

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTRE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE UNIVERSITE
MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE
CIVIL N° :**



**DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUES
FILIERE : Génie Civil
OPTION : Matériaux**

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

**Par : - Haouassi Elhosseyn
- Kadri Samir**

Intitulé

***L'effet d'ajout de la poudre de fibre de verre
sur le comportement du béton polymère***

Le : 17 Juin 2018

Soutenu devant le jury composé de :

Pr. NACERI Abdelghani	Université de M'sila	Président
Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine	Université de M'sila	Encadreur
Dr. ROKBI Mansour	Université de M'sila	Co-Encadreur
Dr. BEN YAHIA Abdesslam	Université de M'sila	Examineur
Dr. BELAGRAA Larbi	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2017 /2018

Remerciement

Le premier remerciement c'est pour dieu qui nous a permis d'être dans cette situation et d'avoir cette formation.

Merci à nos parents pour nous donner toujours un coup de pouce dans nos études.

Merci, « Pr Rahmouni. Zine Abiddine » et « Dr Rokbi Mansour » qui ont encadré ce travail, pour leur disponibilité, ainsi que pour leurs soutiens tout au long de la réalisation de ce projet.

Nous remercions aussi « Mr. Baali Brahim » le directeur de Maghreb pipe qui nous a aidé pendant ce travail et nous a permis d'avoir toutes les facilités au niveau du laboratoire de Maghreb Pipe.

Nous remercions les membres des jurys et le responsable du hall Technologique « Mr. salamani »

Et toutes mes amies de promotion de spécialité « Matériaux ».

Et tous mes enseignants du département de génie civil surtout « Mr. Baali Laid » qui nous a encouragé à faire de notre mieux pour avoir la meilleure formation possible.

« KADRI SAMIR » & « HAOUASSI ELHOSSEYN »

Dédicace

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,
À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre,
À cette source de tendresse, de patience et de générosité,
À tous mes frères et sœurs, ainsi que leurs enfants
Et sur tout à ma chère femme et son famille
À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer*

HAOUASSI ELHOSSEYN

Dédicace

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

***A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour,
leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes
études,***

***À ma chère femme qui a été le meilleur soutien pour moi dans
tous les aspects de la vie***

À mon â me et la fleur de ma vie ma chère fille Maya

***A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et
leur soutien moral,***

A mon frère pour son encouragement,

***A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon
parcours universitaire.***

KADRI SAMIR

Résumé

L'objectif de ce travail, c'est la valorisation des déchets industriels tels que la poudre de fibres de verre en les utilisant comme charge du béton polymère, pour réduire l'impact environnemental et améliorer le comportement mécanique du béton à la flexion et la compression.

Dans ce travail, nous avons étudié l'effet de l'introduction de poudre fibres de verre (DFW) et (CFW) dans un béton polymère.

Les résultats des tests sur les différentes éprouvettes en bétons polymères renforcés par ces poudres à un effet significatif surtout sur le comportement à la flexion trois points et la compression.

Les résultats de ce travail suggèrent que la poudre de fibres de verre est comparable à d'autres poudres utilisées comme charge dans des matrices polymériques. Elles sont complètement aptes à l'utilisation comme charge dans les bétons polymères.

Mots clés : Béton polymère, Poudre fibres de verre **DFW**, Poudre fibres de verre **CFW**, Tuyau **PRV**, Silice.

Abstract

The objective of this work is the valorization of resources industrial waste such as fiberglass powder by using it as a polymer concrete filler, to reduce the environmental impact and improve the mechanical behavior of concrete at bending and compression.

In this work, we have studied the effect of the introduction of fiberglass powder (DFW) and (CFW) in a polymer concrete.

The results of the tests on the different specimens of polymer concrete reinforced by these powders have a significant effect, especially on the three-point bending behavior and the compression.

The results of this work suggest that glass fiber powder is comparable to other powders used as a filler in polymeric matrices. They are completely suitable for use as filler in polymer concretes.

Key words: Polymer concrete, glass fiber powder **DFW**, glass fiber powder **CFW**, Pipe **PRV**, Silica.

ملخص

الهدف من هذا العمل, هو استغلال النفايات الصناعية مثل مسحوق الألياف الزجاجية باستخدامها كتعزيزات ملموسة في الخرسانة البوليميرية. لتقليل الأثر البيئي، وتحسين السلوك الميكانيكي للخرسانة في الانحناء والضغط.

في هذا العمل قمنا بدراسة تأثير إدخال مسحوق الألياف الزجاجية على الخرسانة البوليميرية. وأظهرت نتائج الاختبارات على عينات مختلفة من الخرسانة البوليميرية المدعمة بمسحوق الألياف الزجاجية أن له تأثير كبير على سلوك هذه المواد في تجربة الانحناء الثلاثي، الضغط وتمزق أيضا.

نتائج هذه الدراسة تشير إلى أن مسحوق الألياف الزجاجية يمكن مقارنتهم مع مساحيق أخرى مستخدمة كتعزيز في الخرسانة البوليميرية كما أنها جد مناسبة لهذا الاستخدام.

المفتاح: الخرسانة البوليميرية, مسحوق الألياف الزجاجية, الرمل, الأنابيب .

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

I.1. Introduction.....	4
I.2. Les constituants des matériaux composites.....	5
I.2.1. La matrice	5
I.2.1.1. La matrice organique.....	5
a) les matrices thermodurcissables (TD)	5
b) les matrices thermoplastiques (TP)	7
I.2.1.2. La matrice minérale	9
a) la matrice céramique	9
b) la matrice métallique	10
I.3. Les renforts	10
I.4. Relation matrice – renfort	10
I.5. Charge et additifs	11
I.2.1. Les chcharges.....	11
I.2.1. Les additifs.....	11
I.6. Les caractéristiques générales des matériaux composites.....	11
I.7. Structure du composite.....	11
I.7.1. Les monocouches	12
I.7.2. Les stratifiées	12
I.7.3. Les sandwichs	12
I.8. Avantages et inconvénients des composites	13
I.9. Conclusion	13

Chapitre II : Généralités sur le béton polymère

II.1. Introduction.....	15
II.2. La composition principale d'un béton polymère	15
II.3. Les caractéristiques principales des bétons polymères.....	16
II.3.1. Caractéristiques mécaniques d'un béton polymère.....	16
II.3.2. Caractéristiques physiques d'un béton polymère	16

II.3.3. Caractéristiques chimiques d'un béton polymère	17
II.3.4. Caractéristiques hydrauliques d'un béton polymère.....	17
II.4. Les principaux avantages et les inconvénients du béton polymère	17
II.4.1. Les avantages d'un béton polymère.....	17
II.4.2. Les inconvénients d'un béton polymère	17
II.5. La comparaison entre un béton polymère et un béton ordinaire.....	18
II.6. Les différentes applications d'un béton polymère	18
II.6.1. L'utilisation des bétons polymère dans les bâtiments domaine de génie civil	18
II.6.2. L'utilisation des bétons polymère dans les travaux de drainage et hydrauliques	19
II.6.3. L'utilisation des bétons polymère dans l'horticulture	20
II.6.4. L'utilisation des bétons polymère pour les revêtements des chaussées et planchers	20
II.6.5. L'utilisation des bétons polymère dans l'industrie	21
II.6.6. L'utilisation des bétons polymère comme isolation phonique.....	21
II.9. Conclusion	21

Chapitre III : Déchets industriels dans les constructions

III.1. Introduction	23
III.2. Définition du terme déchet	23
III.3. Classification des déchets.....	23
III.3.1. Déchets ultimes	23
III.3.2. Déchets inertes	24
III.3.3. Déchets assimilés	24
III.3.4. Déchets verts	24
III.3.5. Déchets organiques.....	24
III.3.6. Déchets industriels banals (DIB).....	25
III.3.7. Déchets dangereux.....	25
III.3.7.1. Déchets industriels spéciaux (DIS)	25
III.3.7.2. Déchets ménagers spéciaux (DMS).....	25
III.4. Déchets utilisés comme granulats du béton.....	26
III.4.1. Déchet de faïence	26

III.4.2. Déchets de la démolition	26
III.4.3. Déchet de Pneus	27
III.4.4. déchet de brique.....	28
III.4.5. déchet de verre.....	29
III.4.6. déchet plastiques.....	30
III.4.6. déchet du bois	31
III.5. Conclusion.....	31

Chapitre IV : Matériaux et techniques expérimentales

IV.1. Introduction	33
IV.2. caractéristique principales pour chaque matériau utilisé.....	33
IV.2.1.Résine polyester	33
IV.2.1.1.Caractéristiques des résines polyester	34
IV.2.1.2.Avantages et inconvénients de l'utilisation de la résine polyester.....	35
IV.2.2.Silice.....	35
IV.2.3.poudre fibre de verre	36
IV.3.Technique de moulage	38
IV.3.1. Préparation des moules utilisées	38
IV.3.2. Elaboration des éprouvettes en béton polymères	38
IV.3.3. Le traitement thermique du béton polymère élaboré.....	41
IV.4. Essais mécaniques appliqués sur le béton polymère renforcé et non renforcé.....	41
IV.4.1. Essai de flexion trois points (FTP)	41
IV.4.1. Essai de compression	42
IV.5. Conclusion.....	43

Chapitre V : Résultats et Discussion

V.1. Reproductibilité des expériences	45
V.2. Analyse des courbes contrainte-déformation (σ , ϵ) des bétons polymères.....	46
V.2.1. Analyse des courbes (σ , ϵ) des bétons polymères à Poudre DFW.....	48
V.2.2. Analyse des courbes (σ , ϵ) des bétons polymères à Poudre CFW.....	49
V.2.3. Comparaison des bétons polymères à Poudres DFW & CFW	50

V.3. Analyse de la résistance à la compression	52
V.3.1. BP renforcé par de poudre fibre de verre (DFW)	52
V.3.2. BP renforcé par de poudre fibre de verre (CFW)	53
V.3.3. Comparaison entre les deux poudres fibre de verre (DFW&CFW)	55
V.4. Effet d'utilisation de la poudre de verre dans le béton.....	55
V.4.1. Résistance a la flexion	55
V.4.2. Résistance a la compression	56
V.5. Conclusion.....	57
Conclusion générale	58
Références bibliographiques	

Introduction générale

Les composites de béton-polymère sont des matériaux qui sont obtenus en remplaçant la totalité ou une partie du liant de ciment mélangé avec de l'eau dans le mortier conventionnel et le béton avec le polymère.

L'utilisation des polymères dans la technologie du béton peut être divisée en trois groupes principaux comme le béton polymère-Portland-ciment, le béton imprégné de polymère et le béton polymère.

Dans le béton polymère-Portland, un film polymère est formé autour des agrégats et certaines parties de vides capillaires ont été remplies. Dans le béton imprégné de polymère, certaines parties de vides de gel ainsi que tous les vides capillaires ont été remplis de polymère.

Le béton polymère est un matériau composite qui a été soutenu par des agrégats qui durcissent avec la réaction chimique et qui se compose de résine et durcisseur dans la matrice continue de polymère.

Les agrégats peuvent être les silicates, le quartz, la pierre concassée, le gravier, le calcaire, le granit, l'argile, etc. Dans la composition, différents types de matériaux fins tels que: cendres volantes, fumée de silice, fibre de verre, fibre de carbone, etc. peuvent être utilisés pour améliorer les propriétés du béton polymère

Les bétons polymères dont les résistances à la flexion sont plus élevées que les bétons normaux sont utilisés comme matériau additif pour les bétons de ciment Portland, pour prévenir l'abrasion sur la surface du béton, dans les panneaux de construction et décoratifs, les canalisations d'égout, les souterrains équipements de tunnel, canaux de drainage, pour la doublure de tuyaux en acier au carbone dans les applications géothermiques et les constructions comme les piscines.

L'objectif ce travail consiste à apporter une contribution à la valorisation des déchets industriels, qui sont la poudre fibres de verre grâce à sa disponibilité dans **l'usine Maghreb Pipe Industries**, comme charge du béton polymère.

Nous avons étudié particulièrement l'effet de l'incorporation de cette poudre sur le comportement mécanique du béton polymère.

Notre mémoire comporte cinq chapitres :

- ❖ Le premier chapitre est une étude bibliographique sur les matériaux composites dans le cas général.
- ❖ Le deuxième chapitre présente une étude sur le béton polymère de point de vue caractéristique, utilisation ainsi qu'une comparaison avec les bétons ordinaires.
- ❖ Dans le troisième chapitre, nous présentons une synthèse bibliographique sur la classification et les propriétés essentielles des déchets industriels dans les constructions.
- ❖ Le quatrième chapitre est une étude expérimentale présentant la préparation et la procédure de traitement de la poudre de fibre de verre, ainsi que la formulation du béton polymère, les protocoles et les conditions des tests.
- ❖ Le cinquième chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus accompagnée de discussions.

Enfin une conclusion générale.

Remarque :

Les photos des machines d'essais ont été prises avec l'accord des responsables de l'usine de Maghreb Pipe M'sila. Les schémas explicatifs et illustrations sont réalisés par les étudiants.

Chapitre I :
Généralités sur les matériaux
composites

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

I.1. Introduction

Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux matériaux de natures différentes (Fig.I.1), se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont les performances sont supérieures à celles des composants pris séparément. Un matériau composite est constitué dans le cas le plus général d'une ou plusieurs parties discontinues réparties dans une partie continue. La partie discontinue, appelée renfort, est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la partie continue, appelée matrice. Le rôle du renfort est d'assurer la fonction de résistance mécanique aux efforts. La matrice assure quant à elle la cohésion entre les renforts de manière à répartir les sollicitations mécaniques. L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de renforcer les propriétés mécaniques de la structure [1].

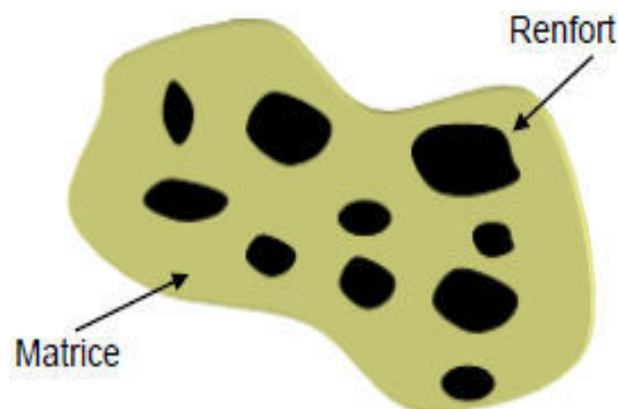


Fig. I.1 : Représentation schématique d'un matériau composite

Il existe aujourd'hui un grand nombre de matériaux composites qui peuvent être classés suivant différents critères. La nature de la matrice est un de ces critères qui permet de répartir les composites en trois grandes familles [2] :

- les Composites à Matrices Organiques (CMO), telles que les polymères organiques (résine thermodurcissable ou thermoplastique).
- les Composites à Matrices Céramiques (CMC) réservés aux applications à haute température.
- les Composites à Matrice Métallique (CMM).

Ces matériaux peuvent aussi être classés selon la nature du renfort, selon l'objectif recherché via leurs utilisations [2].

I.2. Les constituants des matériaux composites

I.2.1. La matrice

La matrice (aussi appelé résine) a pour rôle d'enrober les renforts produisant le lien entre ceux-ci. Elle transmet les efforts aux fibres et les répartissent dans les différentes directions. De plus, la matrice protège les fibres des agressions extérieures et permet l'obtention de la forme désirée par un procédé de moulage [3]. La classification des types de matrices couramment rencontrées est donnée sur la (Fig. I.2) [1].

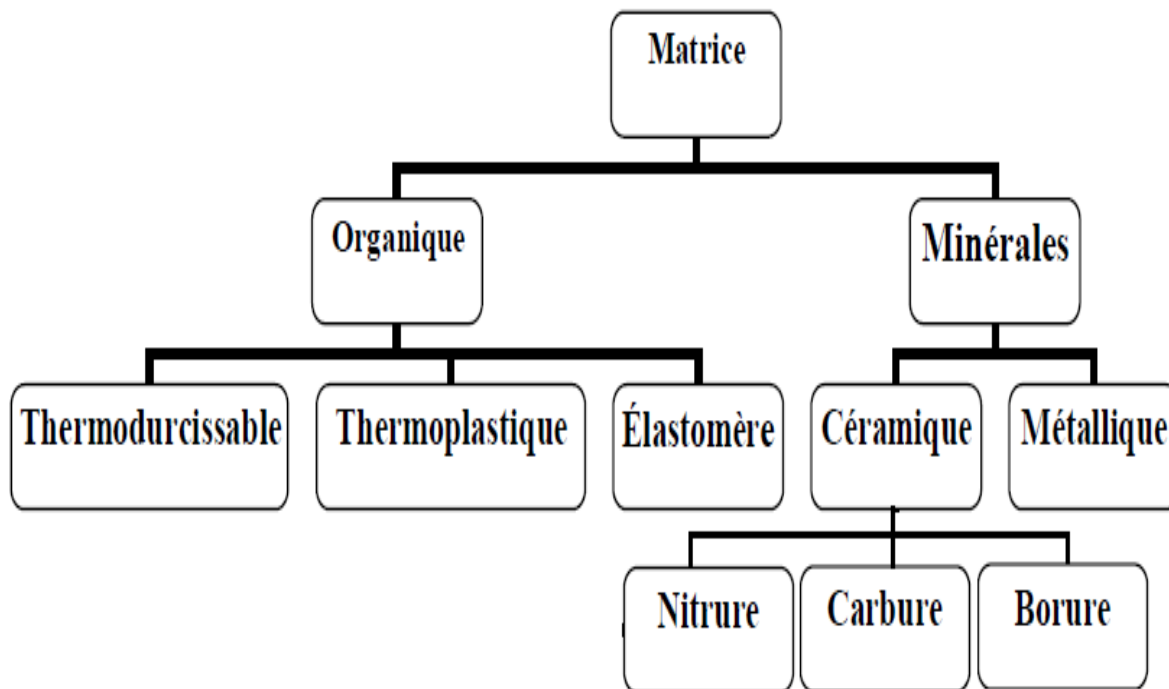


Fig. I.2 : Classification de différentes familles de matrice.

I.2.1.1. La matrice organique :

a) les matrices thermodurcissables (TD)

Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées. Ces résines ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois. Elles sont en solution sous forme de polymère non réticulé en suspension dans des solvants. Les résines polyesters insaturées, les résines de condensation (phénoliques, amioplastes, furaniques) et les résines époxy sont des résines thermodurcissables. Les matériaux les plus performants ont des caractéristiques mécaniques élevées et une masse volumique faible.

Ces caractéristiques sont présentées dans le (Tableau.I.1) [1]. Les résines thermodurcissables principalement sont [4] :

- **Polyesters insaturés**

C'est la résine la plus utilisée dans l'application des composites de grande distribution. Cette résine contenant un monomère est réticulée à température ambiante par addition d'un catalyseur de type peroxyde organique et d'un accélérateur. Elle passe successivement de l'état liquide visqueux initial à l'état de gel, puis à l'état de solide infusible.

- **Vinylester**

On peut la considérer comme une variante des polyesters produite à partir d'acides acryliques. Elles possèdent une bonne résistance à la fatigue et un excellent comportement à la corrosion, mais demeure combustible.

- **Phénoliques**

Elles sont issues de la polycondensation du phénol et du formol et se caractérisent par une bonne tenue au feu, sans fumée. Elles restent fragiles, sensibles à l'humidité, difficiles à colorer et à mettre en œuvre.

- **Epoxydes**

Elles résultent de la polyaddition de l'épichlorhydrine sur un polyalcool et constitue la résine type des composites hautes performances HP. On distingue deux classes de résines en fonction :

- du durcissement à chaud ou à froid.
- de la tenue en température (120-130 °C, ou 180-200 °C).

- **Polyuréthanes et polyurées**

Dans la fabrication de pièces composites, on utilise ce type surtout des formules élastomériques dont la faible viscosité permet un bon remplissage du moule.

- **Polyimides**

Ces résines sont utilisées dans les composites HP, lorsque l'on cherche une bonne stabilité sous hautes températures (> 250 °C). Elles restent toutefois très onéreuses et difficiles à mettre en œuvre.

- **Bismaléimides**

Matrices très peu utilisées en Europe. Elles offrent une bonne tenue à la fois au choc et en température, mais restent difficiles à mettre en œuvre.

Tableau. I.1 : Caractéristiques principales des matrices thermodurcissables (TD) [4].

Matrices Thermodurcissables	Masse Volumique (Kg/m ³)	Module D'élasticité (MPa)	Module De Cisaillement (MPa)	Coefficient De Poisson	Contrainte De rupture (MPa)	Allongement à rupture %	Coefficient de Dilatation Thermique °C ⁻¹
	M _v	E	G	K	C _r	A	α
Epoxyde	1200	4500	1600	0.4	130	2	11*10 ⁻⁵
Phénolique	1300	3000	1100	0.4	70	2.5	1*10 ⁻⁵
Polyester	1200	4000	1400	0.4	80	2.5	8*10 ⁻⁵
Polycarbonate	1200	2400		0.35	60		6*10 ⁻⁵
Vinylester	1150	3300			75	4	5*10 ⁻⁵
Silicone	1100	2200		0.5	35		
Uréthanne	1100	700 à 7000			30	100	
Polyimide	1400	4000 à 19000	1100	0.35	70	1	8*10 ⁻⁵

b) les matrices thermoplastiques (TP)

Les polymères utilisés sont essentiellement des thermoplastiques techniques qui présentent à l'état vierge de bonnes caractéristiques mécaniques (Tableau.I.2). Un renforcement à l'aide de fibres courtes leur confère une tenue thermique et mécanique améliorée et une bonne stabilité dimensionnelle, sont des matrices réversibles [4].

Les principales matrices TP utilisées (possédant tous une tenue en température supérieure à 100 °C) sont les suivantes [4] :

- **Polyamide (PA)** : tenue au choc, bonne résistance à la fatigue et aux hydrocarbures.
- **Polytéréphtalate éthylénique et butylénique (PET, PBT)** : bonne rigidité, bonne ténacité.
- **Polycarbonate (PC)** : tenue au choc.
- **Polysulfure de phénylène (PPS)** : résistance à l'hydrolyse.
- **Polyoxyméthylène (POM)** : bonne tenue à la fatigue.
- **Polysulfurés (PSU et PPS)** : bonne stabilité chimique et à l'hydrolyse, peu de fluage, tenue au chaud.

- **Polypropylène (PP)** : peu onéreux et assez stable en température, mais combustible.

De plus en plus, on utilise des thermoplastiques thermostables (tenue en température > 200 °C et bonnes propriétés mécaniques), en particulier les suivants [4] :

- Polyamide-imide (PAI).
- Polyéther-imide (PEI).
- Polyéther-sulfone (PES).
- Polyéther-éther-cétone (PEEK).

Tableau. I.2 : Caractéristiques principales des matrices thermoplastiques (TP) [4].

Matrices Thermoplastiques	Masse volumique (kg/m ³)	Module D'élasticité (MPa)	Coefficient De poisson	Contrainte à la Rupture (MPa)	Allongement A rupture %	Coefficient de Dilatation Thermique °C ⁻¹
	Mv	E	K	C _r	A	α
PP	900	1200	0.4	30	20 à 400	9×10^{-5}
PPS	1300	4000		65	100	5×10^{-5}
PA	1100	2000	0.35	70	200	8×10^{-5}
PES	1350	3000		85	60	6×10^{-5}
PEI	1150	3300		105	60	6×10^{-5}
PEEK	1300	4000		90	50	5×10^{-5}

Il est important de bien situer les différences fondamentales (Tableau.I.3) de ces deux types de matrices [4].

Tableau. I.3 : Principales différences entre matrices TP et TD [4].

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

I.2.1.2. La matrice minérale

a) La matrice céramique

Les matériaux utilisés sont les carbures de silicium et de carbone. Ils sont utilisés pour la fabrication des pièces qui subissent des contraintes d'origine thermique et leur coût est très élevé [5].

b) La matrice métallique

Les composites à matrice métallique (CMM) possèdent une bonne tenue en température ainsi que de bonnes propriétés électrique et thermique. Par rapport aux métaux, ils ont une meilleure stabilité dimensionnelle, ainsi qu'une meilleure résistance à l'usure [5].

I.3. Les renforts

Les renforts sont les éléments qui contribuent majoritairement à la réponse mécanique du composite. Ils requièrent donc d'excellentes propriétés de résistance mécanique. Mais aussi de bonnes propriétés thermiques, électriques ou encore chimiques suivant les applications [6].

Les renforts sont disponibles sur le marché en fonction des coûts de revient recherchés pour la structure réalisée [1].

La classification des types de renforts couramment rencontrés est indiquée sur (Fig.I.3) :

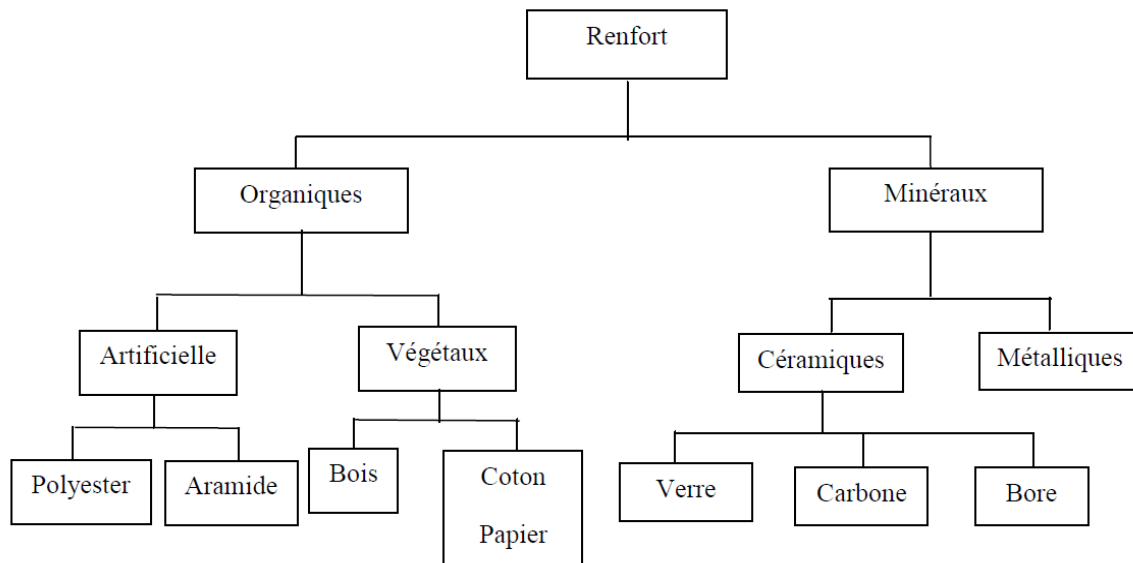


Fig. I.3 : Différents types de renfort de base.

I.4. Relation matrice – renfort

Les performances d'un composite sont conditionnées par les propriétés intrinsèques des matériaux constitutifs et dépendent également très étroitement de l'adhésion, donc des interactions échangées entre le renfort et la matrice [6].

Les paramètres responsables de l'adhésion sont nombreux et ont des origines très différentes, ils se répartissent en trois classes [6]:

- ceux concernant le renfort (nature et composition du renfort, influence du taux et de la taille du renfort).
- ceux concernant la matrice.
- et enfin ceux relatifs à l'interface (épaisseur, forces interfaciales renfort – matrice)
- mouillabilité du renfort par la matrice, influence des impuretés).

I.5. Charge et additifs

I.5.1. Les charge

On désigne sous le nom général de charge toute substance inerte, minérale ou végétale qui, ajoutée à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les propriétés mécaniques, électriques ou thermiques, d'améliorer l'aspect de surface ou bien, simplement, de réduire le prix de revient du matériau transformé [4].

Les substances utilisables comme charges des matières plastiques devront d'abord satisfaire à un certain nombre d'exigences :

- Compatibilité avec la résine de base.
- Mouillabilité et faible action abrasive.
- Uniformité de qualité et de granulométrie.
- **Les charges organiques** : utilisées en tant que charges des résines thermodurcissables, Farines de bois, Fibres végétales, Amidons.
- **Les charges minérales** : Craies et carbonates, Les silices, Les talcs, Les argiles.
- **Oxydes et hydrates métalliques** : Alumine, Trioxyde d'antimoine, Les céramiques.
- **Le verre** : Poudres de verre, Billes de verres creuses.

I.5.2. Les additifs

Les additifs améliorent l'apparence ou les propriétés du produit final. Les plus fréquemment utilisés sont les colorants, suivis des lubrifiants. Parmi les autres additifs, on retrouve les stabilisateurs de lumière, les agents de protection contre les rayons U.V., les agents antimicrobiens et les agents ignifuges [7].

I.6. Les caractéristiques générales des matériaux composites

Les principales caractéristiques des matériaux composites sont [8] :

- ❖ Le gain de masse.
- ❖ La bonne tenue en fatigue (durée de vie augmentée).
- ❖ L'absence de corrosion.
- ❖ L'absence de plasticité (leur limite élastique correspond à la limite de rupture).
- ❖ Le vieillissement sous l'action de l'humidité et de la chaleur.
- ❖ L'insensibilité à certains produits chimiques courants (solvants, peinture...).
- ❖ Tenue aux impacts et aux chocs très moyenne.

I.7. Structure du composite

Les structures des matériaux composites peuvent être classées en trois types [9] :

I.7.1. Les monocouches

Les monocouches représentent l'élément de base de la structure composite. Les différents types de monocouches sont caractérisés par la forme du renfort : à fibres longues (unidirectionnelles, réparties aléatoirement), à fibres tissées, à fibres courtes.

I.7.2. Les stratifiées

Un stratifié est constitué d'un empilement de monocouches ayant chacun une orientation propre par rapport à un référentiel commun aux couches et désigné comme le référentiel du stratifié (Fig.I.10). Le choix de l'empilement et plus particulièrement des orientations permettra d'avoir des propriétés mécaniques spécifiques.

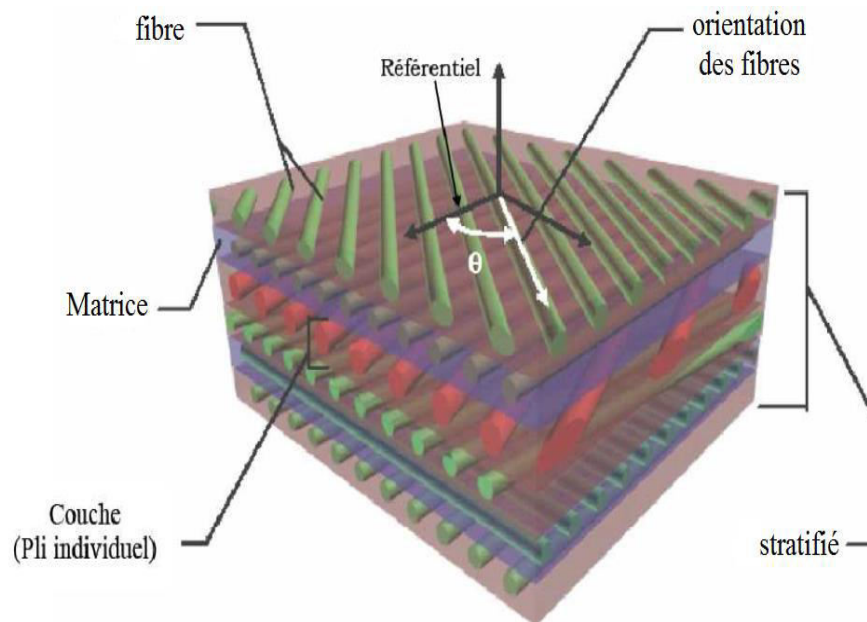


Fig. I.4 : Représentation schématique d'un composite stratifié.

I.7.3. Les sandwichs

Les matériaux composites de types sandwichs sont principalement constitués de deux composants nommés : peau et noyau (Fig. I.11). Les propriétés de ce type de matériaux dépendent de celles du noyau et des peaux, de leurs épaisseurs et des caractéristiques de liaison entre elles, sont constituants par [9] :

- **Le noyau** : matériaux solide à faible densité, Matériaux à haute densité augmentés en forme cellulaire, Matériaux à haute densité augmentés sous la forme ondulée.
- **La peau** : Une large variété de matériaux est utilisée comme peau, par exemple : les feuilles de métaux comme l'aluminium, le titane, ...etc.

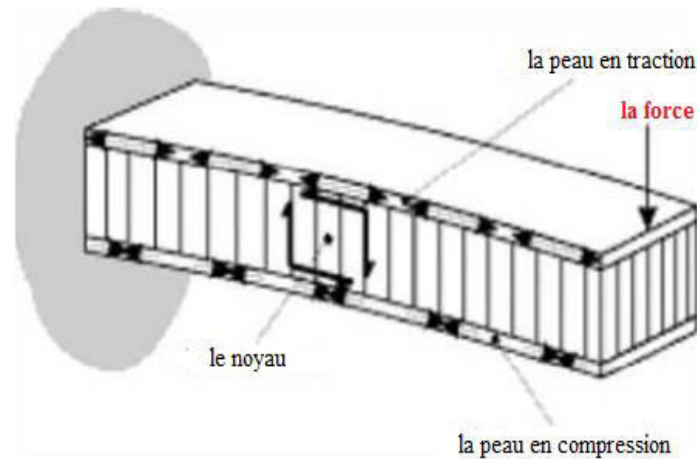


Fig. I.5 : Panneaux sandwich.

I.8. Avantages et inconvénients des composites :

I.8.1. Avantages

Les composites sont préférés à d'autres matériaux parce qu'ils offrent des atouts liés à [9]:

- Leur légèreté.
- Leur résistance à la corrosion et aussi à la fatigue.
- Leur insensibilité aux produits comme les graisses, les liquides hydrauliques, les peintures et les solvants.
- Leur possibilité de prendre plusieurs formes, d'intégrer des accessoires et permettre la réduction de bruit.

I.8.2. Inconvénients

Cependant certains inconvénients freinent leur diffusion [9] :

- les coûts des matières premières et des procédés de fabrication.
- la gestion des déchets engendrés et la réglementation de plus en plus stricte.

I.9. Conclusion

Les matériaux composites sont des matériaux innovants, caractérisés par un bon comportement mécanique, chimique et physique. Ces propriétés dépendent essentiellement du type et de l'architecture du renfort avec quelques charges et additifs, qui permettent d'utiliser ces matériaux dans tous les domaines.

Chapitre II :

Généralités sur le béton polymère

Chapitre II : Généralités sur le béton polymère

II.1. Introduction

Le béton polymère est constitué de charges minérales (granulat, sable,...) et d'un liant en polymère (Fig.II.1). On l'appelle aussi béton de résine synthétique ou béton de résine 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 que le béton de ciment portland, ils permettent d'économiser jusqu'à 50% de matériau. Ainsi, pour certaines applications spécifiques, ils concurrencent le béton conventionnel. La résistance aux agents chimiques et les caractéristiques mécaniques dépendent essentiellement de la nature du polymère utilisé et de la quantité de charge[10].



Fig. II.1 : Béton polymère.

II.2. La composition principale d'un béton polymère

Le béton polymère ou le béton de résine est formé par un squelette granulaire (les agrégats) et un liant polymère (résine) (Fig.II.2) :

- **La résine (matrice)**

Les bétons polymères sont constitués d'un liant entièrement organique qui appelé la résine, parfois thermoplastique mais généralement thermodurcissable, il y a Les époxydes et les polyesters insaturés qui caractérisé par un temps de durcissement très courts, donc le temps de malléabilité varie en fonction des résines, de la quantité de durcisseur et d'accélérateur. Les epoxydes et les polyesters insaturés sont les thermodurcissables les plus utilisés pour la fabrication d'un béton polymère[11].

- **Les agrégats**

Les agrégats utilisés dans la plupart des cas sont des sables de quartz de granulométrie différente. Le gravier utilisé (0,2 à 16 mm) et en partie le sable (0,1 à 0,7 mm) sont considérés comme des agrégats à granulométrie supérieure 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[12].

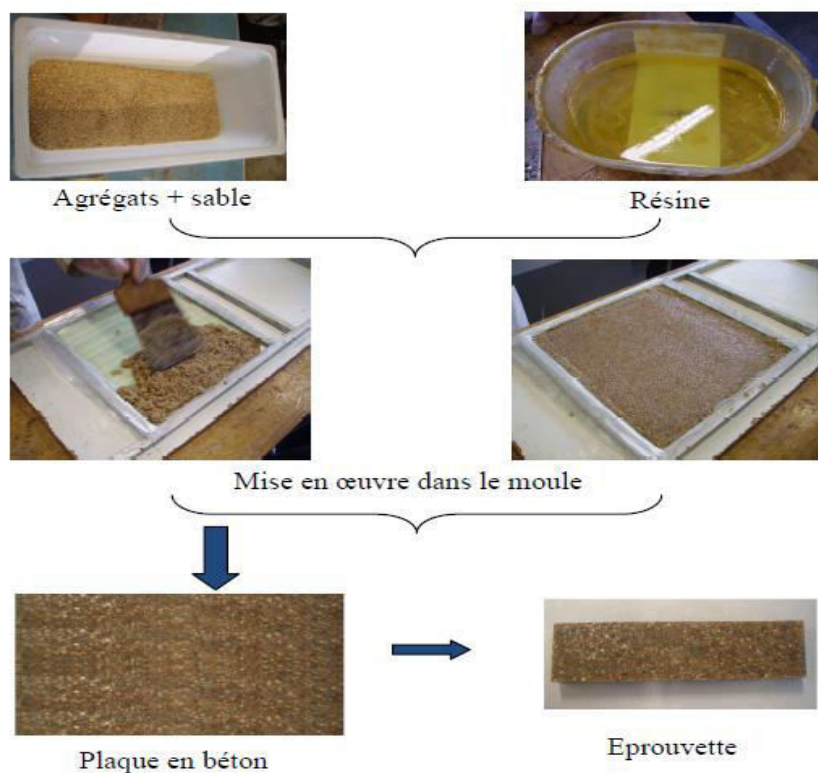


Fig. II.2 : Mise en œuvre d'une plaque de béton polymère [10].

II.3. Les caractéristiques principales des bétons polymères :

II.3.1. Caractéristiques mécaniques d'un béton polymère

Le béton polymère présente les caractéristiques mécaniques suivantes [13]:

- Valeur de la résistance à la compression: 80 – 90 MPa.
- Valeur de la résistance à la flexion par traction: 20 – 24 MPa.
- Module d'Young: 21 300 MPa.
- Abrasion : 1,15.

II.3.2. Caractéristiques physiques d'un béton polymère

Le béton polymère représente les caractéristiques physiques suivantes [13] :

- Absorption d'eau : 0,2 %.
- Coefficient d'écoulement : 108 moyens.
- Résistance au gel : Inaltéré.
- Densité : 2,1.
- Microporosité d'un béton polymère : 25 μm .

II.3.3. Caractéristiques chimiques d'un béton polymère[14]

- Résistance aux agressions des effluents sans aucun traitement (PH 1 à 14).
- Résistance aux produits chimiques.
- Résistance aux hydrocarbures.

II.3.4. Caractéristiques hydrauliques d'un béton polymère [14]

- 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.

II.4. Les principaux avantages et les inconvénients du béton polymère

II.4.1. Les avantages d'un béton polymère[15]

- Le béton polymère présente certains avantages au cours de l'application.
- Une bonne résistance aux agents chimiques et aux agents corrosifs.
- Un faible coefficient de dilatation thermique et durcissement rapide.
- Une bonne adhésion aux granulats et aux bétons anciens.
- Des résistances mécaniques meilleures que celles des bétons hydrauliques surtout en tension.
- Une bonne résistance à l'abrasion et excellente durabilité avec un cout raisonnable.

II.4.2. Les inconvénients d'un béton polymère [15]

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

II.5. La comparaison entre un béton polymère et un béton ordinaire :

A partir des matériaux utilisés pour la fabrication du béton soit polymère ou ordinaire, il existe une différence qui peut être résumée dans le (Tableau.II.1):

Tableau. II.1 : Propriétés mécaniques de différents types de béton polymère et béton de ciment [10]

Type de liant	Polyméthacrylate de méthyle	Polyester	Époxyde	Résine furanique	Béton de ciment
Absorption d'eau (%)	0,05-0,60	0,30-1,0	0,02-1,0	0,20	5-8
Résistance en compression (MPa)	70-210	50-150	50-150	48-64	13-35
Résistance en traction (MPa)	9-11	8-25	14-25	7-8	1,3-3,5
Résistance en flexion (MPa)	30-35	15-45	15-50	-	2-8
E (GPa)	35-40	20-40	20-40	-	20-30
ν	0,22-0,33	0,16-0,30	0,30	-	0,15-0,20
Coefficient de dilatation thermique ($10^{-6}C^{-1}$)	10-19	10-30	10-35	38-61	10-12

II.6. Les différentes applications d'un béton polymère

II.6.1. L'utilisation des bétons polymère dans le domaine de génie civil

Utilisé essentiellement dans la production du marbre artificiel, l'industrie de façades (Fig. II.3a), s'est enrichie avec l'utilisation du béton polymère comme matériau de revêtement avec des différentes formes de ces dernières de plus en plus complexes de point de vue architecturale et les exigences économiques et techniques plus strictes.

Le béton polymère est aussi utilisé pour la fabrication des éléments tels que les panneaux, appuis de fenêtres, marches d'escalier (Fig.II.3b), table de travail, équipements techniques sanitaires,.....etc[16].



Fig.II.3 :Exemples de façades et marches d'escalier en béton polymère pour bâtiment.

II.6.2. L'utilisation des bétons polymère dans les travaux de drainage et hydraulique :

L'utilisation du béton polymère pour la fabrication des différents systèmes de drainage et le réseau de canalisation (Fig.II.4), est très répandue comme résultat de la faible absorption d'eau et une résistance exceptionnelle au gel-dégel. Par conséquent, les éléments fabriqués en béton polymère peuvent avoir jusqu'à 15 mm d'épaisseur (réduction de 1/3 du poids par rapport au béton cimentaire)[16].

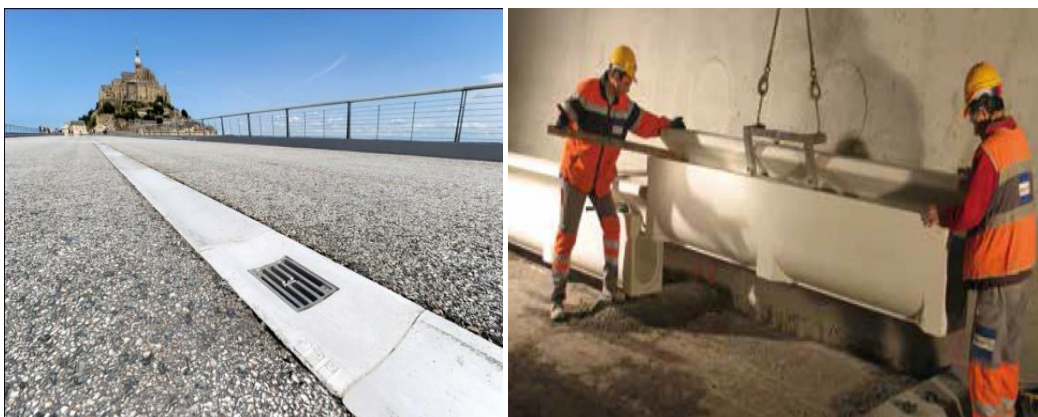


Fig.II.4 : Caniveaux en béton polymère pour le drainage.

II.6.3.L'utilisation des bétons polymère dans l'horticulture

Le béton polymère est utilisé pour fabriquer des petites formes et des bacs pour les plants(Fig.II.5). 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[16].



Fig.II.5 :Bacs à fleurs en béton polymère.

II.6.4.L'utilisation des bétons polymère pour les revêtements des chaussées et planchers :

Les planchers qui sont réalisées par le béton polymère dans les établissements industriels qui sont constamment exposés à des actions mécaniques permanentes exercées par les engins de transport, les vibrations, les impacts, l'abrasion, l'action des agents chimiques (Fig.II.6). De même pour les chaussées, le mouvement intensifs des véhicules lourdes essentiellement réduit énormément le freinage à temps et cause l'usure de la surface du béton. Les investigations basées sur des essais en laboratoires et in-situ pour une période de 10 ans ont démontré l'efficacité de cette technique si la résine est bien choisie[16].

Un exemple de l'utilisation d'un béton polymère pour la protection des surfaces des chaussées et réparation c'est le pont de « Brooklyn à New York » (Fig.II.7).



Fig.II.7 : Pont de Brooklyn à New York.



Fig.II.6 : Plancher en béton polymère.

II.6.5. L'utilisation des bétons polymère dans l'industrie

Le béton polymère est fortement recommandé dans la construction des usines chimiques et dans la fabrication des équipements miniers (électrolytiques, réservoirs, puits, etc) (Fig.II.8)[16].



Fig.II.8 : Quelques applications de béton polymère (industrie).

II.6.6. L'utilisation des bétons polymère comme matériau d'isolation phonique :

Par la fabrication des écrans phoniques (Fig.II.9), 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[16].



Fig.II.9: Quelques applications du béton polymère pour l'isolation.

II.7. Conclusion

D'après les résultats établis dans ce chapitre on peut dire que le béton polymère ainsi confectionné est caractérisé par de bonnes propriétés mécaniques comme la flexion et la compression ainsi que de bonnes propriétés physiques et chimiques contre les agents agressifs par rapport à un béton ordinaire ainsi que ses propriétés d'isolation. Ces propriétés permettent son introduction comme matériau de construction dans tous les domaines du génie civil.

Chapitre III :
Déchets industriels dans
les constructions

Chapitre III : Déchets industriels dans les constructions

III.1. Introduction

L'Algérie fait face à de sérieux problèmes de dégradation de l'environnement et l'épuisement ou la perte de ressources naturelles. Les indicateurs sont au rouge; ils incitent à des actions rapides. La protection de l'environnement en Algérie doit être prise comme partie intégrante du développement lui-même. La poussée écologique impose de tenir le plus grande compte de l'environnement soit en évitant des emprunts de matériaux naturels, soit en éliminant des sous-produits et déchet dont les dépôts souvent disgracieux peuvent conduire à certaines pollutions du milieu naturel.

Dans ce chapitre, nous décrivons le contexte de la gestion des différents types de déchet dans le domaine de génie civil et les principales techniques de traitement ou d'élimination à travers le monde, ainsi le recyclage et la réutilisation des déchet dans le domaine de génie civil.

III.2. Définition du terme déchet

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, à engendrer des bruits ou des odeurs, et d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement. [17]

III.3. Classification des déchets

III. 3.1. Déchets ultimes

La loi du 13 juillet 1992 a introduit la notion de déchets ultimes et en donne la définition suivante : « un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par l'extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. »

A terme, seuls les déchets qui n'ont pu être ni recyclés, ni incinérés avec récupération d'énergie, pourront être mis en décharges.

Les déchets ultimes issus des usines d'incinération d'ordures ménagères et déchets assimilés, dénommés mâchefers, peuvent être transformés après traitement en granulats et utilisés pour réaliser les fondations de route. [18]

III.3.2. 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. [19].

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction.

Ce sont notamment les déchets suivants :

- ✓ Les bétons (armés ou non),
- ✓ Les tuiles et céramiques,
- ✓ Les briques, Le verre,
- ✓ Les terres et granulats non pollués et sans mélange,
- ✓ Les enrobés bitumineux sans goudron,
- ✓ Les isolants minéraux (laine de verre, de roche, de laitier, verre expansé). [20]

III.3.3. Déchets assimilés

Les déchets ménagers et assimilés recouvrent les ordures ménagères (OM) qui proviennent des ménages et tous les déchets gérés comme tels par les collectivités locales (déchets des artisans ou commerçants).

III.3.4. Déchets verts

Déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...)

III.3.5. Déchets organiques

Les termes suivants recouvrent la même notion : biodéchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères).

Il s'agit de :

- ✓ déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts)
- ✓ déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc....)
- ✓ boues

III.3.6. Déchets industriels banals (DIB)

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie.

Les déchets non dangereux et non inertes, dits industriels banals sont de même nature que les ordures ménagères. Ce sont :

- ✓ Les bois non traités ou traités avec des produits non dangereux (emballages, coffrages, menuiseries, planchers...),
- ✓ Les plastiques en PVC, polystyrène, polypropylène (canalisations, menuiseries, revêtements de sols, emballages...),
- ✓ Les métaux ferreux et non ferreux tels que l'aluminium, le cuivre, l'acier, le zinc (toitures, matériels électriques, canalisations, équipements...),
- ✓ Les revêtements muraux et de sol textiles,
- ✓ Le polystyrène expansé, le polyuréthane,
- ✓ Les produits mélangés issus de chantier de réhabilitation...
- ✓ Les peintures, vernis, colles, mastics, qui ne comprennent ni solvants organiques, ni substances dangereuses. [20]

III.3.7. Déchets dangereux

III.3.7.1. Déchets industriels spéciaux (DIS)

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc....

III.3.7.2. Déchets ménagers spéciaux (DMS)

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé. [21]

III.4. Déchets utilisés comme granulats du béton

III.4.1. Déchet de faïence

Les faïences peuvent être définies comme des produits céramiques dont la pâte poreuse. Et pas conséquent perméable. Et recouverte d'une composition vitrifiable destinée à remédier à cette perméabilité.

Les déchets de faïence sont des matériaux inertes ou résidus qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décomposent pas, ne brûlent pas, et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Ces déchet sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries fabrication de matériaux de construction.



Fig III.1 : Déchet de faïence

III.4.2. Déchets de la démolition

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers.

Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf.

Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée. Le béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités la maniabilité, durabilité et résistance à l'action du gel-dégel. La résistance en compression varie selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton.



Fig III.2 : Déchets de démolition

III.4.3. Déchet de Pneus

L'incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un mortier confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la macro fissure. Il en résulte que le composite cimentaire incorporant des granulats en caoutchouc a une grande résistance à la fissuration de retrait malgré une amplitude plus élevée de ses variations dimensionnelles de retrait. Malgré les limites en termes de résistance en compression, le composite incorporant des granulats en caoutchouc est donc d'un intérêt évident dans toutes les applications où la lutte contre la fissuration due aux déformations est une priorité.

[22]



Fig III.3 : Déchets de Pneus

III.4.4. Déchet de brique

Selon la méthode utilisée pour la fabrication et la manipulation des briques, il y a toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou mal cuites. Les briques concassées et bien cuites conviennent bien à la fabrication des blocs de béton. Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel [23].



Fig III.4 : Déchets de Brique

III.4.5. Déchet de Verre

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année. En général, la résistance du béton contenant du verre est inférieure à celle du béton contenant du gravier. La résistance est particulièrement faible lorsque du ciment à teneur alcaline élevée est utilisé. Le verre de récupération réagit en présence de granules alcalins. Une dilatation élevée est produite lorsqu'il est en contact avec du ciment à teneur alcaline élevée, ce qui explique la faible résistance des bétons à base de verre. Par exemple, pour une période de 12 mois, la dilatation du béton contenant du gravier est de 0,018%, alors que celle du béton contenant du verre est d'environ 0,3%.

Le verre de récupération peut aussi servir à la fabrication de granulats légers. La production des granules légers expansés d'une masse volumique de 528 kg/m³ par pelletisation d'un mélange de verre de récupération broyé, d'argile et de silicate de sodium chauffé à une température de 850°C.

Le béton ainsi obtenu présente une résistance à la compression d'environ 17 MPa après une période de cure à la vapeur de 28 jours.

Le verre récupéré est de composition variée et est souvent contaminé par de la saleté ou d'autres substances qui doivent être éliminées. Une fois broyé, le verre se présente sous forme de particules allongées et sa surface, tant des points de vue chimique que physique, le rend impropre à être utilisé comme granulats pour le béton.

Les additifs font varier les propriétés physiques et mécaniques du verre. Néanmoins, il garde tout de même des caractéristiques générales : isolant (très faible conductivité thermique et électrique), dur (difficile à percer et à rayer), étanche aux gaz, aux liquides, résistant à la chaleur, facilement stérilisable, inerte chimiquement, transparent. [19]



Fig III.5 : Déchets de verre

III.4.6. Déchets plastiques

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

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

On y retrouve, précisément, les carottes, lisières et bordures de ces opérations de thermoformage, les pièces présentant des défauts, ou encore, les chutes de démarrage et d'arrêt de machine. [24]



Fig III.6 : différents types de déchets plastiques

III.4.7. Déchet de bois

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

Le bois en fin de vie devrait être pour destruction, en centrale spécifique comme le demande certains textes officiels, mais ce n'est qu'un rêve de le croire. Il est très souvent brûlé soit dans vos cheminées soit dans les centrales ou les produits nocifs sont soit éjectés dans l'atmosphère, soit stockés sans réutilisation en décharge (sauvage ...) et cela rarement pour le bien de notre santé.



Fig III.7 : différent type de déchet de bois

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit le contexte de la gestion des différents types de déchet dans le domaine de génie civil et les principales techniques de traitement ou d'élimination à travers le monde, ainsi le recyclage et la réutilisation des déchet dans le domaine de génie civil.

Chapitre IV :

Matériaux & technique expérimentales

Chap. IV : Matériaux et techniques expérimentales

IV.1. Introduction

La partie expérimentale est une continuité de la partie théorique pour équilibrer le plan de travail et définir les différentes techniques expérimentales.

Ce chapitre présente les différentes méthodes de l'extraction de poudre de fibres de verre avec et sans traitement ainsi que les caractéristiques des matériaux utilisés pour l'élaboration du béton polymère de différentes dimensions prismatiques renforcé et non renforcé par poudre de fibres de verre, de plus les principaux essais mécaniques (flexion trois points, compression) exécutés au niveau de l'usine de Maghreb-pipe M'sila.

Les matériaux utilisés pour ce travail sont :

- La résine polyester insaturée.
- La silice (sable de quartz).
- les différents types de poudre fibres de verre.

IV.2. Caractéristiques principales pour chaque matériau utilisé

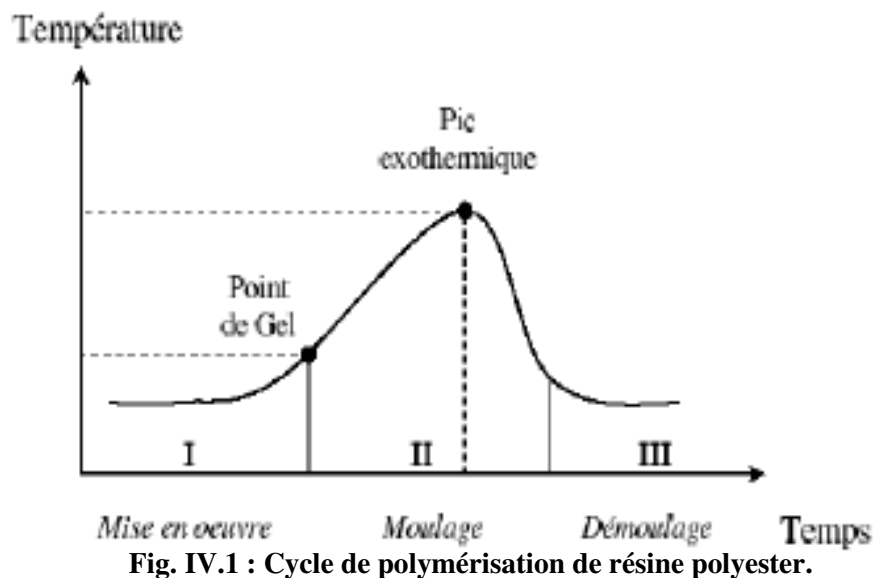
IV.2.1. Résine polyester

C'est une résine thermodurcissable la plus utilisée et la moins chère, d'environ 95% des composites thermo-durcis renforcés utilisent ce type de résine [16]. Les résines polyester présentent de bonnes propriétés mécaniques surtout en termes de rigidité (module d'Young). En revanche, leurs contraintes et allongement à la rupture restent inférieurs à ceux des résines époxyde et Vinylester. Au niveau macroscopique [12], Il est spécialement conçu pour la stratification et le moulage en contact [16].

IV.2.1.1. Caractéristiques des résines polyester

La résine polyester polymérise par adjonction de catalyseur (durcisseur)(Fig.IV.1) dans les proportions suivantes, le pourcentage est adapté en fonction des besoins [25]:

- 0.8% minimum (temps de travail moyen).
- 2% maximum (temps de travail court)



Les caractéristiques de la résine polyester sont indiquées dans le (Tableau.IV.1) suivant :

Tableau. IV.1 : Différentes caractéristiques de la résine polyester [25].

Les caractéristiques	Polyester
Densité (g/cm ³)	1.2
Module de Young (GPa)	2.8-3.5
Résistance à la traction (GPa)	0.05-0.08
La température de polymérisation (C°)	60-100

IV.2.1.2. Avantages et inconvénients de l'utilisation de la résine polyester

La résine polyester peut présenter des avantages et des inconvénients au cours de l'utilisation. Ces dernières sont représentées dans le (Tableau.IV.2) [26].

Tableau.IV.2 : Différents avantages et les inconvénients de résine polyester insaturée [26]

Avantages de résine polyester	Inconvénients de résine polyester
Stabilités dimensionnelles	Fragile au choc et faibles propriétés à partir de 120°C
Bonne mouillabilité des fibres et des tissus renforts	Retrait important de 8% à 10%
Bonne tenue chimique	Très fort réactivité
Bonne rigidité	Odeur nauséabonde
Etuvage non indispensable	Difficulté des mélanges en faible quantité

IV.2.2. Silice

Le sable de silice est obtenu à partir de traitement par lavage, et est caractérisé essentiellement par une granulométrie entre 200 μ m et 500 μ m(Fig.IV.2), un équivalent de sable supérieure à 90% (sable très propre), il est disponible dans la région de l'ouest d'Algérie. Pour une bonne qualité du sable, on utilise les étapes suivantes [12] :

- Extraction mécanisée sélective.
- Homogénéisation.
- Criblage.
- Lavage et classification granulométrique.
- Attrition.
- Essorage.
- Réduction et stabilisation finale de l'humidité.
- Séchage lorsque la définition du produit le nécessite.



Fig.IV.2 : Sable de silice.

La (Fig.IV.3) représenté la courbe d'analyse granulométrique de sable de silice. Avec un module de finesse de 5,8.

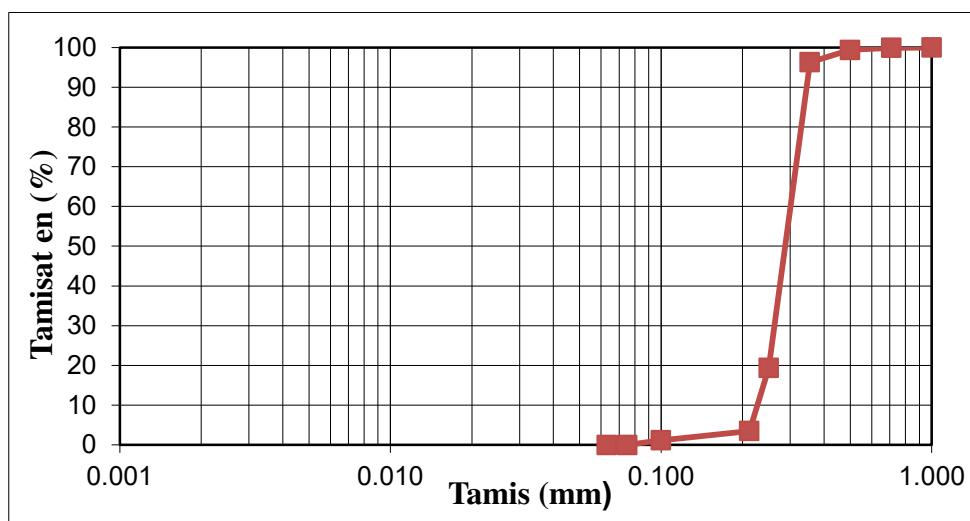


Fig.IV.3 : Courbe d'analyse granulométrique de la silice utilisée.

IV.2.3. Poudre Fibres de verre

Dans cette étude, nous avons utilisé du déchet de la poudre fibre de verre comme charge pour notre béton polymère. La poudre fibre de verre est une poudre résultant lors du tronçonnage des tuyaux PRV à l'usine de Maghreb Pipe (**Fig. IV.4**). Cette dernière est tamisée à 1 mm.

Le but d'utilisation de cette charge est de rattraper le vide inter granulaire entre silice

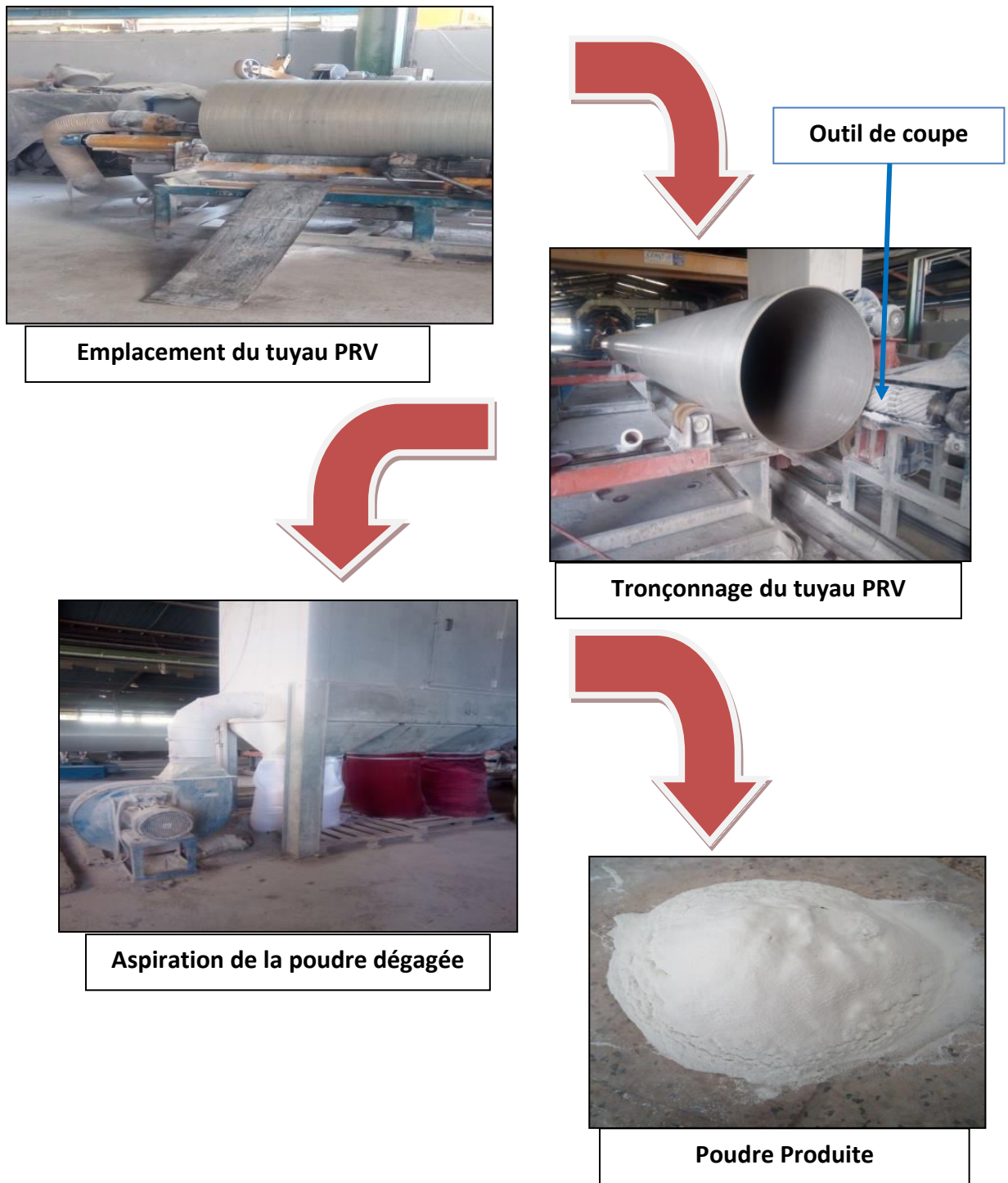


Fig.IV.4 : Obtention de poudre fibres de verre

Il est important à signaler qu'il y a deux types de poudres produites lors de tronçonnage des tuyaux en PRV. La différence entre les deux poudres réside dans le type de tuyau à partir duquel la poudre est extraite. Au niveau de Maghreb Pipe, on produit deux types de tuyau : TUYAU PRV CFW (tuyau composé de la silice, résine et fibre de verre) et TUYAU PRV DFW (tuyau composé de résine et fibre de verre seulement). Le Tableau. IV.3 présente la composition de chaque type de poudre de verre.

Tableau. IV.3 : la composition de chaque type de poudre de verre.

Poudre	En anglais	En français	Composition
DFW	Discontinuous filament winding	Enroulement filamenteux discontinu	La résine 30 % fibres de verre 70%
CFW	Continuous filament winding	Enroulement filamenteux continu	La résine 30 % fibres de verre 35% poudre de silice 35%

IV.3. Technique de moulage

IV.3.1. Préparation des moules utilisées

Afin de caractériser les différents bétons polymère en flexion trois points, nous avons utilisé un moule métallique prismatique (trois éprouvettes), disponible au niveau de notre laboratoire, est qui a les dimensions 40mm × 40mm × 160mm pour chaque des trois éprouvettes (Fig. IV.5).

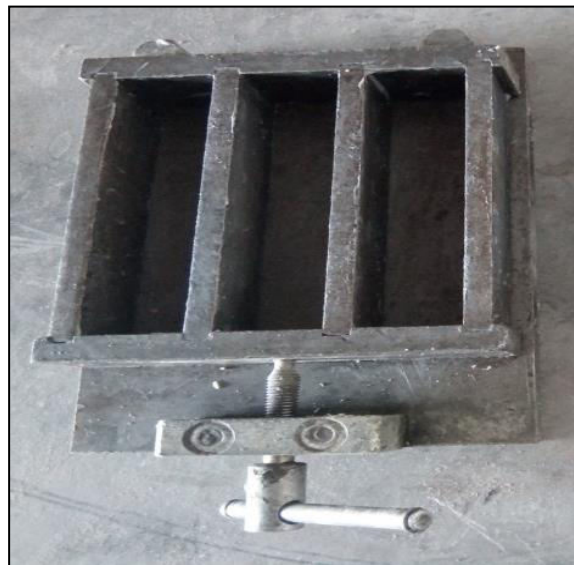


Fig.IV.5 : Moule utilisé pour éprouvettes lisses (FTP),

IV.3.2. Elaboration des éprouvettes en béton polymères

Dans ce travail on a choisi la technique de moulage par contact, Le principe de ce procédé est de réaliser les différentes formulations de bétons polymère manuellement à température ambiante.

- Un taux de 80% de silice (de la masse totale) est pesé.
- Un taux de 20% de résine (de la masse totale) est pesé.

- **Technique**

On verse d'abord la quantité de silice et la poudre fibres de verre dans un bac en plastique, puis on ajoute la résine. Il est important de signaler que le durcisseur (d'environ 1,2%) est ajouté à la résine pour assurer la polymérisation de cette dernière. Pour le béton polymère non renforcé, on mélange directement la résine avec la silice.

Enfin, on le mélange les trois matériaux (silice + résine + et la poudre fibres de verre) dans un moule métallique, ensuite ce mélange est pressé par un cylindre en bois, on fait le moulage par contact pour obtenir des éprouvettes uniformes (Fig.IV. 6).

- Le (Tableau.IV.4) et (Tableau.IV.5) représentent la formulation utilisée pour les éprouvettes en béton polymère :

Tableau.IV.4 : Taux de chaque composante en utilisant la poudre fibre de verre **DFW**

Les matériaux utilisés	Désignation				
	BP 100-00	BP 95-05	BP 90-10	BP 80-20	BP 75-25
La silice	100%	95%	90%	80%	75%
Poudre de verre DFW	0%	5%	10%	20%	25%
La résine polyester	20%	20%	20%	25%	25%
Durcisseur	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%

Tableau.IV.5: Taux de chaque composante en utilisant la poudre fibre de verre **CFW**

Les matériaux utilisés	Désignation				
	BP 100-00	BP _S 95-05	BP _S 90-10	BP _S 80-20	BP _S 75-25
La silice	100%	95%	90%	80%	75%
Poudre de verre CFW	0%	5%	10%	20%	25%
La résine polyester	20%	20%	20%	25%	25%
Durcisseur	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%

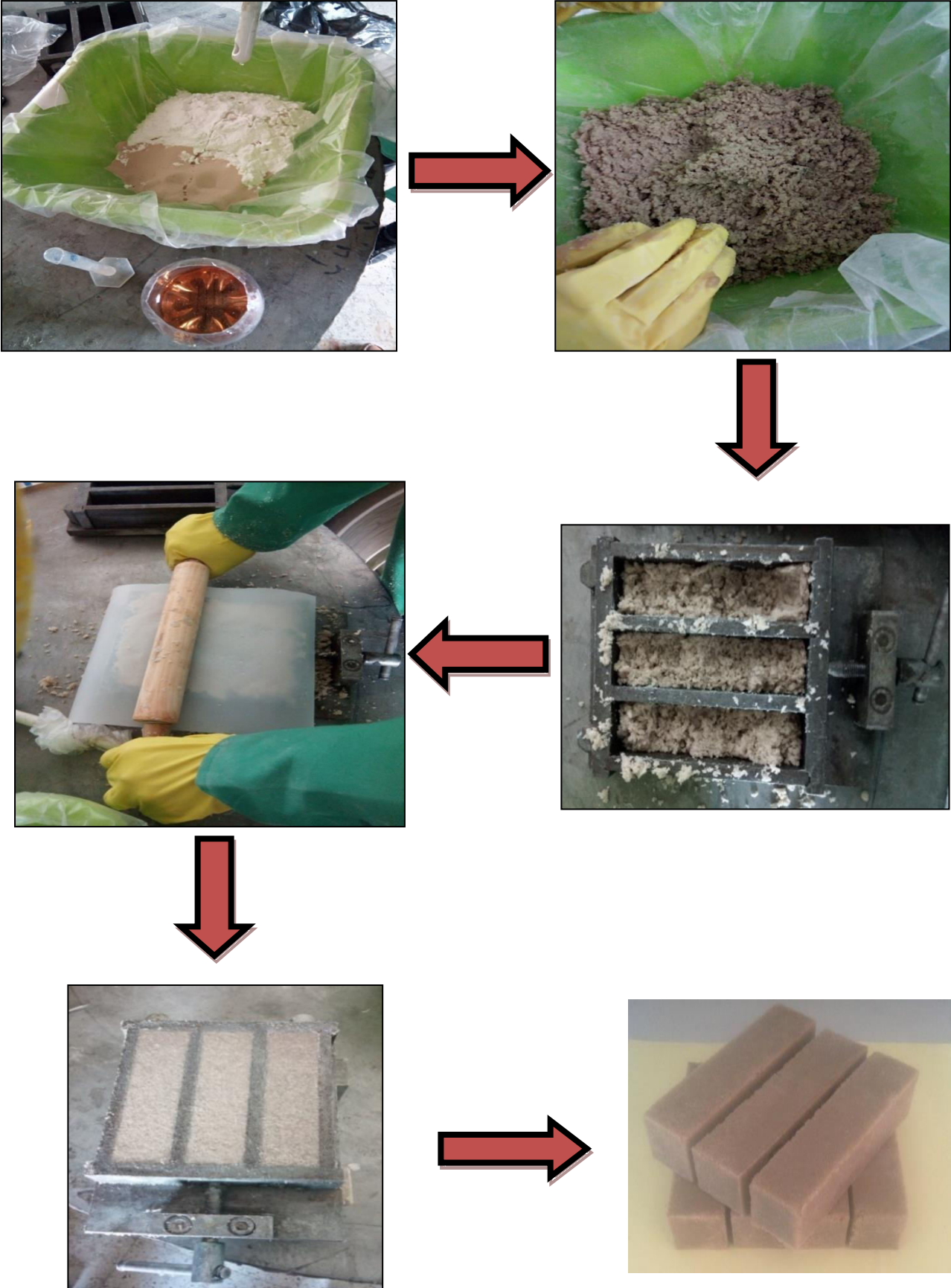


Fig.IV.6 : Etapes de moulage de béton polymère par contact

IV.3.3. Le traitement thermique du béton polymère élaboré

Le béton a besoin de 3 à 4h pour le durcissement qui dépend du dosage du durcisseur, puis on démoule les éprouvettes. Une fois les différents bétons polymères élaborés, ces derniers sont mis dans une étuve à 70 C° durant 24h pour assurer une polymérisation totale des PB obtenus.

IV.4. Essais mécaniques appliqués sur le béton polymère renforcé et non renforcé

IV.4.1. Essai de flexion trois points (FTP)

C'est un essai mécanique statique, indépendant du temps, il est très facile à mettre en œuvre sans fixation d'éprouvette.

Notre éprouvettes lisses de (40×40×160 mm³) pour l'essai de FTP, on a appliqué une charge à mi-distance des appuis, et la distance entre appuis est de 100mm par une vitesse constante de 1mm/min (Fig. IV.7). Les essais appliquées au niveau de laboratoire de Sétif et le principe de FTP consiste à déterminer la charge maximale et étudier le comportement mécanique jusqu' à la rupture d'une éprouvette en BP.



Fig.IV.7 : Essai de FTP sur des éprouvettes lissés en BP.

- **Les 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 [12] :

La contrainte :
$$\sigma_f = \frac{3.P.L}{2.b.h^2} \quad (1)$$

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 :**

$$Ef = \frac{P.L^3}{6.f.I} \quad (2)$$

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 = $bh^3/12$.

IV.4.2. Essai de compression

Cet essai consiste à soumettre une éprouvette en BP de $(40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3)$, placée entre les plateaux d'une presse avec une vitesse de 0.5 MPa/s, a deux forces axiales opposées sur une machine au niveau de laboratoire de Génie civil (Fig. IV.8). Pour déterminer la résistance à la rupture et pour contrôler la qualité de béton.

- **Paramètre d'étude**

La résistance à la compression définie par la relation suivante :

$$R_c = \frac{F}{S} \quad (2)$$

- F : la force maximale en (N).
- S : la section de l'éprouvette en (mm^2) .

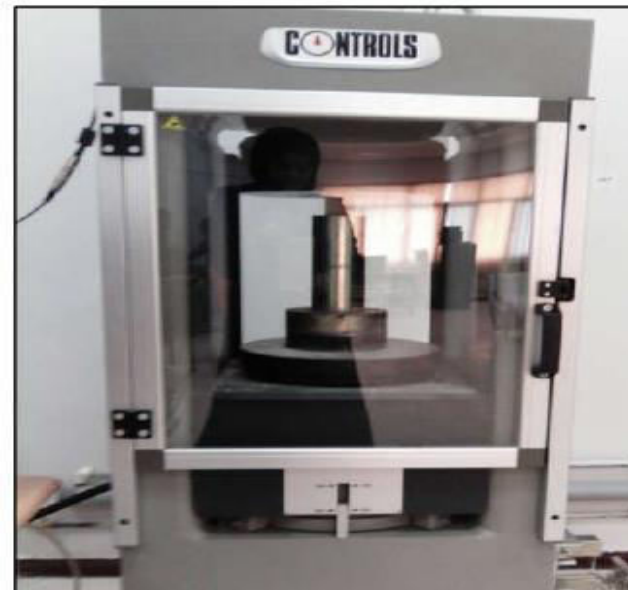


Fig.IV.8 : Essai de compression sur des éprouvettes lissées en BP.

IV.5.Conclusion

La technique de préparation de la poudre fibre de verre, utilisée dans notre étude, ainsi que le protocole de leur traitement chimique sont présentée. De plus, l'élaboration et les méthodes de caractérisations (flexion trois points, compression) sont données en détail.

Chapitre. V

Résultats et Discussions

Chap. V : Résultats & Discussions

Dans ce chapitre, nous présentons une synthèse des essais mécaniques réalisés sur le béton polymère renforcé et non renforcé par des différents type de poudre fibres de verre. Nous débuterons par une analyse de l'évolution des courbes contraintes-déformation (σ - ε) des éprouvettes lisses sollicitées en flexion trois points, puis l'analyse de la résistance à la compression des Bétons Polymères testés. Enfin, une comparaison entre les deux types de poudre fibres de verre utilisées est ainsi établie.

V.1. Reproductibilité des expériences

Les deux **figures V.1** et **V.2** illustrent l'évolution de la charge en fonction de la déflexion. Les expériences menées sur les éprouvettes de flexion des deux matériaux étudiés :

- BP renforcé par Poudre fibre de verre DFW ;
- BP renforcé par Poudre fibre de verre CFW ;

Sont globalement suivies par l'enregistrement des courbes charge/déflexion (P- δ) associées. Afin de vérifier la reproductibilité des expériences, les superpositions des courbes (P- δ) relatives aux deux classes des matériaux étudiées.

La **figure V.1** présente l'évolution de la charge en fonction de la déflexion des éprouvettes lisses (BP renforcé par 20% de Poudre fibre de verre DFW). Les courbes (P- δ) illustrent une reproductibilité acceptable.

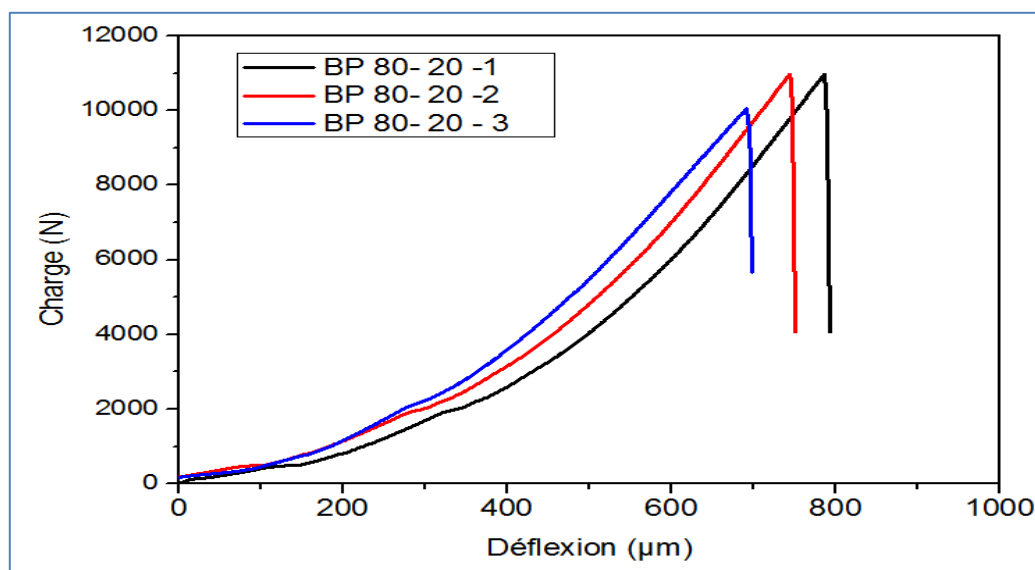


Fig. V.1 : Courbes d'évolution de la charge en fonction de déflexion de béton polymère renforcé par 20% de Poudre fibre de verre DFW

De la même manière, la **Figure V.2** présente l'évolution de la charge en fonction de la déflexion des éprouvettes lisses (BP renforcé par 20% de Poudre fibre de verre CFW). Ces courbes (P- δ) illustrent une reproductibilité est assez remarquable et acceptable.

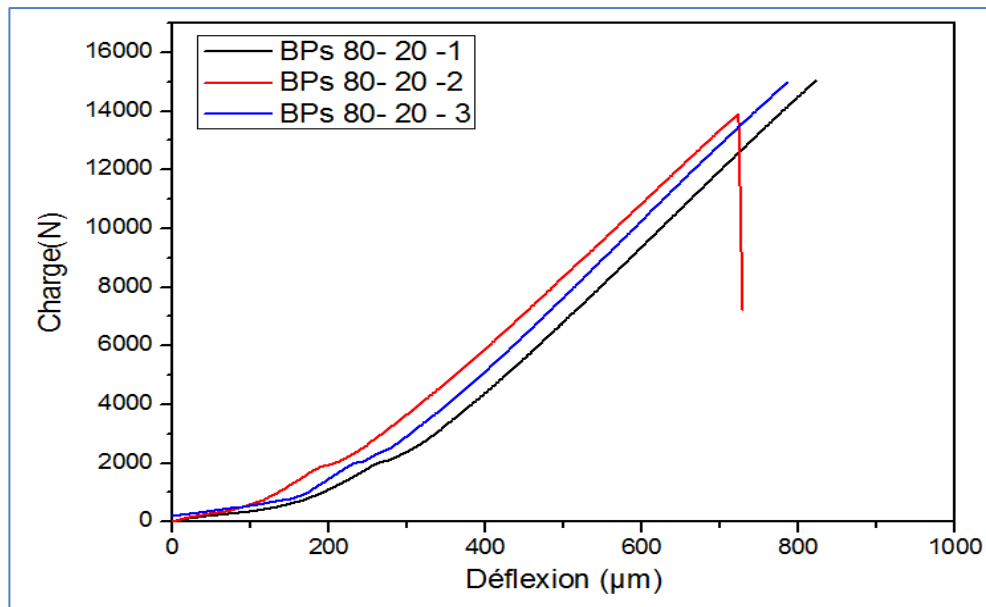


Fig V.2 : Courbes d'évolution de la charge en fonction de déflexion de béton polymère renforcé par 20% de Poudre fibre de verre CFW

V.2 Analyse des courbes contrainte-déformation (σ , ϵ) des bétons polymères

Les résultats des tests en flexion trois points indiquent le comportement mécanique des éprouvettes en **BP** renforcés et non renforcés par deux type de poudre.

Dans l'ensemble des courbes, on constate que les différents bétons polymères testés ont un comportement fragile. La contrainte augmente graduellement jusqu'au la valeur maximale puis chute brusquement provoquant la ruine de l'éprouvette. De plus, comme déjà signaler une reproductibilité des résultats est observée sur l'ensemble des Bétons Polymères testés. Cette reproductibilité est remarquable dans le cas :

- ✓ BP 100-00 : Béton polymère non renforcé
- ✓ BP 80-20 : Béton polymère renforcé par 20% poudre de fibres de verre (DFW)
- ✓ BPs 80-20 : Béton polymère renforcé par 20% poudre de fibres de verre (CFW)

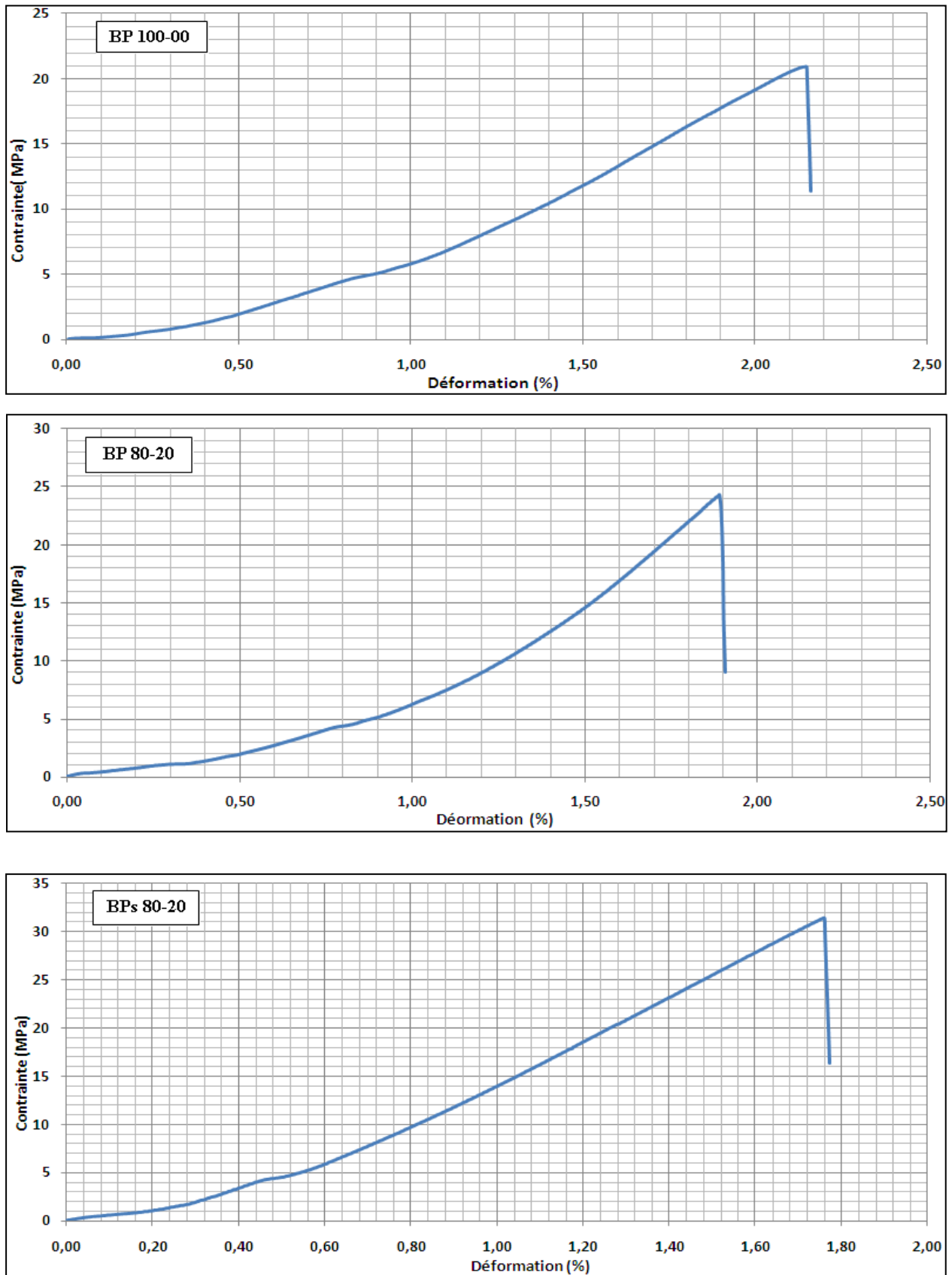


Fig. V.3: Courbes d'évolution : Contrainte en fonction de déformation des différents bétons polymères.

BP 100-00 : Béton polymère non renforcé ; BP 80-20 : Béton polymère renforcé par 20% poudre de fibres de verre(DFW) ;BPs 80-20 : Béton polymère renforcé par 20% poudre de fibres de verre(CFW)

V.2.1 Analyse des courbes (σ , ϵ) des bétons polymères à Poudre DFW

La **Figure V.4** illustre la superposition des évolutions : Contrainte en fonction la déformation (σ , ϵ) des bétons polymères renforcés par de la poudre fibre de verre (DFW). Cette figure, montre que le béton polymère renforcé par 25% poudre fibre de verre (**BP 75-25**) est le plus résistant avec une valeur de contrainte de ($\sigma_f = 30,150 \pm 1,950$)MPa et plus rigide avec un module de rigidité en flexion de ($E_f = 2008 \pm 59$) MPa comparé aux autres nuances. Une comparaison entre les niveaux de charges, les contraintes à la rupture ainsi que les modules de flexion des différents bétons polymères est résumée par le **tableau V.1**. Le même comportement est signaler lors de l'ajout de la poudre de marbre dans le béton polymère [ROKBI] ;

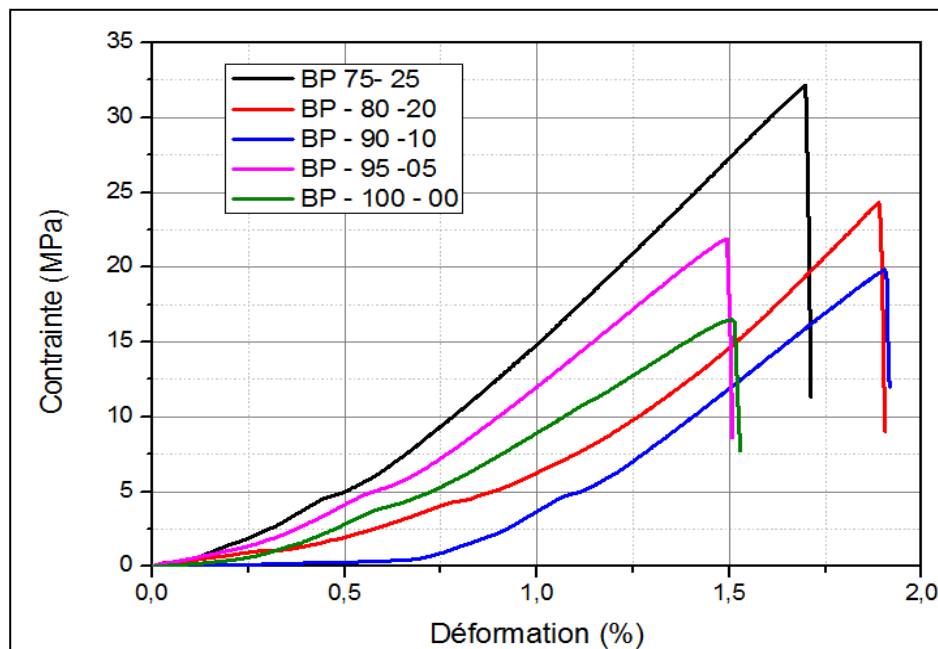


Fig V.4 :Superposition des évolutions de la contrainte en fonction de déformation des types du Béton polymère renforcé et non renforcé par de poudre de fibres de verre (DFW).

Tableau V.1. Différents niveau de charges et contraintes des BP renforcé par de poudre fibre de verre (DFW).

Béton polymère	Charge F (N)	Contrainte à la rupture σ (Mpa)	Module de rigidité E (Mpa)
BP 75-25	13417,3	30,150 \pm 1,950	2008 \pm 59
BP 80-20	10672,7	23,250 \pm 1,050	1448 \pm 4
BP 90-10	6719,7	16,400 \pm 3,400	1563 \pm 112
BP 95-05	9461	21,200 \pm 0,700	1798 \pm 82
BP 100-00	9257,7	19,350 \pm 2,850	1765 \pm 136

V.2.2 Analyse des courbes (σ , ε) des bétons polymères à Poudre CFW

La **Figure V.5** illustre la superposition des évolutions : Contrainte en fonction la déformation (σ , ε) des bétons polymères renforcés par de la poudre fibre de verre (CFW). Cette figure, montre que le béton polymère renforcé par 20% poudre fibres de verre(CFW) (BPs80-20) est le plus résistant avec une valeur de contrainte de ($\sigma_f = 32,800 \pm 1,400$) MPa et plus rigide avec un module de rigidité en flexion de ($E_f = 1901 \pm 33$) MPa comparé aux autres formulations.

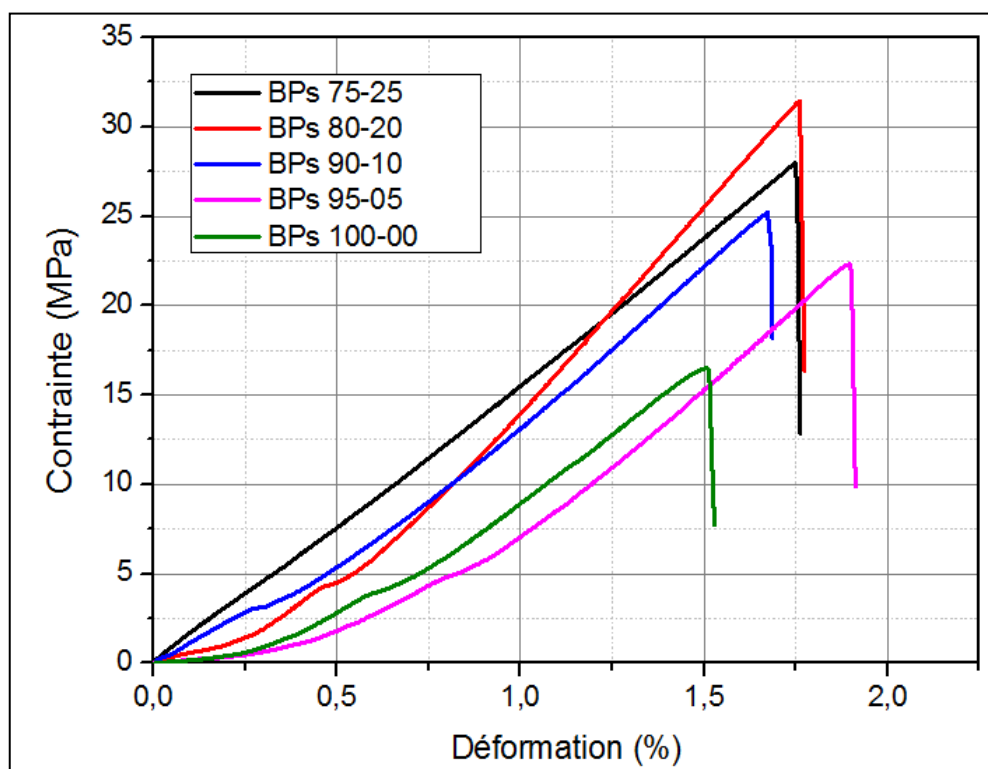


Fig.V.5 : Superposition des évolutions de la contrainte en fonction de déformation des types du Béton polymère renforcé et non renforcé par de poudre de fibres de verre (CFW).

Une comparaison entre les niveaux de charges ainsi que les contraintes à la rupture des différents bétons polymères est résumée par le **tableau V.2**.

Tableau V.2. Différents niveau de charges et contraintes des BP renforcé par de poudre fibre de verre (CFW).

Béton polymère	Charge F (N)	Contrainte à la rupture σ (Mpa)	Module de rigidité E (Mpa)
BPs 75-25	14643,3	31,300 \pm 2,500	1604 \pm 81
BPs 80-20	15004	32,800 \pm 1,400	1901 \pm 33
BPs 90-10	11461	25,750 \pm 2,050	1621 \pm 24
BPs 95-05	9623, 3	21,950 \pm 1,950	1632 \pm 128
BP 100-00	9257,7	19,350 \pm 2,850	1765 \pm 136

V.2.3 Comparaison des bétons polymères à Poudres DFW & CFW

Afin de pouvoir comparer entre les deux types de bétons polymères à Poudres DFW & CFW, nous avons dressé l'histogramme de la **Figure V.6**. En vertu de cette superposition, on voit clairement que le matériau BP à Poudre CFW enregistre les meilleures valeurs à divers pourcentage de poudre de verre ajoutée (5%, 10%, 20% et 25%) comparé au même pourcentage du matériau BP à Poudre DFW. Les bonnes performances du BP à Poudre CFW se traduisent par la présence de la poudre de silice (35 % Quartz) dans la poudre de verre. La poudre de Quartz augmente surtout la rigidité.

Les résultats de Rokbi et al [27] ont montré que l'ajout de poudre de marbre dans le béton augmente la contrainte à la flexion, un autre travail de Saribiyik et al. [28] qui ont montré aussi que l'ajout de poudre de verre dans le béton polymère augmente la contrainte a la flexion

Tableau V.3. De nombreux travaux sur les bétons polymères

N°	Matériaux	Ajout	Meilleur Pourcentage	Contrainte de flexion	Taux d'augmentation	Contrainte de Compression	Taux d'augmentation	Références
01	BP	Marbre	20%	31.80±0.42	14%	67.42±1.25	30%	Rokbi et al. [27]
02	BP	Poudre de verre	23%	20.9	57%	108.1	20%	Saribiyik et al. [28]
03	BP	Poudre DFW	25%	30,15 ± 1,95	55%	72,50 ± 2,50	40%	Travail actuel
04	BP	Poudre CFW	20%	32,80± 1,40	69%	78,75 ± 5,62	51%	

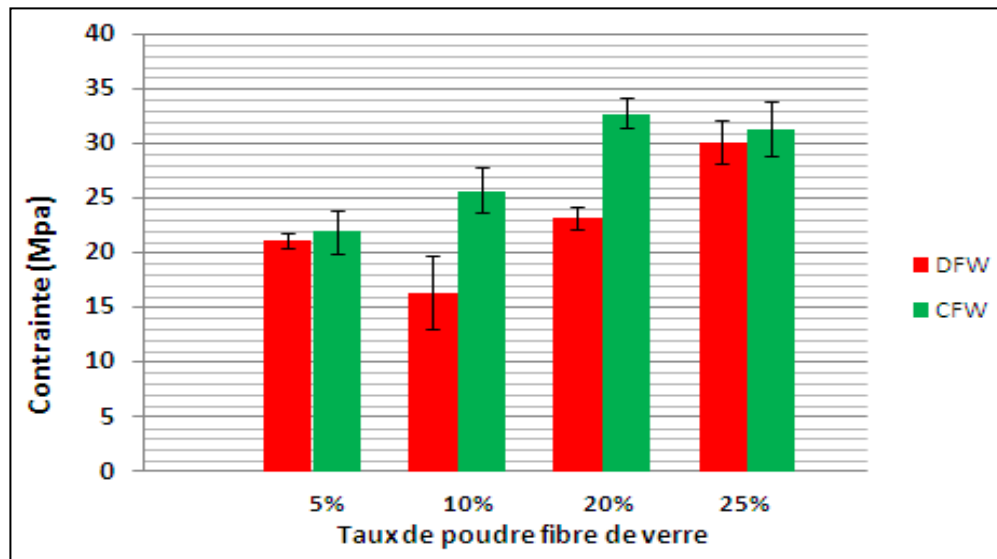


Fig. V.6. Variation de la résistance à la flexion des différents bétons polymères

V.3. Analyse de la résistance à la compression

V.3.1. BP renforcé par de poudre fibre de verre (DFW)

Les résultats des tests en compression des différents bétons polymères montrent que, dans le cas des bétons polymères renforcés par de la poudre fibre de verre (DFW), la résistance à la compression est proportionnelle au taux de charges ajouté (**Figure V.7**). Le matériau **BP 75-25** est le plus résistant suivi du matériau **BP 80-20**. En revanche, les deux nuances **BP 90-10** et **BP 95-05** semblent enregistrer des valeurs très proches à celles des matériaux sans charges **BP 100-00**. Cela montre que l'ajout de la poudre de verre DFW n'a pas d'effet notable lorsqu'elle est utilisée à petit pourcentage (5% et 10%).

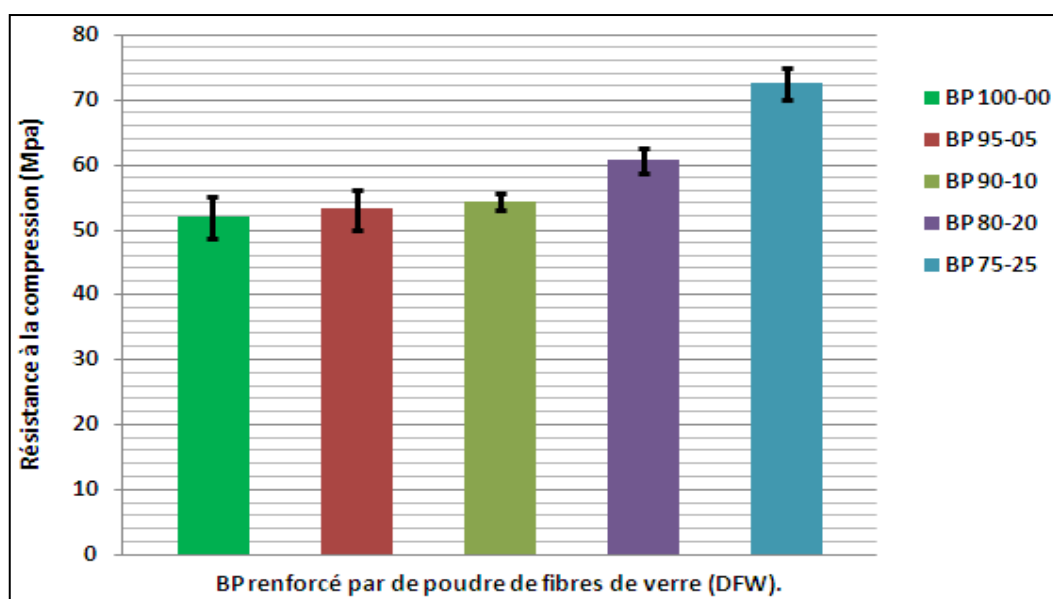


Fig. V.7. Variation de la résistance à la compression des BP renforcé par de poudre (DFW)

Le **Tableau.V.4** résume les différentes valeurs la résistance à la compression des différents BP renforcé par de poudre fibre de verre (DFW).

Tableau.V.4 : Variation de la résistance à la compression des différents BP renforcé par de poudre fibre de verre (DFW).

Designations	Compression R_c (Mpa)
BP 75-25	72,50 ± 2,50
BP 80-20	60,62 ± 1,87
BP 90-10	54,38 ± 1,25
BP 95-05	53,12 ± 3,12
BP 100-00	51,87 ± 3,12

La **figure.V.7** et le **Tableau.V.4** montrent que l'ajout de poudre de fibre de verre (DFW) a un effet significatif sur la résistance à la compression du béton polymère.

L'ajout de 5% de charge (poudre de fibre de verre (DFW)) augmente la résistance à la compression de 5% comparée au polymère sans charges, alors que cette résistante augmente brusquement (6%) pour un taux de poudre de fibre de verre (DFW) de 10%.

L'ajout de 20% de charge (poudre de fibre de verre (DFW)) augmente la résistance à la compression de 20% comparée au polymère sans charges

L'ajout de 25% de poudre de fibre de verre (DFW) fait croire la résistance en compression de 41% comparée au béton polymère sans charges.

V.3.2. BP renforcé par de poudre fibre de verre (CFW)

Les résultats des tests en compression des différents bétons polymères montrent que, dans le cas des bétons polymères renforcés par de la poudre fibre de verre (CFW), la résistance à la compression est proportionnelle au taux de charges ajouté (**Figure V.8**). Le matériau **BPs 75-25** est le plus résistant suivi du matériau **BPs 80-20**. En revanche, les deux nuances **BPs 90-10** et **BPs 95-05** semblent enregistrer des valeurs très proches à celles des matériaux sans charges **BP 100-00**. Cela montre que l'ajout de la poudre de verre CFW n'a pas d'effet notable lorsqu'elle est utilisée à petit pourcentage (5% et 10%).

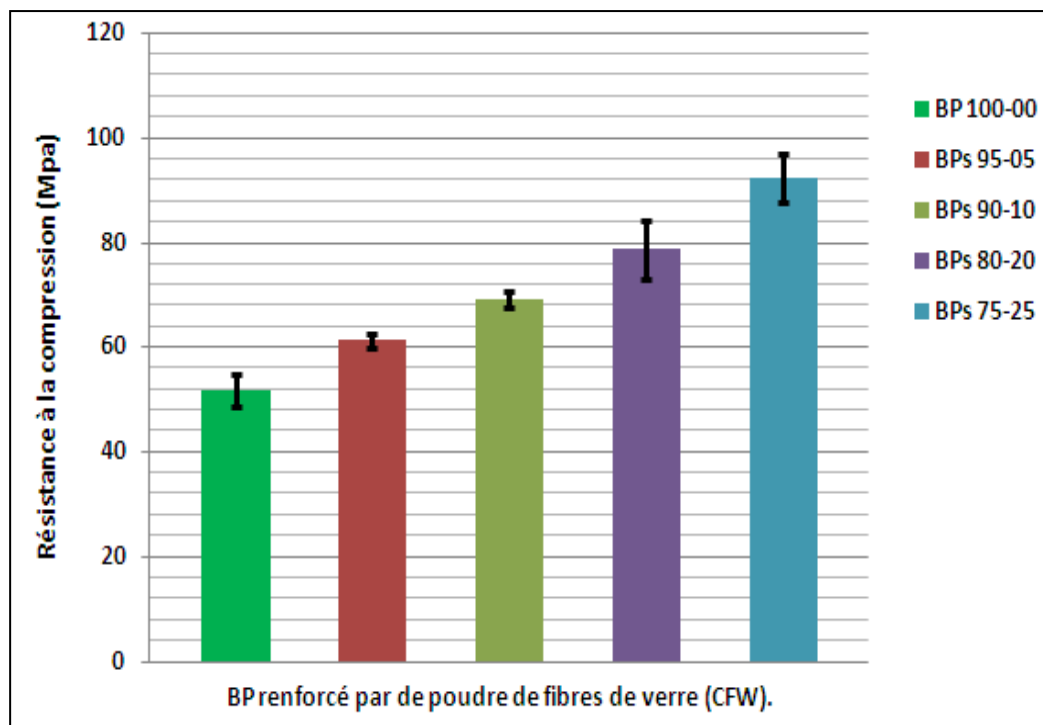


Fig. V.8. Variation de la résistance à la compression des BP renforcé par de poudre (CFW)

Le **Tableau. V.5** résume les différentes valeurs la résistance à la compression des différents BP renforcé par de poudre fibre de verre (CFW).

Tableau. V.5 : Variation de la résistance à la compression des différents BP renforcé et non renforcé par de poudre de fibres de verre (CFW).

Designations	Compression R_C (Mpa)
BPs 75-25	92,19 ± 4,69
BPs 80-20	78,75 ± 5,62
BPs 90-10	69,06 ± 1,56
BPs 95-05	61,25 ± 1,25
BP 100-00	51,87 ± 3,12

La figure V.8 et **leTableau. V.5** montre que l'ajout de poudre fibre de verre (CFW) a un effet significatif sur la résistance à la compression du béton polymère.

L'ajout de 5% de charge (poudre de fibre de verre (CFW)) augmente la résistance à la compression de 19% comparée au polymère sans charges, alors que cette résistante augmente brusquement (34%) pour un taux de poudre de fibre de verre (CFW) de 10%.

L'ajout de 20% de charge (poudre de fibre de verre (CFW)) augmente la résistance à la compression de 50% comparée au polymère sans charges

L'ajout de 25% de poudre de fibre de verre (CFW) fait croître la résistance en compression de 78% comparée au béton polymère sans charges.

V.3.3. Comparaison entre les deux poudres fibre de verre (DFW&CFW)

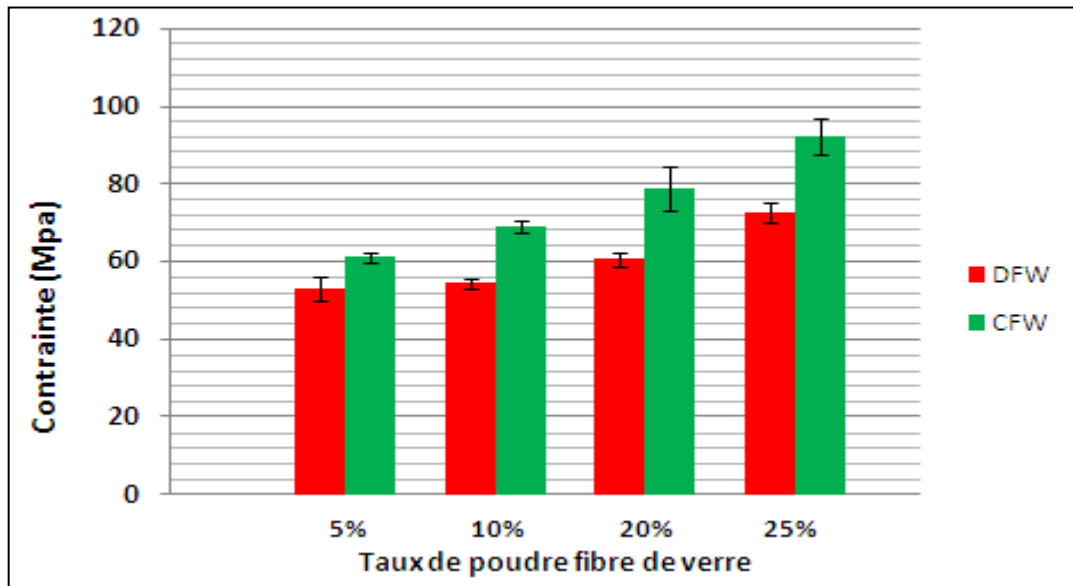


Fig. V.9. Variation de la résistance à la compression des différents bétons polymères

Afin de pouvoir comparer entre les deux types de bétons polymères à Poudres DFW & CFW, nous avons dressé l'historgramme de la Figure V.9. En vertu de cette superposition, on voit clairement que le matériau BPà Poudre CFW enregistre les meilleures valeurs à divers pourcentage de poudre de verre ajoutée (5%, 10%, 20% et 25%) comparé au même pourcentage du matériau BPà Poudre DFW. Les bonnes performances du BP à Poudre CFW se traduisent par la présence de la poudre de silice (35 % Quartz) dans la poudre de verre.

V.4. Effet d'utilisation de la poudre de verre dans le béton

De nombreux travaux ont été réalisés pour explorer les avantages de l'utilisation de la poudre de verre usée pour fabriquer et améliorer propriétés du béton.

V.4.1. Résistance a la flexion

- Vandhiyan R. et al. [2013] ont expérimenté le remplacement du ciment par de la poudre de verre et ont conclu qu'un une amélioration considérable de la résistance à la flexion a été observée avec un remplacement de 10% du ciment.
- Vijayakumar. G et al [2013] ont montré que l'augmentation de la résistance à la flexion est atteinte jusqu'à 40% de remplacement du ciment par de la poudre de verre.

- Jangid Jitendra B. et Saoji A.C. [2012] dans leur travail ont proposé que la résistance à la flexion augmente jusqu'à 35% remplacement du ciment par de la poudre de verre de rebut par rapport au mélange de contrôle et l'augmentation de % de crête est à 20%, au-delà de ce qu'il diminue.
- Chikhalikar S.M. et Tande S.N. [2012] a testé le paramètre de résistance à la flexion dans son étude et Il en résulte qu'un dosage de 20% de poudre de verre usagé est optimal pour remplacer le ciment.
- Dali J.S. et Tande S.N. [2012] étudié les propriétés du béton contenant des adjuvants minéraux, lorsqu'il est soumis à un mouillage et à un séchage alternatifs et hautes températures et a montré que le remplacement de 20% donne une plus grande force dans les deux cas lorsque le béton non soumis à un mouillage et un séchage alternatifs, et lorsque le béton est soumis à un mouillage et un séchage alternatifs.
- Bajad M.N. et al [2011] ont montré expérimentalement qu'un remplacement de 20% par de la poudre de verre usagée est optimal à la fois dans le cas du béton soumis à une attaque au sulfate et lorsqu'il n'est pas soumis à une attaque au sulfate.

V.4.2. Résistance à la compression

- Vasudevan Gunalaan et Kanayath pilay Seri Ganis [2013] ont étudié les résultats des tests à 7, 14, 28 jours de durcissement d'échantillons contenant de la poudre de verre usée en remplacement partiel du ciment et ses résultats a montré que la quantité de mélange de poudre de verre de 20% montre une valeur positive de résistance à la compression à 28 jours par rapport à autre rapport que 10% et 15% ne sont pas réalisables, même si un léger accroissement de 14 jours en résulte.
- Vandhiyan R. et al [2013] ont étudié le remplacement du ciment par de la poudre de verre et ont conclu que l'augmentation considérable dans le gain de résistance précoce en particulier au spécimen 15% GP a donné une augmentation de 29% de la force au 7ème jour plus de spécimen de contrôle. Au 28ème jour cette différence de force se réduit à 23%. L'incrément de force est optimal à 10%remplacement.
- Kumarappan N. [2013] partiellement remplacé le ciment par de la poudre de verre et a déclaré que jusqu'à 10%, il est possible pour remplacer le ciment car il a montré une résistance à la compression plus élevée que le mélange de contrôle.
- Vijayakumar G. et al [2013] proposé que le ciment remplacé jusqu'à 40% par la poudre de verre a montré une augmentation de la résistance à la compression à la fois 28 jours et 60 jours de durcissement par rapport au béton conventionnel.

- Nwaubani Sunny O. et Poutos Konstantinos I. [2013] ont conclu que l'augmentation de la quantité de verre dans le mortier entraîne une diminution générale de la résistance à la compression, mais la diminution devient moins évidente avec un temps de durcissement prolongé. La distribution granulométrique du verre usagé était le facteur clé influençant le développement de la force.

V.5. Conclusion

L'ensemble des tests réalisés nous ont permis d'aboutir à une étude approfondie sur le comportement des deux bétons et de conclure que :

- ✓ L'ajout de poudre de fibre de verre DFW et CFW augmente la résistance en flexion et en compression du béton polymère.
- ✓ Le matériau BP renforcé par de poudre de fibres de verre (CFW) offre des propriétés mécaniques plus élevées que le BP renforcé par de poudre de fibres de verre (DFW) de points de vue comportement en compression et en flexion ainsi que du point de vue rigidité.

Conclusion générale

Le travail réalisé dans ce mémoire a été consacré dans un premier temps à une synthèse bibliographique sur les matériaux composites ainsi que les bétons polymères, ensuite une étude expérimentale a été réalisée sur deux types de bétons polymères chargés par la poudre fibres de verre (DFW et CFW).

Les résultats des tests sur les différentes éprouvettes en bétons polymères renforcés par de la poudre fibres de verre (DFW et CFW) et les résultats de ce travail suggèrent que la poudre fibres de verre de l'usine Maghreb Pipe Industries est comparable à d'autres poudres naturelles utilisées comme charge dans des matrices polymériques. Elles sont complètement aptes à l'utilisation comme charge dans les bétons polymères.

D'après l'analyse des résultats de test en flexion trois point et le teste de compression sur les différentes éprouvettes en bétons polymères renforcé par poudre fibres de verre (DFW et CFW), nous avons constaté que :

- Le BPs 80-20 (béton polymère renforcé par 20% poudre fibres de verre CFW) à enregistré la résistance à la flexion maximale ($\sigma_f = 32,800 \pm 1,400$) MPa par rapport au BP 100-00 ($\sigma_f = 19,350 \pm 2,850$) MPa.
- D'autre part, dans le cas du composite à poudre de fibres de verre DFW la résistance à la flexion maximale est obtenue par le matériau BP75-25 (béton polymère renforcé par 25% poudre fibres de verre DFW) à enregistré la résistance à la flexion maximale ($\sigma_f = 30,150 \pm 1,950$) MPa par rapport au BP 100-00 ($\sigma_f = 19,350 \pm 2,850$) MPa.
- En ce qui concerne la résistance à la compression le BPs 75-25 (béton polymère renforcé par 25% poudre fibres de verre CFW) à enregistré la valeur maximale ($R_c = 92,19 \pm 4,69$) MPa par rapport au BP 75-25 ($R_c = 72,50 \pm 2,50$) MPa et BP 100-00 ($R_c = 51,87 \pm 3,12$) MPa.

Ces résultats montre que les bétons polymères renforcé par la poudre fibres de verre CFW offrent les meilleurs performances mécaniques par rapport aux bétons polymères renforcé par la poudre de fibres de verre DFW, tandis que les bétons à base de résine et silice (BP 100-00) enregistrent des résistances minimales, justifiées par la différence de leurs natures et la composition des matériaux utilisées.

Nous espérons trouver une continuité de ces travaux dans les années à venir afin de valoriser cette poudre dans la formulation des bétons polymères pour préserver l'environnement et l'exploiter sur le plan économique.

Liste des tableaux

Tableau. I.1 : Caractéristiques principales des matrices thermodurcissables (TD) [4].	7
Tableau. I.2 : Caractéristiques principales des matrices thermoplastiques (TP) [4].	8
Tableau. I.3 : Principales différences entre matrices TP et TD [4].	9
Tableau II.1 : Propriétés mécaniques de différents types de béton polymère et béton de ciment [10]. ..	18
Tableau. IV.1 : Différentes caractéristiques de la résine polyester [25].	34
Tableau. IV.2 : Différents avantages et les inconvénients de résine polyester insaturée [26].	35
Tableau. IV.3 : la composition de chaque type de poudre de verre	38
Tableau. IV.4 : Taux de chaque composante. (La poudre fibre de verre DFW).	40
Tableau. IV.5: Taux de chaque composante. (La poudre fibre de verre CFW).	40
Tableau V.1. Différents niveaux de charges et contraintes des différents BP renforcés par de poudre fibre de verre (DFW)...	48
Tableau V.2. Différents niveaux de charges et contraintes des différents BP renforcés par de poudre fibre de verre (CFW)...	50
Tableau V.3. De nombreux travaux sur les bétons polymères.	51
Tableau V.4. Variation de la résistance à la compression des différents BP renforcés par de poudre fibre de verre (DFW)...	53
Tableau V.5. Variation de la résistance à la compression des différents BP renforcés par de poudre fibre de verre (CFW)...	54

Liste des figures

Fig. I.1 : Représentation schématique d'un matériau composite	4
Fig. I.2 : Classification de différentes familles de matrice.	5
Fig. I.3 : Différents types de renfort de base.	10
Fig. I.4 : Composite stratifié.	12
Fig. I.5: Panneaux sandwichent.....	13
Fig. II.1 : Béton polymère.	15
Fig. II.2 : Mise en ouvre d'une plaque de béton polymère [10].....	16
Fig. II.3 : Façades et marches d'escalier en béton polymère pour bâtiment.....	19
Fig. II.4 : Caniveaux en béton polymère pour le drainage.	19
Fig. II.5 : Bacs de fleurs par béton polymère.....	20
Fig. II.6 : Plancher en béton polymère.	20
Fig.II.7 : Pont de Brooklyn à New York.....	20
Fig. II.8 : Quelques applications de béton polymère (industrie).	21
Fig. II.9: Quelques applications du béton polymère pour l'isolation.....	21
Fig.III.1 : déchet de faïence.....	26
Fig.III.2 : Déchets de démolition.	27
Fig.III.3 : Déchets de Pneus.	28
Fig. III.4 : Déchets de Brique.	28
Fig. III.5 : déchets de verre.....	29
Fig. III.6 : différents types de déchets plastiques.....	30
Fig. III.7 : différents types de déchets bois.	31
Fig. IV.1.Cycle de polymérisation de résine polyester.....	34
Fig.IV.2. Sable de silice	36
Fig.IV.3. Courbe d'analyse granulométrique de la silice utilisée.....	36
Fig.IV.4. Obtention de poudre fibres de verre.....	37
Fig.IV.5. Moule utilisé pour éprouvettes lisses (FTP)	38
Fig.IV.6. Etapes de moulage de béton polymère par contact	40
Fig.IV.7. Essai de FTP sur des éprouvettes lisses en BP	41
Fig.IV.8. Essai de compression sur des éprouvettes lissées en BP.....	43

Fig.V.1. Courbes d'évolution de la charge en fonction de déflexion de béton polymère renforcé par 20% de Poudre fibre de verre DFW	45
Fig.V.2. Courbes d'évolution de la charge en fonction de déflexion de béton polymère renforcé par 20% de Poudre fibre de verre CFW	46
Fig.V.3. Courbes d'évolution : Contrainte en fonction de déformation des différents bétons polymères	47
Fig.V.4. Superposition des évolutions de la contrainte en fonction de déformation des types du Béton polymère renforcé et non renforcé par de poudre de fibres de verre (DFW)	48
Fig.V.5. Superposition des évolutions de la contrainte en fonction de déformation des types du Béton polymère renforcé et non renforcé par de poudre de fibres de verre (CFW)	49
Fig.V.6. Variation de la résistance à la flexion des différents bétons polymères	48
Fig.V.7. Variation de la résistance à la compression des BP renforcé par de poudre (DFW)	52
Fig.V.8. Variation de la résistance à la compression des BP renforcé par de poudre (CFW)	54
Fig.V.9. Variation de la résistance à la compression des différents bétons polymères.....	55

Liste des symboles

- M_v Masse volumique.
- E Module d'élasticité.
- G Module de cisaillement.
- A Allongement à la rupture.
- α Coefficient de dilatation thermique.
- W_p L'énergie potentielle du solide.
- ν Coefficient de poisson.
- γ_s L'énergie surfacique de rupture.
- W_s L'énergie de création d'une surface.
- σ Contrainte axiale.
- K_I L'intensité de contrainte.
- Y Facteur de correction de la géométrie.
- a Longueur de fissure.
- γ_p L'énergie plastique.
- Φ L'énergie de déformation.
- G Taux de restitution d'énergie.
- W_F Travail externe effectué par la force.
- G_c Travail critique de rupture.
- σ_R Contrainte à la rupture.
- h Largeur de l'éprouvette.
- L Distance entre les appuis de flexion.
- P La charge maximale à la flexion.
- σ_f Contrainte à la flexion de trois points.
- E_f Module de flexion.
- R_c Résistance à la compression.
- K_R Facteur d'intensité de contrainte à la rupture.
- I Moment d'inertie.
- f La flèche du flexion.
- S Section de l'éprouvette.
- F Charge maximal à la compression.

Liste des abréviations

CMO Composite à matrice organique.

CMC Composite à matrice céramique.

CMM Composite à matrice minérale.

TD Matrice thermodurcissable.

TP Matrice thermoplastique.

PA Polyamide.

PET Polytéréphalate éthylénique.

POM Polyoxyméthylène.

PC Polycarbonate.

PPS Polysulfure de phénylène.

PP Polypropylène.

HP Composite haute performance.

CFW Continuous filament winding, Enroulement filamentaire continu

DFW Discontinuous filament winding, Enroulement filamentaire discontinu

BP 100-00 Béton polymère non renforcé.

BP 95-05 Béton polymère renforcé par 5% de Poudre fibre de verre DFW.

BP 90-10 Béton polymère renforcé par 10% de Poudre fibre de verre DFW.

BP 80-20 Béton polymère renforcé par 20% de Poudre fibre de verre DFW.

BP 75-25 Béton polymère renforcé par 25% de Poudre fibre de verre DFW.

BPs 95-05 Béton polymère renforcé par 5% de Poudre fibre de verre CFW.

BPs 90-10 Béton polymère renforcé par 10% de Poudre fibre de verre CFW.

BPs 80-20 Béton polymère renforcé par 20% de Poudre fibre de verre CFW.

BPs 75-25 Béton polymère renforcé par 25% de Poudre fibre de verre CFW.

les références bibliographiques

- [1] Laurent Gornet, « *généralité sur les matériaux composites* », école centrale Nantes, France, 2011.
- [2] Yahann Ledru, « *étude de la porosité dans les matériaux composites stratifiés aéronautique* », doctorat de l'université de Toulouse, 14 décembre 2009.
- [3] Anh Dung Ngo, « *introduction sur les matériaux composites* », Ecole de technologie supérieure Montréal, Canada, 2013.
- [4] CARMA, « *Glossaire des matériaux composites* », centre d'animation régional en matériaux avances, Décembre 2006.
- [5] Marianne le Troedec, « *caractérisation des interactions physico-chimique dans un matériau composite à base phyllosilicates, de chaux et de fibres cellulosiques* », thèse doctorat école science et technologies, université de Limoges, décembre 2009.
- [6] Zapata Massot Céline, « *synthèse de matériaux composite par Co-broyage en voie sèche et caractérisation des propriétés physico-chimique et d'usage des matériaux* », thèse doctorat, institut national polytechnique de Toulouse, décembre 2004.
- [7] Ministère des ressources naturelle, « *produite composite Bois-polymère* », centre de recherche industrielle du Québec, avril 2003.
- [8] Belkacemi Cherifa, « *étude expérimentale du comportement mécanique des stratifiés à renforts en matière végétale* », mémoire magister, université M'Hamed Bouguerra Boumerdes, 2006.
- [9] Haddadi Manel, « *étude numérique avec comparaison expérimental des propriétés thermoplastique des matériaux composites à matrice polymère* », mémoire master, université Al Hadj Lakhdar, Batna, 2011.
- [10] Rachid Berbaoui, « *identification et analyse de l'endommagement par fatigue des matériaux granulaire à base polymère* », thèse de doctorat, université du Maine option génie mécanique, janvier 2010.
- [11] Rachedi Mokhtar, « *contribution à l'étude de la durabilité de mortier de plâtre base de sable de dune renforcé par des fibres de palmier dattier* », mémoire magister, université Kasdi Merbah, Ouargla, 2013.
- [12] Baali Hafida, « *étude de l'effet du traitement chimique des fibres de palmier dattier sur le comportement mécanique du béton polymère* », mémoire master, université de M'sila, juin 2014.
- [13] cours connaissance du textile, « *la classification des fibres* », Institut provincial de Nursing du centre manage, janvier 2009.

les références bibliographiques

- [14] Lakel Adel, « *Évaluation de la dégradation de propriétés et le comportement du béton polymère à renfort de fibres végétales et additifs minéraux* », mémoire master, université de M'sila, Juin 2012.
- [15] [http : // W.W.W. designenbretagne.com/béton polymère /2010](http://W.W.W.designenbretagne.com/béton%20polymère/2010).
- [16] Oussama Elalaoui, « *optimisation de la formulation et de tenue aux hautes températures d'un béton à base d'époxyde* », thèse doctorat, université de Tunis EL-Manar, février 2012.
- [17] **Khemissi Redouane** «Caractérisation et choix d'une filière de traitement des déchets ménagers et assimilés de la ville d'Oran» thèse de Magister Université d'Oran 2013-2014.
- [18] **Mehdi Cheikh Rouhou** «Les déchets de chantier et le recyclage des matériaux dans le secteur du bâtiment» thèse de fin de formation 2007.
- [19] **Barkat Abderezzak** «valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrage en béton » thèse de Magister Université Kasdi Merbah Ouargla 2006-2007.
- [20] «lexique déchet », 2004.
- [21] **Ademe P-C** «guide de déchet de l'artisanat» 2004.
- [22] **François PERCHE** « adsorption des poly carboxylates et de lignosulfates sur poudre modèle et ciments »Thèse de doctorat.
- [23] **SAADANI Sabrina** « Comportement des bétons à base de granulats recyclés» thèse de Magister, Université Mentouri de Constantine.
- [24] **AICHOUCH Amine et BELKBIRE Hocine** « élaboration d'un béton autoplaçant léger à base des déchets de plastique» DEUA Boumerdes 2011.
- [25] Haidar Murhaf, « *optimisation et durabilité des micro-bétons à base d'époxyde* », thèse doctorat université de Cergy-pontoise, spécialité génie civil, mars 2011.
- [26] Dr.Boubakar, Zaouachi, « *les résines* », cours matériaux composites, 2011.
- [27] Rokbi mansour ,Rahmouni Zine El Abidine,et baali brahim , « *Performance of polymer concrete incorporating waste marble and alfa fibers*», ADVANCES IN CONCRETE CONSTRUCTION 5.4 (2017) : 331-343
- [28] Saribiyik et al, « *The effects of waste glass powder usage on polymer concrete properties*», Construction and Building Materials, 2013