



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/2026

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES MASTER ACADEMIQUE

Filière: Génie Civil

Option: Matériaux en Génie Civil

Thème:

**EFFET DU DECHET PLASTIQUE SUR LE COMPORTEMENT
PHYSIQUE ET MECANIQUE DES BRIQUES EN TERRE COMPRIMEE**

Présenté par:

- BENAMOR ISMAIL ABDELWAHAB
- BENMEHIDI ABDELHADI

Soutenu le 04/06/ 2026 devant le jury composé de:

Présidente: Pre BELAS NADIA

Examineur: Dre GUERZOU TOURKIA

Encadrant: Dr BELARIBI OMAR

Année Universitaire: 2025/2026

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

RESUME

Cette étude porte sur la valorisation des déchets plastiques (PET) et des sédiments de dragage du barrage de Chorfa II (Mascara) pour le développement de matériaux de construction durables. La méthodologie repose sur la fabrication de Briques de Terre Comprimée (BTC) composées de sédiments stabilisés avec 8% de chaux vive, en incorporant des taux de plastiques déchiquetés de 2% et 4% par rapport au poids sec.

Les résultats expérimentaux révèlent que l'ajout de plastique améliore les performances isolantes du matériau en diminuant sa conductivité thermique. Bien qu'une baisse de la résistance mécanique et une variation de l'absorption capillaire soient observées, les briques obtenues respectent les exigences techniques pour les murs de remplissage. Cette approche offre une solution double : la réduction de l'impact environnemental des déchets et l'optimisation de l'efficacité énergétique des bâtiments.

Mots-clés : Brique de Terre Comprimée (BTC), Sédiments de dragage, Déchets plastiques (PET), Conductivité thermique, Efficacité énergétique, Barrage de Chorfa II.

ABSTRACT

This study investigates the recycling of plastic waste (PET) and dredged sediments from the Chorfa II dam (Mascara) to develop sustainable construction materials. The methodology involves producing Compressed Earth Bricks (CEB) made from dredged sediments stabilized with 8% quicklime, incorporating shredded plastic at rates of 2% and 4% by dry weight.

Experimental results show that the addition of plastic enhances the insulating properties of the bricks by reducing their thermal conductivity. Although a decrease in mechanical strength and changes in capillary absorption were noted, the developed bricks remain suitable for non-load-bearing applications. This research demonstrates a viable pathway for environmental protection through waste recovery while improving the energy efficiency of modern buildings.

Keywords: Compressed Earth Brick (CEB), Dredged sediments, Plastic waste (PET), Thermal conductivity, Energy efficiency, Chorfa II dam.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تثمين النفايات البلاستيكية (PET) ورواسب التجريف المستخرجة من سد شرفة 2 (ولاية معسكر) في تطوير مواد بناء مستدامة. تركز المنهجية المتبعة على تصنيع لبنات التربة المضغوطة (BTC) باستخدام خليط مكون من رواسب السد المضافة إليها نسبة 8% من الجير الحي كمادة مثبتة، مع دمج نسب متغيرة من البلاستيك المفروم (2% و 4% من وزن الخليط الجاف).

أظهرت النتائج التجريبية أن إضافة البلاستيك تساهم في تحسين الخصائص العازلة للبنات من خلال خفض الناقلية الحرارية مما يعزز قدرة العزل الحراري للمباني. وبالرغم من تسجيل انخفاض في المقاومة الميكانيكية وزيادة في الامتصاص الشعري، إلا أن اللبنة المطورة بقيت ضمن المعايير المطلوبة للمباني غير الحاملة، مما يفتح آفاقاً واعدة لحماية البيئة وتقليل التكاليف الإنشائية.

الكلمات المفتاحية: لبنات التربة المضغوطة (BTC) ، رواسب التجريف، النفايات البلاستيكية (PET) ، الناقلية الحرارية، الكفاءة الطاقوية، سد شرفة 2.

DÉDICACES

Nous dédions cet humble travail, fruit de plusieurs années d'efforts et de sacrifices

À nos chers parents, qui nous ont soutenus et encouragés tout au long de notre parcours académique. Ils nous ont toujours apporté leur soutien moral et matériel, depuis le jour où nous avons ouvert les yeux sur ce monde. Que ce travail soit le témoignage de notre profonde gratitude.

À celui (ou celle) qui nous a donné le désir et la force de vivre, de persévérer et d'avancer malgré les obstacles.

À nos frères et sœurs, pour leur présence et leur affection constante.

À tous nos amis, sans exception, qui ont été présents à nos côtés, nous soutenant et partageant des moments de joie et d'entraide.

À tous nos enseignants, qui nous ont transmis le savoir avec dévouement.

Enfin, à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce projet.

REMERCIEMENTS

Avant de débiter ce mémoire, nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Nous remercions tout d'abord « **ALLAH** » de nous avoir donné la force, la patience et le courage nécessaires pour mener à bien ce projet.

Nous tenons à adresser nos plus profonds remerciements à notre encadrant, Monsieur **BELARIBI OMAR**, pour sa disponibilité, ses précieux conseils, ainsi que 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 **BELAS NADIA**, pour avoir accepté de présider le jury, ainsi qu'à Mme **GUERZOU TOURKIA**, pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nos remerciements vont également à **Mr KHALIFA**, technicien de laboratoire, pour son aide précieuse, sa disponibilité et son dévouement lors de la phase expérimentale.

Enfin, nous remercions l'ensemble des enseignants du département de Génie Civil de l'Université de Mostaganem pour la qualité de la formation qu'ils nous ont dispensée tout au long de notre cursus.

SOMMAIRE

RESUME	I
ABSTRACT	II
المخلص	III
DÉDICACES	IV
REMERCIEMENTS.....	V
LISTE DES FIGURES.....	X
LISTE DES TABLEAUX	XIII
INTRODUCTION GENERALE	2
CHAPITRE I: LES DECHETS EN PLASTIQUE.....	4
I.1. INTRODUCTION.....	4
I.2. HISTORIQUE.....	5
I.3. DEFINITION DU PLASTIQUE.....	5
I.4. LES DIFFERENTS TYPES DE PLASTIQUE.....	5
I.4.1. Thermoplastiques.....	6
I.4.2. Thermodurcissables	6
I.4.3. Elastomères.....	6
I.5. IMPORTANCE D’UTILISATION DES PLASTIQUES	6
I.6. LE RECYCLAGE DU PLASTIQUE	6
I.7. VALORISATION DE PLASTIQUE	7
I.7.1. La valorisation énergétique	7
I.7.2. La valorisation mécanique.....	8
I.7.3. La valorisation chimique	8
I.8. LES AVANTAGES DU PLASTIQUE.....	8
I.9. LES INCONVENIENTS DU PLASTIQUE	8
I.10. DCHETS PLASTIQUES	9
I.11. DECHETS PLASTIQUES EN CHIFFRES	9
I.12. L’IMPACT DES DECHETS PLASTIQUES SUR L’ENVIRONNEMENT	10
I.13. LA GESTION DES DECHETS PLASTIQUES	10
I.14. ORIGINE DES DECHETS PLASTIQUES	11
I.15. DECHETS D’EMBALLAGES.....	11
I.15.1. Polyéthylène basse densité (PEBD)	11
I.15.2.Polyéthylène hautes densité (PEHD).....	11
I.15.3.Polystyrène (PS)	11
I.15.4.Polypropylène	11
I.15.5. Polyéthylène téréphtalate (PET)	11
I.16. POLYETHYLENE TEREPHTALATE (PET)	12
I.16.1. Définition des PET	12
I.16.2. Types des PET	13
I.16.2.1. Fibre en plastique	13
I.16.2.2. Fines particules des PET	14
I.16.2.3. Agrégats	14

I.16.3. Propriétés des PET	15
I.16.3.1. Masse spécifique	15
I.16.3.2. Propriétés thermiques et électriques	15
I.16.3.3. Résistance au feu.....	15
I.16.3.4. Comportement mécanique	16
I.16.3.5. Résistance au choc	16
I.16.3.6. Résistance aux agents chimiques et aux intempéries.....	16
I.16.3.7. Densité	17
I.16.4. Valorisation des déchets plastiques dans les matériaux cimentaires	18
I.17. CONCLUSION	18
CHAPITRE II: GENERALITES SUR LES BLOCS DE TERRE COMPRIMEE	20
II.1. INTRODUCTION	20
II.2. HISTORIQUE.....	20
II.3. FRACTIONS GRANULOMETRIQUE	23
II.4. LA TERRE.....	24
II.4.1. Définition	24
II.4.2. caractérisation des principales techniques constructives de la terre crue.....	24
II.5. BLOC DE TERRE COMPRIMEE (BTC).....	26
II.5.1. Définition	26
II.5.2. Diversités des produits de blocs de terre comprimée :.....	27
II.6. ACTUALITE DE L'ARCHITECTURE DE TERRE EN ALGERIE	29
II.7. LA CONSTRUCTION EN BLOC DE TERRE COMPRIMEE DANS LE MONDE .	31
II.8. RAPPEL SUR LES ARGILES	32
II.8.1. Définition	32
II.8.2. Principaux types d'argiles	32
II.8.3. Classification des argiles	32
II.9. STABILISATION.....	33
II.9.1. Définition	33
II.9.2. Objectif.....	33
II.9.3. procédés.....	33
II.9.4. Moyens de stabilisation.....	34
II.9.5. Stabilisation au ciment	34
II.9.6. Stabilisation à la chaux.....	35
II.9.6.1. Définition.....	35
II.9.6.2. Composition de la chaux	36
II.9.6.3. Caractéristiques	36
II.9.7. Densification par compression	36
II.10. CONCLUSION.....	37
CHAPITRE III: SYNTHESE DES TRAVAUX SUR LES BTC.....	39
III.1. INTRODUCTION	39
III.2 LA RESISTANCE A LA COMPRESSION	39
III.2.1. Influence de la stabilisation à la chaux	39
III.2.2. Influence du renforcement par les fibres synthétiques (Polypropylène).....	40
III.2.3. Effet de l'incorporation des déchets plastiques	41

III.3. L'ABSORPTION D'EAU	42
III.3.1. Effet de l'incorporation des déchets plastiques	43
III.3.2. Influence de la chaux et du compactage	44
III.3.3. Rôle des ajouts minéraux (Pouzzolane)	45
III.3.4. Évaluation par le test de sensibilité à l'eau.....	45
III.4. L'ETUDE THERMIQUE.....	46
III.5. CONCLUSION	47
PROBLÉMATIQUE.....	49
OBJECTIFS DU TRAVAIL	49
CHAPITRE IV: MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES	52
IV.1. INTRODUCTION.....	52
IV.2. MATERIAUX.....	52
IV.2.1. Sédiments de dragage	52
IV.2.2. La chaux.....	54
IV.2.3. PET	55
IV.3. ESSAIS REALISES	56
IV.3.1 la masse volumique.....	56
IV.3.1.1. Masse volumique apparente (selon la norme NA EN 1097)	56
IV.3.1.2. Masse volumique absolue (selon la norme NF EN 1097)	57
IV.3.2. Limite atterberg.....	59
IV.3.2.1. Définition	59
IV.3.2.2. Mode opératoire	59
IV.3.2.3. Détermination de la limite de plasticité (WP).....	60
IV.3.2.4. Indice de plasticité IP	61
IV.3.2.5. Calcul	61
IV.3.3. Essais bleu de methylene	61
IV.3.3.1. Définition et Objectif	61
IV.3.3.2. Principe de l'essai	61
IV.3.3.3. Procédure Expérimentale	61
IV.3.3.4. Formules de calcul	63
IV.3.3.5. Classification du sol	63
IV.3.4. Préparation des briques.....	63
IV.3.4.1. Matériel spécifique.....	63
IV.3.4.2. Formulation des briques.....	64
IV.3.4.3. Méthodologie de préparation et de confection des briques.....	64
IV.3.5. Résistances mécaniques.....	65
IV.3.5.1. Résistance à la flexion: EN 12390-4.....	65
IV.3.5.2. Essai de résistance à la compression (Norme EN 12390-3)	66
IV.3.6. Essai de durabilité.....	67
IV.3.6.1 Absorption capillaire.....	67
IV.3.6.2. Essai d'absorption totale d'eau	69
IV.3.7. Essai thermique.....	70
IV.3.7.1. Définition et Objectif	70
IV.3.7.2. Mode opératoire	70

IV.4 CONCLUSION	71
CHAPITRE V: RÉSULTATS ET ANALYSE	73
V.1. INTRODUCTION	73
V.2. MASSE VOLUMIQUE.....	73
V.3. LIMITES D'ATTERBERG.....	74
V.3.1. Méthodes de mesure.....	74
V.3.2. Formules de calcul	74
V.3.3. Résultats et interprétation.....	74
V.4. TEST AU BLEU DE MÉTHYLÈNE.....	75
V.4.1. Méthode de mesure (Test de la tache)	75
V.4.2. Résultats et Interprétation	75
V.5. ESSAIS DE RÉSISTANCE MÉCANIQUE	76
V.5.1. Résistance à la flexion.....	77
V.5.2. Résistance à la compression.....	78
V.5.3. Étude comparative stabilisation à la chaux vs au ciment (À 28 jours)	79
V.6. ESSAI D'ABSORPTION.....	80
V.6.1. Absorption d'eau par capillarité	80
V.6.2. Absorption totale d'eau	81
V.7. ESSAI THERMIQUE.....	82
V.9. CONCLUSION.....	83
CONCLUSION GENERALE.....	86
PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....	87
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	89

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Différents types de plastique [6].....	5
Figure I.2. Recyclage de ces plastiques [9].....	7
Figure I.3. Les déchets dans les décharges [11].....	9
Figure I.4. Différents types de déchets d’emballages en plastique [11]	12
Figure.I.5. Microstructure du poly d’éthylène téréphtalate [16]	12
Figure I.6. Composition chimique de PET [17].....	13
Figure I.7. Bouteilles en PET.....	13
Figure I.8. Fibre de verre.....	14
Figure I.9. Fibres de carbone.....	14
Figure I.10. Fibres de polypropylène.	14
Figure I.11. PET agrégats fins et grossiers [21].....	14
Figure I.12. PET d'une forme angulaire (à gauche) et forme de pastilles (à droite) [21].	15
Figure II.1. Exemples anciens de constructions en terre [27].....	20
Figure II.2. Exemples récents de construction en terre [57].	21
Figure II.3. Architecture de terre dans le monde [58].....	22
Figure II.4. Une construction faite en terre crue [59].	22
Figure II.5. Classification des grains [26].....	23
Figure II.6. Granularité continue de la terre [26].....	23
Figure II.7. Coupe dans la couche de terre [32].....	24
Figure II.8. "Roue" des techniques de construction en terre [60].	25
Figure II.9. Comparaison de différentes techniques de constructions terre [36].	26
Figure II.10. Cycle de production des blocs de terre comprimée [62].....	27
Figure II.11. Brique de terre crue compressée réalisée à l’aide d’une presse manuelle [38].	27
Figure II.12. Différents produits de blocs de terre comprimée [48].	28
Figure II.13. Atelier d’initiation aux techniques Prototypede en terre. Timimoun [64].....	30
Figure II.14. Premières assises du Souidania 1999 [64].....	30
Figure II.15. Nouveau village agricole de Maadher, près de M’sila en Algérie construit en parpaings de terre stabilisée en 1980 par deux architectes, les frères El Miniaway [64].....	30
Figure II.16. Maison construit en terre de la ville Magra wilaya de M’sila [64].....	31
Figure II.17. Maison palmier à Marrakech, Maroc [64].	31

Figure II.18 . Domaine de la terre, l'Isle d'Abeau, France [64].	31
Figure II.19. Atelier électronique, Ecole, Auroville, Inde [64].	32
Figure II.20. Le cycle de chaux [47].	36
Figure II.21. Effet du compactage sur les vides des sols [39].	37
Figure III.1. Résistance à la compression sèche en fonction de la teneur en chaux [48].	40
Figure III.2. Résistance à la compression sèche du BTC en fonction du chaux [48].	40
Figure III.3. Résistance à la compression sèche en fonction de la teneur en fibres [48].	41
Figure III.4. Résistance à la compression en fonction du temps des BTC [49].	41
Figure III.5. Résultats de l'effort de compression [50].	42
Figure III.6. L'absorption totale des BTC à 28 jours [49].	43
Figure III.7. Pourcentage de variation de poids avant et après absorption totale [50].	44
Figure III.8. Influence du compactage et de la chaux sur l'absorption d'eau [51].	44
Figure III.9. Influence du dosage en ajouts sur l'absorption totale [53].	45
Figure III.10. Essai de tenue à l'eau des échantillons de BTC [55].	45
Figure III.11. Variation de la conductivité thermique des BTC en fonction de la teneur en PZ et en ciment [69].	46
Figure III.12. Corrélation entre la conductivité thermique et la masse volumique [69].	46
Figure IV.1. Plan de situation du barrage Chorfa II [70]	53
Figure IV. 2. Les étapes de traitement des sédiments de dragage [73].	53
Figure IV.3. La chaux	54
Figure IV.4. Emplacements des décharges techniques à Mostaganem [74].	55
Figure IV.5. PET utilisé	55
Figure IV.6. Mesure de la masse volumique apparente de l'argile.	57
Figure IV.7. Mesure de la masse volumique absolue de l'argile	58
Figure IV.8. Mesure du volume absolue de PET	59
Figure IV.9. Appareil de Casagrande utilisé pour la détermination de la limite de liquidité.	60
Figure IV.10. Préparation du mélange argil eau	60
Figure IV.11. Remplissage de la coupelle de Casagrande	60
Figure IV.12. Réalisation de la rainure normalisée.	60
Figure IV.13. Prélèvement de part et d'autre de la zone de contact.	60
Figure IV.14. Formation d'une boulette d'argile maniable.	60
Figure IV.15. Réalisation du rouleau d'argile	60

Figure IV .16. Tests de la tâche de l'essai au bleu de méthylène.....	62
Figure IV.17. Moule métallique utilisé pour la confection des briques.....	63
Figure IV.18. Étapes de fabrication des briques à l'aide de la presse manuelle.....	65
Figure IV.19. Essai de flexion.....	66
Figure IV.20. Essai de compression.....	67
Figure IV.21. Principe de l'essai d'absorption capillaire	68
Figure IV.22. Dispositif expérimental de l'essai d'absorption totale par immersion.	70
Figure IV.23. L'appareil utilisé Pour mesurer la conductivité thermique	71
Figure IV.24. Mesure de la conductivité thermique des BTC à l'aide de KD2- Pro.....	71
Figure V.1. Courbe de Casagrande : Détermination de la limite de liquidité	75
Figure V.2. Nature du sol en fonction de la VBS.....	76
Figure V.3. Représente l'influence de l'ajout du déchet en plastique sur la résistance à la traction des BTC.....	77
Figure V.4. Évolution de la résistance à la flexion	78
Figure V.5. Évolution de la résistance à la compression.....	78
Figure V.6. La résistance à la compression des BTC à base de 8% de Chaux et de Ciment à 28 Jours	79
Figure V.7. L'absorption capillaire des BTC à 28 jours	81
Figure V.8. L'absorption totale des BTC à 28 jours	82
Figure V.9. Variation de la conductivité thermique des BTC en fonction du PET à 28 jours.....	83

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.I.1. Propriétés mécaniques et thermiques des PET [24].	17
Tableau II.1. Les différentes techniques de construction en terre crue [61].....	25
Tableau II.2. Les opérations de construction en terre en Algérie [41].	29
Tableau II.3. Moyens de stabilisation des terres remaniées	34
Tableau IV.1. Masses volumiques des sédiments du barrage de Chorfa II.	53
Tableau IV.2. Compositions chimiques de sédiments en utilisant XRF (% en poids) [72].	54
Tableau IV.3. Analyse chimique et caractéristiques physiques de la chaux vive [52].....	54
Tableau IV.4. Propriétés physico-chimique, mécaniques et thermique du PET masse [74]. .	55
TableauIV.5. Type de sol en fonction d'IP.....	61
Tableau IV.6. Classification du sol selon la valeur VBS [8].	63
Tableau IV.7. Codification des mélanges	64
Tableau V.1. Résultats des masses volumiques apparente et absolue.	73
Tableau V.2. Détermination de la limite de liquidité (WL) et de la limite de plasticité (WP) des échantillons de sol.....	74
Tableau V.3. Résultat des résistances mécaniques des BTC.	77
Tableau.V.4. Différence de poids entre avant et après absorption capillaire, en grammes	80
Tableau V.5. Différence de poids entre avant et après absorption totale, en grammes	81
Tableau V.6. Conductivités thermiques	82

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

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.

CHAPITRE I : LES DECHETS EN PLASTIQUE

CHAPITRE I: LES DECHETS EN PLASTIQUE

I.1. INTRODUCTION

Les déchets de démolition, scories, etc. restent relativement limités avec les plastiques. Il se produit principalement dans les travaux routiers, de terrassement et de surface quels processus ont été mise en point.

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 19ème et 20ème siècles ont développé de nouveaux produits : les matières plastiques [1].

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 [1].

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 [1].

En Algérie, L'Agence nationale des déchets estime, par ailleurs, que la valeur économique des déchets plastiques non recyclés atteint environ 6 milliards de dinars par an. Si ces déchets étaient correctement collectés, triés et valorisés, ils pourraient alimenter des industries de recyclage, produire des granulés plastiques, des matériaux de construction ou des produits d'emballage, tout en créant des emplois dans le secteur de l'économie circulaire [2].

Sur le plan national, la consommation de plastique connaît une croissance continue. Elle dépasse 20 à 25 kg/an par habitant, ce qui reflète l'augmentation de l'utilisation du plastique dans l'emballage, la construction, l'industrie et les biens de consommation. [2].

Les importations de matières premières plastiques sont également très importantes : en 2025, l'Algérie avait importé près de 2,98 milliards de dollars de plastique, contre environ 2 milliards de dollars en 2018, ce qui illustre la dépendance croissante vis-à-vis des plastiques pétrochimiques. [2].

I.2. HISTORIQUE

Le premier plastique créé, en 1873, le « Celluloïd » avait un objectif écologique, dans le sens où il se substituait à l'ivoire et limitait ainsi la chasse aux éléphants.

La rareté de la nacre devenue très couteuse a incitée les artisans de la région d'Oyonnax en France, à la remplacer dans la plasturgie. C'est l'origine de la spécialisation dans la plasturgie dans ce qu'on a appelé depuis le plastic volley.

A partir de cette époque de nouveaux matériaux polymères ont été créés le PVC, les Polypropylènes (PP), les polyéthylènes (PE), etc. il s'agit bien des matières nouvelles en les comparant aux matériaux traditionnelles (le bois, le verre.) [3].

I.3. DEFINITION DU PLASTIQUE

Le plastique est une matière synthétique composée de polymères, qui a la propriété d'être moulée ou modelée facilement après chauffage et qui peut être souple ou rigide. On appelle polymère une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères (ou motifs monomères) reliées par des liaisons covalentes [4]. La majorité des plastiques (99%) utilisée dans le monde est fabriquée à partir de pétrole et de gaz naturel [5].

I.4. LES DIFFERENTS TYPES DE PLASTIQUE

Il existe trois grandes catégories de polymères : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères. La figure 1.1 présente les différentes résines entrant dans la composition du plastique.

LES TYPES DE PLASTIQUE		
TYPES DE RÉSINE	CODES	EXEMPLES DE PRODUITS
Polyéthylène téréphtalate (PET) Polyéthylène (PE)	 PÉT	Boissons gazeuses (PET) et certains emballages
Polyéthylène haute densité (HDPE)	 PÉhd	Bouteilles d'usage domestique ou alimentaire Contenants de margarine, bouteilles de détergents
Polychlorure vinyle (PVC)	 PVC	Eau de javel, shampoing, revêtements de maison, clôtures, cadres de portes ou fenêtres, réservoirs, gants
Polyéthylène basse densité (LDPE)	 PÉbd	Emballages, sacs, pellicules
Polypropylène (PP)	 PP	Contenants de yogourt, couvercles de pots et certains contenants, sacs de croustilles
Polystyrène (PS)	 PS	Contenants, plats en styromousse, ustensiles, panneau isolant
Autres types de plastique	 AUTRE	Bouteilles de ketchup,



Figure I.1. Différents types de plastique [6].

I.4.1. Thermoplastiques

Les polymères ou les résines thermoplastiques sont des composés, dérivés d'éléments constitutifs organiques se formant naturellement, qui fondent lorsqu'on les chauffe. .

En fonction de la polymérisation on obtient différents produits qui sont :

- Les PVC (Chlorure de Polyvinyle)
- Les polyéthylènes
- Les polystyrènes
- Les polypropylènes [6].

I.4.2. Thermodurcissables

Comme les précédents, elles sont constituées de réseaux tridimensionnels mais avec un maillage beaucoup plus serré. Cela donne des matières plastiques rigides que même la chaleur ne peut faire changer d'état physique [7].

I.4.3. Elastomères

Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Les élastomères sont caractérisés par leur grande déformabilité (6 à 8 fois leur longueur initiale), et sont obtenus à partir de polymères linéaires caractérisés par des liaisons extrêmement faibles [6].

I.5. IMPORTANCE D'UTILISATION DES PLASTIQUES

Cette importance réside dans le fait que :

- Les plastiques sont peu coûteux.
- Les plastiques ont des propriétés physico-chimiques variées.
- Les plastiques peuvent être facilement modelés ou moulés, pour prendre les formes souhaitées les plus variées.
- Les plastiques sont légers et donc moins coûteux à transporter que les matériaux à base de métal ou de bois [8].
- Les plastiques sont d'excellents isolants thermiques.
- Les plastiques sont relativement durables. Ils sont peu sensibles à la corrosion et aux intempéries.
- Les plastiques sont faciles à nettoyer.

I.6. LE RECYCLAGE DU PLASTIQUE

Il est considéré comme l'une des meilleures voies de prise en compte du développement durable. Il est devenu, à cet effet, une priorité en termes de gestion du développement durable. Jusqu'à récemment, la plupart des objets plastiques en fin de vie étaient mis en décharge. La

tendance, aujourd'hui, est de valoriser au maximum ces plastiques usagés (non biodégradables), soit en le recyclant, soit, si cela n'est pas possible pour des raisons techniques ou économiques, en les brûlant dans des incinérateurs pour produire de l'énergie.

Pour le recyclage de ces plastiques, il n'existe pas de bon ou de mauvais moyen, ni de voie unique. En la matière, les systèmes de gestion varient selon les pays en fonction de leurs particularités, de leurs choix stratégiques et des technologies disponibles. En outre, les conditions n'étant pas les mêmes en zone rurale et en zone urbanisée, plusieurs solutions différentes peuvent être mises en œuvre dans un même pays.

La figure I.2 illustre les différentes étapes du recyclage des déchets plastiques, depuis leur collecte et tri jusqu'à leur transformation en nouveaux matériaux réutilisables [9].

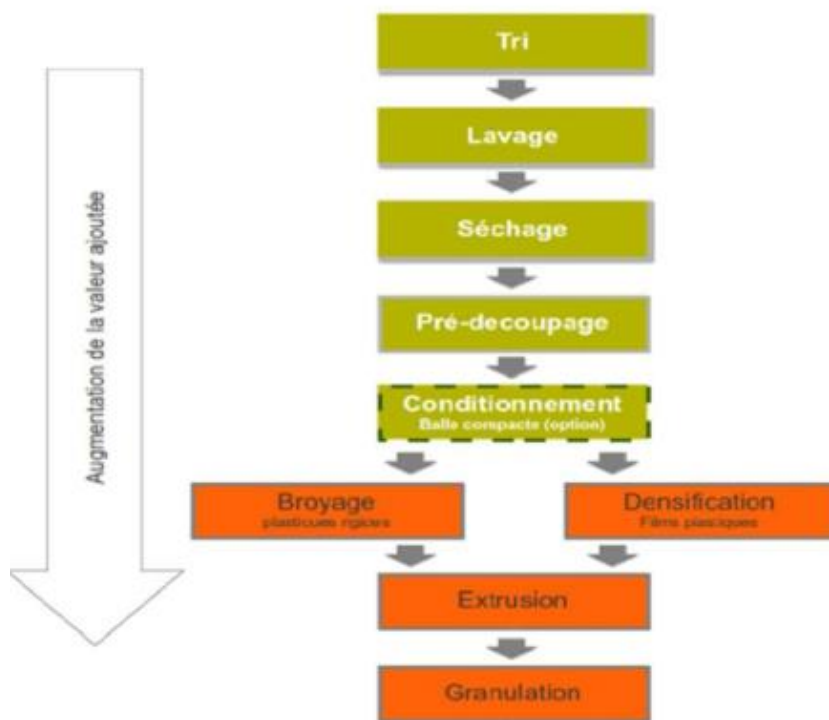


Figure I.2. Recyclage de ces plastiques [9].

I.7. VALORISATION DE PLASTIQUE

Il existe en général trois grandes méthodes de valorisation du plastique [10]:

I.7.1. La valorisation énergétique

Consiste à incinérer les déchets plastiques pour récupérer l'énergie qu'ils contiennent sous forme de chaleur. Les plastiques, composés de pétrole raffiné, ont une capacité calorifique

proche de celui-ci. Cette méthode de valorisation permet de recycler une grande partie des déchets plastiques.

I.7.2. La valorisation mécanique

Consiste à réutiliser les déchets plastiques avec un minimum de transformation de la matière. Cette technique est utilisée pour le traitement des déchets thermoplastiques. Elle repose avant tout sur une collecte sélective ou un tri des déchets plastiques à partir des ordures ménagères. Il est très souvent nécessaire d'avoir des déchets plastiques triés par type de résine plastique. Plus le tri n'est efficace, plus le produit obtenu est de bonne qualité.

I.7.3. La valorisation chimique

Consiste à transformer la matière plastique en molécule de base (polymère, ester...), pouvant servir à la synthèse d'une nouvelle matière plastique, ou pour la pétrochimie. Ces technologies sont encore peu développées ou limitées à certaines natures de résines plastiques.

I.8. LES AVANTAGES DU PLASTIQUE

Le plastique présente plusieurs avantages qui expliquent son utilisation répandue:

- C'est la raison pour laquelle d'industrie du plastique s'est unie pour faire connaître 10 avantages apportés par ce type de matériau [1].
- Ce sont de bons matériaux totalement sûrs pour la santé.
- Ils conservent les aliments et réduisent leur gaspillage.
- Ils sauvent des vies.
- Ils sont des utilisations de longue durée

I.9. LES INCONVENIENTS DU PLASTIQUE

Cependant, malgré ses nombreux avantages, le plastique présente également des inconvénients qu'il est important de considérer:

- L'utilisation des produits chimiques potentiellement dangereux pour la nature terrestre, qui sont ajoutés comme stabilisateurs ou colorants dans la fabrication des plastiques.
- La plupart des plastiques ne sont pas biodégradables et mettent beaucoup de temps voire des centaines d'années à se décomposer.
- Les produits en plastiques, en particulier les emballages en plastique que les humains se débarrassent juste après leur achat et qui affectent ainsi l'aspect environnement et la santé publique.

- Leur collecte pour recyclage de meure insuffisante. Quant à leur distribution dans des centres d'enfouissement technique (CET) efficace de meure une préoccupation majeure pour les pouvoirs publics. [1]

I.10. DCHETS PLASTIQUES

Les déchets, d'origine plastique, constituent un des graves problèmes .En effet, l'augmentation de la population mondiale et sa concentration dans les villes, ainsi que le développement d'équipements industriels et de biens de consommation génèrent des quantités astronomiques de résidus plastiques.

Depuis ces vingt dernières années, les déchets en matières plastiques représentent une part importante des déchets solides municipaux. De plus, ils posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie, leur quantité et parce que ce sont des déchets voyants. Leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social.

La consommation des matières plastiques ne cessent d'augmenter dans le mondes y compris dans l'Algérie, et cela à cause de leur utilisation dans divers domaines : emballage, automobiles, construction...etc. Ces matières génèrent après utilisation un grand volume de déchets dans les décharges (Figure I.3.). [11].



Figure I.3. Les déchets dans les décharges [11].

I.11. DECHETS PLASTIQUES EN CHIFFRES

Les matières plastiques sont des matériaux relativement nouveaux qui n'ont été introduits dans la production industrielle qu'en 1907.

Ils sont actuellement omniprésents dans les produits industriels et les biens de consommation, et la vie moderne est inimaginable sans eux. Dans le même temps, les caractéristiques qui rendent les matières plastiques si utiles, tels que leur durabilité, leur légèreté et leur faible coût, compliquent leur élimination. 280 millions de tonnes de plastique sont produits dans le monde en 2012, soit plus près de 8.880 kilos de plastique par seconde (compteur), consommant 8%

environ de la production mondiale de pétrole. 25 millions de tonnes de déchets plastiques collectés en Europe chaque année dont seulement 25% sont recyclés

La production des matières plastiques croît avec le PIB¹² et s'accompagne d'une augmentation globale du volume de déchets plastiques de 5,7 Mt (23 %) entre 2008 et 2015. Cela est dû principalement à une hausse de 24 % dans le secteur de l'emballage, et s'inscrit dans un accroissement continu du volume de déchets plastiques en Europe. Sans une meilleure conception des produits et une meilleure gestion des déchets, les déchets plastiques ne feront qu'augmenter dans l'Union, au même rythme que la production [11].

I.12. L'IMPACT DES DECHETS PLASTIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT

Les plastiques sont devenus une partie inséparable et intégrale de notre vie, la quantité de plastiques consommés annuellement se développe 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.

Les déchets plastiques sont considérés comme un sérieux problème environnemental et universel. 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.

Les espaces d'enfouissement requis pour les déchets plastiques sont une préoccupation croissante.

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 [12].

I.13. LA GESTION DES DECHETS PLASTIQUES

La gestion des déchets plastiques s'avère donc plus qu'inévitable afin de pallier à ce problème de pollution qui ne cesse de croître d'années en années. Toutefois, cela nécessite la mise en place des filières de traitement ou de valorisation des déchets. Afin d'engager une politique de gestion et de valorisation des déchets pour limiter les dégâts écologiques il demeure nécessaire une politique de transformation nécessitant une main d'œuvre qualifiée.

De nombreux travaux de recherche ont été menés à travers le monde sur l'utilisation des produits plastiques. Ce domaine de recherche occupe une place importante dans le contexte des matériaux de construction durables [13]. Dans ce contexte, les déchets plastiques tels que le polyéthylène (PE), polychlorure de vinyle (PVC), le caoutchouc, sont utilisés comme agrégats dans les mortiers et bétons. L'Algérie reste loin derrière la plupart des pays en termes de recherches et d'applications des matériaux de construction durables tels que la substitution des agrégats par les plastiques dans le béton ou mortier.

Toutefois, l'absence de procédés de transformation de ces matériaux peut fortement empêcher leur application dans le domaine de la construction. L'utilisation des déchets plastiques dans le domaine de la construction peut jouer un rôle important dans le contexte économique du pays [14].

I.14. ORIGINE DES DECHETS PLASTIQUES

Les déchets plastiques se répartissent en 5 grandes familles [11]:

Déchets automobiles

Déchets de l'industrie des chaussures et pneu usagé

Déchets de constructions et bâtiments

Déchets de l'agriculture

Déchets d'emballages

I.15. DECHETS D'EMBALLAGES

Ce domaine représente la plus grande partie des déchets (Figure I.4), la durée de vie de ces produits à l'utilisation est courte et varie de quelques jours à quelques mois. Les différentes résines utilisées dans le domaine d'emballage sont [11].

I.15.1. Polyéthylène basse densité (PEBD)

Le PEBD est très utilisé pour la fabrication des produits souples tels que les sacs, sachets, sacs poubelles, bouteilles (ketchup, shampoing). Les principaux producteurs de ces emballages sont : Soummam Plast, Multi Plast, All Plast et EURL Plast Imeral.

I.15.2. Polyéthylène haute densité (PEHD)

Les différents emballages à base de PEHD sont produits par Akbou plastiques, Soummam Plast, ENCG et Meri Plast. Le PEHD est utilisé pour des objets plastiques rigides on le trouve par exemple sous forme de bouteilles (lait, yaourt), flacons (lessives, huiles) et des bacs poubelles.

I.15.3. Polystyrène (PS)

Très utilisé pour l'emballage des pots de yaourt, les verres en plastiques, ce type d'emballage est produit par Soummam, Danone, Batelec et All Plast.

I.15.4. Polypropylène

En raison de son aspect brillant et de sa résistance le PP est utilisé pour les emballages alimentaires tels que les films, barquettes de margarine et caisse pour fruit et légumes qui sont fabriqués par All Plast et Batelec.

I.15.5. Polyéthylène téréphtalate (PET)

Ce polymère est très utilisé pour l'emballage de boissons (eau minérale, jus, soda, huiles), les principaux producteurs sont : Toudja, Ifri, Cevital.

La figure II.4 donne un aspect général sur les différents types d'emballage plastiques:



Figure I.4. Différents types de déchets d'emballages en plastique [11]

I.16. POLYETHYLENE TEREPHTALATE (PET)

I.16.1. Définition des PET

Le polyéthylène téréphtalate PET utilisé principalement pour les emballages de boisson, est produit à partir de pétrole de la famille des thermoplastiques, il remplace progressivement le verre grâce à sa résistance aux chocs.

Les PET sont constitués d'unité polymérisation du monomère téréphtalate d'éthylène avec des unités répétitive $C_{10}H_8O_4$ et, par conséquent, la formule moléculaire du PET peut être représentée par $(C_{10}H_8O_4)_n$ [15].

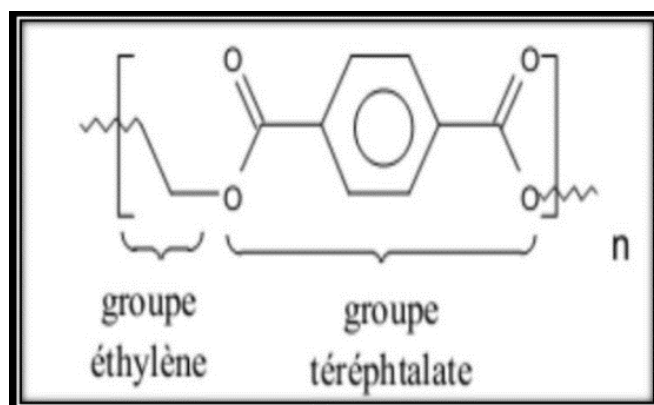


Figure.I.5. Microstructure du poly d'éthylène téréphtalate [16]

Le PET est un polymère obtenu par la polycondensation de deux composants : le diméthyltéréphtalate et l'éthylène glycol (Figure I.6). Les chaînes vont s'arranger et former des fibres résistantes. Le PET est surtout employé pour la fabrication de fils textiles, de films et de bouteilles (Figure I.7). L'inventeur des bouteilles en PET, Nathaniel Wyeth voulait faire une bouteille incassable. Cependant, ce plastique devient mou à moyenne température et présente une bonne résistance thermique jusqu'à 260 °C. Cette propriété empêche de consigner les bouteilles en PET car il faut les laver à une température trop haute. Pour cette même raison, on ne peut pas l'utiliser pour les confitures qui sont coulées chaudes dans les pots [14].

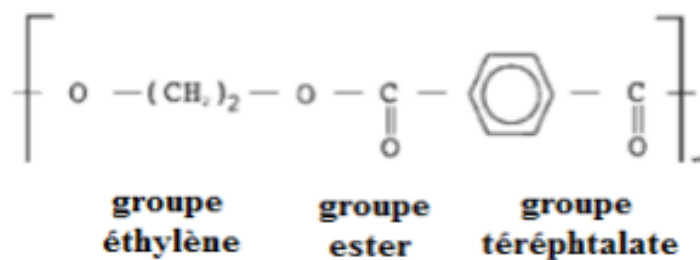


Figure I.6. Composition chimique de PET [17]



Figure I.7. Bouteilles en PET.

I.16.2. Types des PET

I.16.2.1. Fibre en plastique

On les trouve sous des formes et des dimensions diverses. Parmi les fibres les plus utilisées dans le renforcement des matériaux du Génie Civil et les Travaux Publics on peut citer : Les fibres de polypropylène (Figure I.10), d'amiantes, de carbone (Figure I.9), de verres (Figure I.8), les fibres végétales et métalliques [18]. Ils existent les mono filaments PET qui peuvent être soit signalables, soit non flagellables, droits ou sertis, avec différents profils et diamètres, allant de 0,12 mm à 2,00 mm [19].



Figure I.8.Fibre de verre. **Figure I.9.** Fibres de carbone. **Figure I.10.** Fibres de polypropylène.

I.16.2.2. Fines particules des PET

On obtient la poudre des bouteilles de PET par l'écrasement et le broyage des bouteilles.

Les tailles moyennes des particules de PET étaient respectivement de 0,25 et 0,50 cm (respectivement petits et grands) et ont été estimées sur la base de mesures effectuées sur des micrographies au moyen d'une loupe électronique [20].

I.16.2.3. Agrégats

Le granulé en plastique est produit à partir de flops en plastique. Ce matériau est constitué de prédécesseurs et des grains de PET de taille égale, exempts de niveau microscopique. Ils existent :

- Le granulat déchiqueté (une forme angulaire)
- Agrégats de PET fins et grossiers (Figure I.11).
- Agrégat de PET en forme de pastille (Figure I.12).



Figure I.11. PET agrégats fins et grossiers [21].



Figure I.12. PET d'une forme angulaire (à gauche) et forme de pastilles (à droite) [21].

I.16.3. Propriétés des PET

I.16.3.1. Masse spécifique

La masse spécifique de la plupart des plastiques est bien plus faible que celle des métaux, ce qui est très utile lorsqu'on veut obtenir une diminution de poids car certains plastiques sont, à poids égal, plus résistants que les métaux. Cependant, à volume égal, c'est habituellement le contraire qui se produit. La masse spécifique des polymères et des plastiques se situe normalement entre 0.83 et 2.50 g/cm³. Pour les plastiques alvéolaires elle peut descendre jusqu'à 0.01 g/cm³ et pour les plastiques contenant des charges, elle peut atteindre 3.50 g/cm³ [22].

I.16.3.2. Propriétés thermiques et électriques

En tant que matériaux organiques, les polymères et les plastiques ont, à quelques exceptions près, une stabilité thermique bien plus faible que celle des métaux, surtout au contact de l'oxygène. Lorsqu'ils sont chauffés à des températures de plus en plus élevées, les matériaux thermoplastiques passent lentement de l'état solide plus ou moins rigide à l'état de liquide très visqueux. Même si sous l'effet de la chaleur les matériaux thermodurcissables ne perdent pas leur rigidité de façon appréciable, un chauffage trop intense ou prolongé provoque un durcissement excessif, une contraction, une carbonisation ou une désintégration. Les coefficients de dilatation thermique des plastiques (de 4 à 20 x 10⁻⁵/°C ; de 2 à 11 x 10⁻⁵/°F) sont beaucoup plus élevés que ceux des métaux ordinaires (de 1.0 à 2.5 x 10⁻⁵/°C ; de 0.6 à 1.4 x 10⁻⁵/°F). En général, les polymères et les plastiques dérivés sont de bons isolants électriques, certains excellents même, comme le polytétrafluoréthylène [22].

I.16.3.3. Résistance au feu

Les plastiques se comportent différemment sous l'action du feu, certains s'enflamment, d'autres brûlent rapidement ou lentement, et d'autres sont auto extingnibles. La nature des polymères et des substances comme les charges, les matériaux de renforcement, les plastifiants ou les adjuvants ignifugeants, déterminent le degré d'inflammabilité. Les polymères halogénés tels que le PVC ou le PVC chloruré, sont naturellement ignifuges, lorsqu'ils sont chauffés, ils

libèrent des gaz halogènes qui interrompent la réaction d'oxydation en chaîne par radicaux libres.

Cependant, si l'on ajoute des plastifiants, le PVC devient inflammable. La résistance au feu des plastiques peut être améliorée par l'adjonction d'adjuvants appropriés ou par l'emploi de polymères naturellement ignifugeants [14].

I.16.3.4. Comportement mécanique

Les matériaux polymères sont utiles principalement en raison de leurs propriétés mécaniques. Par rapport aux métaux, les polymères et les plastiques ont un faible module¹⁷ d'élasticité et leur rapport résistance/poids est plus élevé. Les objets et structures en plastique ont des degrés de résistance au choc très variables, allant de très fragile à très tenace.

Le comportement des polymères à la déformation diffère de celui des métaux de construction en ce qu'il n'est pas seulement fonction de l'ordre de grandeur de la contrainte, mais également de la durée d'application. Le fluage des polymères et des plastiques peut être important, même à la température ambiante, alors que pour les métaux, il ne l'est jamais audessous de 500°C. De plus, la température et le mode d'application de la contrainte affectent beaucoup plus les propriétés mécaniques des polymères et des plastiques que celles des métaux.

Ces propriétés peuvent aussi être influencées par le procédé de fabrication, un traitement ultérieur et l'âge du produit fini. Les polymères n'obéissent pas à la loi de Hooke, mais ont un comportement dit viscoélastique.

Le préfixe "visco" veut dire que le matériau possède certaines des caractéristiques des liquides visqueux, ce qui implique une dépendance du facteur temps. Suivant ce comportement, les polymères amorphes peuvent avoir 3 types de réaction à la déformation par contraintes non destructives (relativement faibles), selon la durée de l'application de celles-ci: élasticité instantanée (ou de Hooke), élasticité retardée ou différée (haute élasticité) et écoulement visqueux [22].

I.16.3.5. Résistance au choc

La résistance au choc donne une mesure de la ténacité ou de la capacité du matériau de résister à la rupture sous l'effet d'un impact à grande vitesse. Dans des conditions normales d'utilisation, les polymères peuvent être soit fragiles soit tenaces. Par exemple, le polystyrène, le poly (méthacrylate de méthyle) ainsi que le PVC non modifié et non plastifié sont habituellement fragiles ; ils se cassent brusquement. La résistance au choc des polymères et des plastiques correspondants dépend de l'écart entre leur température de transition vitreuse (T_v) et la température d'utilisation ainsi que de leur taux de cristallinité [22].

I.16.3.6. Résistance aux agents chimiques et aux intempéries

La résistance aux agents chimiques des matériaux polymères dépend de la nature du polymère. Les acides fortement oxydants peuvent s'attaquer aux plastiques et les décolorer ou les rendre fragiles. Les liquides organiques attaquent la plupart des polymères et des plastiques. Par exemple, les fuel-oils, les huiles et divers solvants organiques peuvent attaquer les plastiques et occasionner leur gonflement, leur amollissement ou les dissoudre. La température et la composition des plastiques déterminent leur résistance à ces agents chimiques. La plupart des

plastiques peuvent être utilisées comme matériaux de protection contre la corrosion. Cependant, en raison de leur résistance variable en fonction du milieu, il convient de bien choisir le plastique qui résiste le mieux à la corrosion dans les conditions particulières. La résistance des polymères aux intempéries, surtout à l'action du soleil varie considérablement. Par exemple, certains polymères et les plastiques correspondants ont fait preuve d'une très grande résistance aux intempéries, contrairement à d'autres dont la résistance s'est révélée très faible.

Cependant, la plupart des "compounds" plastiques commerciaux peuvent être formulés de façon à offrir une bonne résistance aux intempéries [22].

I.16.3.7. Densité

Les plastiques ont tous une densité différente ce qui permet aussi de les identifier partiellement. Pour pouvoir faire l'expérience, on découpe des fragments d'emballage dans des parties pleines (les poches d'air fausseraient la densité) et on les dispose dans un verre transparent rempli d'eau. Les plastiques qui flottent sont le PP et le PE car ils ont une densité inférieure à 1. Le PS expansé flotte également grâce aux nombreuses bulles d'air qui y sont incluses.

Lorsqu'on ajoute du sel à l'eau, on remarque que les autres bouts de plastique s'élèvent progressivement : dans l'ordre on a le polystyrène (non expansé), le PVC et le PET [23].

Les propriétés mécaniques et thermiques du polymère polytéréphtalate d'éthylène sont exhibées par le (Tableau .I.1.)

Tableau.I.1. Propriétés mécaniques et thermiques des PET [24].

Point de fusion	254 °C
La conductivité thermique	0.13 W/m. K
La capacité thermique de masse	1.1-1.3 kJ / kg K
Champ d'application	-20 à +100 °C
La résistance à la traction	70 MPA
L'allongement à la rupture	70%
Le module de flexion (rigidité)	2.0 MPa
Densité	1.34 kg/dm ³
Perméabilité aux gaz	Médiocre
Perméabilité à l'humidité	Très bonne.
Module de traction	2.9 GPa
Résistance au choc	De 0 à +100°C
Température de mise en œuvre	280 à 320°C.

I.16.4. Valorisation des déchets plastiques dans les matériaux cimentaires

Les plastiques sont omniprésents dans notre vie. Au-delà de leurs atouts, une fois consommés, ils génèrent des déchets volumineux par rapport à leur poids.

Ces déchets occupent un volume important dans les points de collecte et autres installations de gestion de déchets dont les centres d'enfouissements techniques. Leur dissémination dans la nature est durable et inesthétique car leur biodégradabilité est, dans la plupart des cas, faible. Il y a donc lieu d'encourager leur recyclage.

La valorisation ou le recyclage des déchets plastique est très vaste à cause de la diversité de leurs types et de leur procédé de recyclage. Elles représentent jusqu'à 30% de la masse totale des ordures ménagères. Malheureusement, la multiplicité des types de matières plastiques, l'incompatibilité de certains polymères entre eux et la difficulté de reconnaître et de séparer les différents polymères induisent de nombreux problèmes au niveau, notamment, du tri sélectif, en particulier pour les déchets plastiques de post-consommation.

Les études antérieures ont montré qu'il était possible d'utiliser les déchets plastiques dans les bétons et même d'autres types de déchets comme les granulats recyclés de démolition et ou de construction [22].

On peut valoriser des déchets plastiques :

- Pour la fabrication des matériaux de construction tels que la tuile, la brique et le pavé autobloquant.
- Pour produire de nouveaux matériaux, tels que les composites de ciment en substituant le PVC, le polystyrène, le polypropylène, ou les PET sous forme de fibre, de poudre ou d'agréats dans le but d'améliorer certaines propriétés.

Cette méthode apparaît comme l'une des meilleures solutions pour l'élimination des déchets plastiques, en raison de son avantage économique et écologique.

I.17. CONCLUSION

Ces dernières années, la consommation du plastique a fortement augmenté dans le monde, ce qui a entraîné une hausse importante des déchets plastiques et des problèmes environnementaux.

Pour faire face à cela, la valorisation des déchets plastiques représente une solution intéressante et durable. Elle permet de réduire leur accumulation et de les utiliser dans le domaine du génie civil, notamment dans les bétons, les mortiers et les briques en terre comprimée. Cette approche contribue aussi à préserver les ressources naturelles et à développer des matériaux de construction plus écologiques.

Cependant, l'utilisation à grande échelle de ces matériaux nécessite encore des recherches supplémentaires ainsi que la mise en place de normes adaptées.

CHAPITRE II :
GENERALITES SUR
LES BLOCS DE
TERRE COMPRISEE

CHAPITRE II: GENERALITES SUR LES BLOCS DE TERRE COMPRIMEE**II.1. INTRODUCTION**

La construction en terre crue recèle de nombreux avantages, grâce aux qualités inhérentes au matériau : recyclable, performance énergétique, résistance au feu, durabilité...mais évidemment, il est nécessaire de respecter les règles essentielles de l'art de bâtir en terre crue afin de garantir les œuvres.

Par ailleurs, la diversité des procédés de l'architecture de terre et la simplicité de sa mise en œuvre, sont deux points forts qui lui procurent l'autonomie technologique et la diminution de l'impact tant financier qu'environnemental de la construction grâce aux économies d'énergie.

Ces architectures sont ancrées dans la vision contemporaine de progrès [25].

II.2. HISTORIQUE

La « terre » est utilisée comme matériau de construction depuis onze millénaires sur tous les continents [26]. Ce terme désigne un matériau sédimentaire naturel présent dans les sols et les sédiments qui résultent de l'altération physique (fragmentation sans modification de la nature des minéraux), chimique et biologique d'une roche mère sous l'action du climat, de l'érosion ou des organismes vivants. 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 site enregistrés comme patrimoine mondial sont entièrement ou partiellement construits en terre. Ceci témoigne du riche patrimoine architectural en terre crue. Au cours des temps, la terre est apparue comme le matériau de construction privilégié par l'Homme. Car construire en terre crue permet d'exploiter le matériau que l'on a sous les pieds. La ville syrienne de Tell Ferres de plus de 7000 ans ainsi que la Citadelle d'Ulug Dépé de plus de 5000 au Turkménistan sont quelques exemples (Figure II.1). À l'Antiquité et au Moyen-âge, plusieurs constructions en terre ont été réalisées telles que la cité antique de Volubilis au Maroc, ou le grand Kyz Kala à Merv au Turkménistan (Figure II.1) [27].



Figure II.1. Exemples anciens de constructions en terre [27].

De gauche à droite : fondation d'une maison dans la ville de Tell Ferres en Syrie, citadelle d'Ulug D  p   au Turkménistan, traces de pisé sur les vestiges des maisons à Volubilis au Maroc, le grand Kyz Kala au Turkménistan.

Plusieurs constructions modernes en terre réparties aux quatre coins de la planète montrent la persistance de l'  t  r  t pour la construction en terre (Figure II.2). Dans des régions rurales d'Amérique Latine, d'Asie ou d'Afrique, la terre a été et est toujours utilisée comme un matériau de 18 constructions privilégiées. Par contre, en Europe, comme dans d'autres pays industrialisés, la terre crue a perdu de plus en plus d'importance avec l'industrialisation au XIX  e siècle. Il s'en est suivi une perte des savoir-faire. Suite à la crise énergétique des années 1980, la terre crue a peu à peu regagné l'  t  r  t des architectes. Mais la terre crue doit encore retrouver sa place dans la gamme des mat  riau  s de construction existants.

Dans les pays en voie de développement, la terre crue est souvent considérée comme symbole de pauvreté. La construction en terre est remplacée par des constructions en béton, tôle et parpaing, considérées comme modernes et durables [28] ; [29] ; [26]. Dans le bâtiment, la terre peut être utilisée comme isolant associé à la paille ou pour la rénovation, réparateur des bâtiments construits en terre, couche de finition intérieure, mur porteur, enduit intérieur.



Figure II.2. Exemples récents de construction en terre [57].

De gauche à droite : le Fort d'Al Jahili, Al Ain    Abou Dhabi aux Emirats arabes unis créé en 1891 et restauré en 2008 ; le marché de Koudougou au Burkina-Faso construite en blocs de terre comprimée au début des années 2000 ; une   cole en pisé    Koné en Nouvelle Calédonie construite en 2017 ; quartier de 65 logements construit en 1985 principalement en blocs de terre comprimée et pisé à L'Isle-d'Abeau en France.

Les constructions en terre crue sont majoritairement présentes dans presque toute l'Afrique, le Moyen-Orient et l'Amérique latine (Figure II.3). On les retrouve également en Chine et en Inde dans les habitats vernaculaires. En Europe par contre, cette façon de construire a pratiquement disparu, mais les bâtiments en terre crue restent tout de même présents dans le paysage, comme un témoignage du passé. On les retrouve au Danemark, en Suède, en Allemagne, dans les Pays de l'Est, mais également en Espagne, en France, en Grande- Bretagne et en Belgique. L'Europe compte tout de même plusieurs millions de constructions en terre, mais il s'agit surtout de bâtiments anciens. Ceux-ci sont toujours habités mais nécessitent un entretien annuel relativement cher [30].



Figure II.3. Architecture de terre dans le monde [58].

La construction en terre crue ,bien qu'elle représente encore aujourd'hui environ 1/3 de l'habitat mondial(figure II.3), a tendance à laisser de plus en plus place à la construction en béton .or, dans de nombreux pays, le béton n'est bien souvent pas le plus adapté au conditions locales que ce soit pour des raisons économiques, thermiques ou encore écologiques(Figure II.4) . C'est ainsi le cas de l'Afrique.



Figure II.4. Une construction faite en terre crue [59].

II.3. FRACTIONS GRANULOMETRIQUE

La terre est constituée de fractions de granulométries différentes, qui révèlent le degré de transformation de la roche-mère. Le classement des grains ainsi que la granularité de la terre sont schématisés par les Figures II.5 et II.6.

La proportion de ces constituants varie d'une terre à l'autre, ce qui conditionne son usage. À l'exception des argiles, tous ces composants sont des fragments de roche de tailles et formes différentes. Ils constituent le squelette granulaire de la terre et lui apportent leur rigidité. Les cailloux sont de formes angulaires ou arrondies et constituent la partie grossière de la terre. Les graviers, ronds ou anguleux également, « constituent le squelette de la terre et limitent sa capillarité et son retrait » [31]. Les sables sont caractérisés par leur grande friction interne, leur structure ouverte et leur perméabilité. Les silts sont semblables aux sables mais sont de dimension inférieure.

Ils présentent un certain degré de cohésion interne dû à la présence de films d'eau entre les particules.

	Taille
Cailloux	entre 20 cm et 2 cm
Graviers	entre 2 cm et 2 mm
Sables	entre 2 mm et 60 μ m
Silts	entre 60 μ m et 2 μ m
Argiles	au-dessous de 2 μ m

Figure II.5. Classification des grains [26].



Figure II.6. Granularité continue de la terre [26].

La terre (Figure II.7) est composée de sable, de limons et d'argile. Il faut généralement creuser à 20 ou 30 cm de la surface, sous la terre végétale, pour trouver de la terre utile à la construction.

La première couche qui se dépose au fond du bocal est le sable (il peut y avoir une seule couche de sable ou deux, s'il y a deux épaisseurs de grains), la seconde correspond au limon (parfois

en petite quantité qui ne se voit pas dans le bocal) et la dernière couche à se déposer est celle d'argile.

C'est par rapport au pourcentage d'argile dans une terre que l'on définit ses caractéristiques (riche en argile ou non).

Le taux d'argile dans une terre va donner la technique la plus adaptée à utiliser, car toutes les terres ne sont pas adaptées à toutes les techniques. Cela dit, les terres peuvent être modifiées. Si une terre est trop argileuse, on peut y ajouter du sable. Si elle est trop sableuse, on y ajoute un liant (chaux)

Pour stocker la terre, le mieux est de la mettre sous un toit avec des courants d'air (un hangar).

Par contre, il vaut mieux éviter de la laisser sous une bâche, car elle se transforme vite en boue à cause de la condensation.

Le mélange eau et terre tamisée très liquide s'appelle la « barbotine »

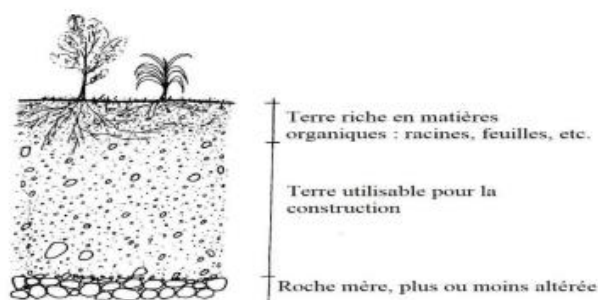


Figure II.7. Coupe dans la couche de terre [32].

II.4. LA TERRE

II.4.1. Définition

La terre est définie comme la couche d'épaisseur variable de matière meuble disponible sur la surface terrestre. Cette fine couche est issue de la dégradation des roches mères par des procédés d'altération sur des périodes géologiques. A l'épreuve des années d'érosion causée par le vent, la pluie, le soleil ou encore le gel, les particules de roches solides se fragmentent progressivement pour former des grains de plus en plus petits, les sédiments. Les matières organiques présentes dans le sol contribuent également à sa dégradation [33].

II.4.2. caractérisation des principales techniques constructives de la terre crue

De l'Amérique latine jusqu'en chine, le matériau terre et l'architecture en terre sont représentés sous différentes techniques de construction et de fabrication [34]. Parmi les techniques les plus connues, on cite : le pisé, l'adobe, (ou thob) les blocs de terre comprimée (BTC), les blocs de terre stabilisée(BTS), la terre paille et le torchis. Elles font l'objet actuellement d'un développement technologique tant sur le plan de la maîtrise et de l'amélioration des performances que sur le processus de production.

H. Guillaud et H. Houben [63] ont schématiquement répertorié les douze techniques principales dans une « roue » des techniques de construction en terre (Figure II.8), mais ils précisent tout de même qu'il en existe environ une centaine dans la réalité. En plus d'être simplificateur, ce tableau circulaire ne fait pas non plus la distinction entre les techniques traditionnelles et les techniques nouvelles [35].

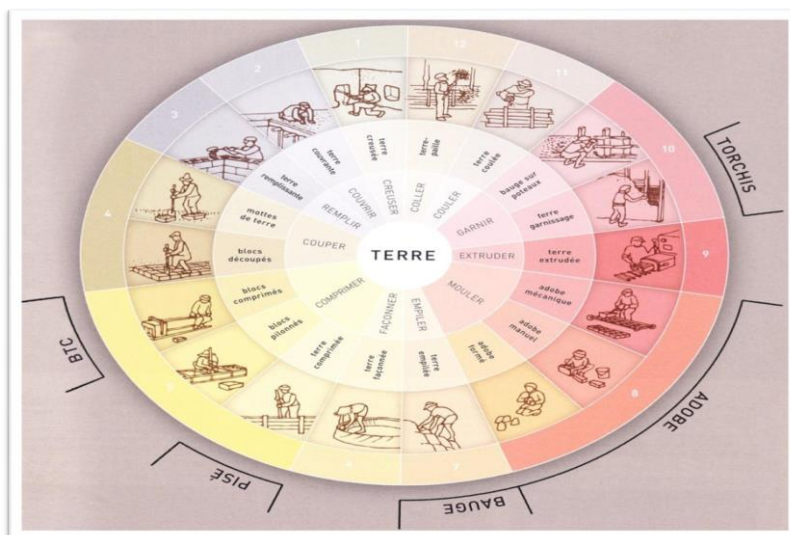


Figure II.8. "Roue" des techniques de construction en terre [60].

Tableau II.1. Les différentes techniques de construction en terre crue [61]

Terre creusée	Habitat creusé dans l'épaisseur du sol (habitat troglodytique)
Terre recouvrante	La terre recouvre une structure construite avec un autre matériau
Terre remplissante	La terre remplit des matériaux creux employés comme enveloppe
Terre découpée	Des blocs de terre sont directement découpés dans le sol
Terre comprimée	Des éléments sont réalisés avec une terre comprimée dans des moules ou des coffrages
Terre façonnée	La terre plastique est façonnée à la main pour dresser des murs minces
Terre empilée	Des boules de terre sont empilées pour constituer des murs épais
Terre moulée	La terre est moulée à la main ou à l'aide de moules de formes divers
Terre extrudée	La terre est extrudée par une machine puissante
Terre coulée	La terre est coulée dans des coffrages ou dans des moules, comme un béton
Terre-paille	Une barbotine argileuse lie des fibres et constitue un matériau léger
Terre garnissante	La terre mêlée de fibres est appliquée en couches minces pour garnir le support

Les différentes techniques de construction en terre crue sont (Figure II.9) :

- Adobe
- Pisé
- Torchis
- Bauge
- Bloc de terre comprimée

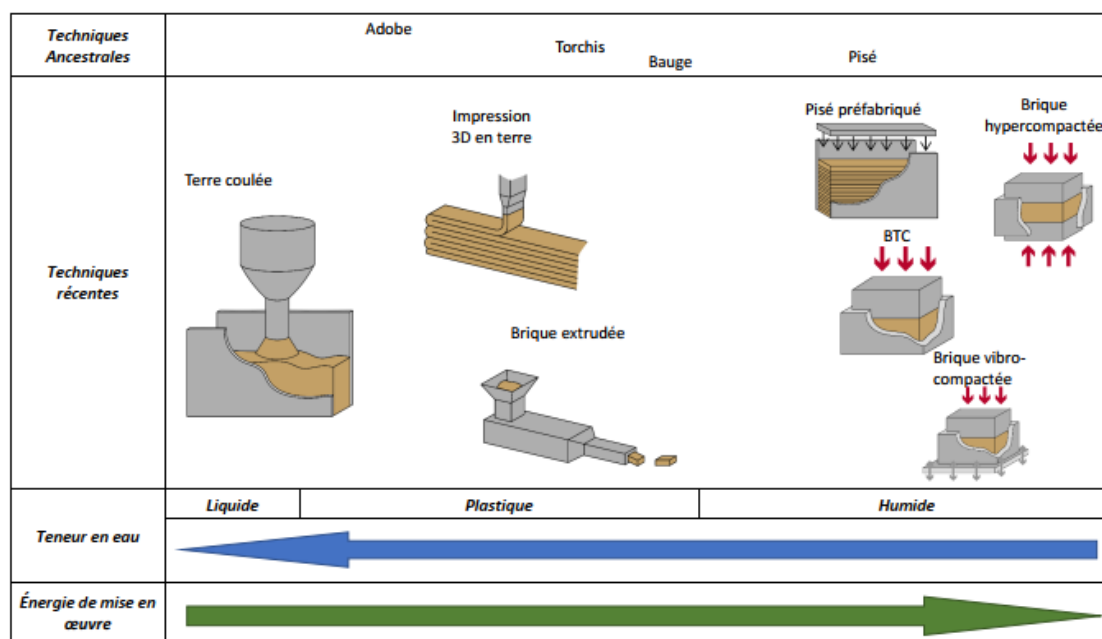


Figure II.9. Comparaison de différentes techniques de constructions terre [36].

II.5. BLOC DE TERRE COMPRIMEE (BTC)

II.5.1. Définition

Le bloc de terre comprimée est une évolution moderne du bloc de terre moulée, plus communément dénommé bloc d'adobe. L'idée de compacter la terre pour améliorer la qualité et la résistance de bloc de terre moulée est pourtant ancienne et à l'aide de pignons de bois que l'on réalisait les premiers blocs de terre comprimée. Elle a été développée aux années 50 dans le cadre d'un programme de recherche sur l'habitat rural en Colombie.

Le BTC est très régulier en forme et en dimension, ils sont pleins ou perforés ce qui permet de réaliser des travaux de maçonnerie très variés. Les blocs de terre comprimée, sont fabriqués à partir de terre humide et compactée dans une presse.

Le bloc de terre comprimée peut être stabilisé. Dans ce cas on parle alors de « bloc de terre comprimée stabilisée ».

Stabiliser la terre, c'est modifier les propriétés d'un système terre eau-air pour obtenir des propriétés permanentes compatibles avec des applications particulières [37].

.Le cycle de la production de BTC ainsi que la presse utilisée pour sa réalisation sont présentés par les figures II.10 et II.11 respectivement.

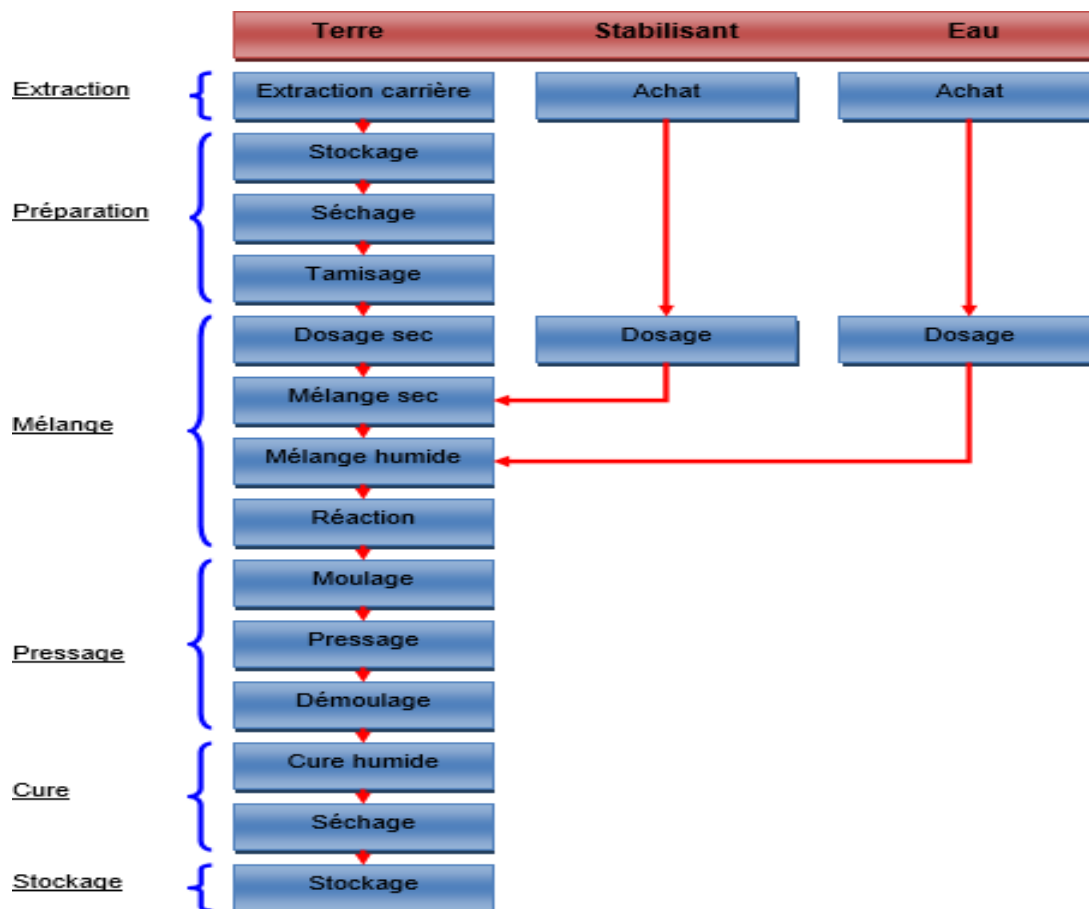


Figure II.10. Cycle de production des blocs de terre comprimée [62].



Figure II.11. Brique de terre crue comprimée réalisée à l'aide d'une presse manuelle [38].

II.5.2. Diversités des produits de blocs de terre comprimée :

Aujourd'hui, la marche accueille une large gamme de produits de terre comprimée (figure II.12) :

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 [48].



Figure II.12. Différents produits de blocs de terre comprimée [48].

II.6. ACTUALITE DE L'ARCHITECTURE DE TERRE EN ALGERIE

Dans notre pays, les études menées récemment au Centre National d'Etudes et de Recherches intégrées au Bâtiment (CNERIB), montrent que l'utilisation de briques en terre crue comme remplissage d'une ossature en béton armé peut réduire de 32% le coût global des habitations, comparées à l'utilisation des matériaux conventionnels.

Le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) mène ses recherches sur l'architecture de terre depuis plus de vingt ans. Plusieurs projets ont pu voir le jour tel que le montre le tableau II.2 qui suit [41].

Tableau II.2. Les opérations de construction en terre en Algérie [41].

Années	Réalisations
1969	La 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 Moustafa ben Brahim près de Sidi Bel Abbés, réalisés en pisé.
1975	Le village d'Abadla a été construit selon le procédé de la terre remplissante
1976	100 logements du village agricole de Felliache à Biskra sont réalisés en thoub.
1980	120 logements du village agricole de Madher à Boussaâda sont réalisés en BTS
1981	40 logements sont réalisés à Chéraga près d'Alger en blocs de terre comprimée.
1984	Un prototype bioclimatique fut réalisé à Tamanrasset en blocs de terre comprimée.
1984	Un prototype fut réalisé au CNERIB en blocs de terre comprimée.
1986	10 logements sont réalisés à Adrar en blocs de terre comprimée.
1986	10 logements sont réalisés à Reggane en blocs de terre comprimée.
1994	24 logements sont réalisés à Tamanrasset par l'office de promotion et de gestion immobilière en blocs de terre comprimée.
1994	44 logements sont réalisés par l'ETR de Tamanrasset en blocs de terre comprimée.
1998	Un prototype en pisé fut réalisé au CNERIB.
2006	Un projet intitulé « réalisation d'un logement rural avec efficacité énergétique » est lancé au CNERIB et financé par l'union européenne.

Selon le rapport du CNERIB, l'Algérie compte plusieurs techniques se distinguant par leurs procédés de production. [42] Jusque-là nous n'avons pas encore rencontré d'études spécifiques

sur les techniques pratiquées en Algérie. L'ouvrage de P. Odul ne présente que quelques exemples et ne s'étale pas sur l'ensemble des procédés traditionnels algériens.

L'Algérie ne dispose pas encore d'une réglementation propre à la construction en terre mais elle semble avoir établi ses bases grâce aux recommandations pour la production et la mise en œuvre des bétons de terre stabilisée approuvées en 1987. En 1988 le Centre Nationale d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) a publié un document intitulé

« Béton de terre stabilisée » qui renferme trois parties essentielles :

- Recommandations pour la production et la mise en œuvre des bétons de terre stabilisée.
- Guide technique du BTS (Béton de terre stabilisée).
- Notice pour l'utilisation de la presse BTS [42].



Figure II.13. Atelier d'initiation aux techniques Prototypede de construction en terre. Timimoun [64].



Figure II.14. Premières assises du Souidania 1999 [64].

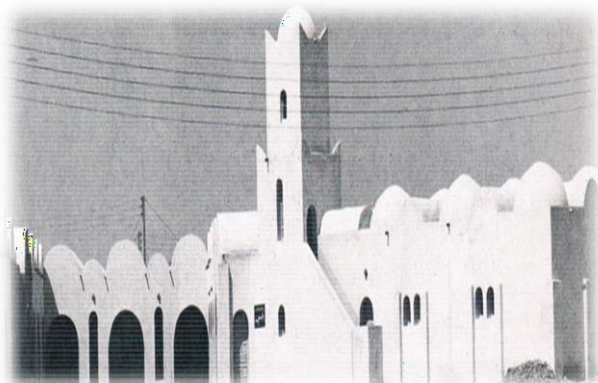


Figure II.15. Nouveau village agricole de Maadher, près de M'sila en Algérie construit en parpaings de terre stabilisée en 1980 par deux architectes, les frères El Miniaway [64].



Figure II.16. Maison construit en terre de la ville Magra wilaya de M'sila [64].

II.7. LA CONSTRUCTION EN BLOC DE TERRE COMPRIMEE DANS LE MONDE

Plusieurs constructions ont été réalisées en blocs de terre comprimée à travers les quarts coins du monde, profitant des avantages de cette technique moderne, que ce soit sur le Plan économique, écologique, esthétique, thermique et environnemental. On peut citer ici quelques exemples fascinants : Maison palmier à Marrakech, Maroc (figure II.17), Domaine de la terre, l'Isle d'Abeau à Lyon, France (figure II.18) et Atelier électronique, Ecole, Auroville, Inde (figure II.19) [40].



Figure II.18 .Domaine de la terre,
l'Isle d'Abeau, France [64].



Figure II.17. Maison palmier à
Marrakech, Maroc [64].



Figure II.19. Atelier électronique, Ecole, Auroville, Inde [64].

II.8. RAPPEL SUR LES ARGILES

II.8.1. Définition

Les argiles sont des minéraux issus de la décomposition de roches. Il s'agit de matériaux hétérogènes à différentes échelles. Il n'y a pas de définition universelle du terme « argile ». En effet, il en existe autant que de disciplines. Elles se fondent sur les propriétés physiques étudiées, comme par exemple la plasticité, sur l'emploi qui en est fait ou encore sur la structure cristallographique.

L'argile à l'état naturel est rarement composée d'un seul minéral. Ainsi, elle correspond souvent à un mélange de phyllosilicates ; le minéral majoritaire lui donne alors son nom. Il y a, de plus, de nombreux minéraux associés comme les carbonates (dolomite, diobertite, calcite, aragonite...), la silice (quartz, cristobalite, tridymite), des oxydes et hydroxydes d'aluminium (corindon, gibbsite, diaspore,...) ou encore des minéraux ferri-fères (lépidocrocite, maghémite...). Le terme argile désigne donc un mélange de minéraux argileux associés à d'autres minéraux (feldspaths, quartz etc.) ainsi que des impuretés (oxyde de fer, titane etc.). Par ailleurs, ce mélange est caractérisé par une certaine plasticité et des grains ayant une taille inférieure à $2\ \mu\text{m}$ [43].

II.8.2. Principaux types d'argiles

Il existe plusieurs familles d'argiles qui rassemblent des dizaines d'espèces. Mais ceux sont trois grands types d'argiles dont la présence dans le sol est la plus fréquente : la kaolinite, l'illite et la montmorillonite.

II.8.3. Classification des argiles

Les travaux de l'AIPEA (Association Internationale Pour l'Etude des Argiles, 1966- 1972) et plus tard, ceux de [44], ont permis d'aboutir à une classification qui repose sur l'utilisation des critères suivants :

- Type de feuillets 2:1 ou 1:1.
- Charge globale du feuillet.
- Nature des cations interfoliaires.

Il existe différentes classifications des argiles, la plus classique est basée sur l'épaisseur et la structure du feuillet, on distingue ainsi 4 groupes :

- **Minéraux à 7 Å** : Le feuillet est constitué d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T : O ou de type 1:1.
- **Minéraux à 10 Å** : Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T : O : T ou de type 2:1 .
- **Minéraux à 14 Å** : Le feuillet est constitué de l'alternance de feuillets T : O : T et de couches octaédriques interfoliaires.
- **Minéraux interstratifiés** : L'épaisseur du feuillet est variable. Ces minéraux résultent

II.9. STABILISATION

II.9.1. Définition

La stabilisation des sols au ciment et à la chaux a connu un progrès important durant les trente dernières années. Ce progrès a été marqué par la connaissance des mécanismes des réactions entre terre – ciment et terre – chaux, par l'importance et la qualité des travaux au laboratoire et surtout par les expérimentations et les réalisations sur le terrain. Cette technique permet donc l'utilisation en couche de forme des chaussées. Dans le domaine de la construction en terre, le stabilisant le plus utilisé est le ciment [37].

II.9.2. Objectif

En stabilisant, nous intervenons sur la texture et structure de la terre. Cinq opérations possibles sont :

- La réduction de volume de vide entre les particules.
- La fermeture des vides qui ne peuvent être supprimés.
- L'augmentation des liens entre les particules.
- Améliorer les caractéristiques mécaniques de la terre (résistance à la compression, cohésion) en réduisant les vides entre les particules, en améliorant ou en créant des liaisons entre les particules.
- Réduire la sensibilité à l'eau (gonflement, retrait) et la perméabilité en bouchant les vides entre les particules [37].

II.9.3. procédés

Trois procédés permettent de stabiliser la terre :

- a) Stabilisation mécanique :** le compactage de la terre modifie sa densité, sa résistance mécanique ainsi que sa compressibilité, sa perméabilité et sa porosité.
- b) Stabilisation physique :** les propriétés d'une terre peuvent être modifiées en intervenant sur sa texture, c'est-à-dire en mélangeant judicieusement des fractions de grains de taille différente.
- c) Stabilisation chimique :** d'autres matériaux ou des produits chimiques peuvent être ajoutés à la terre. Les liants (ciment et chaux éteinte) créent entre les grosses particules du sol des liaisons mécaniquement résistantes même si le matériau se trouve ensuite en présence d'eau [37].

II.9.4. Moyens de stabilisation

Dans la littérature, on peut trouver divers classifications, selon : la nature, la forme, etc. Selon [21], il y a six modes de stabilisations :

(Densifier, Armer, Enchaîner, Liaisonner, Imperméabiliser, Hydrofuger.)

Chaque stabilisant n'agit pas obligatoirement selon un procédé exclusif, mais il peut aussi cumuler plusieurs procédés : physique et chimique (tableau II.3) [43].

Tableau II.3. Moyens de stabilisation des terres remaniées

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

II.9.5. Stabilisation au ciment

Est considéré comme un liant inorganique, et le meilleur stabilisant des BTC [68]. Le ciment permet d'enchaîner : il crée une liaison inerte qui s'oppose à tout mouvement. Il améliore la résistance à l'eau en créant des liens entre les particules de sables et graviers. Les meilleurs

résultats sont obtenus avec des terres sableuses [67]. Cinq ou 6% de ciment suffiraient pour avoir des résultats satisfaisants [67]. La stabilisation au ciment diminue l'importance du retrait et du gonflement et nécessite peu d'eau. Le ciment diminue cependant la conductivité thermique de la terre. Plus il y aura de ciment dans un bloc de terre, plus la conductivité thermique se rapprochera de celle du ciment. L'inconvénient du ciment demeure son coût de production élevé et la nécessité des gisements calcaires.

La présence d'oxydes de fer qui favorisent les réactions pouzzolaniques ou un indice de plasticité faible $< 20 \%$ (terres sableuses) sont des paramètres d'efficacité pour l'utilisation du ciment. Par contre, la matière organique, une eau chargée en sel, la présence des sulfates ou une terre trop argileuse ($> 20 \%$ d'argile) seraient des paramètres néfastes à l'utilisation du ciment comme stabilisant [68] ; [67].

II.9.6. Stabilisation à la chaux

II.9.6.1. Définition

Le calcaire est une pierre d'origine naturelle comportant des niveaux élevés de carbonates de calcium et/ou de magnésium. Le terme « chaux » désigne les produits dérivés du calcaire, notamment la chaux vive, la chaux éteinte et la chaux hydraulique (Figure II.20).

Les trois grandes familles de chaux (chaux aérienne, chaux naturelles et chaux hydrauliques) se différencient par la composition de leur matière première, le calcaire, et leur manière de faire prise.

- **Les chaux aériennes** : fabriquées à base de calcaire pur, ces chaux font prise et durcissent au contact du gaz carbonique contenu dans l'air. Cette prise très longue limite le retrait et développe une faible résistance à long terme.
- **La chaux vive (CaO)** : C'est le premier produit de la cuisson de la pierre à chaux (calcaire). C'est un matériau très avide d'eau. La chaux vive en contact de l'eau produit des explosions et sa température peut dépasser 150° (réaction très exothermique).
- **La chaux éteinte (CaOH_2)** : Elle est obtenue par hydratation de la chaux vive. Cette opération qui permet le passage de la chaux vive à la chaux éteinte s'appelle Extinction. Elle s'accompagne d'une augmentation de volume du produit (foisonnement).
- **Les chaux hydrauliques** : Sont des chaux recomposées avec différents liants. Elles suivent le même processus de prise, dans des proportions différentes liées au pourcentage des matériaux qui les composent [37].

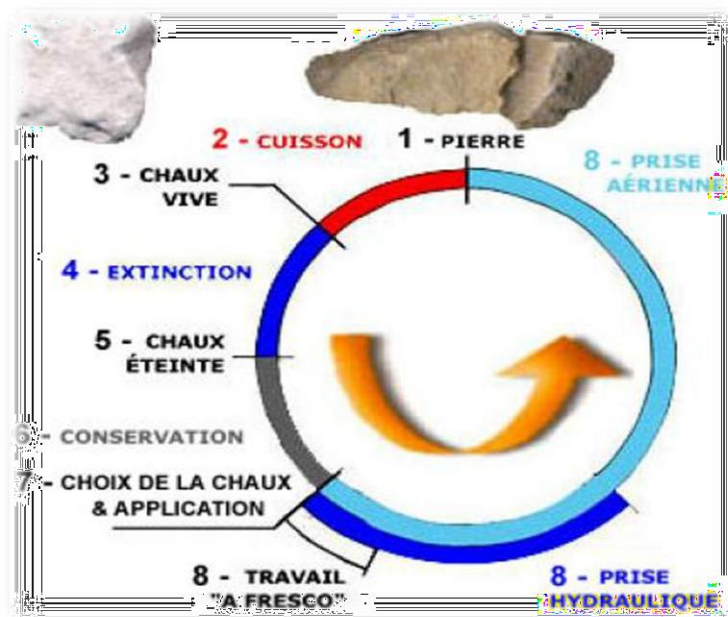


Figure II.20. Le cycle de chaux [47].

II.9.6.2. Composition de la chaux

Analysées chimiquement, les chaux ont pour principaux composants, essentiellement des oxydes de calcium (CaO) et/ou des hydroxydes de calcium $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, pouvant comprendre des quantités moindres de magnésium (MgO), d'hydroxyde de magnésium $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$, de silicium (SiO_2), d'aluminium (Al_2O_3) et de fer (Fe_2O_3) [47].

II.9.6.3. Caractéristiques

La chaux est un liant naturel et écologique. Elle offre des avantages tel que :

- Un pouvoir assainissant et désinfectant.
- Une esthétique que l'on peut obtenir avec un autre liant.
- Une participation à la respiration de l'ouvrage.
- Une élasticité.
- Une tenue dans le temps encore inégalée.
- Une absorption des CO_2 lors de la carbonisation [37].

II.9.7. Densification par compression

Le compactage est une opération qui s'accompagne d'une réduction du volume des vides dans un sol (figure II.21) donc une densité sèche plus importante. On constate, pour tous les matériaux, une relation très nette entre la densité sèche et la résistance mécanique.

Celle-ci est d'autant plus élevée que le matériau est compact. C'est ainsi que, pour une même composition et un même dosage, un béton est d'autant plus résistant qu'il est dense ; de même les pierres les plus denses ont les résistances mécaniques les plus élevées.

C'est également le cas pour les terres ; toutefois pour ces dernières, les densités que l'on peut obtenir demeurent relativement faibles [40].

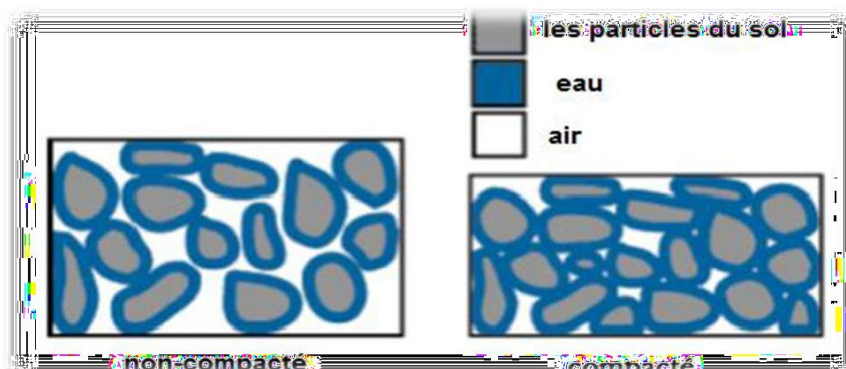


Figure II.21. Effet du compactage sur les vides des sols [39].

La méthode de densification influe fortement sur la résistance finale du matériau .Il existe principalement quatre méthodes de compactage :

- La compression statique.
- La compression dynamique par vibration.
- La compression dynamique par impact.
- La compression par pétrissage [45].

II.10. CONCLUSION

A travers cette recherche bibliographique, nous avons montré le caractère ancien de la construction en terre et son importance dans le domaine de construction. Aussi, on a traité les différentes techniques de la construction.

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

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

CHAPITRE III : SYNTHESE DES TRAVAUX SUR LES BTC

CHAPITRE III: SYNTHESE DES TRAVAUX SUR LES BTC

III.1. INTRODUCTION

La brique de terre comprimée (BTC) est un matériau de construction écologique fabriqué à partir de terre crue argileuse légèrement humide. Pressée mécaniquement dans un moule pour assurer sa cohésion et sa régularité, elle sèche ensuite à l'air libre sans cuisson.

La technique de la Brique de Terre Comprimée (BTC) se distingue de l'adobe par une durabilité et des performances mécaniques accrues. Afin d'optimiser ce matériau, de nombreuses recherches explorent l'utilisation d'additifs (chimiques ou physiques) pour stabiliser la matrice terreuse.

La compréhension des interactions physico-chimiques entre ces additifs et les minéraux de la terre est essentielle. Elle permet d'identifier le rôle de chaque composant dans l'amélioration de la microstructure et de la résistance du matériau. Ce chapitre synthétise les travaux antérieurs pour justifier scientifiquement nos choix expérimentaux.

III.2 LA RESISTANCE A LA COMPRESSION

III.2.1. Influence de la stabilisation à la chaux

L'analyse de la résistance à la compression des BTC stabilisés à la chaux révèle des comportements spécifiques liés à la cinétique chimique du matériau :

- Effet du dosage en chaux : D'après les résultats de TAALLAH [48] illustrés par la Figure III.1, l'augmentation du taux de chaux de 8 % à 10 % induit une amélioration de la résistance de l'ordre de 5 %. Cependant, un dosage de 12 % provoque une chute de 8,15 %. Cette faible variation s'explique par une durée de cure limitée (28 jours), insuffisante pour achever les réactions pouzzolaniques [56], la formation des phases liantes (CSH/CAH) est un processus lent nécessitant plusieurs mois pour atteindre son plein potentiel.

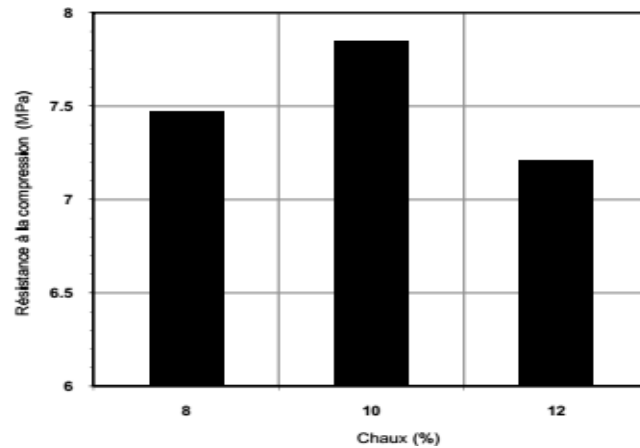


Figure III.1. Résistance à la compression sèche en fonction de la teneur en chaux [48].

- Formation des phases minérales : Les études d'IZEMMOUREN [52] confirment une progression de la résistance sèche Figure III.2. À 28 jours, la stabilisation génère de la portlandite et des phases de type C-S-H et C-A-H. Ces hydrates assurent la liaison entre les particules et renforcent la matrice. L'amélioration est plus significative lorsque le dosage dépasse le point de fixation de la chaux [48].

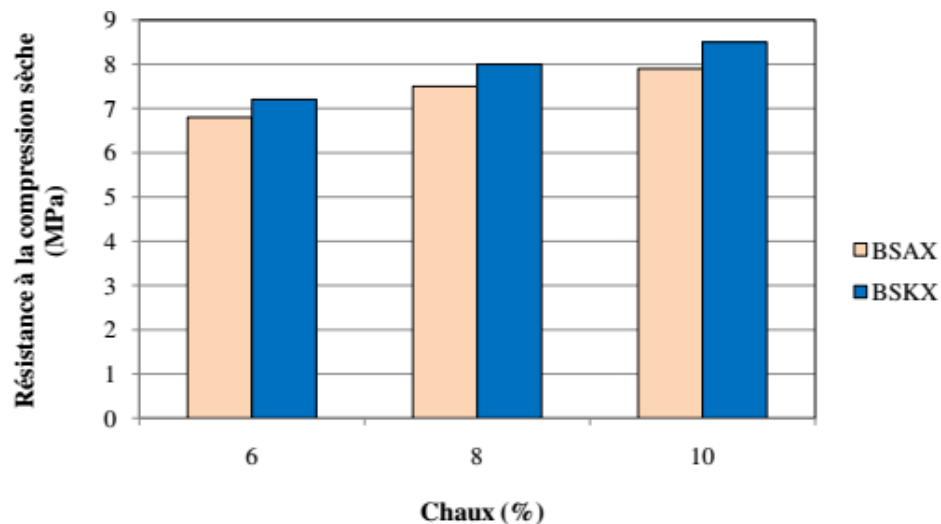


Figure III.2. Résistance à la compression sèche du BTC en fonction du dosage en chaux [48].

III.2.2. Influence du renforcement par les fibres synthétiques (Polypropylène)

L'incorporation de fibres synthétiques est une solution efficace pour pallier la fragilité des BTC

- Performances mécaniques : Selon TAALLAH [48], l'ajout de fibres de polypropylène permet d'augmenter la résistance à la compression (RCS) jusqu'à 20 % pour un dosage de 0,2 % (Figure III.3.)

- Ductilité : Contrairement aux blocs non renforcés, l'incorporation de fibres induit un comportement ductile. Les fibres agissent comme des ponts internes limitant la propagation des fissures.

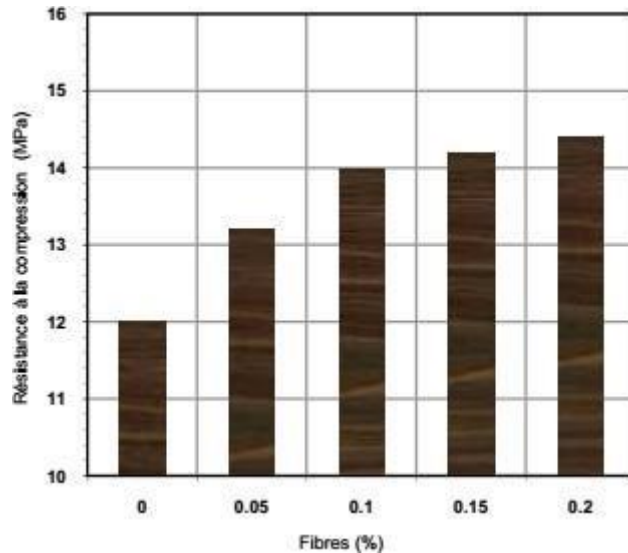


Figure III.3. Résistance à la compression sèche du BTC en fonction de la teneur en fibres [48].

III.2.3. Effet de l'incorporation des déchets plastiques

A. Cas de 2 % plastique

- Selon les résultats de ZENOUD et HAMMOU [49], une comparaison systématique montre que l'échantillon témoin possède une résistance à la compression supérieure à celle du BTC contenant 2 % de granulats plastiques. À l'échéance de 28 jours, la brique à base de déchets plastiques atteint environ 2 MPa, restant ainsi en retrait par rapport aux performances du témoin (Figure III.4).

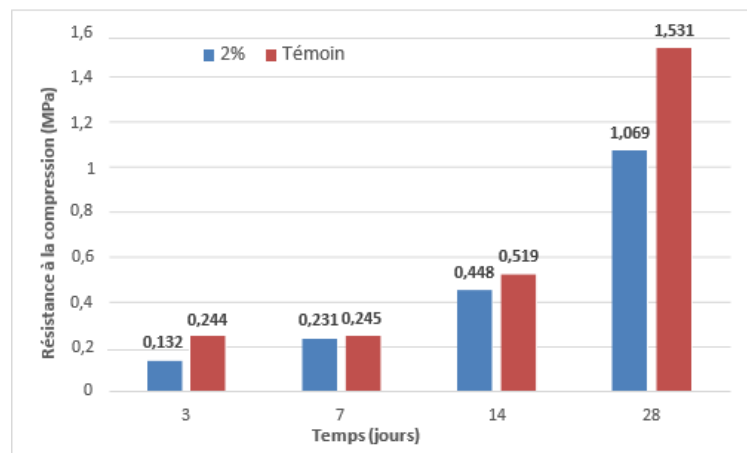


Figure III.4. Résistance à la compression en fonction du temps des BTC [49].

Cette baisse de performance par rapport celle du témoin s'explique par la réduction du volume de la pâte liante et le manque d'adhérence entre les grains de plastique et la matrice terreuse, ce qui crée des zones de discontinuité.

B. Cas de 1 % plastiques

- D'après les résultats d'AMIAR et ELMEDDAH [50], l'incorporation de 1 % de fibres plastiques (RDSB) provoque également une diminution de la résistance à la compression par rapport à celle du brique témoin. À 28 jours, la résistance de la brique renforcée se situe à 1,36 MPa, une valeur nettement inférieure à celle de l'échantillon renforcé (Figure III.5).

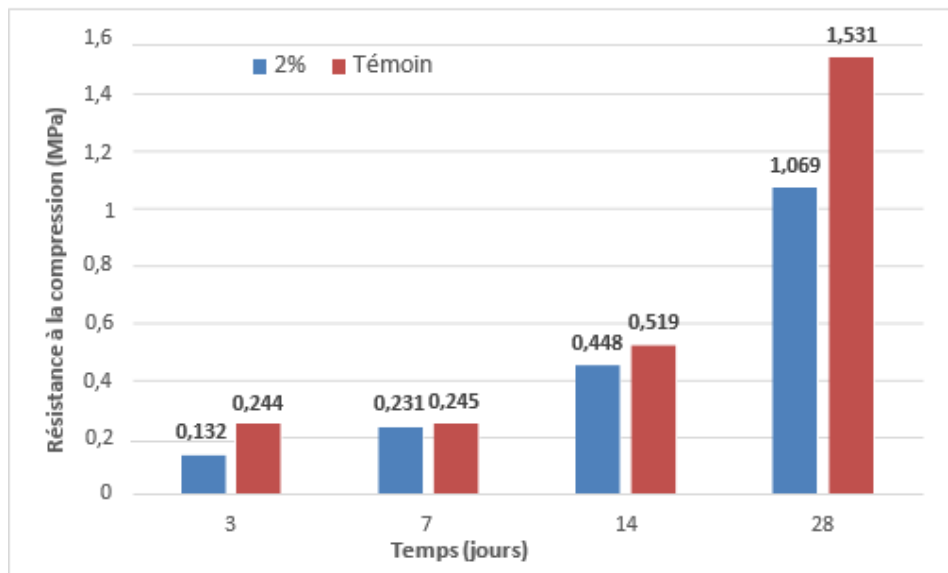


Figure III.5. Résultats de l'effort de compression [50].

Bien que l'échantillon témoin soit plus performant en compression brute, cette étude souligne que la résistance obtenue avec les fibres (1,36 MPa) reste en dessous des exigences de la norme algérienne NA 442 (3 à 5 MPa), limitant ainsi l'usage de ces blocs à des applications non-structurales.

III.3. L'ABSORPTION D'EAU

L'absorption d'eau est un indicateur fondamental de la durabilité des BTC face aux agents atmosphériques.

III.3.1. Effet de l'incorporation des déchets plastiques

A. 2 % de plastique

- Selon les résultats de ZENOUD et HAMMOU [49], l'incorporation de 2 % de granulats plastiques réduit significativement l'absorption totale d'eau. Après 48 heures d'immersion, l'échantillon au plastique affiche un taux d'absorption de 13,95 %, contre 18,78 % pour l'échantillon témoin (Figure III.6).

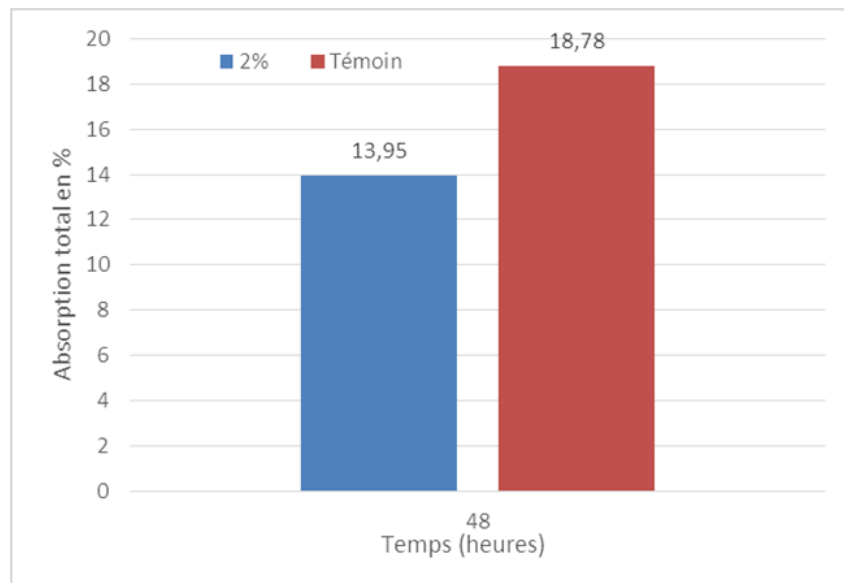


Figure III.6. L'absorption totale des BTC à 28 jours [49].

Cette diminution d'environ 26 % par rapport au témoin indique que les granulats améliorent la compacité du matériau. La nature hydrophobe du plastique réduit la porosité accessible à l'eau, ce qui renforce la durabilité des blocs en milieux humides.

B. 1 % de plastiques

- D'après les résultats d'AMIAR et ELMEDDAH [50], l'ajout de 1 % de fibres plastiques (RDSB) montre une tendance inverse. L'absorption totale d'eau est de 20,12 % pour les briques renforcées, une valeur légèrement supérieure à celle de l'échantillon témoin (1% DSB) qui s'élève à 19,28 % (Figure III.7).

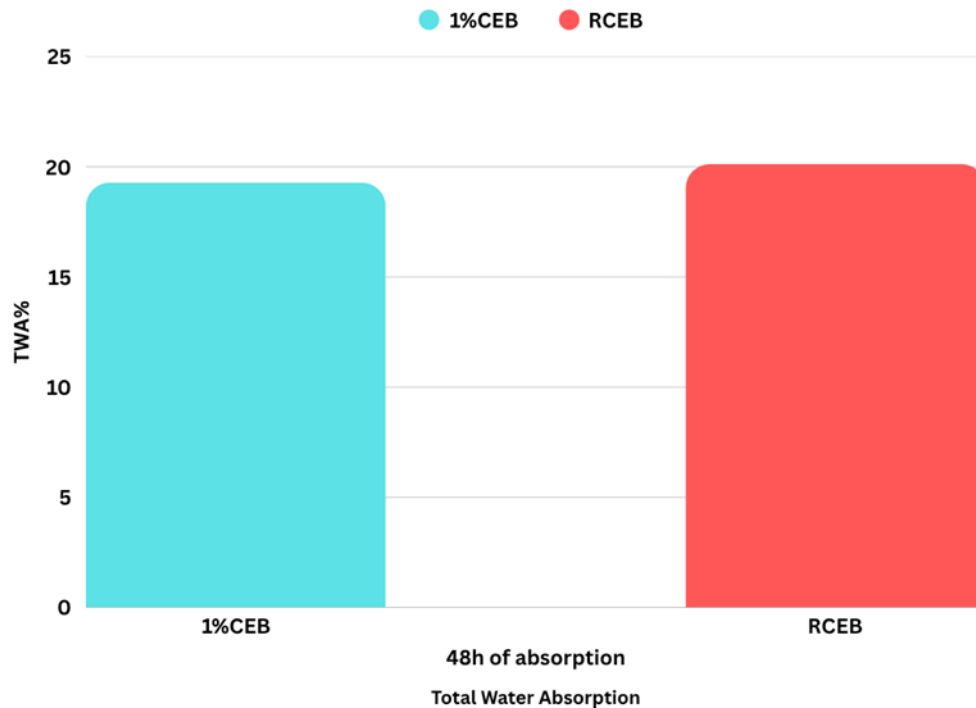


Figure III.7. Pourcentage de variation de poids avant et après absorption totale [50].

Contrairement aux granulats, l'introduction de fibres peut augmenter légèrement la porosité globale si l'arrangement des fibres crée des micro-vides dans la matrice. Une absorption élevée indique généralement une porosité plus importante, ce qui confirme les résistances mécaniques plus modestes observées précédemment pour ce dosage.

III.3.2. Influence de la chaux et du compactage

Selon Guettala et al. [51], l'augmentation de la contrainte de compactage (de 5 à 20 MPa) combinée à un dosage en chaux optimal (5 à 12 %) réduit considérablement l'absorption d'eau. Cela s'explique par une densification de la matrice et une réduction des vides capillaires.

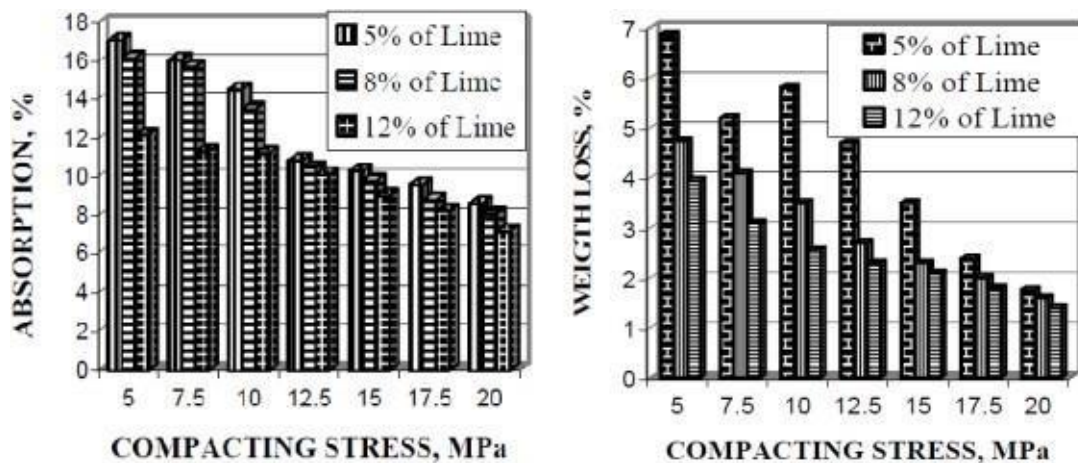


Figure III.8. Influence du compactage et de la chaux sur l'absorption d'eau [51].

III.3.3. Rôle des ajouts minéraux (Pouzzolane)

Les recherches d'IZEMMOUREN [52, 53] démontrent que l'incorporation de pouzzolane naturelle (NP) renforce l'imperméabilité. L'absorption minimale peut atteindre 5,6 %, ce qui est bien en dessous de la limite de 15 % fixée par la norme IS 1725 (Figure III.8).

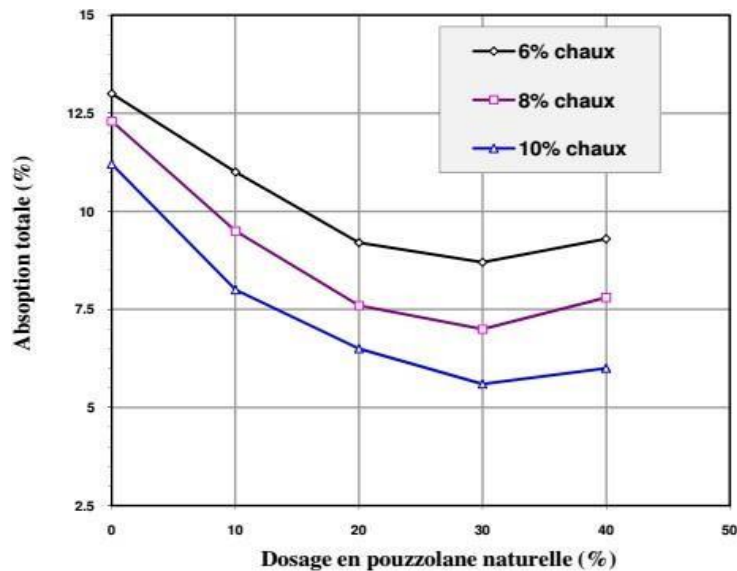


Figure III.9. Influence du dosage en ajouts sur l'absorption totale [53].

III.3.4. Évaluation par le test de sensibilité à l'eau

La cohésion est vérifiée par immersion pendant 24 heures. Ce test visuel permet de classer les blocs selon leur stabilité (Figure III.10) [54].

1. Matériau cohésif : Échantillon intact, eau claire.
2. Manque de cohésion : Désintégration sans troubler l'eau.
3. Matériau dispersif : Désintégration totale, eau trouble.



Figure III.10. Essai de tenue à l'eau des échantillons de BTC [55].

III.4. L'ÉTUDE THERMIQUE

Les recherches de BEKHTI [69] démontrent que l'incorporation d'ajouts dans les blocs de terre comprimée (BTC) joue un rôle prépondérant dans la modification de leur comportement thermique. L'analyse s'appuie sur les observations suivantes

Évolution de la conductivité thermique : Comme illustré dans la Figure III.11 (Variation de λ en fonction du taux d'ajout), l'augmentation de la teneur en ajout réduit systématiquement la conductivité thermique. Pour des blocs stabilisés à 6% de ciment, la valeur de λ chute de 0,612 à 0,531 W/m.K, marquant une amélioration de l'isolation thermique de 13,2%.

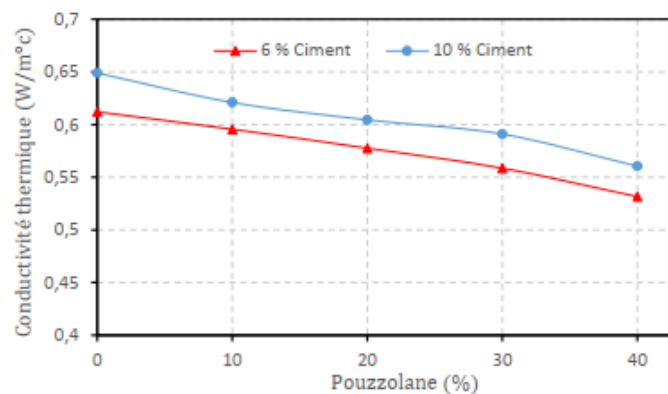


Figure III.11. Variation de la conductivité thermique des BTC en fonction de la teneur en PZ et en ciment [69]

Corrélation avec la masse volumique : L'examen de la Figure III.12 (Corrélation entre λ et ρ) montre une relation linéaire directe : une diminution de la masse volumique sèche ρ engendre une réduction proportionnelle de la conductivité thermique. Ce phénomène s'explique par l'augmentation de la porosité au sein de la matrice terreuse.

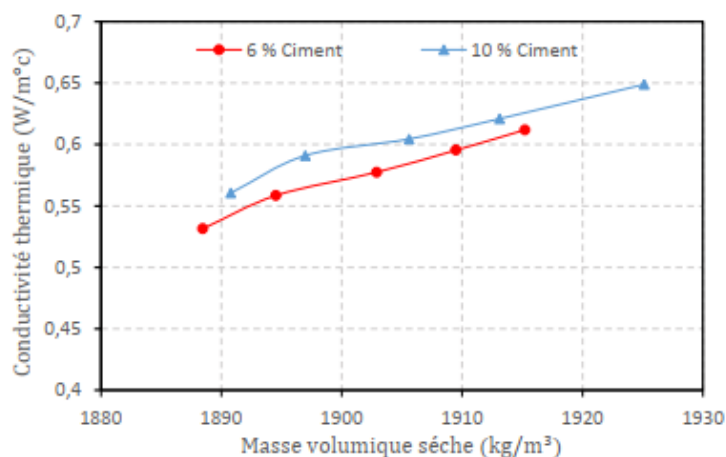


Figure III.12. Corrélation entre la conductivité thermique et la masse volumique sèche [69]

Influence de la composition minéralogique : BEKHTI [69] souligne que la terre crue est riche en quartz (SiO_2), un minéral hautement conducteur $\lambda \approx 7,7 \text{ W/m.K}$). Sa substitution partielle par un matériau moins conducteur permet d'abaisser globalement la capacité de transfert de chaleur du bloc.

Impact du stabilisant : L'analyse des courbes montre que l'augmentation du taux de ciment (de 6% à 10%) densifie la structure interne, provoquant une légère hausse de la conductivité thermique (environ 5,3%) au détriment de la performance isolante.

III.5. CONCLUSION

Ce chapitre de synthèse a permis de montrer que les performances des Blocs de Terre Comprimée (BTC) dépendent fortement du type de stabilisation et des ajouts incorporés dans la matrice terreuse. Les études analysées confirment que la chaux améliore progressivement les résistances mécaniques grâce aux réactions pouzzolaniques, tandis que les fibres synthétiques augmentent la ductilité du matériau et limitent la propagation des fissures.

Les travaux consultés montrent également que l'incorporation des déchets plastiques entraîne généralement une diminution de la résistance à la compression en raison de la faible adhérence entre le plastique et la matrice terreuse. Toutefois, ces ajouts permettent d'améliorer certaines propriétés physiques et thermiques, notamment la légèreté et l'isolation thermique des BTC.

Enfin, les recherches sur l'absorption d'eau et la conductivité thermique démontrent que les déchets plastiques peuvent modifier la structure poreuse du matériau et améliorer son comportement thermique. Ainsi, la valorisation des déchets plastiques dans les BTC apparaît comme une solution prometteuse pour développer des matériaux de construction durables et écologiques.

PROBLEMATIQUE ET OBJECTIF DE TRAVAIL

PROBLÉMATIQUE

La gestion des déchets plastiques constitue l'un des défis écologiques majeurs de notre siècle. À l'échelle mondiale, plus de 280 millions de tonnes de produits plastiques à usage court sont jetées annuellement. Environ 46% de ces déchets finissent en décharge et 22% sont rejetés de manière sauvage dans la nature, menaçant gravement les écosystèmes.

En parallèle, le secteur de la construction cherche activement à réduire sa dépendance aux ressources naturelles traditionnelles et aux liants énergivores comme le ciment Portland. La valorisation de matériaux locaux alternatifs, tels que les sédiments de dragage accumulés dans les barrages algériens, représente une alternative écologique de premier plan.

Cependant, l'introduction de particules plastiques (PET) au sein d'une matrice argileuse stabilisée à la chaux soulève des questions physiques et mécaniques complexes concernant la cohésion interne, la sensibilité à l'eau et la conductivité thermique du produit final.

La problématique centrale de cette recherche est formulée ainsi :

« Dans quelle mesure l'incorporation de déchets plastiques (PET) modifie-t-elle les propriétés physico-mécaniques et thermiques des briques à base de sédiments de dragage stabilisés à la chaux, et quelles sont les implications de ces modifications pour leur application dans la construction durable ? »

Pour répondre à cette problématique, plusieurs interrogations spécifiques sont explorées :

1. Quel est l'impact de l'introduction des déchets de PET (à 2% et 4%) sur la résistance à la compression et à la flexion des briques ?
2. Comment ces inclusions polymériques modifient-elles la structure poreuse du matériau et sa sensibilité à l'eau (absorption totale et capillaire) ?
3. Dans quelle mesure l'ajout de plastique permet-il d'améliorer les propriétés isolantes (diminution de la conductivité thermique) pour répondre aux exigences thermiques du bâtiment ?

OBJECTIFS DU TRAVAIL

L'objectif principal de cette étude est d'examiner de manière exhaustive les effets de l'incorporation de déchets plastiques recyclés sur les performances globales des briques de sédiments stabilisés.

Plus spécifiquement, cette recherche vise à :

1. Caractériser le sol de base : Déterminer les propriétés géotechniques des sédiments de dragage du barrage de Chorfa II (Masses volumiques, limites d'Atterberg, valeur au bleu de méthylène).
2. Évaluer l'impact mécanique : Analyser l'évolution de la résistance à la compression et à la flexion après un processus de cure de 28 jours.

3. Analyser les propriétés physiques : Étudier l'influence du plastique sur la densité sèche des briques et leur comportement face à l'eau (essais d'absorption d'eau par immersion totale et par capillarité).
4. Évaluer le comportement thermique : Mesurer avec précision la conductivité thermique des différentes formulations à l'aide de l'appareil KD2-Pro afin de mettre en évidence l'amélioration du pouvoir isolant.
5. Optimiser la formulation : Proposer un compromis technique optimal permettant de concilier la valorisation environnementale des déchets et le respect des exigences normatives de construction.

Enfin, une Conclusion Générale synthétise les principaux apports de ce travail de recherche et ouvre des perspectives pour des investigations futures.

CHAPITRE IV : MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

CHAPITRE IV: MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

IV.1. INTRODUCTION

Le choix des matériaux utilisés dans la fabrication de sédiments de dragage compressés nécessite la connaissance de leurs diverses caractéristiques physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques qui peuvent prédire la qualité des BTC selon leur utilisation.

Dans ce chapitre, nous allons exposer les différentes caractéristiques des matériaux utilisés dans la confection des briques, argile (sédiments de dragage), de la chaux et des fibres plastiques.

Dans le cadre de la recherche de solutions environnementales innovantes, l'intégration des déchets plastiques dans la fabrication des briques s'impose comme une approche prometteuse pour renforcer la durabilité des matériaux de construction. Afin de garantir la qualité et la performance de ces briques, une série d'essais expérimentaux rigoureux s'avère indispensable.

Ces investigations incluent notamment la détermination des limites d'Atterberg pour identifier la plasticité du sol, ainsi que la mesure des masses volumiques absolue et apparente pour évaluer la compacité et la porosité du matériau. L'essai au bleu de méthylène est également réalisé pour quantifier la présence d'argiles actives.

Sur le plan mécanique, des essais de résistance à la compression et de traction par flexion sont menés pour valider les capacités structurelles des blocs. Enfin, l'évaluation de la durabilité vis-à-vis de l'eau est assurée par des tests d'absorption d'eau totale et d'absorption capillaire. L'ensemble de ces caractérisations est fondamental pour appréhender le comportement des briques à base de déchets plastiques et confirmer leur aptitude à une utilisation dans le domaine du bâtiment.

IV.2. MATERIAUX

IV.2.1. Sédiments de dragage

Les sédiments de dragage faisant l'objet de cette étude proviennent du barrage Chorfa II, implanté dans l'ouest algérien, plus précisément au sein de la commune de Chorfa (Wilaya de Mascara), comme illustré dans la Figure IV.1.

Conformément aux protocoles décrits par Achour [71]. Ces matériaux ont été soumis à une phase de préparation rigoureuse incluant le séchage, le concassage, le broyage ainsi que le tamisage. Les différentes étapes de ce processus de traitement sont synthétisées dans la Figure IV.1 [55].

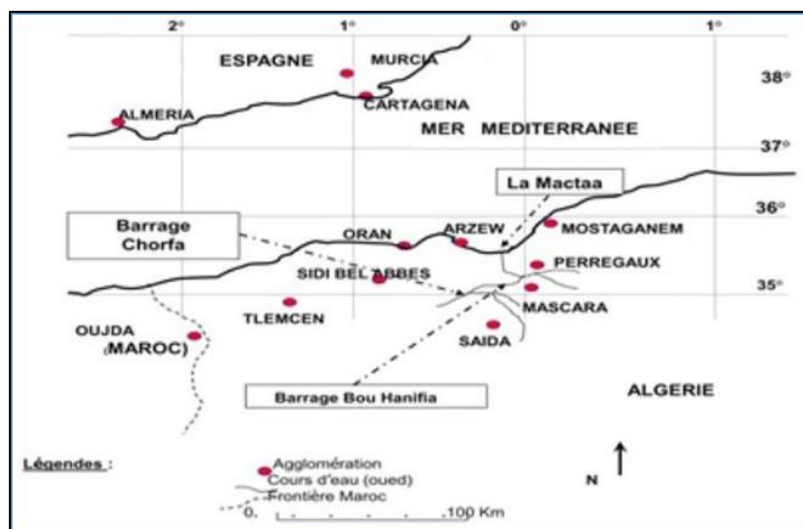


Figure IV.1. Plan de situation du barrage Chorfa II [70]

Un protocole de traitement a été mis en œuvre afin de préparer les échantillons de sédiments de dragage, en vue de leur utilisation comme substitut partiel à la chaux. Cette démarche méthodologique permet d'évaluer avec précision les propriétés physico-chimiques ainsi que les performances mécaniques des sédiments traités. Ce même procédé a été adopté par plusieurs études antérieures consacrées au traitement des sédiments de dragage [73] ; ces différentes étapes et processus sont illustrés dans la Figure IV.2.

Figure IV. 2. Les étapes de traitement des sédiments de dragage [73].

Le protocole de préparation des échantillons de sédiments (vase) s'articule autour des étapes suivantes :

- **Séchage** : Les sédiments bruts sont initialement introduits dans une étuve à 105°C afin d'éliminer toute trace d'humidité. Cette étape est cruciale pour optimiser les phases ultérieures de broyage et de tamisage.
- **Concassage** : Une fois séchée, la vase subit un concassage préliminaire destiné à fragmenter les blocs massifs.
- **Broyage** : Les sédiments concassés sont ensuite broyés finement pour obtenir une granulométrie homogène.

Par ailleurs, les sédiments (argile) ainsi préparés ont été soumis à une série d'analyses physico-chimiques afin d'identifier leurs propriétés intrinsèques, dont les résultats sont synthétisés dans les tableaux IV.2.

Tableau IV.1. Masses volumiques des sédiments du barrage de Chorfa II.

CHAPITRE IV MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

Paramètres	Sédiments bruts
Masses volumiques absolue g/cm^3	2.44
Masses volumiques apparente g/cm^3	1.51

Tableau IV.2. Compositions chimiques de sédiments en utilisant XRF (% en poids) [72].

composition des oxydes	Sédiments BRUTS
SiO_2	40.04
Al_2O_3	10.58
Fe_2O_3	4.40
CAO	20.11
MGO	1.93
SO_3	0.30
K_2O	0.92
Na_2O	0.25
CL	0.06
PF	23.08
CaCO_3	/

IV.2.2. La chaux

La chaux utilisée dans le cadre de cette étude est une chaux vive (CaO), provenant de l'unité de production ERCO située à El Hassasna, dans la wilaya de Saïda. Ses propriétés physiques et chimiques fondamentales sont détaillées dans la Figure IV.3 et le Tableau IV.3.



Figure IV.3. La chaux

Tableau IV.3. Analyse chimique et caractéristiques physiques de la chaux vive [52].

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	Masse volumique apparente	Kg/m ³	1490
SO ₃	0.11			
K ₂ O	0.15	Surface spécifique	m ² /Kg	300
Na ₂ O	0.06			

IV.2.3. PET

Les fibres plastiques intégrées dans cette étude sont constituées de polyéthylène téréphtalate, plus connu sous l'appellation commerciale **PET**. Il s'agit de déchets récupérés auprès de l'Entreprise Publique de Wilaya de Gestion des Centres d'Enfouissement Technique (CET) de Mostaganem. Cet organisme assure actuellement la gestion de cinq centres d'enfouissement technique destinés aux déchets ménagers et assimilés, comme illustré dans la Figure IV.4.

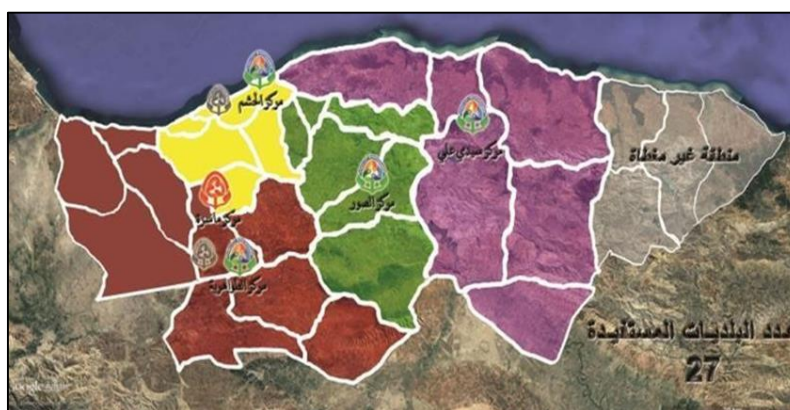


Figure IV.4. Emplacements des décharges techniques à Mostaganem [74].

Ce matériau PET est obtenu par un broyage fin de bouteilles en plastique recyclées. La Figure IV.5. Illustre les déchets de PET exploités dans le cadre de nos travaux de recherche.

Figure IV.5. PET utilisé

Avant leur intégration dans la confection des briques, les particules de polyéthylène téréphtalate (PET) broyées ont été soumises à une série d'essais de caractérisation en laboratoire, portant notamment sur la détermination de la masse volumique apparente et de la masse volumique absolue.

Tableau IV.4. Propriétés physico-chimique, mécaniques et thermique du PET masse [74].

Résistance à la traction	55 - 75 MPa
Allongement à la rupture	50 - 150 %.
Dureté	85 - 95 Shore D

CHAPITRE IV MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

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.

IV.3. ESSAIS REALISES

Les essais ont été menés au niveau du :

- Laboratoire pédagogique des matériaux de construction, Département de Génie Civil, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.
- Laboratoire de recherche construction transport protection de l'environnement, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.
- Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions, Département de Génie Civil, Université Belhadj Bouchaib d'Ain T'émouchent.
- Laboratoire pédagogique des matériaux de construction, Département de Génie Civil, Université Mohamed Boudiaf (IGCMO) Oran.

IV.3.1 la masse volumique

La masse volumique représente la variation de la masse d'un matériau par rapport à son volume. On distingue généralement deux types de mesures : la masse volumique apparente et la masse volumique absolue.

IV.3.1.1. Masse volumique apparente (selon la norme NA EN 1097)

Elle est définie comme le rapport entre la masse d'un corps et son volume apparent (incluant les vides intergranulaires). Elle s'exprime en (g/cm³). La mesure consiste à remplir un récipient étalonné avec le matériau sans compactage, puis à peser le contenu après arasement (Figure IV.6).

A. Matériel utilisé

- Une balance de précision (sensibilité de 0,01 g).
- Un récipient de volume connu (étalon de 5 litres).
- Une règle à araser.

B. Mode opératoire

CHAPITRE IV MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

1. Peser le récipient vide et préalablement étalonné.
2. Prendre le matériau (argile) à deux mains en formant un entonnoir.
3. Placer les mains à environ 10 cm au-dessus du bord du récipient.
4. Verser le matériau au centre du récipient jusqu'à ce qu'il déborde légèrement.
5. Araser soigneusement la surface à l'aide de la règle, sans appliquer de compactage.
6. Peser l'ensemble et noter la masse M du contenu.
7. Répéter l'opération trois fois pour valider la précision de l'essai.

La masse volumique apparente est alors déterminée par la relation suivante :

$$V = \frac{D^2 \times \pi}{4} \times h \quad \rho_{app} = \frac{M}{V}$$

M : Masse du matériau «g»

V : Volume du récipient « cm^3 ».



Figure IV.6. Mesure de la masse volumique apparente de l'argile.

IV.3.1.2. Masse volumique absolue (selon la norme NF EN 1097)

La masse volumique absolue est définie comme le rapport entre la masse du matériau et son volume réel (exprimé en g/cm^3). Contrairement à la masse volumique apparente, cette mesure ne prend pas en compte les vides existants à l'intérieur ou entre les grains (Figure IV.7).

A. Analyse de l'argile

A-a. Le matériel utilisé

- Un pycnomètre étalonné.
- Une balance de précision.

A-b. Mode opératoire

1. Remplir le pycnomètre benzène jusqu'au col.
2. Placer le bouchon et ajuster le niveau de l'eau jusqu'au trait de jauge.
3. Peser l'ensemble (pycnomètre + bouchon + benzène) et noter la masse M1.
4. Peser une masse précise d'argile notée M2.
5. Vider une partie de benzène contenue dans le pycnomètre.
6. Introduire délicatement la masse M2 d'argile à l'intérieur du pycnomètre.
7. Nettoyer soigneusement le col du récipient pour éliminer toute impureté et garantir l'étanchéité du bouchon.
8. Replacer le bouchon et compléter le remplissage avec de benzène jusqu'au trait de jauge.
9. Peser l'ensemble final (pycnomètre + bouchon + benzène + matériau) et noter la masse M3.

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

B. Fibres plastiques (PET)

La détermination de la masse volumique absolue des fibres de PET est réalisée par la méthode de déplacement de volume (principe d'Archimède) en utilisant une éprouvette graduée.

B-a. Matériel utilisé

- Une balance de précision.
- Une éprouvette graduée.
- De l'eau distillée.
- Des échantillons de déchets plastiques découpés (Figure.IV.8).

B-b. Mode opératoire

1. Peser l'éprouvette graduée vide et noter sa masse.
2. Introduire une quantité d'eau déterminée dans l'éprouvette et relever le volume initial V1.
3. Peser avec précision une masse ms de particules de plastique découpées.
4. Introduire délicatement les morceaux de plastique dans l'eau de l'éprouvette.
5. Veiller à éliminer toute formation de bulles d'air à la surface des fibres pour ne pas fausser la mesure.
6. Enregistrer le nouveau volume atteint dans l'éprouvette, noté V2 (Figure.IV.8).
7. Calculer le volume réel occupé par les morceaux de plastique $V_s = V_2 - V_1$.

La masse volumique absolue ρ_s est déterminée par la relation suivante :

$$\rho_{abs} = \frac{M_2}{(M_1 + M_2) - M_3} \times \rho_L \quad . \quad \rho_s = m_s / v_s$$

- ρ_s : Masse volumique absolue (g/cm³ ou kg/m³).
- m_s : Masse des particules de plastique (g). V_s : Volume réel déplacé par le plastique (cm³).

Figure IV.8. Mesure du volume absolue de PET

IV.3.2. Limite aterberg

IV.3.2.1. Définition

L'objectif principal de cet essai est de déterminer la limite de liquidité (WL) et la limite de plasticité (Wp). Ces paramètres représentent les teneurs en eau pondérales caractéristiques identifiant les changements d'état du sol.

IV.3.2.2. Mode opératoire

La détermination de la limite de liquidité s'effectue à l'aide de l'appareil de Casagrande (Figure.IV.9).

Le protocole expérimental suivi est le suivant :

1. Prélever environ 200 g de sol préalablement tamisé au tamis de 0,4 mm (par voie humide ou sèche).
2. Malaxer soigneusement l'échantillon avec de l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène et presque fluide (Figure.IV.10).
3. Étaler une portion de cette pâte dans la coupelle de l'appareil de Casagrande à l'aide d'une spatule (Figure.IV.11).
4. Réaliser une rainure au centre de la pâte afin de la diviser en deux parties symétriques. L'outil à rainurer doit être maintenu perpendiculairement à la coupelle, le bord biseauté orienté dans le sens du mouvement (Figure.IV.12).
5. Soumettre la coupelle à des chocs répétés à une cadence de 2 chocs par seconde.
6. Interrompre les chocs dès que les deux lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm (ou 2 cm selon la variante de la norme), puis noter le nombre de coups N correspondant.
7. Prélever environ 5 g de sol de part et d'autre de la zone de contact pour déterminer la teneur en eau(Figure.IV.13).
8. Réhomogénéiser le sol, le laisser sécher légèrement, puis répéter les étapes 3 à 7. Au moins trois essais sont nécessaires avec un nombre de coups croissant, idéalement compris entre 15 et 35 coups.

Figure IV.13. Prélèvement de part et d'autre de la zone de contact.

Figure IV.9. Appareil de Casagrande utilisé **Figure IV.10.** Préparation du mélange argil eau pour la détermination de la limite de liquidité.

Figure IV.11. Remplissage de la
coupelle de Casagrande

Figure IV.12. Réalisation de la rainure normalisée

IV.3.2.3. Détermination de la limite de plasticité (WP)

Le protocole expérimental pour la détermination de la limite de plasticité (essai au rouleau) est le suivant :

- Prélever une petite quantité de matériau et former une boulette (Figure IV.14).
- Rouler la boulette à la main sur une plaque de marbre de manière à obtenir un petit rouleau (Figure IV.15).

Trois situations peuvent se présenter lors de cet essai :

1. Le rouleau commence à se fissurer lorsqu'il atteint un diamètre de 3 mm et une longueur d'environ 10 cm. Dans ce cas, le sol a atteint sa limite de plasticité. On procède alors immédiatement à la mesure de sa teneur en eau.
2. Le sol est trop humide : il est impossible de former un rouleau cohérent. Le matériau doit être légèrement séché à l'air avant de recommencer.
3. Le sol est trop sec : le rouleau se fissure prématurément avant d'atteindre les dimensions requises. Il est nécessaire d'humidifier légèrement l'échantillon.

Au moins deux essais concordants doivent être réalisés pour valider la valeur de la limite de plasticité.

Figure IV.14. Formation d'une boulette d'argile maniable

Figure IV.15. Réalisation du rouleau d'argile

IV.3.2.4. Indice de plasticité IP

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

$$IP = WL - WP$$

$$IP = 49 - 23.44 = 25.56$$

Tableau IV.5. 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

IV.3.2.5. Calcul

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

$$WL = \omega n \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

- ωN 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 prise en considération.

IV.3.3. Essais bleu de methylene

IV.3.3.1. Définition et Objectif

L'essai au bleu de méthylène, ou valeur de bleu du sol (VBS), permet de mesurer la capacité d'adsorption des constituants argileux d'un sol. Cet essai est crucial pour identifier la quantité et l'activité des minéraux argileux présents, car ces derniers influencent directement la plasticité, le retrait et la sensibilité à l'eau des blocs de terre comprimée.

IV.3.3.2. Principe de l'essai

L'essai consiste à injecter successivement des doses de solution de bleu de méthylène dans une suspension de sol (passant au tamis de 5 mm) et d'eau. On vérifie l'adsorption du colorant par les particules d'argile à l'aide du "test de la tâche" sur un papier filtre. L'essai est terminé lorsque les grains d'argile sont saturés, ce qui se manifeste par l'apparition d'une auréole bleue persistante autour de la tache centrale.

IV.3.3.3. Procédure Expérimentale

L'essai est réalisé conformément à la procédure illustrée par la Figure IV.16. Les étapes suivies sont les suivantes :

CHAPITRE IV MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

1. Préparation : Prélever une prise d'essai de 10 grammes de sol sec ayant passé au tamis de 5 mm.
2. Mise en suspension : Immerger l'échantillon dans un bécher contenant 100 cm³ d'eau distillée.
3. Dispersion : Utiliser un agitateur magnétique à une vitesse de 700 tr/min pendant 5 minutes pour assurer la dispersion totale de la suspension.
4. Injection du colorant : À l'aide d'une burette, introduire une dose initiale de 5 cm³ de solution de bleu de méthylène, puis agiter à 400 tr/min pendant 1 minute.
5. Test de la tache (Spot Test) : Prélever une goutte de la suspension à l'aide d'une baguette en verre et la déposer sur un papier filtre.
 - Cas d'un test Négatif : Si la tache centrale est entourée d'une auréole d'eau incolore (pas de bleu), le test est négatif. On ajoute alors une nouvelle dose de 5 cm³ de bleu et on répète l'agitation et le test de la tâche.
 - Cas d'un test Positif : Si une auréole bleue persistante apparaît autour de la tâche, le test est potentiellement positif.
 - Confirmation : Pour confirmer la saturation, on effectue 5 tests successifs (une tache par minute) sans ajout de colorant. Si l'auréole bleue persiste durant les 5 minutes, l'essai est terminé.
 - Réajustement : Si l'auréole disparaît avant la 5ème minute, on rajoute une petite dose de 2,5 cm³ de bleu et on recommence les tests jusqu'à stabilisation.

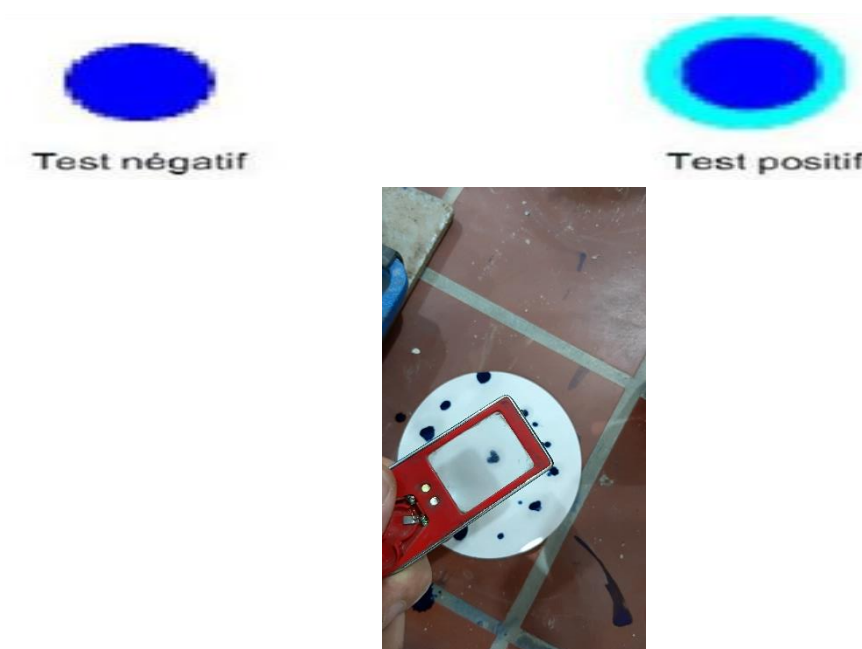


Figure IV .16. Tests de la tâche de l'essai au bleu de méthylène

IV.3.3.4. Formules de calcul

La valeur de bleu du sol (VBS) est calculée par la relation suivante : $VBS = \frac{B}{m} \times 100$

V: Volume du bleu méthylène ajouté en cm^3

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

m : Masse de la prise d'essai en g.

$$SST (m2/g) = 20.93 \times VBS$$

IV.3.3.5. Classification du sol

Le test au bleu de méthylène permet de classer la nature des sols selon leur sensibilité à l'eau Norme AFNOR [75].

Tableau IV.6. Classification du sol selon la valeur VBS [8].

Valeur VBS	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

IV.3.4. Préparation des briques

IV.3.4.1. Matériel spécifique

Les éprouvettes prismatiques de dimensions ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$), utilisées pour la réalisation des différents essais prévus dans notre programme expérimental, ont été confectionnées dans un moule (Figure IV.17) spécialement conçu à cet effet.

Ce moule est constitué de cinq éléments en acier trempé, assemblés rigoureusement à l'aide de huit goujons (ou goujons filetés). La conception robuste de ce matériel permet de garantir la précision géométrique des briques lors de la phase de compression.



Figure IV.17. Moule métallique utilisé pour la confection des briques.

IV.3.4.2. Formulation des briques

Trois types de briques ont été confectionnés dans le cadre de cette étude, en faisant varier le pourcentage d'incorporation des fibres plastiques :

1. Brique de référence (RDSB) : Composée uniquement de sédiments compressés (0% de fibres).
2. Brique DSB 2% : Intégrant une teneur de 2% de fibres plastiques.
3. Brique DSB 4% : Intégrant une teneur de 4% de fibres plastiques.

Le tableau Tableau.IV.7 et la Figure.IV.18 présentent les compositions détaillées et les proportions massiques utilisées pour chaque type de brique.

La codification de l'ensemble des mélanges étudiés est présentée sur le tableau IV.7

Tableau IV.7. Codification des mélanges

Composition		BTC Témoin	BTC 2%	BTC 4%
Argile	(%)			
	(g)			
Chaux	(%)			
	(g)			
Plastique	(%)			
	(g)			
Eau	(%)			
	(g)			

IV.3.4.3. Méthodologie de préparation et de confection des briques

Dans le cadre de cette étude, les briques de terre compressées (BTC) renforcées par des déchets plastiques ont été élaborées selon un protocole rigoureux afin de garantir l'homogénéité du mélange et la fiabilité des résultats.

Le processus de fabrication comprend les étapes suivantes

1. **Mélange et homogénéisation** : On procède au mélange à sec des constituants (argile, chaux et fibres plastiques broyées), suivi de l'ajout progressif de l'eau jusqu'à l'obtention d'une consistance parfaitement homogène.
2. **Mise en moule** : Le mélange est introduit dans le moule en trois couches successives. Pour chaque couche, un arasage est effectué, suivi d'un compactage manuel léger (environ 15 coups par couche à l'aide d'un poids de pierre) afin d'assurer une densification primaire et l'évacuation de l'air occlus.
3. **Mise en place du dispositif de compression** : Un couvercle métallique est positionné sur le moule, stabilisé par deux contrepoids latéraux pour équilibrer la presse lors de l'opération.

CHAPITRE IV MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

4. **Compression** : Une presse manuelle est sollicitée pour comprimer l'échantillon de manière uniforme jusqu'à l'obtention de la géométrie finale de la brique (Figure.IV.14).

Cette approche méthodologique permet d'assurer une reproductibilité optimale des essais et de maintenir des conditions de fabrication identiques pour l'ensemble des échantillons.



Mélange

Mise en couches

Arasage et Nivellement

Fermeture

Mise en place de la machine

Pressage



Contrôle de la pression

Arrêt de la compression



Démoulage

Résultat final

Figure IV.18. Étapes de fabrication des briques à l'aide de la presse manuelle.

IV.3.5. Résistances mécaniques

IV.3.5.1. Résistance à la flexion: EN 12390-4

A. La machine de flexion

L'essai de flexion est réalisé à l'aide d'une machine de compression/flexion motorisée, conforme à la norme EN 12390-4, permettant une application de charge constante et précise.

B. Principe de l'essai

L'éprouvette prismatique est soumise à un moment de flexion jusqu'à la rupture par l'application d'une charge centrée (flexion simple). La charge maximale atteinte au cours de l'essai est enregistrée pour calculer la résistance à la traction par flexion.

CHAPITRE IV MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

c. Expression des résultats :

La résistance à la flexion R_f (en MPa) est déterminée par la formule suivante :

$$R_f = \frac{3(F.L)}{(d1.d2)}$$

Où:

R_f : Résistance à la flexion (MPa ou N/mm²).

F : Charge maximale enregistrée à la rupture (N)

L : Distance entre les rouleaux d'appui (mm).

$d1$ et $d2$: Dimensions de la section transversale de l'éprouvette (mm).

C. Matériels utilisés

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



Figure IV.19. Essai de flexion

IV.3.5.2. Essai de résistance à la compression (Norme EN 12390-3)

A. Principe de l'essai

L'essai consiste à soumettre l'échantillon à une charge de compression axiale jusqu'à la rupture. L'opération est effectuée à l'aide d'une presse hydraulique d'une capacité de 3000 kN, avec une vitesse de chargement constante de 1 kN/s.

Pour garantir la validité de l'essai, les éprouvettes (ou demi-prismes issus de l'essai de flexion) doivent être parfaitement centrées entre les plateaux de la presse. Ce centrage rigoureux permet d'éviter l'apparition de moments de flexion parasites dus à l'excentricité de la charge.

B. Expression des résultats

CHAPITRE IV MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

La résistance à la compression R_c est calculée par le rapport de la charge de rupture sur la section transversale de l'éprouvette

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

Où :

- **R_c** : Résistance à la compression (MPa ou N/mm²).
- **F** : Charge maximale de rupture enregistrée (N).
- **S** : Section transversale de l'éprouvette (mm²).

(Pour une éprouvette 4×4cm, $S = 1600 \text{ mm}^2$).

C. Matériel utilisé

- Éprouvettes prismatiques (ou fragments d'éprouvettes) de dimensions (4×4×16cm³).
- Balance électronique de précision.
- Presse hydraulique motorisée (dispositif d'écrasement).



Figure IV.20. Essai de compression

IV.3.6. Essai de durabilité

IV.3.6.1 Absorption capillaire

L'essai d'absorption capillaire permet d'évaluer la porosité ouverte du matériau et sa capacité à absorber l'eau par remontées capillaires. Ce paramètre est essentiel pour juger de la durabilité des briques face aux agressions hydriques.

A. 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.

CHAPITRE IV MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

- 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 ± 3 °C.
- Peser chaque bloc, soit : M_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. Après 20 min même étape.
- Le peser, soit : M_t (en grammes).

Calcul du coefficient d'absorption (C_a) : Le coefficient est déterminé par la relation entre la masse d'eau absorbée ($M_t - M_0$) et la racine carrée du temps ($\sqrt{t}$) :

$$C_a = \frac{M_t - M_0}{S \times \sqrt{t}}$$

- M_t : Masse de l'éprouvette à l'instant t (g).
- M_0 : Masse de l'éprouvette sèche (g).
- S : Section de la face immergée (cm²).
- t : Temps d'immersion (min).

La méthodologie adoptée pour l'évaluation de la durabilité hydrique des blocs est illustrée en détail par la figure IV.21. Le protocole suit une approche rigoureuse visant à isoler le phénomène de transfert capillaire



Figure IV.21. Principe de l'essai d'absorption capillaire

IV.3.6.2. Essai d'absorption totale d'eau

A. Définition et Objectif

L'essai d'absorption totale par immersion complète permet de déterminer la porosité ouverte globale du matériau. Contrairement à l'essai de capillarité qui mesure la vitesse de pénétration, l'absorption totale quantifie la capacité maximale de stockage d'eau de la brique. C'est un indicateur clé de la résistance du matériau aux cycles de gel-dégel et à la saturation prolongée.

B. Mode opératoire

Le protocole expérimental est réalisé conformément aux étapes suivantes :

1. Séchage : Les échantillons sont placés dans une étuve à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à l'obtention d'une masse constante, notée M_s (masse sèche).
2. Immersion : Les éprouvettes sont totalement immergées dans un bac rempli d'eau distillée à température ambiante ($20 \pm 2^\circ\text{C}$).
3. Durée : L'immersion est maintenue pendant une période de 48 heures pour garantir une saturation complète des pores accessibles.
4. Pesage : Après 48h, les échantillons sont retirés, essuyés rapidement avec un chiffon humide pour éliminer l'eau de surface, puis pesés pour obtenir la masse saturée, notée M_h .

C. Calcul du taux d'absorption

Le pourcentage d'absorption totale d'eau (Ab) est calculé par la formule pondérale suivante

$$Ab \% = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100$$

Où :

- M_h : Masse de l'échantillon à l'état saturé (g).
- M_s : Masse de l'échantillon à l'état sec (g).

Le protocole de saturation complète des blocs de terre comprimée est illustré par la Figure IV.22. Cet essai permet de quantifier la capacité de rétention d'eau maximale du matériau par immersion totale.



Figure IV.22. Dispositif expérimental de l'essai d'absorption totale par immersion.

IV.3.7. Essai thermique

IV.3.7.1. Définition et Objectif

Cette phase constitue le cœur technique de la caractérisation physique des Briques de Terre Comprimée (BTC). L'objectif est de quantifier l'impact de l'incorporation des déchets plastiques (PET) sur la capacité d'isolation du matériau.

IV.3.7.2. Mode opératoire

Conditionnement : Les éprouvettes de BTC ont été séchées à l'étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante afin d'éliminer l'influence de l'humidité.

Préparation : Deux orifices parallèles de 1.5 mm de diamètre ont été percés avec précision au centre de chaque brique.

Optimisation du contact : Une fine couche de pâte thermique a été appliquée sur les aiguilles de la sonde pour garantir une interface parfaite avec la matrice terreuse et éliminer la résistance thermique de l'air emprisonné dans les trous.

Stabilisation : Un temps de repos a été observé pour permettre à l'échantillon d'atteindre l'équilibre thermique avec le milieu ambiant avant le lancement de la mesure (Figure IV.24).



CHAPITRE IV MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

Figure IV.23. L'appareil utilisé Pour mesurer la conductivité thermique

Figure IV.24. Mesure de la conductivité thermique des BTC à l'aide de l'instrument KD2- Pro

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

ET ANALYSE

CHAPITRE V: RÉSULTATS ET ANALYSE

V.1. INTRODUCTION

Ce chapitre est consacré à la présentation et à l'analyse des résultats expérimentaux obtenus à partir des essais réalisés sur des briques incorporant des déchets plastiques. Les investigations portent sur plusieurs paramètres, notamment les limites d'Atterberg, la masse volumique apparente de l'argile et du plastique, l'essai au bleu de méthylène, les performances mécaniques, thermique ainsi que les propriétés d'absorption d'eau.

Pour chaque type d'essai, sont exposés successivement le principe, les relations de calcul utilisées, les résultats obtenus, ainsi que leur interprétation.

V.2. MASSE VOLUMIQUE

V.2.1. Masse volumique apparente ρ_{app}

Elle correspond à la masse du matériau par unité de volume total (incluant les vides entre les grains).

$$\rho_{app}(\text{argile}) = \frac{243.3}{162.2} = 1.5 \text{ g/cm}^3.$$

V.2.2. Masse volumique absolue ρ_{abs}

Elle représente la masse de la matière solide uniquement, sans les vides. Elle est mesurée à l'aide d'un pycnomètre et d'un liquide d'immersion (Eau ou Benzène).

$$\rho_{abs}(\text{argile}) = \frac{10}{(245.4 + 10) - 251.9} \times 0.878 = 2,508 \text{ g/cm}^3.$$

M1: Masse du pycnomètre + liquide. M2: Masse de l'échantillon sec. M3: Masse du pycnomètre + liquide + échantillon. ρ_L Masse volumique du liquide (1 pour l'eau, 0,878 pour le benzène).

D'après les mesures effectuées en laboratoire, les résultats obtenus sur Tableau V.1:

Tableau V.1. Résultats des masses volumiques apparente et absolue.

	Argile	La Chaux	Plastique
Masse volumique apparente g/cm ³ .			
Masse volumique absolue g/cm ³ .			

Les résultats obtenus montrent que l'argile présente une masse volumique nettement plus élevée que celle du plastique et de la chaux. En particulier, le plastique se distingue par sa très faible densité.

Par conséquent, l'incorporation de déchets plastiques dans le mélange conduit à une diminution de la masse volumique globale des briques. Cette diminution s'explique principalement par la légèreté du plastique, ce qui favorise la production de matériaux plus légers.

Toutefois, cette réduction de densité peut également influencer certaines propriétés mécaniques des briques, notamment leur résistance.

V.3. LIMITES D'ATTERBERG

V.3.1. Méthodes de mesure

- Limite de liquidité (LL) : Elle est déterminée à l'aide de l'appareil de Casa grande. Cette méthode consiste à placer une pâte de sol dans une coupelle, puis à mesurer le nombre de chocs nécessaires pour refermer une rainure normalisée de 12,7 mm, pour différentes teneurs en eau.
- Limite de plasticité (PL) : Elle est obtenue en roulant des échantillons de sol sous forme de fils jusqu'à un diamètre de 3 mm. La teneur en eau correspondante à l'apparition des fissures ou à l'effritement du fil représente la limite de plasticité.

V.3.2. Formules de calcul

L'indice de plasticité est déterminé à partir de la relation suivante : $IP = LL - PL$

LL : Limite de liquidité (%). **PL** : Limite de plasticité (%). **IP** : Indice de plasticité (%).

V.3.3. Résultats et interprétation

Les résultats (Tableau V.2. et Figure V.1.) montrent que plus la quantité de plastique augmente, plus les limites de liquidité et de plasticité diminuent, ce qui entraîne une baisse de l'indice de plasticité. Cela signifie que le sol devient moins plastique, ce qui peut influencer sa maniabilité et son comportement au séchage.

Tableau V.2. Détermination de la limite de liquidité (WL) et de la limite de plasticité (WP) des échantillons de sol

	LIMITE DE LIQUIDITÉ						LIMITE PLASTICITÉ	
NOMBRE de coups	17		22		27			
No de la tare	1	2	3	4	5	6	K8	F
Poids total humide (g)	10.1	9.2	8.2	8.8	9.7	8.9	9.5	9.0
Poids total sec (g)	9.1	8.3	6.9	7.6	8.3	7.9	9.0	8.3
Poids de la tare (g)	7.6	6.9	4.7	5.3	5.7	5.4	6.8	5.4
Poids d'eau (g)	1	0.9	1.3	1.2	1.4	1	0.5	0.7
Poids net sec (g)	1.5	1.4	2.2	2.3	2.6	2.5	2.2	2.9
Teneur en eau (%)	66.6	64.3	59.09	52.2	53.8	40	22.73	24.14
WL (%)	65.48		55.63		46.92			

- **LL** : (49%) **PL** : (23,44%) **IP** : (25,56%)

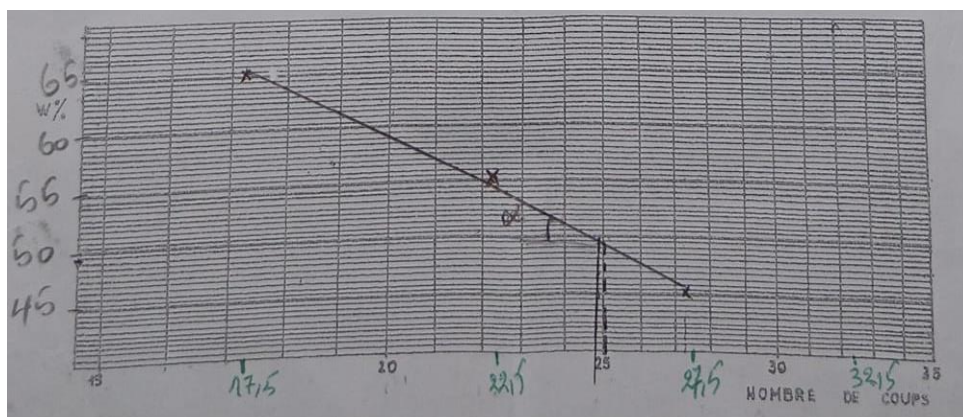


Figure V.1. Courbe de Casagrande : Détermination de la limite de liquidité

La courbe de Casagrande représente la variation de la teneur en eau en fonction du logarithme du nombre de coups. Les points expérimentaux s'alignent globalement selon une tendance linéaire décroissante, ce qui confirme la validité des mesures expérimentales.

La limite de liquidité (LL) est déterminée à partir de l'intersection de la droite de régression avec la verticale correspondant à 25 coups. Dans notre cas, elle est estimée à environ **49%**, ce qui indique que le sol possède une plasticité moyenne à élever.

Par ailleurs, la limite de plasticité ($PL = 23,44\%$) permet de calculer un indice de plasticité ($IP = 25,56\%$), traduisant un domaine de plasticité relativement étendu. Cela signifie que le sol présente une bonne capacité de déformation sans rupture, ce qui est favorable pour la mise en forme des briques.

Cependant, la diminution observée des limites d'Atterberg avec l'ajout de plastique indique une réduction de la plasticité du matériau. Cette évolution peut améliorer la résistance au retrait et à la fissuration.

V.4. TEST AU BLEU DE MÉTHYLÈNE

V.4.1. Méthode de mesure (Test de la tache)

La procédure consiste à injecter progressivement une solution de bleu de méthylène dans une suspension de sol. Le "test de la tache" sur papier filtre est utilisé pour détecter la saturation des sites d'adsorption des argiles. Le test est jugé positif lorsqu'une auréole bleue persistante apparaît autour de la tache centrale, indiquant que le colorant n'est plus absorbé par les minéraux.

V.4.2. Résultats et Interprétation

Les résultats de l'essai au bleu de méthylène, effectués sur le sédiment de base, sont récapitulés ci-dessous. Ces données permettent de quantifier la réactivité de la fraction argileuse et de classer le sol selon sa sensibilité à l'eau.

A. Synthèse des résultats numériques

À partir d'une prise d'essai de 10 g et d'un volume de dosage de 30cm^3 , les calculs donnent :

- **Valeur de Bleu du Sol VBS :**
$$\text{VBS} = \frac{0,01 \times 30}{10} \times 100 = 3$$
- **Surface Spécifique Totale SST:**
$$\text{SST} = 20,93 \times 3 = 62,79 \text{ m}^2/\text{g}$$

B. Classification du sol

En se référant à la classification de la norme AFNOR [75] (voir Figure V.2), la valeur obtenue $\text{VBS} = 3$ situe notre matériau dans la catégorie des sols **limoneux-argileux**

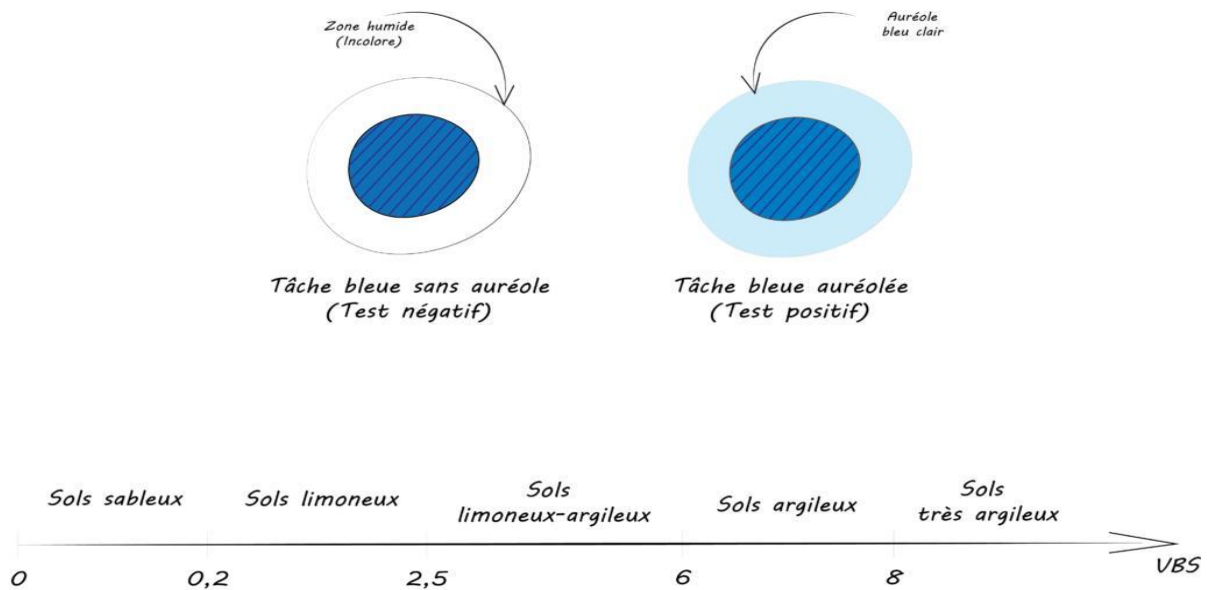


Figure V.2. Nature du sol en fonction de la VBS

Selon la classification proposée par la norme AFNOR [75], la valeur du bleu de méthylène (VBS) permet d'évaluer la teneur et l'activité des fractions argileuses dans le sol. Dans notre cas, la valeur obtenue $\text{VBS} = 3$ se situe dans l'intervalle $2,5 \leq \text{VBS} < 6$, ce qui correspond à un sol limoneux-argileux.

Ce type de sol présente une proportion intermédiaire entre les limons et les argiles, ce qui lui confère des propriétés intéressantes pour la fabrication des BTC. En effet, la présence d'argile assure une certaine cohésion et plasticité, tandis que les limons contribuent à améliorer la compacité et la maniabilité du matériau.

Cependant, ce type de sol peut également être sensible à l'eau, notamment en termes de variation de volume (gonflement et retrait). Cela explique l'importance de la stabilisation (par la chaux ou autres liants) afin d'améliorer ses performances mécaniques et sa durabilité.

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 résistances mécaniques à la flexion et à la compression des BTC étudiés.

Tableau V.3. Résultat des résistances mécaniques des BTC.

Jour	Echantillons	Rf (MPa)	Rc (MPa)
7	BTC Témoin		
	BTC 2%		
	BTC 4%		
14	BTC Témoin		
	BTC 2%		
	BTC 4%		
28	BTC Témoin		
	BTC 2%		
	BTC 4%		
28	Temoin ciment		
	BTC 2%		
	BTC 4%		

V.5.1. Résistance à la flexion

La résistance à la traction par flexion est un paramètre essentiel pour juger la ténacité du bloc. La Figure V.3 illustre l'essai de flexion ainsi que l'influence de l'ajout du déchet plastique sur cette propriété.



Figure V.3. Représente l'influence de l'ajout du déchet en plastique sur la résistance à la traction des BTC.

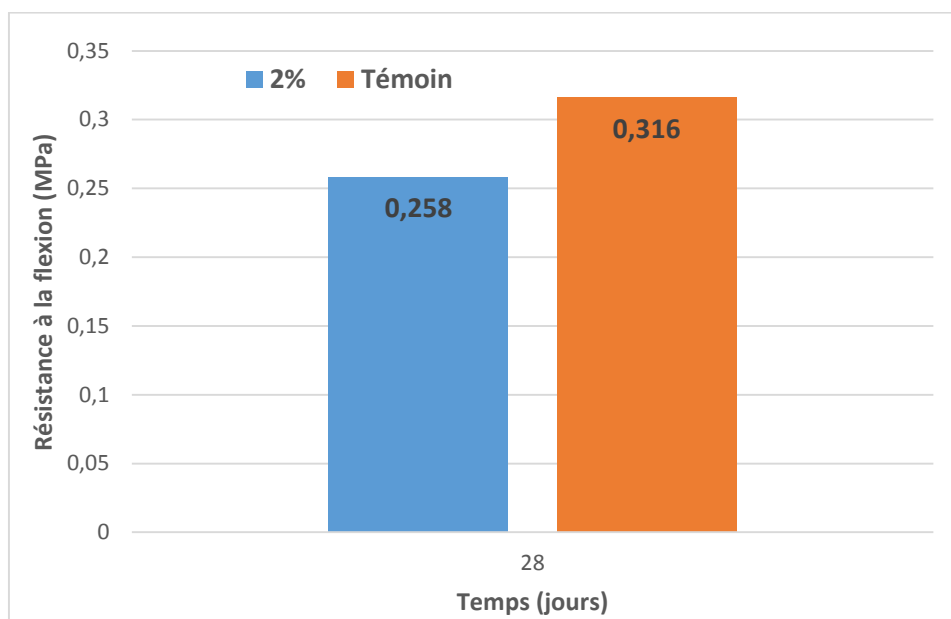


Figure V.4. Évolution de la résistance à la flexion

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'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps des BTC témoin et avec ajouts de 2%, 4% de déchets en plastique sont illustrés sur la figure V.5.

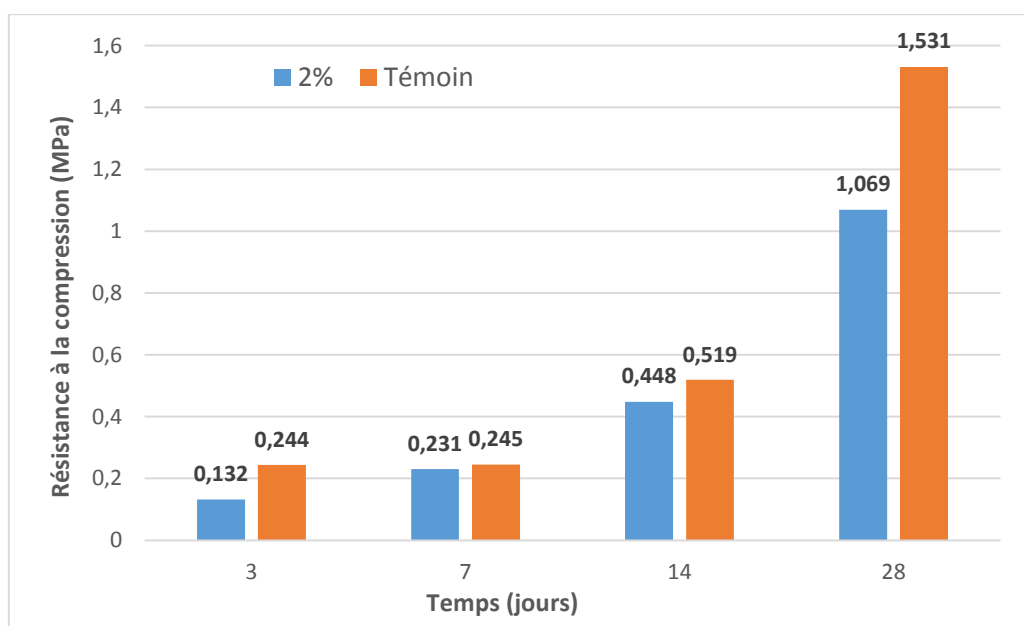


Figure V.5. Évolution de la résistance à la compression

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 brique 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.5.3. Étude comparative stabilisation à la chaux vs au ciment (À 28 jours)

Cette section présente une comparaison directe entre les deux modes de stabilisation utilisés (Chaux 8% et Ciment 8%) afin d'identifier le liant le plus performant pour la valorisation des déchets plastiques (PET) dans les BTC.

D'après les résultats obtenus à 28 jours (Tableau V.2) Cette comparaison (Figure V.6) permet d'identifier le liant optimal

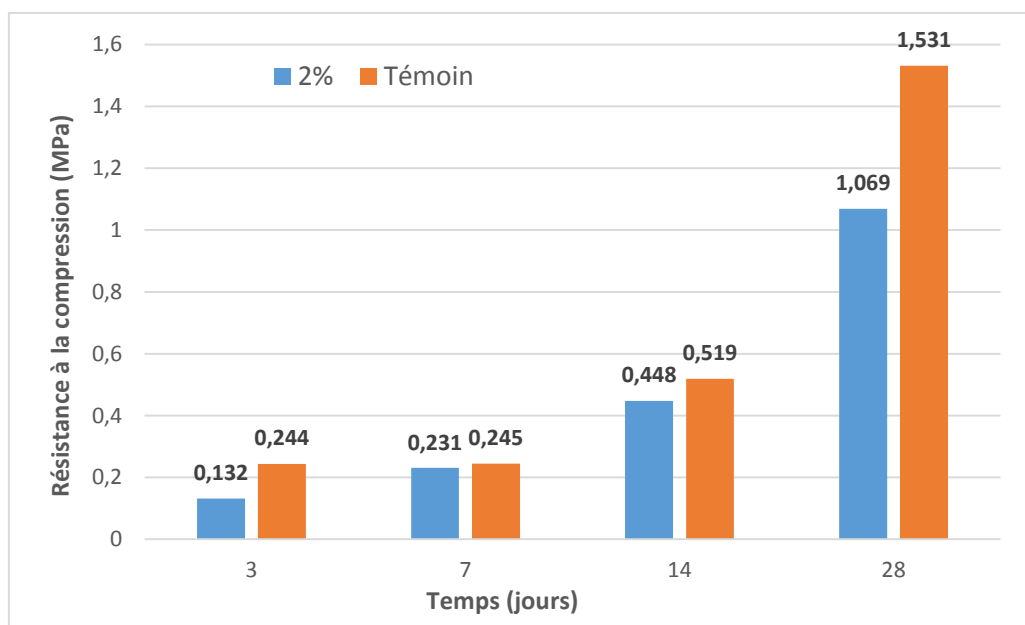


Figure V.6. Évolution de la résistance à la compression des BTC à base de 8% de Chaux et de Ciment à 28 Jours

Contrairement à la chaux, le ciment permet d'atteindre des résistances mécaniques élevées dès les premiers âges (7 et 14 jours). Cette réactivité est due à la formation rapide d'hydrates de silicate de calcium (C-S-H), qui créent un squelette rigide immédiat au sein du bloc. Action d'efficacité les particules de PET. Cette matrice cimentaire plus dense compense partiellement la faiblesse de l'interface entre la terre et le plastique, limitant ainsi l'affaissement de la résistance à la compression à 28 jours.

La stabilisation au ciment réduit le retrait de séchage de manière plus prononcée que la chaux. En créant un réseau cristallin robuste, le ciment stabilise les particules de sol autour des inclusions de PET, minimisant les risques de microfissuration interne.

Pour les mélanges à 2% et 4% de PET, le ciment assure une meilleure transmission des contraintes. La rigidité supérieure de la pâte de ciment permet au bloc de maintenir une intégrité structurelle plus importante sous des charges de compression élevées.

Le ciment s'impose comme le liant le plus performant pour garantir une résistance mécanique précoce et une rigidité structurelle optimale, particulièrement lorsque le taux d'incorporation des déchets plastiques augmente.

V.6. ESSAI D'ABSORPTION

V.6.1. Absorption d'eau par capillarité

Les résultats obtenus sont synthétisés dans le Tableau V.4 et illustrés par la Figure V.7.

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

Echantillons		Masse avant absorption (g)	Masse après 10 min (g)	Masse après 20 min (g)	Coefficient d'absorption (cb) ($\text{g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1/2}$)
BTC Temoin	1				
	2				
BTC 2%	1				
	2				
BTC 4%	1				
	2	375,5	456,8	463,3	

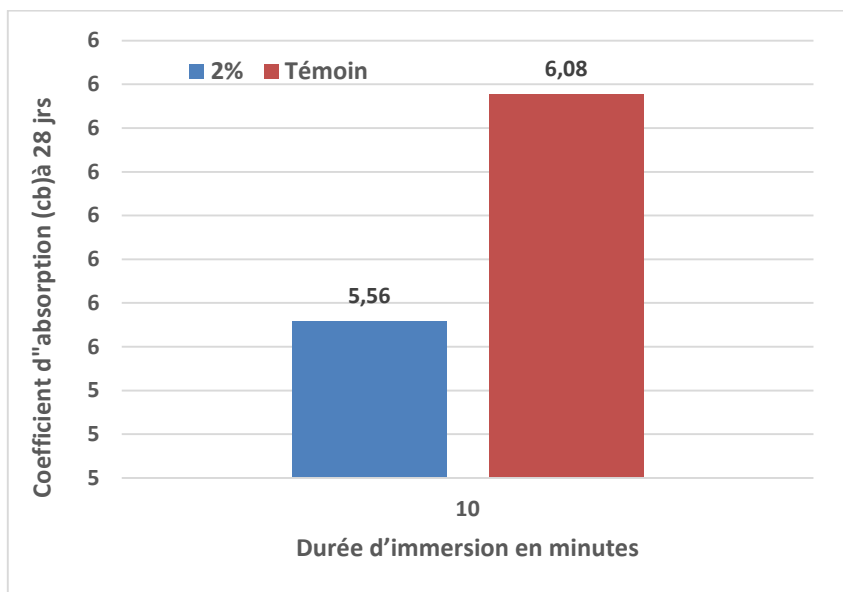


Figure V.7. L'absorption capillaire des BTC à 28 jours

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'absorbe 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

Les résultats de l'absorption totale sont présentés dans le Tableau V.5 et Figure V.8

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 (%)
BTC Témoin	1			
	2			
BTC 2%	1			
	2			
BTC 4%	1			
	2			

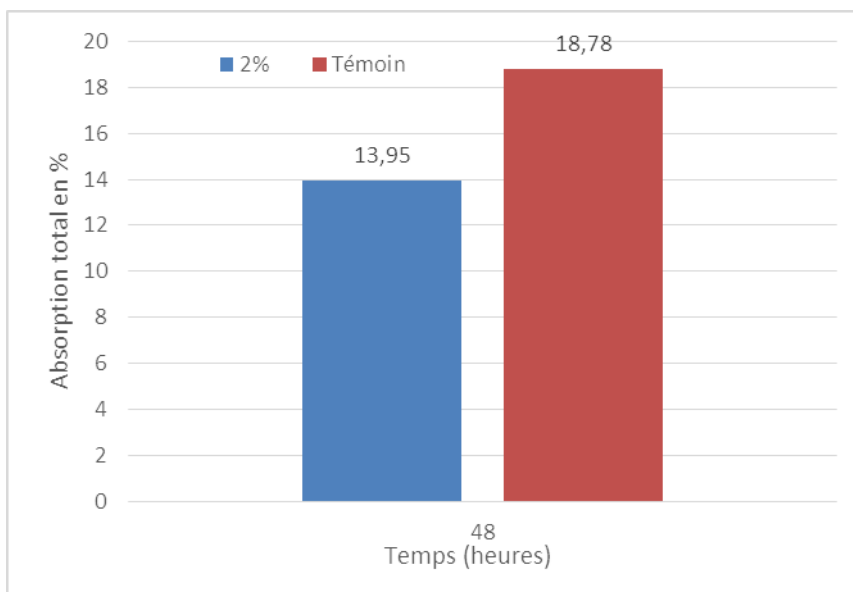


Figure V.8. L'absorption totale des BTC à 28 jours

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.7. ESSAI THERMIQUE

Les essais ont été menés sur trois compositions après 28 jours de cure. Les valeurs de conductivité thermique λ relevées par l'appareil sont récapitulées dans le Tableau IV.5.

La conductivité thermique est une grandeur qui sert à quantifier l'aptitude d'un corps à conduire de la chaleur.

Le tableau V.6 et la figure V.9 illustrent la variation de la conductivité thermique des briques BTC avec pourcentage de déchets plastiques (PET)

Tableau V.6. Conductivités thermiques

Briques	λ (W/m. K)
BTC	

BTC 2%	
BTC 4%	

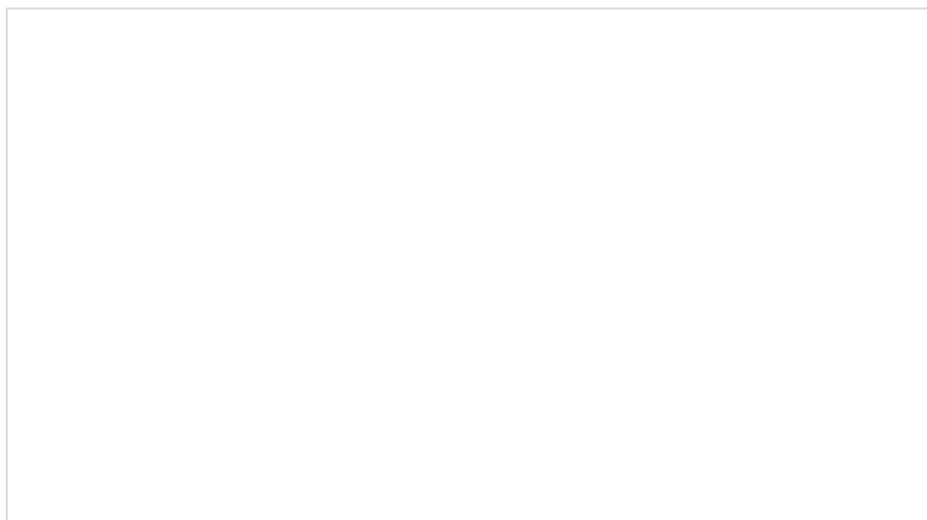


Figure V.9. Variation de la conductivité thermique des BTC en fonction du PET à 28 jours.

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.9. CONCLUSION

Les différents essais réalisés dans ce chapitre ont permis de mettre en évidence l'influence de l'incorporation des déchets plastiques (PET) sur le comportement des Blocs de Terre Comprimée (BTC). Les résultats obtenus montrent que l'ajout du plastique diminue la densité des briques et améliore leurs propriétés d'isolation thermique grâce à la faible conductivité du PET. Les analyses géotechniques ont confirmé que le sol utilisé possède une plasticité adaptée à la fabrication des BTC. Toutefois, l'augmentation du taux de plastique entraîne une réduction des limites d'Atterberg ainsi qu'une baisse des résistances mécaniques, particulièrement en compression, en raison de la faible adhérence entre le PET et la matrice terreuse.

Les essais d'absorption ont également montré une augmentation de la capillarité avec l'ajout du plastique, traduisant une modification de la structure poreuse du matériau. Malgré cela, les performances obtenues restent acceptables pour les faibles taux d'incorporation.

D'une manière générale, le dosage de 2% de PET représente le meilleur compromis entre légèreté, résistance mécanique et amélioration thermique. Cette étude confirme ainsi la possibilité de valoriser les déchets plastiques dans les BTC afin de développer des matériaux de construction plus durables et plus respectueux de l'environnement.

**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 blocks en terre et des déchets plastiques transformés.

Cependant, l'influence des déchets plastiques transformés sur les propriétés des blocks 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 obtenus ouvrent des perspectives prometteuses pour des recherches futures afin d'approfondir la compréhension de ce nouveau matériau :

1. Étudier l'effet d'autres types de plastiques (PEHD, PVC) sous différentes formes géométriques (fibres longues, copeaux) pour tenter d'améliorer la liaison mécanique avec l'argile.
2. Développer l'étude des briques à base de PET stabilisée à la chaux.
3. Explorer l'effet combiné de la chaux avec d'autres liants hydrauliques pour compenser la perte de résistance mécanique due au plastique.
4. Évaluer le comportement du matériau face aux cycles climatiques sévères (gel/dégel) et sa résistance au feu et aux agents chimiques.
5. Réaliser une étude économique et environnementale pour quantifier précisément les gains en termes d'émissions de CO₂ par rapport aux briques industrielles.
6. Construire des prototypes (murets ou cloisons témoins) afin de surveiller le comportement hygrothermique du matériau en conditions réelles d'usage.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] EFANE B. et DRAIDI C., "Effet des déchets du plastique industriel dans des blocs de béton", Mémoire de Master, Université Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi, Bordj Bou Arreridj, 2022.
- [2] AND (Agence Nationale des Déchets), "Rapport sur l'État de la Gestion des Déchets en Algérie", Rapport Technique, Alger, 2021.
- [3] BELFAR A. et NORI M., "Amélioration la caractéristique des hourdis en ajoutant des fibres de plastique recyclée", Mémoire de Master, Université de Bordj Bou Arreridj, 2016.
- [4] CHAMBLEY H., "Clay sedimentology", Ouvrage, Édition Springer Verlag, 1989.
- [5] LARSON S., WIDEGREN A. et FALCONER J.L., "J.Chem. Sci", Article Scientifique, Vol. 25, pp. 157-611, 1995.
- [6] TRAORE B., "Thèse de doctorat", Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan (Côte d'Ivoire), 2018.
- [7] BAHLOUL H. et RADJI N., "Amélioration les caractéristiques d'hourdis avec ajout du déchet de polymère (PET)", Mémoire de Master, Université de Bordj Bou Arreridj, 2018.
- [8] DOUBLIER G., "Dossier les plastiques", Document technique, 2008.
- [9] COULIBALY M., "Modélisation micromécanique et caractérisation expérimentale du comportement des matériaux hétérogènes élastovisco-plastiques", Thèse de Doctorat, Université Paul Verlaine de Metz, 2008.
- [10] BRUNEAU M., "Recyclage des déchets plastiques dans la gestion des déchets en Afrique et dans les caraïbes", Rapport de synthèse, Plateforme Re-Sources, 2015.
- [11] KHELOUFI S., "Étude de possibilités de recyclage de déchets plastiques de la wilaya de Bejaia", Thèse de Magistère, Université Abderrahmane Mira, Béjaïa, 2012.
- [12] APME, "Plastic recovery in perspective: plastics consumption and recovery in Western Europe", Rapport technique, 2004. www.plasticeurope.org
- [13] AATTACHE A., MAHI A., SOLTANI R. et MOULI M., "Experimental study on thermomechanical properties of Polymer Modified Mortar", Article Scientifique, Materials & Design, 2013.
- [14] BENDEKKEN M.A. et BOUTEBBA H., "Contribution à l'élaboration d'un béton de sable à base du sable de dune et déchets plastiques", Mémoire de Master, Université de Ghardaïa, 2020.
- [15] SUGANTHY P. et CHANDRASEKAR D., "Utilization of pulverized plastic in cement concrete as fine aggregate", Article Scientifique, 2013.
- [16] MERCIER J.P. et MARÉCHAL E., "Chimie des polymères : synthèses, réactions, dégradations", Ouvrage, PPUR Presses Polytechniques, 1993.
- [17] CAP SCIENCES, "Voyage en industrie", Dossier Enseignant, 2006.
- [18] BELFERRAG A., "Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes", Thèse de Doctorat, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2006.
- [19] SUKONTASUKKUL P. et CHAIKAEW C., "Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber", Article Scientifique, Construction and Building Materials, 2006.
- [20] ALBANO F. et AL., "Influence of content particle size of waste PET bottles on concrete behavior", Article Scientifique, 2009.

- [21] SAIKIA D.N. et BRITO J., "Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review", Article de revue, Construction and Building Materials, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.066>.
- [22] GUENDOUZ M., "Contribution à la formation et à la caractérisation d'un éco-matériau de construction à base de déchets plastiques", Thèse de Doctorat, 2017.
- [23] WEISS P., "La chimie des polymères", Support de Cours, Université Médicale Virtuelle Francophone, 2009.
- [24] BENOSMAN A., KAZI N., SENHADJI Y. et TAIBI H., "Mechanical strengths of modified PET mortar composites in aggressive $MgSO_4$ medium", Article Scientifique, 2017.
- [25] SALMI S., "La Construction en pisé entre performances énergétiques et perception des usagers", Étude de cas, 2014.
- [26] ANGER R., "Approche granulaire et colloïdale du matériau terre pour la construction", Thèse de Doctorat, 2011.
- [27] MORISET S., "Assistance à l'identification et à la préparation d'inscriptions au Patrimoine mondial", Rapport d'expertise, France, 2018.
- [28] CRATERRE, "Laboratoire de recherche sur la construction en terre", Document de référence, 1979.
- [29] ANGER R. et FONTAINE L., "Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture", Ouvrage, 2009.
- [30] JEHANNE P., "Construction en terre crue : Dispositions Qualitatives, Constructives et Architecturales", Étude technique, Ouagadougou, 2015.
- [31] GUILLAUD H. et HOUBEN H., "Traité de construction en terre", Ouvrage (2ème édition), Édition Parenthèses, Marseille, 1995.
- [32] GUÉRIN J., "Étude des sols", Document modifié, 1985.
- [33] MIRAUCOURT D., "Stabilisation du matériau terre crue pour application en brique de terre comprimée au Burkina Faso", Travail de Fin d'Études, 2017. [https://matheo.ulg.ac.be/bitstream/2268.2/2539/1/TFE Miraucourt David final 2.pdf](https://matheo.ulg.ac.be/bitstream/2268.2/2539/1/TFE%20Miraucourt%20David%20final%202.pdf)
- [34] CRA TERRE, DOAT P. et AL., "Construire en Terre", Ouvrage, Édition Alternative, Paris, 1983.
- [35] GUILLAUD H. et HOUBEN H., "Traité de construction en terre", Ouvrage (2ème édition), Éditions Parenthèses, Marseille, 1995.
- [36] GUIHÉNEUF S., "Formulation et renforts de blocs en matériau terre pour une utilisation structurelle", Thèse de Doctorat, INSA de Rennes, 2020.
- [37] MAHAMAT S., "Étude comparative entre l'amélioration des briques en terre comprimée stabilisée par le ciment et la chaux éteinte", Mémoire de recherche, 2010.
- [38] FUTURA-SCIENCES, "Maison : matériaux de construction, modernité et tradition", Dossier en ligne, 2020. www.futura-sciences.com/maison/dossiers/maison-materiaux-construction-modernite-tradition-960/page/16/.
- [39] HUGHES J.D., MONCRIEF J.F., VOORHEES W.B. et SWAN J.B., "Soil compaction: causes, effects and control", Guide technique, University of Minnesota, 2001.
- [40] 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.

- [41] GHAFFOR W., "Patrimoine architectural, entre technicité, confort et durabilité", Étude de cas, 2014.
- [42] CNERIB, "Conception de logements économiques à base de produits localement disponibles", Ouvrage Technique, Ed CNERIB, 2000.
- [43] LAYEB A. et HALBAOUI A., "Caractérisations physico-mécaniques d'un bloc de terre stabilisé avec la chaux à base des fibres", Mémoire de Master, 2017.
- [44] PEDRO G., "Les minéraux argileux, constituants et propriétés du sol", Ouvrage (Pédologie), Masson, Paris, 1994.
- [45] HOUBEN H. et GUILLAUD H., "Traité de construction en terre", Ouvrage, CRA Terre, Édition Parenthèse, Marseille, 2006.
- [46] UNITED NATIONS, "Earth Construction Technology", Manuel Technique, UNCHS, Nairobi, 1992.
- [47] OUEDRAOGO L., "Étude des Briques en Terre Comprimée (BTC) stabilisées à la chaux des sols de Dori", Mémoire technique, 2012.
- [48] TAALLAH B., "Étude du comportement physico-mécanique du bloc de terre comprimée avec fibres", Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider, Biskra, 2014.
- [49] ZENOUD N. et HAMMOU A., "Comportement physique et mécanique des briques en terre comprimée à base de déchets de plastique", Mémoire de Master, Université de Mostaganem, 2025.
- [50] AMIAR A. et ELMEDDAH A., "Physico-mechanical behavior of clay bricks made from plastic waste", Mémoire de Master, Université de Mostaganem, 2025.
- [51] GUETTALA A., HOUARI H., MEZGHICHE B. et CHEBILI R., "Durability of lime stabilized earth blocks", Article Scientifique, Courrier du Savoir n°02, 2002.
- [52] IZEMMOUREN O., "Effet des ajouts minéraux sur la durabilité des briques de terre comprimée", Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider, Biskra, 2016.
- [53] MAUBEC N., "Approche multi-échelle du traitement des sols à la chaux", Thèse de Doctorat, Université de Nantes, France, 2010.
- [54] MESSAOUDENE I., MOLEZ L. et AMRIOU A., "Effet du Sable de dune sur la Durabilité du Béton de Terre Stabilisée et Compressée", Article Scientifique, 2020.
- [55] 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.
- [56] 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.
- [57] LAKOUAS M. et LARBI NOUR EL HOUDA, "L'usage de matériau terre dans le bâtiment", Mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun, Tiaret, 2020.
- [58] CRATERRE, Centre International de la Construction en Terre, (<http://craterre.org/>).
- [59] SOLIDARITÉ-AFRIQUE, "Informations utiles sur la construction", (<http://www.solidarite-afrique.lu/informationsutiles/1055>).
- [60] ANGER R. et FONTAINE L., "Bâtir en terre", Ouvrage, 2009.
- [61] CRATERRE, "Traité de construction en terre", 1995.
- [62] HOUBEN V. et AL., "Construire en terre", 1994.

- [63] GUILLAUD H. et HOUBEN H., "Traité de construction en terre", Ouvrage (2ème édition), Édition Parenthèse, Marseille, 1995.
- [64] MEKKAOUI H., "Caractérisation Mécanique de la Brique de Terre Comprimée et Stabilisée (BTCS)", Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf, M'Sila, 2019.
- [65] ASTM D 5334-14, "Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil", Norme Technique, Annual Book of ASTM Standards, 2011.
- [66] IEEE Std 442-2017, "Guide for Thermal Resistivity Measurements of Soils and Backfill Materials", Norme Technique, IEEE, 2017.
- [67] RIGASSI V., "Blocs de terre comprimée : Manuel de Production (Vol 1)", Manuel Technique, CRATerre EAG, France, 1995.
- [68] HOUBEN H. et GUILLAUD H., "Traité de construction en terre", Ouvrage, Éditions Parenthèses, Marseille, 1989.
- [69] BEKHTI S.A., "Blocs de terre crue compactée (BTC) stabilisée à la chaux, au ciment et à la pouzzolane", Thèse de Doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, 2026.
- [70] ANBT, "Agence Nationale des Barrages et des Transferts : Rapport d'activité", Rapport institutionnel, 2020.
- [71] ACHOUR M., "Évaluation environnementale et économique pour la valorisation des sédiments de dragage", Mémoire de Master, Université Nour Bachir, El Bayadh, 2025.
- [72] MINKE G., "Earth Construction Handbook", Ouvrage, WIT Press, Boston, 2000.
- [73] ACHOUR M., BELAS N. et SADOK R.H., "L'effet de l'incorporation des sédiments calcinés et de la perlite sur le comportement des mortiers", Article Scientifique, J Eng Exact Sci, 2024. <https://doi.org/10.18540/jcecvl10iss2pp18696>.
- [74] BENKHADDA A., MLIWA A. et MENAD O., "Architectural eco-innovation in El-Hchem (Mostaganem)", Mémoire de Master, Université de Mostaganem, 2024.
- [75] AFNOR, "NF P 94-068 : Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol", Norme Française, AFNOR, 1994.