de présider le jury, ainsi qu'à Mme **BELAS NADIA**, pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble des enseignants et personnel administratif du département de Génie Civil pour la qualité de leur enseignement et leur encadrement tout au long de ma formation.

Je n'oublie pas de remercier chaleureusement mes camarades de promotion, ainsi que mes amis, pour leur soutien, leur entraide et les bons moments partagés durant ces années.

Enfin, j'exprime toute ma reconnaissance et mon amour à ma famille, en particulier à mes parents, pour leur soutien inconditionnel, leurs sacrifices et leurs encouragements constants tout au long de mon parcours.

DEDICACES

Je tiens à dédier ce travail à toutes les personnes qui ont fait partie de mon parcours et qui ont été une source constante de soutien, d'amour et d'inspiration.

À mon père, Ahmed, dont l'exemple de persévérance et de sagesse m'a guidé(e) tout au long de ma vie. Sa force et son amour inconditionnel ont été des moteurs essentiels dans la réalisation de ce mémoire.

À ma mère,

Khayra, pour son amour sans limites, ses sacrifices et son soutien constant. Elle m'a appris l'importance du travail acharné et de la détermination, et pour cela, je lui suis infiniment reconnaissant(e).

À ma sœur,

Naïma, pour sa présence rassurante et ses encouragements, toujours là dans les moments difficiles.

À mes frères,

Youcef, Fethi, et Mansour, pour leur soutien moral et leur fidélité sans faille. Leur complicité et leurs conseils ont été précieux à chaque étape de mon parcours.

À toute ma famille,

pour l'amour, les valeurs et la cohésion qu'ils m'ont transmis, et qui m'ont permis d'avancer avec confiance.

À mes amies, Aicha, Sara, Fatima, Hadil, Fatima, Naima et Asmaa, pour leur amitié sincère et leurs encouragements tout au long de mes études. Leur présence m'a permis de surmonter les défis et d'enrichir mon expérience.

À mes cousines,

Meryem et Karima, pour leur soutien et leur bienveillance, toujours prêtes à m'aider et à me remonter le moral.

Je vous dédie ce mémoire avec tout mon amour et ma reconnaissance.

NACERA

DEDICACES

Je tiens à dédier ce travail à toutes les personnes qui ont fait partie de mon parcours et qui ont été une source constante de soutien, d'amour et d'inspiration.

À mon père, ALI, dont l'exemple de persévérance et de sagesse m'a guidé(e) tout au long de ma vie. Sa force et son amour inconditionnel ont été des moteurs essentiels dans la réalisation de ce mémoire.

À ma mère,

Fatima, pour son amour sans limites, ses sacrifices et son soutien constant. Elle m'a appris l'importance du travail acharné et de la détermination, et pour cela, je lui suis infiniment reconnaissant(e).

À ma copine,

Asmaa, pour sa présence rassurante et ses encouragements, toujours là dans les moments difficiles.

À toute ma famille,

Pour l'amour, les valeurs et la cohésion qu'ils m'ont transmis, et qui m'ont permis d'avancer avec confiance.

Je vous dédie ce mémoire avec tout mon amour et ma reconnaissance

AICHA

SOMMAIRE

CHAPITRE I: NOTION SUR LES BLOCS DE TERRE COMPRIMEE

| | |
|---|-----------|
| II INTRODUCTION..... | |
| I.2 HISTORIQUE | 01 |
| I.2.1 Principales époques historiques de l'utilisation de la terre dans la construction | 01 |
| I. 2. 2 La construction en terre en Algérie..... | 02 |
| I. 3 LA TERRE, UN MATERIAU DE CONSTRUCTION | 03 |
| I.3.1 Définition..... | 03 |
| I.3.2 Composition..... | 03 |
| I.4 CLASSIFICATIONS DES SOLS..... | 04 |
| I. 5 TECHNIQUES DE CONSTRUCTION EN TERRE | 6 |
| I. 5. 1 Blocs de terre comprimée (BTC)..... | 6 |
| I.5.2 Les utilisations des BTC..... | 06 |
| I.6 Diversités des produits de blocs de terre comprimée..... | 08 |
| I.7 EXEMPLES DE CONSTRUCTIONS MODERNES EN BTC..... | 09 |
| I.8 PRINCIPAUX AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES CONSTRUCTIONS EN TERRE CRUE | 10 |
| I.9 STABILISATION DE LA BTC | 11 |
| I.9.1 Critère de résistance..... | 12 |
| I.9.2 Types de stabilisation | 13 |
| I. 0CONCLUSION..... | 14 |

CHAPITRE II: LES DECHETS EN PLASTIQUE

| | |
|---|----|
| II.2 HISTORIQUE DE MATIERE PLASTIQUE..... | 17 |
| II.3 DEFINITION DE PLASTIQUE..... | 17 |
| II.4 TYPES DE PLASTIQUES..... | 17 |
| II.5 AVANTAGES DES MATIERES PLASTIQUES..... | 18 |
| II.6 INCONVENIENTS DES MATIERES PLASTIQUES | 19 |
| II.7 RECYCLAGE DES PLASTIQUES | 19 |
| II.8 UTILISATION DES DECHETS PLASTIQUES RECYCLES..... | 19 |
| II.9. LE RECYCLAGE DU PLASTIQUE..... | 20 |
| II.9.1. Introduction | 20 |
| II.9.3. Qu'est –ce qu'un polymère?..... | 21 |
| II.9.4. Qu'est –ce que le plastique?..... | 21 |
| II .10 DEFINITION DE PET | 21 |
| II.10.2 Propriétés générales du PET..... | 22 |
| II.10.3 Domaines d'application de PET..... | 22 |

| | |
|---|----|
| II. 11 LES DECHETS PLASTIQUES DANS LE MONDE | 23 |
| II. 11. 1 L’impact des déchets plastiques sur l’environnement | 24 |
| II.12 RECYCLAGE ET VALORISATION DES DECHETS DANS LE DOMAINE DU GENIE CIVIL | 25 |
| II.13 CONCLUSION..... | 26 |
| | |
| <u>CHAPITRE III : SYNTHESE DES TRAVAUX SUR LES BTC</u> | |
| III.1 INTRODUCTION | 27 |
| III.2 LA RESISTANCE A LA COMPRESSION | 27 |
| III.3 LA RESISTANCE A LA TRACTION..... | 30 |
| III.4 L’ABSORPTION D’EAU..... | 33 |
| III.5 CONCLUSION..... | 36 |
| <u>CHAPITRE IV: MATERIAUX ET ESSAIS REALISES</u> | |
| IV.1 INTRODUCTION | 37 |
| IV.2 MATERIAUX UTILISE..... | 37 |
| IV.2.1 Les sédiments de dragage | 37 |
| IV.2.2 La chaux | 41 |
| IV. 2. 3 PET..... | 42 |
| IV.2.4 L’eau..... | 44 |
| IV.3. LES ESSAIS REALISES..... | 44 |
| IV.3.1 Masse volumique | 44 |
| IV.3.2 Essai Limites D’ATTERBERG (NF P 94-051)..... | 50 |
| IV.3.3 Essais bleu de méthylène..... | 53 |
| IV.3.4 Préparation des briques | 55 |
| IV.3.5 Optimisation de la teneur en eau..... | 56 |
| IV.3.6 Compactage des mélanges..... | 57 |
| IV.6 Résistances mécaniques | 57 |
| IV.6.1 <i>Résistance à la flexion : EN 12390-4</i> | 57 |
| IV.6.2 <i>Résistance à la compression : EN 12390-3</i> | 59 |
| IV.6.3 <i>Essai de la durabilité</i> | 59 |
| <u>CHAPITRE V : RÉSULTATS</u> | 60 |
| V.1. INTRODUCTION..... | 60 |
| V.2. ESSAI DES LIMITES D’ATTERBERG | 60 |
| V.2.1. Méthodes de mesure..... | 60 |
| V.2.2 Formules de calcul..... | 60 |
| V.2.3. Résultats et interprétation..... | 60 |
| V.3 ESSAI DE DENSITÉ APPARENTE ET DE DENSITÉ ABSOLUE..... | 64 |

| | |
|---|-----------|
| V.3.1 Définition | 64 |
| V.3.2. Calcul de la masse volumique absolue et apparent de l'argile et du plastique | 64 |
| V.3.3 Interprétation | 65 |
| V.4 TEST AU BLEU DE MÉTHYLÈNE..... | 65 |
| V.4.1. Importance..... | 65 |
| V.4.2 Méthode de mesure | 65 |
| V.4.3 Formule de calcul | 65 |
| V.4.4. Résultats..... | 65 |
| V .5. ESSAIS DE RÉSISTANCE MÉCANIQUE..... | 65 |
| V.5.1. Résistance à la flexion | 66 |
| V.5.2. Résistance à la compression..... | 67 |
| V .6. ESSAI D'ABSORPTION D'EAU..... | 68 |
| V.6.1. Absorption d'eau par capillarité..... | 68 |
| V .6.2.Absorption totale d'eau | 70 |
| V.4 CONCLUSION..... | 73 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure I.1 : Architecture de terre dans le monde | 2 |
| Figure I-2 : Principaux types d'argiles : (a) structure de la kaolinite, (b) Structure de l'illite, (c) structure de la smectite..... | 4 |
| Figure I.3 : Schéma des différentes techniques de construction en terre établi par le groupe..... | 6 |
| Figure I-4 Différents produits de blocs de terre comprimés..... | 8 |
| Figure I-5 Différents types produits de blocs de terre comprimés..... | 9 |
| Figure I .6 : Mosquée Al Medy, Ryad, Arabie Saoudite..... | 9 |
| Figure I7 : Centre de l'architecture de terre au Mali | 10 |
| Figure 1.8: Logements collectifs..... | 10 |
| Figure 1.9 Atelier électronique, Ecole, Auroville, Inde | 10 |
| Figure I-10: Contraintes de l'enveloppe d'un bâtiment | 12 |
| Figure I-11: Valeurs minimales de la résistance à la compression à l'état sec et à l'état humide de la BTC selon différentes normes : IS 1725 (Inde), NBR (Brésil), ARSO (Afrique), NT (Tunisie), NZS (Nouvelle-Zélande), KS 02-1070 (Kenya), XP P13- 901 (France), NTC 5324 (Colombie), UNE 41410 (Espagne), SLS 1382 (Sri Lanka), ASTM E2392M-10 (USA), NMAC 14.7.4 (Nouveau Mexique) | 13 |
| FigureII.1 : produits plastiques..... | 17 |
| Figure II.2 : les numéros des types de plastique | 18 |
| Figure II.3 : Diffèrent type de plastique | 20 |

| | |
|---|----|
| Figure II.4 : Polymérisation de PET | 21 |
| Figure II.5 : flacon en PET | 21 |
| Figure II.6 : la composition chimique de PET | 22 |
| Figure II.7 : Production mondiale de déchets de plastique primaire, 1950-2015 | 24 |
| Figure II.8 :L'effet des déchets plastique rejeté dans la nature | 24 |
| Figure III. 1 : La relation entre la résistance à la compression no confinée et la teneur en fibres | 29 |
| Figure III.2. : Résistance à la compression sèche du BTC à base de chaux sans fibres curé 28 jours au laboratoire en fonction de la teneur en chaux (pour une contrainte de compactage de 10 MPa)..... | 30 |
| Figure III.3 : Résistance à la compression sèche du BTC à base de chaux sans ajout en fonction du dosage en chaux | 31 |
| Figure III.4 : Résistance à la compression sèche du BCPP à base de 8 % en ciment en fonction de la teneur en fibres de polypropylène (pour une contrainte de compactage de 10 MPa)..... | 31 |
| Figure III.5 : L'influence de la teneur en fibres sur la résistance à la compression | 32 |
| Figure III.6. : Variation de la résistance à la flexion en fonction de la teneur en paille d'orge hachée..... | 32 |
| Figure III.7 : Résistance à la traction sèche du BCPP à base de 8 % en ciment en fonction de la teneur en fibres de polypropylène (pour une contrainte de compactage de 10 MPa)..... | 33 |
| Figure III.8 : Effet de la teneur en fibres d'acier sur la résistance à la traction pour des blocs de terre comprimée stabilisée à 6% de ciment | 34 |
| Figure III.9 : Variation de la résistance à la flexion en fonction de la teneur en fibres de sisal | 34 |
| Figure III.10 : Influence de la contrainte de compactage et la teneur en chaux sur l'absorption et sur la perte en poids (essai séchage/ moullage). | 35 |
| Figure III.11 : Influence du dosage en chaux sur l'absorption totale | 36 |
| Figure III.12 : Influence du dosage en ajout sur l'absorption totale à 28 jours..... | 37 |
| Figure III.13 : l'essai de tenue à l'eau..... | 37 |
| Figure IV.1 : Plan de situation du barrage Chorfa II | 40 |
| Figure IV. 2 : Les étapes de traitement des sédiments de dragage | 41 |
| Figure IV.3 : Observations MEB des sédiments de dragage brut..... | 43 |
| Figure IV .4 : Diagramme de plasticité (la norme XP P 13-901) | 44 |
| Figure IV .5 : Emplacements des décharges techniques à Mostaganem..... | 45 |
| Figure IV .6 : PET utilisée..... | 46 |
| Figure IV.7 : la masse volumique argile et l'eau..... | 48 |
| Figure IV.8 : Mode opératoire – Masse volumique apparente | 49 |
| Figure IV.9 : remplissage de la coupelle de Casagrande..... | 49 |
| Figure IV .10 : Les différents états d'un sol et leurs limites | 51 |
| Figure IV.11 : appareille de l'essai bleu méthylène | 52 |
| Figure IV .12 : Test positif et teste négatif..... | 53 |

| | |
|---|----|
| Figure IV .13 : Moule utilisé pour la fabrication des BTC | 55 |
| Figure IV.14 : essais de compactage..... | 56 |
| Figure IV.15 : Essai de flexion. | 57 |
| Figure IV .16 : Essai de compression..... | 58 |
| Figure IV.17 : Principe de l'essai d'absorption capillaire | 60 |
| Figure IV.18 : essai d'absorption total | 61 |
| Figure V.1 : résultat de l'effort de flexion en MPa..... | 67 |
| Figure V.2 : résultat de l'effort de compression BTC en MPa..... | 68 |
| Figure V.3 : L'absorption capillaire des BTC à 28 jours | 70 |
| Figure V-4 L'absorption total des BTC à 28 jours | 71 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau I1 : Repères chronologiques de la construction en terre..... | 1 |
| Tableau I-2: Les opérations de construction en terre en Algérie | 2 |
| Tableau I.3 : Différents types d'usage pour les blocs de terre comprimée | 7 |
| Tableau I.4 : Avantage et inconvénients des constructions en terre crue..... | 10 |
| Tableau I.5: Techniques de stabilisation | 13 |
| Tableau II 1 Applications et description des plastiques recyclés et vierges | 18 |
| Tableau II2: Les quantités des principaux déchets recyclables | 26 |
| Tableau IV .1: Compositions chimiques de ciment, en utilisant XRF (% en poids) | 41 |
| Tableau IV .2: Tableau des masses volumiques des sédiments du barrage de Chorfa II..... | 42 |
| TableauIV .3 : Limites d Aterberg des sédiments..... | 43 |
| Tableau IV .4 : Valeur du bleu de méthylène..... | 44 |
| TableauIV .5: Analyse chimique et caractéristiques physiques de la chaux vive | 44 |
| TableauIV .6 : Propriétés physico-chimique, mécaniques et thermique du PET masse..... | 46 |
| TableauIV .7 : Type de sol en fonction d'IP | 47 |
| Tableau IV.8 : Codification des mélanges | 55 |
| Tableau V.1. Détermination de la limite de liquidité (WL) et de la limite de plasticité (WP) des échantillons de sol..... | 64 |
| Tableau V.2. Classification des sols selon la valeur du bleu de méthylène (AFNOR. (1994) | 64 |
| Tableau V.3. Résultat de l'effort de flexion et de compression en MPa | 66 |
| Tableau V.4 : Différence de poids entre avant et après absorption capillaire, en grammes...69 | 69 |
| Tableau V.5. Différence de poids entre avant et après absorption totale, en grammes | 71 |

ملخص

تتمين النفايات في مجال الهندسة المدنية يعتبر قطاعًا مهمًا، إذ إن إعادة تدوير النفايات يمسه جانبين أساسيين: التأثير البيئي والتأثير الاقتصادي. وتُعد النفايات البلاستيكية من بين النفايات الرئيسية التي اجتاحت العالم في السنوات الأخيرة بشكل مخيف. ولهذا، يتم استخدام العديد من هذه النفايات في مجال البناء، خصوصًا في الإسمنت، والخرسانة، أو اللبنة الترابية، على شكل مسحوق، أو ألياف، أو حبيبات، بهدف تتمين النفايات البلاستيكية التي تُعد ضارة بالبيئة نظرًا لطبيعتها المزعجة وغير الجمالية.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة تأثير استخدام نفايات البلاستيك من نوع بولي تيرفتالات الإيثيلين (PET) المفروم، على الخصائص الميكانيكية للبنات التربة المضغوطة (BTC) المصنوعة من رواسب التجريف القادمة من سد شرفة II بولاية معسكر. كما تركزت الدراسة على حساسية هذه اللبنة تجاه الماء، من خلال امتصاصه الشعري والكلي. وفي هذا الإطار، تم استخدام نسبة 6% من الجير الحي، و2% من البلاستيك المفروم من وزن الخليط الجاف، وإجهاد ضغط قدره 1 ميغاباسكال.

وقد أظهرت النتائج التجريبية أن اللبنة التي تحتوي على 2% من البلاستيك يمتلك خصائص ميكانيكية أقل من تلك الخاصة بعينات الشاهد. وبالتالي، فإن إضافة 2% من نفايات البلاستيك يساهم في تحسين مقاومة تسرب الماء، مما قد يعزز من ديمومة الطوب في البيئات الرطبة.

الكلمات المفتاحية: النفايات البلاستيكية، الرواسب الناتجة عن التجريف، لبنات التربة المضغوطة، إعادة التدوير، الديمومة.

Abstract

The valorization of waste in civil engineering is an important sector, as waste recycling addresses two major impacts: environmental and economic. Plastic waste is among the main types of waste that have invaded the world in recent years in an alarming way. Therefore, various types of waste are used in the construction field, especially in cement, concrete, or earth bricks, in the form of powder, fibers, or aggregates. The goal is to valorize plastic waste, which is harmful to the environment due to its bulky and unsightly nature.

The main objective of this work is to study the effect of using shredded polyethylene terephthalate (PET) plastic waste on the mechanical properties of compressed earth bricks (CEB) made from dredged sediments from the Chorfa Dam in the Mascara region. The study also focused on the material's sensitivity to water, through capillary and total absorption tests. In this context, a content of 6% quicklime, 2% shredded plastic (by dry weight of the mixture), and a compaction pressure of 1 MPa were used.

The experimental results show that bricks containing 2% plastic exhibit lower mechanical properties compared to the control bricks.

However, the addition of 2% plastic waste contributes to better resistance to water penetration, which could improve the durability of the bricks in humid environments.

Keywords: Plastic waste, dredged sediments, compressed earth bricks, recycling, durability

Résumé

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact environnemental et l'impact économique. Les déchets en plastique sont l'un des principaux déchets qui ont envahi le monde ces dernières années de manière effrayante. Donc plusieurs déchets sont utilisés dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment, le béton ou les briques de terre, comme poudre, fibres ou agrégats, dont le but est la valorisation des déchets plastiques, ce qui est nuisible pour l'environnement vu leur caractère encombrant et inesthétique.

L'objectif principal de ce travail est d'étudier l'effet de l'utilisation des déchets en plastique poly-téréphtalate d'éthylène (PET) hachée, sur les propriétés mécaniques des briques de terre comprimée (BTC) issue des sédiments de dragage provenant du barrage de ChorfaII de la wilaya de Mascara. L'étude s'est focalisée aussi sur sa sensibilité à l'eau, à travers son absorption capillaire et totale. Dans ce cadre, on a utilisé une teneur en chaux vive (6 %), une teneur en plastiques hachée (2 %) du poids du mélange sec et une contrainte de compactage (1 MPa).

Les résultats expérimentaux montrent que les briques à base de 2 % en plastique présentent des caractéristiques mécaniques inférieures à celles des briques témoins. Par conséquent, l'ajout de de 2 % de déchets en plastique contribue à une meilleure résistance à la pénétration de l'eau, ce qui pourrait améliorer la durabilité des briques dans des environnements humides.

Mots-clés : déchets plastiques, sédiments de dragage, briques de terre comprimée, recyclage, durabilité,

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERAL

La problématique environnementale actuelle, notamment la gestion des déchets plastiques, a conduit à des recherches innovantes visant à réutiliser ces déchets dans des matériaux de construction. Parmi les solutions proposées, l'utilisation de briques en terre incorporant des déchets plastiques représente une approche prometteuse pour répondre à la fois aux défis de gestion des déchets et aux besoins croissants en matériaux de construction durables.

Les briques en terre sont traditionnellement utilisées dans la construction en raison de leur faible coût, de leur disponibilité et de leurs bonnes propriétés thermiques et acoustiques.

Cependant, elles présentent certaines limites en termes de résistance mécanique et de durabilité face aux intempéries, particulièrement dans des environnements soumis aux cycles de gel/dégel ou à des températures extrêmes. L'intégration de déchets plastiques dans ces briques pourrait offrir une solution pour améliorer leurs performances tout en réduisant la quantité de plastique qui pollue les environnements naturels.

Les briques en terre à base de déchets plastiques présentent un comportement physico-mécanique qui dépend largement du type et de la proportion de plastique utilisé. L'ajout de plastique pourrait influencer la résistance à la compression, la durabilité, et d'autres propriétés essentielles pour une utilisation dans la construction. De plus, ces matériaux offrent une alternative écologique, en contribuant à la réduction des déchets plastiques et à la diminution de l'empreinte carbone des matériaux de construction traditionnels.

Cette recherche se propose d'étudier les propriétés physico-mécaniques de briques en terre fabriquées à partir de déchets plastiques, dans le but d'évaluer leur potentiel comme matériaux de construction. En explorant les interactions entre la terre et les plastiques recyclés, nous cherchons à déterminer les meilleures pratiques de formulation pour obtenir des briques à la fois performantes, durables et respectueuses de l'environnement.

Notre étude est structurée en 05 chapitres :

Le premier chapitre, qui est consacré à la synthèse bibliographique, en vue de donner un aperçu général sur les techniques de construction en terre, en particulier le bloc de terre comprimée (BTC), les critères de choix des sols à stabiliser et les différents modes de stabilisation.

Le deuxième chapitre, fait une recherche autour des déchets en plastiques (les types, les avantages ainsi que les caractéristiques spécifiques et domaines d'application).

Le troisième chapitre, nous l'avons consacré aux synthèses des travaux de recherches antérieures réalisées sur l'effet des ajouts sur les propriétés mécaniques et durabilité des sols en particulier sur les briques de terre comprimée.

Chapitre 04 centré autour des matériaux utilisés dans cette recherche et le processus des essais.

Et le dernier chapitre est pour l'expression des résultats et leurs interprétations.

Enfin, la conclusion générale est une synthèse des résultats obtenus aux chapitres précédents ainsi que des recommandations.

Problématique

La gestion des déchets plastiques constitue l'un des défis environnementaux majeurs de notre époque. Chaque année, des millions de tonnes de plastiques sont produits, et une grande partie de ces déchets finissent dans les océans, les décharges ou dans la nature, contribuant à la pollution et aux effets néfastes sur les écosystèmes. Parallèlement, le secteur de la construction, bien qu'essentiel, est responsable d'une part importante des émissions de CO₂ et de la consommation de ressources naturelles, notamment à travers l'utilisation de matériaux comme le ciment et la brique traditionnelle.

Face à ces enjeux, la recherche de solutions innovantes pour recycler les déchets plastiques tout en améliorant la durabilité des matériaux de construction devient essentielle. L'une des pistes explorées consiste à intégrer les déchets plastiques dans la fabrication de briques en terre. Cependant, cette approche soulève plusieurs questions relatives aux performances mécaniques et thermiques des briques ainsi constituées, ainsi qu'à leur durabilité à long terme.

La problématique centrale de cette recherche est donc la suivante : Dans quelle mesure l'incorporation de déchets plastiques dans la fabrication de briques en terre modifie-t-elle leurs propriétés physico-mécaniques, et quelles sont les implications de cette modification pour leur utilisation dans la construction durable ?

Pour répondre à cette question, il est nécessaire d'étudier plusieurs aspects, notamment :

1. L'impact de l'ajout de plastiques sur la résistance à la compression, la durabilité et la stabilité des briques face aux cycles climatiques extrêmes.
2. La possibilité d'optimiser les formulations de briques en terre et plastique afin de maximiser les bénéfices environnementaux, tout en garantissant la sécurité et la performance du matériau.

Objectif de travail

L'objectif principal de cette étude est d'examiner les effets de l'incorporation de déchets plastiques dans la fabrication de briques en terre, en analysant ses impacts sur leurs propriétés physico-mécaniques. Plus spécifiquement, cette recherche vise à :

1. Évaluer l'impact de l'ajout de déchets plastiques sur la résistance mécanique des briques en terre,
2. Analyser les propriétés physiques des briques en terre renforcées de plastique
3. Optimiser les formulations de briques en terre avec plastique recyclé

Toutefois, la production de déchets plastiques est considérable : chaque année, plus de 280 millions de tonnes de produits en plastique utilisés pendant une courte durée sont jetés.

Dans l'ensemble, 46 % des déchets plastiques sont mis en décharge, tandis que 22 % sont mal gérés et deviennent des déchets sauvages.

CHAPITRE I :
NOTION SUR LES
BLOCS DE TERRE
COMPRIMEE

CHAPITRE I : NOTION SUR LES BLOCS DE TERRE COMPRIMEE

I.1 INTRODUCTION

La terre crue est utilisée pour la construction de bâtiments depuis les temps les plus reculés, comme en témoigne l'habitat traditionnel en de nombreux points de notre planète. Après avoir été abandonnée et oubliée avec l'avènement des matériaux de construction industriels, en particulier le béton et l'acier, elle fait aujourd'hui l'objet d'un regain d'intérêt dans les pays en développement comme dans les pays industrialisés. Ce matériau, souvent critiqué pour sa sensibilité à l'eau et son manque de durabilité, présente dans sa forme actuelle de nombreux avantages pour la construction de logements durables, confortables et économiques. [1]

I.2 HISTORIQUE

La terre est utilisée comme matériau de construction depuis dix millénaires sur tous les Continents. Ce terme désigne un matériau sédimentaire naturel présent dans les sols. Il s'agit d'un des matériaux de construction les plus anciens de l'histoire de l'humanité. D'après L'Unesco, 20% du nombre de sites enregistrés comme patrimoine mondial sont partiellement Construit en terre [2].

I.2.1 Principales époques historiques de l'utilisation de la terre dans la construction

Le tableau suivant représente les principales époques historiques de l'utilisation de la terre dans la construction

Tableau I-1 : Repères chronologiques de la construction en terre [3].

| Temps | Événement |
|------------------|---|
| 11 000 ans | Premières traces de la construction en terre en Amérique du sud. |
| 10 000 ans | En Syrie construction en terre par empilement de pains de terre façonnés à la main. |
| 8 500 ans | Apparition de la brique de terre en Turquie. |
| 8 000 ans | Apparition de l'utilisation de la terre dans l'habitat en Europe occidentale. |
| 5 000 ans | Apparition des premières villes d'architecture de terre crue en Mésopotamie. |
| 1860 | Apparition des fours à feux continus qui permettent une production plus industrielle de la brique. |
| 1918 et 1945 | Début des reconstructions suite aux conflits mondiaux et abandon de la terre crue en milieu urbain. |
| A partir de 1980 | Redécouverte de la terre crue pour la sauvegarde du patrimoine |

| | |
|--|---|
| | dans un premier temps puis pour ses qualités environnementales. |
|--|---|

Aujourd’hui dans le monde 2 milliards de personnes vivent dans un habitat en terre crue dans 150 pays différents. Géographiquement les constructions en terre crue sont présentes dans presque toute l’Afrique, le Moyen - orient l’Asie, l’Europe, l’Australie et les deux ’Amériques (Voir Figure I.1).

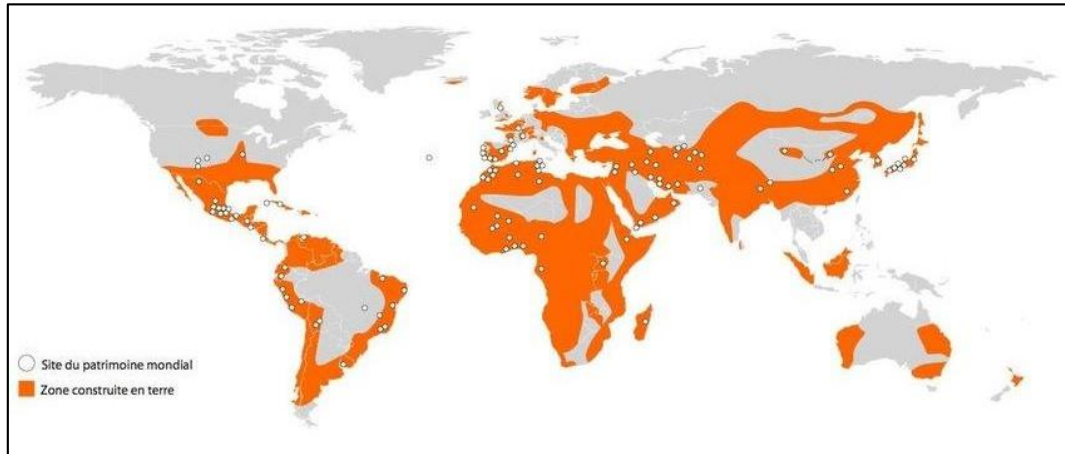


Figure I.1 : Architecture de terre dans le monde (Paulus, 2015). [2]

I.2.2 La construction en terre en Algérie

Juste quelques années après l’indépendance, l’Algérie a manifesté un certain intérêt pour la revalorisation de l’architecture de terre. Dans le tableau 1-2 nous consignons quelques opérations pilotes citées par ordre chronologique [4].

TableauI -2: Les opérations de construction en terre en Algérie [4]

| Année | Réalisation |
|-------|--|
| 1969 | Réalisation de 136 logements en pisé au village agricole de Bouhlilet à Batna. |
| 1971 | Une équipe franco-belge réalise à Zéralda un groupe expérimental d’habitations rurales |
| 1973 | 30 des 300 logements du village de Mustapha Ben Brahim (Wilaya de Sidi Belabbès), sont réalisés en pisé. |
| 1975 | Le village d’Abadla a été construit selon le procédé de la terre remplissant |
| 1976 | 100 logements du village agricole de Felliache à Biskra sont réalisés en Toub. |
| 1980 | 120 logements du village agricole de Madher à Boussaada sont réalisés en BTS. |

| | |
|-------------|--|
| 1981 | 40 logements sont réalisés à Chéraga près d'Alger en blocs de terre comprimée (BTC) |
| 1984 | Un prototype bioclimatique fut réalisé à Tamanrasset en BTC. Un prototype fut réalisé au CNERIB en BTC. |
| 1986 | 10 logements sont réalisés à Adrar en BTC. 10 logements sont réalisés à Reggane en BTC. |
| 1994 | 24 logements sont réalisés à Tamanrasset par l'office de promotion et de gestion immobilière en BTC. 44 logements sont réalisés par l'ETR de Tamanrasset en BTC. |
| 1996 | Un prototype en pisé fut réalisé au CNERIB. |
| 2006 | Un projet intitulé « réalisation d'un logement rural avec efficacité énergétique » est lancée au CNERIB et financé par l'union européenne. |

I. 3 La terre, un matériau de construction

I.3.1 Définition

Le sol est la fraction solide de la sphère terrestre. A la surface du sol, la terre est un matériau meuble, d'épaisseur variable, qui supporte les êtres vivants et leurs ouvrages et où poussent les végétaux. La terre est formée à partir d'une roche mère par des processus très lents de dégradation et par des mécanismes très complexes de migration de particules. Il en résulte une infinité de sortes de terres avec une variation illimitée de leurs caractéristiques. La terre végétale ou sol des agronomes, riche en matière organique, surmonte la roche mère, plus ou moins altérée. Lorsqu'ils sont meubles et contiennent peu de matière organique, les niveaux superficiels des sols sont utilisables pour la construction en terre [1].

I.3.2 Composition

La terre est constituée d'un mélange en proportions variables de quatre sortes d'éléments : les graviers (5-20 mm), les sables (0.08-5 mm), les limons (2 μ m-0.08 mm), et les argiles (< 2 μ m). Comme nous l'avons constaté, la terre est composée de matériaux inertes (graviers, sables) et de matériaux actifs (silts, argiles). Les premiers jouent un rôle de squelette et les seconds celui de liant, tel un ciment. La terre a donc une structure comparable à celle du béton avec un liant différent [1]. Les proportions des éléments constituant les terres vont déterminer leurs comportements et leurs propriétés, par exemple, lorsqu'ils sont soumis à des variations d'humidité certains changent de volume, d'autres non. Les premiers sont instables et les autres stables. Cette notion de stabilité, c'est-à-dire d'aptitude à supporter les alternances d'humidité et de sécheresse sans variations des propriétés, est fondamentale pour un matériau de construction [5].

Vu l'importance des argiles comme liant dans la fabrication des BTC, et pour pouvoir analyser les mécanismes responsables des modifications qui apparaissent dans le sol traité, il est utile de rappeler certaines propriétés physico-chimiques des argiles.

Les caractéristiques physiques et chimiques des argiles se distinguent nettement de celles des autres composants de la terre. Leur surface spécifique est considérablement plus grande que celle des particules grossières de forme spécifique ou anguleuse. Les argiles présentent une cohésion naturelle et ont la capacité de former une masse compacte à une humidité appropriée. Elles jouent un rôle significatif dans les propriétés de la terre en lui conférant sa plasticité lorsque la teneur en eau est élevée. Cela est dû aux couches d'eau qui se lient aux couches d'argiles et qui agissent comme un liant en reliant les particules entre elles. Les argiles forment une matrice liante qui enveloppe et unit les granulats entre eux. [5]

I.4 Classifications des sols [6]

Le matériau grossier (gravier et une partie de la fraction sableuse) est constitué d'éléments dont la granulométrie est supérieure à 0.08 mm. Le matériau grossier fournit le "squelette" stable des BTC grâce à sa friction interne et à son inertie. Le matériau fin (une partie de la fraction de sable fin, du limon et de l'argile) est constitué de composants dont la granulométrie est inférieure ou égal à 0.08 mm. D'un point de vue minéralogique, les notions d'argile et de limon ne sont pas limitées aux valeurs métriques données ci-dessus. La compréhension de la nature minéralogique des fines peut s'avérer vitale lors de la sélection de types de terre.

Les fines remplissent les vides du "squelette". L'argile et une partie de la fraction de limon fournissent la cohésion des BTC car ils agissent comme des liants. Les argiles peuvent être distinguées comme un groupe composé de plusieurs cristaux de formes diverses. L'empilement des différentes couches de cristaux implique une nature différente qui peut être principalement de la kaolinite, de l'illite ou de la smectite. La structure de la kaolinite (Fig. I-2.a) d'expression $\{Al_2O_3, 2SiO_2, (OH)_4\}$ présente un simple empilement de feuillets élémentaires, composés d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. La distance inter-réticulaire est d'environ 7Å.

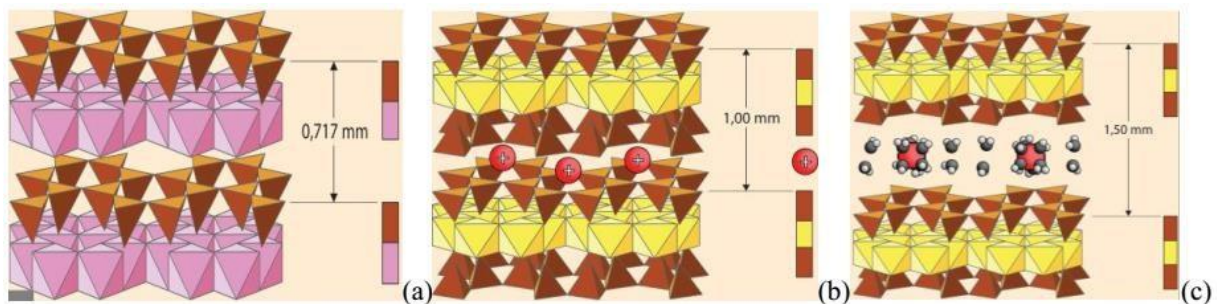


Figure I-2 : Principaux types d'argiles : (a) structure de la kaolinite, (b) Structure de l'illite, (c) structure de la smectite [6]

Quant à la structure de l'illite (Fig. I.2) avec pour d'expression $\{K Al_2(OH)_2, [Al Si_3(O,$

O)10]], elle montre des feuillets composés d'une couche octaédrique liée à deux couches tétraédriques. La distance inter-réticulaire est d'environ 10Å.

Pour la smectite de structure (Fig. I-2.c) avec pour d'expression $\{2\text{Al}_2\text{O}_3, 8\text{SiO}_2, 2\text{H}_2\text{O}, (\text{Mg}, \text{Ca})\text{O}, \text{Al}_2\text{O}_3, 5\text{SiO}_2\}$, sa structure se distingue, avec d'autres phyllosilicates, par un espace interfoliaire qui dépend de son état d'hydratation. La distance inter-réticulaire est d'environ 14Å.

I.5 TECHNIQUES DE CONSTRUCTION EN TERRE

A travers le patrimoine mondial des traditions de la construction en terre crue, on dénombre de très nombreuses techniques de construction avec une infinité de variantes adaptées à la qualité de la terre et au degré d'élaboration du savoir-faire, traduisant l'identité des lieux et des cultures. Il existe douze techniques d'utilisation de terre pour la construction présentées sur le diagramme établi par le groupe CRATERRE en 1986 (figure I.3) [1] Parmi celle-ci huit sont d'un usage courant et constituent les techniques principales [7]:

- **Adobe** : la terre à l'état de pâte plastique souvent amendée de paille ou autre fibres, moulée sous forme de briques séchées au soleil.
- **Pisé** : la terre est compactée en masse dans des coffrages, couche par couche et banchée par banchée, avec une dame.
- **Terre-paille** : la terre est dispersée dans de l'eau jusqu'à l'obtention d'un liquide épais homogène que l'on mélange à la paille afin de former un film sur chaque brin. Le matériau ainsi obtenu conserve l'aspect de la paille et est banché pour ériger un mur monolithique qui nécessite une structure porteuse.
- **Torchis** : la terre argileuse, amendée de paille ou autres fibres, recouvre en une ou plusieurs couches des claires qui hourdent une structure en colombages.
- **Terre façonnée** : la terre, souvent amendée de paille ou autres fibres, est façonnée sous forme de murs de la même façon que pour la technique de poterie, sans outil.
- **Terre extrudée** : la terre est extrudée par une puissante machine proche ou dérivée du matériel utilisé pour la fabrication de produits destinés à être cuits.
- **Bauge** : la terre, généralement amendée de paille ou autres fibres, est mise sous forme de boules grossières, qui sont empilées les unes sur les autres et entassées légèrement à l'aide des mains ou des pieds jusqu'à ériger des murs monolithiques façonnés. Dans d'autres cas, la bauge est incorporée dans une structure en bois.
- **Terre comprimée** : la terre est comprimée sous forme de bloc dans un moule. Auparavant, on compactait la terre dans un moule à l'aide d'un petit pilon, ou en rabattant avec force un couvercle très lourd dans le moule. Aujourd'hui, on utilise des presses dont il existe une grande variété

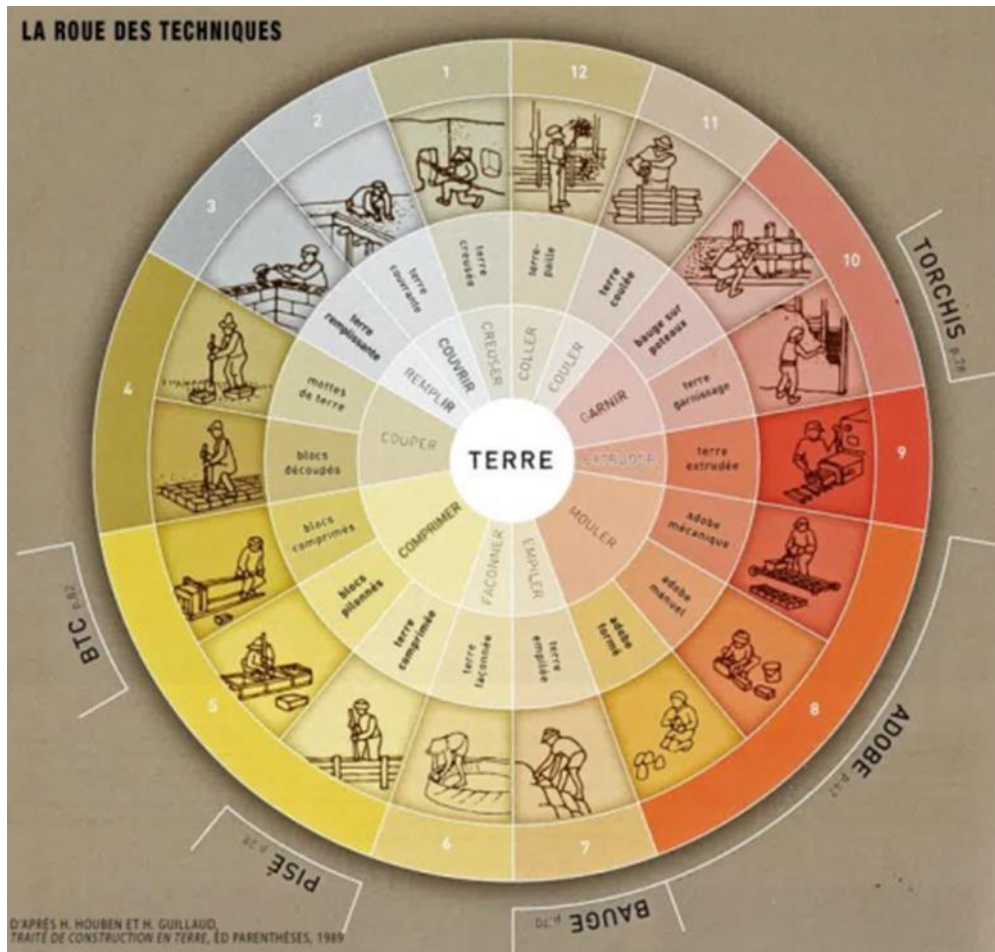


Figure I.3 : Schéma des différentes techniques de construction en terre établi par le groupe CRATERRE en 1986 [8]

I.5.1 Blocs de terre comprimée (BTC)

Les blocs de terre comprimée est une évolution moderne du bloc moulé d'adobe, ce sont de petits éléments de maçonneries de forme parallélépipédique. Cette technique est utilisée pour compresser la terre sèche en utilisant une presse pour augmenter les résistances mécaniques du bloc, ainsi que leur résistance aux dommages causés par l'eau [9].

Leurs dimensions varient selon les types de presses et les moules qui leur sont adaptés. C'est une technique récente : tout d'abord, les blocs étaient réalisés manuellement à l'aide de pilons en bois. La technique a ensuite évolué avec l'apparition de la première presse par François Cointeraux en XXVIIIe siècle. Le développement significatif de l'emploi des presses et de l'utilisation constructive et architecturale du bloc de terre comprimée n'a été finalement engagé qu'à partir de 1952 suite à l'invention de la petite presse « CINVA-RAM » imaginé par l'ingénieur Raul Ramirez. Les années 70 et 80 ont amené l'apparition d'une nouvelle vague de presses manuelles, mécaniques et motorisées et le développement aujourd'hui considérable d'un véritable marché de la production et de l'utilisation du bloc de terre comprimée [9].

I.5.2 Les utilisations des BTC

Les dimensions courantes des BTC sont adaptées à une grande souplesse d'emploi dans des solutions constructives variées, en maçonnerie porteuse ou renforcée et en maçonnerie de remplissage (tableau I.3). Les briques de terre comprimée permettent aussi la réalisation des structures particulières (arcs, coupes et voûtes), pour des constructions à usage d'habitation ou industriel [9].

Tableau I.3 Différents types d'usage pour les blocs de terre comprimée [9]

| 6 PRINCIPALES CATEGORIES D'USAGE | | |
|---|--|---------------|
| USAGE | | TYPE DE BLOCS |
| maçonnerie porteuse | | |
| maçonnerie de remplissage | | |
| applications particulières | <ul style="list-style-type: none"> - ventilation - câblages - corniches - décoration - arcs et voûtes | |
| maçonnerie renforcée | | |
| systèmes constructifs particuliers : imbrication | | |
| systèmes constructifs particuliers : empilement à sec autobloquants | | |

I.6 Diversités des produits de blocs de terre comprimée [10]

Aujourd'hui, le marché accueille une large gamme de produits de terre comprimée.

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

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

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

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

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

f. Blocs spéciaux : Les blocs sont fabriqués exceptionnellement pour une application spécifique.



Figure I-4 Différents produits de blocs de terre comprimés

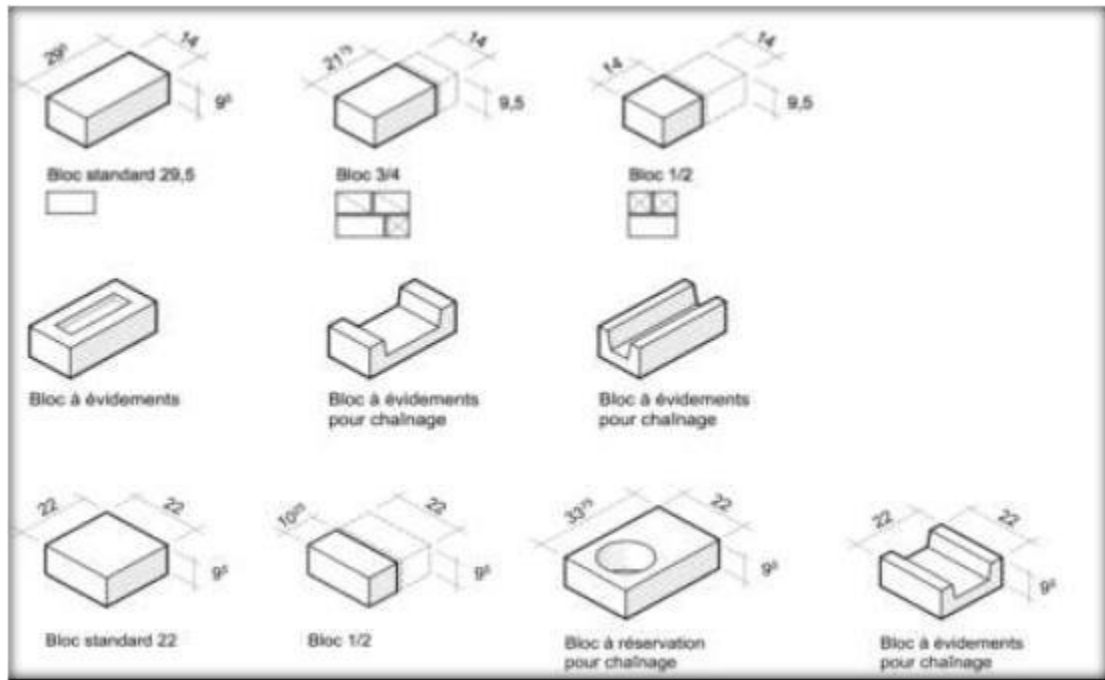


Figure I-5 Différents types produits de blocs de terre comprimés [10]

I.7 Exemples de constructions modernes en BTC

Aujourd'hui, il existe de nombreuses installations BTC dans le monde. Par exemple, la mosquée du Medey en Arabie saoudite a été achevée en sept semaines. Construite sans coffrage, cette mosquée a une superficie de 420 mètres carrés et est couverte d'un plafond voûté et d'un minaret de 18 mètres de haut [11].



Figure I.6 : Mosquée Al Medy, Ryad, Arabie Saoudite (Auroville) [12]

La figure I.7 représente le Centre de l'Architecture de Terre au Mali, le bâtiment à une structure simple, les murs et les voûtes en berceau sont faits en BTC et ne sont pas collés ou peints, ceux-ci sont très bien adaptés aux conditions régionales.



Figure I.7 : Centre de l'architecture de terre au Mali (Auroville) [12]

On peut citer encore les logements semi-collectifs R+1 à Sidi Bel Abbès en Algérie (figure I.8) et l'atelier électronique en Inde voir (figure I.9).



Figure I.8 : Logements collectifs R+1 à Sidi Bel Abbès (Algérie), (Guettala, 2003) [12]



Figure I.9 : Atelier électronique, Ecole, Auroville, Inde. [12]

I.8 Principaux avantages et inconvénients des constructions en terre crue [2]

Dans le tableau suivant, nous avons répertoriés les avantages et inconvénients de la construction en terre. Parmi les principaux avantages beaucoup de paramètres sont liés à l'environnement (abondance de la matière première, recyclable, bon isolant, économique...)

Tableau I.4 : Avantage et inconvénients des constructions en terre crue.

| Avantages | Inconvénients |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Disponible localement en quantité. • Nécessite peu d'énergie de fabrication. • Matériau à 100% recyclable. | <ul style="list-style-type: none"> • Principal point faible est la durée de mise en œuvre des techniques constructives. • Absence de règles professionnelles relatives à ces techniques |

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Grande inertie calorifique. • Très bonne régulation hygrométrique. • Bonne isolation phonique et thermique • Régulation de l'humidité relative de l'habitation Elle contribue à l'inertie thermique. • Elle est respirante, saine et sans aucune émanation nocive. • Contribue au confort acoustique et esthétique de l'habitat. • Prix imbattable. • Grande durabilité. • Peu d'entretien. • Excellente résistance au feu. • Résistance aux insectes xylophages. • Résistance aux champignons et à la moisissure. | <p>constructives.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Demande un savoir-faire particulier que ce soit dans sa mise en œuvre que dans le choix d'utilisation des techniques. • La composition de la terre peut varier très fortement. • Nécessite une certaine connaissance du terrain. • En fonction de sa composition, la terre crue est plus ou moins sensible aux intempéries. • Grande dispersion chimique entre les sols argileux (Dispersion dans l'eau et floculation : les particules fines restent en suspension) |
|---|--|

I.9 STABILISATION DE LA BTC [13]

Globalement, l'enveloppe extérieure doit pouvoir répondre aux sollicitations climatiques et environnementales. Pour ce faire, l'enveloppe, son architecture et tous ses constituants doivent :

- Réguler l'ambiance dans le bâtiment (l'eau sous toutes ses formes, l'air et le vent ; la chaleur ; le rayonnement solaire ; les variations de température),
- Contrôler l'environnement (les bruits aériens extérieurs, la lumière en général),
- Remplir éventuellement d'autres fonctions telles que : le contrôle des points sensibles tels que les accès ; la maîtrise des agressions diverses, notamment le feu, les effractions, la résistance aux charges (fonction structurale) ; la fonction visuelle et "d'aspect".

Afin d'éviter l'effet néfaste de l'eau accumulée et des variations climatiques, et en vue d'améliorer ses performances mécaniques, des techniques sont utilisées pour stabiliser la BTC, obtenant ainsi les Briques de Terre Comprimées et Stabilisées (BTCS) qui offrent une meilleure tenue aux sollicitations du bâtiment (Fig. I-10).

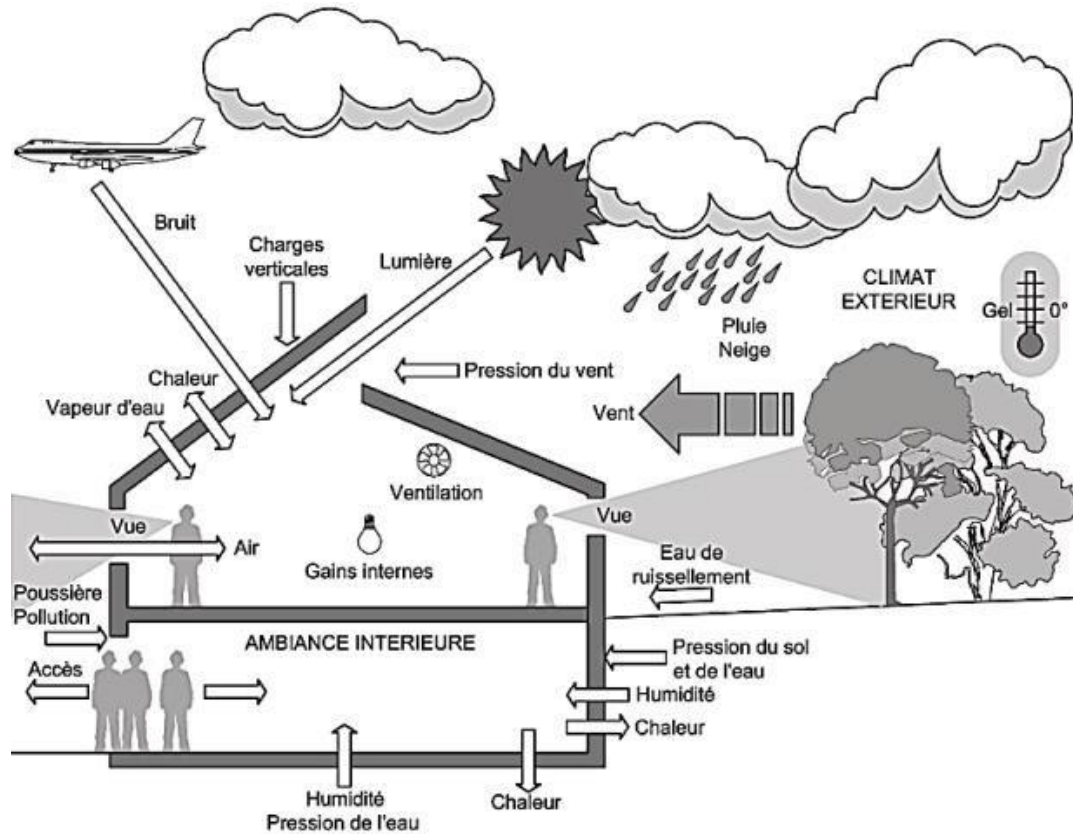


Figure I-10: Contraintes de l'enveloppe d'un bâtiment [13]

I.9.1 Critère de résistance

Les briques de terre ont déjà fait l'objet de plusieurs études. Bien que le critère de classification est la résistance à la compression sèche, la norme XP P 13-901 2011 [30] précise les tests de caractérisation de la BTC : compression simple, absorption capillaire et abrasion. Cette norme a notamment fixé une résistance minimale à la compression de 2 MPa pour l'utilisation de la BTC dans un logement comme remplissage. Le critère mécanique pour la classification des BTC est défini par plusieurs autres normes (Fig. I-11) prenant en compte les essais à environnement sec et à environnement humide. En général, il est recommandé une contrainte minimale de 2 MPa en essai sec et 1 MPa en essai humide. Il est à noter néanmoins que les conditions liées aux dimensions des éprouvettes d'essai, restent spécifiques à chaque norme.

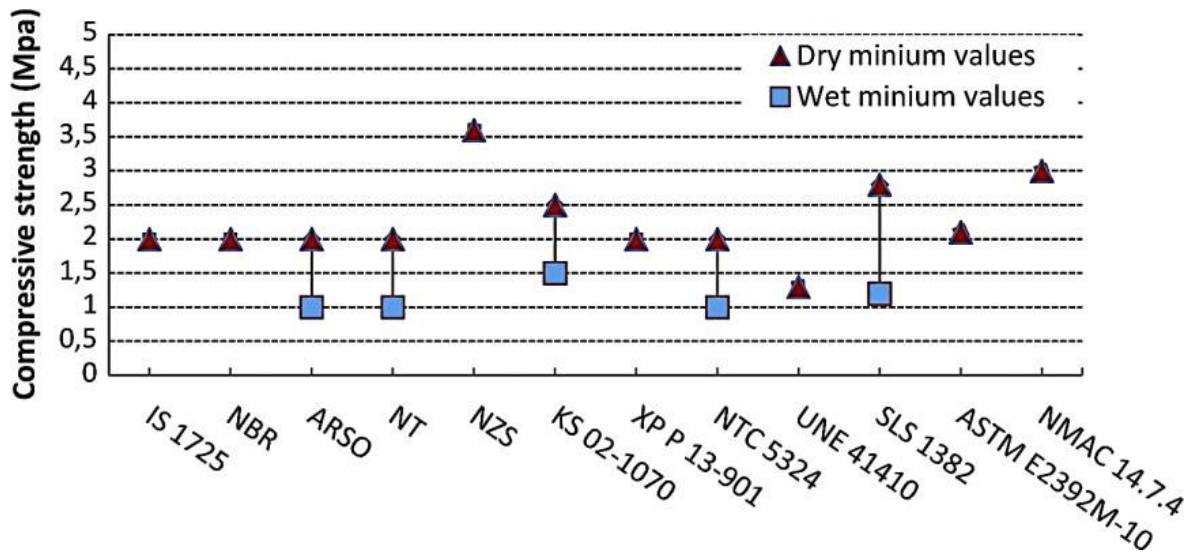


Figure I-11: Valeurs minimales de la résistance à la compression à l'état sec et à l'état humide de la BTC selon différentes normes : IS 1725 (Inde), NBR (Brésil), ARSO (Afrique), NT (Tunisie), NZS (Nouvelle-Zélande), KS 02-1070 (Kenya), XP P13- 901 (France), NTC 5324 (Colombie), UNE 41410 (Espagne), SLS 1382 (Sri Lanka), ASTM E2392M-10 (USA), NMAC 14.7.4 (Nouveau Mexique) [14]

Après essais, si pour une norme donnée, ce critère mécanique n'est pas satisfait, alors il est nécessaire d'effectuer la stabilisation de la terre.

I.9.2 Types de stabilisation

Stabiliser la terre signifie modifier les propriétés d'un système terre-eau-air pour obtenir des propriétés permanentes compatibles avec une application particulière [15]. La stabilisation agit sur la texture et la structure de la terre. Le choix du stabilisant dépend principalement de la nature de la terre.

Un stabilisant est généralement nécessaire pour améliorer les performances mécaniques et hygroscopiques de la BTC formulée [16]. Il existe 3 procédés de stabilisation (Tableau I.5) : mécanique, physique et chimique.

Tableau I.5: Techniques de stabilisation

| Techniques | Action |
|-------------------------|---|
| Stabilisation mécanique | Modification les propriétés de la terre en agissant sur sa structure et plus particulièrement sur sa porosité (diminution), densité (augmentation) et compressibilité (augmentation) [16]; amélioration de la résistance à l'érosion (du vent et de la pluie) |
| Stabilisation physique | Modification de la texture de la terre en mélangeant des grains de tailles différentes [17], ajout des fibres animales (poils de bétail), végétales (les |

| | |
|-------------------------------|---|
| | <p>pailles, les balles de céréales, le chanvre, les fibres de noix de coco, de palmier), synthétiques (acier, fibres de verre, cellophane) permet de donner une armature à la terre. Ce moyen de stabilisation améliore la résistance à la traction et au cisaillement, et réduit le retrait du matériau terre en créant un réseau de fibres [16].</p> |
| <p>Stabilisation chimique</p> | <p>Mélange de la terre à d'autres matériaux ou des produits chimiques [17]. Ajout de liant hydraulique (ciment et/ou chaux) et de résines permettant d'enrober les grains et stoppant leur mouvement dans la matrice de terre par réaction pouzzolanique (Eq. I.1), ajout aussi de géopolymère et biopolymère [17]</p> $2Ca_3O \cdot 4SiO_2 + 7H_2O \rightarrow 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O + 3Ca(OH) + 173.6 \text{ kJ} \text{ [I.1]}$ |

Bien que le choix du stabilisant soit fonction de sa disponibilité et aussi du coût financier, des critères de sélections (Fig. I.12) permettent de savoir que le ciment est plus indiqué pour des terres argilo-sableuses, tandis que la stabilisation à la chaux convient au mieux pour des terres argileuses [17].

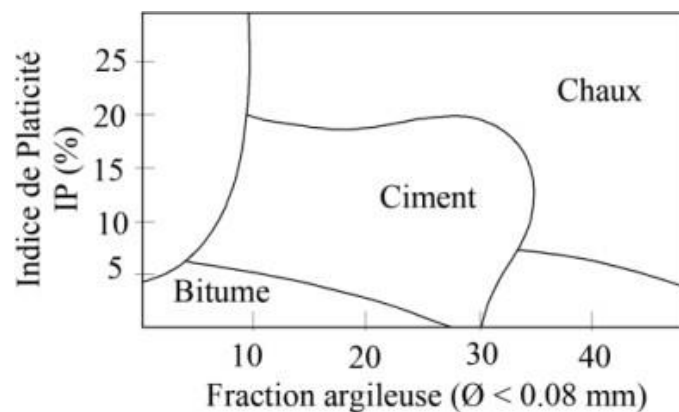


Figure I.12: Critère de sélection du stabilisant en fonction de la fraction argileuse (%) et de l'indice de plasticité [16]

I.10 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté la construction en terre crue d'une manière générale. Aussi, on a défini les différentes techniques de terre crue en mettant en avant les avantages et inconvénients de la construction en terre en général et la brique de terre compressé en particulier car c'est la technique la plus utilisée actuellement.

A travers cette petite recherche bibliographique, nous constatons que les constructions en terre sont d'une part écologiques respectant l'environnement et d'autre part économique.

CHAPITRE II :
LES DECHETS EN
PLASTIQUE

CHAPITRE II: LES DECHETS EN PLASTIQUE**II. 1 INTRODUCTION**

Le plastique et ses dérivés sont devenus extrêmement importants dans notre vie quotidienne, et la demande mondiale pour ces matériaux augmente d'année en année. [18]

Les plastiques font désormais partie intégrante de nos vies. Leur consommation annuelle ne cesse de croître. Leur faible densité, leur résistance, leur conception conviviale, leurs capacités de fabrication, leur longue durée de vie, leur légèreté et leur faible coût expliquent cette croissance phénoménale. Les plastiques sont utilisés dans l'emballage, l'automobile et l'industrie, les systèmes d'administration médicale, les implants artificiels, d'autres applications médicales, le dessalement de l'eau, la conservation des sols, la prévention des inondations, la conservation et la distribution des aliments, le logement, les supports de communication, les systèmes de sécurité, et bien d'autres applications. [19]

À l'heure actuelle, le monde est confronté à des défis économiques pour développer ces matériaux multi-usages qui touchent déjà de nombreux domaines d'application tels que la construction, le transport, l'emballage alimentaire, les articles de sport, le textile, etc. [20]

II. 2 HISTORIQUE DE MATIERE PLASTIQUE

On appelle polymère une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères (ou motifs monomères) reliées par des liaisons covalentes. La majorité des plastiques (99%) utilisée dans le monde est fabriquée à partir de pétrole et de gaz naturel. On estime la production mondiale de plastique à 300 millions de tonnes métriques, avec un taux de croissance annuel d'environ 4%. [21]

Une portion importante sert à la manufacture d'emballages, soit près de 40%. Les plastiques de consommation courante sont presque tous dérivés d'hydrocarbures, et on estime que 8% des ressources en pétrole fournissent le matériel et l'énergie nécessaire à la production actuelle de plastique. Mais l'invention des plastiques est bien antérieure, le Français Henri Braconnot ayant conçu dès 1833 du nitrate de cellulose qui fut produit industriellement à partir de 1868 aux États-Unis par les frères Hyatt pour fabriquer des boules de billard : le plastique commençait sa longue carrière de « simili », ici de l'ivoire. Mais il était produit à partir de cellulose, nous n'étions pas encore dans l'univers du synthétique. C'est de l'entre-deux-guerres que datent les principales inventions de l'univers des plastiques : après la cellophane en 1913, ce fut le polychlorure de vinyle en 1927, le polystyrène et le nylon en 1938, le polyéthylène en 1942. [21]

Aujourd'hui : Les déchets plastiques constituent plus de 7% de la masse totale des ordures ménagères ; mais, malheureusement, ils ne sont pas biodégradables. Ils sont incassables, imputrescibles et ne craignent ni le gel, ni l'assèchement. Ils sont donc une source durable de pollution. Ils rejettent lors de leur dégradation des produits toxiques pour notre environnement et notre santé. Il est à présent urgent de résoudre ce problème et de réduire notre consommation de plastique. [21]

II. 3 DEFINITION DE PLASTIQUE

Dire d'une matière qu'elle est plastique signifie qu'elle a le caractère de plasticité donc elle peut être moulée ou modelée à volonté dans des formes déterminées à l'aide d'une force extérieure. Ce sont des matériaux organiques constitués de macromolécules obtenues par polymérisation de monomère, elles sont produites par transformation des substances naturelles, ou par synthèse directe à partir de substances extraites d'un pétrole, du gaz naturel, de charbon ou d'autres matières minérales [1] (Voir Figure II.1).



Figure II.1 : produits plastiques [22]

II. 4 TYPES DE PLASTIQUES

Tous les types de plastique utilisés dans la vie quotidienne finissent par devenir déchets et ne peuvent pas être entièrement recyclés immédiatement, et des tonnes de plastique les déchets ont besoin de grandes superficies de terre pour le stockage. La réutilisation des déchets est importante de différentes perspectives ; il contribue au recyclage, réduit la production d'énergie et la pollution environnementale et les aides. En maintenant et en économisant des ressources naturelles qui ne peuvent être reconstituées. [23]

Les quantités des plastiques consommés annuellement partout dans le monde ont connu un développement phénoménal, ses caractéristiques particulièrement faciles à utiliser, flexibilité unique, facilité de fabrication ajoutée à son immense efficacité et longévité sont les raisons principales d'une telle croissance astronomique. Outre sa large utilisation dans les emballages, les applications industrielles, les matières plastiques sont également largement utilisées dans les systèmes de livraison médicaux, implants artificiels et des applications de soins sanitaires, préservation et distribution alimentaire, application dans le bâtiment, la communication et l'industrie électronique, etc. Le tableau I.1 détaille les utilisations des matières plastiques et les plastiques recyclés (voir tab II.1 et figure II.1). [24]

Tableau II .1 Applications et description des plastiques recyclés et vierges [8]

| Nom du plastique | Description | Certaines utilisations du plastique vierge | Certaines utilisations des plastiques fabriqués à partir des déchets plastiques |
|---|--|--|---|
| Polytéréphtalate d'éthylène (PET) | Plastique claire et dure, peut être utilisé pour en faire des fibres | Bouteilles pour boissons gazeuses et eaux minérales, rembourrage pour sacs de couchage et oreillers, fibres textiles | Bouteilles de boissons gazeuses, bouteilles de détergent (multi-couches), film transparent pour emballage, fibres de tapis, vestes laineuses |
| Polyéthylène Haute Densité (PEHD) | Plastique très fréquent, habituellement blanc ou coloré | Sacs à provisions, sacs de congélation ondulée, bouteilles de lait et de crème, bouteilles de shampooing et produits de nettoyage, caisses de lait | Bacs à compost, bouteilles de détergent, caisses mobiles, poubelles, tuyaux agricoles, palettes, caisses de recyclage aux bords des trottoirs |
| Polychlorure de vinyle non plastifié (UPVC) | Plastique dure et rigide peut être clair | Bouteille de jus, douilles d'ampoules, tubes et raccords de plomberie | Bouteilles de détergent, tuiles, tuyaux et raccords de plomberie |
| Polychlorure de vinyle plastifié | Plastique Souple, clair et élastique | Tuyaux d'arrosage, semelles de chaussures, sacs et tubes pour prélèvement de sang | Tuyaux flexibles d'intérieur, sols industriels |
| Polyéthylène à basse densité (PEBD) | Plastique mou et flexible | Couvercles des pots de crème glacée, sacs à ordures, poubelles, feuilles de plastique noir | Film pour l'industrie du bâtiment, les pépinières, l'industrie de l'emballage, sacs |
| Polypropylène (PP) | Plastique dur, mais souple –de nombreuses utilisations | Pots pour crème glacées, sacs de chips, palettes pour boissons, boîtes et emballage alimentaire | Bacs de compost, caisses aux bords des trottoirs de récupération pour le recyclage, usinage sans fins |
| Polystyrène (PS) | Plastique rigide et fragile, peut être clair et vitreux | Pots de Yaourt, couvercles en plastique, imitation de cristal « verrière » | Pinces à linge, cintres, accessoires de bureau, bobines, règles, boîtes de cassette vidéo / CD |
| Polystyrène Expandé (PSE) | Mousseux, léger, absorbant l'énergie, isolant thermique | Gobelets pour boissons chaudes, plats à emporter et récipients de nourritures, plateaux pour charcuteries, emballage | |



Figure II.2 : les numéros des types de plastique [25]

II.5 AVANTAGES DES MATIERES PLASTIQUES

La croissance de l'utilisation du plastique est due à ses propriétés bénéfiques, qui comprennent :

- ❖ Polyvalence extrême et sa capacité d'adaptation pour répondre aux besoins techniques spécifiques.

- ❖ UN poids plus léger que les matériaux concurrents réduisant ainsi la consommation de carburant pendant le transport.
- ❖ Bonne sécurité d'hygiène pour les emballages alimentaires.
- ❖ Longévité et durabilité.

- ❖ Résistance aux produits chimiques, à l'eau et à l'impact.

- ❖ Excellentes propriétés d'isolation thermique et électrique.
- ❖ Coût de production relativement bas.
- ❖ la capacité de combiner avec d'autres matériaux comme l'aluminium, du papier, adhésifs.
- ❖ Matériau de choix pour l'utilisation de tous les jours, style de vie humain et matière
- ❖ plastique son actuellement inséparables. [25]

II. 6 INCONVENIENTS DES MATIERES PLASTIQUES

La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement nocifs, qui sont ajoutés comme stabilisation ou colorants. Beaucoup d'entre eux n'ont pas subi une évaluation des risques environnementaux et leur impact sur la santé humaine et l'environnement, sont actuellement incertain, à titre d'exemple les phtalates, qui sont employés dans la fabrication de PVC.

- Réduction de la consommation énergétique.
- Réduction des déchets solides mis en décharges.
- Réduction des émissions du dioxyde de carbone (CO_2), l'oxyde d'azote (NO) et du dioxyde de soufre (SO_2). [25]

II. 7 RECYCLAGE DES PLASTIQUES

Nous devons envisager le recyclage du plastique dans tout programme de gestion des déchets plastiques. En plus de réduire les quantités de déchets plastiques dans les décharges, il peut également contribuer de manière significative à la préservation des matières premières pétrochimiques et aux économies d'énergie, ce qui indique qu'il existe certaines limites technologiques et économiques qui limitent actuellement le recyclage complet et efficace des déchets plastiques en produits utiles. [25]

II. 8 UTILISATION DES DECHETS PLASTIQUES RECYCLES

Les applications et l'utilisation des plastiques sont étendues. Certains articles en plastique tels que les emballages alimentaires deviennent des déchets juste après leurs achats. D'autres articles en plastique peuvent être réutilisés plusieurs fois. La réutilisation des plastiques est préférable au recyclage car elle consomme des quantités moindres d'énergie et des ressources en peuvent avoir plusieurs avantages :

- Réduction de la consommation énergétique.

- Réduction des déchets solides mis en décharges.
- Réduction des émissions du dioxyde de carbone (CO_2), l'oxyde d'azote (NO) et du dioxyde de soufre (SO_2). [25]

II.9. LE RECYCLAGE DU PLASTIQUE

II.9.1. Introduction

Dans le passé, des matériaux de base durables comme la pierre, le bronze et le fer, mais également les matières plus éphémères telles que le bois, le cuir, le lin ou la laine, ont joué un rôle important dans la société. Afin de répondre à la demande croissante de certaines de ces matières et d'améliorer par la même occasion leurs précieuses propriétés, la science et le secteur industriel des 19^{ème} et 20^{ème} siècles ont développé de nouveaux produits : les matières plastiques. [26]

Ces derniers ne proviennent plus de l'agriculture ou de l'élevage mais plutôt du charbon et du pétrole, et résultent des progrès spectaculaires de la chimie.

Les matières plastiques sont devenues en l'espace d'une vingtaine d'années une source indispensable de produits dans pratiquement tous les secteurs de consommation et présentent de nombreuses propriétés parfois inégalables. [26]

L'Union européenne est, après la Chine, le deuxième producteur mondial de plastique.

Ce qui a représenté 25 millions de tonnes de déchets en 2012. Sur ce total 38% sont mis en décharge, 36% incinérés et 26% recyclés. Et la France est loin d'être un élève modèle, avec 20% seulement de recyclage quand la Norvège, premier de la classe, atteint les 37%.

La France, qui s'est fixé un objectif de diminution de 50% des volumes mis en décharge, d'ici à 2020, pourrait introduire, comme d'autres pays européens, une interdiction progressive de mise à la benne de certains déchets valorisables, comme les plastiques (Voir Figure II.2). [27]



Figure II.3 : Différent type de plastique. [28]

II.9.3. Qu'est –ce qu'un polymère?

Le polymère constitue une classe de matériaux chimiques composés de macromolécules. Un polymère peut conduire à deux polymères avec des propriétés mécaniques différentes :

- Le polyéthylène (PE), Le polypropylène (PP), Le polystyrène (PS) et le polychlorure de vinyle (PVC).

II.9.4. Qu'est –ce que le plastique?

Depuis ces vingt dernières années les déchets en matière plastique représentent une part importante des déchets solides municipaux.

Les matières plastiques sont des matériaux obtenus par polymérisation de composés éthylène, propylène, styrène). Elles ont désormais envahi notre quotidien, elles ont le symbole de la société de consommation.

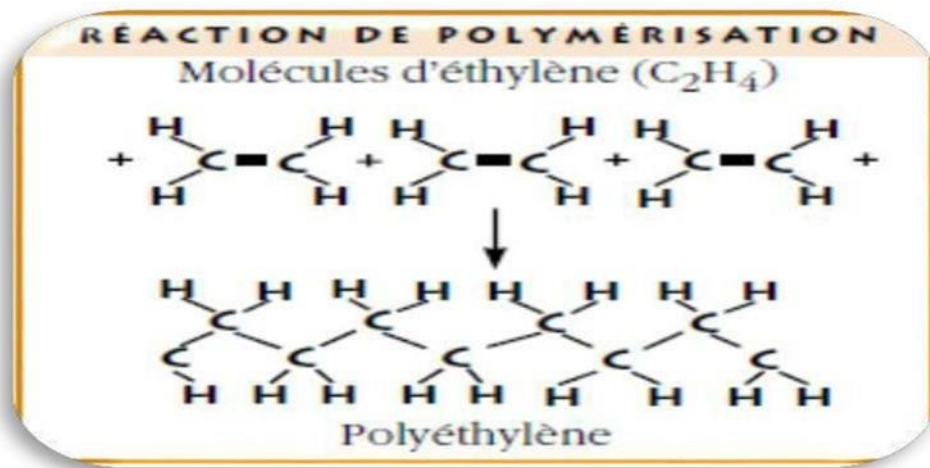


Figure II.4 : Polymérisation de PET [20]

II .10 DEFINITION DE PET

Le **PET** est l'abréviation de **polyéthylène téréphtalate**, que l'on trouve également avec l'abréviation PETE et est un plastique. Chimiquement, c'est le polymère obtenu par la polycondensation de l'acide téréphtalique et de l'éthylène glycol. Les molécules sont composées exclusivement d'éléments hydrogène, carbone et oxygène. Le PET se présente sous de nombreuses formes : pièces moulées par injections, tubes, films d'emballage, fibres, tissus, etc. et est utilisé pour la fabrication de bouteilles en plastique. [29] (Voir Figure II.6)



Figure II .5 : flacon en PET [29]

II. 10. 1 Fabrication de PET [30]

Le PET peut être produit par deux voies principales de synthèse dans l'industrie.

- **L'estérification** de l'acide téréphtalique et de l'éthylène glycol.
- **La transestérification** du diméthyle téréphtalate et de l'éthylène glycol. (Voir Figure II.6).



Figure II .6 : la composition chimique de PET [30]

II.10.2 Propriétés générales du PET

Le PET est devenu un des polymères les plus industrialisés grâce à ces bonnes propriétés électrique, chimique et physique qui en ont fait un polymère fortement utilisé par les industries du film, des fibres et de l'emballage.

Le PET est un matériau rigide, avec une bonne stabilité dimensionnelle. Il présente de bonnes propriétés barrière et une bonne résistance chimique. Sa cristallinité varie entre amorphe et relativement cristallin. Il peut être très transparent et incolore, mais les parties épaisses sont le plus souvent opaques et blanchâtres. [31]

❖ Principales Propriétés

Le PET possède des caractéristiques spécifiques qui sont:

- Résistance au bris
- Étanchéité à l'oxygène et au dioxyde de carbone
- Stabilité chimique
- Flexibilité
- Transparence
- Résistance thermique
- Légèreté
- Durabilité
- Température de fusion (°C) 245
- Température de transition vitreuse (°C) 61-77 [29]

II. 10. 3 Domaines d'application de PET

Le PET a été trouvé dans plusieurs domaines qui dépendent fortement des propriétés moléculaires du PET pour son **application**. Ainsi, le choix du grade approprié pour une application particulière est déterminé en mesurant la viscosité intrinsèque, dont la valeur est directement liée à la masse moléculaire du matériau et à partir de ces domaines on trouve :

- Textiles: fils textiles, fibres...etc.
- Films: emballage supports de film photos, etc.
- Corps creux: bouteilles pour boisson gazeuses, etc.
- Automobiles: ventilateur, alternateur, poignées de pièces pour circuit d'allumage, etc.
- Application médicales: tricot tubulaire pour prothèse vasculaires, prothèse du larynx et de l'œsophage ...etc.
- Technologies de pointe: supports magnétiques, des outils informatique tels que disquettes bandes vidéo et audio, bandes pour ordinateurs ...etc.

La principale application hors fibres du PET est la fabrication de bouteilles pour les boissons et l'emballage des produits alimentaires. Sa première application sous forme de bouteilles date de 1984 et depuis cette année, il est devenu le matériau de choix dans le domaine du flaconnage et de l'emballage. [29]

II. 11 LES DECHETS PLASTIQUES DANS LE MONDE

Le monde est au bord d'une crise des déchets et nos actions dans les prochaines années détermineront l'avenir de notre planète [32]. Les plastiques sont devenus le visage public de cette crise. La pression réglementaire et la pression des consommateurs sont plus fortes que jamais [34]. Au cours des 50 dernières années, la production internationale de plastique a augmenté. Produits en plastique sont devenus une partie importante de notre style de vie moderne [33].

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'environnement Programme (PNUE), le monde produit plus de 400 Mt de plastiques chaque année, montrer la production mondiale de déchets plastiques entre 1950 et 2015[34].

Le plastique a imprégné chaque partie de la vie, et la consommation mondiale annuelle de matières plastiques augmente régulièrement. Cette augmentation de la consommation résulte de coût approprié du plastique, résistance, faible densité, capacités de fabrication, conception conviviale et large utilisation de l'emballage (Voir Figure II.7). [32]

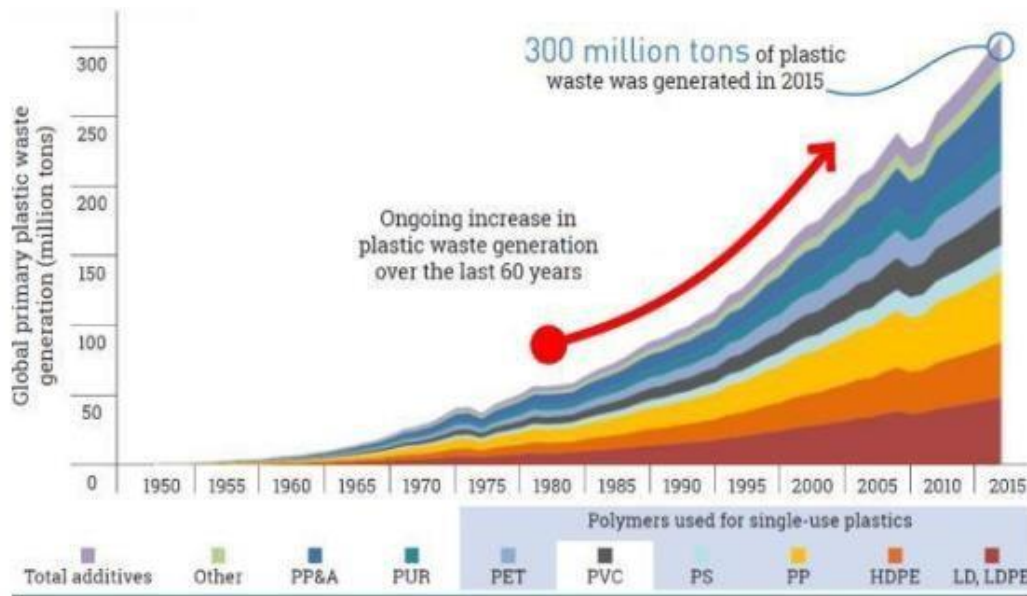


Figure II.7 : Production mondiale de déchets de plastique primaire, 1950-2015. [32]

Au niveau mondial, la pollution par le plastique est estimée à 75,4 % de macroplastiques, 11,4% de méso plastiques, 10,6 % et 2,6 % dans les deux tailles de micro plastiques. Des articles de presse parlent de la présence de microplastiques dans le miel, la bière, les eaux de robinet ou les eaux minérales.

Ils montrent que ces particules discrètes peuvent contaminer notre alimentation. Moins visibles que les gros débris qui flottent à la surface des océans, ils soulèvent plusieurs inquiétudes dues à leur petite taille. Ils sont alors ingérés par les organismes maritimes, favorisant ainsi la contamination de la chaîne alimentaire. [35]

II. 11. 1 L'impact des déchets plastiques sur l'environnement



Figure II.8 : L'effet des déchets plastique rejeté dans la nature [36]

Les plastiques sont devenus une partie inséparable et intégrale de notre vie, la quantité de plastiques consommés annuellement s'est développée considérablement. La légèreté, la résistance, la conception facile, la durabilité, et son coût bas sont les facteurs derrière une telle croissance phénoménale de leurs utilisations. Selon un rapport de l'agence américaine de l'environnement de l'année 2003, 80% des déchets plastiques sont envoyés à l'enfouissement,

8% sont incinérés et seulement 7% sont recyclés. La production mondiale de plastique en 2012 aurait atteint 288 millions de tonnes.

Plus de la moitié de cette quantité a été utilisée pour des produits de consommation jetables, ce qui a contribué à la production de déchets liés aux matières plastiques. La plupart des types de plastiques ne sont pas biodégradables et sont chimiquement non réactifs dans l'environnement. Certains types de plastiques tels que le polychlorure de vinyle (PVC) et le polycarbonate (PC) peuvent libérer lentement des composés toxiques dans l'air Zhou et al. [37], Pamong et al. [38], Badia et al. [39], ont révélé que des milliers d'années sont nécessaires pour la biodégradation des plastiques. Cela entraîne l'accumulation de déchets plastiques et provoque des graves problèmes environnementaux dus à leur mise en décharge et leur enfouissement illégal ou leur incinération. Par conséquent, les déchets plastiques sont considérés comme un problème environnemental sérieux universellement. La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement nocifs, qui sont ajoutés comme stabilisateurs ou colorants. Beaucoup d'entre eux n'ont pas subi une évaluation des risques environnementaux et leur impact sur la santé humaine et l'environnement, sont actuellement incertain, à titre d'exemple les phtalates, qui sont employés dans la fabrication de PVC.

Avec de plus en plus de produits plastiques, en particulier les emballages, étant débarrassé peu de temps après leur achat, les espaces d'enfouissement requis pour les déchets plastiques sont une préoccupation croissante. [32]

Le plus grand composant de ces déchets plastiques est le polyéthylène à basse densité à environ 23% (PEBD), suivi de 17,3% du polyéthylène à haute densité (PEHD), 18,5% de polypropylène (PP), 12,3% du polystyrène (PS), 10,7% du polychlorure de vinyle (PVC), 8,5% polyéthylène téréphtalate (PET) et 9,7% d'autres types de déchets. Actuellement, les produits polymères sont largement utilisés dans presque tous les domaines, en particulier dans les domaines de l'emballage, de l'automobile, de l'électricité, de la construction, de l'électronique, l'agriculture et d'autres industries. Subramanian [40] a signalé que les plastiques représentent un faible taux de la quantité des déchets mais qui est très significative. Dans notre pays, la production de déchets ménagers est estimée à 9 millions de tonnes par an. Ce chiffre est en constante augmentation. Les estimations chiffrées font état de 0,8kg/habitant/jour et ont atteint 1 kg/habitant/jour pour l'agglomération de grandes villes. En Algérie et partout dans le monde, l'utilisation de produits emballés a induit une augmentation des déchets de matières plastiques et une difficulté de leur enfouissement ou retrait. [41]

Les bouteilles en PET sont produites à partir de dérivés du pétrole. Au niveau mondial, la fabrication de bouteilles en PET requiert chaque année 2,7 millions de tonnes de ce polymère. La nécessité de recycler cette matière est devenue une priorité à cause du coût élevé de la matière première.

Par définition la valorisation est une opération conduisant à la réintroduction d'un déchet dans un circuit de production d'énergie, d'une nouvelle matière, d'un nouvel objet, mais

également, de toute opération visant la réutilisation d'un produit fini considéré comme un déchet, dans une application pouvant être différente de celle d'origine (voir tab II.2). [30].

Tableau II .2: Les quantités des principaux déchets recyclables [19]

| | Alger 2003 | Oran 2001 | Médéa 98 | Bechar 99 |
|---------------------|------------|-----------|----------|-----------|
| Matières organiques | 75 | 82,4 | 70 | 56,53 |
| Papier- carton | 13 | 12,50 | 11,65 | 13,2 |
| Plastiques | 10 | 8,30 | 13,50 | 12,8 |
| Métaux | 1,30 | 2,60 | 1,35 | 4,86 |
| Verres | 0,80 | 1,30 | 0,50 | 2,66 |

Particulièrement dans les villes du nord, les matières organiques représentent plus de 70 % du volume des déchets en général. Dans les villes du Sud où les habitudes alimentaires sont différentes, on a constaté qu'une partie de ces déchets est destinée à l'alimentation du bétail, des chèvres, c'est le cas de Bechar.

Les plastiques et les métaux ne représentent que de faibles proportions dans les déchets urbains mais leur taux est en augmentation continue.

II.12 RECYCLAGE ET VALORISATION DES DECHETS DANS LE DOMAINE DU GENIE CIVIL

Les déchets plastiques peuvent être incorporés dans des matrices de ciment. En fait, des études ont montré qu'il est possible d'utiliser les déchets plastiques dans le béton comme liant pour produire un matériau ainsi que de les utiliser sous forme de fibres pour résister à la résistance à la traction. Les bouteilles peuvent également être utilisées dans la construction de maisons et utilisées comme briques pour la construction.

Il est clair que cette approche est de développer et de soutenir l'utilisation de ces déchets industriels dans divers ouvrages de génie civil qui, d'une part, contribueront à la préservation de l'environnement, et d'autre part, réduiront les coûts induits par l'utilisation de matériaux de plus en plus rares, notamment dans certaines régions du pays.

Les principales applications du PET issu de ce recyclage et concernant les bouteilles post consommation sont essentiellement la fabrication de fibres courtes destinées au rembourrage de vêtements ou à l'isolation thermique [42].

II.13 CONCLUSION

Une croissance significative de la consommation de produits en plastique est observée dans le monde entier ces dernières années ; cela a contribué à augmenter la production de déchets plastiques. La valorisation de ces derniers reste ouverte, à d'autres utilisations et possibilités, permettant ainsi d'élargir la gamme des matériaux de construction, de réduire les déchets à la source et de développer l'utilisation des matériaux recyclés .

Dans le chapitre III, des travaux de recherches seront exposés concernant la valorisation de fibres plastiques issues du recyclage de déchets plastiques en PET dans les bétons les mortiers et les briques en terre comprimé. Les résultats de ces travaux seront exploités dans le chapitre IV afin de nous aider à interprétés les résultats de notre étude.

**CHAPITRE III :
SYNTHESE DES
TRAVAUX SUR LES
BTC**

CHAPITRE III : SYNTHESE DES TRAVAUX SUR LES BTC

III.1 INTRODUCTION

La technique de la brique de terre comprimée (BTC) offre aux constructions une certaine durabilité par rapport à la technique d'adobe. Aujourd'hui plusieurs études s'intéressent à étudier les propriétés mécaniques et durabilité du matériau terre. Afin d'atteindre ces performances, le matériau terre a été traité par des différentes additives. De ce fait, la compréhension des phénomènes liés aux processus physico-chimiques des réactions entre ces additives avec les composantes de la terre permettent de mettre en évidence le rôle de chacun de ces additives.

III.2 LA RESISTANCE A LA COMPRESSION

- Pour le renforcement du sol, les fibres de polypropylène sont les plus utilisées dans les essais de laboratoire [42] Actuellement, les fibres de polypropylène sont utilisés pour améliorer les propriétés de résistance du sol, afin de réduire le retrait et contourner les problèmes de dégradation chimique et biologique [43]. Puppala et Musenda ont montré à travers leur étude, que l'utilisation des fibres de polypropylène comme renfort améliore la résistance à la compression non confinée du sol et réduit le retrait et le gonflement des argiles gonflantes [44]. Les résultats des essais de [42].ont indiqué que l'incorporation des fibres pour le renforcement des sols avec ou sans ciment, a causé une augmentation de la résistance à la compression non confinée (figure 1.46), la résistance au cisaillement et la déformation axiale de rupture, une diminution de la rigidité et la perte de résistance post-pic.

Les auteurs ont constaté aussi un changement du mauvais comportement du sol stabilisé au ciment en un autre plus ductile [45].

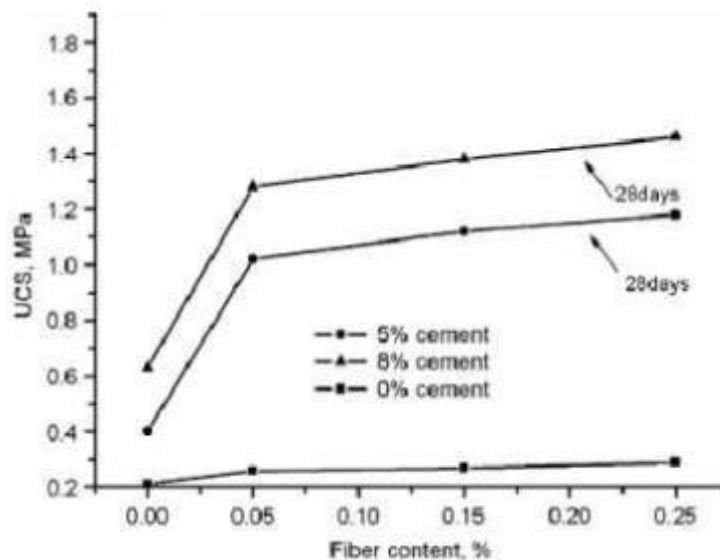


Figure III. 1: La relation entre la résistance à la compression non confinée et la teneur en fibres [42]

- TAALLAH.B a travaillé sur la stabilisation des blocs de terre comprimée (BTC) à base des fibres de surface de palmier dattier, à travers les résultats de la variation de la résistance à la compression sèche en fonction de la teneur en chaux qui sont présentés sur la figure III.2. D'après cette figure, l'augmentation de la teneur en chaux de 8 % à 10 % a conduit à une augmentation de la résistance de l'ordre de 5 %, alors qu'avec une augmentation de la teneur en chaux de 10 % à 12 % a observé une réduction de la résistance de 8,15 %.

La variation de la résistance est peu importante, cela est dû à la durée de cure qui est aussi peu importante (28 jours) et à la température qui n'est pas élevée, qui sont les conditions d'une réaction pouzzolanique lente de la chaux. Ceci à été confirmé par Le Roux [46]. qui a prouvé Il a montré que la stabilisation à la chaux (avec des dosages de 3 à 7 % et 90 jours de cure) permet la formation de nouveaux minéraux par réaction pouzzolanique : des silicates et aluminates calciques hydratés sont formés à partir des argiles. Cette réaction pouzzolanique est une réaction lente qui demande, à température ordinaire, plusieurs mois avant que ses résultats puissent être appréciés.

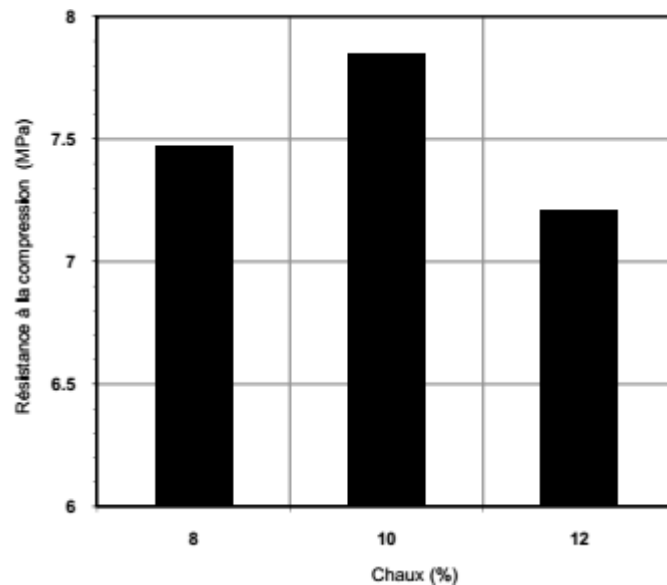


Figure III.2.: Résistance à la compression sèche du BTC à base de chaux sans fibres curé 28 jours au laboratoire en fonction de la teneur en chaux (pour une contrainte de compactage de 10 MPa). [45]

- D'après, les résultats d'IZEMMOUREN.O a remarqué qu'il y a une légère augmentation de la résistance à la compression sèche en fonction de la teneur en chaux pour le Sol d'El Alia : SOLA et le sol d'El kantara : SOLK dans la région de Biskra. En effet, à l'âge de 28 jours et à la température ambiante, il y a formation de la portlandite et formation en très faibles quantités, des phases de type silicates et aluminates de calcium hydratés qui assurent les liens entre les particules et renforcent les performances mécaniques des BAX et BKX. Ces constats ont été observés par les

auteurs[47] [48] Le traitement des BTC à un dosage en chaux plus élevé que le point de fixation de la chaux augmente la résistance à la compression sèche pour les BAX et BKX

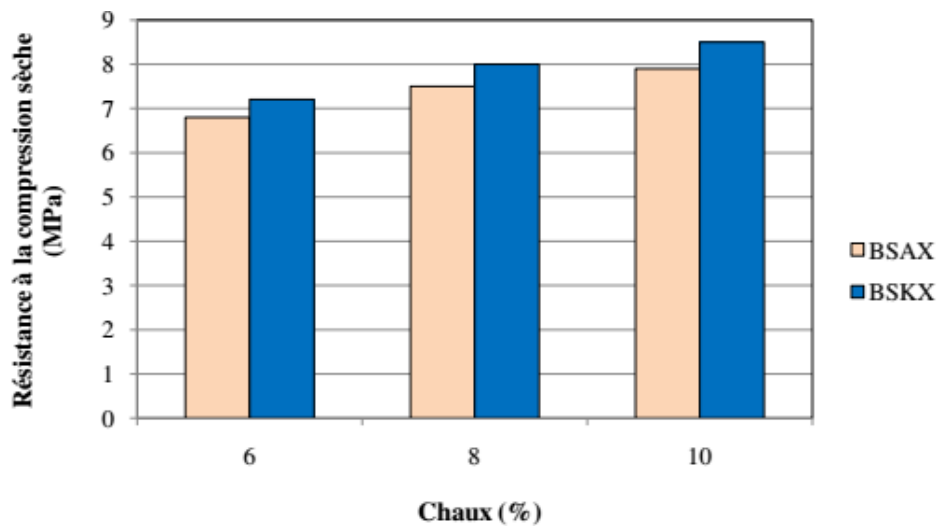


Figure III.3: Résistance à la compression sèche du BTC à base de chaux sans ajout en fonction du dosage en chaux [49]

- Selon les résultats de la variation de la résistance à la compression sèche du BCPP en fonction de la teneur en fibres de polypropylène (figure III.4). TAALLAH Bachir a Remarque que la valeur de RCS s'étale entre 12 MPa et 14.4 MPa. Il à constater que la résistance du BCPP est meilleure que celle du BCSF, contrairement à ce qu'on a obtenu pour le cas des fibres de palmier dattier. Comparativement au BCSF, l'augmentation de RCS est 10 %, 16.6 %, 18.3 % et 20 % pour une teneur en fibres successivement de : 0.05 %, 0.1 %, 0.15 % et 0.2 %.

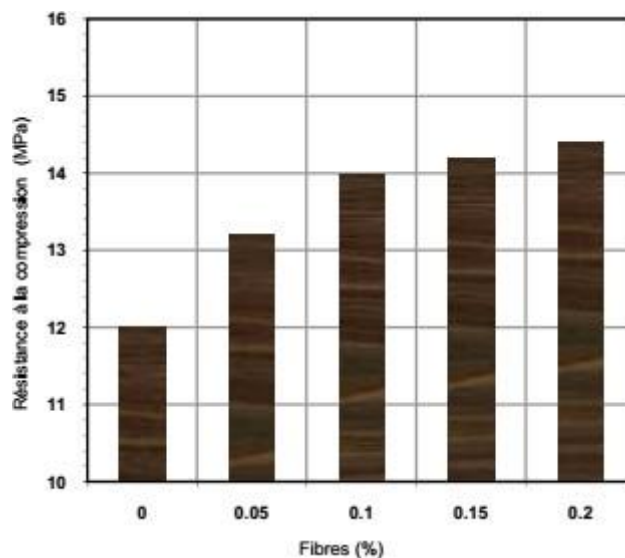


Figure III.4: Résistance à la compression sèche du BCPP à base de 8 % en ciment en fonction de la teneur en fibres de

polypropylène (pour une contrainte de compactage de 10 MPa) TAALLAH Bachir

- Olivier et El Gharbi ont effectué une étude sur les blocs de terre stabilisés avec des fibres de sisal, à travers cette étude, ils ont affirmé que le point faible est l'interface entre mortier de terre et les blocs de terre. Les auteurs ont tenté d'améliorer cette interface en renforçant bien les blocs de terre comprimés par des fibres de sisal comme le mortier de terre. Ils ont aussi évalué l'avantage de l'utilisation du sisal [50]

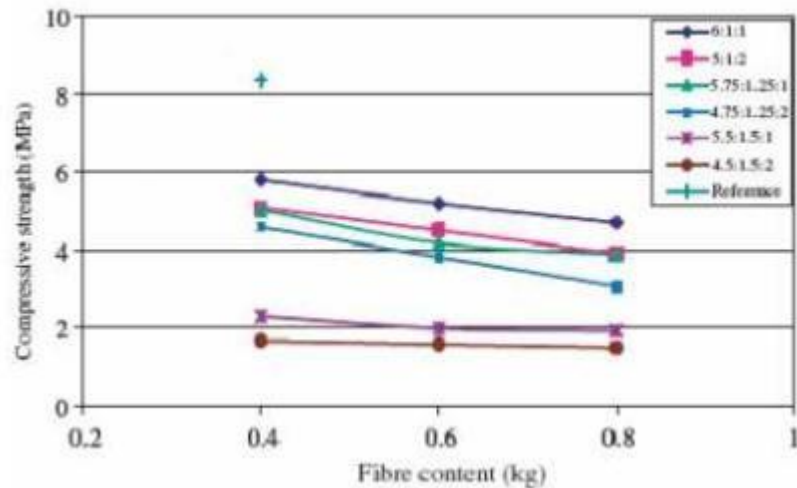


Figure III.5: L'influence de la teneur en fibres sur la résistance à la compression [50]

III.3 LA RESISTANCE A LA TRACTION

- Bouhicha et al. ont employé dans leur recherche différents teneurs et longueurs en paille d'orge hachée pour renforcer quatre types différents de sols sans stabilisants chimiques, dans le but d'étudier la possibilité d'améliorer les propriétés des sols. Les résultats des essais ont prouvé les effets positifs de l'ajout de paille à améliorer la résistance à la flexion (figure III.6) [52]

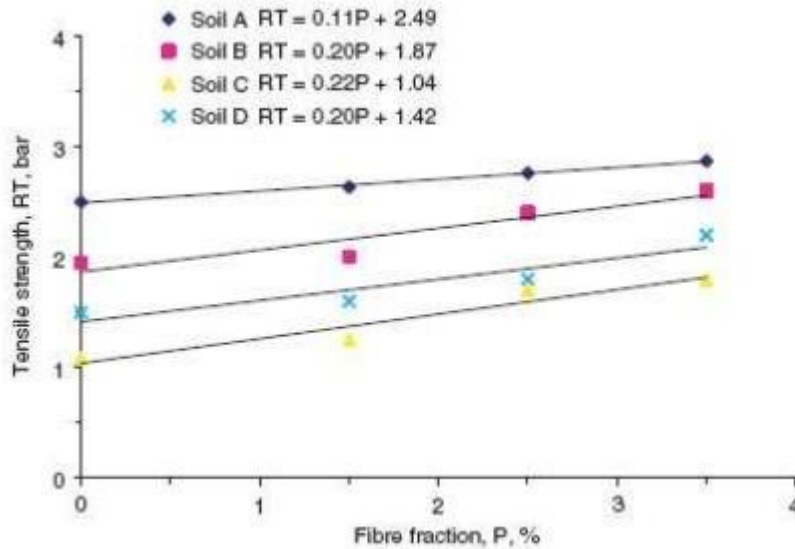


Figure III.6.: Variation de la résistance à la flexion en fonction de la teneur en paille d’orge hachée [52]

- D’après les résultats de TAALLAH Bachir a constaté que la RTS augmente significativement avec l’augmentation de la teneur en fibres de polypropylène. Une augmentation de 25 %, 33.7 %, 33.1 % et 38.7 % pour une teneur en fibres successivement de : 0.05 %, 0.1 %, 0.15 % et 0.2 % a été enregistré. La résistance à la traction maximale du BCPP est de 2.22 MPa pour le cas de 0.2 % en fibres, alors que celle du BTC sans fibres est la plus faible avec 1.6 MPa.

Pour la justification de cette augmentation de la RTS, on peut se fier aux mêmes arguments cités dans le cas de la résistance à la compression. Ces résultats confirment ceux de Maher et al. [53]. et Jadhao et al. [54].obtenus sur la résistance à la flexion.

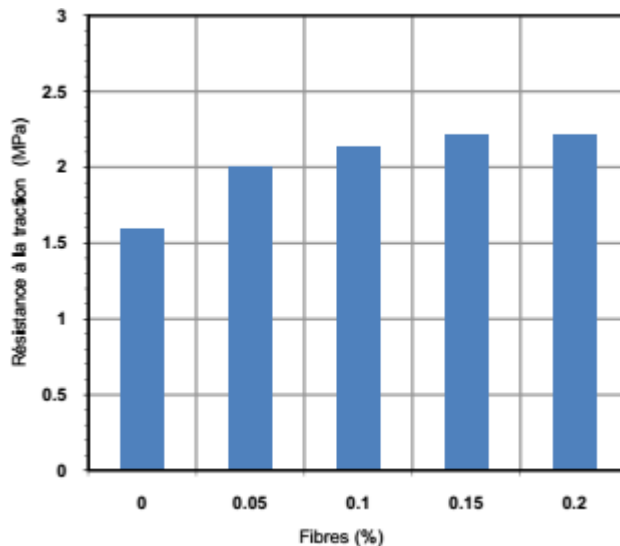


Figure III.7: Résistance à la traction sèche du BCPP à base de 8 % en ciment en fonction de la teneur en fibres de polypropylène (pour une contrainte de compactage de 10 MPa) TAALLAH Bachir [46]

- Il faut signaler qu'il y a des études réalisées sur les blocs de terre comprimée renforcés par des fibres synthétiques et artificielles, à titre d'exemple, l'étude menée par Eko et al [55]. Dans cette étude, ils ont utilisé un sol latéritique stabilisé par 6% en ciment et renforcé par trois teneurs en fibres : 1.7% ,2% et 2.7% et trois longueurs : 20 mm, 35 mm et 50 mm. Ils ont remarqué que la résistance à la traction augmente avec l'augmentation de la teneur en fibres jusqu'à un pic, ou on observe une diminution de la résistance avec l'augmentation de la teneur en fibres (figure III.8).

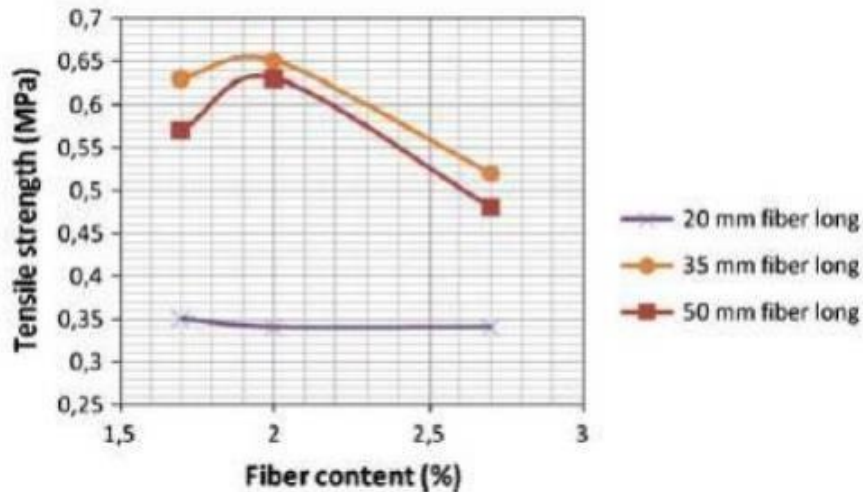


Figure III.8: Effet de la teneur en fibres d'acier sur la résistance à la traction pour des blocs de terre comprimée stabilisée à 6% de ciment [55]

- Dans son étude, Namango a constaté, que dans certaines limites, il y a une augmentation considérable de la résistance à la flexion à l'état sec avec l'augmentation de fibres de sisal (figure III.9), de poudre de manioc et de teneur en ciment, et qu'en dehors de ces valeurs limites, la présence des fibres de sisal a un effet défavorable sur la résistance du bloc de terre comprimée [56]. De son côté, Minke a constaté, que l'ajout de fibres tels que poils d'animaux ou humains, coco, sisal, agave, le bambou et la paille peut aider à réduire le retrait, car la teneur en argile est réduite et une certaine quantité d'eau est absorbée par les pores des fibres [57]. Dans le même contexte, Villamizar et al. ont montré que l'utilisation des pelures de manioc a augmenté considérablement la résistance à sec des mélanges, ce qui est utile pour réduire les chutes causées par les problèmes de la manipulation du BTC [58].

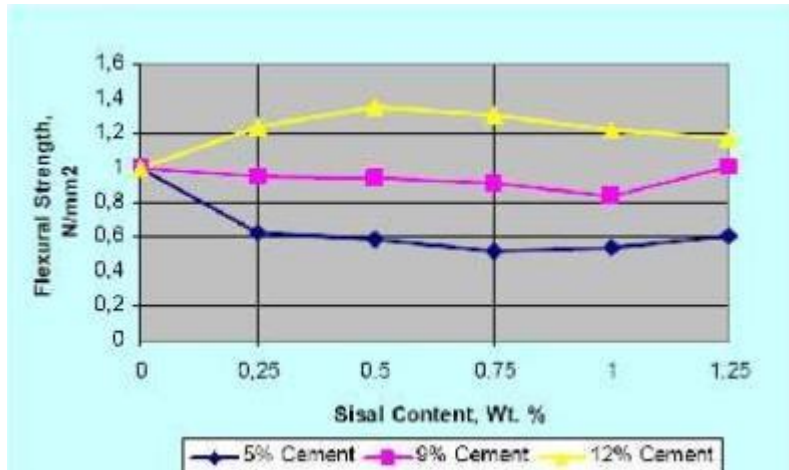


Figure III.9: Variation de la résistance à la flexion en fonction de la teneur en fibres de sisal [56].

III.4 L'ABSORPTION D'EAU

L'un des intérêts d'ajouter une teneur de chaux dans un sol argileux est d'augmenter sa durabilité vis-à-vis de l'eau. [59]. ont effectué des recherches pour améliorer le comportement des blocs de terre comprimée vis-à-vis de l'eau. Les résultats ont montré l'influence de différents paramètres tels que la contrainte de compactage et la teneur en chaux sur la durabilité des blocs : la perte de poids et l'absorption. Ils ont également observé que l'augmentation de la contrainte de compactage de 5 à 20 MPa et la teneur en chaux de 5 à 12% ont amélioré la perte de poids et l'absorption.

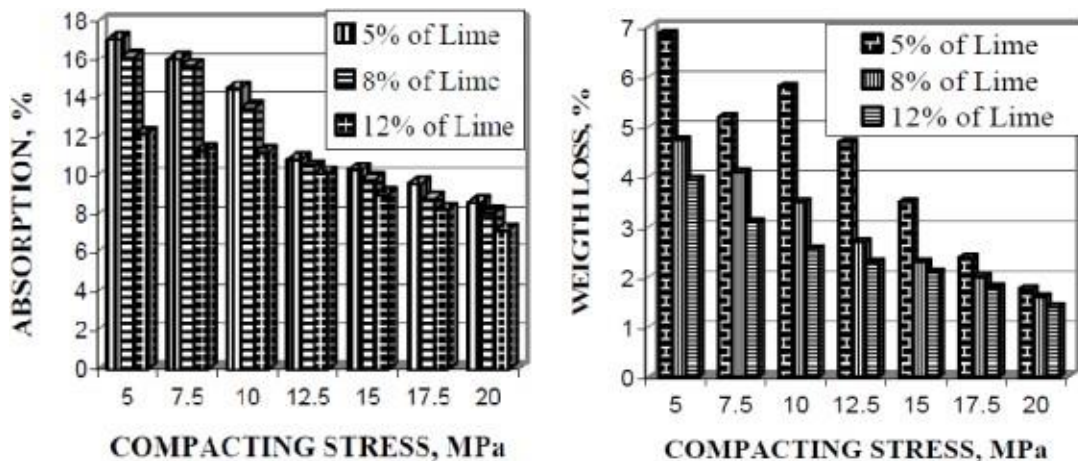


Figure III.10 : Influence de la contrainte de compactage et la teneur en chaux sur l'absorption et sur la perte en poids (essai séchage/mouillage) [59].

D'après l'étude d'IZEMMOUREN Ouarda [référence] a montré clairement qu'il y avait une diminution générale de l'absorption d'eau avec l'augmentation de la proportion de pouzzolane naturelle et teneur en chaux. Ainsi à constater la diminution de l'absorption d'eau d'environ (33, 43 et 50 %) avec une variation de la pouzzolane

naturelle de 0 à 30 % pour 6 %, 8 % et 10 % de chaux, respectivement. Au-delà de 30% de NP, l'augmentation de la teneur en NP ne résulte pas d'une réduction remarquable de l'absorption.

La valeur de l'absorption d'eau reste d'abord autour de 13,5 % pour 6 % de chaux qui est inférieure à la valeur maximale recommandée de 15 % (IS 1725 1982). Les valeurs de l'absorption totale pour les briques stabilisées par la chaux et la pouzzolane naturelle étaient considérablement inférieures aux valeurs recommandées. L'absorption minimale d'eau est d'environ 5,6 % pour la BTC stabilisée par 10 % en chaux et 30 % en pouzzolane naturelle.

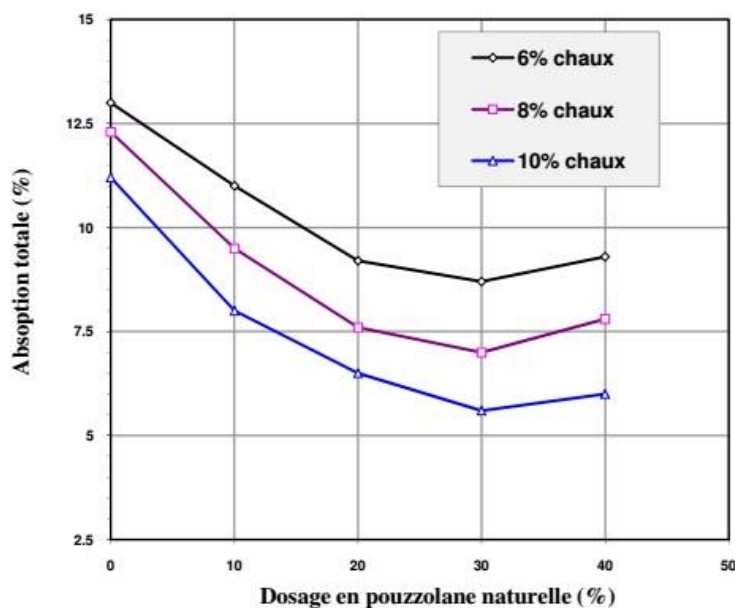


Figure III.11 : Influence du dosage en chaux sur l'absorption totale [49].

L'absorption totale de l'eau est une propriété importante qu'on peut utiliser pour le contrôle du volume total des vides dans les BTC [60].

- UK: University of Warwick, school of Engineering, September 2001. L'absorption totale est obtenue après l'immersion de la brique dans un bac à eau pendant 24 heures. La figure III.12 représente la variation de l'absorption totale en fonction du dosage d'ajouts aux différents âges. IZEMMOUREN.O [50] à constater que l'absorption totale diminue avec l'augmentation du dosage des ajouts pour différents temps de cure. En termes de pourcentage, cette évolution est de 15.28 %, 32.25 % et 38.31 % dans la gamme de 0 % à 30 % de NP, PV et LG respectivement, à l'âge de 28 jours.

Il faut mentionner que toutes les valeurs d'absorption totale pour l'ensemble des BTC testés sont inférieures à la valeur maximale de 15 % recommandée par (IS 1725 1982)

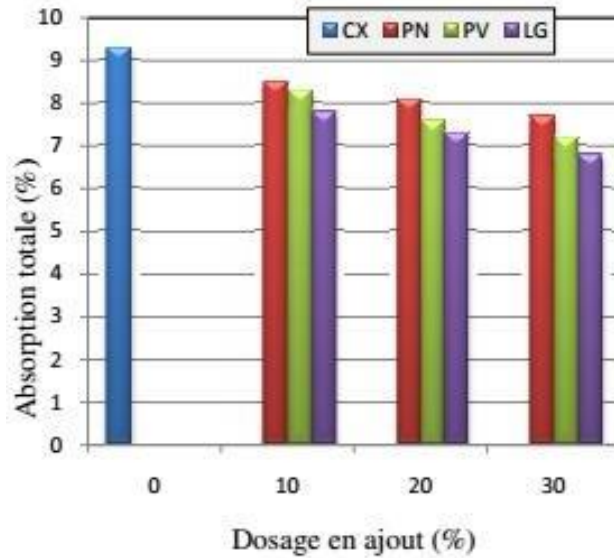


Figure III.12: Influence du dosage en ajout sur l'absorption totale à 28 jours [49].

- Les propriétés des échantillons de BTC par rapport à l'eau ont été évaluées à l'aide d'un procédé appelé "test de sensibilité à l'eau". Dans cette méthode, les échantillons de BTC ont été placés dans un récipient contenant 300 ml d'eau distillée et laissés dans les conditions ambiantes du laboratoire pendant une durée de 24 heures. La réaction de ces échantillons au contact de l'eau a été observée visuellement, et trois situations distinctes ont été identifiées [61].

- L'échantillon est resté intact et est entouré d'eau claire : cela indique que le matériau était non-dispersif et cohésif.
- L'échantillon s'est désintégré, mais l'eau environnante est demeurée claire : cela suggère que le matériau était non-dispersif mais dépourvu de cohésion.
- L'échantillon s'est désintégré et l'eau est devenue trouble : cela signifie que le matériau est devenu dispersif et manque de cohésion [62].



Figure III.13 : l'essai de tenue à l'eau [63].

- L'étude de **MESSIS MERIEM** [11] a montré que les aspects de différents blocs après avoir été immergés pendant 24 heures. Le comportement des échantillons de BTC lorsqu'ils sont immergés a été évalué par observation visuelle. Ces résultats fournissent une première évaluation de la résistance des BTC à l'eau.

Les blocs non stabilisés (BT) se sont désintégrés après seulement 30 minutes d'immersion dans l'eau. En revanche, les blocs stabilisés grâce à l'ajout de divers additifs, ont mieux résisté à l'immersion. Néanmoins, il est intéressant de noter que pour tous les BTC stabilisés, l'eau dans laquelle ils ont été immergés a pris une teinte plus claire à mesure que le pourcentage d'additifs augmentait. C'est l'illustration d'une meilleure cohésion et une réduction de la porosité dans les échantillons.

III.5 CONCLUSION

Ce chapitre a été consacré aux études antérieures réalisées sur des moyens d'améliorer les caractéristiques mécaniques et la résistance à l'eau des blocs de terre comprimée (BTC) en incorporant divers additifs, notamment le kaolin, la pouzzolane naturelle, ainsi que des différents types de fibres, naturelles et synthétiques (polypropylène).

**PROBLEMATIQUE
ET OBJECTIF DE
TRAVAIL**

PROBLEMATIQUE

La gestion des déchets plastiques constitue l'un des défis environnementaux majeurs de notre époque. Chaque année, des millions de tonnes de plastiques sont produits, et une grande partie de ces déchets finissent dans les océans, les décharges ou dans la nature, contribuant à la pollution et aux effets néfastes sur les écosystèmes. Parallèlement, le secteur de la construction, bien qu'essentiel, est responsable d'une part importante des émissions de CO₂ et de la consommation de ressources naturelles, notamment à travers l'utilisation de matériaux comme le ciment et la brique traditionnelle.

Face à ces enjeux, la recherche de solutions innovantes pour recycler les déchets plastiques tout en améliorant la durabilité des matériaux de construction devient essentielle. L'une des pistes explorées consiste à intégrer les déchets plastiques dans la fabrication de briques en terre. Cependant, cette approche soulève plusieurs questions relatives aux performances mécaniques et thermiques des briques ainsi constituées, ainsi qu'à leur durabilité à long terme.

La problématique centrale de cette recherche est donc la suivante : Dans quelle mesure l'incorporation de déchets plastiques dans la fabrication de briques en terre modifie-t-elle leurs propriétés physico-mécaniques, et quelles sont les implications de cette modification pour leur utilisation dans la construction durable ?

Pour répondre à cette question, il est nécessaire d'étudier plusieurs aspects, notamment :

1. L'impact de l'ajout de plastiques sur la résistance à la compression, la durabilité et la stabilité des briques face aux cycles climatiques extrêmes.
2. La possibilité d'optimiser les formulations de briques en terre et plastique afin de maximiser les bénéfices environnementaux, tout en garantissant la sécurité et la performance du matériau.

OBJECTIF DE TRAVAIL

L'objectif principal de cette étude est d'examiner les effets de l'incorporation de déchets plastiques dans la fabrication de briques en terre, en analysant ses impacts sur leurs propriétés physico-mécaniques. Plus spécifiquement, cette recherche vise à :

1. Évaluer l'impact de l'ajout de déchets plastiques sur la résistance mécanique des briques en terre,
2. Analyser les propriétés physiques des briques en terre renforcées de plastique
3. Optimiser les formulations de briques en terre avec plastique recyclé

Toutefois, la production de déchets plastiques est considérable : chaque année, plus de 280 millions de tonnes de produits en plastique utilisés pendant une courte durée sont jetés.

Dans l'ensemble, 46 % des déchets plastiques sont mis en décharge, tandis que 22 % sont mal gérés et deviennent des déchets sauvages.

**CHAPITRE IV :
MATERIAUX ET
ESSAIS REALISES**

CHAPITRE IV : MATERIAUX ET ESSAIS REALISES.

IV.1 INTRODUCTION

Le choix des matériaux utilisés dans la confection des briques de terre comprimée exige la connaissance de leurs diverses caractéristiques physiques, chimiques, minéralogiques, et mécaniques qui peuvent prédire la qualité des BTC en fonction de leur utilisation.

Dans ce chapitre nous présentons en premier lieu, les caractéristiques des matériaux utilisés. En deuxième lieu nous décrivons les différentes méthodes expérimentales utilisées pour les expériences des résistances mécaniques et l'absorption des BTC.

IV.2 MATERIAUX UTILISE

IV.2.1 Les sédiments de dragage

a- origines des sédiments (argile)

Les sédiments de dragage provenant du barrage de Chorfa II, situé dans la partie ouest de l'Algérie, plus précisément dans la commune de Chorfa de la wilaya de Mascara. Il est positionné à environ 37 km à l'ouest de la ville principale de la wilaya et à 4 km au sud de Chorfa, le chef-lieu de la commune. L'accès principal au barrage est facilité par la route nationale RN97, accessible depuis le nord via la daïra de SIG ou depuis l' via la commune de Sidi Hamadouche. (Figure IV.1), ont subi un processus de séchage, concassage, broyage et tamisage, selon Achour [63].

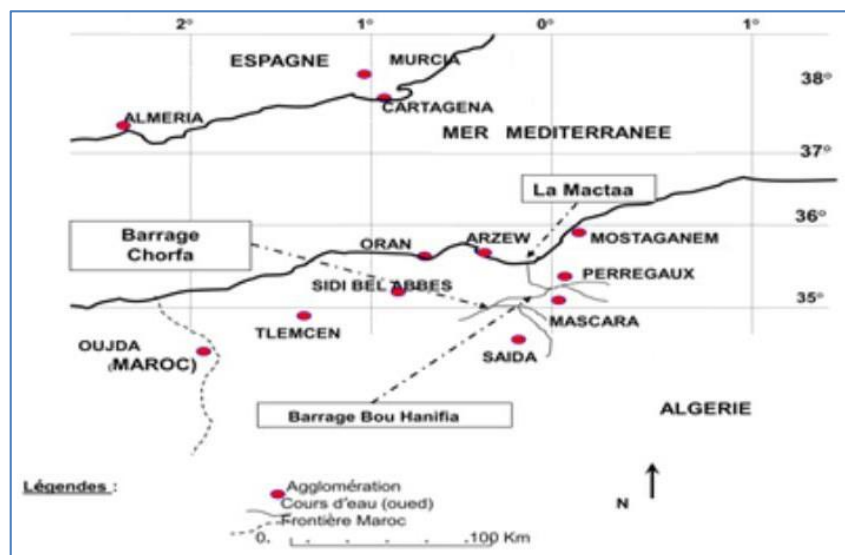


Figure IV.1: Plan de situation du barrage Chorfa II [64]

Un procédé de traitement des sédiments a été mis en œuvre pour préparer l'échantillon de sédiments de dragage, en vue de leur utilisation partielle en substitution à la chaux. Cette méthode permet d'évaluer les propriétés physicochimiques et les performances mécaniques des sédiments. Ce même procédé a été appliqué dans plusieurs études pour traiter les

sédiments de dragage, comme l'indiquent les travaux [63] [65] [66] [67] [68] [69], Ces processus sont illustrés dans la figure IV.2.



Figure IV. 2: Les étapes de traitement des sédiments de dragage [71].

1. **Séchage** : L'échantillon de vase est d'abord placé dans une étuve à 105 °C pour éliminer l'humidité, ce qui facilite ensuite son broyage et son tamisage.
2. **Concassage** : Après séchage, la vase est concassée afin de rendre le broyage plus aisé.
3. **Broyage** : La vase concassée est ensuite finement broyée.
4. **Tamisage** : La vase broyée est passée à travers un tamis de 80 µm en voie sèche, et seuls les éléments qui traversent le tamis sont conservés pour les étapes suivantes.

La composition chimique de ciment, est donnée dans le Tableau IV.1

Tableau IV.1: Compositions chimiques de ciment, en utilisant XRF (% en poids) [57]

| composition des oxydes | Sédiments BRUTS |
|--------------------------------|-----------------|
| SiO ₂ | 40.04 |
| Al ₂ O ₃ | 10.58 |
| Fe ₂ O ₃ | 4.40 |
| CAO | 20.11 |
| MGO | 1.93 |
| SO ₃ | 0.30 |

| | |
|-------------------|-------|
| K ₂ O | 0.92 |
| Na ₂ O | 0.25 |
| CL | 0.06 |
| PF | 23.08 |
| CaCO ₃ | / |

b- Caractéristiques physiques des sédiments

La vase étudiée a été soumise à une analyse physicochimique pour en déterminer les propriétés.

c- Masses volumiques (apparente et absolue)

La masse volumique apparente de la vase calcinée a été mesurée à l'aide d'un récipient d'un litre, rempli sans compaction. La masse volumique absolue a été évaluée conformément à la norme NF P 18-555, en utilisant un pycnomètre et du benzène pour les mesures comme indiqué le tableau IV.2.

Tableau IV.2: Tableau des masses volumiques des sédiments du barrage de Chorfa II.

| Paramètres | Sédiments bruts |
|-------------------------------------|-----------------|
| Densité absolue g/cm ³ | 2.564 |
| Densité apparente g/cm ³ | 0.428 |

d- Morphologie des sédiments de dragage

Les analyses réalisées avec un microscope électronique à balayage révèlent que les sédiments sont formés d'agglomérats de particules fines, dues à leur grande finesse.

Ces particules affichent une forme globalement sphérique avec des tailles hétérogènes. (Figure IV.3).

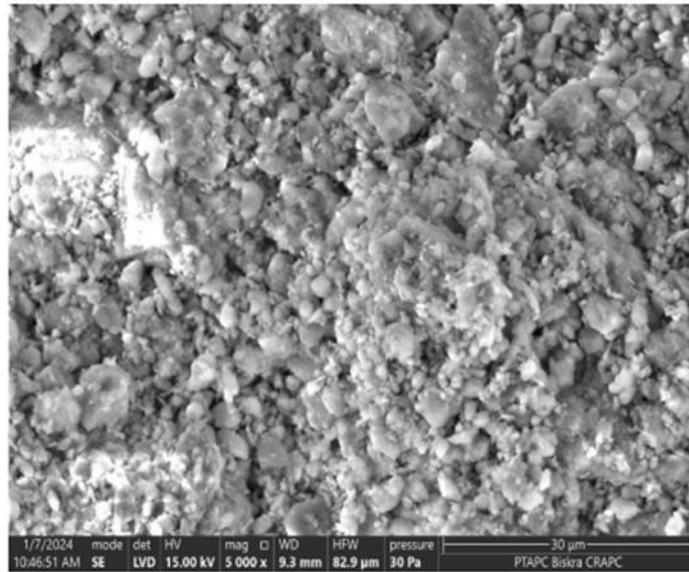


Figure IV.3 : Observations MEB des sédiments de dragage brut. [71]

e) Limite Aterberg

Les limites d'Aterberg des sédiments étudiés sont déterminées selon la procédure de la norme NF P 94 051. Les résultats des essais sont présentés sur le tableau IV.3

Tableau IV.3 : Limites d Aterberg des sédiments

| <i>Limites d'Aterberg, (%)</i> | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Limite de liquidité WL | Limite de plasticité Wp | Indice de plasticité IP |
| 35.42 | 27.19 | 8.23 |

Comme pour la granularité, des études statistiques ont été faites en vue de définir les limites d'Atterberg idéales pour les briques de terre comprimée. On remarque que les sédiments se situent dans la zone limite de liquidité ($25 < WL < 50$) et dans la zone limite de l'indice de plasticité ($2.5 < IP < 29$) selon la norme XP P 13-901. Le graphique (figure 2.2) permet d'affirmer que les deux sols présentent une plasticité tout à fait adaptée à la production des BTC.

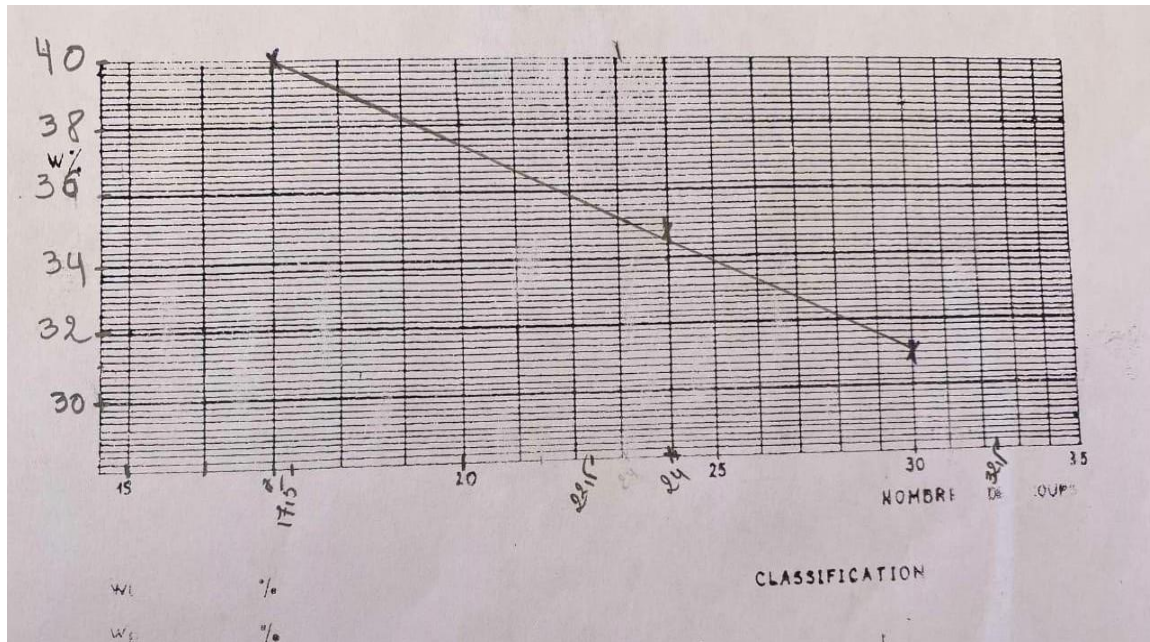


Figure IV.4 : Diagramme de plasticité (la norme XP P 13-901)

f) Analyse physico-chimique Essai au bleu de méthylène (ANF P 18-592)

L’essai au bleu de méthylène permet d’évaluer la quantité et l’activité de la fraction argileuse contenue dans le sol. L’essai a donc pour objet de mesurer la capacité d’adsorption en bleu de méthylène, qui est la quantité de ce colorant nécessaire pour recouvrir d’une couche mono moléculaire les surfaces externes et internes de toutes les particules argileuses présentes dans 100 g de sol. On appelle cette quantité, la valeur de bleu, notée VB et exprimée en grammes de bleu par 100 g de sol. La valeur VB est utilisée aussi pour la classification des sols. Les résultats obtenus sont présentés dans LE Tableau IV.4: Valeur du bleu de méthylène

Tableau IV.4 : Valeur du bleu de méthylène

| Echantillon | Valeur de bleu de méthylène VB | Classification des sols |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Sédiments de dragage | 2 | Sol limoneux |

IV.2.2 La chaux

La chaux utilisée dans cette étude est de la chaux vive (CaO) produite dans la ville de Hassasna, Unité Erco, wilaya de Saida. Ses principales caractéristiques sont présentées dans le tableau IV.5 [50]

Tableau IV.5 : Analyse chimique et caractéristiques physiques de la chaux vive. [50]

| Analyse chimique | | Caractéristiques physiques | | |
|--------------------------------|------------|----------------------------|--------------------|---------|
| Oxydes | % massique | Désignation | Unité | Valeurs |
| CaO | 82.77 | Masse volumique absolue | Kg/m ³ | 2230 |
| Al ₂ O ₃ | 10.63 | | | |
| Fe ₂ O ₃ | 3.27 | | | |
| SiO ₂ | 1.35 | | | |
| MgO | 1.88 | | | |
| SO ₃ | 0.11 | Masse volumique apparente | Kg/m ³ | 1490 |
| K ₂ O | 0.15 | | | |
| Na ₂ O | 0.06 | | | |
| | | Surface spécifique | m ² /Kg | 300 |

IV.2.3 PET:

Le polymère utilisé dans cette étude, est le poly-téréphtalate d'éthylène connus sous le nom commercial PET. Il s'agit d'un déchet ramené de L'institution Public de la Wilaya pour la Gestion des Centres de décharge Technique de Mostaganem qui supervise actuellement la gestion de 5 centres de décharge technique pour déchets ménagers et assimilés (Figure IV.1) [72]

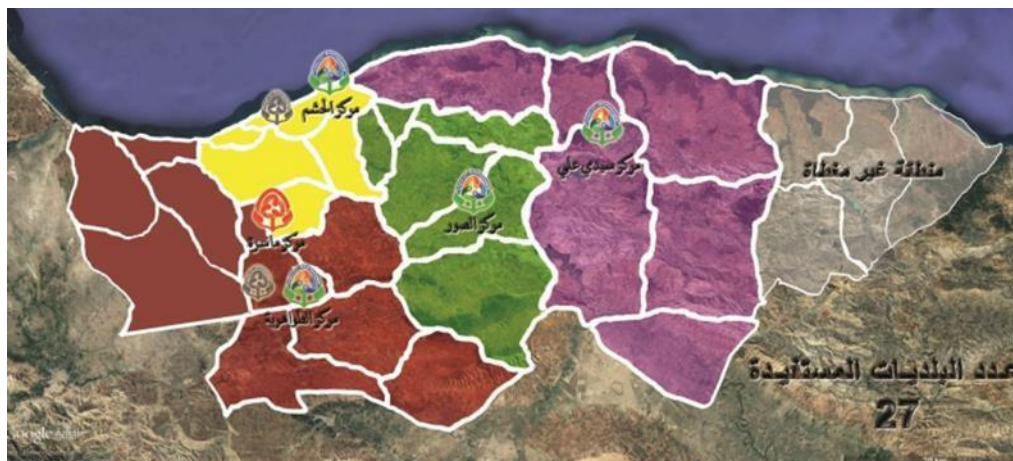


Figure IV.5 : Emplacements des décharges techniques à Mostaganem [72]

Ce PET est obtenu par le broyage fin des bouteilles en plastique. Il possède une température de fusion d'environ 255 °C. La figure (IV.6) représente les déchets PET utilisé dans notre recherche avec une masse volumique apparentes (2.564) et masse volumique absolu(0.428)



FigureIV.6 : PET utilisée

Avant son utilisation dans la confection des briques, le poly téréphtalate d'éthylène broyé a été soumis à des essais de laboratoire à savoir : les masses volumiques apparente et absolu.

TableauIV.6 : Propriétés physico-chimique, mécaniques et thermique du PET masse [72]

| | |
|---|--|
| Résistance à la traction | 55 - 75 MPa |
| Allongement à la rupture | 50 - 150 %. |
| Dureté | 85 - 95 Shore D |
| Résistance aux chocs | Bonne résistance aux chocs, même à basse température. |
| Transparence | Excellent, ce qui le rend idéal pour les emballages alimentaires et les boissons |
| Rigidité | Haute rigidité, offrant une bonne stabilité structurelle |
| Température de transition vitreuse (Tg) | 70 - 80 °C |
| Température de fusion (Tm) | 250 - 260 °C |
| Résistance à la chaleur | Résiste à des températures modérées, mais peut se déformer à des températures supérieures à 70 °C |
| Résistance aux produits Chimiques | Résistant à la plupart des huiles, graisses et alcools, mais sensible aux solvants forts et aux bases concentrées. |
| | Bonne barrière a l'oxygène et au dioxyde de |

| | |
|------------------------|--|
| Barrière aux gaz | carbone (CO ₂), ce qui le rend idéal pour les boissons gazeuses. |
| Imperméabilité à L'eau | Excellente, ce qui préserve la qualité des produits liquides. |

IV.2.4 L'eau

L'eau utilisée dans les mélanges est une eau qui contient peu de sulfate et ayant une température de 20 ± 1 ° C. Sa qualité est conforme aux exigences de la norme NFP 18-404.

IV.3. LES ESSAIS REALISES

Dans le cadre de cette étude, plusieurs essais expérimentaux ont été réalisés afin de caractériser les propriétés physiques et mécaniques des matériaux utilisés. Ces essais ont été menés au sein de laboratoires spécialisés, dotés des équipements nécessaires pour garantir la fiabilité des résultats.

Les essais ont été effectués dans les laboratoires suivants :

- 1 Laboratoire pédagogique de matériaux de construction, Département de Génie Civil de Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.
- 2 Laboratoire Construction, Transport et Protection de l'Environnement (LCTPE), Faculté des Sciences, Université de Mostaganem.

IV.3.1 Masse volumique

C'est la variation du masse par rapport de volume, et en a deux types

A) Masse volumique apparente (NA EN 1097)

C'est le rapport entre la masse d'un corps et l'unité de volume apparent (y'compris les vides), elle est exprimée en (g/cm³), dont le principe consiste à remplir un récipient avec le matériau voulu sans compacter puis l'araser et le peser.

A-a-Matériels utilisés

- Une balance avec une précision de 0.01 g.
- Un récipient avec un volume de 5 litres.
- Règle à araser.

A-b -Mode opératoire

- Peser le récipient vide et taré.
- Prendre le matériau (argile) dans les deux mains formant un entonnoir.
- Placer les deux mains à hauteur d'environ 10 cm au-dessous de récipient.

- Verser le matériau au centre de récipient jusque qu'il soit rempli et débord au tour.
- Araser avec la règle sans compacter le matériau.
- Peser le contenu et noter la masse M.
- Répéter l'opération 3 fois afin de valider l'essai.

La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante : $\rho_{app} = \frac{M}{V}$

M : Masse du matériau «g» V : Volume du récipient « cm^3 ».



Figure IV.7 : Mesure de la masse volumique apparente de l'argile.

B) Masse volumique absolue (NF EN 1097)

C'est le rapport entre la masse et l'unité de volume de la matière (g/cm^3), qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains.

B-a -Matériels utilisé

- Un pycnomètre.
- Une balance.

B-b-Mode opératoire

- Remplir d'eau le pycnomètre jusqu'au col
- Placer le bouchon et remplir le pycnomètre jusqu'au trait repère
- Peser l'ensemble M1 Pycnomètre +bouchon+ eau
- Peser une masse M2 de argile
- Vider une partie de l'eau du pycnomètre
- Introduire la masse M2 de argile dans le pycnomètre
- Chasser les impuretés pour assurer l'étanchéité du bouchon
- Placer le bouchon, introduire l'eau jusqu'au trait repère
- Peser l'ensemble M3 pycnomètre + bouchon + eau + matériau.

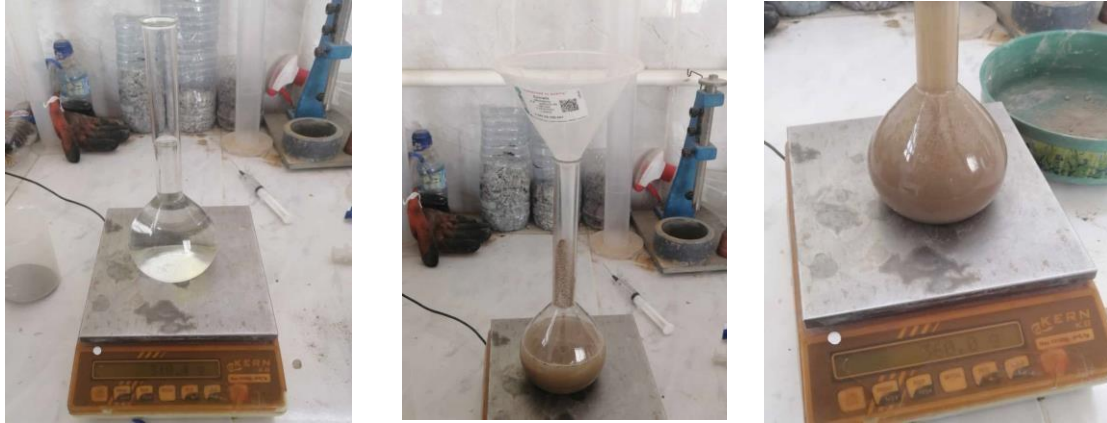


Figure IV.8 : Mesure de la masse volumique absolue de l'argile

IV.3.2 Essai Limites D'ATTERBERG (NF P 94-051):

A-But de l'essai :

Déterminer la limite de liquidité WL et la limite de plasticité WP qui sont des teneurs en eau pondérales, caractéristiques du sol. Ces résultats permettent de prévoir le comportement des sols sous l'action des variations de teneur en eau

B-Appareillage :

- Tamis à mailles carrées de 0.4mm d'ouverture
- Récipient.





Figure IV.9 : Remplissage de la coupelle de Casagrande.

C-Mode opératoire :

C-a- Détermination de la limite de liquidité WL :

1. Prendre environ 200g de sol préalablement tamisé au tamis de 0,4 mm par voie sèche.
2. Malaxer la totalité de la prise de telle sorte à obtenir une pâte quasi homogène et fluide.
3. Mettre en place une partie de la pâte en l'étalant avec une spatule (épaisseur au centre est de 15 à 20 mm).
4. Creuser une rainure dans cette pâte dans l'axe de la coupelle, l'outil étant sensiblement perpendiculaire à celle-ci.
5. Tourner la manivelle, de manière très régulière, à raison de 2 chocs par seconde
6. Compter le nombre de coups nécessaires pour que les deux lèvres se referment sur 1 cm environ.

C-b- Détermination de la limite de plasticité WP :

La limite de plasticité WP est inférieure à WL. Il faut donc laisser sécher l'échantillon un peu plus. Quand sa teneur en eau est correcte, faire une boulette de mortier grosse comme une noisette (environ 12 mm de diamètre) et en faire un cylindre en la roulant sur la plaque de marbre propre ; lisse et sèche. Ceci se fait à la main, ou en utilisant une plaque plane, par un mouvement alternatif d'environ un aller et retour par seconde.

Par définition, la limite de plasticité est la teneur en eau du cylindre qui se brise lorsque son diamètre atteint 3mm. Cette teneur en eau doit être déterminée immédiatement après le test selon la procédure décrite lors de la détermination de WL. Le cylindre terminé doit avoir 10 à 15 cm de longueur.

Dans la pratique, procéder ainsi :

1. Confectionner le cylindre de 3 mm ;
2. S'il se brise avant d'atteindre ce diamètre le matériau est trop sec, il faut alors le remodifier également ;

3. S'il ne s'est pas brisé. Le soulever en son milieu de 15 à 20 mm. La limite de plasticité est atteinte si la rupture se produit pendant ce soulèvement. On effectue alors directement la mesure de la teneur en eau W sur le rouleau de sol

4. Si la rupture ne se produit pas, laisser le teneur en eau diminuer

L'essai est effectué une deuxième fois. Les teneurs en eau obtenues ne devront pas s'écarter de plus de 2 % de la valeur moyenne, si non un nouvel essai est à effectuer. La détermination des limites d'Atterberg permet de calculer les paramètres :

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

$$IP = WL - WP$$

$$IP = 35.42 - 27.19 = 8.23$$

Tableau IV.7 : Type de sol en fonction d'IP.

| Indice de plasticité | Type de sol |
|----------------------|-----------------|
| <1% | Pulvérulent |
| 1% < IP < 7% | Sable argileux |
| 7% < IP < 17% | Argile sableuse |
| IP > 17% | Argile |

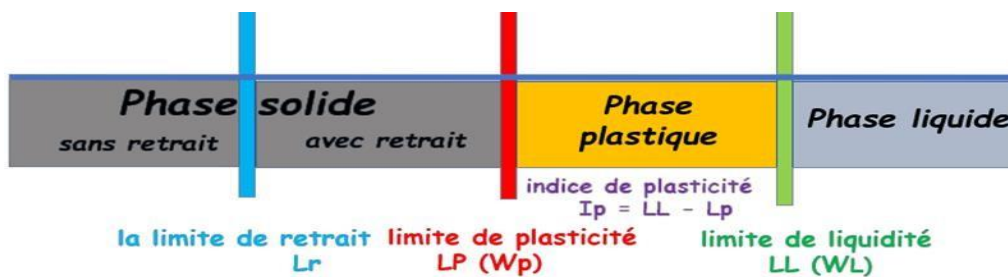


Figure IV.10 : Les différents états d'un sol et leurs limites [73]

C-d Calcul

Pour calculer la limite de liquidité, la formule suivante est utilisée :

$$W_L = \omega_N \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

$$W_L = 35.65 \left(\frac{23.66}{25} \right)^{0.121} = 35.42$$

Où:

- ω_N est la teneur en eau correspondant au nombre de coups
- N La moyenne des trois essais est utilisée.

Pour calculer la limite de plasticité, la moyenne des deux tests est utilisée.

IV.3.3 Essais bleu de méthylène

A - But :

Mesurer la quantité de bleu de méthylène nécessaire pour saturer un sol. Cette dernière est directement liée à la surface spécifique qui est elle-même liée à l'activité du sol.

Principe de la manipulation Consiste à doser une prise d'essai mise en suspension avec du bleu de méthylène. A saturation, une goutte de la suspension déposée sur du papier filtre provoque la formation d'une tache avec une auréole.

B - Mode opératoire

1. Prendre 10 grammes de sol sec passé au tamis 5mm.
2. Mettre la prise d'essai à tremper dans un bécher avec 100 cm d'eau.
3. A l'aide de l'agitateur (700 tr/min), disperser la suspension pendant 5 min.
4. A l'aide du dispositif de dosage, introduire 5 cm³ de bleu et agiter (400 tr/min) pendant 1 min.
5. A l'aide d'une baguette, déposer une goutte de la suspension sur du papier filtre (l'essai de la tache).



Figure IV .11: Essai au bleu de méthylène***Test négatif***

6. Si le test est négatif (tâche sans auréole), ajouter 5 cm³ de bleu et refaire l'essai de la tâche (Opération 5) après une minute.

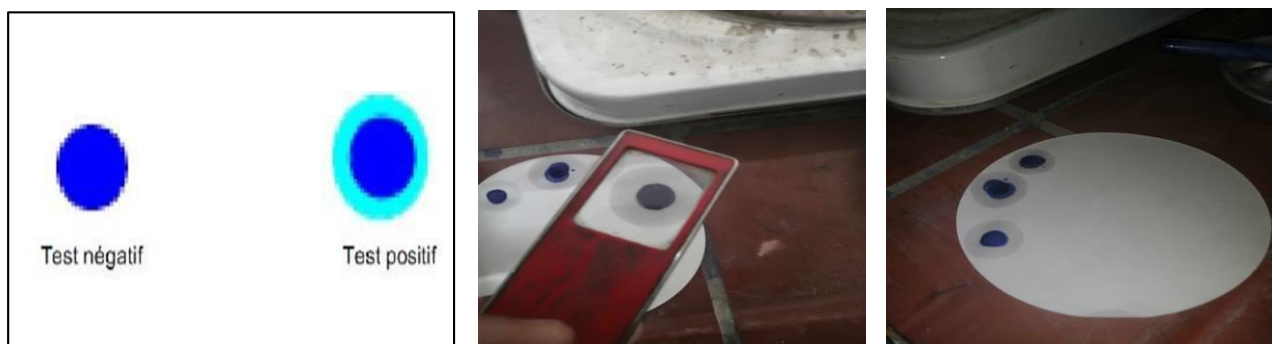
Cette opération sera répétée autant de fois qu'il sera nécessaire jusqu'à ce que le test de la tâche soit positif (tâche avec auréole).

Test positif

Si le test est positif (tâche avec auréole), procéder à 5 essais successifs (un test par minute) sans ajouter de bleu.

Si les 5 essais sont positifs, l'essai est terminé.

Si au cours de ces tests de la tâche, l'une des tâches deviendra sans auréole, ajouter uniquement 2,5 cm³ et reprendre les tests de la tâche jusqu'à ce que les 5 essais soient positifs.

**Figure IV .12:** Tests de la tâche de l'essai au bleu de méthylène**Remarque :**

Pendant tout le déroulement de l'essai, l'agitation n'est jamais interrompue.

C- Calcul

La valeur du bleu du sol est (sans unité) :

$$\mathbf{VBS = \frac{B}{m} \times 100}$$

$$\mathbf{VBS = \frac{B}{m} = \frac{0.01 \times 20}{10} \times 100 = 2}$$

Avec

V : Volume du bleu méthylène ajouté en cm³

B : la quantité du bleu méthylène ; B = 0.01 V

m : La prise d'essai La surface spécifique totale de la prise d'essai est donnée par :

$$\text{SST (m}^2/\text{g)} = 20.93 \times \text{VBS} = 20.93 \times 2 = 41.86$$

La surface spécifique est le rapport de la surface totale des grains à leurs volumes parfois à leurs poids (m²/m³ ou m²/Kg). Elle est de l'ordre de 10 à 20 m²/g pour la kaolinite et de l'ordre de 500 m²/g pour la montmorillonite.

Il vous est demandé de :

1. Déterminer la valeur de V
2. Calculer VBS et SST.
3. Donner la nature du sol suivant la classification suivante :

| Valeur du bleu du sol | Nature du sol |
|-----------------------|------------------------|
| < 0,2 | Sols sableux |
| 0,2 – 2,5 | Sols limoneux |
| 2,5 – 6 | Sols limoneux-argileux |
| 6 – 8 | Sols argileux |
| > 8 | Sols très argileux |

IV.3.4 Préparation des briques

a- Matériels spécifiques

Les éprouvettes prismatiques (4x4x16cm³) de volume utilisées pour la détermination des différents essais fixés par notre programme expérimental, ont été confectionnées dans un moule spécialement usiné à cet effet. Le moule est constitué de 5 éléments en acier trempé assemblés par 8 goujons



Figure IV.13 : Moule utilisé pour la fabrication des BTC

b- Codification des mélanges

La codification de l'ensemble des mélanges étudiés est présentée sur le tableau IV.9

Tableau IV.9 : Codification des mélanges

| Composition | | BTC Témoin | BTC 2% |
|-------------|-----|------------|--------|
| Argile | (%) | 73.8 | 47.87 |
| | (g) | 385.02 | 377.32 |
| Chaux | (%) | 4.71 | 8.65 |
| | (g) | 24.85 | 24.576 |
| Plastique | (%) | / | 2 |
| | (g) | / | 7.70 |
| Eau | (%) | 21.5 | 41.48 |
| | (g) | 112.58 | 110.12 |

IV.3.5 Optimisation de la teneur en eau

Cet essai permet de déterminer la capacité d'une terre à être compactée sous influence d'une force de compactage variable appliquée directement avec une presse donnée pour la fabrication des BTC.

Le protocole de l'essai est le suivant :

- prendre une quantité de matériau humide avec un taux de liant donné (chaux) à une teneur en eau d'environ $W = 6$ à 9 % ;
- fabriquer trois à quatre blocs à l'aide de la presse ;
- mesurer la masse à l'état humide (mh en g) et les dimensions de chaque brique (longueur L, largeur l et épaisseur h en cm);

- calculer la masse volumique sèche de chaque brique :

$$MVS = 100.mh/L .1.h. (100+W)$$

- préparer des quantités de matériaux de teneurs en eau d'environ 1 à 2 % de plus que la précédente et répéter les opérations, jusqu'à obtenir des briques trop humides

(visuellement) au démoulage ;

- tracer le diagramme des masses volumiques sèches en fonction de la teneur en eau ;

- en observant le diagramme, on détermine la teneur en eau optimale (TEO) correspondant à la masse volumique sèche maximale (MVS_{max}).

La figure 2.16 représente l'optimisation obtenue pour les deux types de sol stabilisé par 6% de chaux pris comme références. Pour le reste des mélanges, on a procédé à un réajustement de la teneur en eau selon le cas étudié.

IV.3.6 Compactage des mélanges

Le compactage des éprouvettes est du type statique à simple effet : le plateau inférieur de la presse se déplace entraînant l'ensemble (moule +mélange +piston), le plateau supérieur reste fixe. L'opération est conduite jusqu'à l'affichage sur l'écran de la lecture de la pression voulue. Dans cette étude on a appliqué contraintes de compactage 1 MPa.

Le démoulage se fait directement après le compactage.



Figure IV.14 : Essais de compactage des BTC

IV.6 Résistances mécaniques

IV.6.1 Résistance à la flexion : EN 12390-4

a. La machine de flexion :

L'essai doit être réalisé au moyen d'une machine d'essais conforme à L'EN 12390-4.

b. Principe :

Des éprouvettes prismatiques sont soumises jusqu'à rupture à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale atteinte au cours de l'essai est enregistrée, et la résistance en flexion est calculée.

c. Expression des résultats :

La résistance en flexion est donnée par l'équation suivante :

$$R_f = \frac{3(F.L)}{(d_1.d_2^2)}$$

Où :

R_f: est la résistance en flexion, en méga pascals (newtons par millimètre carré).

F : est la charge maximale, en newtons ;

L : est l'écartement entre les rouleaux d'appui, en millimètres. **d₁** et **d₂** : sont les dimensions latérales de l'éprouvette, en millimètres. Exprimer la résistance en flexion au 0,05MPa (N/mm²) le plus voisin

d. Matériels utilisés :

- Éprouvette (4*4*16 cm³).
- Balance électronique.
- Presse hydraulique (essai d'écrasement des moules- flexion).



Figure IV.15 : Essai de flexion

IV.6.2 Résistance à la compression : EN 12390-3 :

L'essai consiste à rompre entre les plateaux d'une presse hydraulique de capacité 3000KN à une vitesse constante (0.5KN/S) des moules des hourdis. Celles-ci doivent être bien centrées entre les plateaux, afin d'éviter l'apparition des moments dus à l'excentricité de la charge de compression. On calcule la résistance à la compression par la relation :

$$R_c = \frac{F}{S}$$

Rc: Résistances a la compression (MPa)

F : La charge de rupture (N)

S : Section de l'éprouvette (mm²)

Matériels utilisés

En ce qui concerne le matériel on aura comme suit :

- Des éprouvettes de dimensions (4*4*16 cm³)
- Balance électronique.
- Presse hydraulique (essai d'encrassements des éprouvettes – compression)

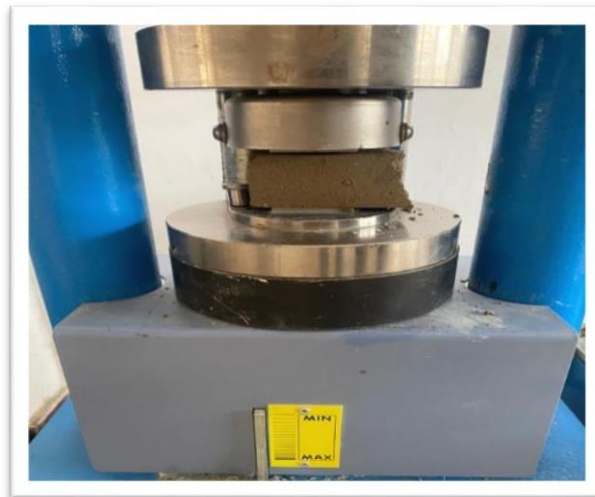


Figure IV.16 : Essai de compression

IV.6.3 Essai de la durabilité**a. Absorption capillaire**

L'absorption d'eau par capillarité est mesurée par l'essai détaillé dans la norme expérimentale NF XP 13-901. Le principe est d'immerger partiellement la brique à une profondeur de 5 mm

B. Mode opératoire

- Conserver les blocs 24 h dans le laboratoire.

Placer les blocs dans l'étuve selon leur position en œuvre, de telle façon que l'air chaud circule sur toutes les faces.

- Dessécher les blocs jusqu'à masse constante, la masse est considérée constante lorsque deux pesées successives effectuées à 24 h d'intervalle font apparaître une diminution de masse $< 0,1 \%$ de la masse initiale.
- Laisser les blocs se stabiliser dans le laboratoire durant 6 h, vérifier que la variation de la température pendant toute la durée de l'essai n'excède pas $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Peser chaque bloc, soit : P_0 (en grammes).
- Immerger une face lisse de parement de façon qu'elle soit 5 mm au-dessous du niveau de l'eau.
- Réaliser cette immersion en posant les produits sur des cales installées dans le fond des bacs de façon que l'eau circule sur l'ensemble de la face immergée.
- Positionner le flacon rempli d'eau afin de maintenir un niveau d'eau constant.
- Après 10 min, retirer chaque bloc de l'eau et l'essuyer avec un linge humide ou une peau de chamois.
- Le peser, soit : P_1 (en grammes).

Le coefficient d'absorption d'eau **Cb** correspond au taux d'absorption après un temps égal 10 min. Le coefficient Cb d'absorption d'eau est exprimé par la formule suivante:

$$Cb = \frac{100x(Mh - Md)}{S\sqrt{t}}$$

Avec:

Mh - Md : est la masse d'eau, en grammes, absorbée par le bloc durant l'essai ;

S: surface de la face immergée, en centimètres carrés ;

t: est la durée d'immersion du bloc en minutes.

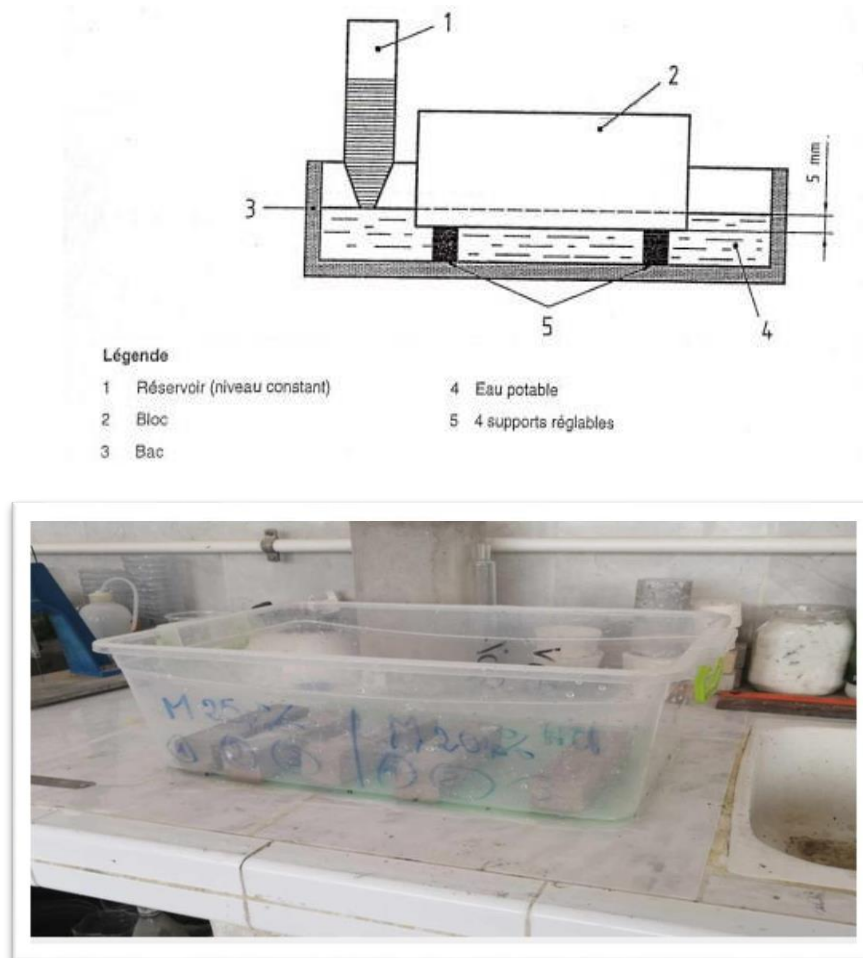


Figure IV.17: Principe de l'essai d'absorption capillaire

C. Absorption totale

Diverses procédures peuvent être utilisées pour déterminer la capacité d'absorption totale de la brique (BS 3921: 1985) : Immersion dans l'eau froide (24 à 48 heures) après séchage au four à masse constante.

Avec les méthodes ci-dessus, des résultats très différents peuvent encore être obtenus (Bungey et Millard, 1996). Pour cette étude, nous avons utilisé l'essai par immersion dans l'eau froide et l'essai d'ébullition. le premier essai consiste à immerger la brique dans un bac à eau pendant 24 h, et mesurer l'augmentation du poids P_h par rapport au poids de la brique à l'état sec P_s .

L'absorption totale (TWA) est déterminée par la formule suivante :

$$TWA\% = \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

En ce qui concerne l'essai d'ébullition, les briques sèches sont placées dans un bac d'eau à température ambiante. La température de l'eau est portée à ébullition pendant une période de

1 h, maintenues à 100°C pendant 5 h. Les briques laissées refroidir à la température ambiante entre 16 et 19 h. Les briques humides sont ensuite retirées et pesées. L'absorption d'eau est évaluée comme indiquée dans l'équation 2.4



Figure IV.18 : Essai d'absorption total

IV.4 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons étudié les propriétés physiques et mécaniques des matériaux utilisés.

Il a été confirmé que le sol et les sédiments respectent les critères de stabilisation pour la fabrication des BTC. Nous avons également présenté les principaux matériaux comme le sol, le plastique, le ciment et la chaux, ainsi que les méthodes d'essai.

Enfin, les résultats des essais de compression, de flexion, d'absorption et de porosité ont été exposés conformément aux normes.

CHAPITRE V :

RÉSULTATS

CHAPITRE V : RÉSULTATS

V.1. INTRODUCTION

Ce chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus lors d'essais sur des échantillons de briques contenant des déchets plastiques. Les résultats couvrent les limites d'Atterberg, la masse volumique apparente de l'argile et du plastique, l'essai au bleu de méthylène, les essais de résistance mécanique et enfin les essais d'absorption d'eau. Pour chaque essai, le chapitre présente les définitions, les méthodes de mesure, les calculs, les résultats et les interprétations par étapes.

V.2. ESSAI DES LIMITES D'ATTERBERG

Les limites d'Atterberg définissent les teneurs en eau critiques des sols fins, qui indiquent leur comportement et leur plasticité. Ces limites comprennent la limite de liquidité (LL), la limite de plasticité (LP) et l'indice de plasticité (IP). Elles sont essentielles à la compréhension de l'ouvrabilité et de la résistance des sols argileux utilisés dans la fabrication des briques.

V.2.1. Méthodes de mesure

- **Limite de liquidité (LL)** : Déterminée par la méthode de la coupelle de Casagrande, où la pâte de sol est placée dans une coupelle et le nombre de coups nécessaires pour fermer une rainure de 12,7 mm est enregistré à différentes teneurs en eau.
- **Limite de plasticité (PL)** : Déterminée en roulant des fils de sol de 3 mm de diamètre jusqu'à ce qu'ils s'effritent, indiquant la teneur en eau limite de plasticité.

V.2.2 Formules de calcul

$$IP = LL - PL$$

Où :

- LL = Limite de liquidité (%)
- PL = Limite de plasticité (%)
- IP = Indice de plasticité (%), qui mesure la plage de plasticité du sol.

V.2.3. Résultats et interprétation

Le tableau V.1 et figure V.1 suivants présentent les résultats de l'essai d'Atterberg, qui inclut la limite de liquidité et la limite de plasticité pour différents échantillons de sol. La limite de liquidité a été déterminée en utilisant différents nombres de coups (17, 24 et 30) selon la procédure standard, et les teneurs en eau correspondantes ont été calculées. La limite de plasticité a également été mesurée pour les mêmes échantillons. Ces valeurs sont essentielles pour la classification du sol et l'évaluation de ses caractéristiques de plasticité, essentielles à la compréhension de son comportement dans les applications techniques.

Tableau V.1. Détermination de la limite de liquidité (WL) et de la limite de plasticité (WP) des échantillons de sol

| NOMBRE de coups | LIMITE DE LIQUIDITÉ | | | | | | LIMITE PLASTICITÉ | |
|------------------------|---------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|
| | 17 | | 24 | | 30 | | | |
| No de la tare | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | A |
| Poids total humide (g) | 9.0 | 11.3 | 10.5 | 10.9 | 11.5 | 11.9 | 10.8 | 9.9 |
| Poids total sec (g) | 8.6 | 10.1 | 9.8 | 9.3 | 10.5 | 10.8 | 10 | 9.5 |
| Poids de la tare (g) | 7.4 | 7.6 | 7.7 | 6.9 | 7.4 | 7.2 | 7.6 | 7.6 |
| Poids d'eau (g) | 0.4 | 1.2 | 0.7 | 0.8 | 1 | 1.1 | 0.8 | 0.4 |
| Poids net sec (g) | 1.2 | 2.5 | 1.9 | 2.4 | 3.1 | 3.6 | 2.4 | 1.9 |
| Teneur en eau (%) | 33.33 | 48 | 36.84 | 33.33 | 32 | 30.55 | 33.33 | 21.05 |
| W _L (%) | 40.66 | | 35.09 | | 31.22 | | | |

Les résultats montrent une légère diminution des limites de liquidité et de plasticité à mesure que la teneur en plastique augmente, ce qui entraîne une réduction de l'indice de plasticité. Cela indique que l'ajout de déchets plastiques réduit la plasticité du sol, ce qui pourrait affecter la maniabilité et le comportement au séchage des briques.

V.3 ESSAI DE DENSITÉ APPARENTE ET DE DENSITÉ ABSOLUE

V.3.1 Définition

La masse volumique apparente est la masse du matériau par volume total (y compris les vides). La mesure de la masse volumique apparente de l'argile et du plastique permet de comprendre leur effet sur la masse volumique globale de la brique. La masse volumique absolue est la masse d'un matériau par unité de son volume réel, à l'exclusion des pores et des vides à l'intérieur ou entre les particules.

V.3.2. Calcul de la masse volumique absolue et apparent de l'argile et du plastique

- **Argile**

Échantillon de 30 g

$$\rho_{abs} = \frac{M2}{M1+M2+M3} \rho_l \qquad \rho_{abs} = \frac{30}{341.7+30-360} \times 1 = 2.56 \text{ g/cm}^3$$

Plastique

Un échantillon de masse 0,95 kg et de volume 1 000 cm³ (0,001 m³) :

$$\rho_{abs} = \frac{m}{V2 - V1} \qquad \rho_{abs} = \frac{30}{270 - 200} = 0.428 \text{ g/cm}^3$$

V.3.3 Interprétation

L'argile a une masse volumique apparente plus élevée que le plastique ; l'ajout de plastique réduit donc la masse volumique globale de la brique.

V.4 TEST AU BLEU DE MÉTHYLÈNE

V.4.1. Importance

Ce test mesure la quantité de minéraux argileux actifs, affectant la plasticité du sol.

V.4.2 Méthode de mesure

Une solution de bleu de méthylène est ajoutée progressivement à l'échantillon jusqu'à ce qu'un changement de couleur persistant se produise, indiquant une absorption par les minéraux argileux.

V.4.3 Formule de calcul

La valeur du bleu de méthylène (VBS) est calculée comme suit :

$$VBS = \frac{B}{m} \times 100$$

- V = volume de solution de bleu de méthylène ajouté (cm³)
- m = volume d'essai

La surface spécifique totale de la portion est donnée par

$$SST (m^2/g) = 20.93 \times VBS$$

V.4.4. Résultats

$$VBS = \frac{B}{m} = \frac{0.01 \times 20}{10} \times 100 = 2$$

Tableau V.2. Classification des sols selon la valeur du bleu de méthylène (AFNOR. (1994))

| Valeur du bleu du sol | Nature du sol |
|-----------------------|----------------------|
| <0.2 | Sols sableux |
| 0.2-2.5 | Sols limoneux |
| 2.5-6 | Sols limono-argileux |
| 6-8 | Sols argileux |
| >8 | Sols très argileux |

$$SST (m^2/g) = 20.93 \times 2$$

$$SST (m^2/g) = 41.86 m^2/g$$

Le résultat VBS indique que le sol est limoneux

V.5. ESSAIS DE RÉSISTANCE MÉCANIQUE

Les essais de résistance mécanique réalisés permettent d'évaluer la performance des échantillons en flexion et en compression au cours du temps, afin de déterminer l'évolution de leur comportement mécanique. Le tableau V.3 représente les résultats des pertes de masse et les résistances mécaniques à la flexion et à la compression des BTC étudiés.

Tableau V.3. Résultat des pertes de masse et les résistances mécaniques des BTC.

| Jours | Echantillons | La masse Avant (g) | La masse après (g) | Perte de masse en (%) | Résistance à la flexion (MPa) | Résistance à la compression (MPa) |
|-------|--------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 3 | 2% | 511,35 | 506,25 | 1,00 | / | 0,132 |
| | Témoin | 502,5 | 499,7 | 0,56 | / | 0,244 |
| 7 | 2% | 505,55 | 497,95 | 1,50 | / | 0,231 |
| | Témoin | 490,5 | 485,6 | 1,00 | / | 0,245 |
| 14 | 2% | 506,55 | 504,55 | 0,39 | / | 0,448 |
| | Témoin | 504,7 | 494,7 | 1,98 | / | 0,519 |
| 28 | 2% | 507,9 | 491,65 | 3,20 | 0,258 | 1,069 |
| | Témoin | 509,5 | 493,67 | 3,11 | 0,316 | 1,531 |

V.5.1. Résistance à la flexion

La figure V.1 représente l'influence de l'ajout du déchet en plastique sur la résistance à la traction des BTC.

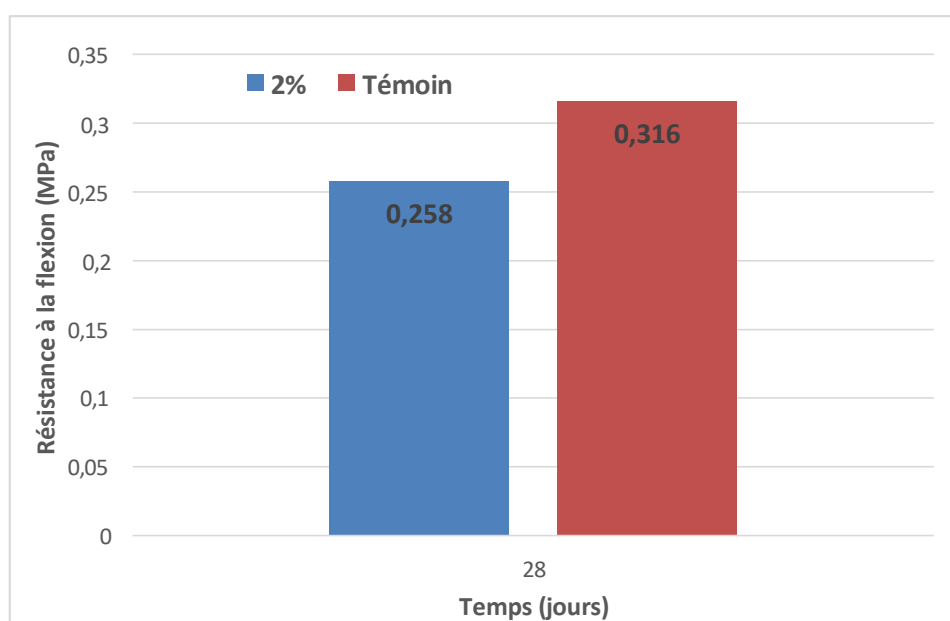


Fig.V.1 Résistance à la flexion des BTC à 28 jours conservés dans une température ambiante au laboratoire

Le graphique illustrant la résistance à la flexion montre que le BTC témoin présente une valeur plus élevée que celle observée pour le BTC contenant 2 % de déchets en plastiques. Cette différence suggère que l'incorporation de l'additif a eu un impact négatif sur la capacité de la brique à résister aux efforts de flexion. Ce comportement peut être attribué à une altération de la cohésion interne du matériau ou à une faible adhérence entre les déchets plastiques (surface lisse) et les autres composants de la matrice de la brique.

V.5.2. Résistance à la compression

L'étude des BTC sans et avec ajouts de 2% de déchets en plastique, stabilisés avec 6% de chaux, a révélé les résultats illustrés sur la figure V.2, qui présente l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps.

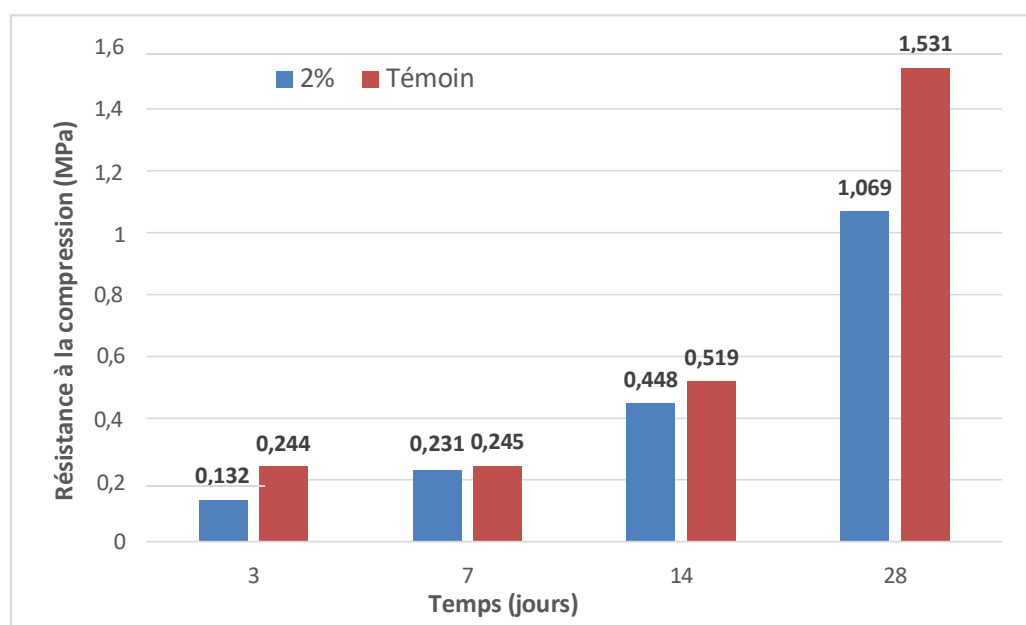


Fig.V.2 Résistance à la compression en fonction du temps des BTC conservés dans une température ambiante au laboratoire

De même, les résultats relatifs à la résistance à la compression révèlent que les valeurs mesurées pour l'échantillon témoin sont systématiquement supérieures à celles de l'échantillon de brique à base de 2 % d'ajouts en plastiques, et ce, pour toutes les échéances. Bien que l'on observe une faible amélioration progressive de la résistance pour les deux types d'échantillons au fil du temps, Cela est dû au déclenchement de la réaction pouzzolanique lente de la chaux. Ceci a été confirmé par Le Roux [74], qui a prouvé que la stabilisation à la chaux (avec des dosages de 3 à 7 % et 90 jours de cure) permet la formation de nouveaux minéraux par réaction pouzzolanique : des silicates et aluminates calciques hydratés sont

formés à partir des argiles. Cette réaction pouzzolanique est une réaction lente qui demande, à température ordinaire, plusieurs mois avant que ses résultats puissent être appréciés.

En comparant entre les deux types de BTC, l'écart reste significatif en faveur du briqué témoin. Ceci indique que l'ajout du déchet en plastiques à 2 % de substitution n'a pas contribué à améliorer les propriétés mécaniques à la compression. Probablement dû au volume de pâte qui est moins important dans la brique de 2% d'ajouts en plastique que dans la brique témoin. Ainsi les résultats des résistances à la compression à 28 jours sont légèrement inférieurs à ceux des résistances à la compression minimales admises pour les BTC stabilisée qui est de l'ordre de 2 MPa [75]

V .6. ESSAI D'ABSORPTION D'EAU

V .6.1. Absorption d'eau par capillarité

Quantité d'eau absorbée par l'échantillon par capillarité lorsqu'il est mis en contact avec l'eau.

A).Méthode de mesure

La surface inférieure de l'échantillon est en contact avec l'eau, et le poids est enregistré avant et après absorption.

B). Formule de calcul

Le coefficient C_b d'absorption d'eau de chaque bloc est conventionnellement exprimé par la formule :

$$C_b = \frac{100M}{S\sqrt{t}} = \frac{100(P_1 - P_0)}{S\sqrt{10}}$$

Dans laquelle :

M est la masse d'eau, en grammes, absorbée par le bloc durant l'essai ;

S est la surface de la face immergée, en centimètres carrés ;

t est la durée d'immersion du bloc, en minutes.

Pour les blocs présentant un motif régulier sur les deux faces, prendre en compte la surface développée.

Dans les autres cas, ne pas tenir compte des irrégularités de surface dans le calcul de la surface.

C) Résultats

Après un certain temps, nous avons obtenu les résultats présentés dans le tableau et les figures suivants.

Tableau.4 : Différence de poids entre avant et après absorption capillaire, en grammes

| Echantillons | | Masse avant absorption (g) | Masse après 10 minutes d'absorption (g) | Coefficient d'absorption (cb) (g.cm ⁻² .min ^{-1/2}) |
|--------------|---|----------------------------|---|--|
| .2% | 1 | 428,3 | 439,1 | 5,56 |
| | 2 | 430,5 | 442,2 | |
| Témoin | 1 | 433,1 | 449,8 | 6,08 |
| | 2 | 439,1 | 447 | |

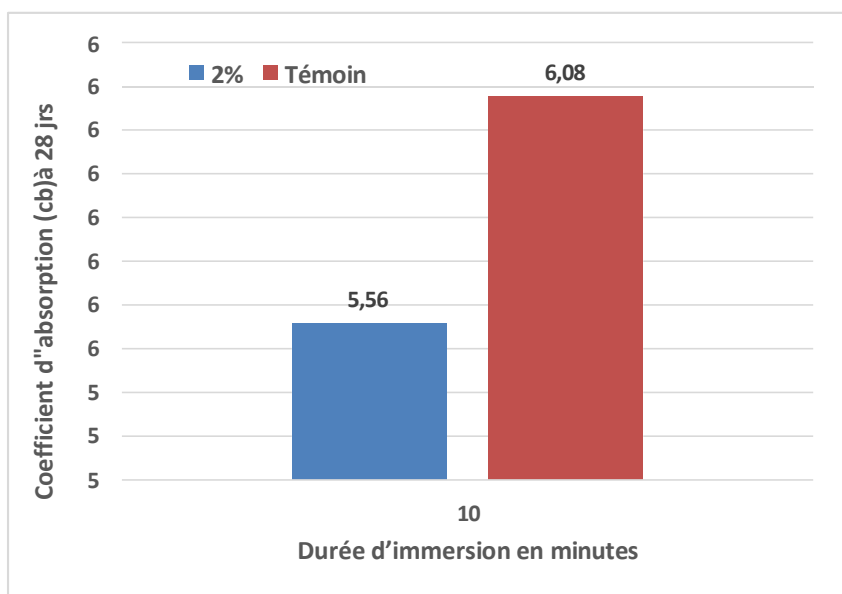


Figure V.3 L'absorption capillaire des BTC à 28 jours

La figure V.3 illustre le coefficient d'absorption des blocs de terre comprimée (BTC), mesuré après 10 minutes de contact, de la surface inférieure de l'échantillon, avec l'eau. On observe que l'échantillon contenant 2 % d'additif présente un coefficient d'absorption légèrement inférieur (5,56 L/m²/min) par rapport à l'échantillon témoin (6,08 L/m²/min).

Cette diminution de l'absorption suggère que l'ajout de 2 % de déchets en plastique contribue à une meilleure résistance à la pénétration de l'eau, ce qui pourrait améliorer la durabilité des BTC dans des environnements humides. Ce résultat est d'autant plus intéressant qu'il contraste avec la légère baisse observée dans les résistances mécaniques.

Le BTC à base des déchets en plastiques absorbe moins d'eau par rapport au BTC témoin. Puisque les grains plastique n'absorbent pas d'eau ce qui diminue la capacité d'absorption dans les BTC à base de déchets plastiques.

V.6.2. Absorption totale d'eau

L'absorption totale de l'eau est une propriété importante qu'on peut utiliser pour le contrôle du volume total des vides dans les BTC. L'absorption totale est obtenue après l'immersion de la brique dans un bac à eau pendant 48 heures.

Le coefficient A d'absorption d'eau de chaque bloc est conventionnellement exprimé par la formule :

$$A\% = \frac{(Ph-PS)}{PS} \times 100$$

Dans laquelle :

Ph : poids de la brique à l'état humide

Ps : poids de la brique à l'état sec

A : absorption total

Les résultats de l'essai d'absorption total sont présentés dans le tableau et les figures suivants.

Tableau V.5. Différence de poids entre avant et après absorption totale, en grammes

| Echantillons | | Masse avant immersion en (g) | Masse après 48 heures d'immersion en (g) | Absorption total (%) |
|--------------|---|------------------------------|--|----------------------|
| 2% | 1 | 428.2 | 508.6 | 13,95 |
| | 2 | 447.8 | 489.6 | |
| Témoin | 1 | 404.8 | 475.2 | 18,78 |
| | 2 | 416.9 | 500.8 | |

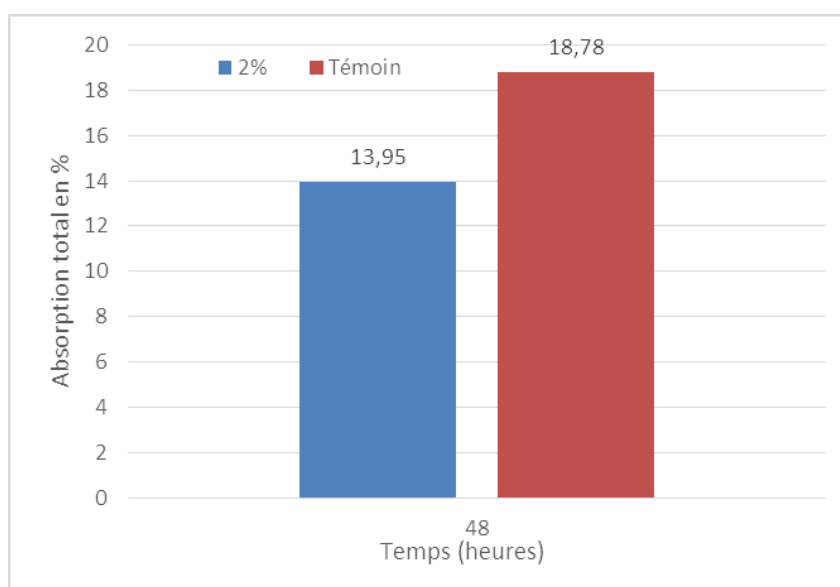


Figure V.4 L'absorption total des BTC à 28 jours

La figure V.4 représente la variation de l'absorption totale des BTC, sans et avec ajouts de 2% de déchets en plastique, en fonction temps. On constate que l'absorption totale d'eau par les BTC après 28 jours de cure est significativement réduite lorsque 2 % d'ajout en plastique est incorporé dans la formulation. En effet, l'échantillon témoin a absorbé 13,95 % d'eau après 48 heures d'immersion, contre 18,78 % pour l'échantillon témoin.

Cette diminution d'environ 26 % de l'absorption totale indique que l'additif utilisé améliore la compacité ou la résistance à la capillarité du matériau, réduisant ainsi sa porosité ou sa perméabilité. Cela suggère une amélioration de la durabilité des BTC dans des environnements humides, ce qui est un atout important pour des applications en génie civil.

V.4 CONCLUSION

Ce chapitre nous a permis d'étudier la possibilité d'améliorer les propriétés mécaniques et le degré d'insensibilité à l'eau du bloc de terre comprimée BTC, en incorporant l'ajout de déchets en plastiques. Pour une meilleure stabilisation du BTC, on a utilisé de stabilisants chimiques à savoir la chaux. Pour ce dernier stabilisant, sachant qu'il est caractérisé par une réaction pouzzollanique lente en vue de réduire le temps de conservation des BTC à base de chaux en attendant qu'ils atteignent une résistance acceptable pour la construction des murs en terre.

D'après les résultats relatifs à la résistance mécanique révèlent que les valeurs mesurées pour l'échantillon témoin sont systématiquement supérieures à celles de l'échantillon de brique à base de 2 % d'ajouts en plastiques. Ainsi l'ajout de 2 % de déchets en plastique contribue à une meilleure résistance à la pénétration de l'eau, ce qui pourrait améliorer la durabilité des BTC dans des environnements humides.

**CONCLUSION
GENERALE
ET PERSPECTIVES**

CONCLUSION GENERALE

L'étude que nous avons réalisée dans le cadre de ce projet à la fin de la recherche nous a permis d'agir pour résoudre un certain nombre de problèmes connexes liés au comportement mécanique et physique des blocs de terre comprimée et des déchets plastiques. La démarche scientifique que nous mettons en œuvre est avant tout une étude bibliographique des blocs en terre et des déchets plastiques transformés.

Cependant, l'influence des déchets plastiques transformés sur les propriétés des blocs de terre comprimée en général est étudiée à travers une série de tests mécaniques et physiques tels que la résistance à la compression, la résistance à la flexion, et l'absorption totale d'eau et l'absorption par capillarité.

Le présent travail s'est inscrit dans une démarche de construction durable visant à concilier performance technique, accessibilité économique et réduction de l'impact environnemental. L'étude a porté sur l'intégration de déchets plastiques dans la fabrication de briques en terre comprimée (BTC), dans le but de valoriser ces déchets tout en améliorant ou en ajustant les propriétés des matériaux de construction.

Les propriétés physiques, mécanique, et de durabilité des BTC ont été déterminées. Les résultats permettent d'obtenir les conclusions suivantes :

- La masse volumique apparente de l'argile est plus élevée que celle du plastique, ce qui entraîne une diminution de la masse volumique totale de la brique.
- Les résultats des limites de liquidité et de plasticité montrent que l'ajout de déchets plastiques diminue la plasticité de l'argile, ce qui pourrait influencer la maniabilité et le comportement lors du séchage des briques..
- Les résultats de la classification des sols en fonction de la valeur du bleu de méthylène VBS montrent que le sol présente une texture limoneuse.
- La résistance à la compression du BTC témoin est supérieure à celles à base de 2 % d'ajout en plastique.
- Les résistances à la compression à 28 jours sont légèrement inférieures à celles des résistances à la compression minimales admises pour les BTC stabilisées, qui sont de l'ordre de 2 MPa.
- La résistance à la flexion du BTC témoin est supérieure à celle du BTC à base de 2 % de déchets en plastique.
- Le BTC à base des déchets en plastiques absorbe moins d'eau par rapport au BTC témoin.
- Le BTC à base de déchets en plastique absorbe moins d'eau par rapport au BTC témoin, ce qui contribue à une meilleure résistance à la pénétration de l'eau.

PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Les résultats encourageants de cette étude ouvrent la voie à plusieurs axes d'approfondissement :

1. Variabilité des types de plastique : Étudier l'effet d'autres polymères (PET, PEHD, PVC) sous différentes formes (fibres, paillettes, films).
2. Comportement thermique et acoustique : Analyser la conductivité thermique et les performances en isolation phonique.
3. Vieillesse et durabilité à long terme : Évaluer la résistance aux cycles gel/dégel, au feu et aux agents chimiques.
4. Analyse économique et environnementale : Réaliser une analyse du cycle de vie (ACV) pour mesurer les gains environnementaux réels.
5. Expérimentation à l'échelle réelle : Construction de prototypes (murs, abris, cloisons) pour valider les performances en conditions d'usage.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] HOUBEN H, RIGASSI V, GARNIER P. "Blocs de terre comprimée : équipements de production". CRATerre, Bruxelles, Belgique, 1996.
- [2] BELLATRECHE S, KAZI A. "Les normes dans la construction en terre : état des lieux". Université ABOU-BEKR-BELKAID-TLEMCEN, Wilaya de Tlemcen, 2020.
- [3] DELBECQUE C. "Sans titre précis". 2011.
- [4] CENTRE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES INTEGREES DU BATIMENT. "Sans titre précis". 2000.
- [5] DOAT P, HAYS A, HOUBEN H, MATUK S, VITOUX F. "Construire en terre". Éditions Alternative et Parallèles, 1979.
- [6] BERNARD MORINO GANOU KOUNGANG. « Construction en brique de terre comprimée et granulats biosourcés : une solution pour un habitat durable à Douala » "Thèse de doctorat Université de Liège et Université de Douala, 2021.
- [7] CRATerre-EAG. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, Allemagne, 1995.
- [8] HOUBEN H, GUILLAUD H. "CRATerre : Traité de Construction en Terre". Éditions Parenthèses, Marseille, France, 2006.
- [9] RIGASSI V. "Blocs de terre comprimée. Volume I. Manuel de production". CRATerre-EAG, Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, Allemagne, 1995.
- [10] SORE S. O., MESSAN A., PRUD'HOMME E., ESCADEILLAS G., TSOBNANG F. "Stabilization of compressed earth blocks (CEBs) by geopolymer binder based on local materials from Burkina Faso". Construction and Building Materials, 165, 2018.
- [11] MESSIS M. "Durabilité des Blocs de Terre Crue « BTC » à base de matériaux pouzzolaniques". Centre universitaire Nour Bachir – El-Bayadh, Wilaya d'El-Bayadh, 2024.
- [12] IZEMMOUREN Ouarda. "Effet des ajouts minéraux sur la durabilité des briques de terre comprimée". Université Mohamed Khider – Biskra, Wilaya de Biskra, 2016.
- [13] HAUGLUSTAINE J.-M, SIMON F. "La conception globale de l'enveloppe et l'énergie – Guide pratique pour les architectes". SPW-Wallonie énergie, Wallonie, 2018.
- [14] CID-FALCETO J., MAZARRÓN F. R., CAÑAS I. "Assessment of compressed earth blocks made in Spain: International durability tests". Construction and Building Materials, vol. 37, 2012.
- [15] GUILLAUD H et al. "Compressed earth blocks: Manual of design and construction". 1985.
- [16] CRATERRE, HOUBEN H, GUILLAUD H. "Traité de construction en terre". Éditions Parenthèses, Paris, France, 2006.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [17] TURCO C, PAULA JUNIOR A. C., TEIXEIRA E. R., MATEUS R. "Optimisation of Compressed Earth Blocks (CEBs) using natural origin materials: A systematic literature review". *Construction and Building Materials*, vol. 309, 2021.
- [18] FERROUDJA ADJOU DJ. "Etude du comportement de nouvelles formulations à base de polychlorure de vinyle (PVC)". Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Wilaya de Tizi-Ouzou, 2017.
- [19] RAFAT SIDDIQUE, JAMAL KHATIB, INDERPREET KAUR. "Use of recycled plastic in concrete". Elsevier, 2007.
- [20] ABDERAOUF ATMANI. "Comportement mécanique en traction monotone d'un polymère associé au carbonate de calcium". Université Badji Mokhtar Annaba, Wilaya d'Annaba, 2017.
- [21] NAILI AHLEM. "Effet du traitement des granulats plastiques et le type de sable sur les caractéristiques du mortier". Université Mohamed Khider de Biskra, Wilaya de Biskra, 2020.
- [22] GOOGLE SEARCH. "Produits plastiques". En ligne : [https://www.google.com/search?client=firefox-b-e&q=produits+plastiques#vhid=gObXCl-AqtqjtM&vssid=_YhYOaNeGGKGPxc8P1PrniQM_44].
- [23] SHARMA R, BANSAL P. P. "Use of different forms of waste plastic in concrete – a review". *Journal of Cleaner Production*, 2016.
- [24] GOUASMI Mohamed Touhami. "Effet d'agrégats légers à base de poly (téréphtalate d'éthylène) sur les propriétés des mortiers". Université d'Oran (Faculté des sciences exactes et appliquées), Wilaya d'Oran, 2013.
- [25] ABDOUNE Aïcha, HADDAD Oum Keltoum. "Utilisation des déchets plastiques en matériaux composites de construction". Université Ahmed Draïa d'Adrar, 2019.
- [26] Bidjan, J. *Les matériaux polymères dans l'industrie moderne*. Presses Universitaires Techniques, pp. 26–27. (2008)
- [27] Clara, A., Dupont, M., & Lambert, S. La gestion des déchets plastiques en Europe : enjeux et perspectives. *Revue Européenne de l'Environnement*, 12(3), 27–35. (2014).
- [28] MONGABAY. "La pollution plastique : un fléau aux tentacules affectant toute la planète". En ligne : [<https://fr.mongabay.com/2025/02/la-pollution-plastique-un-fleau-aux-tentacules-affectant-toute-la-planete/>].
- [29] BENMEKIDECHE-GOUISSEM L. "Etude de l'effet des paramètres de transformation et des extenseurs de chaînes sur les propriétés du poly (éthylène téréphtalate)". Mémoire de master, Université de Sétif, 2015.
- [30] SALHI FOUDEL, SALHI MOUNIR. "Etude et optimisation de quelques paramètres de valorisation des bouteilles en Polyéthylène Téréphtalate (PET) en fibres de polyester". Mémoire de master, Université A. Mira Wilaya de Béjaïa, 2012.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [31] BENAYACHE H, GHELLAF F. "Caractérisation du poly (éthylène téréphtalate) (PET) recyclé utilisé par l'entreprise RETPLAST pour la fabrication des fibres". Mémoire de master, Université A. Mira, Wilaya de Béjaïa, 2016.
- [32] ALMESHALL I, BASSAM A. TAYEH, RAYED ALYOUSEF, HISHAM ALABDULJABBAR, ABDELIAZIM MUSTAFA MOHAMED, ABDULAZIZ ALASKA. "Use of recycled plastic as fine aggregate in cementitious composites: A review". Construction and Building Materials, 2020.
- [33] OZBAKKALOGLU L, GU T. "Use of recycled plastics in concrete: a critical review". Waste Management, vol. 51, 2016.
- [34] UNEP. "Single-use plastics: A roadmap for sustainability". United Nations Environment Programme, 2018.
- [35] BISSAGOU KOUMBA GAELLE. "Fragmentations chimique et physique de plastiques et microplastiques en eau douce sous irradiation UV-visible". Université Clermont Auvergne, France, 2018.
- [36] MONGABAY. "La pollution plastique : un fléau aux tentacules affectant toute la planète". En ligne : [<https://fr.mongabay.com/2025/02/la-pollution-plastique-un-fleau-aux-tentacules-affectant-toute-la-planete/>].
- [37] ZHOU C, FANG W, XU W, CAO A, WANG R. "Characteristics and the recovery potential of plastic wastes obtained from landfill mining". Journal of Cleaner Production, 2014.
- [38] PAPONG S, MALAKUL P, TRUNGKAVASHIRAKUN R, WENUNUN P, CHOM-IN T, NITHITANAKUL M. "Comparative assessment of the environmental profile of PLA and PET drinking water bottles from a life cycle perspective". Journal of Cleaner Production, vol. 65, 2014.
- [39] BADIA J. D., STROMBERG E., KARLSSON S., RIBES-GREUS A. "The role of crystalline, mobile amorphous and rigid amorphous fractions in the performance of recycled poly (ethylene terephthalate) (PET)". Polymer Degradation and Stability, vol. 97, 2012.
- [40] SUBRAMANIAN M. P. "Plastics recycling and waste management in the US". Resources, Conservation and Recycling, vol. 28, 2000.
- [41] AATTACHE A., MAHI A., SOLTANI R., MOULI M., BENOSMAN A. S. "Experimental study on thermomechanical properties of Polymer Modified Mortar". Materials & Design, vol. 52, 2013.
- [42] AHMED, K. « Recyclage et valorisation des déchets dans le domaine du génie civil. Mémoire de fin d'études, Département de Génie Civil. (2020).
- [43] TANG C., SHI B., GAO W., CHEN F., CAI Y. "Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil". Geotextiles and Geomembranes, vol. 25, 2007.
- [44] VASUDEV D. "Performance studies on rigid pavement sections built on stabilized sulfate soils". MSc thesis, University of Texas at Arlington, 2007.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [45] PUPPALA J., MUSENDA C. "Effects of fiber reinforcement on strength and volume change behavior of expansive soils". Transportation Research Board, 79th Annual Meeting, Washington, USA, 2000.
- [46] TAALLAH BACHIR. "Étude du comportement physico-mécanique du bloc de terre comprimée avec fibres". Université Mohamed Khider de Biskra, Wilaya de Biskra, 2014.
- [47] LE ROUX A. "Contribution à l'étude du traitement à la chaux des matériaux argileux". Thèse de doctorat, Université des Sciences d'Orsay, France, 1969.
- [48] BELL F. G. "Lime stabilization of clay minerals and soil". Engineering Geology, vol. 42, n°4, 1996.
- [49] MAUBEC N. "Approche multi-échelle du traitement des sols à la chaux : études des interactions avec les argiles". Thèse de doctorat, Université de Nantes, France, 2010.
- [50] IZEMMOUREN OUARDA. "Effet des ajouts minéraux sur la durabilité des briques de terre comprimée". Université Mohamed Khider – Biskra, Wilaya de Biskra, 2016.
- [51] OLIVER M., EL GHARBI Z. "Sisal Fibre Reinforced Soil Masonry". Proceedings of the 4th International Masonry Conference, Londres, Royaume-Uni, 1995.
- [52] BOUHICHA M., AOUISSI F., KENAI S. "Performance of composite soil reinforced with barley straw". Cement and Concrete Composites, vol. 27, 2005.
- [53] MAHER M. H., HO Y. C. "Mechanical Properties of Kaolinite Fiber Soil Composite". Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering, vol. 120, 1994.
- [54] JADHAO P. D., NAGARNAIK P. B. "Performance Evaluation of Fiber Reinforced Soil-Fly Ash Mixtures". 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), Goa, Inde, 2008.
- [55] EKO R. M., OFFA E. D., NGATCHA T. Y., MINSILI L. S. "Potential of salvaged steel fibers for reinforcement of unfired earth blocks". Construction and Building Materials, vol. 35, 2012.
- [56] NAMANGO S. S. "Development of cost-effective earthen building material for housing wall construction : investigations into the properties of compressed earth blocks stabilized with sisal vegetable fibres, cassava powder and cement compositions". Doctoral dissertation, Brandenburg Technical University, Allemagne, 2006.
- [57] MINKE G. "Earth Construction Handbook". Boston : WIT Press, 2000.
- [58] VILLAMIZAR M. C. N., ARAQUE V. S., REYES C. A. R., SILVA R. S. "Effect of the addition of coalash and cassava peels on the engineering properties of compressed earth blocks". Construction and Building Materials, vol. 36, 2012.
- [59] GUETTALA A., HOUARI H., MEZGHICHE B., CHEBILI R. "Durability of lime stabilized earth blocks". Courier du Savoir, n°02, 2002.
- [60] KERALI A. G. "Durability of compressed and cement-stabilized building blocks". PhD Thesis, University of Warwick, Royaume-Uni, 2001

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [61] MESSAOUDENE, I., MOLEZ, L., & AMRIOU, A. J. A. J. O. C. E. (2020). Effet du Sable de dune sur la Durabilité du Béton de Terre Stabilisée et Compressée. 38(1), 101-104.
- [62] SAIDI, M., CHERIF, A. S., ZEGHMATI, B., SEDIKI, E. J. C., & MATERIALS, B. (2018). Stabilization effects on the thermal conductivity and sorption behavior of earth bricks. 167, 566- 577.
- [63] SEMCHA A. "Valorisation des sédiments de dragage : Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug". Thèse de doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, France, 2006.
- [64] ANBT. "Agence Nationale des Barrages et des Transferts : Rapport d'activité", 2020.
- [65] BELARIBI O. "Durabilité des bétons autoplaçants à base de vase et de pouzzolane". Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, Wilaya de Mostaganem, 2015.
- [66] SAFER O. "Optimisation de la formulation d'un éco-béton à base de sédiments de dragage et étude de sa résistance aux attaques chimiques". Thèse de doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, Wilaya de Mostaganem, 2017.
- [67] BELGUESMIA K. "Optimisation d'un éco-BAP à base de sédiment de dragage vis-à-vis des états frais, durci et de la durabilité". Thèse de doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, Wilaya de Mostaganem, 2018.
- [68] TAIEB FATIMA. "Contribution à l'étude du retrait des mortiers de béton autoplaçant équivalent à base de sédiments de dragage". Mémoire de Master, 2019.
- [69] HADJ SADOK RACHID. "Analyse du cycle de vie des sédiments de dragage". Thèse de doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, Wilaya de Mostaganem, 2019.
- [70] ACHOUR M., BELAS N., SADOK R. H. "L'effet de l'incorporation des sédiments calcinés et de la perlite comme remplacement partiel du ciment sur le comportement des mortiers". Journal of Engineering and Exact Sciences, vol. 10, 2024.
- [71] ACHOUR M. "Évaluation environnementale et économique pour la valorisation des sédiments de dragage dans le domaine du génie civil en Algérie". Mémoire de master, Université Nour Bachir – El Bayadh, Wilaya d'El Bayadh, 2025.
- [72] BENKHADDA A., MLIWA A., MENAD O. "Architectural eco-innovation in El-Hchem (Mostaganem) : valorizing recycled local resources and crafting frugal dwellings". Mémoire de Master, Université de Mostaganem, Wilaya de Mostaganem, 2024
- [73] OUAZIR KH. "Manuel des travaux pratiques de la mécanique des sols I". Université Ibn Khaldoun de Tiaret, Wilaya de Tiaret, 2024/2025.
- [74] LE ROUX A. « Traitement des sols argileux par la chaux ». Bull. liaison Labo P. et ch. Sept.-oct., n° 40, pp 59-96, 1969.
- [75] MANGO-ITULAMYA., L. A. « Valorisation des gisements argileux pour la fabrication des Blocs de terre comprimée ». Thèse de Doctorat. Université de Liège, Liège. (2019)