

Département de Génie de l'Environnement

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ SALAH BOUBNIDER, CONSTANTINE 03
FACULTÉ OF GÉNIE DES PROCÉDÉS
DEPARTEMENT DE GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT

N° d'ordre :

Série :

Mémoire

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER
EN GÉNIE DES PROCÉDÉS
OPTION: GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT

Fabrication des briques écologiques

Présenté par :

TABANI Haoua.

FELLAHI Tamer baha Oussama.

Dirigé par :

Prof. ARRIS Sihem.

Année universitaire

2024-2025

Session : Juin.

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Résumé

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviation

Introduction Générale.....1

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.

I.1 Généralité sur les déchets.....	2
I.1.1 Définition du déchet.....	2
I.1.2 Classification des déchets.....	2
I.1.2.1 Selon leur origine.....	2
I.1.2.2 Selon leur nature.....	2
I.1.2.3 Selon leur état physique.....	2
I.1.3 Production des déchets en Algérie.....	3
I.1.4 La nature des déchets en Algérie.....	3
I.2 Généralités sur le recyclage.....	3
I.2.1 Définition du recyclage.....	3
I.2.2 Le recyclage dans le génie civil.....	4
I.2.2.1 Débuts du recyclage dans le génie civil (avant le XXe siècle).....	4
I.2.2.2 XXe siècle : Prise de conscience et premières initiatives.....	4
I.2.2.3 Années 1980-1990 : Développement des normes et techniques.....	4
I.2.2.4 Années 2000 : Vers une économie circulaire.....	5
I.2.2.5 Années 2010 à aujourd'hui : Durabilité et innovations.....	5

I.2.2.6 Défis actuels et perspectives futures.....	5
I.2.3 Procédés de recyclage en génie civil.....	5
I.2.3.1 Procédé de recyclage du béton.....	6
I.2.3.2 Procédé de recyclage des enrobés bitumineux.....	6
I.2.3.3 Procédé de recyclage des déchets industriels.....	6
I.2.3.4 Procédé de recyclage des terres excavées.....	6
I.2.3.5 Procédé de recyclage des matériaux composites.....	7
I.2.3.6 Procédé de recyclage des métaux.....	7
I.2.3.7 Contrôle qualité et traçabilité.....	7
I.2.3.8 Défis et perspectives futures.....	7
I.2.4 L'impact sur l'environnement.....	7
I.2.4.1 Réduction de l'exploitation des ressources naturelles.....	8
I.2.4.2 Réduction des émissions de gaz à effet de serre.....	8
I.2.4.3 Réduction des déchets envoyés en décharge.....	8
I.2.4.4 Économie d'énergie.....	8
I.2.4.5 Réduction de la pollution de l'air.....	8
I.2.4.6 Promotion de l'économie circulaire.....	9
I.2.4.7 Réduction de la consommation d'eau.....	9
I.3 Généralités sur le sable.....	9
I.3.1 Définition du sable.....	9
I.3.2 La classification du sable.....	9
I.3.2.1 Classification granulométrique.....	10
I.3.2.2 Classification minéralogique.....	10
I.3.2.3 Classification selon l'origine.....	10
I.3.2.4 Classification selon la forme des grains.....	11

I.3.2.5 Classification selon les impuretés.....	11
I.3.3 L'utilisation du sable.....	11
I.3.3.1 Utilisation en industrie.....	12
I.3.3.2 Utilisation en environnement.....	12
I.3.3.3 Utilisation dans les technologies avancées.....	12
I.3.3.4 Utilisation en génie civil.....	12
I.4 Généralité sur le plastique.....	13
I.4.1 Définition du plastique.....	13
I.4.2 Types de plastiques.....	13
I.4.2.1 Classification selon la structure chimique.....	13
I.4.2.2 Classification selon la biodégradabilité.....	14
I.4.3 Impact environnemental du plastique.....	14
I.4.3.1 Pollution des océans.....	14
I.4.3.2 Menace pour la faune marine.....	15
I.4.3.3 La formation de microplastiques.....	15
I.4.3.4 Pollution des sols.....	15
I.4.3.5 Impact sur la santé humaine.....	15
I.5 Les briques écologiques.....	15
I.5.1 Composition de base.....	16
I.5.1.1 Plastique recyclé.....	16
I.5.1.2 Additifs.....	16
I.5.1.3 Pigments et colorants (facultatifs).....	16
I.5.2 Propriétés techniques des briques.....	16

I.5.2.1 Légèreté.....	16
I.5.3 Résistance mécanique.....	17
I.5.3.1 Résistance à la compression.....	17
I.5.3.2 Résistance à la traction.....	17
I.5.3.3 Isolation thermique.....	17
I.5.3.4 Isolation acoustique.....	17
I.5.3.5 Durabilité.....	18
I.5.3.6 Résistance au feu.....	18
I.5.3.7 Écologique.....	18
I.5.3.8 Facilité de mise en œuvre.....	18
I.6 Les noyaux de dattes, verre, et fer.....	19
I.6.1 Introduction.....	19
I.6.2 Valorisation des déchets agricoles et plastiques.....	19
I.6.3 Réduction des coûts de construction.....	20
I.6.4 Isolation thermique et performance énergétique.....	20
I.6.5 Solution écologique et durable.....	20
I.6.6 Contexte algérien favorable.....	20
I.6.7 Le verre.....	20
I.6.7.1 Origines principales du verre recyclé.....	20
I.6.7.2 Types de verre utilisés dans les matériaux composites.....	21

I.6.7.3 Enjeux environnementaux de l'intégration du verre.....	21
I.6.8 Le fer.....	22
I.6.8.1 Origines principales du fer recyclé.....	22
I.6.8.2 Types de fer utilisés dans les matériaux composites.....	22
I.6.8.3 Enjeux environnementaux de l'intégration du fer recyclé.....	22
I.6.9 Conclusion.....	23
I.7 Synthèse des cas de fabrication des briques écologiques.....	23
CHAPITRE II : MATERIELES ET METHODS.	
II.1 Introduction.....	26
II.2 Matériels utilisés.....	26
II.3 Les matériaux utilisés.....	27
II.3.1 PET (Polyéthylène Téréphthalate).....	28
II.3.2 Polyéthylène (PE).....	28
II.3.3 Polypropylène PPR.....	29
II.3.4 Le sable.....	30
II.4 Procédure expérimentale.....	30
II.4.1 La collecte.....	30
II.4.2 Le tri.....	31
II.4.3 Le Nettoyage.....	31
II.4.4 Le séchage.....	31
II.4.5 Le broyage.....	32
II.4.6 Le séchage.....	32
II.4.7 Le tamisage.....	32
II.5 Processus de fabrication des biobriques.....	33

II.5.1 Préparation des mélanges.....	33
II.5.2 Chauffage.....	35
II.5.3 Moulage, compression, refroidissement et démoulage.....	35
II.6 Caractérisation.....	36
II.6.1 Le test granulométrique.....	36
II.6.2 Détermination de la densité apparente des sables par la méthode Pycnométrique.....	38
II.6.3 Résistance à la compression.....	39
II.6.4 Résistance à la flexion.....	40
II.6.5 Test de dureté Vickers.....	40
II.6.6 Test de rugosité.....	41
II.6.7 Observation microscopique.....	42
II.6.8 Test de la rétention d'eau.....	45
II.6.9 Analyse par Spectroscopie Infrarouge (FTIR).....	46
II.6.10 Analyse thermique par Calorimétrie de Flux de Chaleur (HFC).....	47
II.6.11 Test de diffraction (DRX).....	48

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS.

III.1 Introduction.....	49
III.2 Caractérisation du sable.....	50
III.2.1 Test granulométrique.....	50
III.2.2 Détermination de la densité apparente des sables par la méthode de pycnométrique.....	54
III.3 Les mélanges.....	56
III.3.1 Phase 1 : Combinaison plastique / sable.....	56
III.3.2 Phase 2 : Ajout des additifs.....	57

III.4 Évaluation et caractérisation des biobriques.....	63
III.4.1 Les tests mécaniques.....	63
III.4.1.1 Résistance à la compression.....	63
III.4.1.2 Résistance à la flexion.....	65
III.4.2 Test de dureté.....	66
III.4.3 Test de rugosité.....	68
III.4.4 Observation microscopique.....	76
III.4.5 Test de la rétention d'eau.....	77
III.4.6 Analyse par Spectroscopie Infrarouge (FTIR).....	79
III.5 Analyse par diffraction à rayon X (DRX).....	84
Conclusion Générale.....	89
Références.....	93

Résumé:

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des déchets plastiques non biodégradables à travers leur utilisation dans la fabrication de briques écologiques.

Ce projet vise à développer une alternative écologique et durable aux matériaux de construction conventionnels en explorant l'utilisation de polymères thermoplastiques recyclés, notamment le PET, comme liants de substitution au ciment. L'objectif est de concevoir des briques innovantes en intégrant également des additifs minéraux (verre broyé, fer, noyaux de dattes) et du sable, afin de réduire la dépendance aux ressources non renouvelables, limiter les émissions de gaz à effet de serre liées à la fabrication du ciment, et valoriser les déchets plastiques dans une approche d'économie circulaire.

Des formulations variées à base de plastique, sable de construction, verre broyé, fer et noyaux de dattes ont été développées afin d'améliorer les propriétés mécaniques, thermiques et chimiques des briques obtenues. L'utilisation de ces additifs vise à renforcer la structure, réduire la porosité et offrir une meilleure durabilité.

La caractérisation physiques et mécaniques : Les tests réalisés comprennent les mesures de la résistance à la compression et à la flexion, la dureté (selon la méthode Vickers), la densité, la rétention d'eau, la conductivité thermique (HFC) ainsi que la rugosité de surface ont révélé .

En complément, des analyses avancées ont été menées pour une caractérisation plus approfondie des matériaux. L'observation microscopique a permis d'examiner la microstructure, la diffraction des rayons X (DRX) a servi à identifier les phases cristallines présentes, tandis que la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) a été utilisée pour analyser les liaisons chimiques et les groupes fonctionnels caractéristiques du matériau. La formulation finale intégrant PET, PE, sable, verre et fer a obtenu les **meilleurs résultats** :

- **Compression** : 13,13 MPa.
- **Flexion** : 11,58 MPa.
- **Dureté** : 27 HV.
- **Rétention d'eau** : 0,38 %.

Les performances obtenues dépassent largement celles de la formulation de base, confirmant l'efficacité des ajouts minéraux et métalliques.

Enfin, l'échantillon enrichi en fer, verre et PE présente une microstructure homogène, une rugosité élevée (favorisant l'adhérence), et une faible porosité, indiquant une durabilité accrue face à l'humidité et au gel.

Cette stratégie de formulation offre ainsi une alternative innovante et durable pour la valorisation des plastiques recyclés, répondant pleinement aux objectifs de l'économie circulaire et de la construction écologique.

Mots-clés : Briques écologiques, Recyclage plastique, PET, Polyéthylène, Verre broyé, Fer, Sable, Résistance mécanique, Économie circulaire, Construction durable.

Abstract:

This study falls within the framework of valorizing non-biodegradable plastic waste through its use in the production of eco-friendly bricks. The project aims to develop a sustainable and environmentally friendly alternative to conventional construction materials by exploring the use of recycled thermoplastic polymers, particularly PET, as a substitute binder for cement. The objective is to design innovative bricks by also incorporating mineral additives (crushed glass, iron, date pits) and construction sand, in order to reduce dependence on non-renewable resources, limit greenhouse gas emissions associated with cement production, and promote plastic waste recycling in a circular economy approach.

Various formulations combining recycled plastic, construction sand, crushed glass, iron, and date pits were developed to enhance the mechanical, thermal, and chemical properties of the resulting bricks. The use of these additives aimed to reinforce the structure, reduce porosity, and improve overall durability.

Physical and mechanical characterization included compression and flexural strength testing, hardness (using the Vickers method), density, water retention, thermal conductivity (HFC), and surface roughness.

In addition, advanced analyses were conducted for a more in-depth material characterization. Microscopic observation was used to study the microstructure, X-ray diffraction (XRD) helped identify the crystalline phases, and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) was used to analyze the chemical bonds and functional groups present in the materials.

The final formulation incorporating PET, PE, sand, glass, and iron achieved the best results:

- **Compression strength** : 13.13 MPa.
- **Flexural strength** : 11.58 MPa.
- **Hardness** : 27 HV.
- **Water retention** : 0.38%.

These results significantly outperform the basic formulation, confirming the effectiveness of mineral and metallic additives.

Finally, the sample enriched with iron, glass, and PE exhibited a homogeneous microstructure, high surface roughness (enhancing mechanical adhesion), and low porosity, indicating improved durability against moisture and freezing conditions.

This formulation strategy thus represents an innovative and sustainable solution for recycling plastic waste, fully aligned with the goals of the circular economy and green construction.

Key words: Eco-friendly bricks, Plastic recycling, PET, Polyethylene, Crushed glass, Iron, Sand, Mechanical strength, Circular economy, Sustainable construction.

الملخص:

تدرج هذه الدراسة في إطار تثمين النفايات البلاستيكية غير القابلة للتحلل البيولوجي من خلال استخدامها في تصنيع الطوب البيئي. يهدف هذا المشروع إلى تطوير بديل مستدام وصديق للبيئة للمواد التقليدية في البناء، من خلال استغلال كمادة رابطة بديلة عن الأسمنت. كما يهدف إلى تصميم طوب مبتكر، PET البوليمرات الحرارية المعاد تدويرها، خاصة أنه عن طريق إدماج إضافات معدنية (الزجاج المطحون، والحديد، ونوى التمر) ورمل البناء، بهدف تقليل الاعتماد على الموارد غير التجددية، والحد من انبعاثات الغازات الدفيئة المرتبطة بصناعة الأسمنت، وتثمين النفايات البلاستيكية ضمن مقاومة الاقتصاد الدائري.

تم تطوير تركيبات متعددة تحتوي على البلاستيك المعاد تدويره، ورمل البناء، والزجاج المطحون، والحديد، ونوى التمر، من أجل تحسين الخصائص الميكانيكية والحرارية والكيميائية للطوب المنتج. وتهدف هذه الإضافات إلى تعزيز البنية وتقليل المسامية، وتحسين المتانة.

شملت عملية التوصيف الفيزيائي والميكانيكي اختبارات مقاومة الضغط والانحناء، والصلابة (حسب طريقة فيكرز). والكتافة، واحتباس الماء، والتوصيل الحراري، وخشونة السطح.

بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء تحاليل متقدمة لتصنيف أعمق للمواد، حيث استُخدمت الملاحظة المجهرية لدراسة البنية) لتحديد الأطوار البلورية، وأيضاً التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR) ، وجهاز تحليل حيود الأشعة السينية (DRX).

وقد حققت التركيبة النهائية التي تحتوي على رمل البناء والزجاج والحديد بالإضافة إلى PE،PET أفضل النتائج:

- مقاومة الضغط: 13.13 ميغاباسكال.
- مقاومة الانحناء: 11,58 ميغاباسكال.
- الصلابة HV 27 .
- نسبة احتباس الماء: 0,38%

تُظهر هذه النتائج أداءً متفوقاً مقارنة بالتركيبة الأساسية، مما يؤكد فعالية الإضافات المعدنية والحديدية.

أخيراً، أظهر العينة المدعمة بالحديد والزجاج PET و PE و بنية مجهرية متجانسة، وخشونة سطحية عالية (تعزز الانصاق)، ومسامية منخفضة، مما يدل على متانة محسنة ضد الرطوبة والتجمد.

تمثل هذه الإستراتيجية في التركيب حلّاً مبتكرًا ومستدامًا لتنمية النفايات البلاستيكية، وتنماشى تماماً مع أهداف الاقتصاد الدائري والبناء البيئي.

الكلمات المفتاحية: البولي إيثيلين – الزجاج – (PET) الطوب البيئي – إعادة تدوير البلاستيك – بولي إيثيلين تيريفثالات المسحوق – الحديد – الرمل – المقاومة الميكانيكية – الاقتصاد الدائري – البناء المستدام