

People's Democratic Republic of Algeria  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
Mohamed Boudiaf University of M'sila  
Faculty of Technology

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة محمد بوضياف المسيلة



Département de Génie Mécanique

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

### MASTER

En Génie Mécanique

Option : Génie de Matériaux

Présenté par :

**BENMESSAHEL Mahfoud & MESSAGUEM Fathi & KHAMEL Fateh**

### Thème

# Effet des déchets minéraux sur le comportement des bétons polymères

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
RAHMOUNI Zine El Abidine	Professeur	Président
ROKBI Mansour	Professeur	Encadreur
MENASSEL sihem	MCB	Examineur
MEKIDECHE Salih	Doctorant	Co-Encadreur

*Année Universitaire : 2022 / 2023*

N° d'ordre : GM/...../2023

# *Remerciements*

*En tout premier lieu, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant et Miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir Ce modeste travail.*

***\*Nous remercions les généreux parents\****

*Merci, « **Professeur Rokbi Mansour** » qui ont encadré ce travail, pour leur disponibilité, ainsi que pour leurs soutiens tout au long de réalisation de ce projet.*

*Remerciements particuliers aux membres de Jury **Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine (Président)** et **Dr. MENASSEL sihem (Examinatrice)***

*Nous tenons à remercier le doctorant, « **M. MEKIDECHE Salih** », pour son aide et ses conseils, notamment dans l'aspect pratique de cette thèse.*

*Nous remercions « **Docteur SAHNOUNE Foudil** » Pour l'aider à obtenir des résultats DRX pour les échantillons.*

*Et toutes nos amies au Département de génie mécanique, en particulier de spécialités « **Génie de Matériaux** »*

*Nous adressons aussi nos remerciements à toutes les personnes qui, de près comme de loin, ont contribué à ce travail que ce soit par leur participation ou leur encouragement.*

*Et enfin j'exprime toute mon affection et ma gratitude à ma famille (**mes parents, Ma femme et mes enfants.....**) pour son patience et son soutien Indéfectible*

# *Dédicaces*

*Je m'incline devant Dieu Tout - Puissant qui m'a ouvert la porte du savoir et m'a aidé à la franchir.*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*À mes très chers parents qui sont la source de ma réussite*

*À ma chère femme la plus patiente, la source d'affectation de courage et d'inspiration qui a autant sacrifié pour me voir continuer mes Études.*

*Âmes très chers enfants AYA, YOUSEF, AYOUB*

*À mes très chères sœurs, et chers frères*

*À mon encadreur Rokbi Mansour*

*Une spéciale dédicace à mes collègues a lycée mohamed benmessahel  
À tous mes amis du département de Génie Mécanique*

***Benmessahel Mahfoud***

# *Dédicaces*

*Je m'incline devant Dieu Tout - Puissant qui m'a ouvert la porte du savoir et m'a aidé à la franchir.*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*À mes très chers parents qui sont la source de ma réussite*

*À ma chère femme la plus patiente, la source d'affectation de courage et d'inspiration qui a autant sacrifié pour me voir continuer mes Études.*

*À mes très chers enfants RANDA, LEDJAIN, ABD ELLAH*

*À mes très chères sœurs, et chers frères*

*À mon encadreur Rokbi Mansour*

*Une spéciale dédicace à mes collègues  
À tous mes amis du département de Génie Mécanique*

*Messaguem Fathi*

# *Dédicaces*

*Je m'incline devant Dieu Tout - Puissant qui m'a ouvert la porte du savoir et m'a aidé à la franchir.*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*À mes très chers parents qui sont la source de ma réussite*

*À ma chère femme la plus patiente, la source d'affectation de courage et d'inspiration qui a autant sacrifié pour me voir continuer mes Études.*

*Âmes très chers enfants*

*À mes très chères sœurs, et chers frères*

*À mon encadreur Rokbi Mansour*

*Une spéciale dédicace à mes collègues  
À tous mes amis du département de Génie Mécanique*

***Khamel Fateh***

## ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى الحد من انتشار النفايات البلاستيكية والمعدنية للحفاظ على البيئة من جهة واستغلالها في إنتاج خرسانة بوليميرية من جهة أخرى، من أجل ذلك تم تكوين خليط بنسب مختلفة تتكون أساساً من الرمل والمخلفات البلاستيكية مضاف إليه نفايات معدنية (مسحوق الرخام ومخلفات الطوب الأحمر) تم استخدام رمل منطقة الخبانة (عرق السيوف) لاحتوائه على خصائص جيدة، من جهة أخرى تم استعمال مسحوق رخام منطقة (سكيدة)، فيما يخص مسحوق مخلفات الطوب (شاموت) تم استعمال ثلاث أنواع من مناطق مختلفة (المسيلة، برج بوعريريج، بوسعادة)، تم اخضاع العينات للتجارب الميكانيكية والفزيائية، على ضوء النتائج المتحصل عليها تبين أن تأثير المواد المعدنية لها أثر على الخرسانة البوليميرية حيث ان الاجهادات كانت متوافقة مع ما يتم استعماله في ميادين البناء.

## Résumé

Cette étude vise à réduire la propagation des déchets plastiques et métalliques pour préserver l'environnement d'une part et l'exploiter dans la production de béton polymère d'autre part, à cet effet un mélange a été formé en différentes proportions composé principalement de sable et de plastique déchets avec adjonction de déchets minéraux (poudre de marbre et déchets de briques rouges). Le sable de la zone El Khabbana (Erg El Seyouf) a été utilisé car il a de bonnes propriétés. En revanche, la poudre de marbre (Skikda) a été utilisée. Poudre de déchets de briques (Chamotte), trois types ont été utilisés provenant de différentes régions (Al-Masila, Bordj Bou Arreridj, Bou Saada), des échantillons ont été soumis Pour des expériences mécaniques et physiques, à la lumière des résultats obtenus, il a été constaté que l'effet des matériaux minéraux a eu un effet sur le béton polymérique, car les contraintes étaient compatibles avec ce qui est utilisé dans les domaines de la construction.

# Abstract

This study aims to reduce the spread of plastic and metal waste to preserve the environment on the one hand and exploit it in the production of polymer concrete on the other hand, for this purpose a mixture was formed in different proportions composed mainly of sand and plastic waste with the addition of mineral waste (marble dust and red brick waste). Sand from the El Khabbana area (Erg El Seyouf) was used because it has good properties. On the other hand, marble powder (Skikda) was used. Brick waste powder (Chamotte), three types were used from different regions (Al-Masila, Bordj Bou Arreridj, Bou Saada), samples were submitted for mechanical and physical experiments, in the light of the results obtained, it was found that the effect of mineral materials had an effect on polymeric concrete, as the stresses were consistent with what is used in construction fields.



# Sommaire

Introduction générale .....	1
CHAPITRE I Généralités Sur le Recyclage.....	4
I-Généralités Sur Le Recyclage .....	4
I-1. Introduction.....	4
I-2. Définition du déchet .....	5
I-3. Déchet solide.....	6
I-3.1. Classification des déchets solides .....	6
I-3.2. Classification en fonction de l'origine du déchet solides .....	7
I-3.2.1. Déchets ménagers et assimilés (DMA) .....	7
I-3.2.2. Déchets industriels non dangereux ou "banals" (DND ou DIB).....	7
I-3.2.3. Déchets industriels dangereux ou "spéciaux" (DD ou DIS).....	8
I-3.2.4. Déchets de la construction et de la démolition .....	8
I.3.3. Classification en fonction de la nature du danger .....	8
I.3.3.1. Déchets radioactifs. ....	8
I.3.3.2. Déchets dangereux.....	8
I.3.3.3. Déchets inertes .....	8
I.3.3.4. Déchets ultimes .....	8
I.3.3.5. Déchets non dangereux .....	8
I-4. Déchets Plastique .....	9
I-4.1. Déchets plastiques industriels.....	9
I-4.2. Déchets plastiques de post-consommation.....	10
I-4.2.1. Déchets plastiques agricoles .....	10
I-4.2.2. Déchets commerciaux ou de distributions.....	10
I-4.2.3. Déchets électriques et électroniques .....	10
I-4.2.4. Déchets ménagers.....	10
I-4.2.5. Déchets du bâtiment et des travaux publics.....	10
I-4.2.6. Déchets de véhicules de transport.....	10
I-5. Domaine D'utilisation déchets plastiques .....	11
I-5.1. Domaines d'applications du (PET) recyclé.....	11
I-5.2. Domaines d'applications du (PP) recyclé .....	11
I-5.3. Domaines d'applications du (PEHD) recyclé.....	11
I-5.4. Domaines d'applications du (PVC) recyclé .....	12
I-5.5. Domaines d'applications du (PEBD) recyclé.....	12

I-5.6. Domaines d'applications du (PS) recyclé .....	12
I-6. Déchets Minéraux .....	12
I-6.1. Déchets de minéraux naturels.....	12
I-6.2. Déchets minéraux divers .....	13
I-6.3 Déchets de construction et de démolition .....	13
I-6.4. Brique.....	14
I-6.5. Déchet de brique .....	14
I-6.6. Marbre .....	14
I-6.7. Déchet de Marbre.....	14
I-6.8. Domaine D'utilisation Déchets minéraux .....	15
I-7. Définition de Recyclage .....	16
I-8. Type de recyclage.....	17
I-8.1. Recyclage in situ.....	17
I-8.2. Recyclage sélectif .....	17
I-8.3. Recyclage en site fixe .....	17
I-9. But et les avantages de Recyclage.....	17
I-9.1. Lutter contre la pollution.....	17
I-9.2. Économiser de l'énergie.....	18
I-9.3. Préservation des ressources .....	18
I-9.4. Faire des économies .....	18
I-10. Inconvénients du recyclage.....	18
I-11. Valorisation matière .....	19
I-11.1. Valorisation des déchets plastiques .....	19
I-11.1.1. Valorisation énergétique.....	19
I-11.1.2. Valorisation mécanique .....	19
I-11.1.3. Valorisation chimique .....	20
I-11.1.4. Valorisation des déchets plastiques dans le BTP .....	20
I-11.1.5. Les symboles du recyclage sur les emballages plastiques.....	20
I-11.2. Valorisation des déchets Minéraux .....	22
I-11.2.1. Valorisation des déchets de brique.....	22
I-11.2.2. Valorisation des déchets de Marbre .....	22
I-12. Etapes de recyclage des déchets plastiques .....	23
a. Tri.....	23
B. Centre de tri .....	23
C. Broyage, lavage et séchage.....	24
D. Fonte et le filtrage.....	24

## CHAPITRE II Le Bétons Polymère .....

II Bétons Polymère.....	26
-------------------------	----

II-1- Introduction .....	26
--------------------------	----

II-2- Définition du Bétons Polymère .....	27
II.3. Historique des BP.....	27
II.3.1. Matériaux ancêtres .....	27
II.3.2. Développement des composites béton-polymère .....	27
II-4. Constitue.....	28
II.4.1. Liant (la résine).....	28
II-4.2. Agrégats .....	28
II.5. Classification des bétons polymères.....	28
II.5.1. Le béton imprégné de résine.....	30
II.5.2. Le béton additionné de résine .....	31
II.5.3. Le béton de résine .....	32
II.6. Caractéristiques intrinsèques du béton polymère.....	33
II-6.1Caractéristiques mécaniques d'un béton polymère .....	33
II-6.2. Caractéristiques Physiques d'un béton polymère.....	33
II-6.3. Caractéristiques Physiques d'un béton polymère.....	33
II-6.4. Caractéristiques Hydrauliques d'un béton polymère.....	33
II-7. Propriétés de béton polymère .....	34
II-8. La comparaison entre un béton polymère et un béton ordinaire.....	34
I-9. Les principaux avantages et les inconvénients du béton polymère.....	34
II-9.1. Les avantages d'un béton polymère .....	34
II-9.2. Les inconvénients d'un béton polymère .....	35
II-10. Utilisations de béton polymère .....	36
II-10.1. Utilisation des BP dans Bâtiment - génie Civil.....	36
II-10.2. Pavés .....	37
II-10.3. Utilisation des BP dans les travaux de drainage et hydrauliques .....	37
II-10.4. Utilisation des BP dans l'industrie .....	38
II-10.5. L'utilisation des bétons polymère dans l'horticulture .....	39
II-10.6. L'utilisation des bétons polymère comme isolation phonique.....	39
II-11. Procédure D'élaboration Bétons Polymère .....	39
II-11.1. Procédure D'élaboration Bétons Polymère a bas raisin thermoplastique.....	40
II-11.1. Procédure D'élaboration Bétons Polymère a bas raisin thermodurcissable .....	42
<b>CHAPITRE III Le Déchets Utilisés Dans Le Bétons Polymère.....</b>	<b>43</b>
III-Le Déchets Utilisés Dans Le Bétons Polymère .....	43
III-1- Introduction.....	43
III-2- Différent Déchets .....	43
III-2-1 Déchets plastique .....	43
III-2-2 Déchets Minéraux .....	45
<b>CHAPITRE IV Matériaux Et Méthodes .....</b>	<b>47</b>
IV- Matériaux Et Méthodes .....	47

IV-1. Introduction.....	47
IV.2 Matières premières.....	47
IV.2.1. Liants polymérique.....	48
IV.2.1.1. Broyage de déchets plastiques (PP).....	48
IV.2.1.2. Nettoyage et séchage de déchets plastiques (PP).....	49
IV.2.2. sable.....	49
IV.2.2.1. Lavage du sable:.....	50
IV.2.2.2. Séchage du sable:.....	50
IV.2.3. Déchets Minéraux.....	51
IV.2.3.1. Déchets de brique (chamotte).....	51
IV.2.3.2. Déchets de marbre (Poudre).....	52
IV-4 Caractérisation physico de matières premières.....	53
IV-4.1. Diffractomètre à rayons X (DRX).....	53
IV-4.2. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).....	53
IV-4. 3. Caractéristique de Polypropylène.....	54
IV-4.4. Test d'analyse granulométrique de sable.....	54
IV-5. Procédure D'élaboration des échantillons Bétons Polymère.....	55
IV-5.1. Technique D'élaboration.....	55
IV-5.2. Choix des éprouvettes.....	58
IV.6. Caractérisation des échantillons.....	58
IV-6.1.Essai de flexion trois points (FTP).....	58
IV-6.1.1. Paramètres d'étude :.....	59
IV-6.2.Essai d'absorption d'eau.....	60
<b>CHAPITRE V Résultats et Discussions.....</b>	<b>46</b>
V- Résultats et Discussions.....	47
V-1. Introduction.....	47
V-2. Résultats diffractomètre à rayons (X).....	47
V-2.1. Résultats diffractomètre à rayons (X) Sable.....	47
V-2.2. Résultats diffractomètre à rayons (X) chamotte1 (M'sila).....	47
V-2.3. Résultats diffractomètre à rayons (X) chamotte2 (Bordj Bou Arreridj).....	47
V-2.4. Résultats diffractomètre à rayons (X) chamotte3 (Bou Saada).....	47
V-2.4. Résultats diffractomètre à rayons (X) Marbre.....	48
V-3. Résultats spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier(FTIR).....	48
V-3.1.Résultats (FTIR) sable et déchet minéraux.....	48
V-3.2.Résultats (FTIR) polypropylène recyclé (PP).....	48
V-4. Résultats essai mécanique.....	48
V-4.1. Résultats Essais de flexion trois points.....	48
V-4.1.1. Analyse des courbes contrainte- déformation.....	49
V-4.1.2. Analyse des modules d'élasticité (module de Young) en flexion.....	50

V-5. Résultats d'absorption d'eau.....	50
Conclusion générale .....	51
Les références bibliographiques.....	53

# *Liste des tableaux*

Tableau I- 1 Symboles et caractéristiques des différents types de plastiques recyclables.....	21
Tableau II- 1 Classification des Béton et Mortier Résineux[50].....	29
Tableau II- 2 Propriétés types des bétons de résine et du béton de ciment Portland.....	34
Tableau IV- 1 Caractéristique de Polypropylène[62] .....	54
Tableau IV- 2 Taux de chaque composante.....	58
Tableau V- 1 composés chimiques du sable utilisé .....	48
Tableau V- 2 composés chimiques de la chamotte utilisé .....	48
Tableau V- 3 composés chimiques de Marbre .....	48
Tableau V- 4 composés chimiques de plastique utilisé .....	48

# *Liste des figures*

Figure I- 1 Une image de la quantité de déchets laissés par les humains laissés dans la nature .....	4
Figure I- 2 Déchets plastique.....	5
Figure I- 3 Compositions des MSW par niveau de revenu [8].....	7
Figure I-4 Déchets de minéraux naturels .....	12
Figure I- 5 ligne de recyclage plastique .....	16
Figure I- 6 Le tri des déchets.....	23
Figure I- 7 Balles de plastique.....	24
Figure I- 8 (A) Broyage plastique (B) lavage des déchets plastiques.....	24
Figure I- 9 Extrudeuse pour plastique recyclé.....	25
Figure II- 1béton polymère .....	26
Figure II- 2 Schéma de la méthode de la production de BIP[52] .....	30
Figure II- 3 Schéma du modèle simplifié expliquant la formation d'une matrice mixte polymère/ciment[53].....	32
Figure II- 4 Les polymères disponibles pour utilisés comme liants dans les systèmes BP/MP .....	32
Figure II- 5 Façades en béton polymère pour bâtiment. ....	36
Figure II- 6 (a) pavés autobloquants (b) pavés autobloquants .....	37
Figure II- 7 réseau de canalisation en béton polymère .....	38
Figure II- 8 un bâti d'une machine de tournage en béton polymère.....	38
Figure II- 9 Quelques applications du béton polymères (Bacs de fleurs –chaise). ....	39
Figure II- 10 application de béton polymère pour l'isolation. ....	39
Figure II- 11 Schéma de la procédure d'élaboration des échantillons.[31] .....	41

Figure III- 1 (a) Les plaques d'EPVC (b) Le déchets en EPVC.[58]	43
Figure III- 2 Déchets plastiques (A : déchets plastique d'Abidjan ; B : déchets plastique de Belfort) C Polyéthylène haute densité[31, 49]	44
Figure III- 3 Broyage de déchets de brique.[47]	46
Figure IV-1 (a) Déchets plastiques PP, (b) Sable, (c) poudre de marbre, (d) Déchets de brique (chamotte).	47
Figure IV-2 Déchets PP	48
Figure IV- 3 Plastique Broyer	48
Figure IV- 4 Procédure d nettoyage et séchage de déchets plastique (a) Nettoyage (b) séchage	49
Figure IV-5 Le site de sable utilisé.	50
Figure IV-6 Lavage et Séchage du sable.	50
Figure IV- 7 Broyeur a billé en acier	51
Figure IV-8 Tamisage de chamotte à 80 µm.	51
Figure IV-9 poudre de chamotte Ch1 Ch2 Ch3.	52
Figure IV- 10 Tamisage de chamotte à 80 µm.	52
Figure IV-11 Boudier de marbre	52
Figure IV- 12 Poudre des échantillons pour caractérisation rayons X et FTIR	53
Figure IV- 13 Machine (DRX) (Panalytical XPret.PRO)	53
Figure IV-14 FTIR Spectromètre	54
Figure IV-15 Tamiseuse électrique.	55
Figure IV-16 Courbe d'analyse granulométrique de sable utilisée.	55
Figure IV-17 Schémas D'élaboration Bétons Polymère.	57
Figure IV- 18 Les Echantillons de Chamotte1, Chamotte2, Chamotte3, Marbre	58
Figure IV-19 Machine d'essai universelle max. 300 KN   Model E45	59
Figure IV- 20 Essai de flexion trois points (FTP)	59
Figure IV-21 (a) séchage L'échantillon dans une étuve (b) les échantillons immergés dans de l'eau	61
Figure V- 1 diffractomètre des rayons (X) Sable (Erg Seyouf)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure V-2 diffractomètre des rayons (X) chamotte1 (M'sila)	47
Figure V- 3 diffractomètre des rayons (X) chamotte2 (Bordj Bou Arreridj)	47
Figure V- 4 diffractomètre des rayons (X) chamotte3 (Bou Saada)	48
Figure V- 5 diffractomètre des rayons (X) de Marbre	48
Figure V- 6. Courbe (FTIR) SB, sable MR, marbre CH1 chamotte1 CH2, chamotte2 CH3 chamotte3 ...	48
Figure V- 7 Courbe (FTIR) polypropylène recyclé (PP)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure V- 8 les courbes force en fonction du déplacement (a) MS 15%, (b) BB 25% (c) BO 15% (d) MR 25%	49
Figure V- 9 des courbes d'évolutions des contraintes en fonction des déformations ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) (a)MS 15%,20%,25% (b) BB 15%,20%,25% (c) BO 15%,20%,25% (d) MR 15%,20%,25%...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure V- 10 Graphique contrainte déformation (a) contraite (MPa) (b) déformation (%).	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure V- 11	50
Figure V- 12 Graphique Résultats d'absorption d'eau	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

# *Liste des abréviations*

**BR** : Béton résineux.

**BB** : famille d'échantillon chamotte Bordj Bou Arreridj.

**BO** : famille d'échantillon chamotte Bou Saada.

**BIP** : Béton Imprégné par des Polymères.

**BAP** : Béton Additionné par des Polymères.

**(BP) (PC)** : Béton polymère.

**EVA** : Ethylène-vinyle acétate.

**HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

**MS** : famille d'échantillon chamotte M'sila.

**MR** : famille d'échantillon chamotte Marbre.

**MR** : Mortier résineux.

**MAP** : Mortier Additionné par des Polymères.

**MIP** : Mortier Imprégné par des Polymères.

**MMA** : Méthacrylate de méthyle acrylique.

**MSW** : Municipal Solid Waste

**PMC** : Béton modifié concret.

**PET** : Poly (éthylène téréphtalate).

**Rc** : Résistance à la compression.

**Rf** : Résistance à la flexion.

**Rt** : Résistance à la traction.

### *Introduction générale*

La situation environnementale actuelle nous appelle à être de plus en plus attentifs à l'impact que nous laissons individuellement et collectivement sur notre environnement où la production de déchets pose des problèmes épineux encore insolubles, et où des évolutions sont à prévoir décisif dans notre style de vie. La question de la gestion des déchets, tels que les déchets Minéraux et les déchets plastique, est un problème mondial, son existence ne se limite pas à une région sans l'autre dans le monde, où les décisions et les politiques prises par les autorités concernées relatives à l'élimination et au traitement de ces déchets affectent le degré de pollution de l'environnement.

Selon une étude publiée dans la revue Science Advances en 2017, depuis la production en masse de plastique dans les années 50, environ 8,3 milliards de tonnes de plastique ont été produites dans le monde, dont près de 80% ont fini dans des décharges, des incinérateurs ou dans la nature. En 2015, environ 6 300 Mt de déchets plastiques avaient été générés, dont environ 9 % avaient été recyclés, 12 % incinérés et 79 % accumulés dans des décharges ou dans le milieu naturel. Selon les projections actuelles, d'ici 2050, il y aura près de 13 milliards de tonnes de déchets plastiques dans le monde. [1]

Cela entraîne des conséquences négatives sur l'environnement, notamment la pollution des océans et des terres, la destruction des habitats naturels, la santé des animaux marins et terrestres et la détérioration de la qualité de l'air et de l'eau. Les gouvernements, les entreprises et les consommateurs sont de plus en plus conscients de la nécessité de réduire l'utilisation de plastique et de mieux le gérer pour minimiser son impact environnemental.

Les déchets de briques chamotte sont généralement issus de la production de Brique rouge pour la construction et briques réfractaires, qui sont utilisées dans les industries telles que la métallurgie et la sidérurgie. Les déchets de briques chamotte peuvent être récupérés à partir de briques endommagées, de chutes de production ou de briques usées après leur durée de vie utile. Les propriétés de la chamotte peuvent varier en fonction de sa composition chimique, de sa densité et de sa granulométrie. En général, les déchets de briques chamotte peuvent être réutilisés dans certains processus industriels tels que la construction de fours ou la fabrication de béton réfractaire et le béton polymère.

Les déchets de marbre sont souvent issus de l'industrie de la transformation du marbre pour la production de produits tels que les dalles, les carreaux, les comptoirs de cuisine et les revêtements de sol. La qualité des déchets de marbre dépend de la qualité du marbre d'origine, de la méthode de découpe utilisée et de la quantité d'impuretés présentes. Les déchets de marbre peuvent être réutilisés dans la fabrication d'agrégats pour le béton, de pierres de décoration pour les jardins ou de poudre pour l'industrie du papier. Cependant, la récupération de ces déchets est souvent limitée par leur qualité et leur disponibilité.

Les déchets ne sont pas uniquement un problème environnemental mais aussi une perte économique. Les déchets en général, et les déchets plastiques et minéraux en particulier, sont une richesse gaspillée. L'utilisation des déchets dans la production d'autres matériaux bénéfiques économiques et environnementaux est une pratique de plus en plus courante dans de nombreuses industries. En effet, les déchets peuvent être transformés pour être réutilisés dans la fabrication de nouveaux produits, ce qui permet de réduire la quantité de déchets envoyée en décharge ou en incinération, et donc de diminuer leur impact environnemental.

Cette utilisation des déchets permet également de réduire les coûts de production en évitant l'achat de matières premières neuves. L'utilisation des déchets comme matière première permet donc de donner une seconde vie à ces derniers tout en créant des produits ayant une valeur économique. Ainsi, plutôt que de les considérer uniquement comme des déchets à éliminer, ils sont vus comme des ressources à exploiter dans une logique d'économie circulaire. Cette pratique est bénéfique pour la planète, les entreprises et la société dans son ensemble. C'est ce qui a fait réfléchir notre équipe à la production de béton polymérique dont les composants sont deux types de déchets à savoir des déchets plastiques PP et des déchets minéraux (déchets de poudre de marbre) (déchets de chamotte), avec de sable de El Khabbana (Erg El Seyouf).

Le béton polymère est une alternative prometteuse au béton traditionnel en raison de ses avantages tels que la durabilité, la haute résistance, la légèreté et la résistance aux intempéries. Cependant, son comportement mécanique peut être affecté par divers facteurs, tels que la qualité des matériaux utilisés dans la production de béton polymère, y compris les déchets minéraux qui sont souvent incorporés en tant que remplissages. Les déchets minéraux, tels que les résidus de minerai, les déchets de construction et les scories, peuvent influencer les propriétés mécaniques du béton polymère en raison de leur composition minérale, de leur forme et de leur taille de particule, ainsi que de leur surface spécifique. Le béton polymère est également un matériau de construction durable et écologique car il peut être fabriqué avec des granulats minéraux et plastique recyclés, contribuant ainsi à la réduction des déchets plastique et de construction.

Dans cette mémoire, nous allons examiner de plus près les propriétés et les avantages du béton polymère, en nous concentrant particulièrement sur l'utilisation de granulats minéraux recyclés dans sa fabrication. Nous allons étudier les effets des déchets minéraux sur le comportement mécanique du béton polymère. Nous explorerons les avantages et les inconvénients de l'utilisation de déchets minéraux dans la production de béton polymère, ainsi que leurs impacts sur les propriétés du béton, telles que la résistance à la compression, la résistance à la flexion et d'absorption d'eau. Nous allons également analyser les différents types de granulats recyclés utilisés dans le béton polymère et discuter de leurs impacts sur les propriétés physiques et mécaniques du matériau.

Enfin, nous allons explorer les considérations environnementales et économiques liées à l'utilisation de plastique et granulats, recyclés dans le béton polymère, notamment les défis associés à la collecte et au

traitement des déchets de construction et déchet plastique, et les coûts associés à la fabrication du béton polymère avec des granulats recyclés.

Ce travail est divisé en cinq chapitres.

- Dans la première, nous allons explorer les différentes techniques de recyclage, les avantages et les défis associés au recyclage et Nous parlerons également les différents types des déchets et des méthodes de leur valorisation.
- Le deuxième chapitre est consacré aux, à explorer les avantages du béton polymère, son processus de production, ses propriétés mécaniques, ainsi que ses applications dans la construction.
- 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 quatrième chapitre représente une étude expérimentale sur la formulation et la caractérisation du béton polymère.
- Le dernier chapitre est consacré à la discussion du résultat expérimental obtenu. Enfin une conclusion générales avec quelques perspectives.

# **CHAPITRE I**

## **Généralités Sur Le Recyclage**

## ***I-Généralités Sur Le Recyclage***

### ***I-1. Introduction***

Depuis le début des années 1990 (notamment avec le sommet de la terre en 1992), la protection de l'environnement est devenue une préoccupation collective, suscitant des débats à l'échelle planétaire en effet. la prolifération des déchets général et des déchets plastiques en particulier (Figure I-1) constitue l'une de ces préoccupations vu leurs conséquences considérables sur l'environnement, et sur la santé humaine (épuisement des ressources, pollutions, maladies, atteinte à la biodiversité, etc.).[2] En ces temps de prise de conscience écologique généralisée, le terme « recyclage » est omniprésent dans la langue vernaculaire ou médiatique. Le Trésor de la langue française le définit notamment comme l'« ensemble des techniques ayant pour objet de récupérer les déchets urbains, industriels et agricoles, et de les restituer aux industriels capables de les réutiliser »[3]. Elle est considérée une méthode complexe de protection de l'environnement, dont le but est la limitation de la consommation de matières premières et la diminution de la quantité de déchets. Il devrait s'agir d'un système multiple des mêmes matériaux utilisé dans le matériau suivant et des biens utilisables.[4]



***Figure I- 1 Une image de la quantité de déchets laissés par les humains laissés dans la nature***

Le recyclage constitue une de ces techniques de traitement qui est favorisée dans plusieurs pays (pays développés et pays en développement PED) en raison de ces avantages au service du développement durable. Par ailleurs, les déchets plastiques présentent un gisement important de la totalité des déchets solides (Figure I-2) et dont une fraction récupérable est non négligeable à cet effet, encourager et développer l'activité du recyclage dans tous les pays pourrait être une des solutions adéquates aux problèmes du développement durable relatives à la dissémination des déchets plastiques dans la nature.[2]

Le recyclage est devenu un sujet de plus en plus présent dans notre société, car il permet de réduire la quantité de déchets produits et protège ainsi l'environnement en limitant la pollution. Le recyclage consiste à transformer des matériaux déjà utilisés en nouveaux produits, pouvant être utilisés. Ce processus permet de limiter déchets envoyés à la décharge et de préserver notre planète. Il consiste à récupérer et à traiter les objets ou les matériaux qui ne sont plus utiles ou qui ont été jetés afin de les transformer en nouvelles matières premières ou en produits finis. Cela permet de réduire la consommation de ressources naturelles, d'économiser de l'énergie, de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de réduire la pollution de l'air, de l'eau et des sols. Dans ce chapitre, nous allons explorer les différentes techniques de recyclage, les avantages et les défis associés au recyclage et Nous parlerons également des déchets et des méthodes de leur valorisation.



*Figure I- 2 Déchets plastique*

### ***I-2. Définition du déchet***

Au sens de la loi en France, un déchet est défini comme " 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 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, , et d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement. [5], Les déchets peuvent être abordés de manière différente en fonction de leurs propriétés. Leur classification peut notamment se faire en fonction de leur état physique (solide, liquide, gazeux), de leur provenance (déchets ménagers, déchets industriels, déchets agricoles), de leur traitement (primaires, secondaires, ultimes) ou encore de leur dangerosité (déchets inertes, déchets banals, déchets spéciaux). La variété de ces propriétés et des points de vue que l'on peut adopter lorsque l'on s'intéresse aux déchets amène la plupart des auteurs à dire qu'il

n'existe pas de définition satisfaisante du déchet. Cette définition est différente en fonction du point de vue réglementaire, environnemental, économique ou encore fonctionnel. [6]

La loi N° 01-19 du 12/12/ 2001 article 3 de journal officiel de la république algérienne N°77 (2001), définit le déchet comme : Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance ou produit et tout bien ou meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a obligation de se défaire ou de l'éliminer. [7]

### ***I-3. Déchet solide***

Les déchets sont définis comme toute substance ou tout objet qui n'est plus nécessaire et jeté ou destiné à être jeté. Les déchets sont classés selon les conditions physiques (solides, liquides et gaz), les propriétés physiques (compostables, recyclables et combustibles), la sécurité (dangereux et non dangereux), les sources (domestiques, institutionnelles, commerciales, etc.) et les matériaux (organiques, métalliques etc.). Les DSM sont définis comme les déchets collectés à partir de sources domestiques ou autres par les autorités de gestion ou leurs agents, y compris les déchets des ménages, des parcs, des entités commerciales, des bureaux et des déchets de rue. D'autres chercheurs suggèrent que les MSW incluent également tous les déchets d'eaux usées (solides, liquides et gazeux) collectés par les autorités publiques et privées à partir de sources domestiques et commerciales. Il est également classé selon la sécurité, la composition et les sources. [8] Des exemples de déchets solides sont du papier usagé, des bouteilles en plastique ou en verre, ou des boîtes en carton et déchets de construction. En revanche les déchets tels que les huiles d'un véhicule ou la fumée d'une cheminée ne sont pas classés comme des déchets solides. [9]

#### ***I-3.1. Classification des déchets solides***

Les matériaux MSW sont généralement classés en organiques et inorganiques. Les matières organiques comprennent plusieurs déchets tels que les restes de nourriture, les déchets de jardin et le bois. L'inorganique contient plusieurs déchets tels que le plastique (sacs, emballages, contenants, etc.), le métal (canettes, papier d'aluminium, boîtes de conserve, vélos, etc.), le verre (bouteilles, ampoules, etc.), le papier (carton, magazines, sacs, boîtes, papier d'emballage, etc.) et d'autres matériaux (textile, cuir, caoutchouc, électronique, cendre, etc.).[8]

La composition des MSW est influencée par de nombreux facteurs, notamment les normes culturelles, les activités économiques, la situation géographique, le climat, etc. Dans les pays plus riches comme le Royaume-Uni, la consommation de matières inorganiques (plastique, papiers, etc.) augmente normalement, entraînant une augmentation dans la fraction inorganique des MSW avec une diminution relative de la fraction organique. À l'inverse, les pays à revenu faible ou intermédiaire tels que le Ghana et le Mexique ont tendance à générer des proportions plus élevées de déchets organiques que les pays à revenu élevé. La (figure I.3) montre différentes valeurs de la composition des MSW par niveau de revenu. [8]



*Figure I- 3 Compositions des MSW par niveau de revenu [8]*

L'autorisation de reproduire ce chiffre a été accordée par la Banque mondiale. Qui comprend des données de 105 pays classés par revenu de 2006 à 2012. On peut voir que les déchets organiques augmentent avec la baisse du niveau de revenu, où les pays à faible revenu ont un revenu plus élevé. Fraction organique de 64 % contre 28 % dans les pays à revenu élevé. En revanche, les fractions recyclables augmentent avec l'augmentation du niveau de revenu, où des fractions moyennes plus élevées de papier, de verre et de métal ont été enregistrées par rapport aux autres niveaux de revenu.

Les déchets solides peuvent être classés en 2 grandes catégories :

### ***I-3.2. Classification en fonction de l'origine du déchet solides***

#### ***I-3.2.1. Déchets ménagers et assimilés (DMA)***

Les déchets ménagers et assimilés sont les déchets produits par les ménages, les commerçants, les artisans, et même les entreprises et industries quand ils ne présentent pas de caractère dangereux ou polluant : papiers, cartons, bois, verre, textiles, emballages.[10]

#### ***I-3.2.2. Déchets industriels non dangereux ou "banals" (DND ou DIB)***

Ce sont les déchets des entreprises non dangereux qui sont aussi appelés "déchet assimilés aux déchets ménagers".[10]

### ***I-3.2.3. Déchets industriels dangereux ou "spéciaux" (DD ou DIS)***

Ce sont les déchets des entreprises qui, en raison de leurs propriétés dangereuses, sont indiqués dans la par un astérisque. Ils ne peuvent pas être déposés dans des installations de stockage recevant d'autres catégories de déchets. [10]

### ***I-3.2.4. Déchets de la construction et de la démolition***

Ce sont des déchets du bâtiment est composée de matériaux provenant de la démolition. La démolition va perturber l'environnement : bruit, poussière, et surtout énormes quantités de matériaux lourds et de grand format, se prêtant mal à la manipulation et qu'il faudra éliminer. [11]

## ***I.3.3. Classification en fonction de la nature du danger***

### ***I.3.3.1. Déchets radioactifs.***

Les hôpitaux et les autres établissements de soins sont à l'origine de nombreux déchets. Certains de ces déchets sont banals et s'apparentent le plus souvent à des ordures ménagères (déchets de bureaux, de cuisines, restes de repas, déchets liés à l'entretien des locaux. D'autres déchets sont particuliers. Il s'agit principalement de déchets radioactifs, de déchets à risques infectieux et de médicaments. [5]

### ***I.3.3.2. Déchets dangereux***

Sont considérés comme dangereux s'ils présentent une ou plusieurs des propriétés suivantes : explosif, comburant, inflammable, irritant, nocif, toxique, Cancérogène, corrosif, infectieux, toxique pour la reproduction, mutagène, écotoxique. [10]

### ***I.3.3.3. Déchets inertes***

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.[12]

### ***I.3.3.4. Déchets ultimes***

Est un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans des conditions techniques et économiques du moment, notamment par de la part valorisable ou part extraction de son caractère polluant ou dangereux. [5]

### ***I.3.3.5. Déchets non dangereux***

Sont les déchets qui ne présentent aucune des caractéristiques relatives à la "dangerosité"(toxique, explosif, corrosif, etc.). [10]

### ***I-4. Déchets Plastique***

Au niveau des déchets plastiques sont issus principalement des ordures ménagères (bouteilles, flacons, films), mais aussi des secteurs industriels (emballages, rebuts des industries du plastique, broyage automobile, démolition), et encore des secteurs agricoles (films de serre, de petits tunnels, de paillage, d'enrubannage, d'ensilage, bâches noires<sup>1</sup>).

On distingue plusieurs catégories de plastiques.

Les thermoplastiques représentent environ 80 % du tonnage des plastiques produits. Ils fondent sous l'effet de la chaleur et reprennent leur rigidité en refroidissant.

Ces matières plastiques peuvent être recyclées et régénérées. On y trouve :

- ✓ Déchets polyéthylène haute densité (PEHD).
- ✓ Déchets polyéthylène basse densité (PEBD).
- ✓ Déchets polyéthylène téréphtalate (PET).
- ✓ Déchets polypropylène (PP).
- ✓ Déchets polychlorure de vinyle (PVC).
- ✓ Déchets polystyrène. (PS)

Parmi les thermodurcissables dont la transformation est irréversible, on trouve le polyuréthane et les polyesters insaturés.

Dans le cadre de la collecte sélective, les collectivités ou entreprises chargées de la collecte n'acceptent dans leur majorité que les emballages plastiques (surtout les thermoplastiques qui offrent des possibilités de recyclage). Les films plastiques, par exemple, sont rarement collectés bien que des filières de recyclages existent, mais peu développées et coûteuses. [13]

#### ***I-4.1. Déchets plastiques industriels***

Les déchets de production et de transformation sont constitués de l'ensemble des déchets issus des processus de production des résines (essentiellement trouvés dans les sites pétrochimiques) et de transformation des résines en objets. Les déchets de production proviennent des arrêts de réacteur de polymérisation, des purges de réacteurs et des lots déclassés. Ils présentent la particularité d'avoir un degré de pollution faible, voire inexistant. On y retrouve, en très grande majorité, les polymères de grande diffusion (PE, PP, PS et PVC). Quant aux déchets de transformation, elles proviennent de toutes les opérations de plasturgie permettant l'obtention de produits finis (extrusion, injection, soufflage, calandrage). [14]

### ***I-4.2. Déchets plastiques de post-consommation***

C'est l'ensemble des déchets issus de la consommation industrielle ou des particuliers. Les déchets plastiques utilisés au cours de cette étude se classent dans cette catégorie.

On distingue :

#### ***I-4.2.1. Déchets plastiques agricoles***

Constitués essentiellement de films, sacs, fûts et bidons de produits phytosanitaires. La particularité de ce gisement réside dans ses fortes contamination (terre, cailloux) et pollution. Il s'agit pour l'essentiel de polyoléfines (PEBD, PEHD et PP).[15]

#### ***I-4.2.2. Déchets commerciaux ou de distributions***

Constituées d'emballages industriels et commerciaux qui sont en général de bonne qualité. Il y a également les fûts, bidons, sacs de grande contenance dans les secteurs de la chimie, l'agroalimentaire, le bâtiment et les travaux publics, pour le conditionnement et le transport de divers autres produits. Enfin, on peut aussi citer le cas des emballages en polystyrène expansé utilisés pour le calage lors du transport de produits fragiles, et dans une proportion moindre, pour les caisses à poisson et les plateaux horticole.[16]

#### ***I-4.2.3. Déchets électriques et électroniques***

Issus de la filière de tous les produits électriques et électroniques tels que les ordinateurs, téléphones, appareils électroménagers et câbles en tout genre.[15]

#### ***I-4.2.4. 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, . . .), le PEHD (bouteilles de lait, produits lessiviels, . . .), le PEBD (sacs d'emballage) et le PVC (bouteilles d'eau minérale, . . .).[16]

#### ***I-4.2.5. Déchets du bâtiment et des travaux publics***

Proviennent de l'huissierie, les tuyaux, revêtements de sols, profilés de fenêtre, conduits électriques, câbles, mousses d'isolation. Ces matériaux sont très fortement mélangés et leur degré de pollution est souvent élevé.[15]

#### ***I-4.2.6. Déchets de véhicules de transport***

Sont représentés par l'ensemble des plastiques constituant les véhicules hors d'usage (en moyenne 14% en masse du véhicule). Ces déchets constituent une fraction très hétérogène par rapport à la nature et l'âge. On y retrouve des polyoléfines, du PVC, des polycarbonates, ABS et 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. [15]

### ***I-5. Domaine D'utilisation déchets plastiques***

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

En génie civil l'utilisation plastique recyclés comme ajout dans la composition d'hourdis pour un but d'amélioration les caractéristique mécaniques et physique etc.

Amélioration du comportement du béton au jeune âge et diminution le pourcentage du vide dans le squelette granulaire. [17]

#### ***I-5.1. Domaines d'applications du (PET) recyclé***

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

D'autres applications sont en voie de développement :

- ✓ Les bouteilles multicouches pour des applications alimentaires.
- ✓ Les fibres longues destinées au textile.
- ✓ Des feuilles et des plaques destinées au thermoformage.
- ✓ Des pièces destinées au secteur de l'électronique et de l'électroménager.

Cependant, toutes ces applications ne permettent pas de valoriser l'ensemble des déchets de PET. Aussi, de nombreuses études sont développées pour trouver de nouveaux procédés de recyclage matière. Les propriétés et caractéristiques moléculaires du PET dépendent énormément de son application. [18]

#### ***I-5.2. Domaines d'applications du (PP) recyclé***

Le (PP) recyclé est utilisé pour donner vie à de nouveaux produits suivant la couleur et la quantité disponible. Souvent, les industriels refabriquent le même genre d'objets : bouteille, emballage plastique, polystyrène, sac plastique, etc.

#### ***I-5.3. Domaines d'applications du (PEHD) recyclé***

Mais le matériau peut également être associé à d'autres matières afin d'obtenir de nouveaux objets aux propriétés différentes. On l'associe par exemple au polyéthylène haute densité – PEHD – code 02 du symbole plastique, afin d'obtenir de résistants tuyaux ou mandrins. [19]

#### ***I-5.4. Domaines d'applications du (PVC) recyclé***

Recyclez le PVC dans les revêtements de sol, les panneaux et les gouttières en bordure de route, pour n'en nommer que quelques-uns. [20]

#### ***I-5.5. Domaines d'applications du (PEBD) recyclé***

De plus en plus de programmes de recyclage commencent à accepter les plastiques (PEBD), mais il est encore assez difficile de les recycler. Le (PEBD) recyclé est transformé en articles tels que des poubelles, des panneaux, des meubles, des revêtements de sol et du film à bulles. [20]

#### ***I-5.6. Domaines d'applications du (PS) recyclé***

PS (polystyrène) Cependant, il n'est pas sûr car le polystyrène est connu à la fois pour la lixiviation de produits chimiques nocifs, en particulier lorsqu'il est chauffé et pour sa faible recyclabilité. , il est généralement jeté, bien que certains programmes de recyclage puissent l'accepter. Le PS est recyclé en divers articles, notamment l'isolation, les fournitures scolaires et l'encadrement de la plaque d'immatriculation. [20]

### ***I-6. Déchets Minéraux***

#### ***I-6.1. Déchets de minéraux naturels***

Les déchets de pierres et sables comprennent les déchets d'extraction et de travail des pierres, sables et graviers, les déchets de forage de galeries et stériles miniers. Elle comprend aussi les déblais de terrassement non utilisés en remblai. [21]



***Figure I-4 Déchets de minéraux naturels***

### ***I-6.2. Déchets minéraux divers***

- Déchets minéraux artificiels  
Comprenant en particulier les déchets minéraux provenant de diverses opérations techniques (déchets de carbonates de calcium, phosphogypses et gypses issus de processus chimiques), les déchets de fibres de roche ou d'émaux.
- Déchets minéraux réfractaires
- Déchets amiantés Amiante, fibrociment.
- Le groupe terres et boues de dragage polluées comprend 2 sous-classes :
  - Terres et gravats pollués comprenant en particulier les terres polluées par des produits chimiques ou pétroliers enlevées pour traitement ou mise en décharge.
  - Boues de dragage polluées comprenant en particulier les boues de dragage polluées par des hydrocarbures ou des substances chimiques telles que HAP (Hydrocarbure Aromatique Polycyclique), PCB (Poly Chloro Biphényle), métaux lourds, etc. leur conférant un caractère dangereux. La plupart des déchets minéraux proviennent des déchets de construction et de démolition.[21]

### ***I-6.3 Déchets de construction et de démolition***

Ce groupe comprend les déchets de revêtement routier. Il ne comprend pas les déchets de démontage de structures métalliques d'ouvrages de construction, les autres produits provenant de la démolition ou du démontage d'ouvrages immobiliers Il comprend 3 sous-classes :

- Les déchets de béton, briques provenant principalement des opérations de démolition ou de construction (déblais et gravats).
- Les déchets de produits céramiques les déchets de pierres et moellons.
- Les déchets de construction en mélange comprenant aussi les déchets de plâtre.

Les données les plus récentes concernant la production de déchets du BTP sont issues d'une enquête statistique nationale menée par le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie en France elle montre que le gisement national de déchets du BTP s'est élevé à 254 millions de tonnes en 2008, dont 38,2 millions de tonnes pour le bâtiment, répartis de la manière suivante.

- ✓ déchets inertes : 27,6 Mt.
- ✓ déchets non dangereux : 10 Mt.
- ✓ déchets dangereux : 0,6 Mt. [21]

Nous mettons en évidence deux types de déchets minéraux qui figurent parmi les composants de base du béton polymérique que nous allons étudier, qui sont les déchets de brique rouge chamotte et les déchets de marbre.

#### ***I-6.4. Brique***

La brique est un élément de construction généralement en forme de parallélépipède rectangle constitué de terre argileuse crue, séchée au soleil - brique crue - ou cuite au four, employée principalement dans la construction de murs , Il est composé d'argile ou d'autres matières argileuses, avec ajout ou non de sable, combustible ou autre adjuvant, porté à une température suffisamment élevée pour former une liaison céramique. [22]

#### ***I-6.5. Déchet de brique***

Les déchets de briques sont des sous-produits de l'industrie des produits rouges Ils se trouvent en grande quantité au niveau national à cause du nombre élevé de briqueteries et des taux de rejets (briques non conformes où cassées) qu'elles génèrent et qui représentent 10 à 15 % de leurs productions. [23]

#### ***I-6.6. Marbre***

En géologie le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire et constituée Principalement de cristaux de calcite. En architecture, sculpture et marbrerie ce terme peut désigner n'importe quelle pierre difficile à tailler et capable de prendre un beau poli, dont les plus courantes sont les « vrais » marbres.

Le marbre est classé selon son type et son type varie de pierre en pierre. Il existe trois Classifications de marbre :

La Dolomite, le Magnésium et la Calcite.

- ✓ la Dolomite contient plus de 40% de carbonate de magnésium.
- ✓ le Magnésium contient entre 5% et 40% de magnésium.
- ✓ la Calcite contient moins de 5% de carbonate de magnésium.

Le produit marbrière Algériens sont extraits et transformés conformément aux normes européennes : Italienne et françaises en particuliers. Les procédés utilisés en Algérie pour le travail du marbre sont ceux utilisés dans le monde. [24]

#### ***I-6.7. Déchet de Marbre***

Les marbres en Algérie sont exploités par l'entreprise nationale du marbre « ENAMARBRE » par six carrières à bloc, cinq carrière de granulats et dérivés de marbre et cinq unités de transformation.

Le taux de déchets est de 50.000m<sup>3</sup> (carrière à bloc) et 12000t dérivés de marbre à Oran, 10.000m<sup>3</sup> (carrière à bloc) à Guelma et 8.000m<sup>2</sup> (usine de transformation) à Sig.

Une carrière à blocs de marbre blanc et réséda vert, les déchets de cette carrière sont les bocains, chutes et moellons ayant différentes formes géométriques, le taux de déchets est de 56% de la production.

Les déchets de l'usine de transformation ce sont les chutes de tailles des blocs et les chutes des carreaux et dalles et poudres de marbre, le taux de déchets est de 22m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, le stock est de l'ordre de 20.000m<sup>3</sup>. [25]

### ***I-6.8. Domaine D'utilisation Déchets minéraux***

Le déchet de la carrière dérivée est un tout venant (marbre de différentes classes granulaires), le taux de déchets est de 19% de la production pour l'année 2007, le stock jusqu'à la fin 2007 est de l'ordre de 15 740 tonnes. Le tout venant de la carrière dérivée de Fil-Fila sont destiné à la construction des routes. [26]

Les déchets de Marbre, surtout, ceux qu'on trouve en quantités énormes dans les tas de décombres de nos villes, ainsi que les incuits et surcuits de marbrerie, peuvent être concassés pour produire des granulats d'un béton léger:

De structure pour semelles de fondation, pour parois de caves et éléments de construction en béton armé d'un poids spécifique de 1600 à 2100 kg/ m<sup>3</sup>, d'une résistance à l'écrasement de 50 à 320 kg /cm<sup>2</sup>, présentant une élasticité remarquable à la pression et à la flexion composée, de faibles coefficients de retrait et des indices de conductibilité et de dilatation relativement bas. Le béton de déchet de marbre a déjà trouvé, il y a longtemps, son utilisation dans les revêtements de routes sur les ponts, suite de sa faible densité. [27]

À nos jours, la très grande majorité des déchets inertes est éliminée en mélange, en particulier ceux du secteur du bâtiment, ce qui limite les possibilités de valorisation. Par ailleurs, les déchets de brique de l'industrie sont eux aussi éliminés dans des décharges qui sont parfois sauvages sans valorisation significative. Des tas de débris de brique gênants dont le détenteur se défait, trouvent parfois des utilisations locales occasionnelles sous une forme assez dépourvue d'orthodoxie scientifique. Parmi les exutoires utilisés comme remède de la situation vivante et d'après les sources des briqueteries :

- ✓ Plates-formes en béton.
- ✓ Chapes en mortier du ciment.
- ✓ Étanchéité : forme de pente en isolation de toiture.
- ✓ Réfection de planchers anciens.
- ✓ Béton réfracteur utilisé pour revêtement des wagons de brique.
- ✓ Remblaiement des fouilles et de site, etc.
- ✓ Les déchets de briques, surtout, ceux qu'on trouve en quantités énormes dans les tas de décombres de nos villes, ainsi que les incuits et surcuits de briqueterie, peuvent être concassés pour produire des granulats d'un béton léger.
- ✓ Les déchets de brique conviennent bien pour les bétons réfractaires, qui sont, en général, utilisés pour la confection d'ouvrages soumis à des températures élevées tels que revêtements des chaudières, cheminées ,carreaux de cheminées, conduites de fumées, de sols d'usines sidérurgiques, de parties de four. [28]

### *I-7. Définition de Recyclage*

Dans la littérature, il apparaît de nombreuses définitions du recyclage. Le recyclage est le retraitement d'anciens matériaux en nouveaux produits, dans le but d'éviter le gaspillage de matériaux potentiellement utiles. Une autre signification du recyclage consiste à prendre un produit ou un matériau à la fin de sa vie utile et à le transformer en une matière première utilisable pour fabriquer un autre produit , [4]est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. [29]

La méthode d'élimination en fin de vie d'un produit dépend largement de sa conception. Par conséquent, le produit doit être analysé et/ou évalué pour sa recyclabilité dès la première étape de son cycle de vie, c'est-à-dire pendant le processus de conception. Un certain nombre de facteurs, tels que la disponibilité des technologies de traitement des matériaux, les coûts de recyclage ou la rentabilité de certaines méthodes d'élimination en fin de vie, sont imprévisibles au stade de la conception ; cependant, certaines prédictions peuvent être faites. Les hypothèses de base doivent inclure la facilité de démontage, l'évitement de l'utilisation de matériaux nocifs et la compatibilité des matériaux à des fins de recyclage. [30]

Et le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine. [31]L'Alliance mondiale pour les alternatives aux incinérateurs affirme que le recyclage permet d'économiser trois à cinq fois l'énergie générée par les usines de valorisation énergétique des déchets, même sans compter l'énergie gaspillée dans les matériaux brûlés. [32]



*Figure I- 5 ligne de recyclage plastique*

## ***I-8. Type de recyclage***

Il existe trois types de recyclage [33]

### ***I-8.1. Recyclage in situ***

Consiste en la réutilisation immédiate des déchets. De plus, le transport n'intervient pas dans le coût des granulats. Dans le domaine routier, par exemple, la nouvelle chaussée est réalisée à partir du matériau de recyclage de l'ancienne chaussée. L'Allemagne et l'Angleterre possèdent plus d'installations mobiles que fixes. En revanche, la possibilité de retrait de certaines impuretés est réduite et la qualité des granulats est irrégulière. De ce fait, le champ d'utilisation des granulats ainsi fabriqués reste limité. [33]

### ***I-8.2. Recyclage sélectif***

Il est choisi lorsque les matériaux de démolition sont homogènes ; il nécessite que les quantités stockées soient suffisantes. [33]

### ***I-8.3. Recyclage en site fixe***

Les matériaux de démolition sont acheminés vers des installations montées en permanence sur un même site. Il s'effectue dans des conditions industrielles. [33]

## ***I-9. But et les avantages de Recyclage***

Le but du recyclage est de transformer des déchets en produits réutilisables. Les bienfaits du recyclage sont nombreux : Il permet de lutter contre la pollution. Il favorise la création de nouveaux produits et l'économie d'énergie dans l'optique du développement durable. Le recyclage permet aussi de faire des économies et de gagner de l'argent.

### ***I-9.1. Lutter contre la pollution***

Généralement, nos déchets, une fois collectés, sont incinérés, enterrés, mis en décharge ou éliminés dans la nature. Par conséquent, cela inclut la pollution de l'atmosphère et la participation au réchauffement climatique. Cependant, le recyclage nous permet de réutiliser une partie de nos déchets et d'éviter de polluer davantage.

Le recyclage réduit également l'utilisation de l'énergie, les déchets solides municipaux mais aussi les émissions de dioxydes de carbone (CO<sub>2</sub>), d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et de dioxydes de soufre (SO<sub>2</sub>). [34]

Car 1 tonne de plastique recyclé équivaut à 800 kg de pétrole brut économisé. La protection de l'environnement, car moins de déchets plastiques seront jetés- La protection des espèces animales en général et des espèces aquatiques en particulier. [35]

Il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières. [33]

### ***I-9.2. Économiser de l'énergie***

Diminuer la consommation de pétrole, la production de plastique utilisant approximativement 8% de la production de pétrole [34]

Recycler une tonne de bouteilles en plastique permet d'économiser : 830 litres de pétrole (soit plus de 3 barils), 430 m<sup>3</sup> de gaz naturel, la consommation en énergie d'un habitant durant 14 mois, la consommation domestique en eau d'un habitant durant 2 mois [6]

Le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité [33]

Le fait de recycler certains déchets tels que le recyclage du plastique, de l'aluminium, du papier... évite d'avoir à utiliser de nouvelles ressources naturelles pour les fabriquer à partir de zéro. Par conséquent, le recyclage permet aux fabricants de reconditionner des produits avec moins d'énergie. En pratique, l'énergie nécessaire pour fabriquer des produits à base de matériaux recyclés est réduite de 30 % en moyenne par rapport aux nouveaux produits fabriqués à partir de zéro.

### ***I-9.3. Préservation des ressources***

Parce que moins de matières premières seront utilisées et la préservation de la couche d'ozone, car moins de matières nuisibles seront brûlées. [35]

### ***I-9.4. Faire des économies***

L'aluminium est recyclable à 100% ; 1 kg d'alu donne 1 kg. Chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois. Chaque feuille de papier recyclé fait économiser 1 L d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois. [33]

Valorisation des déchets pour la production des nouveaux matériaux.- Libérer les espaces de stockage occupé par les déchets dans les décharges. [35]

### ***I-10. Inconvénients du recyclage***

Bien qu'avantageux sur plusieurs plans, le recyclage présente aussi quelques inconvénients :

Le tri sélectif est indispensable au recyclage. Les déchets doivent être classés en fonction du mode de recyclage qui leur est adapté. Pour que le tri soit le plus correct possible, un investissement dans la sensibilisation des collaborateurs est nécessaire [35]

Il faut beaucoup d'argent pour construire une nouvelle unité de recyclage des déchets. Les coûts qui en découlent comprennent l'achat de différents types de véhicules utilitaires, la gestion des déchets, la mise à niveau de l'unité de recyclage.

L'ensemble du processus de recyclage présente également un risque pour la santé des personnes responsables du recyclage de ces déchets.

Malheureusement, la multiplicité des types de matière plastique et de composition d'une même matière plastique, l'incompatibilité de certains polymères entre eux et la difficulté de reconnaître et de séparer les différents polymères induisent de nombreux problèmes au niveau, notamment, du tri sélectif, en particulier pour les déchets plastiques de postconsommation [6]

### ***I-11. Valorisation matière***

Elle peut être liée au recyclage dans la mesure où les matériaux sont préparés pour être recyclés, en effet le recyclage varie selon la composition des déchets (plastique, fer, papier...)

Le recyclage constitue un enjeu crucial face aux gisements des déchets ce qui nécessite l'amélioration de la filière de récupération et cela par l'intégration de la technologie de l'information et des moyens modernes de traitement. La problématique du recyclage est liée à l'obtention des matières recyclées de qualité proche de celle des matières vierges et aux moindres coûts. [36]

#### ***I-11.1. Valorisation des déchets plastiques***

Les produits de grande qualité remplaçant des objets issus de polymères vierges peuvent être obtenus lorsque des déchets plastiques purs sont utilisés. Il est important de faire la distinction entre les produits recyclés ayant les mêmes utilités que les produits d'origine (par ex. : de la bouteille à la bouteille) et ceux qui ont une application différente (par ex. : de la bouteille aux fibres plastiques). Indicateur de l'avantage écologique du recyclage comparé à la production de matériaux vierges. [37]

##### ***I-11.1.1. Valorisation énergétique***

Consiste à incinérer les déchets plastiques pour récupérer l'énergie qu'ils contiennent sous forme de chaleur. Les plastiques, composés de pétrole raffiné, ont une capacité calorifique proche de celui-ci. Cette méthode de valorisation permet de recycler une grande partie des déchets plastiques. En revanche si elle est mal maîtrisée elle peut présenter des risques majeurs pour l'environnement et la santé des êtres vivants par l'émission de dioxines et de HAP, molécules cancérigènes présentes dans les fumées. [38]

##### ***I-11.1.2. Valorisation mécanique***

Le recyclage mécanique, est le processus de recyclage du plastique le plus utilisé. C'est la transformation d'un produit plastique post-consommation en un nouveau produit ayant un niveau de propriétés physiques, mécaniques et/ou chimiques inférieur. Typiquement, selon l'origine et la composition du plastique, toute une série de pré-processus y sont inclus tels que la collecte, le tri, le lavage ou le broyage. Une fois séparés par type de polymère et de taille suffisamment petite, ils sont soumis à une opération de moulage telle que l'extrusion pour obtenir de nouvelles formes et un nouvel usage, bien souvent en fibres textiles. Il faut cependant faire attention car le recyclage mécanique du plastique peut causer une dégradation et une

diminution de l'homogénéité de celui-ci et donc un amoindrissement de ses qualités physico-chimiques. En effet, l'énergie et la chaleur apportée peuvent être à l'origine d'une photo-oxydation et/ou d'un stress mécanique. [34]

Ambrose et al. Ont effectué le recyclage mécanique des déchets plastiques 100% post consommation à des produits de haute qualité. Les propriétés chimiques et physiques de ces matériaux recyclés ont été comparées avec les mêmes produits fabriqués à partir de résines vierges. Les propriétés d'une bouteille moulée par soufflage préparé à partir de 100% postconsommation en polyéthylène haute densité (PEHD) a montré que ce polymère recyclé dépassait les spécifications des matériaux conçus à partir des plastiques vierges. [39]

#### ***I-11.1.3. Valorisation chimique***

Consiste à transformer la matière plastique en molécule de base (polymère, ester...) pouvant Servir à la synthèse d'une nouvelle matière plastique, ou pour la pétrochimie. Ces technologies sont encore peu développées ou limitées à certaines natures de résines plastiques. On ne les utilise que dans les pays du nord et les pays émergents. [40]

Le plastique peut être réutilisé par la dépolymérisation suivant deux procédés, par Hydrolyse (décomposition chimique) et pyrolyse (décomposition thermique). Par exemple le PET (poly téréphtalate d'éthylène) peut être chimiquement modifié pour produire le polyester insaturé, le polyester thermodurcissable généralement utilisé dans des baignoires, les coques de bateau, et les panneaux d'extérieur d'automobile. [39]




#### ***I-11.1.4. Valorisation des déchets plastiques dans le BTP***

En Europe, le secteur du Bâtiment et des Travaux Publics a utilisé plus de 9 millions de tonnes de plastiques, ce qui le positionne à la seconde place européenne des plus gros consommateurs de plastiques. Plus de 56% des déchets plastiques ont été valorisés, soit 20% de valorisation matière et 36% de valorisation énergétique. La France est encore en retrait par rapport à la moyenne européenne puisqu'elle ne réalise que 16% de recyclage des matières plastiques du secteur. On remarque une implication progressive du BTP : +4% de valorisation des déchets plastiques entre 2009 et 2010 en Europe. Une nouvelle positive puisque le Grenelle de l'environnement a souhaité porter à 70% le taux de recyclage et valorisation matière des déchets du BTP d'ici 2020. [12]

#### ***I-11.1.5. Les symboles du recyclage sur les emballages plastiques***

De manière générale, la plupart des contenants en plastiques peuvent être recyclés mais il est bon de savoir à quelle sorte de plastique nous avons à faire quand nous achetons ou nous recyclons. C'est pour cela qu'il faut traquer le logo figurant sur l'emballage lui-même. Que ce soit sur une bouteille, un flacon, une barquette alimentaire, etc. Quelques codes d'identification de matières plastiques en fonction de leur recyclabilité ont été déterminés et sont énumérés dans le (tableau I-1).

Tableau I- 1 Symboles et caractéristiques des différents types de plastiques recyclables

N° de recyclage	Abréviations	Nom du polymère	Utilisation
	PETE ou PET	Polyéthylène téréphthalate	Recyclable pour produire des bouteilles de limonade, des plateaux de traiteur et de boulangerie, des vêtements, des tapis, des pinceaux, etc.
	HDPE ou PEHD	Polyéthylène haute densité	Recyclable pour produire des bouteilles, sacs à provisions, poubelles, tuyaux agricoles, sous-tasses, barrières, équipement de terrains de jeu, bûches plastiques, Conteneur d'acide (le PEHD est un plastique qui résiste aux acides)
	PVC	Polychlorure de vinyle	Recyclable pour produire des tuyaux, des profilés pour la construction (fenêtres, lames de terrasses, portails...) des grillages et des bouteilles non-alimentaires.
	LDPE ou PEBD	Polyéthylène basse densité	Recyclable pour fabriquer des sacs et films plastiques.
	PP	Polypropylène	Recyclable en pièces de voiture, cabarets, tapis et fibres géo-textiles et industrielles.
	PS	Polystyrène	Recyclable dans une grande variété de produits incluant accessoires de bureau, cabarets, jouets, cassettes vidéo et boîtiers, et panneaux isolants.
	OTHER	Autres plastiques, incluant le polycarbonate, l'acrylique et le nylon Le code SPI 7 est utilisé pour tous les plastiques ne faisant pas partie des 6 autres types. Malgré leur inclusion dans des articles populaires tels que les lunettes de soleil, les boîtiers d'ordinateur, le nylon, les disques compacts et les biberons, ces plastiques contiennent le bisphénol-A chimique toxique. Non seulement ils sont dangereux, mais ces types de plastiques sont également extrêmement difficiles à recycler car ils ne se décomposent pas facilement.[20]	

## ***I-11.2. Valorisation des déchets Minéraux***

### ***I-11.2.1. Valorisation des déchets de brique***

Il existe peu d'informations disponibles sur le devenir des débris de briques de terre cuite qui constituent la plus grande partie des déchets de démolition et de décombres ,d'une part, techniquement ,les débris de briques sont pratiquement recyclés comme composant d'un matériau type maçonnerie . D'autre part, l'absence quasi-totale des textes réglementaires qui régissent la fabrication et l'utilisation des granulats de débris de briques. [41]

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. [23]

Le recyclage de briques provenant de chantiers de démolition est une réalité depuis plus de dix ans. Aujourd'hui, plus de 95% des déchets de démolition sont recyclés. Les briques sont transformées en granulats dans des installations de concassage, ces granulats sont alors mis en œuvre dans des travaux de fondations. A petite échelle, certaines entreprises de démolition récupèrent les briques en les nettoyant du mortier. Elles peuvent alors être réutilisées pour des travaux de restauration ou pour des nouvelles constructions auxquelles elles donnent un certain cachet. Si la réutilisation de briques et tuiles reste marginale à l'heure actuelle, on peut s'attendre à une croissance dans le cadre de la démolition sélective des bâtiments. [22]

### ***I-11.2.2. Valorisation des déchets de Marbre***

L'utilisation du déchet poudre de marbre et granite est très nécessaire, d'une part pour éviter la pollution de la nature et d'autre part pour protéger les ressources naturelles. Actuellement, la poudre de marbre est l'une des additions minérales les plus utilisées dans la production du béton dans le monde entier notamment en Turquie. Ce pays est très riche en marbre. Il possède 700 carrières, 250 types de marbre et des réserves qui représentent 40% des réserves mondiales. Peu des travaux traitant l'effet de l'incorporation de la poudre de marbre (PM) sur les bétons et les mortiers ont été publiés. Topçu et al. ont étudié l'effet des PM sur les propriétés des BAP. [42],

Ces auteurs ont trouvé qu'une teneur en PM de 200 (kg /m<sup>3</sup>) est appropriée pour améliorer les propriétés des BAP à l'état frais et durci. Guneyisi et al. ont montré que l'introduction de PM dans les mortiers autoplacants par substitution partielle au ciment conduit vers l'augmentation du temps d'écoulement TV et du temps de début et de fin de prise, tandis qu'elle diminue la résistance à la compression et la vitesse de propagation d'ondes. Ergun a rapporté que le remplacement de 5% du ciment par de PM améliore la résistance à la compression des bétons conventionnels en raison de sa grande finesse (5960 g/cm<sup>2</sup>). Aruntas et al. ont étudié la possibilité de produire des ciments composés contenant des déchets de marbre. Ces

auteurs ont rapporté qu'il est possible de réduire le coût de production du ciment en utilisant 10% des déchets de marbre. [42]

### ***I-12. Etapes de recyclage des déchets plastiques***

#### ***a. Tri***

Pour le recyclage des emballages plastiques. On fait le tri des déchets plastiques à la maison et les dépose dans le bac ou conteneur de tri sélectif : toutes les bouteilles et flacons en plastique, et peut-être aussi les pots de yaourts, barquettes de légumes, sacs et films plastiques si la commune participe déjà à l'extension des consignes de tri. Les déchets collectés partent ensuite dans un camion à destination du centre de tri. [12]



***Figure I- 6 Le tri des déchets.***

#### ***B. Centre de tri***

Une fois arrivés dans un centre de tri, pour les emballages plastiques, le processus de recyclage continue. A partir de ce moment-là, ils sont triés par grande famille comme par exemple: le polyéthylène téréphtalate (PET), le polyéthylène (PE), le polystyrène (PS), et le polypropylène (PP), etc. .... Une fois triés de la sorte, les emballages plastiques usagés sont aplatis pour former d'énormes cubes que l'on appelle des balles de plastique. Compactés de la sorte, ils sont prêts à être conduits vers une usine de régénération et de recyclage de plastique. [12]



*Figure I- 7 Balles de plastique.*

### *C. Broyage, lavage et séchage*

Après la collecte et tri des déchets plastiques, ils sont broyés qui sont transformés en paillettes, puis ils sont lavés à chaud. Les paillettes propres doivent être complètement séchées. (Toute humidité résiduelle peut affecter la qualité du produit fini) (Figure I- 8(A). (B)). [36]



*Figure I- 8 (A) Broyage plastique (B) lavage des déchets plastiques*

### *D. Fonte et le filtrage*

Les paillettes séchées sont passés dans une extrudeuse où la chaleur et la pression font fondre le plastique. (Chaque type de plastique a un point de fusion particulier). [36] Le plastique broyé va alors entamer une phase d'extrusion. Elle consiste à faire fondre le dans une machine pour donner des joncs qui seront refroidis dans l'eau puis coupés pour former des granulés. [43] Les granulés partent ensuite dans des usines de recyclage pour vivre une nouvelle [12]



*Figure I- 9 Extrudeuse pour plastique recyclé*

# **CHAPITRE II**

## **Le Bétons Polymère**

## *II Bétons Polymère*

### *II-1- Introduction*

Depuis ses premières applications au XIXe siècle, le béton de ciment portland fut le matériau de construction le plus utilisé mondialement. [44] Son faible coût et sa résistance de compression élevée ont largement contribué pour son acceptation universelle.[16]

Et pourtant, cette dominance n'annule pas le fait qu'il présente quelques insuffisances empêchant son utilisation dans les projets de hautes performances et d'architectures complexes.[44] parce que il présente quelques inconvénients. Ces inconvénients sont une faible résistance en flexion et en traction, une porosité élevée, une détérioration au gel, dégel ainsi que sa destruction par des produits corrosifs.[16]

Ces insuffisances ont fait l'objet de recherches extensives pendant les deux derniers siècles afin de lui apporter les propriétés nécessaires pour qu'il puisse répondre efficacement à toutes les exigences techniques en termes de performances physiques, chimiques et particulièrement mécaniques. L'amélioration des caractéristiques du béton portland passe par l'amélioration des propriétés de son liant hydraulique qui est le ciment à travers l'introduction de nouveaux constituants dans sa formulation. Un des étapes importantes était l'incorporation des caoutchoucs naturel dans le mélange du béton ce qui a fait une amélioration considérable de ses performances en compression. Cette découverte a incité les chercheurs à l'invention des polymères produits par l'industrie. Le mélange de ces substances chimiques avec le ciment pour construire a contribué à la création d'une nouvelle gamme de matériaux de construction qui est le béton polymère.[44]



*Figure II- 1béton polymère*

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 [45]. 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 [46]. 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. [47]

## ***II-2- Définition du Bétons Polymère***

Le béton polymère est un matériau composite, relativement récent, dans lequel le liant hydraulique est totalement substitué par un autre polymère qui est une résine thermodurcissable et contenant des charges minérales (granulats, sable...). Des durcisseurs et des catalyseurs sont ajoutés à la résine avant le malaxage avec les agrégats pour assurer et accélérer sa polymérisation totale. On l'appelle aussi béton de résine synthétique ou béton de résine plastique. [44]

Le béton polymère est constitué de charges minérales (granulat, sable, ...) et d'un liant polymère. On l'appelle aussi béton résineux synthétique ou béton résineux plastique. La légèreté de ce matériau facilite énormément sa mise en chantier et la présence de résine réduit l'absorption d'eau et garantit ainsi sa complète étanchéité. Ces matériaux résistent bien à l'abrasion et possèdent une grande stabilité aux cycles gel-dégel. En outre, comme ils ont une plus grande résistance mécanique comparativement aux bétons conventionnels fabriqués à base de ciment portland, ils permettent d'économiser jusqu'à 50% de matériau. [16]

## ***II.3. Historique des BP***

### ***II.3.1. Matériaux ancêtres***

Était en 1909 la première indication de l'utilisation de polymères naturels dans le béton de ciment, aux États-Unis, lorsqu'un brevet a été accordé à L.H. Backland. Treize ans plus tard, en France, un autre brevet sur la modification de polymères naturels pour mortier de ciment a été accordé à M.E. Varegyas. Les polymères dans le béton ont progressé en 1923 avec le brevet de L. Cresson pour les matériaux de revêtement routier modifiés au caoutchouc en Grande-Bretagne. [48]

### ***II.3.2. Développement des composites béton-polymère***

La production de BP par technique d'imprégnation complète était l'un des développements matériels les plus excitants lorsqu'il a été annoncé.

Ce nouveau matériau pouvait développer des résistances mécaniques jusqu'à trois à quatre fois supérieures à celles du béton à partir duquel il était fabriqué et, en plus, avait une excellente durabilité et résistance

chimique, en raison de sa perméabilité extrêmement faible. Avec de telles propriétés exceptionnelles, de nombreuses applications étaient prévues. Il a été utilisé pour la première fois dans l'industrie du bâtiment aux États-Unis, en 1958, pour la fabrication de panneaux muraux préfabriqués innovants et de marbre artificiel. En Europe, il a été utilisé comme matériau de réparation de préemballage dès 1961. L'intérêt croissant pour les grandes performances des BP a conduit les chercheurs à explorer l'utilisation de monomères et de résines comme liants pour les granulats. Le BP s'est rapidement révélé être un excellent matériau tant pour la réparation du béton que pour la préfabrication d'éléments de construction.[48]

#### ***II-4. Constitue***

Le béton de résine est formé par un squelette granulaire (les agrégats) et un liant polymère parfois thermoplastique mais dans la plupart des cas thermodurcissable. [49]

##### ***II.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).[31]

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.[47]

##### ***II-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.[49]

#### ***II.5. Classification des bétons polymères***

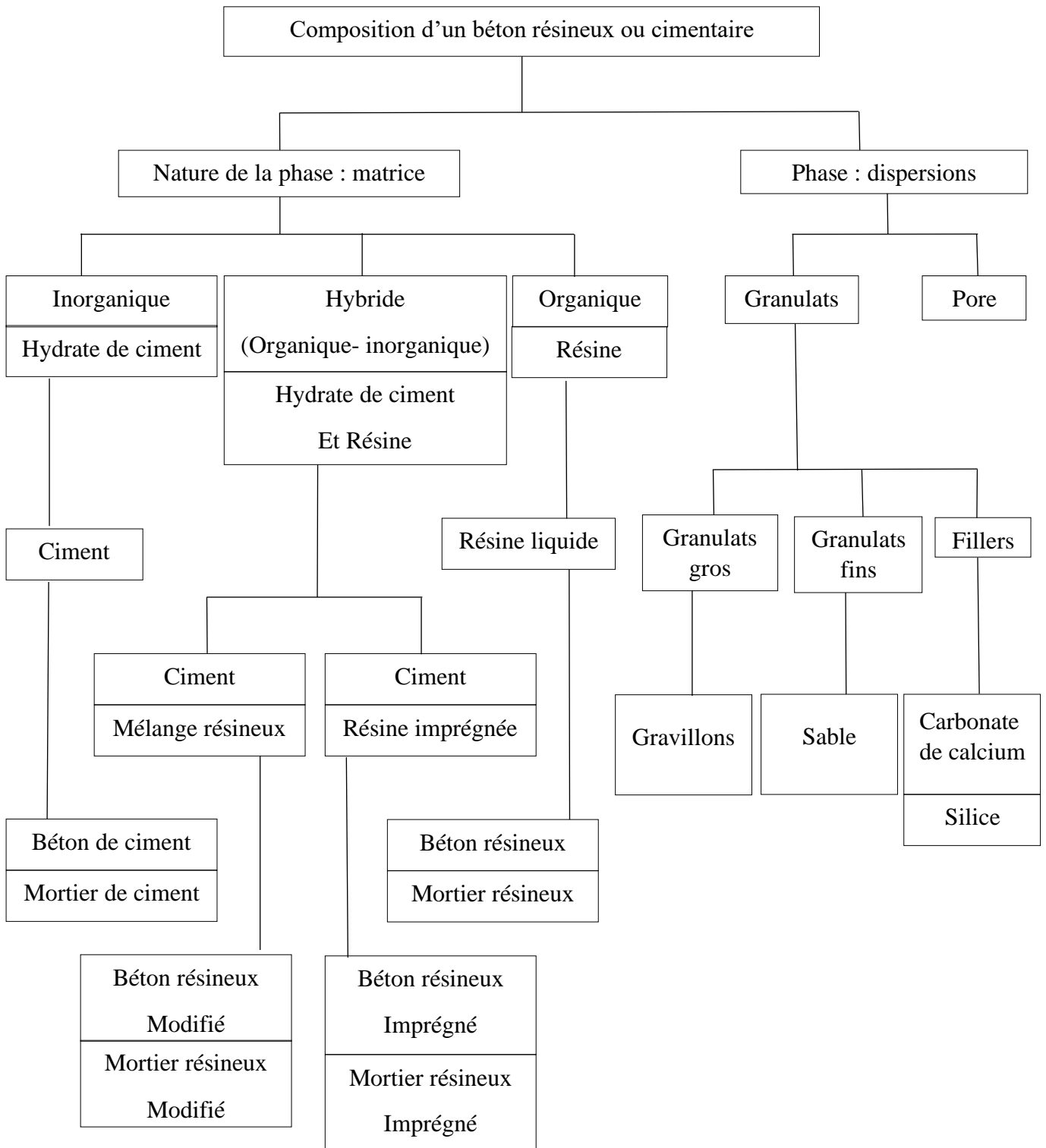
Les bétons de résine sont classés généralement en trois catégories selon le processus technologique de fabrication :

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

➤ Béton ou Mortier Résineux « BP ou MP »

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.[50]

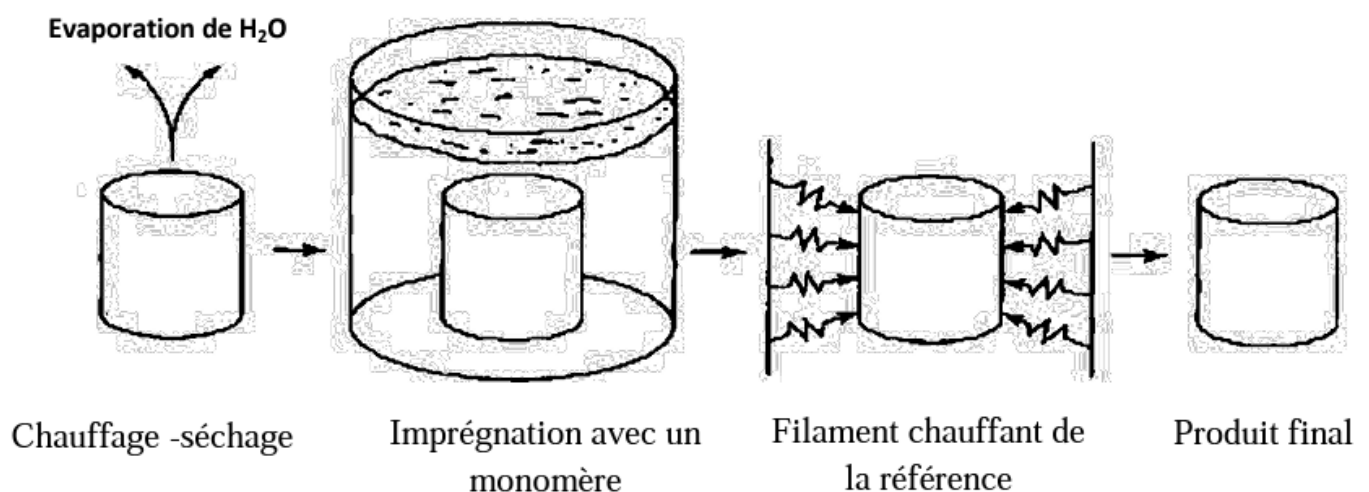
**Tableau II- 1 Classification des Béton et Mortier Résineux[50]**



### II.5.1. Le béton imprégné de résine

Selon Fowler, le béton imprégné de polymère est le premier béton polymère composite qui a reçu une attention répandue avec un certain intérêt commercial. La résistance aux attaques chimiques des acides est l'un des plusieurs propriétés distinctives de ce matériau. [51] On obtient ce béton en imprégnant du béton de ciment Portland préfabriqué et durci avec un monomère à faible viscosité (sous forme liquide ou gazeuse) qui se transforme en polymère solide sous l'action d'agents physiques (rayons ultraviolets ou chaleur) ou chimiques (catalyseurs). [16] Les monomères les plus utilisés pour l'imprégnation font partie des familles acryliques et vinyliques : méthacrylate de méthyle (MMA), styrène, acrylonitrile, acétate de vinyle. [51] Le procédé consiste: à faire sécher du béton ordinaire, à chasser l'air des pores ouverts (par application du vide ou introduction du monomère sous pression) et de saturer ceux accessibles par diffusion de monomères à faible viscosité ou d'un mélange prépolymère-monomère et enfin à faire polymériser dans la masse de béton le monomère ou le mélange prépolymère-monomère par la méthode la plus économique et la plus pratique, généralement par radiation, chaleur ou amorce chimique. [16] Le béton imprégné de polymère assure aussi des avantages importants par rapport au béton conventionnel du point de vue force et durabilité en améliorant la structure poreuse du béton (faible perméabilité). 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 à la traction et à la flexion. La durabilité est également améliorée en particulier celle au gel-dégel. [51] La résistance en compression peut être portée de 35 à 140 MPa, l'absorption d'eau réduite considérablement et la résistance aux cycles gel-dégel améliorée de façon sensible. [16]

Les deux méthodes les plus couramment utilisées pour la polymérisation dans les systèmes imprégnés sont appelées thermo-catalytique et promu-catalytique. Une troisième méthode, impliquant des rayonnements ionisants, est moins fréquemment utilisée. Une description du processus simplifié pour les BIP, utilisant la polymérisation thermocatalytique est montrée dans la figure II.2. [52]



*Figure II- 2 Schéma de la méthode de la production de BIP[52]*

### II.5.2. Le béton additionné de résine

Le béton modifié par adjonction de polymère (PMC) a déjà été utilisé dans diverses applications dans l'industrie de la construction depuis que le concept de la modification des matériaux cimentaires par les polymères a été présenté dans les années 1920 [51]. Le béton additionné de résine est un béton modifié dans lequel une partie du ciment (10 à 15% en masse) est remplacée par un polymère organique synthétique. On le fabrique en incorporant au mélange à béton de ciment un monomère, un mélange prépolymère-monomère ou un polymère dispersé (latex). Pour faire polymériser le monomère ou le prépolymère-monomère, on lui rajoute un catalyseur. Le béton imprégné de polymère est réalisé à partir d'éléments préfabriqués. [42]

Il y a plusieurs types de mortiers et bétons modifiés par des polymères. Les polymères utilisés sont :

- des latex, constitués de particules de copolymères dispersées en milieu aqueux (diamètres compris entre 0,05 et 5  $\mu\text{m}$ ). Les plus utilisés sont les latex acryliques, en particulier ceux à base de poly (éthylène-vinyle acétate) ou EVA, de poly (acrylique ester) ou PAE, et de poly (acétate de vinyle) ou PV Ac. L'adjonction de produits émulsifiants permet par ailleurs d'assurer la stabilité de la dispersion.
- des polymères hydrosolubles, les plus courants étant les dérivés de la cellulose, l'alcool polyvinylique ou PVA, le polyacrylamide. [51]

De façon générale, le béton modifié au latex de polymère adhère très bien à l'acier d'armature et au béton ancien; il possède une bonne ductilité, est relativement imperméable à l'eau et aux solutions aqueuses renfermant des sels, et il résiste bien à l'action des cycles gel- dégel. Sa résistance en flexion et sa ténacité sont généralement plus élevées que dans le cas du béton non modifié. [16]

Ont montré qu'un PMC avec un ratio en masse polymère/ ciment de 15% a une étanchéité à l'eau plus importante, une meilleure protection de l'acier contre les chlorures, une amélioration de la résistance à l'abrasion et une meilleure résistance à la solution de sulfate par rapport aux bétons traditionnels. Les différentes étapes conduisant à la formation de la matrice mixte polymère/ciment sont présentées sur la Figure II. 4 :

- La première étape correspond au mélange des composants (polymère, grains de ciment, agrégats) et au début de l'hydratation.
- Dans la deuxième étape, une fraction des particules de polymère se dépose à la surface des grains de ciment et des agrégats. Ces particules peuvent coalescer et former un film à la surface de certains grains, retardant ou inhibant ainsi la réaction d'hydratation de ces grains.
- A la troisième étape, les hydrates précipitent dans la phase interstitielle liquide, conduisant à la formation d'un composé mixte organique/inorganique.
- Les processus d'hydratation et de formation du film polymère se poursuivent dans la dernière étape : la fraction de particules polymères qui est encore présente dans la dispersion devient confinée au niveau des pores capillaires et à l'interface agrégats/matrice. C'est cette fraction qui contribue le plus à l'amélioration des propriétés mécanique du matériau.[53]

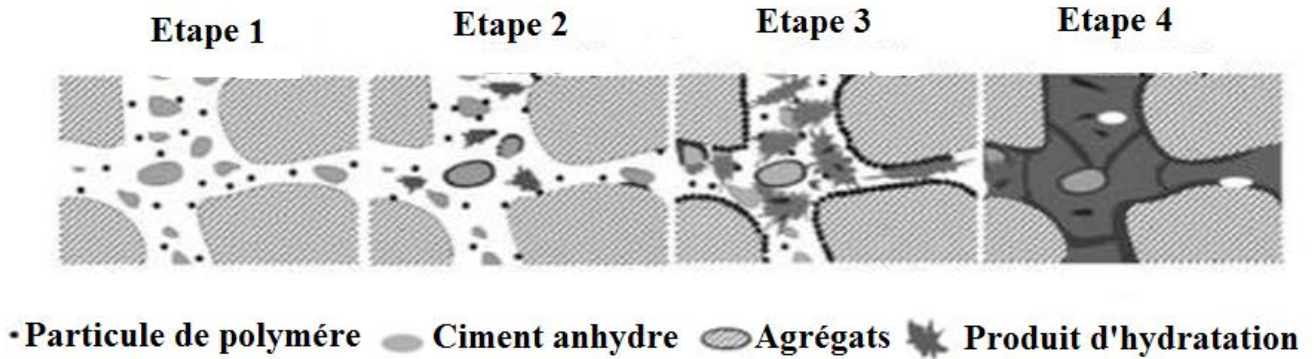


Figure II- 3 Schéma du modèle simplifié expliquant la formation d'une matrice mixte polymère/ciment[53]

II.5.3. Le béton de résine

Dans ce béton, la matrice cimentaire ou le liant (ciment Portland/eau) dans le béton conventionnel, est remplacé par une matrice organique : un polymère. Le béton obtenu est connu sous la dénomination anglo-saxonne « Polymère Concrète PC ». Il est désigné par béton à matrice organique BMO ou « béton polymère ». Ce polymère est parfois thermoplastique mais généralement thermodurcissable. Lorsque la charge est constituée de sable, le composite obtenu est appelé mortier polymère. Parmi les autres charges minérales figurent la pierre concassée, le gravier, le calcaire, la craie, le condensât de silice (poudre de silice, poussière de silice), le granit, le quartz, l'argile, le verre expansé et les fines particules métalliques. Comparé au béton de ciment Portland, ce composite possède une faible perméabilité et une meilleure résistance aux attaques chimiques. Ce béton polymère a été utilisé dans les années 50 essentiellement dans la fabrication du marbre synthétique et des sanitaires (comptoirs, lavabos, ...). Ses applications se sont ensuite diversifiées et ont énormément augmentées dans le domaine du génie civil. Des efforts considérables ont été faits pour développer l'utilisation du BMO en tant que matériau de réparation pour béton. Son durcissement rapide, son excellente adhérence au béton, sa résistance mécanique élevée et sa durabilité en font un matériau de réparation très attractif. [53] Les polymères utilisés pour ce système sont parfois thermoplastiques, mais dans la plupart des cas thermodurcissables, voir la figure 1.4.[52]

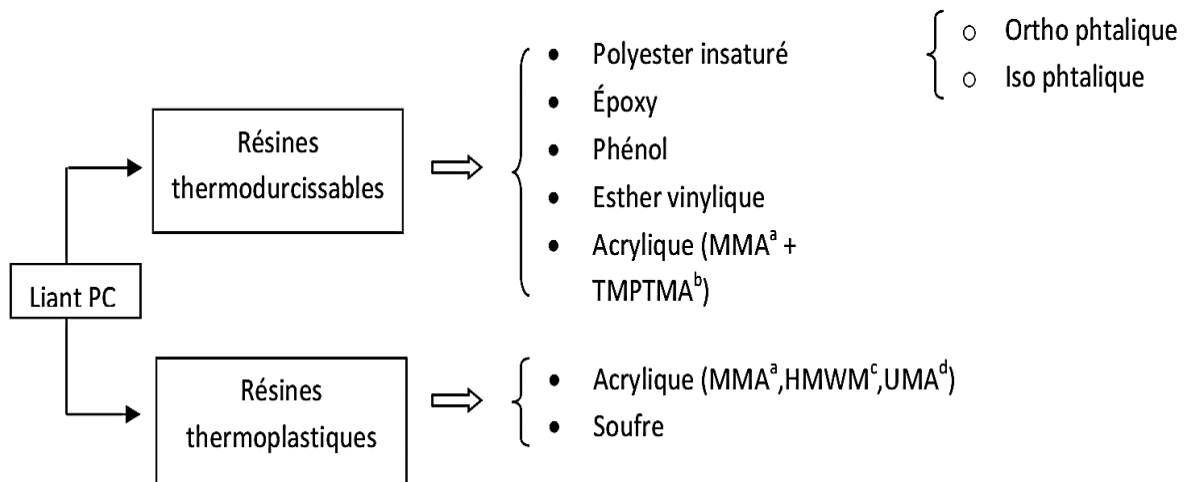


Figure II- 4 Les polymères disponibles pour utilisés comme liants dans les systèmes BP/MP

Comparativement au béton de ciment Portland (Tableau II.2), les bétons de résine possèdent une plus grande résistance mécanique, adhèrent bien aux autres matériaux, résistent mieux aux produits chimiques et aux agents corrosifs, absorbent moins d'eau et présentent une plus grande stabilité aux cycles gel dégel. Aussi comme ils ont une plus grande résistance mécanique que le béton de ciment Portland, ils peuvent faire économiser jusqu'à 50% de matériaux concurrençant ainsi le béton conventionnel pour certaines applications spéciales. Cependant, ils présentent un fort retrait pendant et après la prise (jusqu'à dix fois plus que le béton de ciment Portland), ce qui constitue un handicap pour certaines utilisations. Ce type de béton est employé, coulé sur place ou en éléments préfabriqués, dans les travaux de construction, notamment d'édifices publics ou commerciaux, ainsi que pour la fabrication de carreaux de plancher, de tuyaux d'égout, d'escaliers et de panneaux de cloisonnement. [16]

## ***II.6. Caractéristiques intrinsèques du béton polymère***

### ***II-6.1 Caractéristiques mécaniques d'un béton polymère***

Le béton polymère représenté les caractéristiques suivantes :

- Valeur de compression d'un béton polymère: 80 – 90 MPa.
- Valeur de flexion par traction d'un béton polymère : 20 – 24 MPa.
- Module d'Young d'un béton polymère: 21 300 MPa.
- Abrasion : 1,15.[49]

### ***II-6.2. Caractéristiques Physiques d'un béton polymère***

- Insensible aux phénomènes de gel/dégel.
- Légèreté accrue par rapport aux ouvrages en béton classique.
- Résistance aux tags (se nettoie sans laisser de traces).
- Résistance au sel marin et au sel de déneigement.
- Possibilité de teindre le produit en pleine masse ou de le colorer.[47]
- Absorption d'eau: 0,2 %.
- Coefficient d'écoulement: 108 moyens.
- Résistance au gel: Inaltéré.
- Densité: 2, 1.
- Microporosité d'un béton polymère: 25 µm.[54]

### ***II-6.3. Caractéristiques Physiques d'un béton polymère***

- Résistance totale aux agressions des effluents sans aucun traitement : résistance du ph 1 à 14.
- Résistance totale à l'H<sub>2</sub>S ainsi qu'aux produits chimiques.
- Résistance totale aux hydrocarbures.[46]

### ***II-6.4. Caractéristiques Hydrauliques d'un béton polymère***

- Excellent coefficient d'écoulement (offrant un matériau auto curant et augmentant le débit de

- l'ouvrage).
- Totale étanchéité dans la masse grâce à la très faible porosité de surface du béton polymère.
- Excellente tenue à l'abrasion.[54]

### ***II-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 [47]

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[55]

### ***II-8. La comparaison entre un béton polymère et un béton ordinaire***

Le (Tableau.II.2) résume la différence entre certaines propriétés du béton ordinaire et du béton polymère, en fonction de la différence de résine à partir de laquelle le béton polymère est fabriqué.

***Tableau II- 2 Propriétés types des bétons de résine et du béton de ciment Portland.[47]***

Matériau	Masse volumique (kg/dm <sup>3</sup> )	Absorption d'eau (%)	R <sub>c</sub> (MPa)	R <sub>t</sub> (MPa)	R <sub>f</sub> (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

### ***I-9. Les principaux avantages et les inconvénients du béton polymère***

#### ***II-9.1. Les avantages d'un 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'H<sub>2</sub>S, 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. [56]

### ***II-9.2. Les inconvénients d'un béton polymère***

Il y a deux propriétés du béton polymère considérées comme inconvénients constituant un obstacle à son utilisation au lieu du béton de ciment ordinaire :

- Les prix du béton polymère sont plus élevés que ceux du béton ordinaire puisque il est composé de produits chimiques chers dans le marché mondial : des accélérateurs de réactions, des catalyseurs et des résines polymères. Les bétons polymères peuvent être plus rentables pour les sociétés de production du mortier et du béton ordinaire en réduisant le pourcentage des liants polymères utilisés et en introduisant des produits chimiques efficaces dans leurs fonctions et qui sont de plus en plus moins chers.
- Les polymères contenus dans le béton polymère ont l'inconvénient d'être combustibles.[44]

- Le cout de la matière première (principalement le liant) est plus élevé (jusqu'à 8 fois). comparé à celui des bétons hydrauliques.[56]
- 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.[56]

### ***II-10. Utilisations de béton polymère***

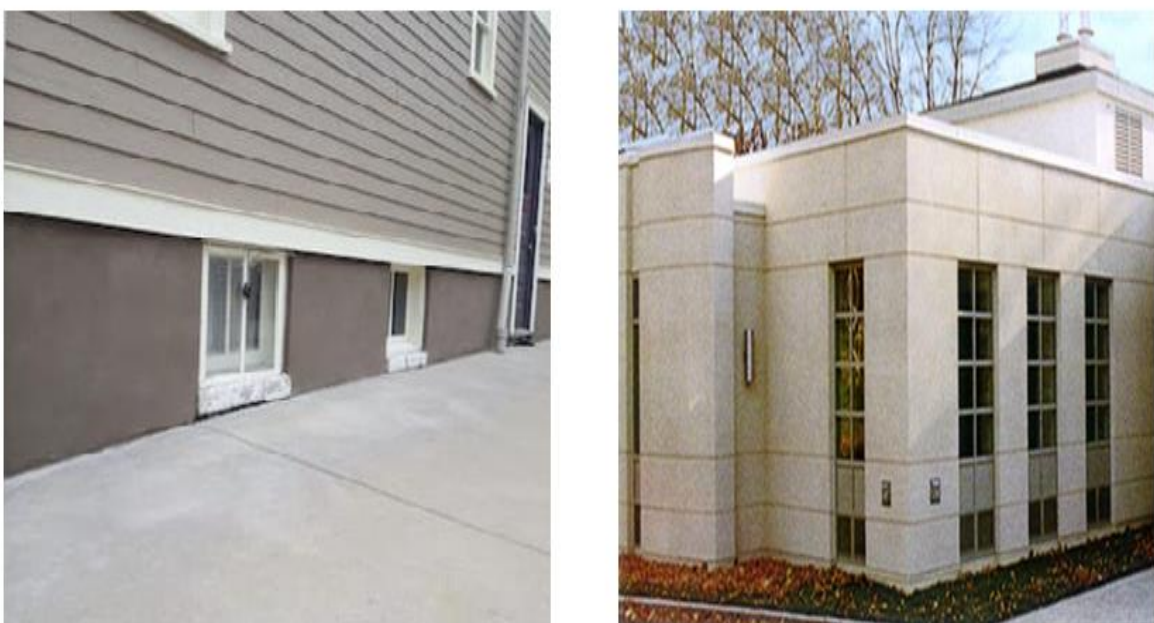
Le béton polymère est utilisé pour de nombreux types de projets de construction spécialisés. Comme d'autres types de béton, il peut être utilisé pour assembler deux composants différents ou de fournir une structure ou une base.

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. Notamment, dans les bâtiments domaine de génie civil, l'horticulture, les revêtements des chaussées et planchers, les travaux de drainage et hydrauliques, dans l'industrie[49]

#### ***II-10.1. Utilisation des BP dans Bâtiment - génie Civil***

Dans le domaine du bâtiment et du génie civil, le béton polymère trouve ses applications pour de nombreux ouvrages avec pour objectif l'adaptation des pièces aux exigences fonctionnelles, techniques et esthétiques du projet étudié

Grâce aux caractéristiques du béton polymère, nous sommes en mesure de réaliser : des corniches de pont, des gardes corps, des façades de bâtiments, (Figure II.6) des galeries pour réseaux secs et humides, des caniveaux de chauffage et tout autre ouvrage nécessitant un apport technique spécifique. Permet d'intervenir au sein des tunnels pour des pièces de type : caniveau fendu, bordure avaloir, siphon coupe-feu, etc.[47]



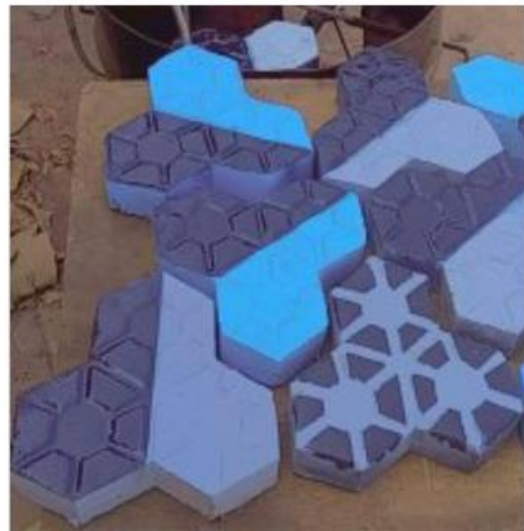
***Figure II- 5 Façades en béton polymère pour bâtiment.***

**II-10.2. Pavés**

Le béton coulé en place, ou manufacturé sous forme de pavés et de dalles, constitue une solution idéale par la variété de ses possibilités décoratives, techniques et économiques- pour la réalisation de sols très divers, allant du simple aménagement d'un jardin ou d'une terrasse à de vastes réalisations urbaines.

Types de pavés On distingue trois types de pavés :

- Les pavés autobloquants à emboîtement : ils sont de forme telle qu'après mise en place, il y'ait liaison horizontale, dans une ou plusieurs directions, entre les éléments du dallage ainsi constitué. (Figure II.7.a)
- Les pavés autobloquants à emboîtement et épaulement : ils sont de forme telle qu'après mise en place, il y'ait liaison horizontale et verticale entre les éléments du dallage ainsi constitué (FigureII.7.b)
- Les pavés classiques de section carrée, rectangulaire ou hexagonale, généralement comprise entre 100 et 200 cm<sup>2</sup>.**[49]**

**a****b**

**Figure II- 6 (a) pavés autobloquants (b) pavés autobloquants**

**II-10.3. Utilisation des BP dans les travaux de drainage et hydrauliques**

L'utilisation du BP pour la fabrication des différents systèmes de drainage et le réseau de canalisation (Figure II.8) est très répandue comme résultat de la faible absorption d'eau et une résistance exceptionnelle au gel-dégel. Par conséquent, les éléments fabriqués en BP peuvent avoir jusqu'à 15 mm d'épaisseur (réduction de 1/3 du poids par rapport au béton cimentaire pour des produits similaires) et maintiennent leurs poids initiaux après 1600 cycle de gel-dégel tandis que celles produites en BHC perdent jusqu'à 25% après 750 cycles.**[57]**



*Figure II- 7 réseau de canalisation en béton polymère*

#### **II-10.4. Utilisation des BP dans l'industrie**

Le BP est fortement recommandé dans la construction des usines chimiques et dans la fabrication des équipements miniers (électrolytiques, réservoirs, puits, etc.). Des étais et des traverses de liaison en BP sont fabriqués et utilisés pour la première en ex-URSS vers 1959. Près de 10 km de chantier minier sont supportés par ces étais creux (pour alléger la structure) dans les mines du bassin de Donetsk. L'introduction des éléments porteurs en BP renforcés supportant les baigns électrolytiques a aidé à dépasser les matériaux réfractaires garnis jugés chers et défectueux, à réduire les frais de construction, à améliorer la protection contre l'électro corrosion, à réduire la main d'œuvre en production par 3, à augmenter la durée de vie en service 5 fois et à réaliser une économie annuelle importante. Des isolateurs en porcelaine montrent des défaillances à 235 KV alors que ceux des BP résistent jusqu'à 250 KV (le coût estimatif d'un isolateur en BP est moins que la moitié du coût de celui en porcelaine). Des super-isolateurs, des supports et des regards de visite ont été confectionnés aux USA, ex-URSS, et Japon en utilisant le BP. Une application du BP dans le secteur industriel est la fabrication des base pour des tours, des rectifieuses, des fraiseuses et des perceuses (Figure II.8) grâce à la qualité anti vibrations meilleure de 6 à 10 fois que celle du fer, à la stabilité à l'eau et lubrifiants, à la technologie facile de sa production et à la faible conductivité thermique par rapport à l'acier.[57]



*Figure II- 8 un bâti d'une machine de tournage en béton polymère.*

### II-10.5. 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 (Figure. II.10).[46]



*Figure II- 9 Quelques applications du béton polymères (Bacs de fleurs –chaise).*

### II-10.6. L'utilisation des bétons polymère comme isolation phonique

Par la fabrication des écrans phoniques (Figure. II.11), 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



*Figure II- 10 application de béton polymère pour l'isolation.*

### II-11. Procédure D'élaboration Bétons Polymère

Les bétons polymères sont des matériaux qui présentent des propriétés spécifiques et qui sont utilisés dans de nombreuses applications. Les Procédure D'élaboration du béton polymères à partir de résine thermoplastique et thermodurcissable nécessite les étapes suivantes :

Le choix des ingrédients est crucial pour obtenir un béton polymère de qualité. Il faut sélectionner une résine thermoplastique ou thermodurcissable, ainsi que de charges minérales ou organiques pour renforcer la résistance mécanique du matériau.

Les ingrédients sont mélangés dans des proportions précises afin de garantir une formulation homogène. Le mélange peut être effectué dans un malaxeur industriel, en veillant à respecter les temps de malaxage et la vitesse de rotation pour éviter toute surchauffe de la résine thermoplastique.

La mise en œuvre du béton polymère peut se faire par projection, coulage ou extrusion. Les techniques varient selon l'utilisation finale du matériau.

La résine thermoplastique durcit par refroidissement, tandis que la résine thermodurcissable durcit par une réaction chimique. Dans tous les cas, une fois la mise en œuvre achevée, il faut laisser le temps nécessaire pour que le béton polymère atteigne sa solidité maximale.

Des tests en laboratoire sont effectués pour vérifier les propriétés mécaniques et physiques du béton polymère. Si nécessaire, des ajustements peuvent être effectués pour améliorer la performance du matériau. En somme, l'élaboration de bétons polymères à partir de raisin thermoplastique et thermodurcissable nécessite une attention méticuleuse à chaque étape du processus pour garantir un produit final de qualité.

### ***II-11.1. Procédure D'élaboration Bétons Polymère a bas raisin thermoplastique***

Il y a deux types d'échantillon : échantillon sable-plastique et échantillon sable-plastique argile. Comme sur le site d'Abidjan, le sable, le plastique et l'argile sont mélangés selon la proportion (massique) souhaitée. La proportion massique du plastique est obtenue selon l'équation (1) Celle de l'argile est obtenue selon l'équation (2)[31]

$$P(\%) = \frac{MP}{MS+MP} \times 100 \quad (1)$$

P (%) est le pourcentage massique du plastique

MP est la masse de plastique

MS est la masse du sable

$$A(\%) = \frac{MP}{Ma+MS+MP} \times 100 \quad (2)$$

A (%) est le pourcentage massique de l'argile,

MP est la masse de plastique,

MS est la masse du sable,

Ma est la masse de l'argile.

Après mélange, l'ensemble est chauffé grâce à la thermopresse jusqu'à 170°C. Le mélange est ainsi soumis à cette température (170 °C) pendant cinq (5) minutes. Lors du chauffage, le mélange est fait simultanément, grâce au foret (mèche) actionné par la perceuse.

Après cette étape le mélange est mis dans un moule, suivi d'un thermocompacte à 170 °C pendant cinq (5) minutes. Moule contenant le mélange pour la mise en forme Plateau chauffant inférieur 49

Lorsqu'on fait descendre le levier d'actionnement, le plateau inférieur se rapproche du plateau supérieur grâce à la montée du piston. Ce rapprochement des plateaux engendre le compactage du matériau contenu dans le moule. Afin de déterminer la pression idéale à exercer, des échantillons avec différentes pressions (2 ; 5 ; 8 et 10 MPa) ont été élaborés. Le refroidissement se fait sous la même pression jusqu'à 30 °C.

Les méthodologies sont résumées selon les schémas suivants (Figure II.12) :[31]

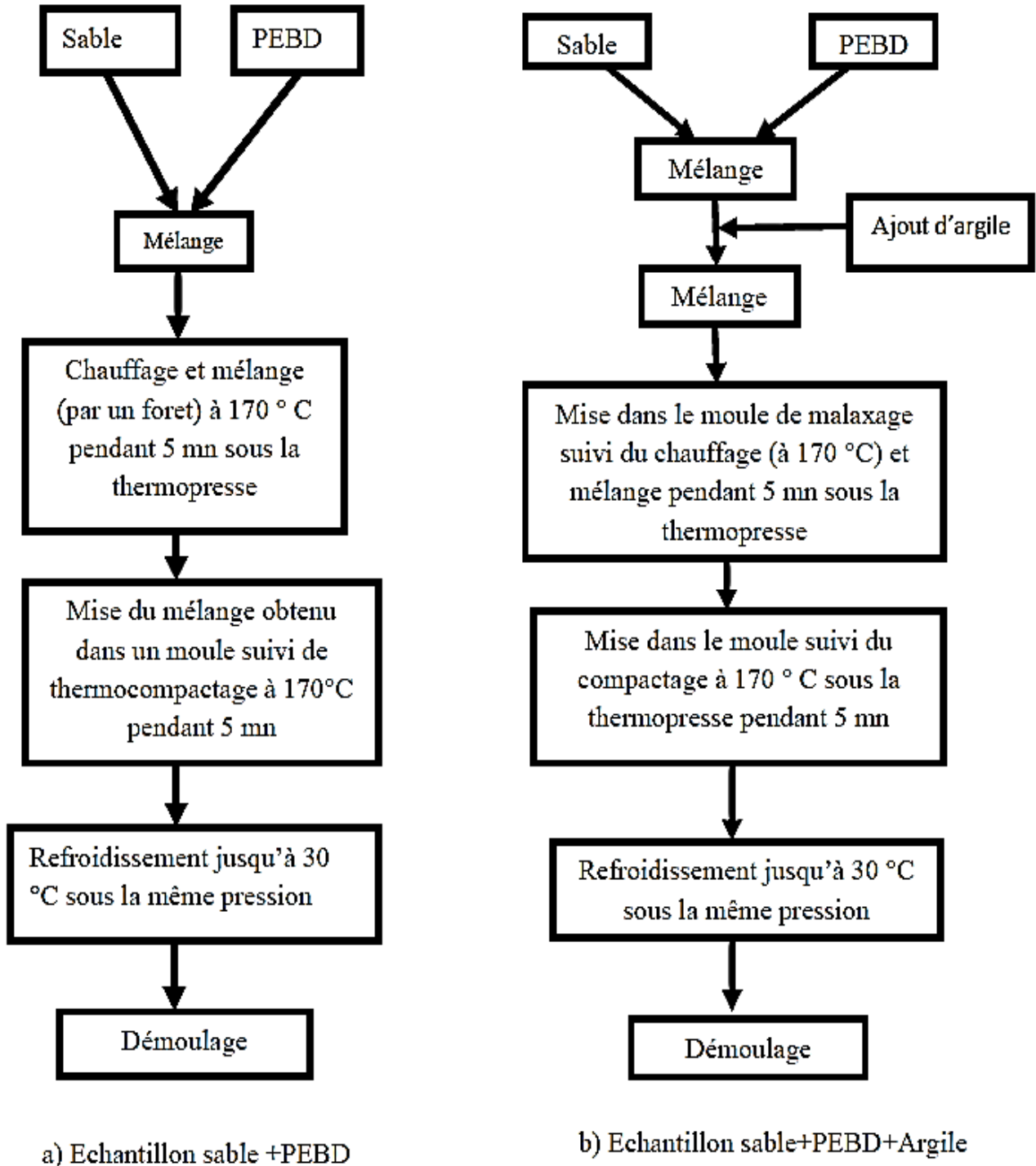


Figure II- 11 Schéma de la procédure d'élaboration des échantillons.[31]

### *II-11.1. Procédure D'élaboration Bétons Polymère a bas raisin thermodurcissable*

Avant de procéder à la fabrication proprement dite du béton de résine polyester, des étapes préliminaires sont nécessaires. En effet, les charges minérales (granulats : sable et gravier et poudres : ciment, marbre, fumée de silice et poudre de brique) doivent être séchés à 105°C pour plus de 24 heures (jusqu'à masse constante). Une autre étape importante est le nettoyage des moules et l'application d'une couche séparatrice entre le béton de résine et les moules pour assurer un démoulage facile et sans risque d'exercer des contraintes parasites.[56]

Le processus de fabrication du béton se déroule comme suit :

Mélange pendant 30 secondes de la résine polyester et du durcisseur en respectant les proportions massiques étudiées. Le malaxage se fait manuellement à l'aide d'une tige métallique.

- On prépare le mélange du sable, du gravier et poudre à l'état sec dans un récipient tout en respectant le dosage des constituants étudié.
- On ajoute au mélange déjà préparé séparément le polymère (résine +durcisseur) avec un taux du polymère nécessaire.
- Chaque introduction est suivie d'un malaxage pendant 2 minutes (afin d'éviter la cristallisation brusque) Ainsi, la phase de malaxage se termine ; on obtient alors du béton de résine à l'état frais et la phase de remplissage peut commencer.
- les moules prismatiques (4x4x16 cm<sup>3</sup>) sont remplis en trois couches pour assurer sa stabilité à l'état frais et éliminer les risques de ségrégation et chaque couche reçoit 30 coups (compactage) avec une barre métallique pendant 30 seconde. Cette phase s'achemine par l'arasement de la surface supérieure des éprouvettes avec une réglette selon mouvement de scie. (Vipulanandran et al. [23]) prouvent que le procédé de fabrication par compactage donne des propriétés mécaniques meilleures supérieures de 50% par rapport à la méthode de vibration.
- Après durcissement, le mélange est arrivé à certaine résistance et les échantillons sont prêts à démouler et en fin conserver.[56]

# **CHAPITRE III**

## **Le Déchets Utilisés Dans Le Bétons Polymère**

### *III-Le Déchets Utilisés Dans Le Bétons Polymère*

#### *III-1- Introduction*

Les déchets utilisés dans le béton polymère sont des matériaux qui, autrement, seraient jetés dans des décharges ou incinérés, contribuant ainsi à la pollution de l'environnement. Cependant, en les recyclant, ils peuvent être utilisés comme agrégats dans la fabrication du béton polymère, ce qui permet de réduire les coûts de production, de limiter l'impact environnemental et de valoriser ces déchets en leur donnant une seconde vie.

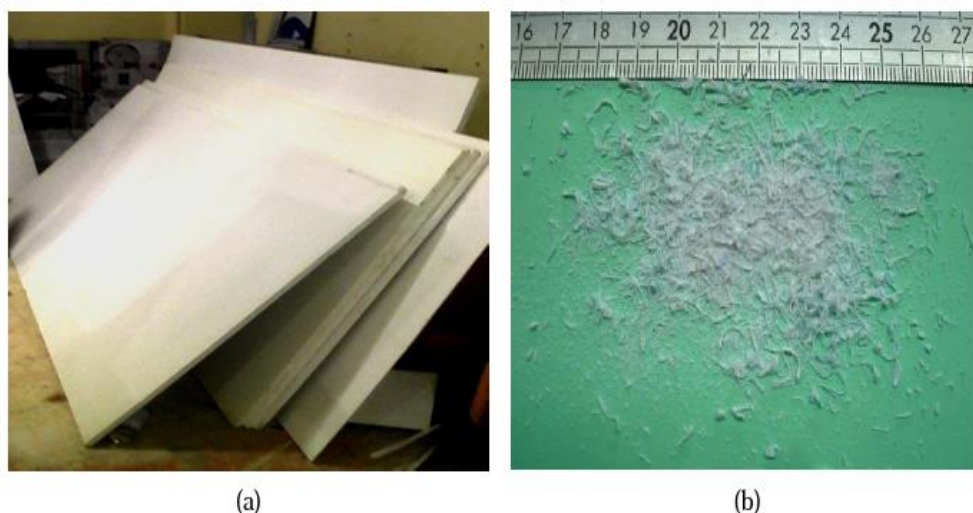
Parmi les déchets les plus couramment utilisés dans la production du béton polymère, on retrouve les déchets de pneus, et les déchets de plastique, les déchets de construction et de démolition, et les déchets minéraux et quelques déchets organiques. Ces matériaux peuvent présenter des propriétés intéressantes pour le béton polymère, telles que la résistance, la légèreté, l'isolation thermique ou phonique.

Le recyclage des déchets dans le béton polymère est une pratique de plus en plus répandue dans l'industrie de la construction, en réponse aux enjeux environnementaux actuels. Ce chapitre explorera donc les différents types de déchets utilisés dans le béton polymère, leurs propriétés et leur potentiel d'utilisation.

#### *III-2- Différent Déchets*

##### *III-2-1 Déchets plastique*

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) Le but initial de ce travail est la revalorisation des déchets des plaques composites de FOREX -EPVC- (Expanded Polyvinyl Chloride) (Figure III.1(a)), en résorbant le maximum possible de ces déchets dans un matériau composite qui donnera par la suite un mortier composite polymère léger LMEPVC conforme pour son application dans la construction. Les agrégats sont obtenus par le broyage des plaques de 4 mm d'épaisseur avec un diamètre maximum de 2 mm (Figure III.1(b)).[58]



**Figure III- 1 (a) Les plaques d'EPVC (b) Le déchets en EPVC.[58]**

Il y a aussi une étude de (Traore, Brahiman 2018 et BOUZINA, Yacine 2020) de l'Utilisation de déchets plastique PE et BDPE et HDPE dans le (BP) Les déchets plastiques sont les plastiques d'emballage rejetés dans la nature après utilisation de leurs contenus par les consommateurs. Ces déchets plastiques sont essentiellement des polyéthylènes. Le polyéthylène, ou polythène (sigle générique PE), est l'un des polymères les plus simples et les moins chers. Le polyéthylène est le plastique le plus employé. Il compose notamment la moitié des emballages plastiques. L'utilisation la plus visible du polyéthylène est le sac plastique.

Les plastiques que nous avons utilisés pour notre étude sont essentiellement constitués de PE car se sont les plus utilisés donc les plus rejetés dans la nature. Les plastiques utilisés à Abidjan sont issus des différents dépotoirs d'ordure de la ville (Figure 11.A). Par contre ceux utilisés au laboratoire ICB (ex. IRTES-M3M) en France sont issus des emballages de matériel livrés (Figure 11.B). Ces plastiques sont essentiellement du Polyéthylène Basse Densité (PEBD) et le PEHD polyéthylène haute densité. Les plastiques sont broyés afin de faciliter l'homogénéité du mélange sable-plastique. [31, 49]



**Figure III- 2 Déchets plastiques (A : déchets plastique d'Abidjan ; B : déchets plastique de Belfort) C Polyéthylène haute densité [31, 49]**

puisque L'utilisation de déchets de plastique dans le béton polymère permet de réduire la quantité de déchets de plastique tout en offrant une solution innovante pour la fabrication des matériaux de construction, Cela a poussé de nombreux chercheurs dans ce domaine à intensifier les recherches sur l'utilisation de ces déchets pour être utilisés comme liants pour les bétons polymériques, on retrouve donc aussi le sujet de recherche de (Guendouz, Mohamed 2015) de l'Utilisation de déchets plastique PET. Ce travail consiste donc à récupérer des déchets plastiques, plus précisément des bouteilles usagées en PET et des enceintes d'emballage PEBD rejetées dans la nature, et ajoutées dans la masse du béton de sable par substitution (cas de poudre de 10%, 20%, 30%, 40%) et par ajouts (cas de fibre de 0.5%, 1%, 1.5%, 2%). Les propriétés à l'état frais (la maniabilité, la densité) et à l'état durci (la résistance à la compression et à la traction) des différents bétons de sable réalisés sont analysées et comparées aux bétons de sable témoin respectifs. [59] Et aussi rechercher de (Sahani, Kameshwar 2022) Le but de cette étude était d'étudier l'utilisation potentielle du plastique dans le respect de l'environnement et de démontrer l'utilité des briques de sable en plastique

comme éléments structurels alternatifs, remplaçant la brique d'argile standard. Les propriétés physiques et mécaniques des briques de sable plastique ont été étudiées dans différents rapports de sable plastique de 1 : 3, 1 : 4 et 1 : 5 par leur poids, en utilisant du plastique comme liant. De plus, le test de résistance thermique, le test de résistance à la traction fractionnée, le test de pénétration et la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier ont été effectués. , L'étude a conclu que la résistance de la brique de sable en plastique dépend de l'uniformité du mélange et augmente lorsque le rapport sable/plastique dans le mélange passe de 1 : 3 à 1 : 4. Toute augmentation ou diminution du rapport 1 : 4 s'avère réduire la résistance. Toutes les briques dans n'importe lequel des rapports ont montré une absorption d'eau nulle et une efflorescence nulle.[60]

### ***III-2-2 Déchets Minéraux***

Le béton polymère offre de nombreux avantages en termes de résistance, de flexibilité et de durabilité par rapport aux bétons traditionnels. Une des façons de rendre ce matériau encore plus durable et respectueux de l'environnement est l'utilisation de déchets minéraux pour le renforcer.

Bien que les études sur l'utilisation des matériaux minéraux dans la composition du béton polymérique soient très peu nombreuses. Cependant, il y a quelques recherches qui ont parlé de ce sujet, et nous en citerons quelques-unes, l'étude sur l'utilisation des déchets de marbre comme renfort dans le béton polymère. (Attia Abdel-Azim 1995) Un béton polymère (PC) a été synthétisé en mélangeant du polyester styréné (SP) et des déchets de marbre comme charges. Le polyester insaturé (UP) utilisé a été préparé à partir de la réaction d'oligomères issus de la dépolymérisation de bouteilles de boissons gazeuses en polyéthylène téréphtalate (PET) avec de l'anhydride maléique et de l'acide adipique. L'UP a ensuite été mélangé avec les monomères styréniques dans un rapport de 60 : 40 % en poids pour obtenir le SP utilisé pour la synthèse du PC. Le but de ce travail est d'étudier l'aptitude du PC préparé à être utilisé comme matériaux de construction à base de polymères. L'utilisation de déchets de bouteilles de boissons gazeuses en marbre et en PET pour la préparation du PC affecte positivement l'environnement, en évitant l'accumulation de ces déchets. Économiser les matières premières du polymère et des charges pour d'autres applications est un autre avantage économique de la préparation du PC à partir de déchets de PET et de marbre recyclés. L'intégrité mécanique du PC a été étudiée sous forme de blocs préparés dans différentes conditions expérimentales. La résistance chimique et l'absorption d'eau ont également été suivies pour évaluer la durabilité des produits obtenus. De plus, l'inflammabilité du SP et du PC préparés a également été étudiée. Sur la base des données obtenues, on pourrait conclure que le PC considéré a une bonne résistance chimique pour 20 % de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 10 % de Noah, l'eau du robinet, les eaux souterraines et l'eau de mer. Outre la résistance chimique acceptable, le PC préparé présente une faible porosité apparente, une faible absorption d'eau et de petits pores ouverts.

Les déchets de briques ont été utilisés comme renfort dans le béton polymère dans l'étude des deux (Alaa Eddine, benkerrouche 2017) et (boussaha Selma 2019) Dans notre étude, nous avons utilisé les déchets de

briques, ses dernières sont des chutes issus de la destruction des briques creuses lors de la fabrication ou/et du stockage des briques dans l'usine de fabrication au niveau de Boussaâda. (Figure III- 3). représente le cycle de l'obtention de la poudre de brique.[47]



*Figure III- 3 Broyage de déchets de brique.[47]*

Les déchets de briques sont des sous-produits de l'industrie des produits rouges. Ils se trouvent en grande quantité au niveau national à cause du nombre élevé de briqueteries et des taux de rejets (briques non conformes ou cassées) qu'elles génèrent et qui représentent 10 à 15 % de leurs productions. Dans la présente recherche, des échantillons récupérés auprès de la briqueterie de Bendjerrah (Wilaya de Guelma) ont fait l'objet d'un broyage, pour les transformer en poudre puis d'un tamisage (tamis 90 $\mu$ m). Sa composition chimique a été déterminée par fluorescence X.[56]

# **CHAPITRE IV**

## **Matériaux Et Méthodes**

## ***IV- Matériaux Et Méthodes***

### ***IV-1. Introduction***

La préparation du béton polymère est une étape cruciale dans la réalisation de structures résistantes et durables. Elle consiste à mélanger différents matériaux tels que de sable, et déchets plastique, et des adjuvants minéraux 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, ce qui nécessite des expérimentations pour trouver les proportions adéquates de chaque composant.

Dans cette partie expérimentale, nous décrivons les différentes étapes de préparation et de caractérisation des échantillons du béton polymère que nous avons réalisées pour notre projet. Et les caractéristiques des matériaux utilisés pour l'élaboration du béton polymère et de différentes dimensions prismatique son décriront les méthodes et techniques expérimentales, utilisées pour la détermination des propriétés physiques et mécaniques des échantillons

### ***IV.2 Matières premières***

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

- Déchets plastiques
- Sable fin ( M'sila)
- Déchets de marbre (Poudre).
- Déchets de brique (chamotte).



***Figure IV-1 (a) Déchets plastiques PP, (b) Sable, (c) poudre de marbre, (d) Déchets de brique (chamotte).***

### *IV.2.1. Liants polymérique*

La résine ou le liant utilisé dans notre expérience est un déchet de polypropylène. Le polypropylène, également appelé polypropène, est une résine thermoplastique obtenue par polymérisation de monomère du propylène grâce à des catalyseurs. Le système catalytique de Ziegler-Natta est le plus connu. Abrégé PP ou PPI, Le polypropylène plastique est très plébiscité, car il peut être utilisé dans de nombreux secteurs.

La résistance et la flexibilité du PP lui offrent une grande durabilité, même soumis à des déformations régulières. Ainsi, le polypropylène est généralement utilisé pour des éléments voués à être déformés.

Les déchets plastiques que nous avons utilisés pour notre étude sont essentiellement constitués de polypropylène car ce sont les plus utilisés donc les plus rejetés dans la nature. Les déchets plastiques utilisés sont issus des différents dépotoirs d'ordure (Figure VI-2).



*Figure IV-2 Déchets PP*

#### *IV.2.1.1. Broyage de déchets plastiques (PP)*

Afin de faciliter la fusion des déchets plastiques et Pour un bon mélange, nous avons besoin d'émietter le plastique en petits morceaux, Ces petits morceaux se dissolvent facilement et se combinent rapidement avec le mélange de déchets minéraux et de sable, ce qui donne un matériau bien mélangé, avec de vrais résultats (Figure VI-3).



*Figure IV- 3 Plastique Broyer*

### *IV.2.1.2. Nettoyage et séchage de déchets plastiques (PP)*

Les paillettes obtenues après le broyage passent à l'étape de lavage qui vise à séparer les plastiques de la boue et des saletés. Le lavage des déchets plastiques se fait avec de l'eau chaude ou à température ambiante, parfois avec ajout de soude ou de détergents.

Le lavage se fait dans un bac de flottaison ou bac de décantation. Il fonctionne avec des pales remuant l'eau de façon à maintenir les paillettes immergées et déposer les saletés au fond du bac (Figure VI-3.A).

Le procédé de séchage se fait par disposez les miettes de plastique au soleil jusqu'à séchage. Cela consiste à réduire la quantité d'eau des paillettes à moins de 5%, tout en éliminant les restes de saletés qui ont échappé au lavage (Figure VI-3.B).

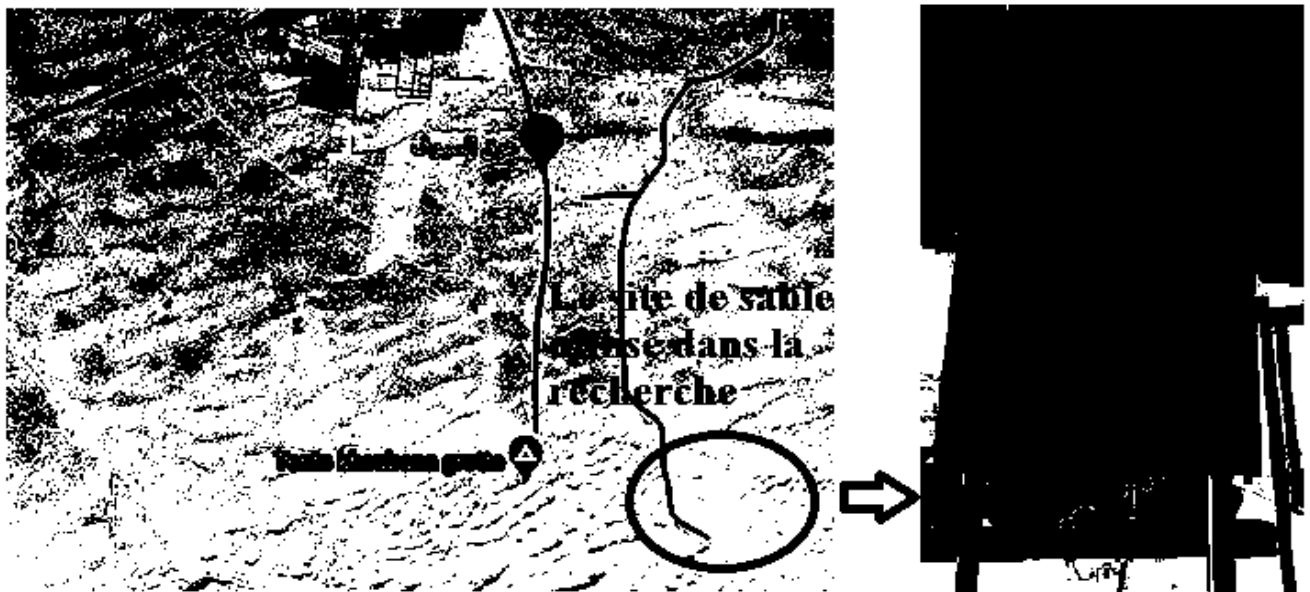


*Figure IV- 4 Procédure d nettoyage et séchage de déchets plastique (a) Nettoyage (b) séchage*

### *IV.2.2. sable*

Les sables sont principalement constitués de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite. La couleur du sable est d'autant plus claire que la teneur en silice est élevée Les sables sont toujours définis en fonction des constituants majoritaires : on parle ainsi de sable quartzeux, feldspathique, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier. Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux.[61]

Le sable utilisé dans notre étude de la zone (Erg Seyouf) dans la wilaya de M'sila contient plus de 90% de silice. (Figure IV-5)



*Figure IV-5 Le site de sable utilisé*

#### ***IV.2.2.1. Lavage du sable:***

Dans le bac ou le seau, mettre le sable fin, ajouter de l'eau jusqu'à recouvrir le sable, agiter le mélange pour que la saleté se détache du sable, laisser reposer le mélange pendant quelques minutes, enlever la couche supérieure (la plus sale) de l'eau. Répéter ces étapes de lavage jusqu'à ce que l'eau soit claire

#### ***IV.2.2.2. Séchage du sable:***

Étaler le sable sur un plateau ou une bâche en une fine couche, laisser sécher à l'air libre ou utiliser un séchoir à basse température.

Le sable fin et propre est maintenant prêt à être utilisé dans la préparation de béton polymère.



*Figure IV-6 Lavage et Séchage du sable*

### IV.2.3. Déchets Minéraux

Les déchets minéraux peuvent être utilisés dans la fabrication de béton polymère pour améliorer ses propriétés mécaniques et environnementales tout en réduisant les coûts de production. Ces matériaux offrent de nombreux avantages dans le béton polymère, notamment une meilleure résistance à la compression, une meilleure adhérence, une plus grande résistance à l'abrasion, une densité plus faible. Le déchet minéral utilisé dans notre étude est des déchets de brique (chamotte) et poudre déchet de marbre.

#### IV.2.3.1. Déchets de brique (chamotte)

Puisqu'il existe plusieurs types d'argile À partir de lesquelles les briques sont fabriquées, nous avons choisi trois types de chamotte de brique de trois usines différentes.

- **Chamotte de brique1 (MS) EURL BRIMATEC SOUYEH (Msila).**
- **Chamotte de brique2 (BB) Groupe BENHAMADI ARGILOR (Bordj Bou Arreridj).**
- **Chamotte de brique3 (MR) Briqueterie de l'ATLAS Sarl (Bou Saâda).**

Les grains de chamotte sont plutôt grossiers donc vous devez donc suivre les étapes suivantes :

- Broyage la chamotte chacun Séparément pare broyeur abillé en acier



*Figure IV- 7 Broyeur a billé en acier*

- Tamisage de la poudre chamotte de diamètre inférieur ou égal à 80  $\mu\text{m}$ .



*Figure IV-8 Tamisage de chamotte à 80  $\mu\text{m}$ .*



*Figure IV-9 poudre de chamotte Ch1 Ch2 Ch3*

#### *IV.2.3.2. Déchets de marbre (Poudre)*

- Broyage de marbre par le broyeur à billé en acier la même méthode broyage de chamotte que celle indiquée dans.
- Tamisage de la poudre de marbre de diamètre inférieur ou égal à  $80\ \mu\text{m}$ .



*Figure IV- 10 Tamisage de chamotte à  $80\ \mu\text{m}$ .*



*Figure IV-11 Boudier de marbre*

#### *IV-4 Caractérisation physico de matières premières*

La caractérisation physico du plastique, et des granulats a été effectué par plusieurs machines et appareils, à savoir: une le diffractomètre à rayons X (DRX) et la machine FTIR.



*Figure IV- 12 Poudre des échantillons pour caractérisation rayons X et FTIR*

##### *IV-4.1. Diffractomètre à rayons X (DRX)*

La diffraction des rayons X (est une méthode universellement, utilisée pour identifier la nature et la structure des produits cristallisés La diffraction des rayons X sur la matière cristalline permet d'avoir accès à des informations physiques sur les cristaux (la texture les contraintes, les paramètres cristallins) Ces photons (onde électromagnétique) sont de haute énergie et courte longueur d'onde 0,1 à 5 Å Longueur d'onde  $\lambda$  0,1 à 5 Å est idéalement adaptée à l'étude des structures cristallines périodiques. Des tests ont été effectués sur les échantillons au niveau du laboratoire des sciences des matériaux, Université de M'sila Machine (DRX) (Panalytical XPret.PRO (Figure IV- 13)



*Figure IV- 13 Machine (DRX) (Panalytical XPret.PRO)*

##### *IV-4.2. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)*

Cette méthode d'analyse, connue sous le nom d'analyse FTIR ou spectroscopie FTIR, est une méthode de test analytique utilisée pour identifier les matériaux organiques, polymères et dans certains cas

inorganiques. La méthode d'analyse de la composition du produit avec FTIR utilise la lumière infrarouge pour scanner les échantillons de test et observer les propriétés chimiques.

L'appareil utilisé dans l'analyse envoie un rayonnement infrarouge à partir d'un échantillon en absorbant un certain rayonnement et en faisant passer un certain rayonnement. Le rayonnement absorbé est converti en énergie de rotation ou de vibration par les molécules de l'échantillon. Ce qui en fait un excellent outil pour l'identification chimique. Des essais ont été effectués sur les échantillons au niveau du laboratoire du Département de Génie Mécanique (Figure IV- 14).



*Figure IV-14 FTIR Spectromètre*

#### *IV-4. 3. Caractéristique de Polypropylène.*

*Tableau IV- 1 Caractéristique de Polypropylène[62]*

Propriétés	Valeurs	Unité
Indice de fluidité (230 °C; 2.16 kg)	20	g/10 min
Température de fusion	190 - 250	°C
Densité	905	kg/m <sup>3</sup>
Module de flexion	1600	MPa
Résistance à l'impact Charpy à 23°C	3	kJ/m <sup>2</sup>
Température de déflexion à 0.45MPa	85	°C
Dureté Shore	70	D Scale

#### *IV-4.4. Test d'analyse granulométrique de sable*

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 caillou. On procède ainsi au classement des grains sur une série de tamis emboîtés les uns dans les autres (Figure IV- 15). 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 IV- 16).



*Figure IV-15 Tamiseuse électrique.*

*Figure IV-16 Courbe d'analyse granulométrique de sable utilisée.*

A partir de ces courbes, (Figure IV-16) on remarque que la granulométrie du sable varie de 0,08 à 0,4 mm

#### ***IV-5. Procédure D'élaboration des échantillons Bétons Polymère***

Puisque nous avons deux types de déchets minéraux, nous aurons deux types d'échantillon : échantillon de sable, plastique, chamotte (CH1, CH2, CH3) et échantillon sable, plastique, poudre marbre. Le sable, le plastique et déchets minéraux sont mélangés selon la proportion (massique) souhaitée. La proportion massique déchets minéraux est obtenue selon l'équation suivante:

$$A(\%) = \frac{Ma}{Ma + Ms + Mp} \times 100 \quad (1)$$

Avec :

A (%) est le pourcentage massique de l'argile.

Mp est la masse de plastique.

Ms est la masse du sable.

Ma est la masse de l'argile.

##### ***IV-5.1. Technique D'élaboration***

Le mélange de sable et d'additifs minéraux est mis au four à une température de 210 ° C pendant une heure, une fois le mélange retiré, il est combiné avec des copeaux de déchets plastique dans une trémie et mis dans la machine d'extrudeuse. Elle descend par gravité dans un fourreau. La matière est plastifiée par l'action simultanée de la rotation d'une vis sans fin et d'un système de colliers chauffants. Cela signifie que là le mélange de déchets plastique, sable et d'additifs minéraux est chauffée et malaxée jusqu'à l'obtention d'une texture homogène et modelable.

La rotation de la vis sans fin pousse la matière à travers la tête d'extrusion de la machine. Entre alors en scène l'outillage spécifique d'extrusion qui va donner à la matière sa forme finale.

Après cette étape le mélange est mis dans un moule, suivi d'un thermocompactge à 180 °C.

Lorsqu'on fait descendre le levier d'actionnement, le plateau inférieur se rapproche du plateau supérieur grâce à la montée du piston. Ce rapprochement des plateaux engendre le compactage du matériau contenu dans le moule. Le refroidissement se fait sous la même pression jusqu'à 90 °C.

Le refroidissement des échantillons ce fait à l'air libre.

Les méthodologies sont résumées selon les schémas suivants (Figure IV-17).

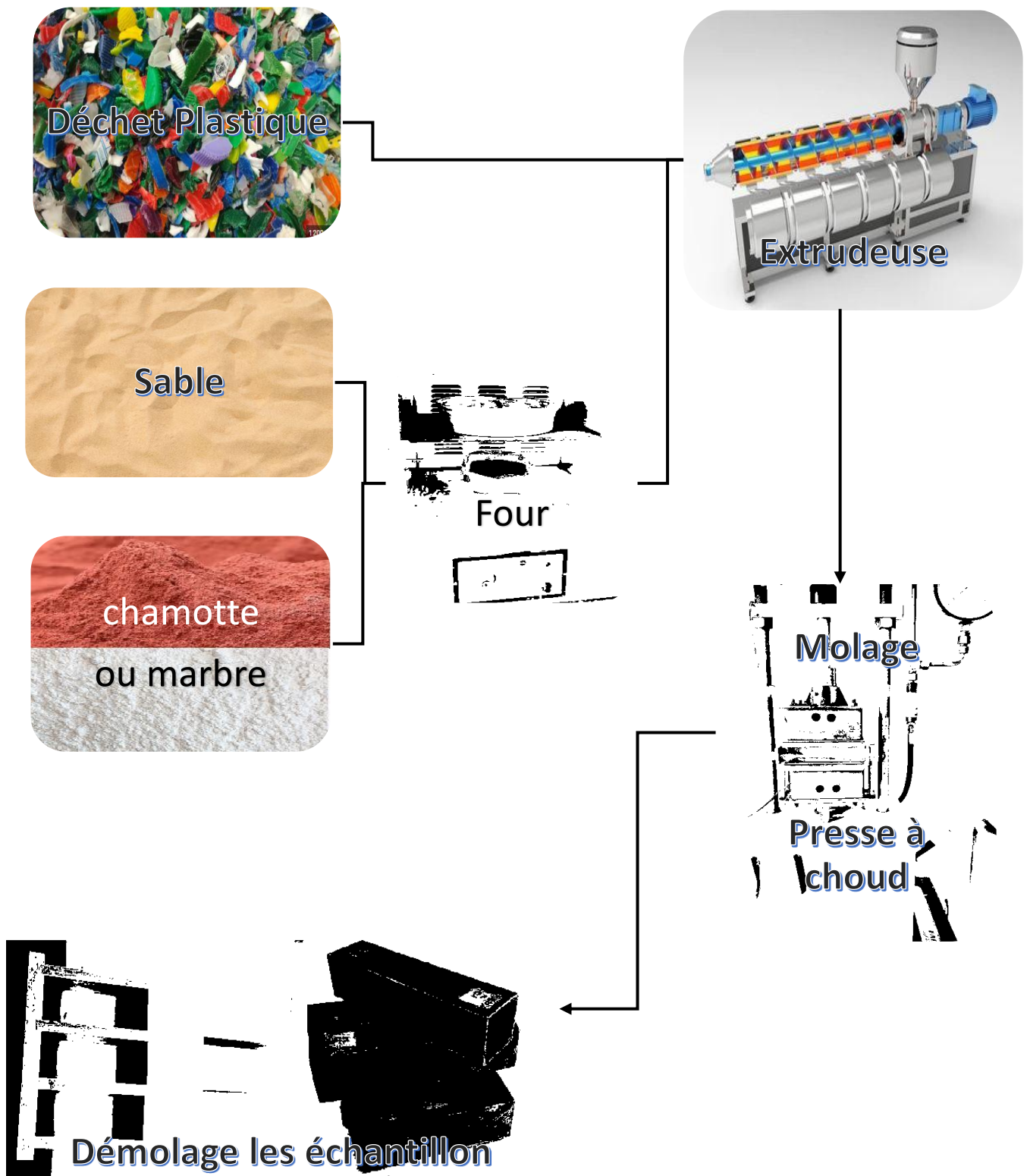
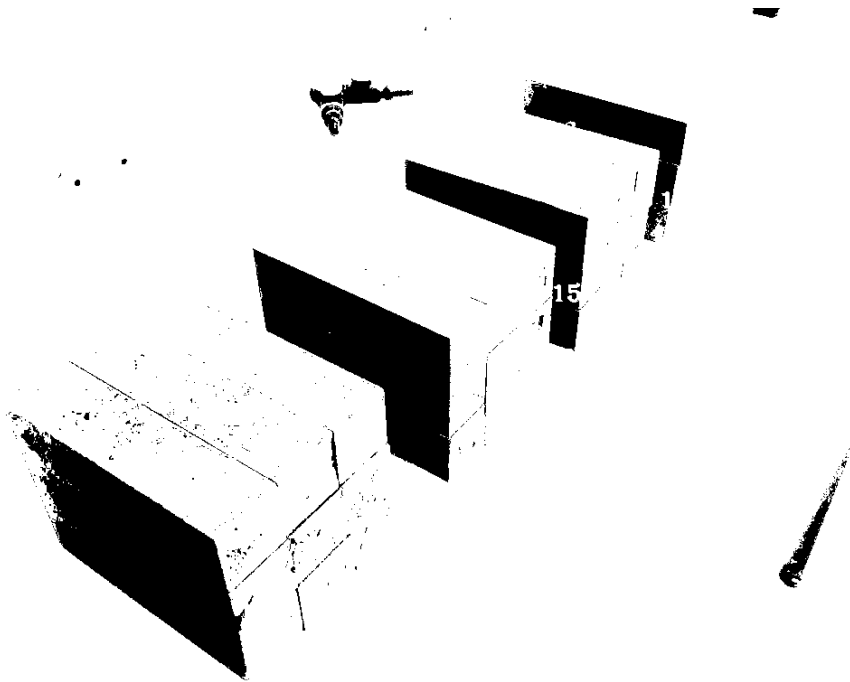


Figure IV-17 Schémas D'élaboration Bétons Polymère

### *IV-5.2. Choix des éprouvettes*

Nous avons réalisé trois échantillon chaque pourcentage pour chaque famille (MS), (BB), (BO), (MR) pour les chamottes et le marbre, Pour le plastique son pourcentage ne change pas Comme indiqué dans le (tableau IV-2) et la (Figure IV-18)

*Tableau IV- 2 Taux de chaque composante.*



*Figure IV- 18 Les Echantillons de Chamotte1, Chamotte2, Chamotte3, Marbre*

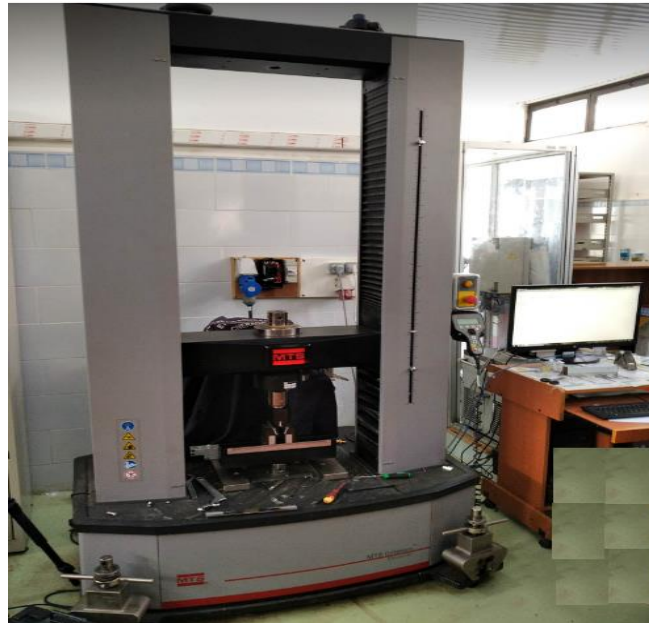
## *IV.6. Caractérisation des échantillons*

### *IV-6.1. Essai de flexion trois points (FTP)*

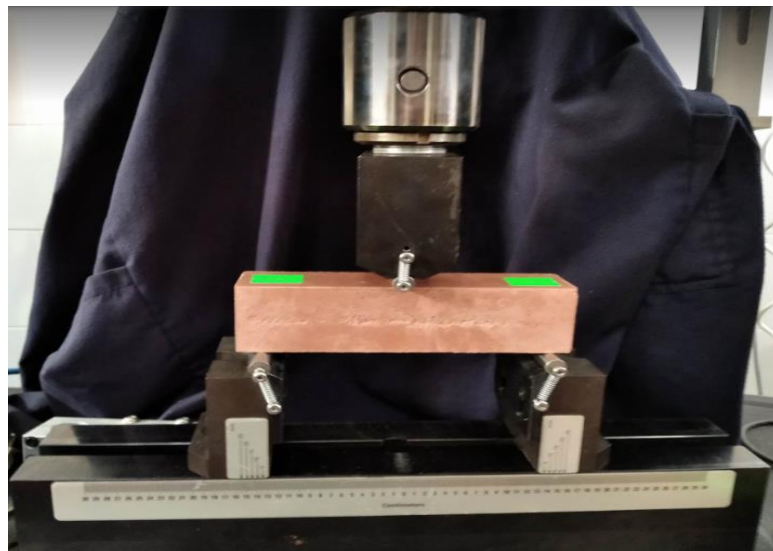
L'essai est réalisé selon la norme (D790-10) en utilisant la machine (Machine d'essai universelle max. 300 KN | Model E45), qui est une machine universelle équipée d'un système de flexion, au niveau de Centre de Recherche en Technologies Industrielles CRTI Cheraga (Figure IV.15).

Les éprouvettes lisses de (40×40×160 mm<sup>3</sup>) sont testées en appliquant une charge à mi-distances des appuis. La distance entre appuis est de 140mm. Le matériau est chargé à une vitesse constante de 1 mm/min pour le béton polymère (Figure IV.16).

Le test FTP consiste à déterminer la charge maximale et étudier le comportement mécanique jusqu' à la rupture du matériau.



*Figure IV-19 Machine d'essai universelle max. 300 KN / Model E45*



*Figure IV- 20 Essai de flexion trois points (FTP)*

#### *IV-6.1.1. 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 :

$$\sigma_f = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (2)$$

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).

➤ Module de Young de flexion :

$$E_f = \frac{P \cdot L^3}{6 \cdot F \cdot I} \quad (3)$$

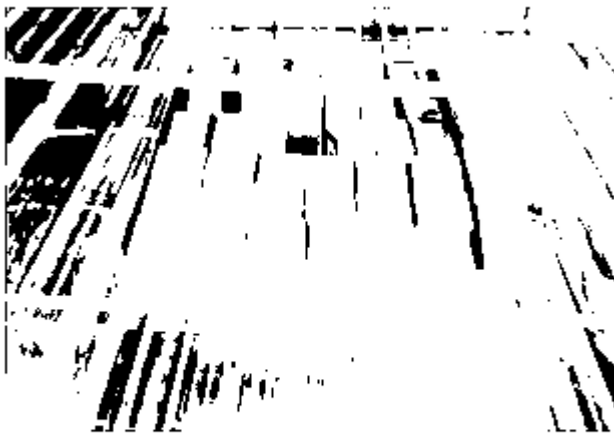
Avec :

- P : la charge maximale à la flexion en (N).
- L : la distance entre appuis en (mm).
- f : la flèche en (mm).
- I : le moment d'inertie =  $\frac{b \cdot h^3}{12}$

#### IV-6.2. 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 VI-18(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 VI-18(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 (5) selon ASTM D570 (Standard Spécification)

$$A(\%) = \frac{m_{humide} - m_{Sèche}}{m_{Sèche}} \times 100 \quad (5)$$



(a)



(b)

*Figure IV-21 (a) séchage L'échantillon dans une étuve (b) les échantillons immergés dans de l'eau*



**CHAPITRE V**  
**Résultats et**  
**Discussions**

## ***V- Résultats et Discussions***

### ***V-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.

### ***V-2. Résultats diffractomètre à rayons (X)***

A l'aide du programme (X'pert Highscore plus), dédié à l'analyse des résultats diffractomètre à rayons (X), nous avons obtenu les résultats pour le sable, la chamotte des trois types et le marbre.

#### ***V-2.1. Résultats diffractomètre à rayons (X) Sable***

Les spectres (Figure V-1) montrent pour le sable (Erg Seyouf) la présence en majeure partie des pics relatifs au quartz ( $\text{SiO}_2$ ) soit un taux de 98% et en mineur des pics caractérisant le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) soit 2 %.

#### ***V-2.2. Résultats diffractomètre à rayons (X) chamotte1 (M'sila)***

##### ***Figure V-1 diffractomètre des rayons (X) chamotte1 (M'sila)***

Les spectres (Figure V- 2) montrent pour chamotte1 (M'sila) la présence en majeure partie des pics relatifs au quartz ( $\text{SiO}_2$ ) soit un taux de 66%. Et en mineur des pics de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) soit 34%.

#### ***V-2.3. Résultats diffractomètre à rayons (X) chamotte2 (Bordj Bou Arreridj)***

##### ***Figure V- 2 diffractomètre des rayons (X) chamotte2 (Bordj Bou Arreridj)***

Les spectres (Figure V- 3) montrent pour chamotte2 (Bordj Bou Arreridj) la présence en majeure partie des pics relatifs au quartz ( $\text{SiO}_2$ ) soit un taux de 51%. Et en mineur des pics caractérisant le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) soit 34 % et des traces d'oxyde d'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) soit 15 %.

#### ***V-2.4. Résultats diffractomètre à rayons (X) chamotte3 (Bou Saada)***

***Figure V- 3 diffractomètre des rayons (X) chamotte3 (Bou Saada)***

Les spectres (Figure V- 3) montrent pour chamotte2 (Bou Saada) la présence en majeure partie des pics relatifs au quartz ( $\text{SiO}_2$ ) soit un taux de 70 %. Et en mineur des pics caractérisant le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) soit 22 % et des traces d'Oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) soit 8 %.

***V-2.4. Résultats diffractomètre à rayons (X) Marbre***

Les spectres (Figure V- 3) montrent pour Marbre la présence en majeure partie des pics relatifs au carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) soit un taux de 93,1 %. Et en mineur des pics caractérisant oxyde-d'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) soit 6 % et des traces quartz ( $\text{SiO}_2$ ) soit 1 %.

***Figure V- 4 diffractomètre des rayons (X) de Marbre***

***V-3. Résultats spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier(FTIR)***

***V-3.1.Résultats (FTIR) sable et déchet minéraux***

***Figure V- 5. Courbe (FTIR) SB, sable MR, marbre CH1 chamotte1 CH2, chamotte2 CH3 chamotte3***

- Le (tableau V-1) montre les composés chimiques du sable utilisé dans notre étude.

***Tableau V- 1 composés chimiques du sable utilisé***

- Le (tableau V-2) montre les composés chimiques de la chamotte utilisé dans notre étude.

***Tableau V- 2 composés chimiques de la chamotte utilisé***

- Le (tableau V-3) montre les composés chimiques de la chamotte utilisé dans notre étude.

***Tableau V- 3 composés chimiques de Marbre***

***V-3.2.Résultats (FTIR) polypropylène recyclé (PP)***

Le (tableau V-4) montre les composés chimiques de plastique utilisé dans notre étude

***Tableau V- 4 composés chimiques de plastique utilisé***

***V-4. 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 minéraux ajoutés, 15% 20% 25% de la poudre de chamotte et la poudre de marbre.

***V-4.1. Résultats Essais de flexion trois points***

Les essais mécaniques de flexion 3-points ont été réalisés sur des éprouvettes prismatiques 45x45x160 mm 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.

Les figures (V-8 (a), (b), (c), (d)) représentent les courbes types de l'évolution de la force en fonction du déplacement pour les échantillons MS15%, BB25%, BO15%, MR25%. Elle a été prise comme exemple d'homogénéité logique entre les courbes des trois échantillons d'une même famille, ce qui indique que trois échantillons de chaque famille suffisaient pour donner un résultat idéal.



**Figure V- 6 les courbes force en fonction du déplacement (a) MS 15%, (b) BB 25% (c) BO 15% (d) MR 25%**

#### **V-4.1.1. 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 ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) (Figure V-9).

Après avoir choisi le meilleur résultat parmi chacun des pourcentages 15 %, 20 % et 25 % indiqués dans la (figure V-10(a)) pour les contraintes, et la (figure V-10(b)) pour la déformation, nous choisirons le meilleur pourcentage pour les chacun famille MS, BB, BO, MR.

- Le Meilleur résultat de la contrainte pour la famille **MS** est **15%** la valeur de contrainte **9,922 (MPa) ± 0,553** la déformation de cette contrainte **0,530 % ± 0,016**.
- Le bon résultat pour la famille **BB** est **25%** la valeur de contrainte **9,562 (MPa) ± 0,666** la déformation de cette contrainte **0,476 % ± 0,055**.
- Meilleur résultat pour la famille **BO** est **20%** la valeur de contrainte **10,802 (MPa) ± 0,463** la déformation de cette contrainte **0,606 % ± 0,031**.
- Le bon résultat pour la famille **MR** est **25%** la valeur de contrainte **11,486 (MPa) ± 0,189** la déformation de cette contrainte **0,607 % ± 0,035**.

Les pores 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.

#### *V-4.1.2. Analyse des modules d'élasticité (module de Young) en flexion*

Les modules de Young sont calculés à partir de la zone linéaire de la courbe contrainte/déformation. La (figure V.11) représentent la variation du module de Young.

On note que le module d'élasticité élevé dans la famille **MS** est au taux de 20% avec une valeur de **1847,743 MPa** avec une marge d'erreur  $\pm 99,443$ . Et pour la famille **BB** le module d'élasticité élevé est au taux de 20% avec une valeur de **1760,301 MPa** avec une marge d'erreur  $\pm 204,777$ . Et pour la famille **BO** le module d'élasticité élevé est au taux de **25%** avec une valeur de **1825,625 MPa** avec une marge d'erreur  $\pm 269,15$ . La famille **MR** le module d'élasticité élevé est au taux de **15%** avec une valeur de **1874,173 MPa** avec une marge d'erreur  $\pm 104,084$ .

Il est très probable que les pores provoquent des fluctuations dans les résultats car, Les pores présents dans le béton polymère ont un effet significatif sur son module d'élasticité. En général, les pores réduisent la rigidité du matériau et conduisent à une baisse de son module d'élasticité. Plus il y a de pores dans le matériau, plus la baisse du module d'élasticité sera importante. Cet effet peut être expliqué par le fait que les pores créent des vides dans la structure du béton polymère, ce qui diminue la densité du matériau. En conséquence, la quantité de matériau disponible pour supporter une charge diminue, ce qui réduit sa résistance et son module d'élasticité.

Figure V- 7

#### *V-5. Résultats d'absorption d'eau*

On remarque que le pourcentage d'absorption obtenu dans le Graphique (figure V-12) est faible. Tous les résultats ont été confinés entre de **0.207% et 0.632 %**. Ce qui indique que le moulage de béton était bon. À l'exception du résultat de l'échantillon **BB de 20 %**, le taux d'absorption était de **1,1924 %** avec champ d'erreur **+0,00469**

, en raison de la disponibilité de pores à la surface de la pièce, ce qui lui a permis d'absorber un grand pourcentage d'eau.

Le pourcentage le plus élevé après **BB 20%** elle le **BB15%** au taux de **0,632%** avec champ d'erreur  $\pm 0,000296$ , Suivi par **MS** au taux de **0,6148%** avec champ d'erreur  $\pm 0,000947$ . Où était le plus petit taux d'absorption pour un échantillon **MR 25%** au taux de **0,207%** avec champ d'erreur  $\pm 2,06 \cdot 10^{-5}$

D'après le résultat d'essai d'absorption d'eau, nous avons confirmé notre discussion sur l'effet négatif de la porosité sur le béton, car les échantillons qui avaient un taux d'absorption élevé avaient une faible endurance, et vice versa pour les échantillons qui n'absorbaient pas un grand pourcentage d'eau, la durabilité était grande.

### **Conclusion générale**

Il est possible de mettre en évidence que les bétons polymères fabriqués à partir de sable, et déchets plastiques et de déchets minéraux sont une solution écologique et durable pour réduire les déchets et la consommation de ressources naturelles non renouvelables. Les propriétés mécaniques de ces bétons ont été améliorées grâce à l'ajout d'additifs et de renforts, permettant ainsi une utilisation dans diverses applications de construction. De plus, la production de ces bétons polymères permet de réduire l'empreinte carbone et la consommation d'énergie, ce qui les rend plus écologiques que les bétons traditionnels. L'étude de l'ensemble des résultats liés aux propriétés physiques et mécaniques des échantillons nous a permis d'aboutir aux résultats suivants :

- Il a été découvert que les échantillons MS 15%, BB 25%, BO 20 et MR 25% ont des valeurs idéales de résistance à la flexion, contrairement aux autres pourcentages, car ils ont montré des résultats estimés respectivement à  $9,922 \pm 0,553$  MPa;  $9,562 \pm 0,666$  MPa;  $10,802 \pm 0,463$  MPa et  $11,486 \pm 0,189$  MPa. Les mêmes échantillons ont également montré les déflexions les plus élevées estimées à  $0,530 \pm 0,016$  %;  $0,476 \pm 0,055$  %;  $0,606 \pm 0,031$  % et  $0,607 \pm 0,035$  % respectivement.

- Les résultats des valeurs de module de Young dans les échantillons MS 20%, BB 20%, BO 25% et MR 15% ont montré les valeurs les plus élevées de  $1847,743 \pm 99,443$  MPa;  $1760,301 \pm 204,777$  MPa ;  $1825,625 \pm 269,15$  MPa et  $1874,173 \pm 104,084$  MPa respectivement.

- Quant à l'expérience d'absorption d'eau, les échantillons de MR 25% cultivars ont donné la valeur d'absorption d'eau la plus faible estimée à **0,207 %**

En comparant les résultats obtenus avec les résultats de (Ashish Soni et al) 6,24 Mpa.[75]

Nous avons conclu que l'ajout de matières minérales au mélange de sable avec du plastique améliore la cohésion et l'harmonie entre les grains de sable et de plastique et réduit fortement les proportions de vides entre les matériaux, ce qui lui confère de bonnes valeurs pour les propriétés physiques et mécaniques.

Cependant, il reste quelques défis à relever pour la production de bétons polymères. Il faut notamment améliorer la collecte et le tri des déchets, ainsi que la qualité du plastique recyclé. En résumé Il est important de continuer à encourager la recherche et le développement de cette technologie afin de remplacer les bétons traditionnels par des matériaux plus durables et respectueux de l'environnement.

## Les références bibliographiques

1. Mcnutt, M.J.S.A., *Production, use, and fate of all plastics ever made*. 2017. **19**.
2. 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.
3. Claud, E., et al., *Le recyclage au Paléolithique moyen*. 2010. **29**(6): p. e15.
4. Spilka, M., et al., *Integrated recycling technology*. 2008. **31**(1): p. 97-102.
5. Layada Samir, K.K., *Etude et caractérisation d'un béton à base de recyclâts-Etat de l'Art*. 2020.
6. Tadmourt, W., *Etude des différents modes d'élimination des déchets plastiques*. 2016.
7. MAHDI, S. and A. TAHMI, *Etude de la récupération et de la valorisation de quelques déchets plastiques destinés à l'emballage*. 2020, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
8. Abdulredha, M.A., *An Investigation of Municipal Solid Waste Management During the Arba'Een Pilgrimage in Kerbala, Iraq*. 2019: Liverpool John Moores University (United Kingdom).
9. Poch, E., *Traitement des déchets solides Définition et classification*. projetecolo.com, 19 avril 2021.
10. FOUZIA, H. and K. IMANE, *L'utilisation de la brique recyclée et de la céramique dans la formulation des mortiers*. 2019, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
11. Nabila, A., *durabilité du béton à base des déchets de démolition*. 2018, Faculté des Sciences et Technologies.
12. Bessad, L., *Etude du comportement d'un mélange de calcaire et de déchets plastiques pour une valorisation dans la construction routière*. 2020, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou.
13. Turlan, T., *Les déchets-2e éd.: Collecte, traitement, tri, recyclage*. 2018: Dunod.
14. GUESMIA, A.B. and W. BENMADANI, *Les impacts environnementaux des déchets plastiques*. 2022, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
15. Ikram, S., *Etude et modélisation de l'effet de la poudre d'aluminium sur les propriétés des mortiers légers à base des granulats des déchets plastiques*.
16. BENZANNACHE, N., *Caractérisation mécanique des bétons polymères à base de résine renforcés par des granulats*. 2017.
17. BOUTHEYNA, Z. and D. CHAIMA, *Effet des déchets du plastique industriel dans des blocs de béton*. 2022, faculté des sciences et de la technologie univ bba.
18. ABDOUNE, A. and O.K. HADDAD, *Utilisation des déchets plastiques en matériaux composites de construction*. 2020, universite Ahmed Draia-ADRAR.
19. THOMAS, A., *Recyclage du polypropylène (PP)*. Bretagne Énergie est un magazine d'informations sur l'environnement, Publié le 02/11/2021.
20. HAILEYESUS, D.N., *DEVELOPMENT OF SHREDDER, MIXER, AND EXTRUDER TO FABRICATE COMPOSITE MATERIAL USING WASTE PLASTIC AND FINE SAND*. 2021.
21. Loire, V.d., *Déchets minéraux/*. A proximité de la région Centre - Val de Loire, Le portail des déchets en région Centre/<http://www.portaildesdechetsenregioncentre.fr/>, 2009.
22. ROUBAH, N., *VALORISATION DES RECYCLATS DANS LES REMBLAIS DES OUVRAGES GEOTECHNIQUE*. 2021.
23. Boulouza, O. and A. Grine, *Effet de l'ajout des déchets de brique sur les propriétés physicomécaniques des mortiers*. 2019, université Akli Mouhend-Oulhadj de Bouira.
24. ALLAG, A., F. BOUSSERIA, and D. Boucherit, *Formulation d'un béton autoplaçant à matrice ciment-marbre*. 2020.
25. KOUARTA HAYTHEM, S.Y., *ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DE LA DURABILITE DES BETONS A BASE DE DECHETS DE MARBRES*. 2020.
26. DJEDDOU, S., B. ECHERGUI, and M. GUENDOZ, *L'effet des types de fillers sur la durabilité du béton de sable fluide*. 2019.
27. Mebirouk, B. and S.E. Benmessaoud, *La contribution des déchets de marbre à la confection des BHP*. 2021, Université de Jijel.
28. YESSERI, I., M. TABTI, and M. BENTCHIKOU, *Etude des propriétés d'un mortier autoplaçant avec un mélange de poudre de verre et de brique pour différentes finesses*. 2020.
29. Saadani, S. and H. Houari, *Comportement des bétons à base de granulats recyclés*. 2008, Université Frères Mentouri-Constantine 1.
30. Diakun, J., et al. *Recycling-oriented analysis of domestic vacuum cleaner*. in *Journal of Physics: Conference Series*. 2022. IOP Publishing.
31. 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 ....

32. Bolden, J.J.C.i.t.D.h.b.t.A., Microform Edition© ProQuest LLC. All rights reserved. This work is protected against unauthorized copying under Title, *Innovative uses of Recycled and Waste Materials in Construction Application IV North Carolina A. & T State University Published by ProQuest LLC (2013)*. 2013. **17**.
33. SAHRAOUI, M., et al., *Le béton de sable à base de déchets de caoutchouc*. 2015.
34. Buyck, M., *Gestion des déchets plastiques et détection de micro-déchets plastiques en station d'épuration en Wallonie*. 2018.
35. TERCHA, H., *MÉMOIRE DE MASTER*.
36. Djeflal, H. and Y. Youneschaouche, *Le recyclage des déchets plastiques dans le cadre du développement durable Cas des entreprises de recyclage de la Wilaya de Tizi-Ouzou*. 2017, Université Mouloud Mammeri.
37. Madam, C.J.M.d.D.d.E.S.e.G.d.I.E.U.L.d.B., *La valorisation des matières plastiques en fin de vie: Etat des lieux et propositions d'amélioration*. 2003.
38. AMKHENFI, L. and H. KAROU, *Valorisation des déchets plastiques dans le matériau plâtre*. 2018, université Akli Mouhend-Oulhadj de Bouira.
39. AHLEM, N., *Effet du traitement des granulats plastiques et le type de sable sur les caractéristiques du mortier*.
40. MESSAOUDI, K. and K. BOUREBAA, *Elaboration et caractérisation physico-mécanique d'un matériau cimentaire à base de déchets de verre et plastique*. 2022, université akli mohand oulhadj-bouira.
41. Senisna, Z., *Contribution et l'amélioration des caractéristiques rhéologiques et mécaniques du corps de chaussée par l'ajout des déchets de brique en zone saharienne*.
42. Abdellaoui, A. and Y. Abiza, *Valorisation des déchets de marbre et de granite de l'entreprise timgad marbre dans les bétons*. 2020.
43. SEGHIRI, M., *Etude d'un Matériau Composite à Base Polymère-Sable en Zone Aride*.
44. BOUGUESSIR, H., *CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'ENDOMMAGEMENT EN STATIQUE DU BETON POLYMERE A FIBRES MINERALES ET VEGETALES: APPROCHE EXPERIMENTALE ET NUMERIQUE*. 2019.
45. Zanache, N., et al. *Etude statistique et Caractérisation Mécanique des Bétons Polymères Sollicités en Flexion (S06)*. in *CFM 2015-22ème Congrès Français de Mécanique*. 2015. AFM, Maison de la Mécanique, 39/41 rue Louis Blanc-92400 Courbevoie.
46. Hanane, L., *Etude du comportement mécanique du béton polymère renforcé par des fibres végétales et déchets minéraux*. 2017, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
47. Alaa Eddine, B., *Formulation et caractérisation d'un béton polymère renforcé par des fibres végétales et filler de brique*. 2017, Faculte de technologie/UniversiteMohamed Boudiaf-M'sila.
48. Ribeiro, M.C.d.S., *New polymer mortar formulations: development, characterization and application forms*. 2006.
49. BOUZINA, Y. and A. SAHRAOUI, *TECHNIQUE D'ELABORATION ET DE CARACTERISATION DES PAVES DE RESINES THERMOPLASTIQUES*. 2020, Univ M'sila.
50. Haidar, M., *Optimisation et durabilité des micro-bétons à base d'époxyde*. 2011, Cergy-Pontoise.
51. Bouksani, O., *Comportement des mortiers résineux aux milieux agressifs*. 2020.
52. BENALI, B., *Etude du comportement mécanique et de durabilité des mortiers de polymères modifiés au latex*.
53. Zouaoui Riyadh fakhereddine, B.S., *Effet des fibres végétales sur le comportement des mortiers polymère-modifiés, DIPLOME DE MASTER FILIERE : Génie Civile Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj 2019/2020*: p. 64.
54. ACHOUR, Z. and F. AICHAOUI, *ETUDE DE L'ADHESION FIBRE/MATRICE DANS UN BETON POLYMERE*. 2022, university of M'sila.
55. BENOUIS Hanane Bakhta, B.F., *Etude de béton à base de polymère*. 2018/2019.
56. BOUSSAHA Selma, M.-N.M., *Etude des propriétés du béton à base de polymère*. 2019.
57. SAAIDIA, A., *Comportement en flexion statique des composites (granulat/résine)*. 2015.
58. NOUREDDINE, L., *Effet des agrégats à base de déchets plastiques sur les différentes propriétés des matériaux composites mortier-polymère*. 2018.
59. Guendouz, M. and F. Debieb. *Formulation et caractérisation d'un béton de sable à base de déchets plastiques*. in *Rencontres Universitaires de Génie Civil*. 2015.
60. Sahani, K., et al., *Mechanical properties of plastic sand brick containing plastic waste*. 2022. **2022**.
61. KHERROUB, G. and D. ZIANE, *EFFET DE L'AGENT DE VISCOSITE SUR LES MORTIERS AUTOPLAÇANTS (MAP) A DIFFERENTS TYPES DE SABLE*. 2015.
62. GHADBANE Karima, S.A., *Effet des traitements de surface des fibres de palmier sur les propriétés des biocomposites à base de polypropylène*.

63. MAHDADI, N. and S. CHIHAI, *Identification of molecular composition of chromatic varieties of sand dunes of Ouargla region, by using absorption infrared spectroscopy (FTIR)*. 2014.
64. Mahdadi, N., et al., *Chromatic classification of Ouargla (Algeria) dunes sand: determination of main compositions and color causes, by using XRD, FTIR and XRF*. 2017. **9**(2): p. 211-221.
65. Mahdadi, N., et al., *Spectroscopic properties of Ouargla Sand Dunes—Algeria*. 2022. **15**(14): p. 1288.
66. Paluszkiwicz, C., M. Holtzer, and A.J.J.o.M.S. Bobrowski, *FTIR analysis of bentonite in moulding sands*. 2008. **880**(1-3): p. 109-114.
67. Anbalagan, G., A. Prabakaran, and S.J.J.o.a.s. Gunasekaran, *Spectroscopic characterization of Indian standard sand*. 2010. **77**: p. 86-94.
68. BEDDIAF, S. and S. CHIHAI, *Study of some structural properties of quartz in the sand dunes of region of Ouargla*. 2014.
69. Boquera, L., et al., *Characterization of supplementary cementitious materials and fibers to be implemented in high temperature concretes for thermal energy storage (TES) application*. 2021. **14**(16): p. 5190.
70. García-Díaz, A., et al., *Reuse of Oil Refining Sludge Residue Ash via Alkaline Activation in Matrices of Chamotte or Rice Husk Ash*. 2023. **16**(7): p. 2801.
71. Pappu, A., R. Chaturvedi, and P.J.S.A.S. Tyagi, *Sustainable approach towards utilizing Makrana marble waste for making water resistant green composite materials*. 2020. **2**: p. 1-12.
72. Kassouf, A., et al., *Rapid discrimination of plastic packaging materials using MIR spectroscopy coupled with independent components analysis (ICA)*. 2014. **34**(11): p. 2131-2138.
73. Bakshi, P., et al., *Accelerated weathering performance of injection moulded PP and LDPE composites reinforced with calcium rich waste resources*. 2021. **192**: p. 109694.
74. Jose, J., et al., *Modification of waste polypropylene with waste rubber dust from textile cot industry and its characterization*. 2007. **85**(4): p. 318-326.
75. Soni, A., et al., *Development of sand-plastic composites as floor tiles using silica sand and recycled thermoplastics: a sustainable approach for cleaner production*. 2022. **12**(1): p. 18921.