



Département de Génie Civil

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Civil

Option : Matériaux en Génie Civil

Présenté par :

BRAHIMI Nabil

Thème

Etude du comportement mécanique d'un béton polymère à base de sable et de déchets plastiques

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
ROKBI Mansour	Professeur	Président
BELOUADEH Messouda	MCA	Examineur
RAHMOUNI Zine El Abidine	Professeur	Encadrant
MEKIDECHE Salih	Doctorant	Co-Encadrant

Année Universitaire : 2023 / 2024

N° d'ordre : GC//2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

*Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant qui m'a donné le courage, la force, la volonté et la patience pour accomplir et réaliser ce modeste projet. Je tiens à remercier mon directeur de thèse, le professeur **Rahmouni Zine El Abidine**, pour sa supervision de ce travail, ses conseils et ses orientations. Et aussi pour la confiance et le soutien qu'il m'a accordés pour poursuivre mes études après une longue interruption.*

*Je remercie le **Dr. MEKIDECHE Salih**, mon second encadrant, pour l'encouragement et le soutien qu'il m'a apportés depuis le début de mon travail, ainsi que pour son aide pendant ma recherche scientifique et son accompagnement.*

Je voudrais remercier les membres du jury qui m'ont honoré par leur accord de juger notre travail.

Je remercie tous les professeurs du département de génie civil de l'Université Mohamed Boudiaf à M'sila

Je remercie également les employés du laboratoire technique de mes départements de génie civil et mécanique.

Un grand merci à mes chers parents qui ont beaucoup sacrifié pour le succès de leurs enfants. Que Dieu les protège.

Je remercie toute ma famille. Je remercie également tous mes amis, connaissances et collègues de la profession dans le secteur de l'éducation et tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Nabil Brahimi

Dédicaces

Avec tout mon amour et ma gratitude, je dédie ce mémoire à

Ma chère mère et mon cher père,

qui ne m'ont jamais privé de leurs prières et de leur soutien constant. Sans vous,

je n'aurais pas pu atteindre ce que je suis aujourd'hui. Merci pour tout.

Mes frères et sœurs,

source de ma force et de mon soutien en toutes circonstances. Merci pour votre soutien et vos encouragements continus.

Mes chers amis,

qui ont toujours été à mes côtés, dans les bons et les mauvais moments.

Merci pour les beaux moments et les souvenirs inoubliables.

Mes chers professeurs,

qui m'ont transmis le savoir et m'ont guidé tout au long de mes études.

Merci pour vos conseils et votre soutien.

À tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail, je dédie ce mémoire.

ملخص

البلاستيك مادة تستغرق عدة قرون لتتحلل في الطبيعة وحرقتها ملوث للغاية، إنها تجذب المزيد والمزيد من الاهتمام بسبب القضايا البيئية والصحية والاقتصادية التي تطرحها للمجتمع، لذلك فإن استعادة هذه النفايات وإعادة تدويرها في إطار حلول مستدامة في صناعة البناء امر في غاية الأهمية خاصة مع الاتجاه الحالي نحو الاستبدال التدريجي للمواد التقليدية بما يسمى نظيرتها الخرسانة البوليمرية. وبالتالي فإن هذه المواد تستطيع بشكل كبير تلبية طلبات المستهلكين الجديدة.

الخرسانة البوليميرية هي نوع من أنواع الخرسانة التي يتم فيها استخدام مادة رابطة بوليميرية بدلاً من الإسمنت التقليدي. تتكون هذه الخرسانة من خليط من الركام (مثل الرمل والحصى) والبوليمر الذي يعمل كمادة رابطة تربط المكونات معاً.

تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق هدف مزدوج: تقليل التأثير البيئي من خلال إعادة تدوير النفايات البلاستيكية وتحسين خصائص الخرسانة باستخدام مواد معززة طبيعية مثل نشارة الخشب من خلال دراسة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة البوليميرية المكونة من رمل ناعم ونفايات بلاستيكية ، مع إضافة نشارة الخشب بنسب 5%، 10% و 15% .

تكشف النتائج عن تأثيرات ملموسة لإضافة هذه المواد على القوة والمتانة، حيث تسهم النفايات البلاستيكية في تحسين بعض الخصائص بينما تعمل نشارة الخشب على تعديل الكثافة وتوفير خصائص عزل حراري إضافية. تخلص الدراسة إلى أن استخدام هذه المكونات المعاد تدويرها يمكن أن يقدم بديلاً بيئياً واقتصادياً للمواد التقليدية في الخرسانة، مما يدعم توجهات البناء المستدام. وتقدم المذكرة توصيات لتطبيق هذه النتائج في المشاريع الهندسية الفعلية، مسلطة الضوء على إمكانية تطوير مواد بناء جديدة تجمع بين الفعالية الميكانيكية والاستدامة البيئية .

الكلمات المفتاحية: تدوير النفايات البلاستيكية، الخرسانة البوليميرية، نشارة الخشب .

Résumé

Le plastique, une substance qui met plusieurs siècles à se décomposer dans la nature et dont la combustion est très polluante, attire de plus en plus l'attention en raison des problèmes environnementaux, sanitaires et économiques qu'elle pose à la société. Par conséquent, la récupération de ces déchets et leur recyclage dans le cadre de solutions durables dans l'industrie de la construction est d'une importance capitale, surtout avec la tendance actuelle vers le remplacement progressif des matériaux traditionnels par ce qu'on appelle leur équivalent, le béton polymère. Ainsi, ces matériaux peuvent largement répondre aux nouvelles demandes des consommateurs.

Le béton polymère est un type de béton dans lequel un liant polymère est utilisé au lieu du ciment traditionnel. Ce béton est composé d'un mélange de granulats (comme le sable et le gravier) et de polymères qui agissent comme liant pour relier les composants ensemble.

Cette étude vise à atteindre un double objectif : réduire l'impact environnemental en recyclant les déchets plastiques et améliorer les propriétés du béton en utilisant des matériaux naturels renforcés tels que la sciure de bois, en étudiant les caractéristiques mécaniques et physiques du béton polymère composé de sable fin et de déchets plastiques, avec l'ajout de sciure de bois à des proportions de 5%, 10% et 15%.

Les résultats révèlent des effets tangibles de l'ajout de ces matériaux sur la force et la durabilité, où les déchets plastiques contribuent à améliorer certaines propriétés tandis que la sciure de bois agit sur la modification de la densité et fournit des propriétés d'isolation thermique supplémentaires. L'étude conclut que l'utilisation de ces matériaux recyclés peut offrir une alternative environnementale et économique aux matériaux traditionnels dans le béton, soutenant ainsi les tendances de la construction durable. Le mémoire propose des recommandations pour appliquer ces résultats dans des projets d'ingénierie réels, mettant en lumière la possibilité de développer de nouveaux matériaux de construction alliant efficacité mécanique et durabilité environnementale.

Mots clés : recyclage des déchets plastiques, béton polymère, sciure de bois

Abstract

Plastic, a substance that takes several centuries to decompose in nature and whose combustion is highly polluting, is attracting increasing attention due to the environmental, health, and economic issues it poses to society. Therefore, the recovery and recycling of these wastes within sustainable solutions in the construction industry are of paramount importance, especially with the current trend towards the gradual replacement of traditional materials by their equivalent, polymer concrete. Thus, these materials can largely meet the new demands of consumers.

Polymer concrete is a type of concrete in which a polymer binder is used instead of traditional cement. This concrete is composed of a mixture of aggregates (such as sand and gravel) and polymers that act as a binder to connect the components together.

This study aims to achieve a dual objective: to reduce environmental impact by recycling plastic waste and to improve the properties of concrete using reinforced natural materials such as wood sawdust, by studying the mechanical and physical characteristics of polymer concrete composed of fine sand and plastic waste, with the addition of wood sawdust at proportions of 5%, 10%, and 15%.

The results reveal tangible effects of adding these materials on strength and durability, where plastic waste contributes to improving certain properties while wood sawdust acts on modifying density and providing additional thermal insulation properties. The study concludes that the use of these recycled materials can offer an environmental and economic alternative to traditional materials in concrete, thereby supporting sustainable construction trends. The paper provides recommendations for applying these results in actual engineering projects, highlighting the possibility of developing new construction materials that combine mechanical efficiency and environmental durability.

Keywords: plastic waste recycling, polymer concrete, wood sawdust.



Sommaire

Introduction générale	01
CHAPITRE I Généralités Sur le béton polymère	04
I-1. Introduction.....	04
I-2. Historique.....	04
I-3. Définition du Bétons Polymère.....	05
I-4. Constitue	06
I-4.1. Liant	06
I-4.2. Agrégats.....	06
I-5. Classification des bétons polymères	07
I-5.1. Béton imprégné de résine	08
I-5.2. Béton additionné de résine.....	09
I-5.3. Béton de résine	09
I-6. Types des polymères	10
I-6.1. Thermoplastiques	10
I-6.2. Thermodurcissable.....	10
I-6.3 Élastomères	11
I-7. Propriétés de béton polymère.....	12
I-8. Les avantages et les inconvénients d'un béton polymère	12
I-8.1. Les avantages du béton polymère	12
I-8.2. Les inconvénients du béton polymère.....	13
I-9. Utilisations de béton polymère	13
I-9.1. L'utilisation des bétons polymère dans les bâtiments domaine de génie civil.....	14
I-9.2. L'utilisation des bétons polymère dans l'horticulture	14
I-9.3. L'utilisation des bétons polymère pour les revêtements des chaussés et planchers.....	14
I-9.4. L'utilisation des bétons polymère dans les travaux de drainage et hydrauliques.....	15
I-9.5. L'utilisation des bétons polymère dans l'industrie.....	15
I-9.6. L'utilisation des bétons polymère comme isolation phonique	16
Conclusion	16
CHAPITRE II Généralités Sur le Recyclage des déchets	17
II-1- Introduction	17
II-2- Définition du recyclage	18
II-3- Techniques de recyclage	19

II.3.1. Procèdes de recyclage	19
II.3.2. La chaine de recyclage	19
II- 3.2.1. Collecte de déchets	19
II- 3.2.2. Transformation	20
II- 3.2.3. Commercialisation et consommation	20
II- 4 - Définition d'un déchet.....	21
II- 5- Différents types de déchets.....	21
II-5.1. Déchets solides	21
II-5.2. Déchets industriels	22
II-5.3. Déchets dangereux	22
II-5.4. Déchets biodégradables.....	23
II-5.5. Déchets électroniques.....	23
II-5.6. Déchets de construction et de démolition	24
II-5.7. Déchets plastique	25
II- 5.7.1. Déchets plastiques industriels.....	25
II- 5.7.2. Déchets plastiques de poste tension.....	26
II- 5.7.3. Types de plastiques et ses déchets recyclés	27
II- 5.7.3.1 l'origine des déchets plastique	28
II-6- Gestion des déchets	28
II-6.1. Collecte des déchets	28
II-6.2. Transport	29
II-6.3. Triage	29
II-6.4. Stockage	30
II-6.5. Valorisation	30
II-6.6. Recyclage	31
II-7- Les Déchets Utilisés Dans Le Bétons Polymère	32
II-7.1. Déchets plastique	32
II-7.2. Déchets des bois (sciures).....	33
Conclusion	34
CHAPITRE III Matériaux Et Méthodes	35
III.1. Introduction.....	35
III.2. Matières premières.....	35
III -2.1. Liants polymériques	36
III -2.1. 1. Broyage de déchets plastiques (PP)	36
III -2.1. 2. Nettoyage et séchage de déchets plastiques (PP)	36
III -2.2. Sable.....	37
III -2.2. 1. Lavage du sable	38
III -2.2. 2. Séchage du sable	38
III -2.2. 3. Test d'analyse granulométrique de sable	38
III -2.3. Sciures de bois.....	39

III.3. Technique D'élaboration	39
III -3.1. Choix des éprouvettes.....	37
III.4. Caractérisation des échantillons.....	41
III -4.1. Essai de flexion trois points (FTP).....	41
III -4.1. 1. Paramètres d'étude	42
III -4.2. Essai de compression.....	42
III.5. Essais physiques	44
III - 5.1. Essai d'absorption d'eau	44
Conclusion	45
CHAPITRE IV Résultats et Discussions.....	46
IV.1. Introduction	46
IV.2. Résultats essai mécanique	46
IV - .2.1 Résultats Essais de flexion trois points	46
IV - 2.1. 1. Analyse des courbes contrainte- déformation	46
IV - 2.2. Résultats Essais de compression	48
IV.3. Résultats d'absorption D'eau	49
Conclusion	50
Conclusion générale	50
Perspective.....	51

Liste des tableaux

Tableau I- 1 Propriétés types des bétons de résine et du béton de ciment Portland.....	10
Tableau I- 2 Principales différences entre les thermodurcissables et les thermoplastiques.....	11
Tableau II- 1 Diverses utilisations des matières plastiques vierges et recyclées	27
Tableau III- 1 Formulation de chaque composante des éprouvettes	41

Liste des figures

Figure I- 1 Béton polymère	05
Figure I- 2 Résine.....	06
Figure I- 3 Composition du béton polymère	07
Figure I-4 Classification des Béton et Mortier Résineux	08
Figure I- 5 Organigramme représente Les type de plastique	12
Figure I- 6 Façades et marches d'escalier en béton polymère pour bâtiment.....	14
Figure I- 7 Exemples d'utilisation des bétons de résine pour les bacs de plants	14
Figure I- 8 Le pont mythique (New York Mania).....	15
Figure I- 9 Plancher en béton polymère.....	15
Figure I- 10 Quelques applications du béton polymères, (drainage et hydrauliques).....	15
Figure I- 11 Quelque application de béton polymère (industrie).....	16
Figure I- 12 Quelque application de béton polymère pour l'isolation	16
Figure II- 1: Les effets des déchets sur l'environnement.....	17
Figure II- 2 Les différentes filières du recyclage	19
Figure II- 3 Collecte des déchets.....	20
Figure II- 4 Transformation des déchets	20
Figure II- 5 déchets solides	22
Figure II- 6 déchets industriel.	22
Figure II- 7 Stockage de déchets dangereux	23
Figure II- 8 Les déchets biodégradables	23
Figure II- 9 Les déchets électroniques	24
Figure II- 10 Les déchets construction et de démolition.....	24

Figure II- 11 Déchets de plastique	25
Figure II- 12 Déchets de plastique de post-consommation	26
Figure II- 13 Collecte des déchets	29
Figure II- 14 Transports de déchets	29
Figure II- 15 Centre de tri des déchets de la ville nouvelle de Hassi Messaoud -Ouargla	30
Figure II- 16 Stockage de déchets ultime (non dangereux)	30
Figure II- 17 valorisation des déchets	31
Figure II- 18 Usine de recyclage des déchets	31
Figure II- 19 déchets de plastique (polypropylène).....	33
Figure II- 20 déchets sciures de bois.....	34
Figure III -1 (a) Déchets plastiques PP, (b) Sable fin, (c) Sciure de bois.....	35
Figure III -2 Plastique Broyer	36
Figure III - 3 Procédure d nettoyage et séchage de déchets plastique (a) Nettoyage (b) séchage	37
Figure III - 4 la sablière d'erg siouf de Khoubana	37
Figure III -5 Lavage et Séchage du sable.....	38
Figure III -6 Tamiseuse électrique	38
Figure III -7 Courbe d'analyse granulométrique de sable utilisée.....	39
Figure III -8 Photo du copeau (sciure) de bois utilisé.....	39
Figure III -9 Schémas D'élaboration Bétons Polymère	40
Figure III -10 Les Eprouvettes de bétons polymères 5% - 10% - 15%	41
Figure III -11 Schématisation de dispositif de flexion à 3 points pour les éprouvettes	42
Figure III -12 L'essai de résistance à la flexion	42
Figure III -13 L'essai de résistance à la compression.....	44
Figure III -14 (a) séchage L'échantillon dans une étuve (b) les échantillons immergés dans de l'eau	45
Figure IV-1 les courbes contraintes-Déformations 05%, 10% ,15%	47
Figure IV-2 Graphique contrainte (MPa)	48
Figure IV- 3 Graphique Force -contrainte (contrainte (MPa))(.....	49
Figure IV- 4 Graphique Résultats d'absorption d'eau	49

Liste des abréviations

BP : Béton Polymère.

BAP : Béton Additionné par des Polymères.

BAP : Béton ou Mortier Additionné par des Polymères

BIP : Béton Imprégné par des Polymères.

BMO : béton à matrice organique

BP : Béton polymère

BR : Béton ou Mortier Résineux

DP : Déchets Plastiques.

PCC : Polymère - Cement Concrete (Béton additionné de résine)

PET : Poly (éthylène téréphtalate

PLC : Polymer Latex Concrete (Béton additionné de résine)

PP : Polypropylène

R_c : Résistance à la compression.

R_f : Résistance à la flexion.

A(%): Absorption de l'eau

Introduction générale

La protection et le respect de l'environnement sont des priorités pour l'État, et il incombe à chacun de contribuer à la préservation du cadre de vie dans lequel il évolue. L'environnement englobe l'ensemble des milieux naturels et artificiels, ainsi que les aspects humains, sociaux et culturels qui sont liés au développement national [1].

La lutte contre la pollution environnementale représente l'un des défis majeurs de notre ère moderne. Cette menace se manifeste sous différentes formes en raison des activités industrielles humaines, menaçant la vie animale, aquatique et terrestre, et ayant des conséquences néfastes sur la santé et le bien-être des individus. De plus, elle contribue au phénomène du réchauffement climatique et à la formation des pluies acides, résultant de la réaction entre diverses sources de dioxyde de carbone, d'oxydes de soufre et d'azote issues de la combustion de charbon, de gaz, de déchets et de produits pétroliers dans les véhicules, les usines et les stations-service, et la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Ces acides restent en suspension dans l'air sous forme de minuscules gouttelettes transportées par le vent, se condensant en une brume légère par temps sec. Lorsqu'il pleut, ils se dissolvent dans l'eau, formant les pluies acides, causant ainsi d'importants dommages aux sols, aux terres agricoles, et exerçant un impact mortel sur les ressources halieutiques, en plus de provoquer la détérioration des bâtiments, des ponts et des monuments.

Nous utilisons quotidiennement des matières plastiques sous des formes, tailles et couleurs variées, et ces matériaux sont devenus une partie intégrante de notre vie quotidienne. Des pare-chocs automobiles aux emballages, en passant par l'agriculture, les appareils ménagers, la construction et les objets de loisirs, le plastique est partout [2].

Les déchets plastiques sont parmi les types de déchets solides les plus répandus dans l'environnement. Le plastique joue un rôle vital en raison de ses multiples utilisations, de sa légèreté et de son faible coût de production. Avec la croissance économique, la demande de plastique a augmenté, entraînant une accumulation de déchets, ce qui en fait l'une des principales sources de pollution environnementale et posant des défis majeurs pour leur élimination. L'accumulation de déchets plastiques cause la propagation des maladies, des incendies accidentels, et la pollution de l'air et des eaux souterraines.

Une des solutions importantes pour traiter les déchets plastiques est leur recyclage pour fabriquer du béton polymère. Cette approche présente une importance considérable pour plusieurs raisons. Tout d'abord, le recyclage des déchets plastiques réduit la quantité de déchets envoyés dans les décharges, ce qui contribue à diminuer la pollution environnementale et la pression sur les écosystèmes naturels. Cela aide également à éviter les émissions de gaz à effet de serre résultant de leur incinération ou de leur décomposition dans les décharges.

Deuxièmement, l'utilisation de déchets plastiques recyclés dans la fabrication de béton polymère valorise ces matériaux et leur donne une seconde vie utile. Cela réduit la dépendance aux matières premières vierges et contribue à la préservation des ressources naturelles non renouvelables. Troisièmement, le béton polymère fabriqué à partir de déchets plastiques recyclés conserve souvent les propriétés avancées du béton traditionnel, tout en offrant des avantages supplémentaires tels qu'une meilleure résistance aux intempéries et une durabilité accrue. Cela en fait un matériau de construction attrayant pour une variété d'applications, tout en réduisant l'empreinte écologique de la construction.

le béton polymère est un matériau de construction moderne qui offre des performances et des caractéristiques uniques. Dans ce type de béton, le ciment est totalement ou partiellement remplacé par un polymère. Depuis les années 1980, la recherche et le développement des bétons et mortiers polymères ont considérablement progressé dans divers pays occidentaux. Bien que le remplacement du ciment Portland par un polymère augmente significativement le coût du béton, cette méthode est justifiée pour obtenir des caractéristiques supérieures. Actuellement, le béton polymère est très efficace grâce à sa haute résistance et à sa légèreté. Il est utilisé dans les éléments préfabriqués du bâtiment, les tabliers de pont, les conteneurs de déchets dangereux et les bases de machines industrielles. [3].

Le béton polymère est un matériau composite résultant de la substitution partielle ou complète du liant hydraulique par un autre de nature polymère. Sa création pendant la deuxième moitié du XXe siècle pourrait être considérée comme une réinvention du béton ordinaire. Cette gamme de matériaux de construction possède des atouts non atteignables avec les matériaux conventionnels en termes de performances mécaniques, de poids réduit et de résistance aux agents chimiques [4].

Le béton polymère n'est pas un béton traditionnel, bien que certains matériaux aient en commun. Il est utilisé pour des projets de construction tels que le traditionnel, mais les composants polymères de nous donner plusieurs caractéristiques qui le rendent plus sûr et plus durable que le béton ordinaire. Le polymère a tendance à être plus cher que d'habitude est mesurée et plus précisément en termes de densité et de retrait [5].

Les avantages du béton renforcé aux déchets plastiques sont multiples. En plus de contribuer à la réduction des déchets plastiques et à la préservation de l'environnement, il offre des performances améliorées en termes de résistance, de durabilité et d'isolation thermique. De plus, il peut être utilisé dans une variété d'applications de construction, contribuant ainsi à la promotion d'une économie circulaire et durable.

Dans cette étude, nous avons utilisé des déchets plastiques pour élaborer un nouveau matériau : le béton polymère. Nous avons abordé dans ce contexte les avantages du béton polymère, en nous concentrant particulièrement sur l'utilisation de déchets plastiques recyclés dans sa fabrication. Nous avons étudié les effets des déchets plastiques sur le comportement mécanique du béton polymère, ainsi que leurs

INTRODUCTION GENERAL

impacts sur les propriétés du béton, telles que la résistance à la compression, la résistance à la flexion et l'absorption d'eau. Enfin, nous avons exploré les considérations environnementales et économiques liées à l'utilisation de plastiques et de granulats recyclés dans le béton polymère, notamment les défis associés à leur collecte.

Dans le premier chapitre, nous avons parlé de l'exploration des avantages du béton polymère, de son processus de production, de ses classifications et types, ainsi que de ses propriétés mécaniques et de ses applications dans différents domaines de la construction.

Le deuxième chapitre, nous avons abordé la valorisation des déchets de différents types à travers diverses opérations de recyclage et ses techniques, ainsi que les différents types de déchets et leurs méthodes de gestion. Valorisation des déchets, leurs natures et leurs provenances ainsi les différents déchets utilisés en

Le troisième chapitre nous allons examiner de près les matériaux qui peuvent être utilisés dans la production du béton polymère, ainsi que les différentes méthodes de fabrication et de durcissement du matériau.

Le dernier chapitre de ce mémoire est consacré pour la présentation et la discussion des résultats des essais réalisés déjà sur les bétons polymères.

CHAPITRE I :
Généralités Sur Les
Bétons Polymères

I- Bétons Polymères

I-1. Introduction

Le béton polymère (BP) est un matériau fabriqué en remplaçant totalement ou partiellement le ciment par un polymère. La recherche et le développement des bétons et mortiers polymères ont connu un grand essor dans différents pays occidentaux depuis les années 1980 [6]. Comme le remplacement du ciment Portland par un polymère entraîne une augmentation sensible du coût du béton, il ne faudrait le faire que si l'on recherche des caractéristiques supérieures, si le coût de la main d'œuvre est moins élevé ou si les besoins en énergie lors de la fabrication et de la mise en œuvre sont moindres. Actuellement, le BP est utilisé très efficacement de par sa résistance élevée et sa légèreté, en éléments préfabriqués dans le bâtiment, pour les tabliers de pont, pour les conteneurs de déchets dangereux, pour bases de machines industrielles, pour la fabrication des carreaux de planchers en marbre synthétique et les panneaux d'escaliers, des plaques et panneaux de parements de diverses structures, d'appuis de fenêtre [7]. Pour améliorer les propriétés physiques et mécaniques et permettre une bonne durabilité des bétons de résine renforcés ou non tout en satisfaisant les exigences économiques qui se rapportent au coût du produit fini, plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'optimisation de la formulation du BP par la diminution de la fraction massique de la résine et/ou par le remplacement ou l'ajout d'une partie du squelette granulaire par d'autres composantes, conférant aux bétons des qualités meilleures en abaissant le prix du matériau du produit fini [8, 9].

I-2. Historique

Le premier à utiliser le terme matière plastique pour définir les objets fabriqués à partir de macromolécules (résines, élastomères et fibres artificielles) a été apparemment Leo Hendrik Baeckeland en 1909, aux États-Unis, quand un brevet a été accordé à la LH Backland. Treize ans plus tard, en France, un autre brevet sur la modification du polymère naturel pour mortier de ciment était accordé à ME Varegyas. [10]

En Grande-Bretagne, le béton polymère a progressé en 1923 avec le brevet de L. Cresson pour le matériau de revêtement des chaussées en caoutchouc modifié. Le brevet porte sur les matériaux de revêtement avec des latex de caoutchouc naturel où le ciment a été utilisé comme matériau de remplissage. En 1924, avec le développement de L. Lefebure latex de caoutchouc naturel ciment, le premier brevet avec le concept actuel de la modification des polymères a été publié, et plus tard, en 1925, un autre brevet concernant l'innovation sur ce produit a été délivré à Kirkpatrick. Tout au long des années 1920 et les années 1930, les bétons polymères modifiés utilisant le latex de caoutchouc naturel ont été largement développés.[11]

Les mortiers et bétons polymère se sont développés entre la fin des années 1950 et le début des années 1960 et deviennent les matériaux de construction privilégiés, dans certaines applications, au

Japon et en Europe vers les années 1970 et aux Etats-Unis dans les années 1980. A présent, ils sont des matériaux de construction assez courants.[06]

I-3. Définition du Bétons Polymère

Le béton polymère est un matériau tout à fait moderne à base de sable de quartz lié à une résine polyester de haute qualité. Le béton polymère est constitué de charges minérales (granulats, sable, etc.) et d'un liant polymère. On l'appelle aussi béton de résine synthétique ou béton de résine plastique [12].

Le béton polymère est considéré comme la dernière innovation dans le domaine du béton décoratif, car il s'applique avec une épaisseur de 20 mm sur tout type de surface, notamment sur les clôtures, les socles, les escaliers, etc. est un matériau résolument moderne à base de sables de quartz liés à une résine polyester de haute qualité. [12]

Le béton polymère est une excellente alternative au béton traditionnel. En effet, il possède une résistance mécanique à la compression de très haut niveau. Celle-ci est jusqu'à quatre fois supérieure à celle du béton ordinaire.

En outre, le béton polymère est particulièrement léger. Il possède un pourcentage d'absorption de l'eau quasi nul, ce qui lui confère une totale étanchéité. Également très résistant aux changements de température, il supporte très bien les passages du gel au dégel, ainsi que l'usure par abrasion. Ce matériau de qualité résiste aussi à la dispersion de produits chimiques et aux différents chocs. La résistance aux agents chimiques et les caractéristiques mécaniques dépendent essentiellement de la nature du polymère utilisé et de la quantité de charge. [13]

De faible dimension, le béton polymère facilite enfin l'organisation des chantiers et en améliore le rendement en raison de sa simplicité d'installation et de manipulation

De manière générale, les polymères composés de chaînes linéaires flexibles non réticulées sont flexibles (à certaines températures) tandis que les polymères fortement réticulés, qui forment un réseau tridimensionnel, sont plus rigides. Le premier conduit aux polymères thermoplastiques, et le second aux polymères thermodurcissables.



Figure I- 1 : Béton polymère [14]

I- 4. Constituants

Le béton de polymère est formé par un squelette granulaire (les agrégats) et un liant polymère parfois thermoplastique mais dans la plupart des cas thermodurcissable. [15]

I.4.1. Liant (la résine)

Les matrices jouent un rôle très important au sein des matériaux composites. Elles assurent définitivement la qualité de la cohésion du composite. Une matrice organique est formée par un ou plusieurs polymères. Ces derniers se subdivisent en deux grandes familles, à savoir les thermoplastiques (polypropylène PP, polyéthylène PE, polychlorure de vinyle PVC) et les thermodurcissables (époxy, polyuréthane PU, colles phénoliques). [16]

Les polymères sont des structures ayant une architecture le plus souvent linéaire ou tridimensionnelle constituée par l'enchaînement covalent de plusieurs unités chimiques de répétitions ou motifs unitaires appelées monomères possédant une ou plusieurs fonctions chimiques potentiellement réactives. Le nombre et la nature de ces fonctions permet de déterminer ce que l'on appelle la fonctionnalité du monomère, c'est-à-dire le nombre de liaisons qu'un monomère peut établir avec d'autres monomères lors de la réaction chimique appelée polymérisation. [17]



Figure I- 2 : Résine [14]

I-4.2. Agrégats

Les agrégats forment le squelette du béton et ils jouent donc un rôle très important dans la composition et la fabrication des bétons en général et le béton de résine en particulier. Ils influent les propriétés mécaniques et physiques du produit fini. Les agrégats utilisés dans la plupart des cas sont des sables de quartz de granulométrie différente. Le sable (0,1 à 0,7 mm) est considéré comme des agrégats à granulométries supérieures tandis que la farine (0,1 à 0,3 mm) et les particules encore plus petites (< 0,1 mm) sont considérées comme des agrégats fins. Le bon choix des agrégats entraîne une augmentation du module d'élasticité, de la résistance en flexion et en compression ainsi que de la dureté. [15]

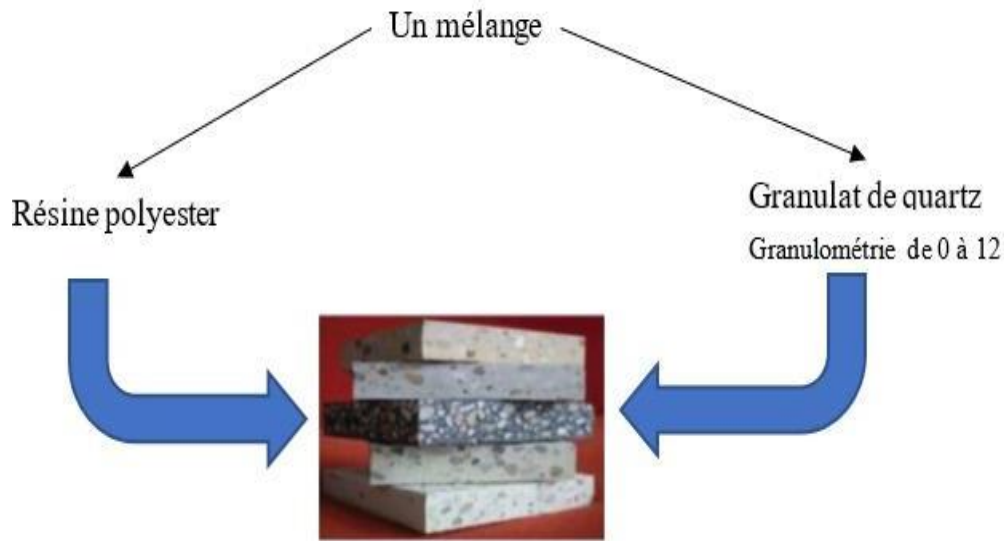


Figure I- 3 : Composition du béton polymère [18]

1.5. Classification des bétons polymères

Les bétons de polymères sont classés généralement en trois catégories selon le processus technologique de fabrication

- Béton ou Mortier Résineux « BR ou MR »
- Béton ou Mortier Additionné par des Polymères « MAP ou BAP »
- Béton ou Mortier Imprégné par des Polymères « MIP ou BIP »

Le tableau II.1 montre la classification de la composition de Béton Résineux. Cette classification a été publiée pour la première fois par Blaga qui a proposé de classer les bétons de résine en deux grandes catégories. Dans la première le liant est entièrement polymérique. La deuxième concerne des bétons cimentaires modifiés par des polymères. Dans cette dernière catégorie on retrouve le béton imprégné de résine, obtenu en imprégnant des éléments préfabriqués en béton cimentaire avec un monomère, et le béton additionné de résine, obtenu en remplaçant une partie du ciment par un polymère. [06]

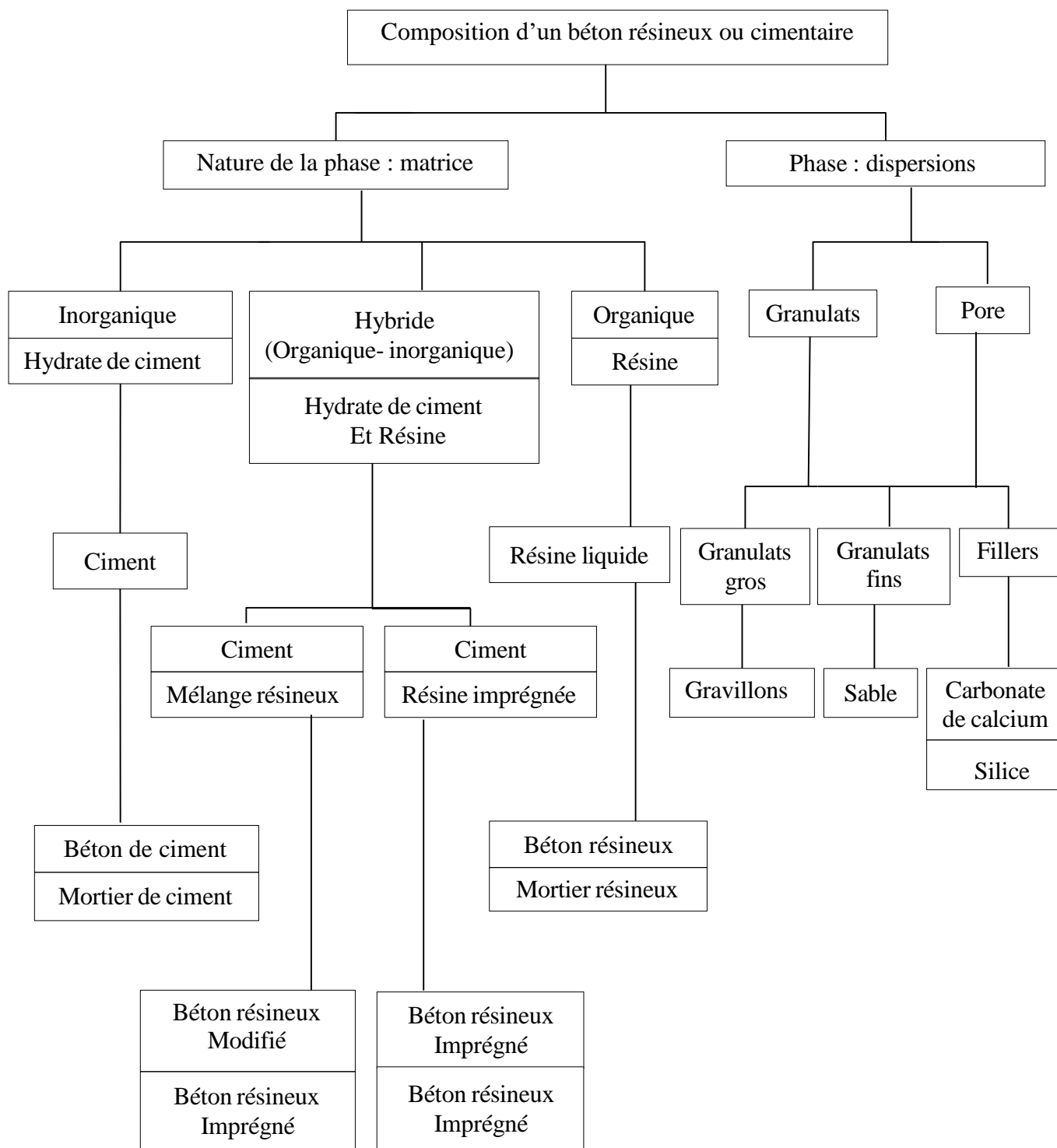


Figure I - 4 : Classification des Béton et Mortier Résineux [06]

1.5.1. Béton imprégné de résine

Le béton imprégné de résine dit sous l'appellation (anglophone Polymère- impregnated concrete PIC), est obtenu en imprégnant des éléments préfabriqués en béton cimentaire avec un monomère La polymérisation se fait par la méthode la plus économique et la plus pratiquedit imprégnation. [19]

L'imprégnation est un traitement très efficace lorsque les propriétés mécaniques des constructions après durcissement ou après un certain temps de service sont faibles. La résistance contre la corrosion chimique augmente, et la perméabilité (gaz, solutions) des constructions diminue de façon marquée après l'imprégnation. Le procédé d'imprégnation du béton avec différents types de matériaux polymère a permis d'améliorer les propriétés physico-mécaniques de tels composites.

En effet, il présente une résistance à la compression trois à quatre fois plus importante que celle du béton à partir duquel il a été fabriqué ainsi qu'une augmentation de la résistance. [20]

1.5.2. Béton additionné de résine

Ce béton connu sous le nom anglophone Polymère - Cement Concrete (PCC) ou aussi Polymer-Latex Concrete (PLC) est un composite où l'on ajoute un polymère non réactif (souvent du genre latex, ou un monomère réactif (résine) au mélange du béton hydraulique à l'état frais (avant la prise).

Dans les structures des bétons modifiés, les agrégats sont liés par une phase Co-matrice, conduisant à des bétons caractérisés par des propriétés meilleures que celles du béton conventionnel. En effet des études antérieures ont montré que l'incorporation de polymères dans un béton entraîne souvent une amélioration de la maniabilité et des propriétés mécaniques, en particulier une plus grande résistance à la flexion et une diminution du module d'élasticité une imperméabilité améliorée conduisant à la diminution de la diffusion des ions chlorure, une plus grande résistance au gel, la réduction du taux de retrait, ainsi que l'amélioration de la durabilité des structures en béton. [21]

1.5.3. Béton de résine

Il fait partie de la catégorie de matériaux à matrice organique d'où sa désignation de béton à matrice organique BMO. Il est connu aussi sous l'appellation de béton résine synthétique ou de béton de résine plastique ou tout simplement de béton de résine.

Ce béton est un matériau composite dont le liant est formé entièrement d'un polymère organique synthétique.

Le béton à matrice organique a permis la production d'une large gamme de produits préfabriqués y compris les égouts, les réservoirs pour acide, revêtement de tunnels, carrelage, des moulures architecturales, les barrières médianes d'autoroutes...ect.

Cette diversité de produits a été obtenue grâce : à la capacité de ce matériau à se mettre en œuvre sous des formes complexes, sa mouillabilité, son excellent amortissement des résistances à la traction et à la flexion. La durabilité est également améliorée en particulier celle au gel dégel. [22]

Tableau I- 1: Propriétés types des bétons de résine et du béton de ciment Portland [23].

Matériau	Masse volumique (kg/dm ³)	Absorption d'eau (%)	R _c (MPa)	R _t (MPa)	R _f (MPa)	E (GPa)
Poly-méthacrylate de méthyl	2-2,4	0,05-0,6	70-210	9-11	30-35	35-40
Polyester	2-2,4	0,3-1	50-150	8-25	15-45	20-40
Époxy	2-2,4	0,02-1	50-150	8-25	15-50	20-40
Furane	1,6-1,7	0,2	48-64	7-8	-	-
Béton de ciment Portland	1,9-2,5	5-8	13-35	1,5-3,5	2-8	20-30

En général, le remplacement du ciment Portland par un polymère engendre une augmentation sensible du coût du béton .[23]

C'est pour cette raison que sa fabrication est conditionnée par la recherche de caractéristiques supérieures répondant à des besoins précis et nécessitant un coût de main-d'œuvre et des besoins en énergie moins élevés lors de sa fabrication et de sa mise en œuvre.

1.6. Types des polymères

Il existe un grand nombre de plastiques aux propriétés différentes, on les classe en trois grandes catégories: les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères. [24]

1.6.1 Polymères thermoplastiques :

Un thermoplastique est un matériau à base de polymère (composé de macromolécules) qui peut être mis en forme, à l'état liquide (visqueux) à une température soit supérieure à sa température de transition vitreuse (T_g) (thermoplastiques amorphes) ou supérieure à sa température de fusion (T_m) (thermoplastiques semicristallins).

Sur le plan de la microstructure, il se compose de molécules longues, linéaires ou ramifiées, mais chimiquement séparées l'une de l'autre. (Subramanian 2016)

Sous l'effet de la chaleur, les thermoplastiques ramollissent et deviennent souples.

On peut alors leur donner une forme qu'ils garderont en refroidissant. La transformation est réversible et renouvelable un grand nombre de fois, les thermoplastiques sont ainsi facilement recyclables [25]

1.6.2 Polymères thermodurcissables :

Ces plastiques prennent une forme définitive au premier refroidissement : ils deviennent durs et ne se ramollissent plus une fois moulés. La technique de fabrication est difficile à mettre en œuvre mais elle produit des matériaux très solides et très résistants aux agressions chimiques et à la chaleur. Les aminoplastes sont les plastiques thermodurcissables les plus utilisés.[25]

Les élastomères sont élastiques : ils se déforment et tendent à reprendre leur forme initiale et supportent de très grandes déformations avant rupture. Ce ne sont pas réellement des plastiques. Issu du latex d'Hévéas (arbre d'Amazonie), le caoutchouc naturel est resté longtemps le seul élastomère connu mais les méthodes modernes de fabrication ont permis d'obtenir une grande diversité de matériaux en ajoutant des additifs, accélérateurs, agents protecteurs (anti UV, anti oxygène...) et en les combinant à d'autres matériaux (métaux, textiles, autres plastiques...) [26]

Tableau. I.2: Principales différences entre les thermodurcissables et les thermoplastiques. [27]

Matrices	Thermoplastiques TP	Thermodurcissables
Etat de base	Solide prêt à l'emploi	Liquide visqueux à polymé- riser
Stockage	Illimité	Réduit
Mouillabilité renforts	Difficile	Aisée
Moulage	Chauffage + refroidissement	Chauffage continu
Cycle	Court	Long
Tenue au choc	Assez bonne	Limitée
Tenue thermique	Réduite	Bonne
Chutes et déchets	Recyclables	Perdus ou recyclés en charges
Conditions de travail	Propreté	Emanation pour

I.6.3 Elastomère :

Les élastomères sont des matières réticulées d'une manière incomplète. Le degré de réticulation est faible à la différence des thermodurcissables.

Les pontages permettent aux macromolécules de revenir en place plus ou moins rapidement après une déformation sous contraintes. C'est la propriété fondamentale des élastomères. [28]

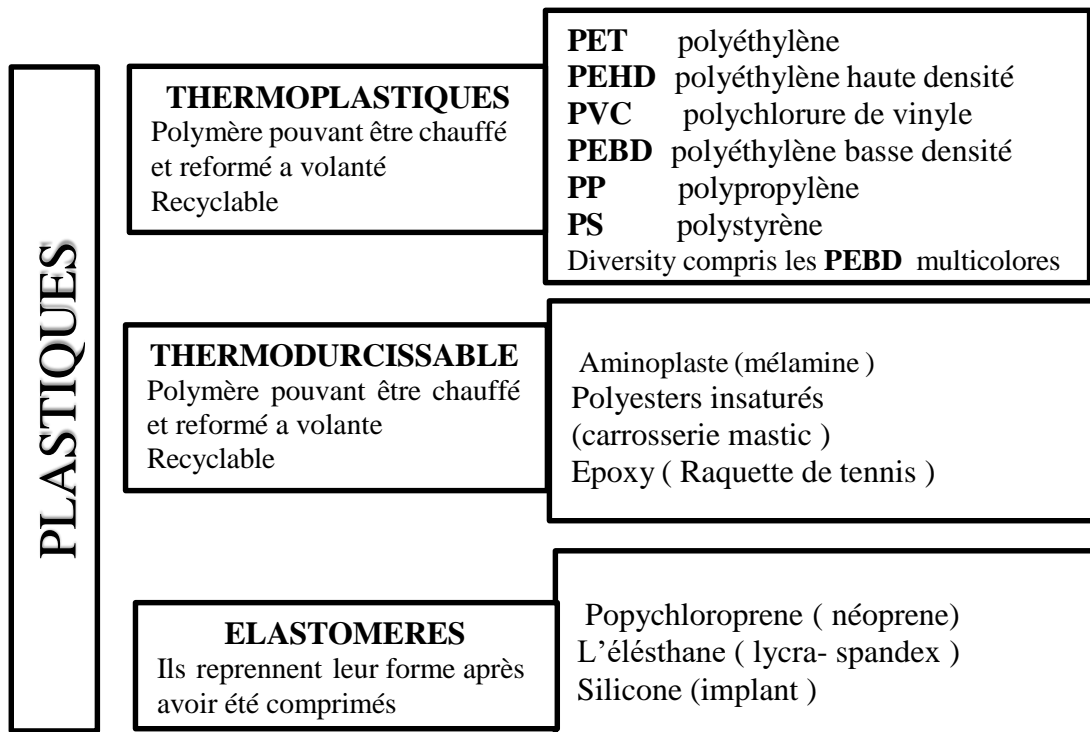


Figure I- 5: Organigramme représente Les type de plastiques [29]

1.7. Propriétés de béton polymère

Les propriétés viscoélastiques du liant polymère sont responsables du taux élevé de fluage du béton de résine, ce qui restreint quelque fois son utilisation dans la construction de charpentes. Le taux de déformation du béton de résine varie selon le type d'une grande variété de bétons à base polymère parmi lesquelles on trouve : le béton de polyester, le béton d'époxy, le béton de résine furanique. La mécanique des différents bétons polymère. [17]

Les propriétés mécaniques des polymères se situent entre celles des céramiques (matériaux les plus fragiles) et celles des métaux connus pour leurs bonnes performances mécaniques. Les polymères thermodurcissables ont un comportement mécanique semblable aux polymères thermoplastiques. Cependant, à moins de n'être que très faiblement réticulés, ils ne subissent pas de fort ramollissement lorsque la température augmente. Les propriétés mécaniques ne seront significativement affectées aux hautes températures que par la dégradation chimique du réseau macromoléculaire. [30]

1.8. Les avantages et les inconvénients d'un béton polymère

1.8.1. Avantages du Béton Polymère

Voici quelques-unes des principales caractéristiques du béton polymère :

- Le Béton Polymère possède des caractéristiques mécaniques supérieurs à un béton classique ce qui permet d'obtenir des épaisseurs et un poids moindre par rapport à des ouvrages en béton armé, facilitant ainsi la manutention et la pose.

- Capacité de production et de livraison très importante, le béton polymère est sec en 20 minutes et obtient sa résistance maximale en 16 heures.
- 100 % étanche dans la masse.
- 100 % recyclable ainsi qu'un bilan carbone plus faible qu'un béton traditionnel.
- Vieillesse lamellaire sans fissuration ni décrochage, ce qui rendra vos projets esthétiques durables dans le temps.
- Résistance totale au sel marin et au sel de déverglaçage.
- Résistance totale aux phénomènes de Gel/Dégel (aucune présence d'eau + parfaite étanchéité).
- Aucune présence d'acier dans le béton polymère, de ce fait aucun risque d'éclatement, de chute de morceaux ou de coulure de rouille pour un aspect esthétique garantie à long terme.
- Résistance totale aux agressions et ce sans aucun traitement : résistance du pH 1 à 14, à l'H₂S, à un très grand nombre d'acides et aux hydrocarbures.
- Excellent coefficient d'écoulement : Manning Strickler de 108, évitant ainsi tout dépôt de matière et fournissant un matériau auto curant lors de la montée en charge de l'ouvrage.
- Le phénomène d'auto curage est accentué par un aspect parfaitement lisse sur les surfaces techniques évitant tout risque de dépôts, même lors de débits très faibles ;
- Excellente tenue à l'abrasion : notre coefficient d'abrasion (=1) permet de conserver les qualités hydrauliques de nos ouvrages durant des décennies. Le béton polymère est donc compatible avec des vitesses d'écoulement élevées.
- Possibilité de teinter le béton polymère en pleine masse et de la couleur voulu (selon classification RAL). La couleur du béton polymère est peu sensible aux UV et ce sur le long terme.

[31]

1.8.2. Les inconvénients du Béton Polymère

Le cout de la matière première (principalement le liant) est plus élevé (jusqu'à 8 fois). comparé à celui des bétons hydrauliques. Ces bétons se caractérisent par une mauvaise odeur et une toxicité provenant de la partie. liante du matériau c'est-à-dire la résine et le durcisseur pendant le malaxage et la mise en œuvre. [30]

- comparé à celui des bétons hydrauliques.
- Ces bétons se caractérisent par une mauvaise odeur et une toxicité provenant de la partie. [33]

1.9. Utilisations de béton polymère

Béton polymère est utilisé pour de nombreux types de projets de construction spécialisés. Comme d'autres types de béton, il peut être utilisé pour assembler deux composants différents ou de fournir une structure ou une base. Le matériau est utilisé dans la construction électrique ou industrielle où le béton doit durer longtemps et être résistant à de nombreux types de corrosion . [34]

1.9.1 L'utilisation des bétons polymère dans les bâtiments domaine de génie civil

L'industrie de façades, s'est enrichie avec l'utilisation du béton polymère comme matériau de revêtement avec des différentes formes de ces dernières de plus en plus complexes de point de vue architecturale et les exigences économiques et techniques plus stricts . [35]



Figure 1.6: *Façades et marches d'escalier en béton polymère pour bâtiment [18]*

1.9.2. L'utilisation des bétons polymère dans l'horticulture

Le béton polymère est utilisé pour fabriquer des petites formes et des bacs pour les plants Ces conteneurs sont à déplacer selon les conditions météorologiques et c'est ici que réside l'avantage de profiter de béton polymère plus léger et robuste. [36]



Figure. 1.7. *Exemples d'utilisation des bétons de résine pour les bacs de plants [14]*

1.9.3. L'utilisation des bétons polymère pour les revêtements des chaussées et planchers

Les planchers qui sont réalisées par le béton polymère dans les établissements industriels sont constamment exposés à des actions mécaniques permanentes exercées par les engins de transport, les vibrations, les impacts, l'abrasion, l'action des agents chimiques. De même pour les chaussées, le mouvement intensifs des véhicules lourds essentiellement réduit énormément le freinage à temps et cause l'usure de la surface du béton. Les investigations basées sur des essais en laboratoires et in-situ pour une période de 10 ans ont démontré l'efficacité de cette technique si la résine est bien choisie [36].



Figure. I.8: Le pont mythique (New York Mania) [40]. **Figure. I.9:** Plancher en béton polymère. [40].

I-9.4. L'utilisation des bétons polymère dans les travaux de drainage et hydrauliques

L'utilisation du béton polymère pour la fabrication des différents systèmes de drainage et le réseau de canalisation, est très répandue comme résultat de la faible absorption d'eau et une résistance exceptionnelle au gel –dégel par conséquent, les éléments fabriqués en béton polymère peuvent avoir jusqu'à 15 mm d'épaisseur (réduction de 1/3 du poids par rapport au béton cimentaire) [37]



Figure. I.10: Quelques applications du béton polymères, (drainage et hydrauliques). [14]

I.9.5 L'utilisation des bétons polymère dans l'industrie

Le béton polymère est fortement recommandé dans la construction des usines chimiques et dans la fabrication des équipements miniers (électrolytiques, réservoirs, puits, etc) [38]



Figure. I.11: Quelques applications de béton polymère (industrie). [18]

I.9.6 L'utilisation des bétons polymère comme isolation phonique

Par la fabrication des écrans phoniques (Figure I.12), le produit doit avoir une bonne résistance mécanique surtout sous l'action des vents intenses et une résistance à l'humidité, aux gaz, aux huiles et antigels. Par des renforts comme le verre, le caoutchouc et des autres minéraux usuels [38]



Figure I.12 : Quelques applications de béton polymère pour l'isolation[36].

Conclusion

Nous avons présenté les bétons polymères et leurs principales caractéristiques dans ce chapitre, en abordant leurs avantages et inconvénients. Les polymères possèdent une excellente capacité d'adhésion, formant une matrice de liaison pour les granulats minéraux, produisant ainsi des composites aux propriétés mécaniques exceptionnelles. Ces composites peuvent supporter des efforts de traction et de cisaillement dans les structures.

En plus de leur résistance mécanique, les bétons résineux se distinguent par leur inertie chimique, leur durabilité élevée, et leur résistance à l'usure. Ils ont également d'excellentes capacités d'isolation thermique et électrique, les rendant adaptés à diverses applications fonctionnelles. En résumé, les bétons polymères allient robustesse mécanique, résistance chimique, durabilité et isolation, ce qui les rend extrêmement polyvalents pour de nombreuses applications structurelles et fonctionnelles. .

Chapitre II:

Généralités sur le

recyclage des déchets

II - Généralités Sur Le Recyclage

II.1. Introduction

La pollution de l'environnement est un problème mondial auquel tous les pays sont confrontés à des degrés divers, et chaque pays s'efforce de le combattre par tous les moyens disponibles, surtout après la conférence sur l'environnement dans les années quatre-vingt-dix. [39]

car la pollution est liée à la présence de l'homme. Partout où l'homme se trouve, il y a des déchets, qui sont une source de problème. Liée au développement industriel et à la forte pression démographique, elle a conduit au développement des modes de consommation et donc à l'augmentation du volume des déchets sous différentes formes dans l'environnement, entraînant la fuite de ses toxines dans différentes sources d'eau, qu'elles soient souterraines ou de surface, et ayant un impact négatif sur les plantes, la vie de divers organismes vivants et humains, en plus de libérer des émissions malodorantes et très gênantes, et de dénaturer les paysages naturels et les valeurs esthétiques de la nature en raison de leur accumulation.

Au cours des dernières années, les déchets provenant de différentes sources sont devenus une cause de multiples problèmes environnementaux liés à leur stockage et à leur augmentation. De plus, les matériaux de construction traditionnels d'origine naturelle finissent par s'épuiser. [40]



Figure II - 1 : Les effets des déchets sur l'environnement

Pour faire face à ce grand défi, de nombreuses solutions efficaces ont été mises en œuvre pour contrer les effets négatifs de l'élimination des déchets, notamment le recours au recyclage pour préserver l'environnement et les matières premières. Le recyclage est devenu au fil des ans une nécessité environnementale et un important défi économique, car l'utilisation d'emballages alimentaires (entre autres) augmente continuellement, entraînant la production d'une grande quantité de déchets. Il est probable que dans le futur, l'emballage sera écologique, composé de matériaux

recyclés ou de matériaux durables et/ou biodégradables/dégradables chimiquement. L'intérêt réside dans le développement de processus de transformation des matériaux à forte consommation comme les bouteilles alimentaires, ce qui contribuera à surmonter les problèmes environnementaux. [41]

Le recyclage des déchets est un processus qui consiste à réutiliser les déchets sous différentes formes dans le but de produire d'autres matériaux de qualité inférieure à celui d'origine. Il se compose d'une série d'étapes interdépendantes visant à réutiliser les matériaux excédentaires et à répondre aux besoins humains. Les déchets sont triés selon les matières premières dont ils sont composés, puis transformés en d'autres matériaux pour répondre aux différents besoins humains.

Le recyclage est une alternative à l'élimination "traditionnelle" des déchets, car il permet d'économiser des matériaux et contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le recyclage peut éviter le gaspillage de matériaux utiles ainsi que réduire la consommation de nouvelles matières premières, ce qui diminue la consommation d'énergie et la pollution de l'air (résultant de la combustion) et la pollution de l'eau (résultant des décharges).

Il convient de noter que le processus de recyclage des déchets ne se fait que par le tri des matériaux similaires, où les matériaux en verre sont collectés ensemble, puis les plastiques, ainsi que les papiers et cartons, en vue du recyclage. Cela explique pourquoi nous voyons des municipalités affecter des conteneurs spécifiques à chacun de ces sujets individuellement. Fondamentalement, le recyclage des matériaux offre une nouvelle source pour la même matière.

II .2. Définition du recyclage

Le recyclage est le procédé de traitement des différents types de déchets et des sous-produits qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Il constitue une activité importante dans les pays développés. Le recyclage a deux conséquences écologiques bénéfiques : la réduction du volume de déchets et préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables [42]

Le recyclage d'un déchet consiste à réutiliser là ou différentes matières qui entrent dans sa composition ce qui permet d'économiser des matières premières et de l'énergie. [43]

Ce mode de traitement concerne surtout le verre, le papier-carton, les emballages et les métaux : ces déchets font l'objet d'une collecte séparée déjà bien établie depuis longtemps et suivie d'un traitement spécifique de valorisation sous forme de recyclage : il s'agit d'une récupération de matière première, sans véritable transformation. [44]



Figure II – 2 : Les différentes filières du recyclage

II .3. Techniques de recyclage

II .3.1. Procédés de recyclage

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique. Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer. Le recyclage dit « Organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz. [45]

II .3.2. La chaîne de recyclage :

II .3.2.1 Collecte de déchets :

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centres d'enfouissement techniques. Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés ni à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence. La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le trie lui-même. À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations. [46]



Figure II – 3 : Collecte des déchets

II .3.2.2. Transformation :

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi. Commercialisation et consommation

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés. Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés.[47]



Figure II – 4 : Transformation des déchets

II .3.2.3. Commercialisation et consommation :

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés, pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés. [52]

II.4. Définition d'un déchet

Le terme déchet peut faire l'objet de nombreuses définitions, et il est souvent utilisé avec des significations différentes. Il concerne tout ce qui résulte des activités humaines et animales et est rejeté comme inutile ou indésirable..

Quand quelque chose perd sa fonction primaire pour un utilisateur, il deviendra déchet, cependant, les déchets des uns peuvent servir de matières premières secondaires pour la fabrication d'autres produits et même des biens pour d'autres personnes ou communautés selon l'expression

les résidus des uns font le bonheur des autres. [48]

La définition des déchets correspond à tout matériau des déchets peuvent être abordés de manière différente en fonction de leurs propriétés ,un déchet est défini comme " Tout déchet d'un évolution de production, de transformation, ou d'utilisation, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné et qui sont de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits ou des odeurs"

La variété de ces propriétés et des points de vue que l'on peut adopter lorsque l'on s'intéresse. D'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement. [49]

D'une manière générale, on peut considérer que un déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon [50]

Selon la loi algérienne N° 01-19 du 12 décembre 2001, parue au journal officiel du 15 décembre 2001 portant sur « La gestion, le contrôle et l'élimination des déchets », on entend par Déchet « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance ou produit et tout bien meuble, dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou d'éliminer.

II.5. Different types de déchets

Il existe plusieurs types de déchets ainsi leurs classification peut s'effectuer selon différents critères (origine, nature, toxicité, etc.).. [51]

II 5.1. Déchets solides

Rushbrook et Pugh ont précisé que le terme déchet solide peut se référer au déchet municipal qui contient sept catégories résidentiel (ménager ou déchets domestiques), commercial, institutionnel, déchets de nettoyage des voies publiques, déchets de construction et de démolition, déchets hospitaliers, déchets industriels. [52]



Figure II - 5 : déchets solides.

II 5.2. Déchets industriels

Les déchets industriels sont typiquement les déchets générés par les entreprises appartenant à différents secteurs d'activités économiques tels que les industries manufacturières, la construction, les services et l'agriculture. Pour les industriels, le caractère de déchet est bien souvent lié à une valeur commerciale nulle ou négative, le déchet à valeur commerciale positive n'étant plus considéré comme déchet, ce qui induit une perception différente de celle des autorités compétentes. La diversité des origines explique la nature et les caractéristiques très diverses des déchets qui constituent ce gisement. Ils peuvent être soit dangereux, soit non dangereux ou encore inertes. Cette diversité induit une multiplicité dans les traitements susceptibles d'être appliqués. [53,54]



Figure II - 6 : déchets industriel.

II 5.3. Déchets dangereux

Cette famille regroupe des déchets essentiellement d'origine industrielle (DIS), mais également produits par des petites entreprises ou structures (DTQD), par les ménages (DMS) ou par le monde agricole (produits phytosanitaires). Ils contiennent des substances toxiques ou dangereuses en concentration plus ou moins forte. Leur traitement doit faire l'objet de particulière. Certains d'entre eux, du fait de leur toxicité reconnue, sont soumis à des contrôles et des réglementations

spécifiques., [48]



Figure II - 7 : Stockage de déchets dangereux

II 5.4. Déchets biodégradables

Résidus verts, boues d'épuration des eaux, restes alimentaires..., qui s'assimilent en première approche à la biomasse. Ces déchets sont au moins pour partie détruits naturellement, plus ou moins rapidement, en général par les bactéries, champignons et autres micro-organismes et/ou par des réactions chimiques (oxydation, minéralisation), laissant des produits de dégradation identiques ou proches de ceux qu'on peut trouver dans la nature, parfois néanmoins contaminés par des résidus de pesticides, de métaux, dioxines, etc. , selon leur origine. Ils peuvent être revalorisés par différentes filières (bioénergie, biocarburants, Compostage / amendements / engrais...).[55]



Figure II - 8 : Les déchets biodégradables

II 5.5. Déchets électroniques

Les déchets électroniques" désignent les équipements électriques et électroniques en fin de vie utile. Cela peut inclure une large gamme d'appareils tels que les téléphones portables, les ordinateurs, les téléviseurs, les appareils électroménagers, les jouets électroniques, etc. En raison de l'évolution

rapide de la technologie, les appareils électroniques sont souvent remplacés par de nouveaux modèles plus récents, ce qui conduit à une augmentation du volume de déchets électroniques. La gestion appropriée de ces déchets est essentielle en raison de la présence de substances potentiellement dangereuses telles que le plomb, le mercure et le cadmium, ainsi que de la possibilité de recycler les matériaux précieux contenus dans ces appareils. [56]



Figure II - 9 : Les déchets électroniques

II 5.6. Déchets de construction et de démolition

Ces déchets peuvent être de béton démolé (déchets des éprouvettes écrasées dans le laboratoire, déchets du bâtiment, des plates-formes des aéroports en béton, chaussées des routes en béton etc.), déchets de brique du bâtiment, ou déchets des éléments de trottoir. Les granulats fabriqués par ces déchets sont dits : «Granulats Recyclés », et le béton fabriqué à base de ces granulats est dits : « Béton Recyclé». Cependant, les granulats recyclés fabriqués par les déchets de démolition des constructions dont plusieurs déchets autre que le béton tels que : le plâtre, la brique, le bois, le plastique, les métaux, les papiers etc.... après la séparation et le tamisage peuvent être réutilisés dans divers domaines publics. [57]



Figure II - 10 : Les déchets construction et de démolition

II-5.7.2. Déchets plastiques de poste tension :

C'est l'ensemble des déchets issus de la consommation industrielle ou des particuliers.

On distingue :

- Les déchets agricoles constitués essentiellement de films, sacs, futs et bidons de produits phytosanitaires. Il s'agit pour l'essentiel de polyoléfines (PEBD, PEHD et PP). Il y a également les futs, bidons, sacs de grande contenance dans les secteurs de la chimique, l'agroalimentaire, le bâtiment et les travaux publics, pour le conditionnement et le transport de divers autres produits. Enfin, on peut aussi citer les emballages en polystyrène expansé utilisés pour le calage lors du transport de produits fragiles.
- Les déchets électriques et électroniques issus de la filière du plastique tels que les ordinateurs, téléphones, appareils électroménagers et câbles en tout genre.
- Les déchets ménagers qui sont essentiellement constitués par les emballages. Pour ce gisement, les matières principales concernées sont : le PET (bouteilles de boissons gazeuses, eaux minérales, etc.), le PEHD (bouteilles de lait, produits lessiviels, etc.), le PEBD (sacs d'emballage) et le PVC (bouteilles d'eau minérale, etc.).
- Les déchets du bâtiment et des travaux publics tels que les tuyaux, revêtements de sols, câbles, mousses d'isolation, etc. Ces matériaux sont très fortement mélangés et leur degré de pollution est souvent élevé.
- Les déchets de véhicules hors usage (VHU) (en moyenne 14% en masse du véhicule). On y retrouve des polyoléfines, du PVC, des polycarbonates, des polyamides, des polyuréthanes, des résines thermodurcissables diverses, sans oublier les élastomères. Cette fraction ne cesse de croître du fait que les véhicules s'allègent de plus en plus et les équipements de sécurité sont en plein développement. [60]



Figure.II.12 : Déchets de plastique de post-consommation

II-5.7.3. Types de plastiques et ses déchets recyclés :

Les quantités des plastiques consommés annuellement partout dans le monde ont connu un développement phénoménal. Ses caractéristiques particulièrement faciles à utiliser, flexibilité nique, facilité de fabrication ajoutée à son immense efficacité et longévité sont les raisons principales d'une telle croissance astronomique. Au très large utilisation dans les emballages, les applications industrielles, les matières plastiques sont également largement utilisées dans les systèmes de livraison médicaux, implants artificiels et des applications de soins sanitaire, préservation et distribution alimentaire, application dans le bâtiment, la communication et l'industrie électronique, etc. [69] Le Tableau II -1 détaille les utilisations des matières plastiques et les plastiques recyclés.

Tableau II.1 : Diverses utilisations des matières plastiques vierges et recyclées. [61]

Nom du plastique	Description	Certaines utilisations du plastique vierge	Certaines utilisations des plastiques fabriqués à partir des déchets plastiques
Poly téréphtalate d'éthylène (PET)	Plastique claire et dure, peut être utilisé pour en faire des fibres	Bouteilles pour Boissons gazeuses et eaux minérales, rembourrage pour sacs de couchage et oreillers, fibres textiles	Bouteilles de boissons gazeuses, bouteilles de détergent (multicouches), film transparent pour emballage, fibres de tapis, vestes la ineuses
Polyéthylène Haute Densité(PEHD)	Plastique très fréquent, habitue blanc ou coloré	Sacs à provisions, sacs de congélation ondulée, bouteilles de lait et de crème, bouteilles de shampoing et produit de nettoyage, caisses de lait	Bacs à compost, bouteilles de détergent, caisses mobiles, poubelles, tuyaux agricoles, palettes, caisses de recyclage aux bords des trottoirs
Polychlorure de vinyle non plastifié (UPVC)	plastique dure et rigide peut être clair	Bouteille de jus, douilles d'ampoules, tubes et raccords de plomberie	Bouteilles de détergent, tuiles, tuyaux et raccords de plomberie
Polychlorure de vinyle plastifié	Plastique souple, clair et élastique	Tuyaux d'arrosage, semelles de chaussures ; sacs et tubes pour prélèvement de sang	Tuyaux flexibles d'intérieur, sols industriels
Polyéthylène à basse densité (PEBD)	Plastique mou et flexible	Couvercles des pots de crème glacée, sacs à ordures, poubelles, feuilles de plastique noir	Film pour l'industrie du bâtiment, les pépinières, l'industrie de l'emballage, sacs
Polypropylène (pp)	Plastique dur, mais souple-de nombreuses utilisation	Pots pour crème glacées, sacs de chips, paillettes pour boissons, boîte et emballage alimentaire	Bacs de compost, caisses aux bords des trottoirs de récupération pour le recyclage, usinage sans fins

Polystyrène (PS)	Plastique rigide et fragile, peut être clair et vitreux	Pots de yaourt, couvercles en plastique, imitation de cristal « verrerie »	Pinces à linge, cintres, accessoires de bureau, bobines, règles, boîtes de cassette vidéo/cd
Polystyrène Expansé (PSE)	Mousseux, léger, absorbant l'énergie, isolant thermique	Gobelets pour boissons chaudes, plats à emporter et récipients de nourritures, plateaux pour charcuteries, emballage	

II-5.7.3.1. l'origine des déchets plastique :

Les déchets plastiques ont de différentes origines :

- Les déchets de l'industrie du plastique (ils sont généralement issus de production et de transformation).
- Les plastiques contenus dans les ordures ménagères (bouteilles, gobelets, films).
- Les déchets de démolition des bâtiments.
- Les emballages industriels et commerciaux.
- Les résidus de broyage automobiles.
- Les plastiques agricoles (film, paillages..).
- Les plastiques issus des déchets d'équipements électriques et électroniques. [62]

II.6. Gestion des déchets

La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon qu'on se trouve dans un pays développé ou en voie de développement.

La gestion des déchets non toxiques pour les particuliers ou les institutions dans les agglomérations est habituellement sous la responsabilité des autorités locales, alors que la gestion des déchets des commerçants et industriels est sous leur propre responsabilité. [63]

II.6.1. Collecte des déchets

La collecte est l'opération qui consiste à enlever les déchets présentés dans des récipients à cet effet pour les acheminer vers un lieu d'élimination.

La collecte traditionnelle des déchets ménagers est le système de gestion le plus fréquent dans les P.E.D. Quotidienne dans certains quartiers, elle change en fonction des dispositions mises en place par les services techniques des villes, du niveau d'organisation et de l'état des infrastructures routières. [64]



Figure. II.13 : Collecte des déchets

II.6.2. Transport :

C'est est un maillon important du processus d'élimination des déchets industriels ; cette spécialisation est donc confiée à des sociétés spécialisées qui mettent en oeuvre des précautions spéciales.

Le transport des déchets est soumis à des règles très strictes (autorisation, album national des entreprises, papiers d'accompagnement, etc. [65]



Figure. II.14 : Transports de déchets

II.6.3. Triage :

Opération visant à séparer des déchets mélangés en différentes catégories (cartons, plastiques, palettes en bois...) en vue d'en faciliter l'élimination dans des processus spécifiques à chaque catégorie. Le non-mélange évite le tri.

Le triage consiste à séparer les différentes matières qui sont susceptibles d'être récupérées ou à démonter les produits complexes comme les ordinateurs. Si le triage est effectué à la source, ceci réduit la complexité et le coût de cette activité.[66]



Figure. II.15 : Centre de tri des déchets de la ville nouvelle de Hassi Messaoud -Ouargla.[67]

II.6.4. Stockage :

Avant valorisation ou traitement, les déchets doivent être manipulés et stockés dans des conditions ne présentant pas de risques de pollution.

Dans la mesure du possible, il faut toujours stocker les conteneurs de déchets dans un endroit abrité. Pour le stockage de matériaux combustibles (papiers, cartons, plastique, pneus, bois, etc.) il est important d'intégrer la maîtrise du risque incendie. [68]



Figure. II.16 : Stockage de déchets ultime (non dangereux) [69]

II.6.5. Valorisation :

La valorisation est définie comme "L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances". Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traficabilité. Il s'agit donc de mesurer pour connaître et connaître pour agir. L'approche

globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir. [70]
La valorisation de la matière est un mode d exploitation des déchets qui vise à leur mise en valeur afin de les réintroduire dans le circuit économique. Elle couvre le réemploi, la réutilisation, la régénération et le recyclage de la matière. [71]



Figure. II.17 : valorisation des déchets

II.6.6. Recyclage :

Le recyclage d'un déchet consiste à réutiliser là ou différentes matières qui entrent dans sa composition ce qui permet d'économiser des matières premières et de l'énergie .

Ce mode de traitement concerne surtout le verre, le papier-carton, les emballages et les métaux : ces déchets font l'objet d'une collecte séparée déjà bien établie depuis longtemps et suivie d'un traitement spécifique de valorisation sous forme de recyclage : il s'agit d'une récupération de matière première, sans véritable transformation .[49]

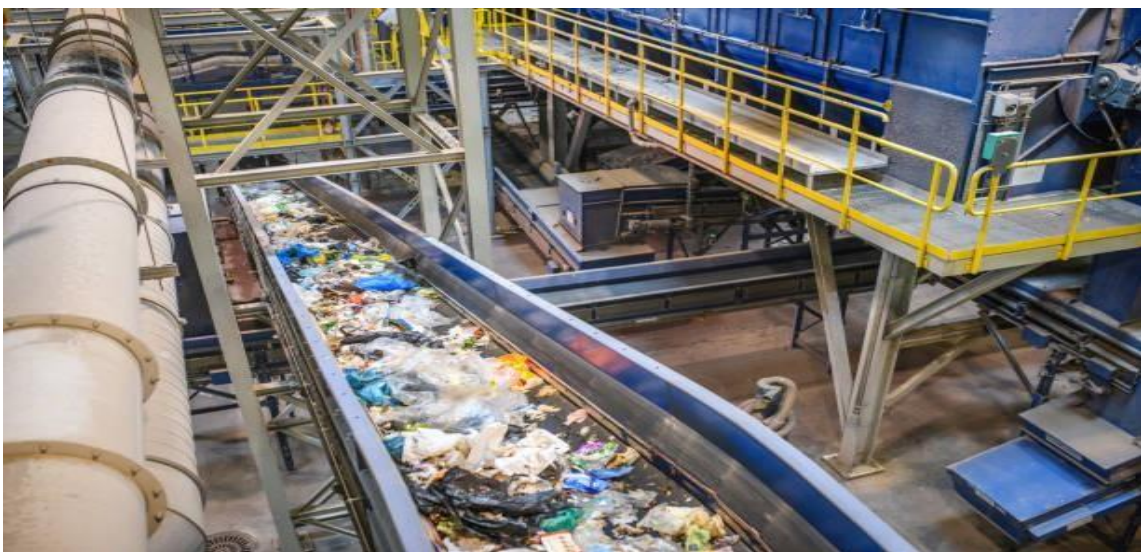


Figure II.18 : Usine de recyclage des déchets. .[72]

II- 7. Les Déchets Utilisés Dans Le Bétons Polymère

L'intégration des déchets dans la production de béton polymère est une approche innovante qui vise à améliorer les performances des matériaux de construction tout en réduisant leur impact environnemental. Cette méthode permet de valoriser divers types de déchets industriels et post-consommation, transformant des problèmes de gestion des déchets en opportunités durables.

Parmi les déchets les plus couramment utilisés dans la production du béton polymère, on retrouve les déchets de pneus, et les déchets de plastique, les déchets de construction et de démolition, les déchets des verres, les déchets des cendres volantes les déchets métalliques, et les déchets Sciures de Bois et quelques déchets organiques et industriel.

Ces matériaux peuvent présenter des propriétés intéressantes pour le béton polymère, telles que la résistance, la légèreté, l'isolation thermique ou phonique.

Le recyclage des déchets dans le béton polymère devient une pratique courante dans le secteur de la construction, répondant aux défis environnementaux actuels.

II 7.1 Déchets plastique

On entend par déchet plastique, les résidus de processus de production, de transformation et de consommation, ou encore les produits plastiques destinés à l'abandon.

- Les déchets plastiques industriels : il s'agit de l'ensemble des déchets issus des processus de production résines (essentiellement trouvés dans les sites pétrochimiques) et de transformation des résines en objets fins (principalement trouvé dans la filière de la plasturgie).
- Les déchets de production : ils proviennent des arrêts de réacteur de polymérisations, des purges de réacteurs et des lots déclassés. ils sont homogènes et présentent la particularité d'avoir un degré de pollution faible, voire inexistant. On y retrouve, en très grand majorité, les polymères de grande diffusion (PE, PS,PVC).
- Les déchets de transformation : ils proviennent de toutes les opérations de plasturgie permettant l'obtention de produits finis (extrusion, injection, soufflage,calandrage,...).

On y retrouve, précisément, les carottes, lisières et bordures de ces opération de thermoformage, les pièces présentant des défauts, ou encore, les chutes de démarrage et d'arrêt de machine. [73]

Il existe plusieurs études et recherches qui ont parlé de l'utilisation de divers types de déchets plastiques dans le béton polymère, compris l'étude de (noureddine, latroch 2018) sur l'utilisation des déchets plastiques. PVC (EPVC) dans le (BP) L'agrégat de PVC expansé (EPVC)

Notamment le polyéthylène téréphtalate (PET) recyclé, issu des emballages a été utilisé comme liant pour la production d'un matériau composite à hautes performances : le béton de polymère. Le plastique est transformé en présence de glycols, en résine polyester insaturée qui est ensuite

mélangée avec du sable et des gravillons. Le béton de polymère obtenu est très résistant en compression et en flexion par rapport au béton de ciment Portland conventionnel [74].

Il présente aussi l'avantage d'atteindre 80% de ses résistances mécaniques dès les premiers jours de prise .[75]

Les plastiques que nous avons utilisés pour notre étude sont essentiellement constitués de (PP) car ils ont une grande utilisation donc plus rejetée dans la nature. Les plastiques sont tris et lavés puis broyés afin de faciliter l'homogénéité du mélange sable plastique.

Les déchets de polypropylène (PP) sont utilisés de manière innovante dans la fabrication de béton polymère. L'intégration de ces polymères recyclés dans le béton et le mortier permet d'améliorer plusieurs propriétés du matériau. Par exemple, les fibres de polypropylène, souvent obtenues par extrusion, peuvent renforcer la cohésion du béton frais, réduire la fissuration et augmenter la ductilité après durcissement.

L'ajout de ces déchets réduit également le ressuage et la ségrégation dans le béton, tout en améliorant la résistance aux chocs et à l'abrasion. En remplaçant partiellement ou totalement les granulats traditionnels par des granulats de polymères légers, on peut produire un béton allégé, ce qui contribue à la réduction des déchets solides et de la pollution environnementale. [76]



Figure. II.19 : déchets de plastique (polypropylène).

II.7.2. Déchets des bois (sciures)

Le bois manufacturé représente la plus grande partie du bois que nous utilisons et qui se termine toujours en déchet. Il n'est pas réutilisable principalement en raison des produits de protection, de conservation ou d'habillage (peinture et vernis...) qui sont utilisés pendant toute sa vie. Ses seules réutilisations, de façon marginale, sont les panneaux de particules que l'on obtient aussi avec de la colle et des produits injectés.

Le bois en fin de vie devrait être traité pour destruction, en centrale spécifique comme le demande

certaines textes officiels, mais ce n'est qu'un rêve de le croire. Il est très souvent brûlé soit dans vos cheminées soit dans les centrales ou les produits nocifs sont soit éjectés dans l'atmosphère, soit stockés sans réutilisation en décharge (sauvage ...) et cela rarement pour le bien de notre santé. [77] Est une sciure de bois dont la finesse des particules est celle d'une fine poudre. Il ne s'agit pas d'un produit alimentaire. C'est un produit sans composants chimiques. Avec un processus de sélection délicate de sciure de bois, séparés des matériaux non valides, rejet des copeaux de bois et de débris du processus de sciage .



Figure. II.20 : déchets sciures de bois

Conclusion :

Le chapitre II de la thèse se concentre sur le recyclage des déchets, en commençant par une introduction générale au concept et une définition du recyclage. Il explore ensuite les différentes techniques de recyclage, en détaillant les procédés de recyclage ainsi que la chaîne de recyclage, qui comprend la collecte des déchets, leur transformation, et leur commercialisation et consommation. La section suivante définit ce qu'est un déchet et examine les différents types de déchets, tels que les déchets solides, industriels, dangereux, biodégradables, électroniques, de construction et de démolition, ainsi que les déchets plastiques. Une attention particulière est accordée à la gestion des déchets, englobant la collecte, le transport, le tri, le stockage et la valorisation. Enfin, le chapitre aborde l'utilisation des déchets dans le béton polymère, mettant en évidence l'incorporation des déchets plastiques et des sciures de bois pour améliorer les propriétés de ce matériau innovant.

Chapitre III:
Matériaux
Et Méthodes

III- Matériaux Et Méthodes

III -1. Introduction

Le processus de préparation du béton polymère implique le mélange de divers matériaux tels que le sable, les déchets plastiques et les déchets de bois pour obtenir un matériau à la fois solide et flexible. La composition et les propriétés du béton polymère peuvent varier en fonction de son utilisation finale, nécessitant des expérimentations pour déterminer les proportions adéquates de chaque composant.

Dans toute étude sur les matériaux, il est essentiel de présenter et de caractériser les matériaux et les équipements utilisés pour garantir la validité et la conformité du travail aux normes.

C'est dans cette optique que nous avons décrit, dans cette partie expérimentale, les étapes de préparation et de caractérisation des échantillons de béton polymère réalisés pour notre projet. Nous détaillerons les caractéristiques des matériaux utilisés, les dimensions des échantillons, ainsi que les méthodes expérimentales employées pour déterminer leurs propriétés physiques et mécaniques.

III -2. Matières premières

Le Matières premières utilisé dans cette étude : (Figure III -1)

- Déchets plastiques
- Sable fin (Erg Seyouf, Elkhobbana , M'sila)
- Déchets de marbre (Poudre).



Figure III -1 : (a) Déchets plastiques PP, (b) Sable fin, (c) Sciure de bois.

III.2.1. Liants polymériques

Le polypropylène est un thermoplastique obtenu par polymérisation du propylène. Il donne aussi des copolymères avec l'éthylène. C'est la deuxième matière la plus utilisée après les polyéthylènes. Il possède une grande résistance mécanique, une bonne inertie chimique et facilement recyclable. [78]

Le processus le plus utilisé dans la fabrication des polypropylènes est celui inventer par les chimistes ziegler et natta au début des années 50, plusieurs techniques et méthodes sont apporter sur le système, ce qui a permis une obtention du prix Nobel de la chimie en1963. [79]

La source des déchets plastiques utilisés dans cette recherche provient de la zone industrielle de M'Sila.

III..2.1.1. Broyage de déchets plastiques (PP)

Afin d'obtenir un mélange homogène en intégrant les déchets plastiques, il est nécessaire de découper le plastique en petits morceaux. Ces fragments de plastique, une fois réduits en petites tailles, se fondent facilement et se mélangent rapidement avec le sable et les copeaux de bois. Ce processus permet de produire une matière parfaitement homogène et d'obtenir des résultats efficaces. Les petits morceaux de plastique se distribuent de manière uniforme dans le mélange. (Figure III.-2).



Figure III - 2 : Plastique Broyer

III..2.1.2. Nettoyage et séchage de déchets plastiques (PP)

Le nettoyage et le séchage des déchets plastiques (PP) sont des étapes essentielles avant de les intégrer avec un mélange de sable et de sciures de bois. Le processus commence par le broyage du plastique en petits morceaux. Ensuite, ces fragments passent par une phase de lavage visant à éliminer les impuretés telles que la boue et les saletés. Le lavage se fait généralement avec de l'eau chaude ou à température ambiante, et parfois avec l'ajout de soude ou de détergents pour améliorer l'efficacité du nettoyage. Les fragments sont lavés dans un bac de flottaison ou un bac de décantation, où des pales remuent l'eau pour maintenir les fragments immergés et faire descendre les impuretés au fond du bac.

Après le lavage, les morceaux de plastique passent à l'étape de séchage. Cela peut être réalisé en exposant les fragments au soleil jusqu'à ce qu'ils soient complètement secs, réduisant ainsi la teneur en eau des

fragments à moins de 5%. Ce séchage permet également d'éliminer les résidus de saleté qui n'ont pas été enlevés pendant le lavage. Grâce à ces étapes de nettoyage et de séchage, les déchets plastiques (PP) deviennent prêts pour les étapes suivantes de leur intégration dans le mélange. (Figure III -3. b).



Figure III - 3 : Procédure de nettoyage et séchage de déchets plastique (a) Nettoyage (b) séchage

III.2.2. Sable

Le sable des dunes est le résultat d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz. Il est caractérisé par une granulométrie fine et très serrée. [80]

Le sable de dune s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente. Il constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir.[81]

Le sable utilisé dans cette recherche expérimentale est le sable de dune provenant de la sablière d'Erg Siouf, dans la région de Khoubana à M'Sila, contenant plus de 90% de silice. (Figure III - 4)



Figure III -4: la sablière d'erg siouf de Khoubana

III.2.2.1. Lavage du sable :

Nous plaçons du sable fin dans le bac ou le seau, puis nous y ajoutons de l'eau jusqu'à ce que le sable soit couvert. Ensuite, nous agitons le mélange pour séparer les impuretés du sable, laissant le mélange reposer pendant quelques minutes avant de retirer la couche supérieure (la plus sale) de l'eau. Nous répétons ces étapes plusieurs fois jusqu'à ce que l'eau soit claire.

III.2.2.2. Séchage du sable :

Après avoir terminé de laver le sable fin, nous le répandons sur un plateau ou une pièce de tissu en une fine couche, puis nous le laissons sécher à l'air libre où nous utilisons un séchoir à basse température.



Figure III - 5 : Lavage et Séchage du sable

III.2.2.3. Test d'analyse granulométrique de sable :

Étant donné que le sable fin provient de la même région sur laquelle plusieurs études ont été menées et plusieurs mémoires de fin d'études ont été rédigés, nous avons pris en compte les résultats de l'analyse granulométrique du sable à partir d'un mémoire. [82].

L'analyse granulométrique est l'opération qui consiste à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon. On dénomme les granulats, fines, sables, gravillons ou cailloux. On procède ainsi au classement des grains sur une série de tamis emboîtés les uns dans les autres (Figure III - 6).

Les dimensions des mailles des tamis sont décroissantes du haut vers le bas. Le granulat est placé sur le tamis le plus haut et

par vibrations, on répartit les grains sur les différents tamis selon leur grosseur. Les matériaux analysés peuvent être du sable ou du gravier (Figure III - 6).

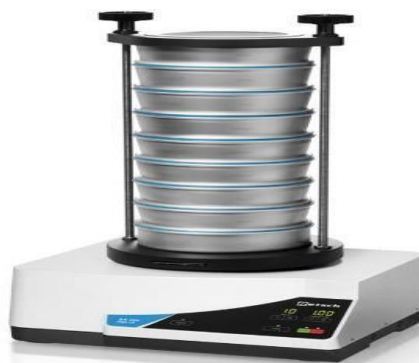


Figure III -6 : Tamiseuse électrique

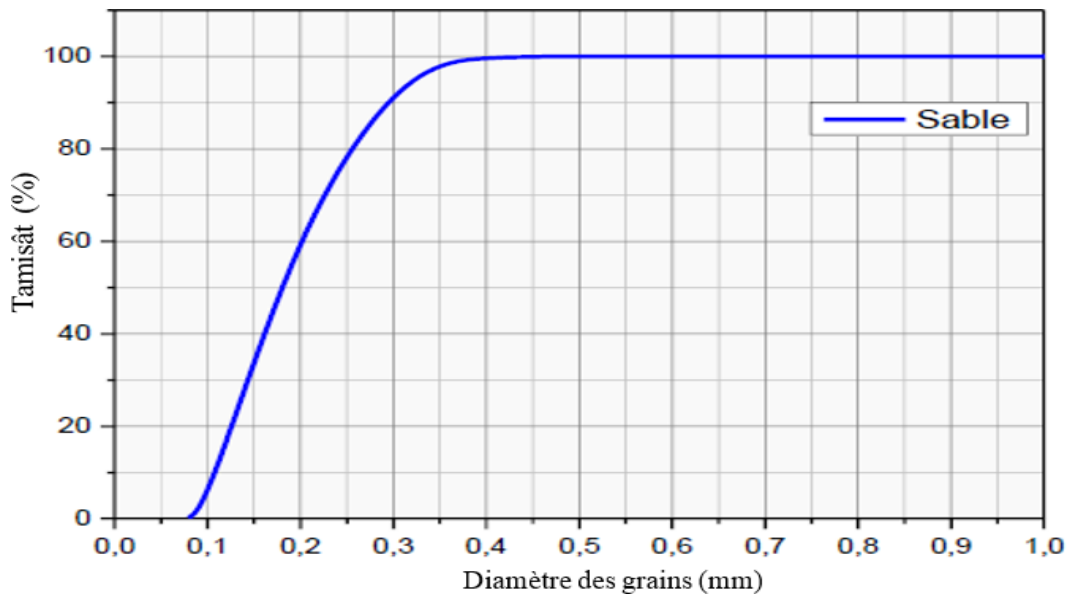


Figure III -7: Courbe d'analyse granulométrique de sable utilisée. [82].

A partir de ces courbes, (Figure III -7) on remarque que la granulométrie du sable varie de 0,08 à 0,4mm

III.2.3. Sciures de bois

On a utilisé un seul type de sciure de bois, provenant des déchets de bois rouge d'un menuisier de la ville de M'Sila. Cette sciure a été ajoutée au mélange de polypropylène et de sable, avec des dimensions comprises entre 5 mm et 10 mm. (Figure III .8)

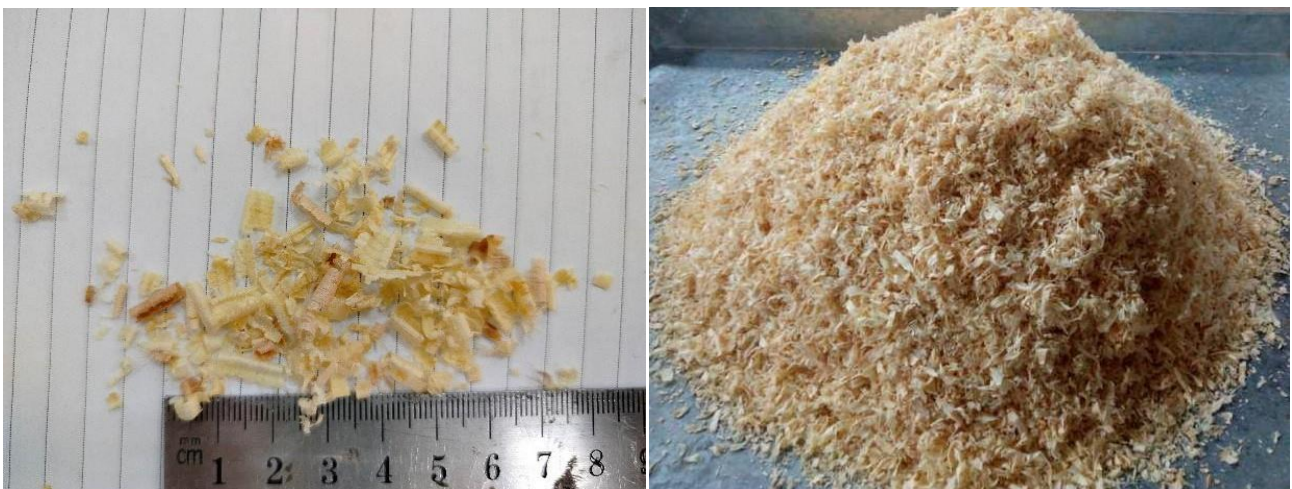


Figure III -08 : Photo du copeau (sciure) de bois utilisé.

III-3. Technique D'élaboration

On place le sable dans le four à une température de 210°C pendant une heure, puis il est mélangé avec des copeaux de déchets plastiques et de la sciure de bois dans une trémie et inséré dans une extrudeuse. Le mélange descend par gravité dans un fourreau. La matière est plastifiée grâce à l'action simultanée de la rotation de la vis sans fin et du système de colliers chauffants. Ainsi, le mélange de déchets plastiques, de sable et de sciure de bois est chauffé et malaxé jusqu'à obtenir une consistance

homogène et moulable.

La rotation de la vis pousse la matière à travers la tête d'extrusion de la machine. Ensuite, des outils d'extrusion spécifiques donnent à la matière sa forme finale. Après cette étape, le mélange est placé dans un moule, puis compressé thermiquement à une température de 180°C.

Lorsqu'on abaisse le levier de commande, la plaque inférieure se rapproche de la plaque supérieure grâce à la montée du piston. Cette combinaison des plaques comprime les matériaux présents dans le moule. Le refroidissement se fait sous la même pression jusqu'à 90°C. Les échantillons sont ensuite refroidis à l'air libre.

Les méthodologies sont résumées selon les diagrammes suivants (Figure III .9).

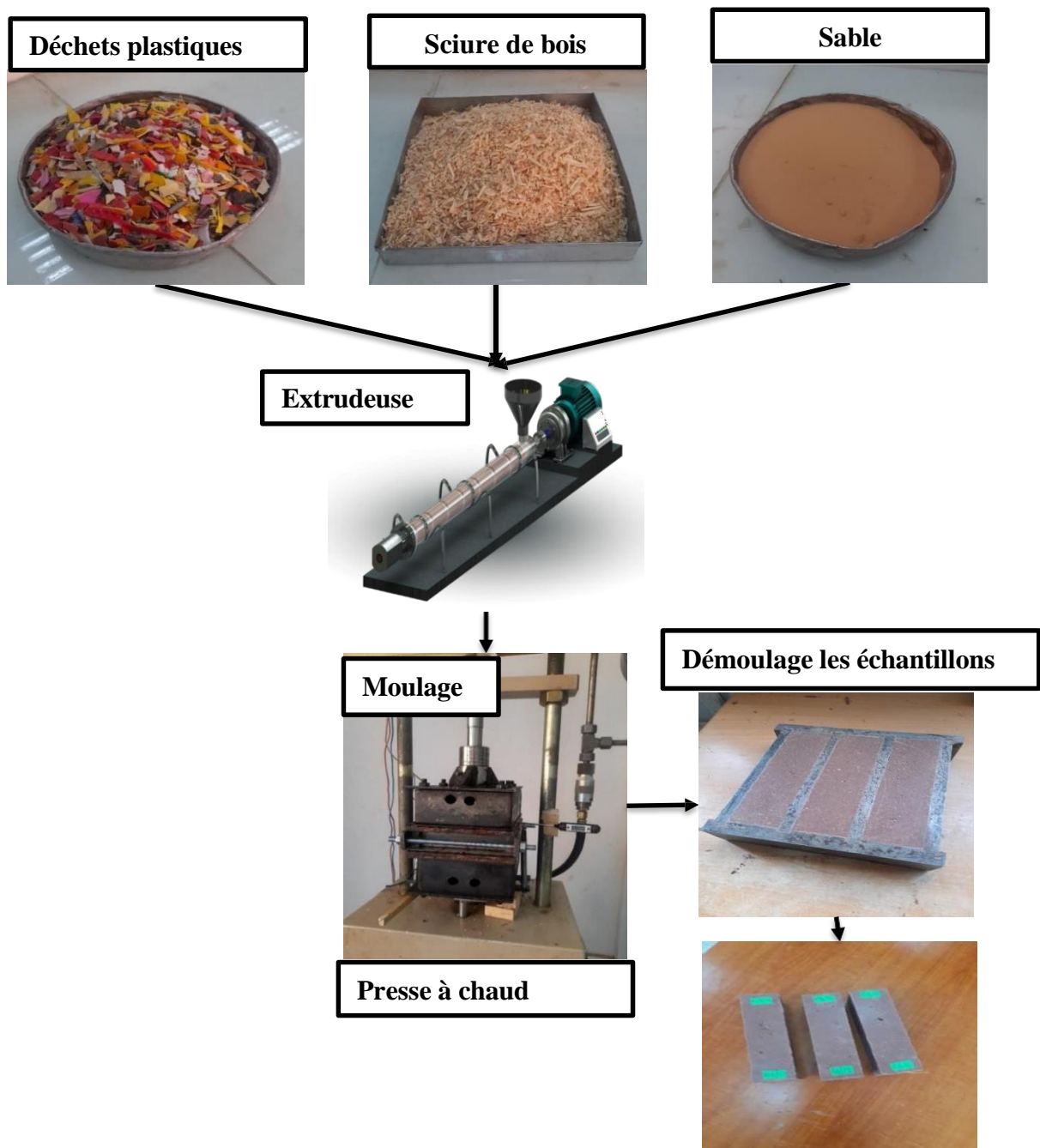


Figure III -09 : Schémas D'élaboration Bétons Polymère

III-3.1. Choix des éprouvettes

Nous avons préparé trois échantillons pour chaque pourcentage de chaque groupe (5%), (10%), (15%) où la quantité de sciure de bois, de plastique et de sable varie selon chaque pourcentage comme indiqué dans le (tableau III - 1) et la (Figure III - 10)

Tableau III - 1: Formulation de chaque composante des éprouvettes

Echantillant	Sable dune %	Plastique %	Sciures de bois %
Ech 01	71.25 %	23.75%	05 %
Ech 02	67.50 %	22.50 %	10 %
Ech 03	64.50 %	21.50 %	15 %

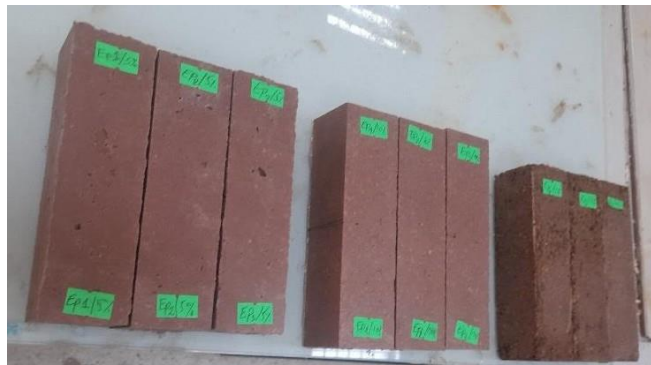


Figure III -10 : Les Eprouvettes de bétons polymères 5% - 10% - 15%

III.4. Caractérisation des échantillons

III-4.1. Essai de flexion trois points (FTP)

L'essai de flexion est une méthode de test utilisée pour évaluer la résistance et la flexibilité des matériaux. Il est couramment utilisé dans l'industrie pour tester les propriétés mécaniques des matériaux. Lors de l'essai de flexion, un échantillon est placé sur deux supports, généralement à une distance fixe l'un de l'autre. Une charge est appliquée au centre de l'échantillon, soit par une force appliquée directement, soit par une charge distribuée uniformément sur toute la longueur de l'échantillon. L'échantillon est ensuite plié jusqu'à ce qu'il se fracture ou qu'il atteigne une déformation maximale.

Le comportement de l'échantillon pendant l'essai de flexion est utilisé pour déterminer les propriétés mécaniques telles que le module de flexion, la limite élastique, la limite de rupture et la ductilité. Ces propriétés peuvent être utilisées pour évaluer la qualité et la durabilité des matériaux, ainsi que pour aider à la conception de produits. [83] [84] [85].

L'essai de flexion peut être effectué selon différentes normes et méthodes, selon le matériau testé et l'application prévue. Les résultats de l'essai peuvent varier en fonction des conditions de test, telles que la vitesse de déformation et la température, et doivent donc être interprétés avec soin [85].

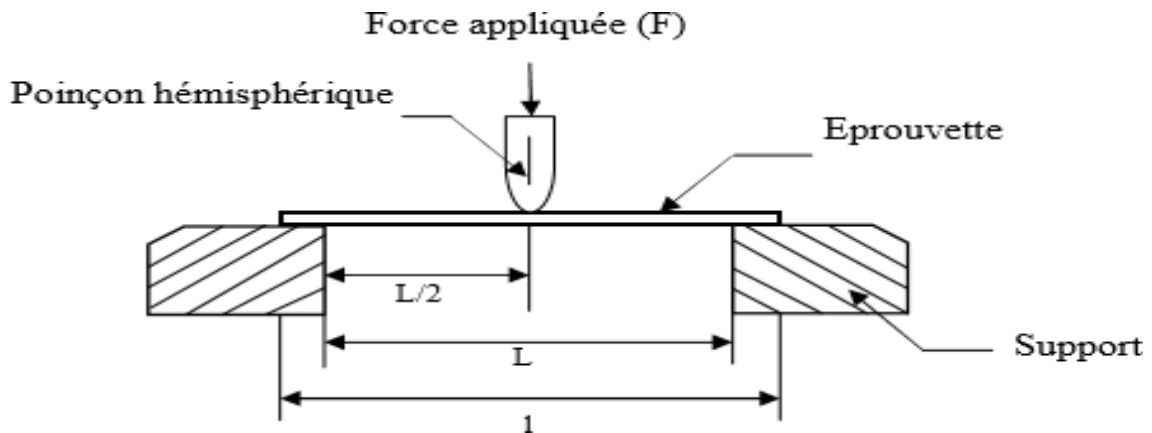


Figure III -11 : Schématisation de dispositif de flexion à 3 points pour les éprouvettes

L'essai est effectué conformément à la norme (D790-10) en utilisant la machine d'essai universelle (Modèle TEST 10 kN maximum), équipée d'un système de flexion, dans les laboratoires de la Faculté de Technologie à l'Université Mohamed Boudiaf de M'sila (Figure III.12).

Les éprouvettes lisses de dimensions ($40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$) sont testées en appliquant la charge à mi-distance entre les supports. La distance entre les supports est de 120 mm. Le matériau est chargé à une vitesse constante de 4 mm/min pour le béton polymère (Figure III.12). L'objectif du test FTP est de déterminer la charge maximale et d'étudier le comportement mécanique jusqu'à la rupture du matériau.

Sur la Figure III -12, nous observons la réalisation de l'essai de flexion trois points sur les éprouvettes de béton polymère développées lors de notre thèse.



Figure III -12 : L'essai de résistance à la flexion

IV- 4.1.1. Paramètres d'étude :

Dans cet essai nous avons étudié la contrainte à la flexion et le module de flexion en utilisant les deux relations suivantes :

➤ La contrainte :

$$\sigma_f = \frac{3.P.L}{2.b.h^2} \dots\dots\dots (01)$$

Avec :

- P : la charge appliquée sur l'éprouvette en (N)
- L : la distance entre les appuis en (mm).
- b : largeur de l'éprouvette en (mm).
- h : l'épaisseur de l'éprouvette en (mm).

III-4.2. Essai de compression :

L'essai de compression est une méthode pour évaluer la résistance des matériaux à une charge appliquée en compression. Cette méthode est utilisée pour mesurer la résistance à la compression de l'échantillon et pour déterminer les propriétés mécaniques du matériau, y compris la résistance et la rigidité. Les échantillons de matériaux composites sont généralement cylindriques ou rectangulaires et sont soumis à une force axiale qui est appliquée uniformément sur la surface de l'échantillon. La résistance à la compression est calculée en divisant la force maximale appliquée par la section transversale de l'échantillon.

Pour cette raison, il est indispensable d'exposer le béton polymère que nous avons développé à un test de compression uniaxiale.

Les tests de compression sont réalisés sur chaque morceau des échantillons obtenus après leur rupture lors de l'essai de flexion trois points, à une vitesse de chargement constante de 0.4 mm/min sur une machine de type CONTROLS ayant une capacité maximale de 3000 kN.

Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant 24 heures avant l'âge d'essai. Cette machine est équipée d'un dispositif de compression tel qu'illustré dans la figure (III.13).

La résistance à la compression définie par la relation (02) :

$$RC = \frac{F}{S} \dots\dots\dots (02)$$

Avec :

- RC : La résistance à la compression.
- F : la force maximale en (N).
- S : la section de l'éprouvette en (mm²).



Figure III -13 : L'essai de résistance à la compression

III.5. Essais physiques

III -5.1. Essai d'absorption d'eau

L'absorption d'eau indique la teneur en humidité du matériau. La pénétration de l'eau dans un matériau se fait par absorption. Cette absorption est responsable de nombreux dommages.

Il existe plusieurs types d'essai d'absorption.

Le test identifie l'adéquation du composite thermoplastique à son application dans différentes conditions ambiantes (qu'elles soient humides ou sèches). Il est donné par la différence entre le poids humide et sec par rapport au poids sec multiplié par 100 pour l'exprimer en pourcentage. L'échantillon a été conservé dans une étuve pendant 24 h à 110 °C et laissé refroidir (figure III-14(a)).

Après refroidissement, l'échantillon est pesé à l'aide de la balance, cela donne le poids sec de l'échantillon. L'échantillon est ensuite immergé dans de l'eau douce pendant 24 h pour éviter la formation de bulles (figure III-14 (b)).

L'échantillon a été sorti et a été nettoyé avec un chiffon puis repesé ; cela donne le poids humide de l'échantillon. L'absorption d'eau (A%) est calculée comme dans l'équation (3) selon ASTM D570 (Standard Specification)

$$A(\%) = \frac{m_{humide} - m_{sèche}}{m_{sèche}} \times 100 \dots\dots\dots (03)$$

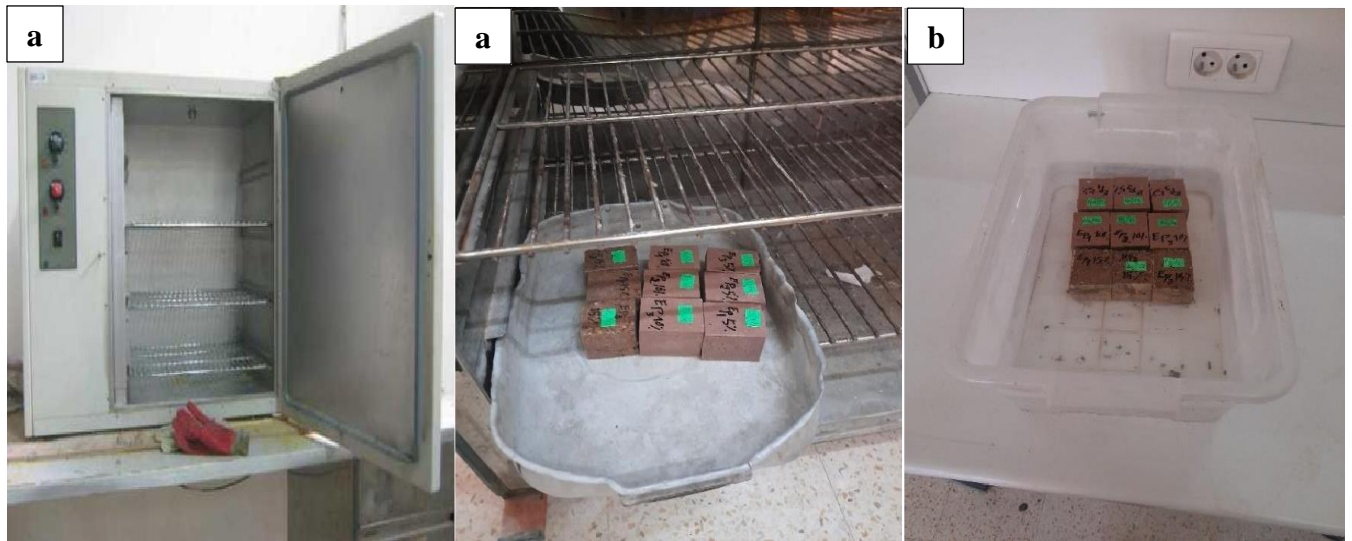


Figure III -14: (a) séchage L'échantillon dans une étuve (b) les échantillons immergés dans de l'eau

Conclusion :

Le troisième chapitre de la thèse, intitulé "Matériaux et Méthodes", présente les différentes matières premières et les méthodes utilisées pour élaborer le béton polymère. Après une introduction générale, le texte décrit les liants polymériques, incluant le broyage, le nettoyage et le séchage des déchets plastiques (PP). Le sable, un autre composant essentiel, est préparé par lavage, séchage et tests granulométriques. Les sciures de bois sont également incluses comme matière première. La technique d'élaboration du béton polymère est ensuite détaillée, suivie du choix des éprouvettes pour les essais. La caractérisation des échantillons est effectuée à travers des essais mécaniques, tels que l'essai de flexion trois points (FTP) et l'essai de compression, avec une description des paramètres d'étude pour chaque essai. Des tests physiques, comme l'essai d'absorption d'eau, complètent cette caractérisation pour évaluer les propriétés du béton polymère élaboré.

Chapitre IV:

Résultats et Discussion

IV- Résultats et Discussions

IV- 1. Introduction

Le chapitre des résultats et des discussions est l'une des parties les plus importantes d'un notre étude. C'est dans cette section que les résultats de toutes les analyses et expériences sont présentés et discutés. Nous montrerons des graphiques, des tableaux et des diagrammes. À travers les résultats des analyses menées sur les matières premières qui a utilisé.

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats de nos études sur le comportement mécanique des bétons polymères, ainsi que les discussions pertinentes qui en découlent. Nous montrerons les résultats des tests tels que des essais de compression, de flexion pour évaluer les propriétés mécaniques des bétons polymères. Nous afficherons également les résultats l'essai d'absorption d'eau.

IV- 2. Résultats essai mécanique

Les caractéristiques mécaniques des différentes formulations ont été évaluées afin d'obtenir la formulation maximum de performance mécanique. Et la comparaison entre les différents pourcentages de déchets de sciures de bois ajoutés, 05%, 10%, 15%

IV- 2. 1. Résultats Essais de flexion trois points

Les essais mécaniques de flexion 3-points ont été réalisés sur des éprouvettes prismatiques 40x40x160 (mm)³ selon la (figure IV-20) avec une vitesse de chargement de 0,4 mm/min.

Les essais ont été effectués à température ambiante sur des éprouvettes âgées d'au moins 10 jours

IV -2.1.1. Analyse des courbes contrainte- déformation

Dans l'ensemble des courbes, l'évolution de la contrainte se déroule en deux phases. Dans la première phase, la contrainte augmente linéairement avec la déformation jusqu'à la charge maximale, dans la deuxième phase une diminution de la contrainte est observée. Elle se termine par la rupture de l'éprouvette. De plus, une reproductibilité des résultats est observée sur l'ensemble des Bétons Polymères testés dans les différents cas comme le montre la figure d'évolutions (σ - ϵ) (Figure IV - 1).

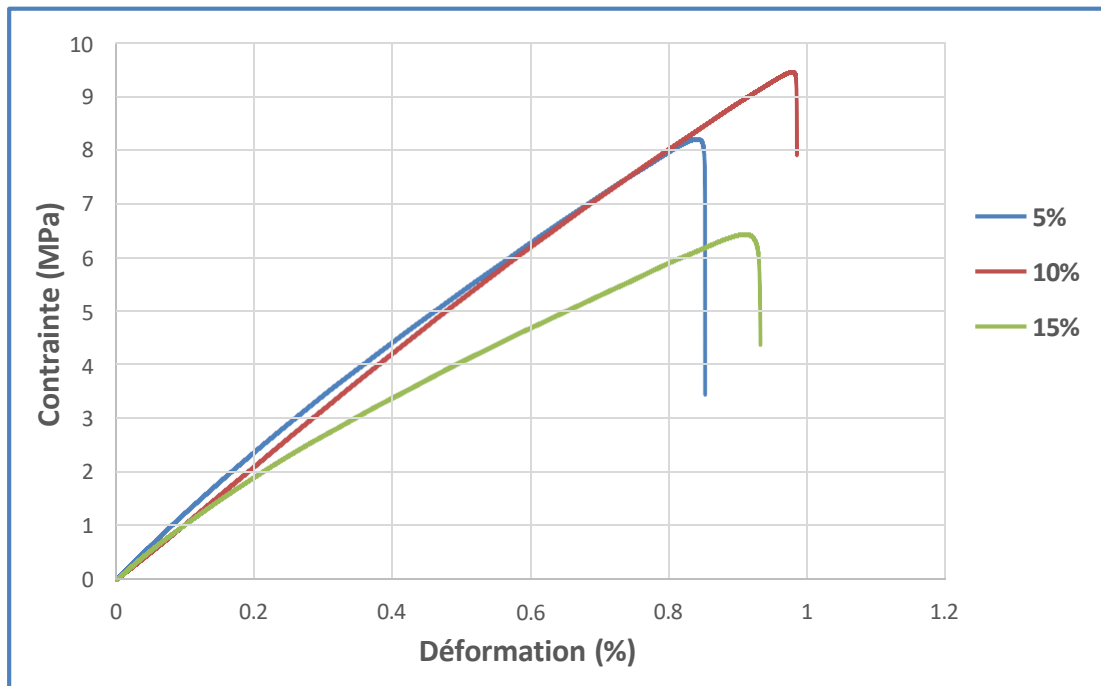


Figure IV - 1 : les courbes contraintes-Déformations 05%, 10% ,15%

Après avoir choisi le meilleur résultat parmi chacun des ratios 5 %, 10 % et 15 % indiqués dans la (Figure IV-2 a)) pour les contraintes, nous choisirons le meilleur ratio pour chaque catégorie

- Le Meilleur résultat de la contrainte pour l'échantillons **5%** la valeur de contrainte **8,206 (MPa) ± 0,842** la déformation de cette contrainte **0,851 % ± 0,068**.
- Le bon résultat pour la catégorie **10%** la valeur de contrainte **9,456 (MPa) ± 0,567** la déformation de cette contrainte **0,984 % ± 0,056**.
- Meilleur résultat pour la catégorie **15%** la valeur de contrainte **06,432 (MPa) ± 0,868**
La déformation de cette contrainte **0,931 % ± 0,071**.

D'après Benmessahel Mahfoud et mf et kf. [77]. On étudie l'effet des déchets minéraux sur le comportement des bétons polymères. Les auteurs ont trouvé que le meilleur résultat est obtenu pour les échantillons de mortier résineux (MR) avec une teneur de **25%**. La valeur de la contrainte est de **11,486 MPa ± 0,189** et la déformation correspondante est de **0,607 % ± 0,035**.

Les sciures de bois dans le béton polymère peuvent avoir des effets négatifs sur sa résistance et sa durabilité. En effet, les pores peuvent participer à la formation de fissures et de déformations sous stress, réduisant ainsi la résistance et la stabilité du béton.

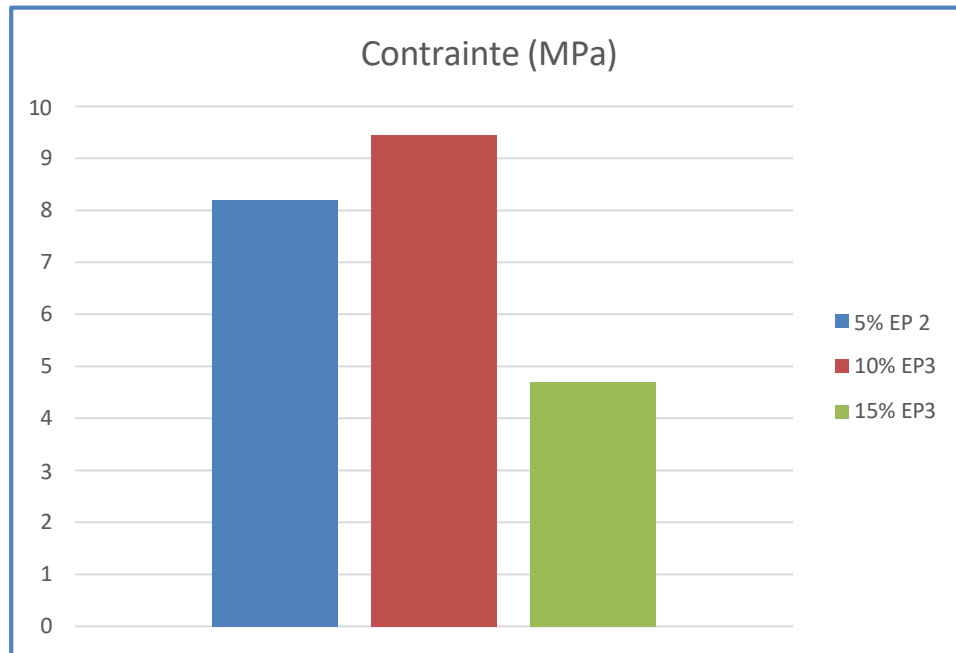


Figure IV - 2 : Graphique contrainte (MPa)

IV- 2.2. Résultats Essais de compression

Après l'étude de la variation de la résistance à la compression des échantillons avec différents taux de sciure de bois (5%, 10%, et 15%), nous avons

L'échantillon 5% présente une contrainte de compression de **24,77 (MPa) \pm 0,735** ce qui est la valeur la plus élevée observée parmi les échantillons analysés Il est proche du L'échantillon 10% qui présente une contrainte de compression de **24,25 (MPa) \pm 0.375**,

L'échantillon 15% présente la plus faible résistance à la compression parmi les échantillons analysés, avec une contrainte de **20,54)MPa) \pm 2.695** suggérant une variabilité significative dans les résultats.

L'ajout de sciure de bois à **5%** et **10%** maintient une bonne résistance à la compression, bien que **5%** semble être optimal en termes de combinaison de résistance et de stabilité. L'échantillon à **15%** montre une diminution significative de la résistance, suggérant que cette proportion est trop élevée et nuit aux propriétés mécaniques du béton polymère. En conclusion, il est recommandé d'utiliser une proportion de **5%** pour obtenir les meilleures performances en termes de résistance et de stabilité dans le béton polymère.

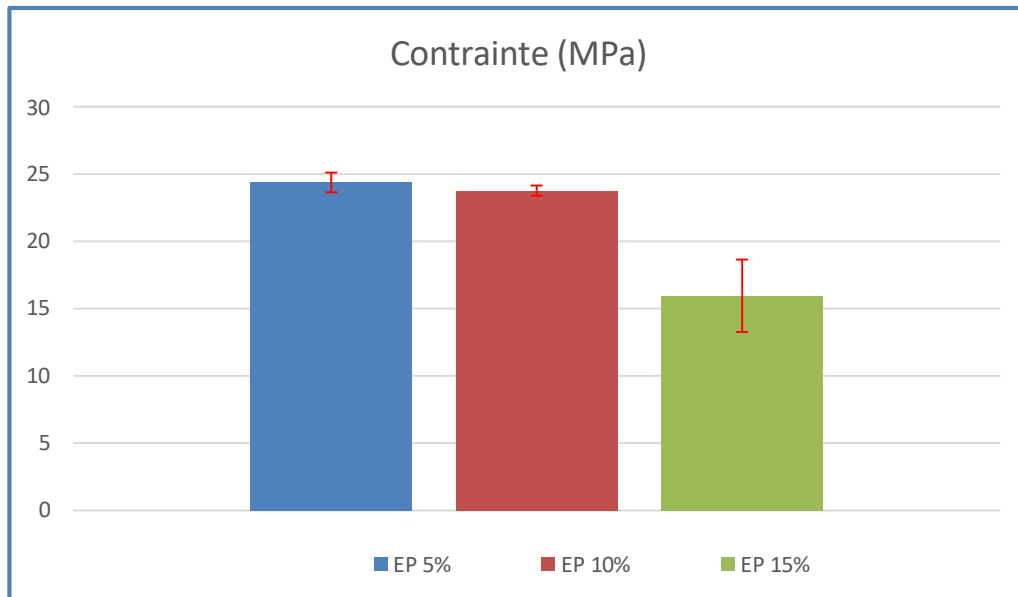


Figure IV - 3 : Graphique Force -contrainte (contrainte (MPa))

IV- 3. Résultats d'absorption D'eau

Selon le pourcentage d'absorption obtenu dans le Graphique (figure IV - 3), Les résultats obtenus se situent dans une fourchette allant de **1,51 %** à **5,38 %**, ce qui témoigne d'une variation significative en fonction des différents échantillons. Cette tendance indique clairement que l'incorporation de sciure de bois joue un rôle déterminant dans l'augmentation du taux d'absorption d'eau du béton polymère.

Le pourcentage pour l'échantillons **05%** était de **1,51%** avec une marge d'erreur de $\pm 0,005$ suivi par l'échantillons **10%** avec un pourcentage de **2,52%** et une marge d'erreur de $\pm 0,02$, et enfin la Le pourcentage le plus élevé l'échantillons **15%** avec **5,38%**. et une marge d'erreur de $\pm 0,86$,

En conclusion, ces résultats indiquent une relation directe entre le pourcentage de sciure ajouté et la capacité du béton polymère à absorber l'eau, où une augmentation du pourcentage de sciure entraîne une augmentation de l'absorption d'eau, et vice versa.

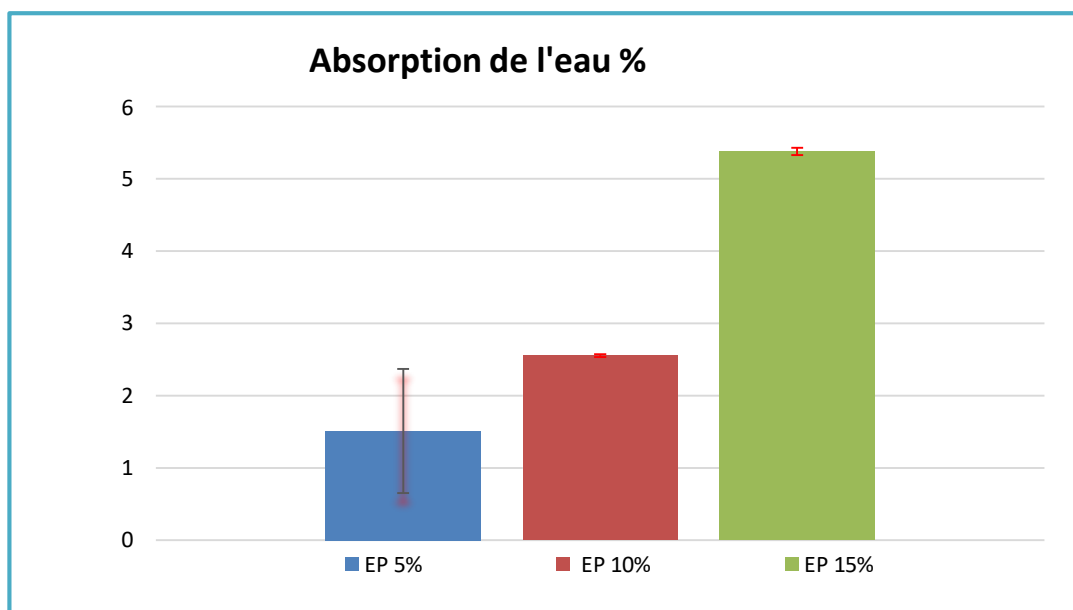


Figure IV - 3 : Graphique Résultats d'absorption d'eau

D'après Benmessahel Mahfoud et mf et kf. [88]. On étudie l'effet des déchets minéraux sur le comportement des bétons polymères. Les auteurs ont trouvé que le Tous les résultats ont été confiné entre de **0.207% et 0.632 %**. À l'exception du résultat de l'échantillon **Chamotte de brique (BB) de 20 %**, le taux d'absorption était de **1,1924 %** avec champ d'erreur **+0,00469**

L'effet de la sciure de bois sur l'absorption de l'eau dans le béton polymère dépend de plusieurs facteurs, notamment : le pourcentage d'ajout, l'homogénéité de la distribution, le traitement préalable de la sciure de bois, et la nature de son interaction avec les autres composants du béton. Des expériences pratiques et des tests de performance sont nécessaires pour déterminer les effets précis et développer des solutions pour améliorer les propriétés du béton polymère avec de la sciure de bois.

Conclusion

Le chapitre IV présente et discute les résultats des essais mécaniques et d'absorption d'eau effectués sur le matériau étudié. La section IV.2 détaille les résultats des essais de flexion à trois points, incluant l'analyse des courbes contrainte-déformation, qui montrent la résistance et la ductilité du matériau. La section IV.2.2 se concentre sur les résultats des essais de compression, révélant la capacité du matériau à supporter des charges compressives. Enfin, la section IV.3 examine les résultats des tests d'absorption d'eau, évaluant la porosité et la durabilité du matériau dans des conditions humides.

Conclusion générale

Nous avons caractérisé un matériau composé de sable de dune, de déchets plastiques recyclés et de sciure de bois via des tests de flexion, compression et absorption. Ces bétons polymères, optimisés par des additifs, offrent une alternative écologique et durable aux bétons traditionnels, réduisant déchets, empreinte carbone et consommation d'énergie. Voici les résultats :- Nous avons découvert que les échantillons 10%, 05 %, ont des valeurs idéales de résistance à la flexion, contrairement aux échantillons 15%, car ils ont montré des résultats estimés respectivement à **9,456 ± 0,567 MPa**; **8,206 (MPa) ± 0,842**.

- Les échantillons 5% et 10% ont montré une bonne résistance à la compression, estimée respectivement à **24,77 (MPa) ± 0,735** et **24,25 (MPa) ± 0.375**,
- Quant à l'expérience d'absorption d'eau, les échantillons de 05% cultivars ont donné la valeur d'absorption d'eau la plus faible estimée à **1,51 %**

L'ajout de sciure de bois améliore significativement les propriétés mécaniques du béton polymère, le rendant viable pour diverses applications de construction et favorisant la durabilité environnementale en réutilisant des matériaux naturels et plastiques. construction.

Perspective

Dans cette thèse, qui intègre de manière cohérente les aspects théoriques et pratiques des bétons polymères et du recyclage des déchets, les chapitres abordent successivement les bétons polymères, le recyclage des déchets, les matériaux et méthodes utilisés, et les résultats des essais, avec des discussions approfondies. Cette étude précise et bien documentée assure une compréhension complète du sujet.

Je prévois un développement significatif des bétons polymères grâce à leurs propriétés uniques et leurs avantages environnementaux. Avec la demande croissante pour des matériaux de construction durables, les bétons polymères deviendront de plus en plus populaires, améliorant leurs performances et élargissant leurs applications dans divers domaines, ce qui réduira l'empreinte carbone de l'industrie de la construction.

Les références bibliographiques

Les références bibliographiques :

1. Charte de l'Environnement Malgache- Grands textes, Foi el justice print. 1994.
2. Silue Betio, « Revalorisation des déchets solides plastiques à la zone industrielle de Yopougon : Description du processus et risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux usées industrielles », École Polytechnique Fédérale De Lausanne, 2005 – 2006
3. B .Selma et M.NAROU .Meriem Etude des propriétés du béton à base de polymère .2019
4. B. HAMZA.contribution a l'étude de l'endommagement en statique du beton polymère a fibres minérales et végétales : approche expérimentale et numérique ;2018/2019
5. Latelli H., (2017). Etude du comportement mécanique du béton polymère renforcé par des fibres végétales et déchets minéraux, Génie Civil, Université Mohamed Boudiaf - M'sila
6. Y. Ohama, Concrete-polymer composites-the past, present and future, 13 th ICPIC, Portugal, 2010, pp. 1-14. 22ème Congrès Français de Mécanique Lyon, 24 au 28 Août 2015
7. A. Blaga, JJ. Beaudoin, Polymer modified concrete, Canadian building digest, CBD-241. Institute for Research in Construction, 1985.
8. H. Abdel Fattah, M. El- Hawary, Flexural behavior of polymer concrete, Construction and buildingMaterials 13 (1999) 253-262
9. M. Haidar, E.Ghorbel, H.Toutanji, Optimization of the formulation of micropolymer concretes ,Constr Build Mater 25 (2011)1632-1644.
10. S. Chandra & Y. Ohama, Historical background of the use of natural polymers. Polymers in concrete, CRC press, Boca Raton USA 1994
11. Reported by ACI Committee 548 A. O. Kaeding & J. E. Maass, Polymer-Modified Concrete, ACI 548.3R-03, 2003.
12. <http://www.beton-imprime-technologie.info/mur-beton.html>.
13. Rachid Berbaoui, « identification et analyse de l'endommagement par fatigue des matériaux granulaire à base polymère », thèse de doctorat, université du Maine option génie mécanique, janvier 2010.
14. ACHOUR Z & AICHAOUI F, Etude de l'adhésion fibre/matrice dans un beton polymere , 2021/2022
15. BOUZINA, Y. and A. SAHRAOUI, TECHNIQUE D'ELABORATION ET DE CARACTERISATION DES PAVES DE RESINES THERMOPLASTIQUES. 2020, Univ M'sila.
16. Traore, B., Elaboration et caractérisation d'une structure composite (sable et déchets plastiques recyclés): Amélioration de la résistance par des charges en argiles. 2018, Université Bourgogne Franche-Comté; Université Félix Houphouët-Boigny ...
17. Alaa Eddine, B., Formulation et caractérisation d'un béton polymère renforcé par des fibres végétales et filler de brique. 2017, Faculté de technologie/Université Mohamed Boudiaf- Msila.
18. IDDER. A et LEBKIRI.S.E . Influence des additions minérales sur le comportement mécanique d'un micro-béton à base de résine polyester.2019
19. Bourguiba,Amel. Comportement Rhéologique, Ouvrabilité et Durabilité des Mortiers à Base de Résine Epoxyde. Tunis : université de Tunis El MANAR, 2016, vol 168. pp 23.
20. Ohama,Yoshihiko. Handbook of polymer-modified concrete and mortars: Properties and Process Technology (en ligne). New Jersey, U.S.A : Niho University, 2016, vol 236, pp1-15.
21. Mirouzi, Ghania. Contribution à l'étude de formulation, de caractérisation et d'endommagement des micro-bétons de résine polyester a renforts fibreux. Annaba: Université de Badji Mokhtar, 2017, vol 211. pp pp 19-34.
22. Elalaoui,oussama. Optimisation de la formulation et de la tenue aux d'un béton à base

- d'époxyde. Tunis : université de Tunis El MANAR, 2012, vol 194, pp28-424.
23. M. Fontanille and Y. Gnanou, Chimie et physico-chimie des polymères. Dunod, 2014
 24. S.mehdi : Etude d'un Matériau Composite à Base Polymère-Sable en Zone Aride2020
 25. SEGHIRI Mehdi: Etude d'un Matériau Composite à Base Polymère-Sable en Zone Aride2020
 26. Elaboré par : DPEI et ONEDD, « La lutte contre les plastiques », Rapport, Février 2021.
 27. Plastics Europe. Plastics – the Facts 2014/2015. Accédé 4 mars, 2017. Disponible document/20150227150049final_plastics_the_facts_2014_2015_260215.pdf Meikle JL. American.
 28. Lakhdari. F, « synthèse de polymères photorésistants », Mémoire de magister, Université des sciences et de la technologie d'Oran, 2008.
 29. "les plastiques," <http://positiveimpakt.eu/wp-content/uploads/2018/0/>”
 30. BENOUIS Hanane Bakhta, B.F., Etude de béton à base de polymère. 2018/2019.
 31. BOUSSAHA Selma, M.-N.M., Etude des propriétés du béton à base de polymère. 2019.
 32. Cherchari Saadia, « Étude comparative du comportement d'un béton polymère à matrice organique thermodurcissable et thermoplastique », mémoire master, université de M'sila, 2016
 33. http://lebeton.free.fr/types_de_beton.html#BPE
 34. J.M.L Reis, «Fracture mechanics of polymerconcrete». PhD. Thesis, Université de Porto, 2003
 35. <http://www.aac-mo.com/qu-est-ce-que-beton-polymere.html>
 36. .Oussama E., (2012). Optimisation de la formulation et de tenue aux hautes températures d'un béton à base d'époxyde, thèse de doctorat, université de Tunis EL Manar
 37. Mikhailov K, Paturiov V, Rao P, Kreis P., (1992) PolymerConcretes and Their Structural Uses. Russian Translations Series, A BalkemaPublishers, pp. 326
 38. Steinberg M., (1975) Concrete-Polymer Composite Materials and TheirPotential for Construction, UrbanWasteUtilization, and NuclearWaste Storage, Advances in Chemistry vol. 142, Copolymers, Polyblends, and Composites, chap.37, pp 431–441
 39. Bedrane, L., Le recyclage des déchets plastiques, un enjeu du développement durable: Cas de l'entreprise de recyclage BELLOUNIS et de l'entreprise de transformation des plastiques Kaci Plast/Tizi-Ouzou. 2016, Université Mouloud Mammeri.
 40. Latrouch .N, 2018-2019. Effet des agrégats à base de déchets plastiques sur les différentes propriétés des matériaux composites mortier-polymère ». Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem
 41. Nait-Ali, K. L. (2008). Le PET recyclé en emballages alimentaires: approche expérimentale et modélisation (Doctoral dissertation, Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc).
 42. BOURMATTE Nadjoua (2017) « granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques : béton de démolition - déchets de briques - déchets de verre » Thèse de doctorat Université des Frères Mentouri Constantine
 43. Molleta R, Le traitement des déchets ; 18-20,105p. 2009
 44. Balet J.-M.; Gestion des déchets ; Aide-mémoire ; 4ème. Ed. DUNOD, France. 63,71p. 2
 45. MAMERY Serifou (2013) Béton à base de recyclats : « Influence du type de recyclats et rôle de la formulation » Université Sciences et Technologies - Bordeaux I.
 46. Propriétés mécaniques et de longévité des agrégats réutilisés souillés employant béton. Ciment et composéconcret, 32, 2010,421-426
 47. Quebaud M., "Caractérisation des granulats recyclés - Etude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats", Thèse de doctorat, Université d'Artois, France, décembre 1996
 48. Pongrácz, E. (2002). Re-defining the concepts of waste and waste management: Evolving the Theory of Waste Management. Oulu: University of Oulu.
 49. KHEMISSI R., « Caractérisation et choix d'une filière de traitement des déchets ménagers et

Les références bibliographiques

- assimilés de la ville d'Oran » thèse de Magister Université d'Oran, 2014
50. Jean-Michel Balet., 2008. Aide-mémoire Gestion des déchets. DUNOD, 246p
 51. SAADANI, S. (2016) Comportement de bétons a base de granulats recyclés. Le béton structurel arme et précontraint. Université MENTOURI (Constantine.156p.
 52. Rushbrook, P., & Pugh, M. (1999). Solid waste landfills in middle and lower-income countries: a technical guide to planning, design, and operation. The World Bank.
 53. Plastics Europe: Plastics-the Facts 2013. An Analysis of European Latest Plastics Production, Demand and Waste Data. 2013.
 54. Zhou C, Fang W, Xu W, Cao A, Wang R: Characteristics and the recovery potential of plastic wastes obtained from landfill mining. J. Clean. Prod.2014, 80: 80-86.
 55. Dardare J., " Contribution à l'étude du comportement mécanique des bétons renforcés
 56. Château.L., Déchets du bâtiment, Fiche technique, décembre 2014.
 57. B. YAMINA et B. HADJAR NOUR ELHOUDA : Etude du béton à base de déchets de démolition 2020/2021.
 58. Guelminelayachi, Matériaux recyclés, Cours de Master Matériaux, 61 page. <https://elearning@univ-bba.dz/course/view.php?id=1796>
 59. SOUCI Ikram. « Etude et modélisation de l'effet de la poudre d'aluminium sur les propriétés des mortiers légers à base des granulats des déchets plastiques », Mémoire Master Académique, Université Mohamed khider –Biskra (2020), 107 p
 60. H.Randa et D.Mounir :Valorisation des déchets plastiques pour la fabrication de fuel.2022/2023
 61. M. Leila, Mémoire Master « Valorisation des déchets plastique sous forme des fibre dans les mortiers » 2016/2017
 62. www.plasticseurope.org.
 63. ATTE N. « Granulats recycle de substitution pour bétons hydrauliques », thèse de doctorat, université des Frères Mentouri Constantine, Mars 2017.
 64. S. Callère; (1964): Mimralogier des argiles, France
 65. DESACHY. C(2001).Les déchets : sensibilisation à une gestion écologique. 2émé Ed.TEC&DOC. Paris. 463p.
 66. L. Soufiane et M. Djihad Création d'une entreprise de Tri et de Recyclage de Plastique 2015/2016
 67. SEGHIRI Mehdi , Etude d'un Matériau Composite à Base Polymère-Sable en Zone Aride,2020
 68. A. ATMANIA .elaboration d'une methodologie de gestion des dechets solides urbains. 2021/2022Yang S., Yue X., Liu X., Tong Y., Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles, Const. Build. Mater., 84 (2015) 444–453
 69. <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/developpement-durable-centres-stockage-dechets-france-2469/page/2/>
 70. V-S. RAMACHANDRAN; (juin 1981): Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, CBD-215-F, conseil national de recherches, Canada
 71. Molleta R, Le traitement des déchets ; 18-20,105p. 2009
 72. <https://www.istockphoto.com/fr/search/2/image-film?phrase=centre+de+recyclage>
 73. A. Amine et B. Hocine « élaboration d'un béton autoplaçant léger à base des déchets de plastique» DEUA Boumerdes 2011
 74. Baali Hafida, « étude de l'effet du traitement chimique des fibres de palmier dattier surle comportement mécanique du béton polymère », mémoire master, université de M'sila, juin2014
 75. Jozef Bicerano, « Prediction of polymer properties», New York, Marcel Dekker, 2002,3^e éd., 746 p. (ISBN 0-8247-0821-0), p. 196.
 76. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/plastiques-et-environnement-42657210/utilisation-de-polymeres-recycles-dans-les-mortiers-et-betons->

Les références bibliographiques

- am3600/
77. A.Gharbi,R.B.Hassan and S.Bufi ,[composite materials from unsaturated polyester resin and olive nuts residue :the effect of silane treatment],Industrial Crops Products,vol62,pp,491-498,2014
 78. polypropylène l'élémentarium. Source HMC polymère
 79. Catherine Housecrof et Alan Sharpe, « chimie inorganique », Paris /Bruxelle page 925
MEKHERMECHE. A, « Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksour sahariennes » mémoire de magister, université kasdi merbah Ouargla, année 2012
 80. Houssam BELKHIRI & Ahmed DERRAGUI," Contribution à l'étude des comportements mécaniques de mortier à base de sable de dune et fines siliceuses" Mémoire de Fin d'Etudes, Université Ziane Achour de Djelfa, année 2016
 81. Benmessahel Mahfoud et mf et kf. Effet Des Déchets Minéraux Sur Le Comportement Des Bétons polymères 2022/2023
 82. K. Rouam, « Elaboration, caractérisation mécanique et hygrothermique d'un stratifié renforcé par des fibres naturelles », Diplôme de Magister, Université Mehmed bougara boumerdes, 2014, p69.
 83. Rokbi, M., Baali, B., Rahmouni, Z. E. A., & Latelli, H. (2019). Mechanical properties of polymer concrete made with jute fabric and waste marble powder at various woven orientations. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(9), 5087-5094.
 84. BENKHARBECHÉ, Houria, ROKBI, Mansour, RAHMOUNI, Zine El Abidine, et al. Effect of fibers orientation on the fracture of polymer concrete based on quartz, polyester and jute fabrics. In : *Defect and Diffusion Forum*. Trans Tech Publications Ltd, 2021. p. 511-520.
 85. Mansour, Rokbi, Rahmouni Z. El Abidine, and Baali Brahim. "Performance of polymer concrete incorporating waste marble and alfa fibers." *Advances in concrete construction* 5.4 (2017): 331.