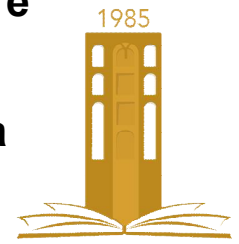


جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux

THEME

*Valorisation de trois types de sable issue de la
région du Hodna pour l'élaboration du Bétons
Polymères à base de résine polyester*

Dirigé par :
Pr. Rahmouni Zine El Abidine
Dr. Rokbi Mansour

Présenté par :
Bentoumi mostefa

Promotion : 2018/2019.

Remerciement

Le premier remerciement c'est pour dieu

Dieu Merci

Merci, chers parents,

*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 réalisation de ce projet.*

*Je remercie aussi « **Mr. Baali Brahim** » le directeur de Maghreb pipe et leur équipe de laboratoire « **Thameur, Soufiane, Yazide, Hamza** »*

*Je remercie « **Mon frère Miloud** » docteur en électronique qui m'a encouragé.*

*Je remercie **Mr Bakhti el Hadi** enseignant en électronique qui m'a encouragé.*

Je remercie les membres des jurys et les laborantins de laboratoire des matériaux

*Et toutes mes amies les ingénieurs de spécialités « **Matériaux de construction** ».*

BENTOUMI Mostefa

Dédicace

Je dédie premièrement mon travaillé à mes parents.

et ma femme

et mes enfants «Fatiha, mohammed, abderahim, yasmine ».

Je dédie à mes frères et mes sœurs

Dieu Merci

BENTOUMI Mostefa

Résumé

Le but de ce travail est d'exploiter les ressources naturelles existantes au niveau de la région El Hodna, telles que les dunes de sable, qui ne sont pas bien exploitées par les autorités concernés. Afin de valoriser certains de ces types de sable, nous avons choisi trois types de sable

- Sable Ain El Sbaa à Sidi Amer,
- Sable Oued Maiter à Boussaada,
- Le troisième est un sable rugueux, d'une rivière dans une région nommée El khalwa. à Maadid M'sila.

Nous avons expérimenté ces trois types de sable, tels que l'analyse du sable granulaire et l'analyse des composants chimiques, pour déterminer leurs propriétés.

Dans ce travail, nous avons étudié le béton polymère avec chaque type de sable avec un taux fixe de 30% de la résine et 70% du sable et nous l'avons comparé au béton Quartz de l'usine Maghreb Pipe, où les résultats ont montré que Les sables de Ain El Sbaa sont plus intéressants que ceux d'Oued Mitar et très proches de ceux de silice d'usine Maghreb pipe .

Au fin de travail on élaborés des pavés avec la résine récupérée et avec chaque type du sable pour une utilisation spéciale.

Mots clés: Béton polymère, Résine récupérée, Pavé, Résine polyester

Abstract

The purpose of this work is to exploit the existing natural resources at the level of the brood area, such as sand dunes, which are not well exploited by the interests concerned. In order to value some of these types of sand, we chose three types of sand (fine sand in Sidi Amer, fine sand in Ouad Mitar both are in Boussaada, and the third one is a rough sand of river in a region named El khaloua in Maadid M'sila.

We experimented with three types of sand, such as granular sand analysis and component analysis, to determine their properties.

In this work we studied the polymer concrete with each type of sand with a fixed rate of 30% of the resin and 70% of the sand and compare it with the Quartz concrete of the factory of Maghreb Pipe Industry, where the results showed that the sand of Wadi Sbaa are more interesting compared to Oud Mitar one, and very close to that of Maghreb Pipe industry...

In the latter, we have completed the paving stones with recovered resin for use in special use.

Keywords: Polymer concrete, Resin recovered, Pavement , Polyester resin.

ملخص

يهدف هذا العمل الى استغلال الموارد الطبيعية الموجودة على مستوى منطقة الحضنة ، مثل رمال الكثبان التي هي غير مستغلة جيدا من طرف المصالح المعنية ، ومن اجل تثمين بعض هذه الأنواع من الرمال ، قمنا باختيار ثلاثة أنواع من الرمل (رمل ناعم بسيدي عامر ، رمل ناعم بميطر ببوسعادة ، رمل خشن بالخلوة بالمعاضيد) .

حيث قمنا بإجراء تجارب على أنواع الرمل الثلاثة كالتحليل الحبيبي للرمل وتجربة تحليل المكونات ، من اجل معرفة خصائصها .

في هذا العمل قمنا بدراسة الخرسانة البوليمرية مع كل نوع من الرمل بنسبة ثابتة وهي 30% من الراتنج و 70% من الرمل ومقارنته مع الخرسانة البوليمرية برمل الكوارتز الخاص بمعمل مغرب بايب ، حيث اظهرت النتائج ان رمل واد السبع بسيدي عامر اكبر بالنسبة لرمل واد ميطر ببوسعادة وقريبة جدا من نتائج رمل الكوارتز الخاص بالمعمل ،

وفي الأخير أنجزنا قوالب الرصف بالراتنج المسترجع من اجل استغلالها في مشاريع خاصة.

المفاتيح : الخرسانة البوليميرية ، الراتنج المسترجع ، قوالب الرصف ، راتنج البوليستر .

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I	
Généralités sur les matériaux composites	
I. Généralités sur les matériaux composites	3
I.1.Introduction	3
I.2.Définition.....	3
I.3. Les constituants des matériaux composites	4
I.3.1. La matrice.....	4
I.4. Charge et additifs.....	8
I.4.1. Charges	8
I.4.2. Les additifs	9
I.5. Les renforts	9
I.5.1. Les type des renforts	9
I.5.2. Architecture des renforts :	11
I.6. Relation Matrice – Renfort :	11
I.7. Structure du composite :	12
I.7.1. Les monocouches.....	12
I.7.2. Les stratifiées	12
I.8. Avantages et inconvénients des composites	12
I.8.1. Avantages	12
I.8.2. Inconvénients.....	13
I.9. Matériaux composites en Génie Civil.....	13
I.10. Conclusion.....	15
Chapitre II	
Généralités sur le béton polymère	
II. Généralités sur le béton polymère	17
II.1. Introduction.....	17
II.2.Définition du béton polymère	17
II.3. La composition principale d'un béton polymère :.....	18
II.4. Caractéristiques principales des bétons polymères.....	19
II.4.1. Caractéristiques mécaniques d'un béton polymère.....	19
II.4.2. Caractéristiques physiques d'un béton polymère.....	19
II.4.3. Caractéristiques chimiques d'un béton polymère [07]	19
II.4.4. Caractéristiques hydrauliques d'un béton polymère [07]	20
II.5. Les principaux avantages et inconvénients du béton polymère	20
II.5.1. Les avantages d'un béton polymère [07].....	20
II.5.2. Les inconvénients d'un béton polymère [07].....	20
II.6. La comparaison entre un béton polymère et un béton ordinaire.....	20

II.7. Pavés	21
II.7.1.Types de pavés	21
II.7.2.Caractéristiques géométriques	22
II.7.3.Aspect et couleur	22
II.7.4.Les domaines d'emploi	22
II.7.5.Pavé à base de résines thermodurcissables	23
II.7.6 Zoom sur les pavés autobloquants et leurs caractéristiques	24
II.7.7 Avantages des pavés en résine	24
II.7.8 Différents supports pour la pose des pavés en résine	24
II.8 Conclusion	25

Chapitre III

Carrières de sables dans la région du Msila

III. Carrières de sable dans la région du M'sila	26
III.1. Introduction	26
III.2. Cadre légal	26
III.3. Les diverses natures du sable.	28
III.4. Les différentes classes de sable	28
III.5. Le cordon dunaire	29
III.6.Conclusion	30

Chapitre IV

Matériaux et techniques expérimentales

IV. Matériaux et techniques expérimentales	31
IV.1. Introduction	31
IV.2. Caractéristiques principales pour chaque matériau utilisé	31
IV.2.1. Résine Orthophtalique	31
IV.2.2. Sables	34
IV.3. Elaboration des différents bétons Polymères	37
IV.3.1. Choix des éprouvettes	37
IV.3.2. Elaboration des éprouvettes en béton polymères	37
IV.3.3. Le traitement thermique du béton polymère élaboré	39
V.4. Essais mécaniques appliqués sur le béton polymère	39
IV.4.1. Essai de traction sur la résine pure récupéré	39
IV.4.2. Essai de la rupture	41
IV.4.3. Essai de compression	42
IV.5. Conclusion	42

Chapitre V

Résultats et discussion

V. Résultats et Discussion	43
V.1. Caractéristiques des résines orthophtalique	43
V.2. Caractéristiques et essais sur sable	43
V.2.1 Analyse minéralogique des trois sables	43
V.2.2. Analyse granulométrique des trois sables	44
V.3. Essai de traction sur la résine pure récupéré	48
V.4. Propriétés mécanique des Bétons Polymères	49
V.4.1 Paramètre de rupture (K_R)	49

V.5. Résistance à la compression	52
V.6. Valorisation du matériau pour fabrication de pavé :	53
V.7. Conclusion	53

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives.....	54
-------------------------------------------------	-----------

Introduction générale

Le développement incessant de la technologie, a poussé à l'utilisation des matériaux innovants et à créer une compétition dans tous les domaines de l'industrie. Parmi l'investissement dans notre ville, l'usine **Maghreb Pipe Industries** est une référence nationale pour la fabrication des systèmes de canalisation en PRV (polyester renforcé de fibre de verre). Les principales matières premières utilisées pour la fabrication des systèmes de canalisation en PRV sont la résine, la fibre de verre et le sable silicieux.

Au cours de la production une grande quantité de résine se perd. Afin d'exploiter la matière gaspillé on a pensé de récupérer cette résine et valoriser trois types de sable issus de la région du Hodna pour la substitution du Quartz et pour l'élaboration du béton polymère. Une étude comparative entre le béton polymère (Polyester /Quartz) et le Béton Polymère (Polyester /Hodna sable) est envisagée.

Au Msila, dans la région d'El HODNA du sud il existe une immense carrière de sable fin de dune. Cependant cette immense richesse, n'est pas exploitée, à grande échelle au Msila.

Les sables qui sont utilisé dans notre travail sont de trois types issus de la région du Hodna :

- ✓ Sable d'Ain el Sbaa Sidi Ammeur
- ✓ Sable de Maitar Boussaada
- ✓ Sable El Khalwa Maadid

Dans le but d'apporter une contribution à la valorisation du sable de dune dans la fabrication d'un béton polymère, nous allons effectuer une étude préliminaire sur trois sables issue de la région du Hodna sachant leur caractéristique chimique et physique visant d'une part.

Et d'autre part, déterminer la résistance à la compression des bétons polymères en fonction du type de sable utilisé. De plus, le comportement à la rupture de ce produit obtenu .Ce qui nous a fait penser à élaborer des pavés dur, perméable, résiste, et esthétique pour des raisons de l'utilisé dans les piscines, les jardins les grands aires ...etc.

Ce travail est présenté en cinq chapitres. Le premier chapitre sera constitué des éléments bibliographiques permettant d'avoir une compréhension sur les matériaux composites,

Le second chapitre, généralités sur le béton polymère,

Le troisième chapitre parlera des carrières de sable dans la région du M'sila, nous allons donner quelques carrières qui en activité au niveau de la wilaya de Msila,

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude expérimentale présentant la préparation et la formulation du béton polymère, les protocoles et ainsi que les conditions des tests sont établis, Enfin, le cinquième chapitre, montrera les résultats obtenus dans notre étude.

Chacun de ces chapitres est terminé par une conclusion partielle, dont le bilan est effectué en conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur les matériaux composites

I. Généralités sur les matériaux composites

I.1.Introduction

Les matériaux composites trouvent leurs applications dans plusieurs filières de l'industrie et particulièrement dans le domaine génie civil. Ces derniers se développent aujourd'hui dans pratiquement tous les domaines et sont à l'origine de formidables challenges dans diverses réalisations de haute technologie. Dans ce domaine qui est en perpétuelle évolution, ces matériaux élargissent donc considérablement la capacité de répondre aux nouvelles exigences des consommateurs. Ce chapitre est dédié à des généralités prises de la littérature ouverte sur ces matériaux composites. Des définitions sur ces derniers sont présentées visant principalement à éclaircir la signification d'un matériau composite, sans oublier de traiter les caractéristiques principales des composites et leurs constituants.

I.2.Définition

Un matériau composite est constitué dans le cas le plus général d'une ou plusieurs parties discontinues réparties dans une partie continue Figure.(I.1). 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].

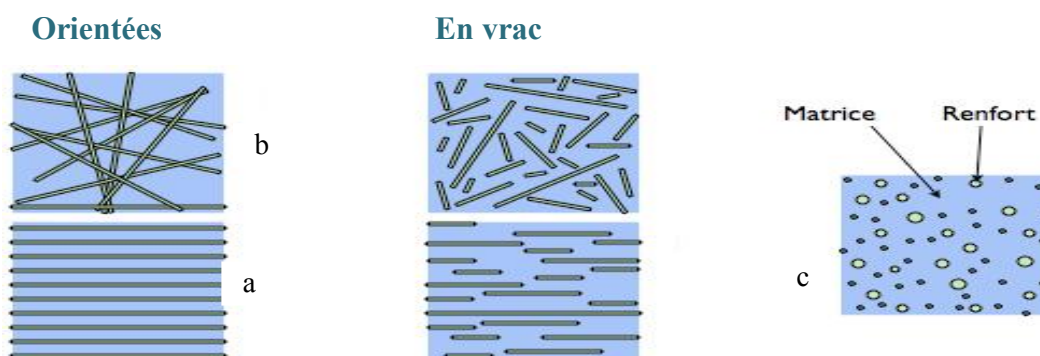


Fig.I.1. Structures géométriques des composites [1] :

(a) fibres longues, (b) fibres courtes, (c) particules.

La réalisation d'un matériau composite nécessite donc l'association d'au moins deux composants : le renfort et la matrice, qui doivent être compatibles entre eux.

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).

Les composites sont souvent désignés selon le type de renfort. Ainsi, ils existent des composites à particules, des composites sandwichs, des composites à phases dispersées ou encore des composites fibreux [3]. Des exemples de matériaux composites pris au sens large sont donnés au Tableau.(I.1).

Tableau.I.1. Exemples de matériaux composites, pris au sens large. [4]

Type de composite	Constituants	Domaines d'application
1. Composites à matrice organique Papier, carton Panneaux de particules Panneaux de fibres Toiles enduites Matériaux d'étanchéité Pneumatiques Stratifiés Plastiques renforcés	Résine/charges/fibres cellulosiques Résine/copeaux de bois Résine/fibres de bois Résines souples/tissus Elastomères/bitume/textiles Caoutchouc/toile/acier Résine/charges/fibres de verre, de carbone, etc. Résines/microsphères	Imprimerie, emballage, etc. Menuiserie Bâtiment Sports, bâtiment Toiture, terrasse, etc. Automobile Domaines multiples
2. Composites à matrice minérale Béton Composite carbone-carbone Composite céramique	Ciment/sable/granulats Carbone/fibres de carbone Céramique/fibres céramiques	Génie civil Aviation, espace, sports, bio-médecine, etc. Pièces thermo-mécaniques
3. Composites à matrice métallique	Aluminium/fibres de bore Aluminium/fibres de carbone	Espace
4. Sandwiches { Peaux Ames	Métaux, stratifiés, etc. Mousses, nids d'abeilles, balsa, plastiques renforcés, etc.	Domaines multiples

I.3. Les constituants des matériaux composites

I.3.1. La matrice

Dans un grand nombre de cas, la matrice constituant le matériau composite est une résine polymère. Les résines polymères existent en grand nombre et chacune à un domaine particulier d'utilisation. Dans les applications où une tenue de la structure aux très hautes

températures est requise, des matériaux composites à matrice métallique, céramique, ou carbone sont utilisés. La classification des types de matrices couramment rencontrées est donnée par la Figure (I.2) [1].

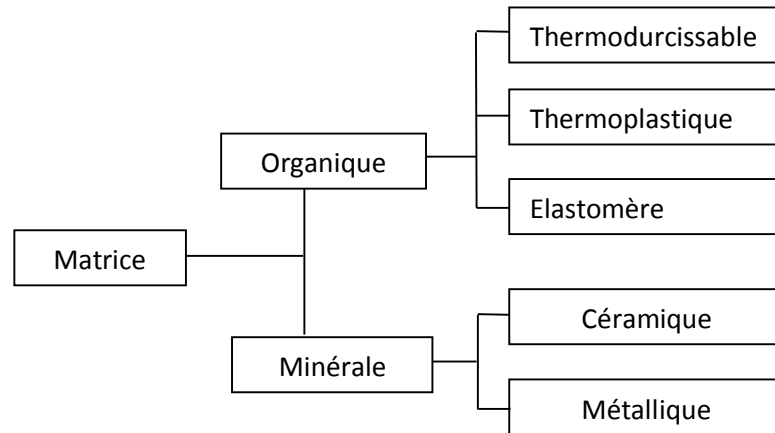


Fig.I.2. Types de matrices

I.3.1.1 Matrices Organiques

a) Résines thermodurcissables (T D)

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 exemples de résines thermodurcissables classiquement rencontrées sont 914, 5208, 70, LY556.

Les matériaux les plus performants ont des caractéristiques mécaniques élevées et une masse volumique faible [1].

a.1) Résine polyester

On distingue de nombreuses variétés de résines polyesters mais les plus utilisées sont les orthophtaliques et isophtaliques.

Les résines polyesters insaturées viennent de très loin en tête dans la mise en œuvre des matériaux composites. Ils possèdent une intention particulière, cela est due à :

- ✓ leur faible coût de production,
- ✓ leur diversité offrant de multiples possibilités,
- ✓ ils possèdent une adaptation à des procédés de fabrication faciles à mettre en œuvre et à automatiser.

D'où un développement industriel sans cesse et très croissant les contourne.

Suivant leur module d'élasticité, les résines polyesters sont classées en : résines souples, résines semi-rigides et résines rigides. Les résines habituellement utilisées dans la mise en oeuvre des matériaux composites sont du type rigide, et nous retiendrons pour ces résines durcies les caractéristiques Tableau.(I.2.) suivantes :

Tableau.I.2. Caractéristiques des résines polyesters . [4]

Masse volumique	1 200 kg/m ³
Module d'élasticité en traction	2,8 à 3,5 GPa
Module d'élasticité en flexion	3 à 4,5 GPa
Contrainte à la rupture en traction	50 à 80 MPa
Contrainte à la rupture en flexion	90 à 130 MPa
Allongement à la rupture en traction	2 à 5 %
Allongement à la rupture en flexion	7 à 9 %
Résistance en compression	90 à 200 MPa
Résistance au cisaillement	10 à 20 MPa
Température de fléchissement sous charge (1,8 MPa)	60 à 100 °C

Parmi les avantages et les inconvénients Tableau.(I.3) des polyesters insaturés, nous retiendrons

Tableau.I.3. les avantages et les inconvénients des résines polyesters . [4]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • une bonne rigidité résultant d'un module d'élasticité assez élevé, • une bonne stabilité dimensionnelle, • une bonne mouillabilité des fibres et des tissus, • la facilité de mise en œuvre, • une bonne tenue chimique, • un faible coût de production, • une bonne résistance chimique aux hydrocarbures (essence, fuel, etc.) à température ambiante, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • une tenue médiocre en température : inférieure à 120 °C en service continu, • une sensibilité à la fissuration, essentiellement dans le cas de chocs, • un retrait important de l'ordre de 8 à 10 %, • un mauvais comportement à la vapeur, à l'eau bouillante avec risque d'hydrolyse, d'où la nécessité de recouvrir les matériaux composites à résines polyesters d'une couche de "gel-coat" de manière à les rendre étanches, • une dégradation à la lumière par les rayons ultraviolets, • une inflammabilité.

a.2) Résine époxyde

Les résines les plus utilisées après les résines polyesters insaturées sont les résines époxydes. Elles ne représentent cependant que l'ordre de 5 % du marché des composites, à cause de leur prix prohibitif (de l'ordre de cinq fois plus que celui des résines polyesters).

Du fait de leurs bonnes caractéristiques mécaniques, les résines époxydes, généralement utilisées sans charges, sont les matrices des composites à hautes performances (constructions aéronautiques, espace, missiles, etc.).

Les caractéristiques mécaniques générales des résines époxydes **Tab.(I.4)** sont les suivantes :

Tableau.I.4. Caractéristique des résines époxydes. [4]

Masse volumique	1 100 à 1 500 kg/m ³
Module d'élasticité en traction	3 à 5 GPa
Contrainte à la rupture en traction	60 à 80 MPa
Contrainte à la rupture en flexion	100 à 150 MPa
Allongement à la rupture	2 à 5 %
Résistance au cisaillement	30 à 50 MPa
Température de fléchissement sous charge	290 °C

Les résines époxydes conduisent donc à un ensemble de performances élevées. Toutefois, pour bénéficier réellement de ces performances, il est nécessaire d'avoir des durées de transformation et surtout de cuisson très longues (de plusieurs heures à plusieurs dizaines d'heures), à des températures relativement élevées (50 à 100 °C).

Parmi les avantages et les inconvénients des résines époxydes **Tab.(I.5)**, nous retiendrons :

Tableau.I.5. Les avantages et les inconvénients des résines époxydes [4]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • de bonnes propriétés mécaniques (en traction, flexion, compression, choc, fluage, etc.) supérieures à celles des polyesters, • une bonne tenue aux températures élevées : jusqu'à 150 °C à 190 °C en continu • une excellente résistance chimique, • un faible retrait au moulage (de 0,5 à 1 %), • une très bonne mouillabilité des renforts, • une excellente adhérence aux matériaux métalliques 	<ul style="list-style-type: none"> • un temps de polymérisation long • un coût élevé, • la nécessité de prendre des précautions lors de la mise en oeuvre, • une sensibilité à la fissuration.

b) Les résines thermoplastiques

Les résines thermoplastiques existent depuis les années 70 et se présentent à température ambiante sous forme de poudres ou granulats. Pour être mise en œuvre, la résine thermoplastiques est portée à haute température (dite température de mise en œuvre autour de 400°C) puis subit un refroidissement à vitesse maîtrisée pour obtenir la structure cristalline appropriée et déterminant les propriétés mécaniques de la pièce en matériau composite. La

qualité des résines et le cycle des températures déterminent donc la structure cristalline du matériau et donc les performances mécaniques du matériau composite thermoplastique. La connaissance du phénomène physico-chimique au sein de la matière sous l'action du cycle de température fait l'objet de recherches académiques. Les procédés de fabrication les plus répandus sont l'injection thermoplastique (lorsque les fibres sont courtes 2 à 3mm), l'estampage (lorsque les fibres sont longues), [5]

Il est important de bien situer les différences fondamentales Tab.(I.6) de ces deux types de matrices.

Tableau 1.6. Comparaison entre les deux types de résines. [8]

Matrices	Thermoplastiques TP	Thermodurcissables TD
Etat de base	Solide prêt à l'emploi	Liquide visqueux à polymériser
Stockage	Illimité	Réduit
Mouillabilité des renforts	Difficile	Aisée
Moulage	Chauffage + refroidissement	Chauffage continue
Cycle	Court	Long (polymérisation)
Tenue au choc	Asses bonne	Limitée
Tenue thermique	Réduite	Meilleure
Chutes et déchets	Recyclables	Perdus ou utilisés en charges
Conditions de travail	Propreté	Emanations de solvants

1.3.1.2. Matrice céramique

Les matériaux utilisés sont les carbures de silicium et de carbone. Ils entrent dans la fabrication des pièces qui subissent des contraintes d'origine thermique et leur coût est très élevé [7].

1.3.1.3. Matrice métallique

Les composites à matrice métallique (CMM) possèdent une bonne tenue en température ainsi que de bonnes propriétés électriques et thermiques. Par rapport aux métaux, ils ont une meilleure stabilité dimensionnelle, ainsi qu'une meilleure résistance à l'usure [7].

I.4. Charge et additifs

I.4.1. Charges

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 [9].

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.
 - ✓ Bas prix de revient.
- **Les charges organiques** : Ils sont utilisées en tant que charges des résines thermodurcissables, (Farines de bois, Fibres végétales, Amidons...).
- **Les charges minérales** : Comme les craies et les 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...
- **Le carbone** : Le noir de carbone

I.4.2. 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.5. Les renforts

Le renfort d'un matériau composite est le constituant qui va supporter la plus grosse partie des efforts mécaniques. Il peut se présenter sous différentes formes [2] :

- ✓ particulaire, charges sous forme de microbilles, de fibres broyées, d'écailles ou de poudre micro ou nano particulaire,
- ✓ fibres courtes, pour les renforts surfaciques non texturés tel que le mat,
- ✓ fibres continues pour les renforts texturés tels que les tissus (taffetas, sergé et satin,...), ou les renforts unidirectionnels tels que les nappes.

I.5.1. Les type des renforts

Il existe des architectures fibreuses complexes multidirectionnelles 2D, 3D voir même 4D, Parmi les fibres les plus employées, on peut citer :

a) Les fibres de verre

Qui sont à faible coût de production, et qui constituent le renfort le plus utilisé actuellement (bâtiment, nautisme et autres applications non structurales aéronautiques).

Elles constituent le renfort essentiel des composites de grande diffusion Figure (I.3). Elle est obtenue à partir de sable (silice) et d'additifs (alumine, carbonate de chaux, magnésie, oxyde de bore) [9]. On distingue trois types de fibres :

- E : Pour les composites de grande diffusion et les applications courantes.
- R : Pour les composites hautes performances.
- D : Pour la fabrication de circuits imprimés (propriétés diélectriques).



Fig.I.3. Fibre de verre (a) fibre courte et (b) tisse.

b) Fibre de carbone

C'est la fibre la plus utilisées Figure (I.4) dans les applications hautes performances. Ces fibres sont généralement obtenues par pyrolyse d'un précurseur organique sous atmosphère contrôlée. Le plus utilisé de ces précurseurs est le PolyAcryloNitrile (PAN). Celui-ci est oxydé entre 200 et 300°C sous air ambiant puis carbonisé sous azote entre 800 et 1500°C. [2].



Fig. I.4. Fibres de carbone.

Selon la température de combustion, on distingue deux types de fibres [9] :

- Fibres haute résistance (HR) : pour une combustion de 1000 à 1500 °C.
- Fibres haut module (HM) : pour une température de combustion de 1800 à 2000 °C.

c) Fibre d'aramide

Souvent appelée KEVLAR®, la fibre d'aramide Figure(I.5) est issue de la chimie des polyamides aromatiques. Il est possible de trouver deux types de fibres d'aramide de rigidités différentes [9] :

- la fibre basse module : utilisées pour les câbles et les gilets pare-balles.
- la fibre haute module : employées dans le renforcement pour les composites hautes performances.



Fig.I.5. Fibres d'aramide.

I.5.2. Architecture des renforts :

Les structures composites sont anisotropes. La plupart des renforts travaillent bien en traction, mais offrent de moins bonnes performances en compression et cisaillement. Il est donc impératif de jouer sur la texture et la géométrie des renforts pour créer une architecture adaptée. [9]

Ils existent différentes géométries et textures de renforts nous pouvons citer : les mats, les tissés, les unidirectionnels, les tricots et les multidirectionnels Figure(I.8).

- ✓ **Les mats** : Sont des nappes de filaments, de fibres discontinues, disposés sans orientations préférentielles et maintenus ensemble par un liant soluble. Ce sont des matériaux déformables dans leur plan et peu coûteux malgré des propriétés mécaniques moindres.
- ✓ **Les tissés** : Sont réalisés sur des métiers à tisser. Ils sont obtenus par entrecroisement des mèches selon deux directions perpendiculaires : chaîne et trame. Ils peuvent avoir différentes armures : la toile ou le taffetas, le sergé et le satin. L'armure contrôle la rigidité du tissu.
- ✓ **Les unidirectionnelles** : Sont constituées de fils de chaînes maintenus par des fils de trame fins.

I.6. 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.

Les paramètres responsables de l'adhésion sont nombreux et ont des origines très différentes, ils se répartissent en trois classes [7]:

- 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.7. Structure du composite :

Les structures des matériaux composites peuvent être classées en trois types : [7]

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. [12]

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 Figure(I.6). Le choix de l'empilement et plus particulièrement des orientations permettra d'avoir des propriétés mécaniques spécifiques.

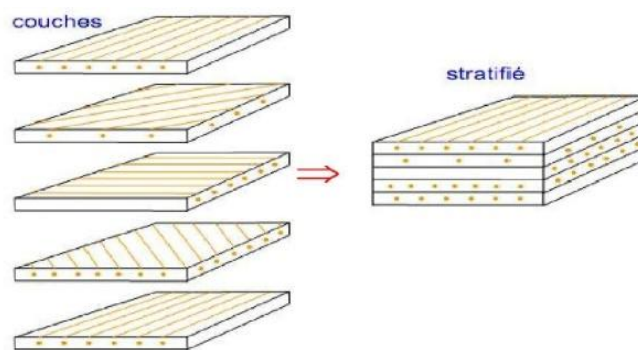


Fig. I.6. Composite stratifié.

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 [12]:

- ✓ Gain de masse ;
- ✓ Mise en forme de pièces complexes (principe du moulage) et réduction du nombre d'interfaces (boulonnage, rivetage et soudure sur structures métalliques) ;
- ✓ En général, par leur caractère organique, les MC ont un excellent comportement vis à vis de la corrosion ;
- ✓ Excellent comportement en fatigue et leur structure fibreuse fait qu'une rupture brutale de pièce en service est quasiment impossible;
- ✓ Très bon comportement aux chocs ;

- ✓ Conception du composite en fonction du type d'application et du chargement à l'inverse des matériaux classiques où on adapte la conception en fonction du matériau.

I.8.2. Inconvénients

Cependant certains inconvénients freinent leur diffusion [11] :

- ✓ Vieillissement sous l'action de l'eau et de la température ;
- ✓ Tenue à l'impact moyenne par rapport aux métalliques ;
- ✓ Emission de fumées parfois toxiques pour certaines matrices ;
- ✓ la gestion des déchets engendrés et la réglementation de plus en plus stricte ;
- ✓ Coût parfois élevé.

I.9. Matériaux composites en Génie Civil

Dans le domaine de l'Habitat et de l'Urbanisme, le principal frein à l'utilisation des matériaux composites nouveaux est la difficulté de la caractérisation structurelle et le manque de schémas permettant de prévoir le comportement ultérieur des structures. Les applications des matériaux nouveaux sont donc limitées à des fonctions non porteuses (protection anti-usure, anti-corrosion, remplissage), ou à des éléments à sollicitations simples (tubes, tuyaux, réservoirs). Une bonne connaissance des lois de comportement autoriserait des utilisations dans des formes à fonction porteuse (couverture, dalle de grande portée par exemple).

Le béton de ciment est lourd, on utilise une grande partie de sa résistance à porter son poids propre; il a un temps de prise très long et il est très peu résistant à la traction. Au contraire, les résines sont des matières d'assemblage aux excellentes propriétés mécaniques capables de transmettre les efforts de traction et de cisaillement. Suivant la nature du liant synthétique, les résistances à la compression peuvent atteindre 3 à 4 fois plus élevées que celles d'un béton à liant de ciment.

De façon générale, les bétons de résine résistent bien à l'action des produits chimiques et autres agents corrosifs, absorbent très peu l'eau, résistent bien à l'abrasion et possèdent une grande stabilité aux cycles gel - dégel. En outre, ils ont une plus grande résistance mécanique à la traction que le béton de ciment Portland.

L'utilisation des matériaux composites dans les industries de la construction et du génie civil présente de nombreuses opportunités, ils offrent des performances supérieures aux matériaux traditionnellement utilisés tel que l'acier par exemple notamment en terme de rigidité, de résistance à la traction, à la fatigue et à la corrosion.

D'une manière générale, les matériaux composites du type polymère renforcé de fibres «PRF» présentent des avantages considérables dès qu'il s'agit de la protection, la réparation et

le renforcement d'ouvrages ou d'éléments d'ouvrages en béton armé tels que poutre, poteau, dalle ou mur.

L'utilisation des composites en génie civil aujourd'hui est très répandue. Ces matériaux trouvent des applications dans le renforcement des structures d'isolation acoustique, panneaux rigides et matelas souples pour protéger les murs et les plafonds

On les retrouve également aux placettes, piscine et aux parvis,...etc. Figure(1.7).

Les composites de lin se positionnent pour répondre à la demande croissante des consommateurs attentifs aux qualités environnementales dans le domaine de l'aménagement on peut citer:

- ✓ Dalles de sol intérieur & extérieur
- ✓ Sanitaires
- ✓ Decking Terrasse
- ✓ Profilés de fenêtres
- ✓ Interrupteurs et goulotte sine.



a) Tuyaux en composite



b) réservoirs en composites



c) Clôture en composite

Fig. I.7. Composite en génie civil.

I.10. Conclusion

L'utilisation des matériaux composites sont nombreuses et diversifiée dans tous les domaines, à cause de leurs caractéristiques exceptionnelles par rapport aux matériaux traditionnels. Nous pouvons citer leur légèreté, et leur résistance...etc. En particulier dans le domaine de génie civil leur utilisation est devenue incontournable surtout dans la réhabilitation des constructions et des projets d'arts, même aussi dans l'aménagement intérieur et extérieur des maisons, piscines, bache à eau.

Les composites apportent au bâtiment la souplesse des formes, la résistance aux contraintes climatiques, et les composites renforcés de fibres de carbone sont leaders à la résistance aux séismes. Les composites permettent également de mieux protéger les bâtiments contre les agressions extérieures grâce à leurs qualités de résistance à la corrosion. Ils sont exploités aussi d'étanchéité et d'isolation thermique (panneaux isothermes), d'isolation phonique.

La qualité et les caractéristiques des matériaux composites, nous conduisent de produire des bétons polymère qui satisfait les besoins actuels des industries. Ces derniers font l'objet du deuxième chapitre.

Chapitre II

Généralités sur le béton polymère

II. Généralités sur le béton polymère

II.1. Introduction

Les polymères sont de plus en plus présents dans notre vie quotidienne. Cependant, on les utilise rarement seuls, mais généralement combinés à d'autres matériaux, permettant ainsi d'associer les propriétés de chacun et d'avoir des nouvelles caractéristiques plus performantes. Autrement dit l'utilisation de matériaux composites, préférentiellement aux matériaux traditionnels (polymères, céramiques, métaux, et alliages métalliques) se justifie par de meilleures propriétés spécifiques.

Pour améliorer la durabilité des constructions en génie civil contre le vieillissement physico-chimique de ces matériaux, vieillissement provoqué par des contraintes climatiques, par la pollution, ...en peut remplacer la matrice cimentaire dans certains cas, par une matrice organique " un polymère ".Le béton qui en résulte est connu sous la dénomination anglo-saxonne " Polymer Concrete, PC ". On le désignera par béton à matrice organique " BMO " également connu sous l'appellation de Béton de Résine ou Béton Résineux".

Le béton résineux est constitué d'une charge minérale et d'un liant en polymère. Parmi les matériaux de charge, on trouve le sable, le gravier, le calcaire, la craie, le condensat de silice (poudre de silice, poussière de silice), le granit, le quartz, le verre expansé et les fines métalliques.

De façon générale, les bétons de résine résistent bien à l'action des produits chimiques et autres agents corrosifs, absorbent très peu l'eau, résistent bien à l'abrasion et possèdent une grande stabilité aux cycles gel - dégel. Dans ce chapitre une définition est attribuée au béton polymère, suivie par une description de ces composantes principales. Les caractéristiques principales des bétons polymères sont divulguées, sans oublier de donner un panorama sur leurs avantages et inconvénients. Finalement, il est utile de faire une comparaison entre le béton polymère et le béton ordinaire. Nous avons également donné une idée sur les pavés de résines thermodurcissable et leurs utilisations. Ces derniers font l'objet de notre application.

II.2.Définition du béton polymère

Le béton polymère est constitué de charges minérales (granulat, sable,...) et d'un liant en polymère. 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

concurrentent 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. Lorsque la charge est du sable, le composite obtenu est appelé mortier de résine Figure(II.1)

. Parmi les autres matériaux de charge, on trouve: la pierre concassée, le gravier, le calcaire, la craie[14].

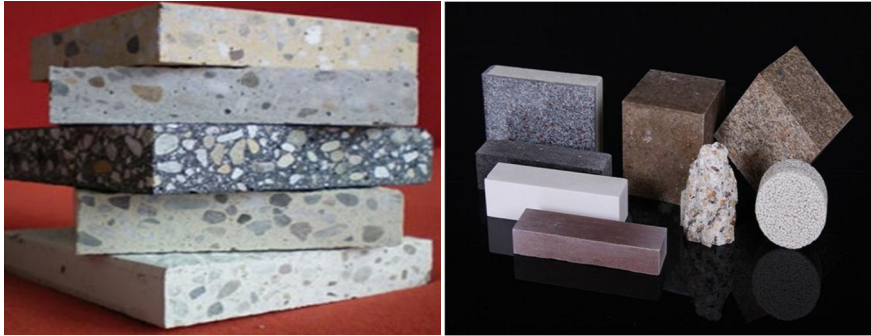


Fig. II.1. Béton polymère

II.3. La composition principale d'un béton polymère :

Le Béton Polymère est un matériau composé uniquement d'un mélange de granulats de quartz (d'une granulométrie maximale de 16mm) liés entre eux grâce à de la résine polyester. Figure(II.2) [16]:

- **La résine (matrice)**

Les bétons polymères sont constitués d'un liant entièrement organique qui est 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 époxydes et les polyesters insaturés sont les thermodurcissables les plus utilisés pour la fabrication d'un béton polymère [07].

- ✓ **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 [07].

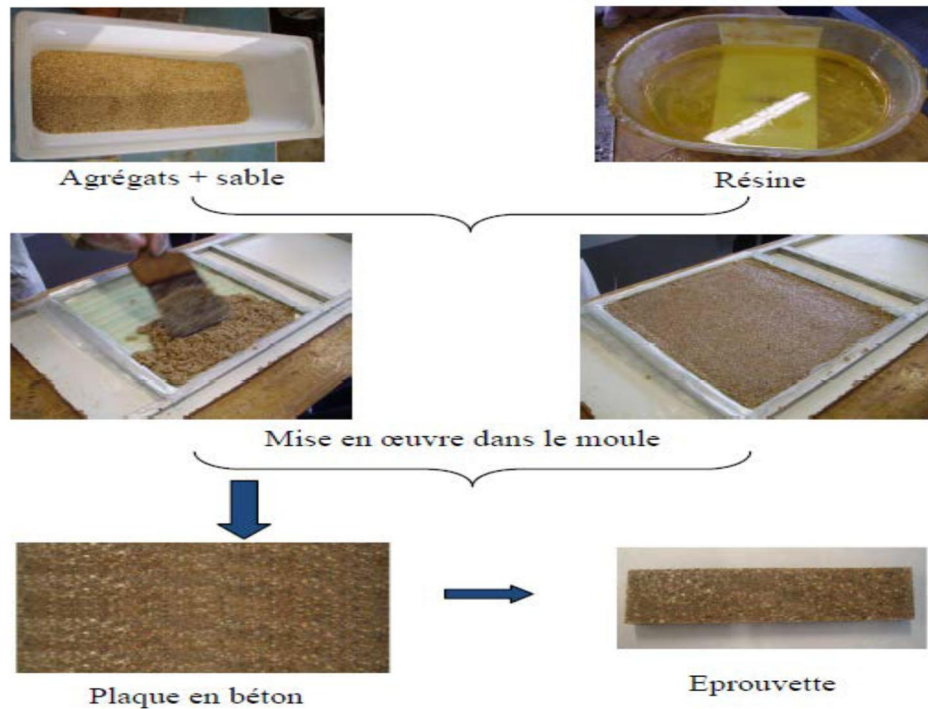


Fig. II.2 : Mise en œuvre d'une éprouvette de béton polymère [07].

II.4. Caractéristiques principales des bétons polymères

II.4.1. Caractéristiques mécaniques d'un béton polymère

Le béton polymère possède les caractéristiques mécaniques suivantes [16]:

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

II.4.2. Caractéristiques physiques d'un béton polymère

Le béton polymère présente les caractéristiques physiques suivantes [16]:

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

II.4.3. Caractéristiques chimiques d'un béton polymère [07]

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

II.4.4. Caractéristiques hydrauliques d'un béton polymère [07]

- 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.5. Les principaux avantages et inconvénients du béton polymère**II.5.1. Les avantages d'un béton polymère [07]**

- 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.5.2. Les inconvénients d'un béton polymère [07]

- 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 oeuvre.

II.6. La comparaison entre un béton polymère et un béton ordinaire

A partir des matériaux qui entre dans la fabrication du béton soit polymère ou ordinaire, ils existent des différences entre eux qui peuvent être résumé dans le Tableau.(II.1) :

Tableau. II.1 : Propriétés mécanique des différents types de béton polymère et béton de ciment.

Type de liant	Polyméthacrylate de méthyle	Polyester	Epoxyde	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	70-210	50-150	50-150	48-64	13-35
Résistance en traction	9-11	8-25	14-25	7-8	1,3-3,5
Résistance en flexion	30-35	15-45	15-50	-	2-8
E (GPa)	35-40	20-40	20-40	-	20-30
V	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.7. Pavés

L'amélioration du cadre de vie et son intégration à l'environnement se sont traduites, pour les sols urbains ou domestiques, par une évolution aussi bien esthétique que fonctionnelle. Le sol n'est plus seulement une surface banalisée sur laquelle on marche ou on roule, c'est aujourd'hui un espace qui doit être beau par son aspect et sa couleur, tout en assurant durabilité et sécurité. Le béton coulé en place, ou manufacturé sous forme de pavés et de dalles, constitue une solution idéale –par la variété de ses possibilités décoratives, techniques et économiques- pour la réalisation de sols très divers, allant du simple aménagement d'un jardin ou d'une terrasse à de vastes réalisations urbaines.

II.7.1.Types de pavés

On distingue trois types de pavés :

- ✓ Les pavés classiques de section carrée, rectangulaire ou hexagonale, généralement comprise entre 100 et 200 cm².
- ✓ Les pavés autobloquants à emboîtement : ils sont de forme telle qu'après mise en place, il y'ait liaison horizontale, dans une ou plusieurs directions, entre les éléments du dallage ainsi constitué.
- ✓ Les pavés autobloquants à emboîtement et épaulement : ils sont de forme telle qu'après mise en place, il y'ait liaison horizontale et verticale entre les éléments du dallage ainsi constitué.

II.7.2. Caractéristiques géométriques

Les pavés classiques usuels ont des sections carrées (10x10 ou 12 x12 cm²) ou rectangulaires (10x20 ou 12x24cm²). Pour les premiers, l'épaisseur est de 5 à 6 cm ; elle est de 6 à 7 cm pour les seconds.

Les pavés autobloquants ont généralement une forme s'inscrivant dans un rectangle dont la longueur est sensiblement le double de la largeur (22x11, 25x12.5cm) ; leur épaisseur est comprise entre 6 et 10 cm.

II.7.3. Aspect et couleur

L'aspect de surface peut être lisse ou rugueux. Les pavés sont bruts de démoulage ou à gravillons apparents. L'emploi d'oxydes métalliques permet d'obtenir une gamme étendue de colorations, du gris au rouge en passant par les bleus ou les verts. La variété des aspects et des colorations, complétées par les différents appareillages –en rangées, en arcs en damier, en chevrons ou en parquets- offrent d'infinies possibilités décoratives s'intégrant aux sites les plus variés.

II.7.4. Les domaines d'emploi

Les pavés et les dalles trouvent leurs applications généralement dans les espaces urbains. Autrement dit, ils ont un vaste champ d'application : allées, places, trottoirs, zones piétonnes. Ils peuvent être personnalisés et clairement délimités en jouant sur l'appareillage et les couleurs des matériaux. Dans les lotissements, les voies de desserte, les aires de stationnement, les espaces de jeux sont traités de façon esthétique et durable par les solutions béton. Les pavés et dalles de toutes natures sont bien adaptés au traitement des installations sportives, des stades, des espaces de plaisance, des piscines.

De nombreuses autres applications existent pour les pavés en béton, parmi lesquelles on peut citer également : Les espaces scolaires, cours, préaux, quais et les abords de ports de plaisance, Les pistes cyclables et les chemins de promenade, Les parkings privés ou collectifs, les aires de surface commerciales, Les sols industriels, Les aménagements de jardins et d'espaces verts privés ou publics, les terrasses.



Fig.II.3. Pavés en béton pour égayer les centres-villes.

II.7.5. Pavé à base de résines thermodurcissables

Les pavés en résine sont dédiés à la circulation routière et/ou piétonne. Ils constituent une nouvelle gamme de produits en provenance de la voirie. Ils représentent un mélange d'agrégats naturels assemblés entre eux avec une résine. Ces matériaux possèdent des caractéristiques antidérapantes et non gélives, c'est-à-dire qu'ils ne se fissurent pas avec le gel. Par ailleurs, ils présentent des coloris diversifiés pour s'associer à tout type d'environnement.[15]

D'une façon nous pouvons dire que les pavés en résine est une alternative performante et innovante au pavé traditionnel qu'il l'imite correctement. [17]

Pour aménager une **cour**, une **allée**, un **contour** de **piscine** ou encore une **terrasse**, on peut choisir les pavés en béton, en pierre ou le pavé décoratif comme les :

- ✓ pavés en résine ;
- ✓ pavé en terre cuite ;
- ✓ pavé lumineux ;
- ✓ pavé en verre ;
- ✓ pavé en bois ;
- ✓ pavé en gazon ;

Les pavés sont des produits industriels définis par la norme NF P98303. Ils font l'objet de la certification, Marque NF « Pavés en béton ».

II.7.6 Zoom sur les pavés autobloquants et leurs caractéristiques

Les pavés autobloquants pour une allée ou une entrée de garage sont une solution parfaite, le pavé comme son nom l'indique est autobloquant, placés les uns à côté des autres emboîtés entre eux.

Les Pavés autobloquants en résine est 'un matériau idéal pour tous les lieux sont particulièrement destinés à la circulation routière et/ou piétonne.

Les coloris sont très variés pour s'adapter à tout type d'environnement : la couleur dépend de l'agrégat qui les compose. Figure(II.3)



Fig.II.3.Aménagement au pavé en résine

II.7.7 Avantages des pavés en résine

Les avantages de ce revêtement de couverture sont nombreux par rapport aux inconvénients, mais voyons de plus près les caractéristiques qu'il détient et sa mise en œuvre.

Sa résistance mécanique à l'usure, au gel et à l'humidité, est assez exceptionnelle et sa mise en place est relativement facile, puisqu'il s'emboîte, un peu comme les pièces d'un puzzle.

II.7.8 Différents supports pour la pose des pavés en résine

Avant la pose, il convient de vérifier que le support destiné à recevoir les pavés en résine est parfaitement stable et en bon état sinon il faudra le remettre en état.

Les supports qui acceptent parfaitement le pavé en résine sont :

- ✓ l'enrobé ;
- ✓ le béton ;

Les pavés en résine peuvent aussi être posés sur d'autres supports, même anciens, sous réserve :

- ✓ d'une remise en état compatible ;
- ✓ de l'application d'un primaire d'accrochage pour renforcer l'adhérence des pavés en résine en particulier pour les bétons poussiéreux.

II.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les bétons polymères et leurs caractéristiques principales. Nous avons en outre présentées leurs principaux avantages et inconvénients. D'après ce qui est mentionné en remarque une excellente adhésivité des polymères qui constituent la matrice d'assemblage des grains minéraux qui permet donc d'obtenir des compounds aux propriétés mécaniques exceptionnelles capables dans une structure de reprendre par eux-mêmes les efforts de traction et de cisaillement. Outre ces résistances mécaniques, les bétons de résine offrent des qualités propres telles que leur inertie chimique (résistances aux intempéries et aux atmosphères corrosives), leur étanchéité parfaite, leur résistance à l'usure et leur isolation thermique et électrique qui permettent de réaliser des éléments de structures répondant à des exigences fonctionnelles diversifiées. Il est judicieux avant de passer à la partie expérimentale et l'interprétation de ses résultats de donner une vue sur les différentes sablières existantes dans la région de Hodna.

Chapitre III

Carrières de sables dans la région du Msila

III. Carrières de sable dans la région du M'sila

III.1. Introduction

De tout temps, l'homme s'est montré attentif à son environnement naturel. Nombre de civilisations anciennes, nombre d'humanistes ont eu conscience de la nécessité de faire corps avec l'environnement. Au cours des millénaires, l'entretien et la protection du milieu vital sont apparus comme indispensables aux hommes d'esprit, de grande spiritualité, conscients de leur environnement ou simplement sensibles aux beautés de la nature. Le sable des dunes fait partie des substances minérales non métalliques destinées, notamment à la construction, à l'empierrement, la viabilisation et à l'amendement des terres, c'est un matériau qui est de plus en plus utilisé dans le secteur de l'habitat et de l'industrie, les besoins vont augmenter sans cesse, au rythme de développement du secteur de l'habitat et de l'industrie.

Ce dernier participe grandement à l'alimentation de la wilaya de M'sila et des wilayas limitrophes, très demandé surtout pour le secteur d'urbanisme et des travaux publics. Dans ce chapitre un panorama des différentes sablières est présenté, les lois qui les régissent est également envisagée. La cartographie géologique des dunes au niveau de la wilaya de M'sila est donnée. La liste des différentes entreprises actuelles en activité spécialisé pour l'extraction du sable délivré par les autorités de la direction de l'industrie et des mines est divulguée.

III.2. Cadre légal

Comme autres activités, les sablières sont considérées comme une installation classée dont la superficie exploitée est :

1. Supérieure à 01hectare, soumise à Autorisation du Wali de M'sila et tenue de présenter une étude d'Impact sur l'Environnement (EIE).
2. Inférieure ou égale à 1 hectare, soumise à Autorisation du président de l'APC est tenue de présenter une notice d'impact sur l'environnement associée d'un rapport sur les produits dangereux.[18]

Les textes réglementaires qui régissent cette activité sont nombreux, nous avons choisi ceux les plus actuels.

- Loi 85-05 du 16 février 1985 relative à la protection et à la promotion de la santé, modifiée et complétée.
- Loi no 90-29 du 1 décembre 1990, modifié et complété relative à l'aménagement et de l'urbanisme.
- Loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.

- Loi no 01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire.
- Loi no 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- Loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable à la prévention des risques majeurs.
- Loi no 08-03 du 23 janvier 2008 modifiant et complétant la loi no 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau.

D'après la carte géologique d'Algérie illustrant la géologie de Hodna figure.(III.1) et ou chott el Hodna présente :

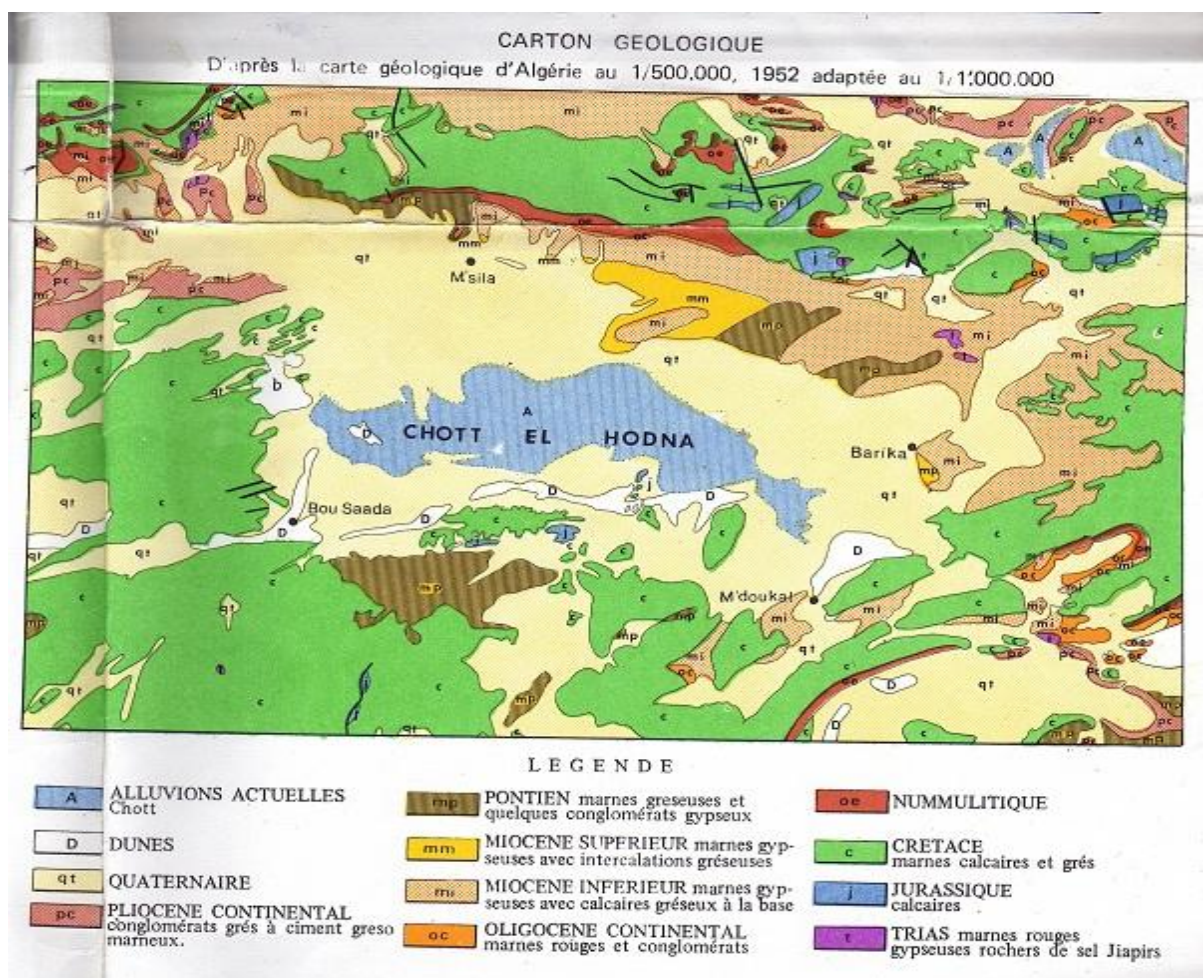


Fig.III.1.La Géologie de Hodna (au 1/500.000, 1952 adaptée)

- Le quaternaire ; présenté par d'anciennes alluvions et des sédiments fins.
- Le tertiaire, comporte l'Eocène, l'Oligocène continental et le Miocène. Le premier est caractérisé par des grès rouges, des argiles variées, des calcaires et des conglomérats. Le second caractérisé par des conglomérats, des grès fins friables, des marnes

rougeâtres et le dernier est constitué d'une alternance de marnes gypseuse avec des grès et calcaire.

- Le secondaire: comporte le Trias, Jurassique et le Crétacé. Le Trias présente une lithologie composée de marnes gypseuse et de sels, le Jurassique formé par le calcaire et le Crétacé formé par des bancs de marnes et de grès avec intercalation

III.3. Les diverses natures du sable.

Le sable s'obtient soit naturellement (désagrégation naturelle de roches) soit artificiellement (désagrégation artificielle ou concassage de roches). Les sables naturels et les sables artificiels ont tous deux, des natures bien spécifiques.

➤ **Sable artificiel**

Le sable artificiel étant issue du concassage d'une ou de plusieurs roches spécifiques, alors sa nature est la même que celle de la roche désagrégée.

➤ **Sable naturel**

Il est le résultat d'une érosion (processus physique et chimique naturel par lequel le sol et les roches de la croûte terrestre sont continuellement soumis à une abrasion et à une corrosion) et d'une sédimentation (dépôt de sédiment) de différentes roches suivies d'un transport fluvial et parfois éolien [22]. La nature de ce type de sable est déterminée par son degré de propreté. De ce fait connaître le degré de propreté d'un sable naturel, revient donc à définir la nature de ce dernier. Le degré de propreté d'un sable naturel se détermine grâce à un essai de laboratoire nommé « équivalent de sable ». En fonction des valeurs obtenues lors de cet essai il est possible de dire si le sable est :

- ✓ Argileux
- ✓ Légèrement argileux
- ✓ Propre (à faible pourcentage de fines argileuses)
- ✓ Très propre (absence quasi-totale de fines argileuses)

III.4. Les différentes classes de sable

La classe d'un sable est fonction de la taille de ses grains (granulométrie). Ils existent trois types de sable à savoir le sable grossier, le sable moyen et le sable fin. [22]

➤ **Sable grossier**

Ce type de sable a des grains d'une taille comprise entre 5mm et 25mm. Ils peuvent porter l'appellation de gravillon. Ce sable, présente une faible teneur de particule de la fraction 0,080- 2mm.

➤ **Sable moyen**

C'est un sable dont les grains ont une taille comprise entre 2,50mm et 5mm.

➤ **Sable fin**

Il est question de sable fin, lorsque les particules qui le constituent, sont inférieures à 2,5mm.

III.5. Le cordon dunaire

Le cordon dunaire est caractérisé par une fraction sédimentaire très riche en sable fin à très fin facilement remobilisable : plus de 90 μ m de diamètre. Cependant les dunes qui sont généralement des corps meubles et très pauvres en végétation constituent un domaine fragile susceptible de favoriser l'apparition et l'extension des processus morphogénétique des formations sableuses.

Le cordon dunaire dans la wilaya de M'sila couvre une superficie de 22500ha. Il s'étend de l'Est en Ouest sur une longueur d'environ 200 kilomètres. Il débute a partir de zahrez chergui, traverse la plaine de Medjedel, la plaine d'Eddis et celle de Bou Saâda pour aboutir enfin au sud du chott El Hodna.

Les villes et les villages situés sur le cordon dunaire et à proximité sont sérieusement menacés. L'exemple de la ville de Bou-Saâda et le village de Djebel Thameur représentent un exemple illustrant cette menace.

Le vent, en tant que paramètre générateur des formes, soulève les particules de sable et les redistribue le long de sa trajectoire sur des sites d'obstacles. Cette distribution anarchique et désorganisée crée des perturbations à l'échelle régionale et favorise les accumulations sableuses de plus en plus importantes.

Parmi les sablières existants au niveau de Msila, on trouve les sablières de boussaada ,M'cif, SidiAmeur, El khoubana, Maarif...etc Figure(III.2).



Fig.III.2.Quelques photos sur la sablière d'erg siouf de Khoubana.

Selon la direction de l'industrie et des mines de la wilaya de M'sila les sablières qui sont en activité sont donnée par le tableau III.1 ci-dessous.[19]

Tableau. III.1. Différents sablières en activité au niveau de M'sila

Titulaire	Substance	Lieu dit	Commune	Sup (Ha)	Obs
Sarl grande sablière	Sable	Bled sebaa	Bousaada	21	En activité
Sarl GA Lil Hassa		Erg siouf	khoubana	24	En activité
EPE ORGM(Ex Eurl GOLDIM)		Roumana	Bousaada	137,71	En activité
EURL Boutaleb		Nekbet el kebch	Bousaada	20	En activité
SARL ConcassabMaiter		Djelida	Bousaada	86	En activité
EURL MarmaletteMaarif		Sidi Ameer 4	Sidi Ameer	5	En activité
EURL Brimatec		Erg siouf	Khoubana	26	En activité
EURL Bouzag'za		DhayetDhouihba	Sidi Ameer	50	En activité
EURL Benyahya		DhayetDhouihba	Sidi Ameer	36	En activité

III.6.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une introduction sur les sablières et les différentes réglementations qui les régissent. Nous avons en outre présentées le cordon dunaire qui traverse la plaine de M'djedel, la plaine d'Eddis et celle de Bou Saâda pour aboutir enfin au sud du chott El Hodna, sans oublier de citer les différentes sablières qui son en activité au niveau de la wilaya de M'sila. Parmi de ces sablières on a envisagé d'utiliser trois types des sables qui font l'objet duquatrième chapitre (méthodes et techniques expérimentales).

Chapitre IV

Matériaux et techniques expérimentales

IV. Matériaux et techniques expérimentales

IV.1. Introduction

La partie expérimentale présente en premier lieu un aperçu sur les matériaux étudiés et les différentes étapes de leur mise en œuvre pour la détermination de leurs propriétés physiques et mécaniques. Les techniques d'essais ainsi que les moyens d'analyses physico-chimiques et mécaniques trouvent leurs applications afin d'aboutir à des résultats performants.

En présente les caractéristiques et les essais de la résine orthophtalique récupéré ainsi que les caractéristiques des matériaux utilisés pour l'élaboration de différents bétons polymères. Ce béton polymère ainsi élaboré sous forme d'éprouvettes 30*60*280 va être soumis à un essai mécaniques (essai de rupture). Les essais de rupture ont été effectués au niveau de l'usine Maghreb-pipe de M'sila. On a élaboré également un pavé autobloquant sur lequel on a appliqué les essais de flexion trois points, et de compression, exécutés au niveau de laboratoire de l'université de M'sila.

Les matériaux entrant dans ce travail sont :

- ✓ La résine Orthophtalique récupérée.
- ✓ Les différents types de sable choisie
 - sable de Ain el s'baa (A) région sidi Ammeur,
 - sable oued Maiter (M) région Boussaada,
 - sable el Khalwa (K) region Maadid,
 - sable de silice d'usine (S)) Maghreb pipe

IV.2. Caractéristiques principales pour chaque matériau utilisé

IV.2.1. Résine Orthophtalique

Résine polyester orthophtalique est une résine polyester thixotropique, moyennement réactive à usage général, avec de bonnes propriétés mécaniques. Cette résine contient des additifs spéciaux qui améliorent considérablement l'environnement de travail pendant et après application, grâce à la réduction considérable du taux de styrène.[20]

Les résines orthophtaliques sont les résines de grande commodité, peu chères et sont synthétisées à partir d'anhydrides orthophtaliques et maléiques. Cependant, ces résines ont des résistances thermiques et chimiques limitées. [21]

Au débutons a utilisé la résine polymère orthophtalique récupéré, dont les caractéristiques son les suivantes :

a) Test de réactivité (temps de gélification)

Le test de réactivité consiste à déterminer le temps de gel de la résine. Le taux de l'accélérateur et du catalyseur est choisi de manière à avoir un temps de gel suffisant pour la préparation et le moulage des éprouvettes (Figure.IV.1)(a).

Le test s'effectue en mélangeant (100g) de résine avec (0,3g) d'accélérateur (promoteurs), puis on ajoute au mélange (1.3g) de catalyseur. Les variables température et temps sont simultanément mesurés. La Figure(IV.1)(b) représente le cycle de polymérisation de la résine récupéré.

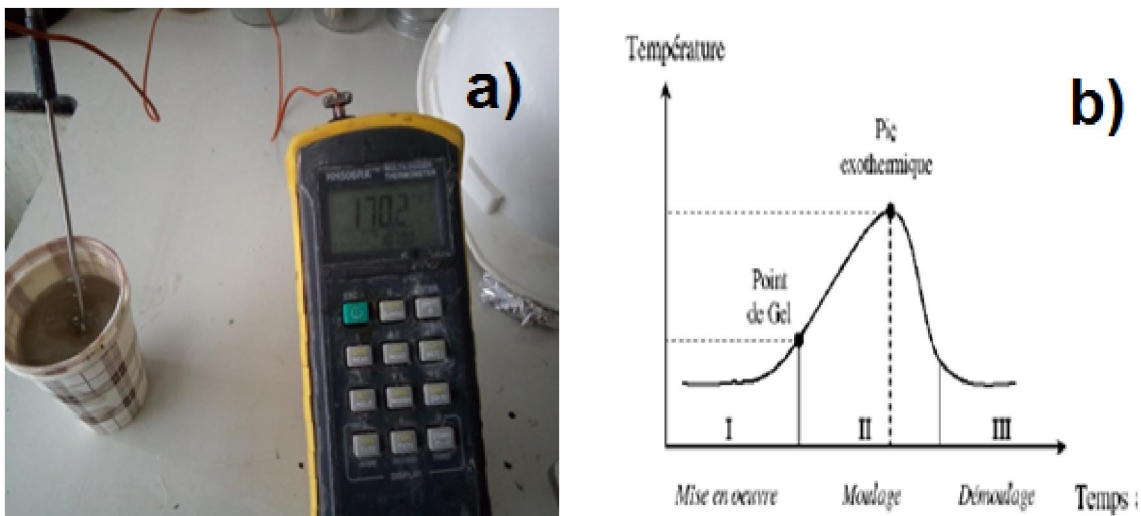


Fig.IV.1. Teste de réactivité de la résine

(a).Test de réactivité de la résine. (b).Cycle de polymérisation de résine

Le test de la réactivité de la résine orthophtalique récupéré a été effectué à une température ambiante de 15.5°C ayant un dosage de catalyseur 0,9% et 0,15% de cobalte a conduit aux résultats indiqué par le tableau (IV.1).

Tableau.IV.1.Test de réactivité (temps de gélification)

Temps de gel(min)	Température de gel	Temps de pic(min)	Température de pic
23,33"	22,9°C	40,48"	170,2°C

b) Test de traction sur la résine récupéré orthophtalique

Afin d'étudier les caractéristiques à la traction de la résine récupérée, nous avons fabriqué un moule en bois pour élaborer des éprouvettes de dimensions 4x25x250mm³ voir Figure.IV.2.(a). La résine récupérée est versée dans le moule comme indiqué par la Figure.IV.2).(b). Après polymérisation les éprouvettes démoulée comme indiqué par la Figure(IV.2).(c).

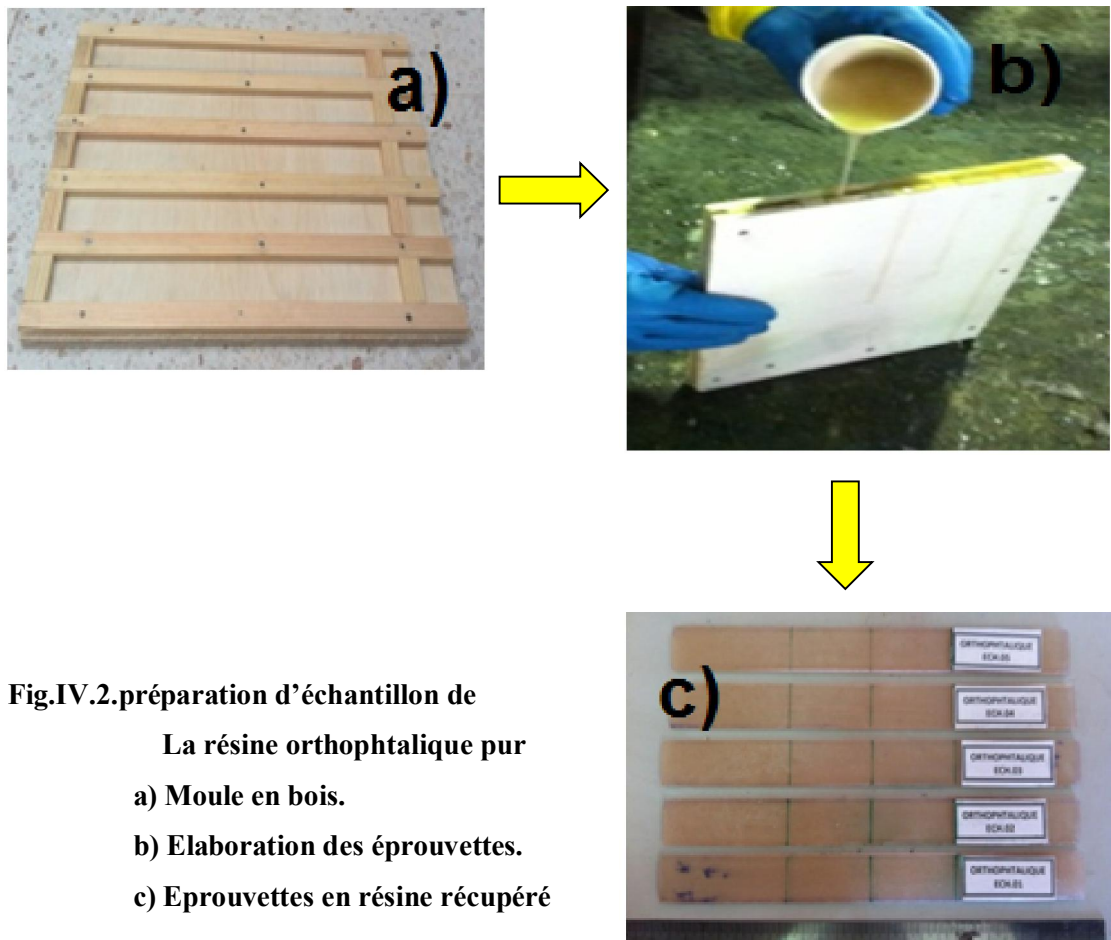


Fig.IV.2.préparation d'échantillon de

La résine orthophtalique pur

a) Moule en bois.

b) Elaboration des éprouvettes.

c) Eprouvettes en résine récupéré

- **Caractéristiques techniques de résine orthophtalique**

- ✓ Bonne résistance mécanique
- ✓ Bonne résistance à l'impact
- ✓ Bonne acceptation de toutes sortes de charges inertes
- ✓ Le coût Raisonnable
- ✓ Transparence
- ✓ Bonnes résistances mécaniques Rapport Résine / catalyseur (de 1 à 2% quelle que soit la résine polyester utilisée).

- **Avantages et inconvénients de la résine polyester**

La résine polyester présente les avantages et les inconvénients qui sont mentionnés par le Tableau.(IV.2) ci-dessous.

Tableau.IV.2.Avantages et inconvénients de la résine polyester

Avantages	Inconvénients
Emploi aisé	odeur assez prenante (ressemble au gaz d'éclairage)
bonne tenue mécanique	allergisante (pour certaines formulations)
prix abordable	vieillesse incertain sous conditions particulières(U.V., chocs thermiques, travail en efforts alternés)
bonne tenue aux agents chimiques	mauvaise résistance à la combustion (pour certaines formulations),
Bonne rigidité	retrait important lors de la polymérisation
Etuvage non indispensable	dosages délicats

IV.2.2. Sables

Cette étude étant essentiellement portée sur le sable, nous avons effectué les travaux sur trois types de sables ayant des provenances géographiques et des caractéristiques différentes. Ces sables proviennent de :

- Ain El Sbaa (Sidi Ameer)
- Maiter (Boussaada)
- El Khalwa (Maadid).

Après le lavage des trois types des sables sans lui a effectué une opération de séchage, dans un but de réduire et stabiliser l'humidité. Nous avons élaboré plusieurs tests sur sable on cite :

- Analyse minéralogique
- Analyse granulométrique
- Degré d'absorption
- Densité.

a) Origine et analyse des sables

• Sable Ain El Sbaa

Ce sable est un sable très fin qui provient des dunes de sable, du Oued de Ain el Sbaa commune de Tamssa Daira de Sidi Ameer dans la région sud-ouest du M'sila. Il est noté que ce sable qu'on a étiquetée A a une classe granulaire (200 μ m et 500 μ m) (Figure IV.3). Avant son analyse il est vivement conseillé de le laver dans un but de réduire au maximum l'argile et les impuretés entachées à ce dernier. L'une des remarques qu'on a constatée est qu'il est caractérisé par sa finesse.



Fig.IV.3.Sable Ain El Sbaa (A)

- **Sable Maiter**

Ce sable est très fin aussi. Il provient des dunes, de Oued Maiter commune de Bousaada D'aira de Bousaada dans la région du sud du M'sila. Il est étiqueté M (0/0,5) Figure(IV.4). Cependant l'analyse ne peut être effectuée qu'après le lavage. Ce sable est caractérisé par une granulométrie entre $200\mu\text{m}$ et $500\mu\text{m}$, En remarque que le sable de Maiter est un sable très fin.

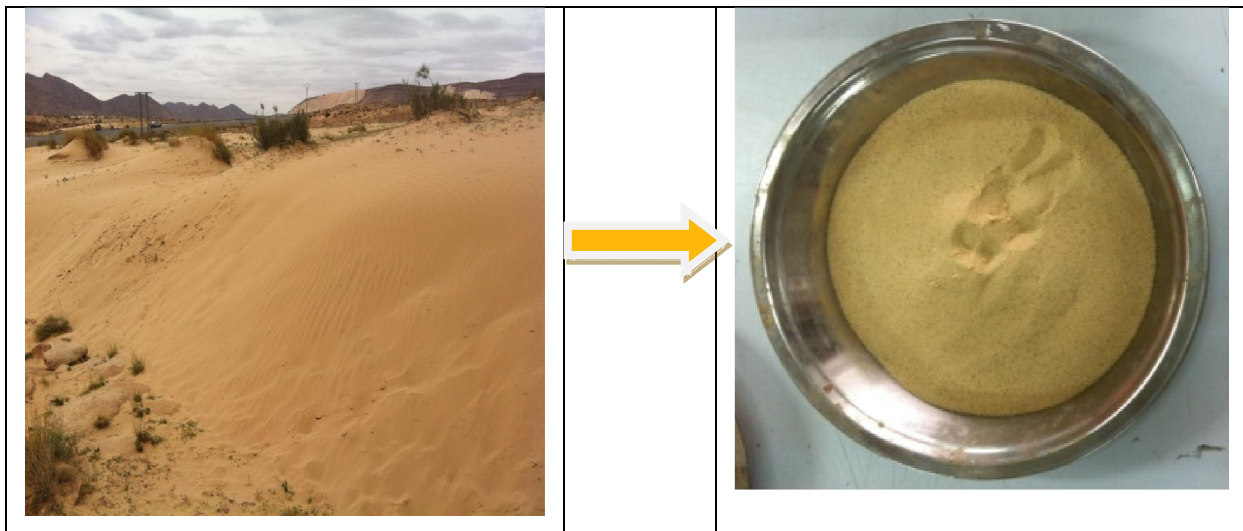


Fig.IV.4.Sable Maiter (M)

- **Sable El Khalwa**

Ce sable est un sable fin qui provient du Oued El Khalwa commune de Maadide D'aira de Oueled Derradj dans la région du nord du M'sila . Il est étiqueté (K) (0/0,5) est obtenu à partir de traitement par lavage, et caractérisé par une granulométrie entre $200\mu\text{m}$ et $500\mu\text{m}$, En remarque que le sable el khalwa est un sable fin. (Figure.IV.5)



Fig.IV.5.Sable El Khalwa (K)

b) Analyse minéralogique des trois sables

Les essais chimiques ont été effectués sur les trois sables au niveau du laboratoire de LAFARGE HAMAME DALAA MSILA établie en avril 2019. En utilisant un appareillage de diffractométrie adéquat basé principalement autour de deux dispositifs XRF S8 TIGER comme montré par la Figure (IV.6).



Fig.IV.6.Appareil de diffractométrie DRX (XRF S8 TIGER)

IV.3. Elaboration des différents bétons Polymères

Pour ce faire, nous avons utilisé du matériel de laboratoire. On a choisi la technique de moulage par contact, Le principe de ce procédé est de réaliser les différents bétons polymère manuellement à température ambiante.

IV.3.1. Choix des éprouvettes

Dans un but d'étudier la rupture, pour chaque type de sable, on a utilisé pour la confection des échantillons des moules de dimensions (30 x 60 x 280) mm³ (Figure. IV.7)(a). Ce moule est conçu spécialement pour l'élaboration de ce type d'éprouvette. Afin de caractériser les différents bétons polymère en compression sur pavé, nous avons utilisé un moule métallique sous la forme de pavé H autobloquant (Figure. IV.7)(b). Il est intéressant de signaler qu'ont élaboré trois éprouvettes pour chaque type de sable. Le test de compression, est effectué après le test de flexion trois points sur les coupes résiduelles.

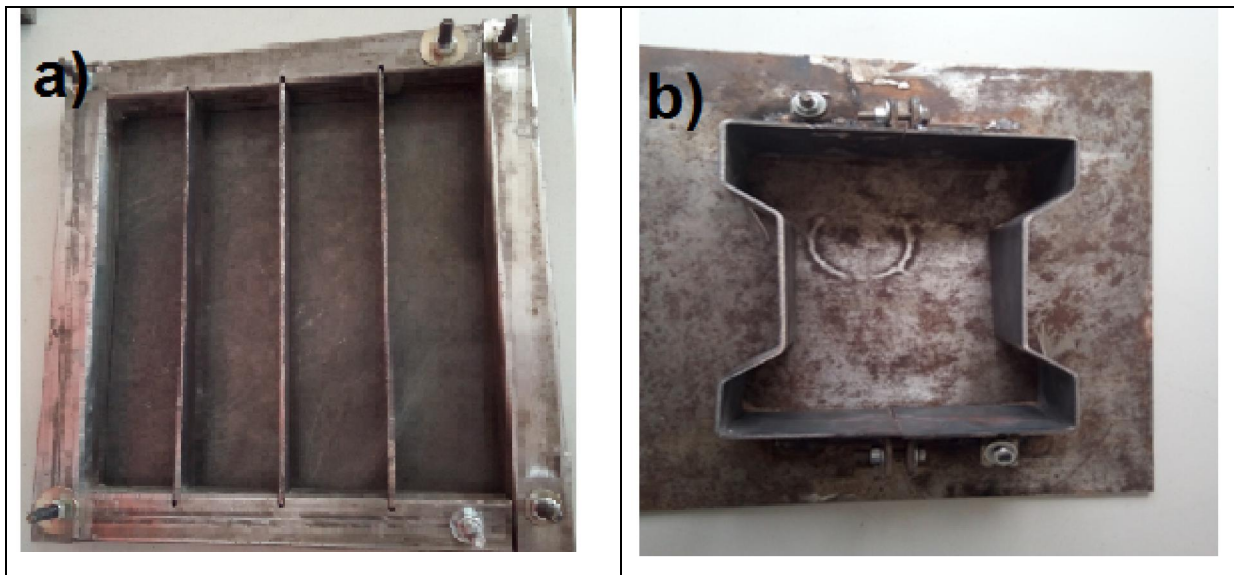


Fig. IV.7. Choix des éprouvettes

(a) Moule pour éprouvettes fissurés.(b) Moule de pavé

IV.3.2. Elaboration des éprouvettes en béton polymères

Dans notre travail on a choisi la technique de moulage par contact, Le principe de ce procédé est de réaliser les différents bétons polymère manuellement à température ambiante. Pour chaque type de sable les proportions des matériaux entrant dans l'élaboration des échantillons sont :

- 70% de sable de la masse totale.
- 30% de résine orthophtalique récupéré de la masse totale.

- **Technique de préparation.**

On verse d'abord la quantité de sable dans un bac en plastique, puis on ajoute simultanément et progressivement la résine récupérée (catalyseur 0,9% et 0,15% de cobalte) et on mélange bien pour assurer l'homogénéité de béton.

Même chose pour le béton polymère sur pavé, on mélange la résine récupérée avec chaque type de sable.

Chaque fois que nous remarquons l'homogénéité du béton on verse le mélange dans une moule métallique, ensuite ce mélange est pressé par un cylindre en bois. On doit faire le moulage par contact pour obtenir des éprouvettes uniformes (Fig. IV.8).

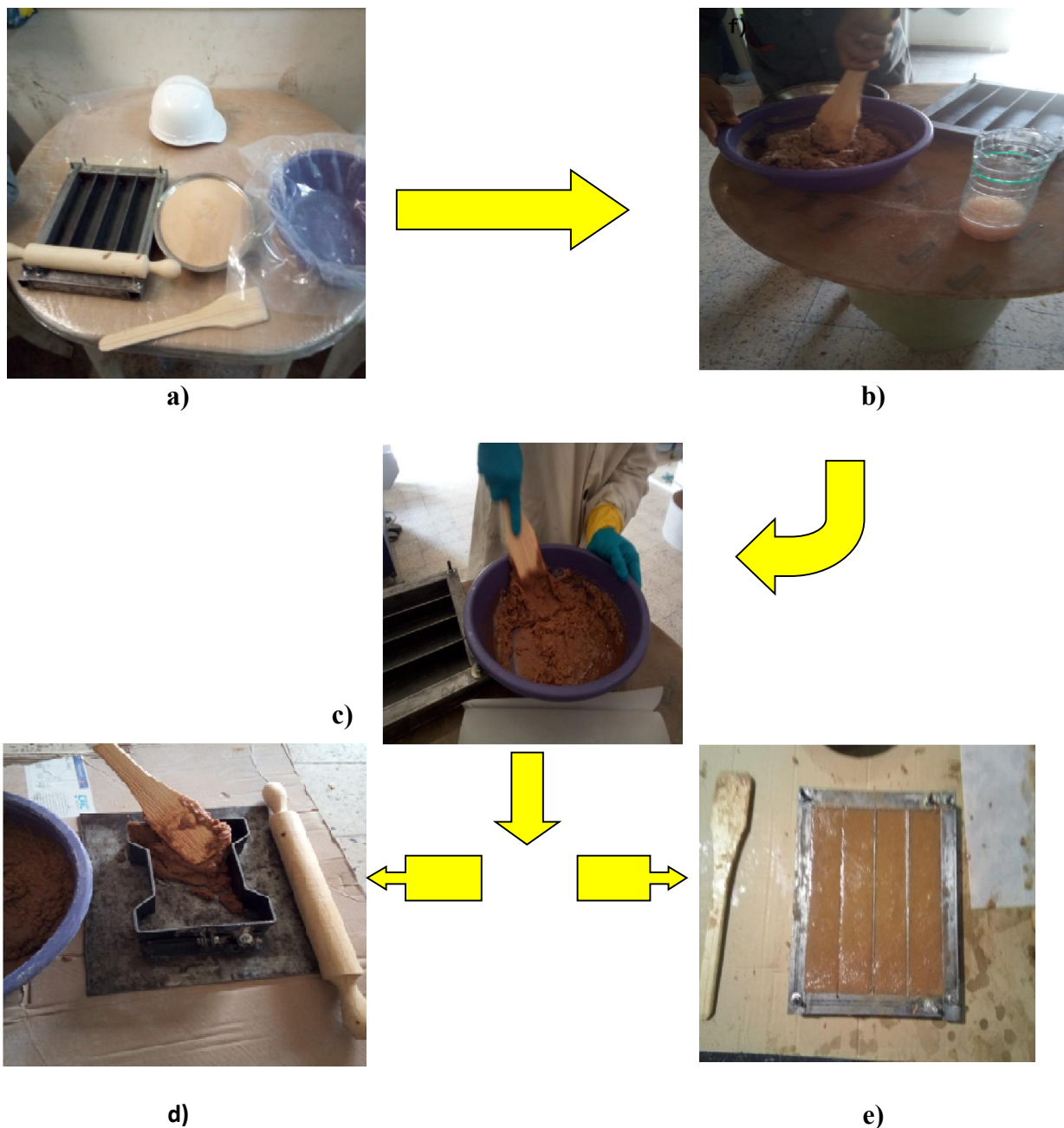


Fig. IV.8: Etapes de moulage de béton polymère par contact.

IV.3.3. Le traitement thermique du béton polymère élaboré

Le temps de durcissement du béton polymère est entre 3 à 4 heures en fonction de pourcentage de durcisseur ajoutée à la résine. Les éprouvettes sont ensuite démoulées. Avant de procéder aux tests, on laisse le béton pendant 7 jours, ou on le met dans un four à une température de 70 ° C durant 24 heures. Ceci, afin d'assurer une polymérisation totale du mélange. Figure(IV.9)

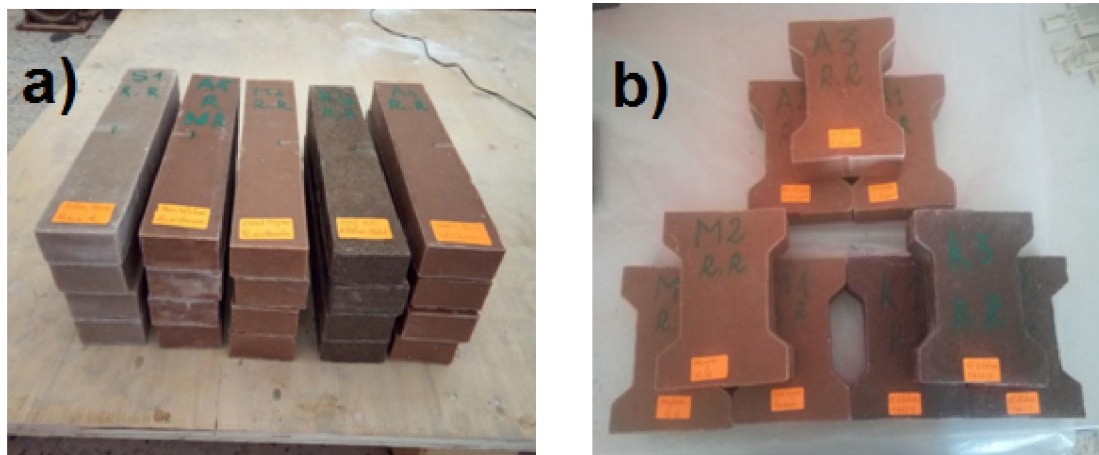


Fig.IV.(9). Eprouvettes en béton polymère
a) Eprouvettes fissurés en BP , (b).Pavé en BP

V.4. Essais mécaniques appliqués sur le béton polymère

IV.4.1. Essai de traction sur la résine pure récupérée

L'élaboration des éprouvettes de résine récupérée a été effectuée par un coulée dans une moule en bois pour le test de traction, après conditionnement à température ambiante pendant 24 h, les éprouvettes sont démoulées et subissent par la suite à une post-cuisson à 40°C pendant 16 heures.(FigureIV.10).



Fig.IV.10. Eprouvettes de la résine orthophthalique récupérée pour l'essai de traction

Les essais de traction sont effectués avec une machine (YL Universal Testing Machines /20KN) au niveau de Maghreb Pipe, (FigureIV.11). La cellule de charge (dynamomètre) est reliée à une chaîne d'acquisition qui permet l'enregistrement simultané du temps, du déplacement, de la charge et la déformation. Les informations sont stockées et traitées par ordinateur à l'aide du logiciel Excel. Les éprouvettes de traction sont testées avec une vitesse 2mm/min.



Fig.IV.11.Machine d'essais universelle électromécanique de marque YLE 20 KN

Les résultats des tests en traction sur la résine pure récupérée indiquent le comportement mécanique des éprouvette. La Figure.IV.12 représente le principe de sollicitation de l'éprouvette en traction simple.



Fig.IV.12 Essai de traction sur la résine récupéré

IV.4.2. Essai de la rupture

Cet essai permet de déterminer le paramètre de l'intensité de contrainte K_I et la propagation des fissures. Ces essais sont effectués sur des éprouvettes en BP de $(30 \times 60 \times 280) \text{ mm}^3$ (Figure.IV.13) avec une vitesse constante de 0,5 mm/min, de la machine. La distance entre les appuis est de 220 mm. On a utilisé la machine (YL Universal Testing Machines /20KN) au niveau de l'usine Maghreb Pipe.

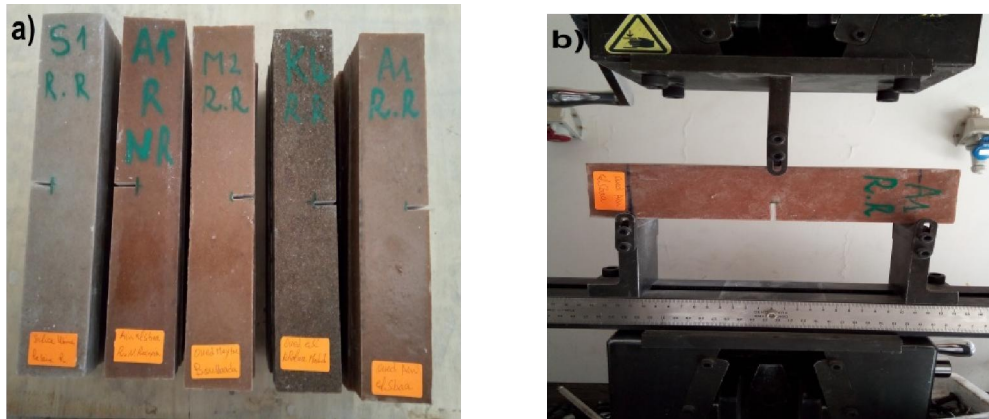


Fig.IV.13. a) Eprouvetttes entaillés fissurés pour l'essai de rupture, b) Appareil d'UTM.

- **Paramètre d'étude**

La relation de K_R facteur d'intensité de contrainte en $[\text{MPa} \cdot \sqrt{m}]$ [07] :

$$K_R = \sigma_R \cdot Y \cdot \sqrt{a} \quad (1)$$

Et l'expression de la contrainte à rupture du matériau σ_R [MPa] [21] :

$$\sigma_R = \frac{3}{2} \cdot P \cdot \frac{L-L'}{B \cdot W^2} \quad (2)$$

- B, W sont respectivement l'épaisseur et la profondeur de l'éprouvette.
- L, L' sont respectivement les distances entre appuis inférieurs et supérieur en flexion trois points ($L' = 0$).

D'où le facteur d'intensité de contrainte se calcule par :

$$K_R = \frac{3}{2} \cdot P \cdot \frac{L - \sqrt{a}}{B \cdot W^2} \cdot Y \quad (3)$$

Le facteur Y est induit pour pallier au problème de la taille finie des éprouvettes. Il est dépendant du rapport (a/W).

IV.4.3. Essai de compression

Cet essai consiste à soumettre une éprouvette en BP de (100×60×30 mm³), 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 G.civil (Figure. IV.14). Pour déterminer la résistance à la compression et pour contrôler la qualité de béton.

- **Paramètre d'étude**

La résistance à la compression définie par la relation suivante :

$$R_c = \frac{F}{S} \quad (4)$$

- **F** : la force maximale en (N).
- **S** : la section de l'éprouvette en (mm²).



Fig.IV.14 : Essai de compression sur des éprouvettes lissées en BP.

IV.5. Conclusion

En a montré dans ce chapitre les choix des matériaux utilisées, et leurs caractéristiques ainsi que l'élaboration et les techniques de préparation des éprouvettes, De plus les méthodes de caractérisations (traction, compression et rupture) sont données en détaille.

Chapitre V

Résultats et discussion

V. Résultats et Discussion

Dans ce chapitre, nous présentons une synthèse des essais mécaniques réalisés sur le béton polymère avec les différents types des sables, ainsi la résine récupéré. Nous débuterons par une analyse de traction de la résine pure récupérée puis une comparaison des facteurs d'intensité de contraintes des différents Bétons Polymères fissurés en suite l'analyse de la résistance à la compression des Bétons Polymères testés.

V.1. Caractéristiques des résines orthophtalique

Les caractéristiques de la résine orthophtalique sont indiquées par le Tab.(V.1) suivant :

Tableau.V.1.Caractéristique de la résine orthophtalique

caractéristiques	Unité	valeur	tolérance
Viscosité à 25 ⁰ C	gr/cu.cm	1,16	± 0,02
Temps de gel	min	14	± 3
Temps de pic de gel	min	7	± 3
Température de pic	⁰ C	185	± 15
Résistance à la traction	MPa	72	± 10
Résistance à la flexion	MPa	90	± 10
Absorption d'eau	%poids	0,45	/

Le tableau V.2 Représente les compositions chimiques moyennes des trois sables étudié (Sable Ain El S'baa, Sable Maiter, Sable El Khalwa)

V.2. Caractéristiques et essais sur sable

V.2.1 Analyse minéralogique des trois sables

Les diffractogrammes révèlent des compositions minéralogiques très voisines mais dont les proportions sont assez variables, compte tenu de l'intensité des pics, les principales phases minérales bien exprimées dans ces sables sont : Le quartz, la kaolinite, l'illite, les calcites...etc, et quelques minéraux indéterminés. (Figure V.1).

Tableau.V.2. Minéraux identifiés par diffractométrie

Composants	Sable Ain Sbaa	Sable Maiter	Sable El Khalwa
R WP %	10,5	9,93	6,12
Calcite %	1,28	1,04	86,53
Dolomite %	0,06	0,08	2,74
Quartz %	96,00	95,86	9,25
Pyrite %	0	0	0,07
Illite %	0,76	0,83	0,28
Chlorite %	0	0	0,25
Kaolinite %	0,58	0,75	0,88
Albite %	1,32	1,44	0
Co2-XRD	0,59	0,49	39,35

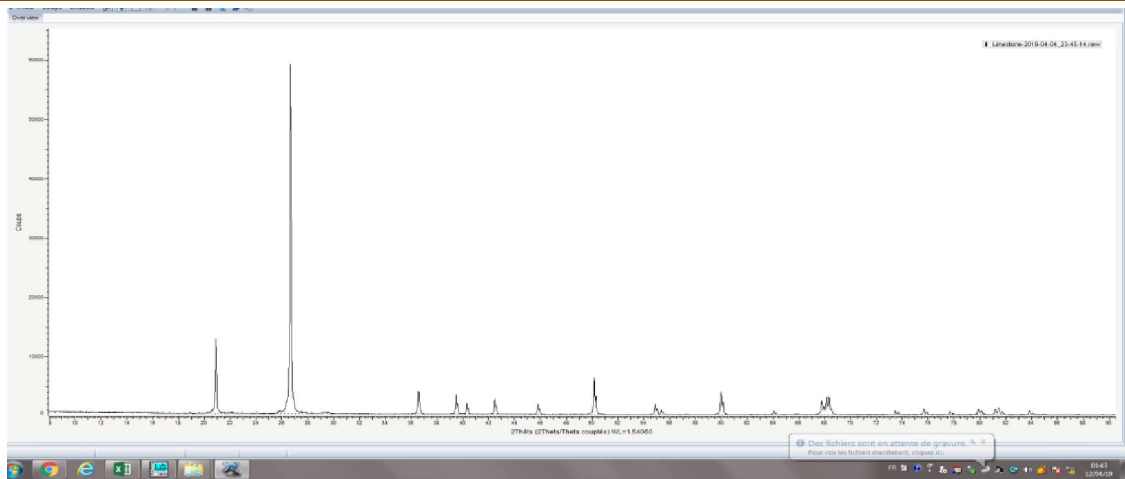
L'analyse a montré que les sables de Maiter et Ain El Sbaa contiennent un taux très élevé de quartz par contre le sable d'El Khalwa a un taux prépondérant de calcite. L'analyse comparative déduite à partir des résultats obtenus confirme le bon tenu des deux sables de Maiter et Ain El Sbaa.

V.2.2. Analyse granulométrique des trois sables

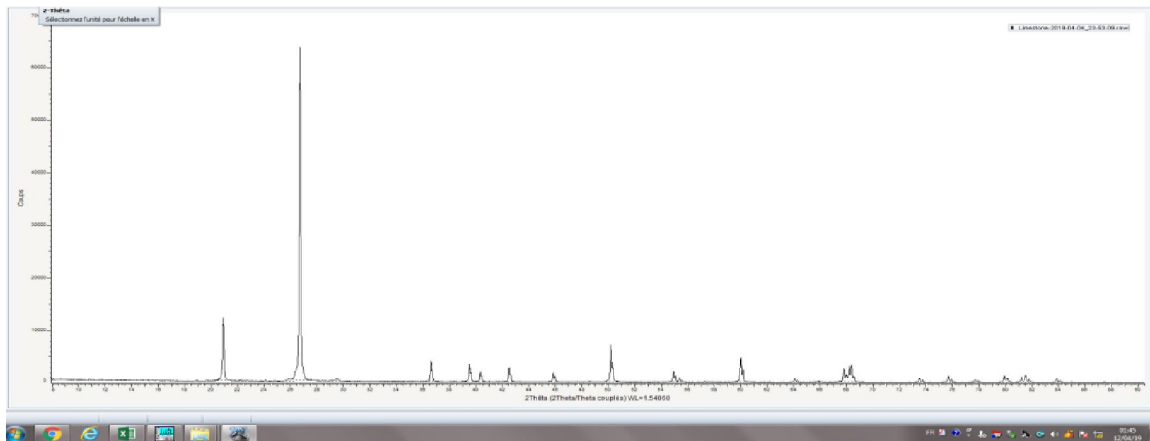
L'analyse granulométrique des trois sables ont été fait au laboratoire de l'université de Msila.

- **Analyse granulométrique du sable Ain El Sbaa**

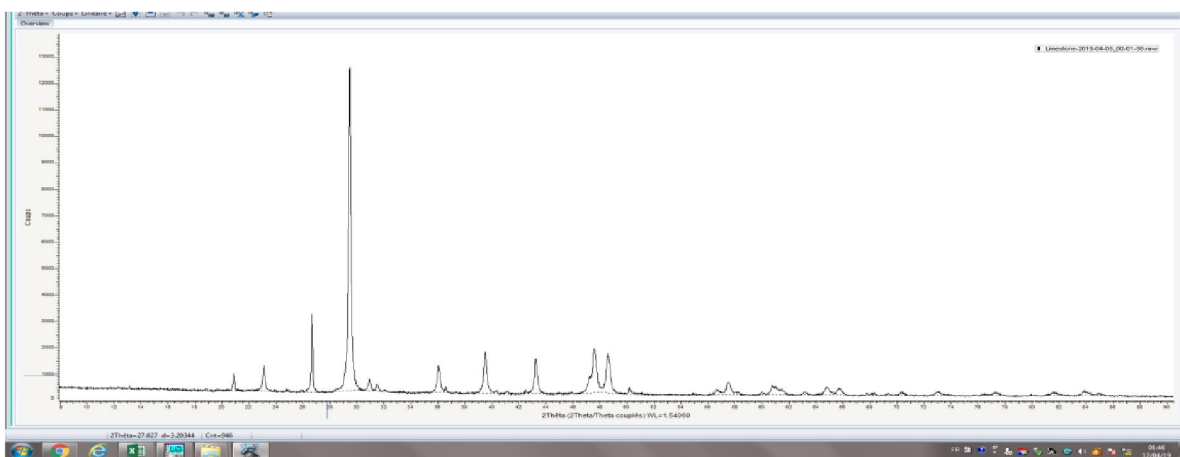
Ce sable est un sable très fin qui provient des dunes de sable, du Oued de Ain El Sbaa commune de Tamssa Daira de Sidi Aneur dans la région sud-ouest du M'sila. Il est noté que ce sable qu'on a étiquetée (A) a une classe granulaire (200 μ m et 500 μ m). Avant son analyse il est vivement conseillé de le laver dans un but de réduire au maximum l'argile et les impuretés entachées à ce dernier. L'une des remarques qu'on a constatée est qu'il est caractérisé par sa finesse. Les caractéristiques de ce sable sont portées dans le Tableau (V.3).



a)



b)



c)

Fig.V.1. La composition minéralogique du trois types du sable
 a) Sable de Maiter. b) Sable de Ain el sbaa c) Sable d'el khalwa

Il est à noter que l'analyse a été effectuée sur un échantillon de 2600g de sable. Les résultats sont présentés par la Figure(V.2).

- **Analyse granulométrique du sable Maiter**

Ce sable est très fin aussi. Il provient des dunes, de Oued Maiter commune de Bousaada Daira de Bousaada dans la région du sud du M'sila. Il est étiqueté (M) (0/0,5). Cependant l'analyse ne peut être effectuée qu'après le lavage. Ce sable est caractérisé par une granulométrie entre 200 μ m et 500 μ m, En remarque que le sable de Maiter est un sable très fin.

L'analyse granulométrique du sable du Maiter est présenté par la courbe ci-dessous .Figure(V.3).

- **Analyse granulométrique du sable El Khalwa**

Ce sable est un sable fin qui provient du Oued El Khalwa commune de Maadide Daira de Oueled Derradj dans la région du nord du M'sila . Il est étiqueté (K) (0/0,5) est obtenu à partir de traitement par lavage, et caractérisé par une granulométrie entre 200 μ m et 500 μ m, En remarque que le sable El Khalwa est un sable fin.

L'analyse granulométrique du sable d'El Khalwa donne la courbe suivante Figure(V.4).

La superpositions des courbes de l'analyse granulométrique des trois sables son donnée par la Figure. V.5.

- **Caractéristiques des trois sables**

Les caractéristiques de ces trois sables sont portées dans le Tableau (V.3).

Tableau V.3.Caractéristiques des Sables utilisé

Paramètres	Valeurs S	Valeurs M	Valeurs K
Classe granulaire	0/0,5	0/0,5	0/0,5
Masse volumique spécifique	2,5t/m ³	2,5t/m ³	2,5t/m ³
Densité spécifique	2,5	2,5	2,5
Module de finesse	(<i>M_{fs}</i>) 1,07	(<i>M_{fs}</i>) 1,17	(<i>M_{fs}</i>) 1,8
Degré d'absorption	0,138 %	0,140 %	0,373 %

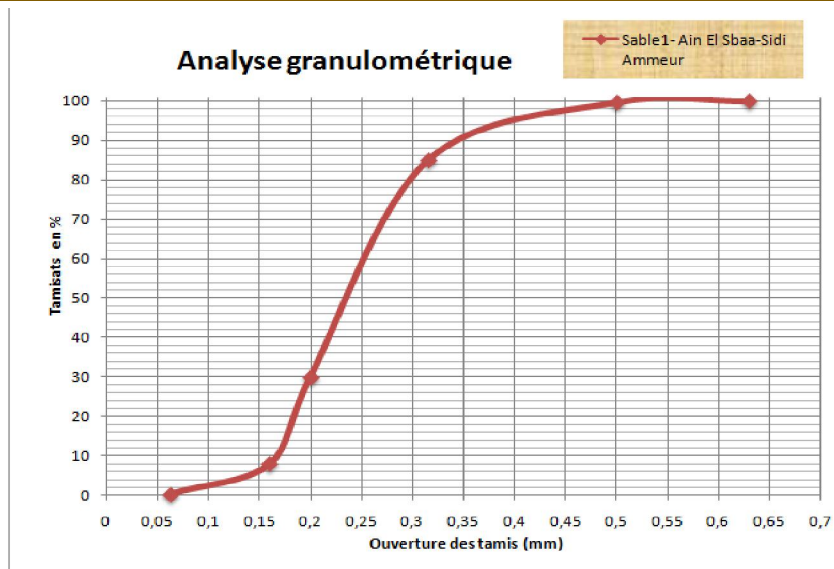


Fig.V.2.Courbe d'analyse granulométrique du Sable Ain el S'baa (A)

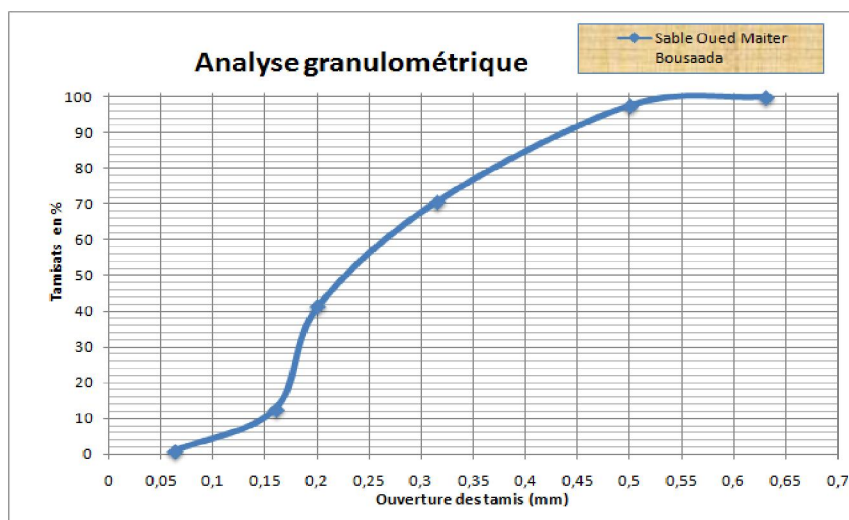


Fig.V.3.Courbe d'analyse granulométrique du Sable Maiter (M)

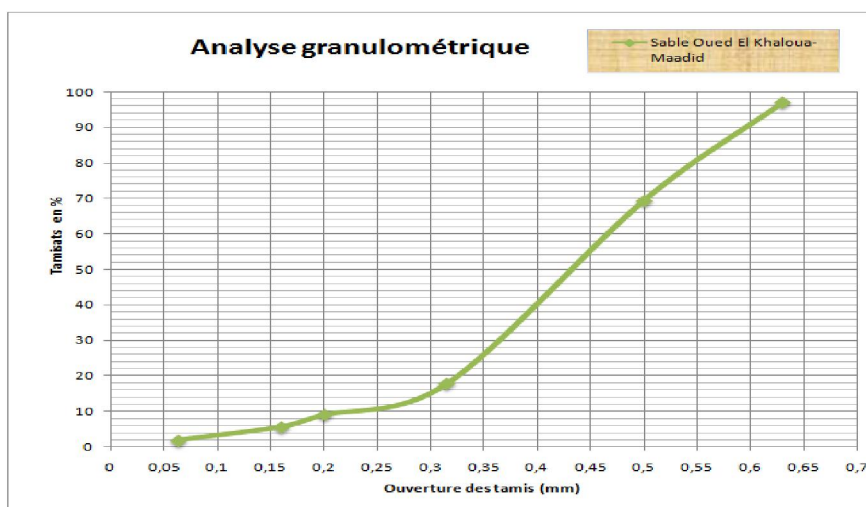


Fig.V.4.Courbe d'analyse granulométrique d'El Khalwa (K)

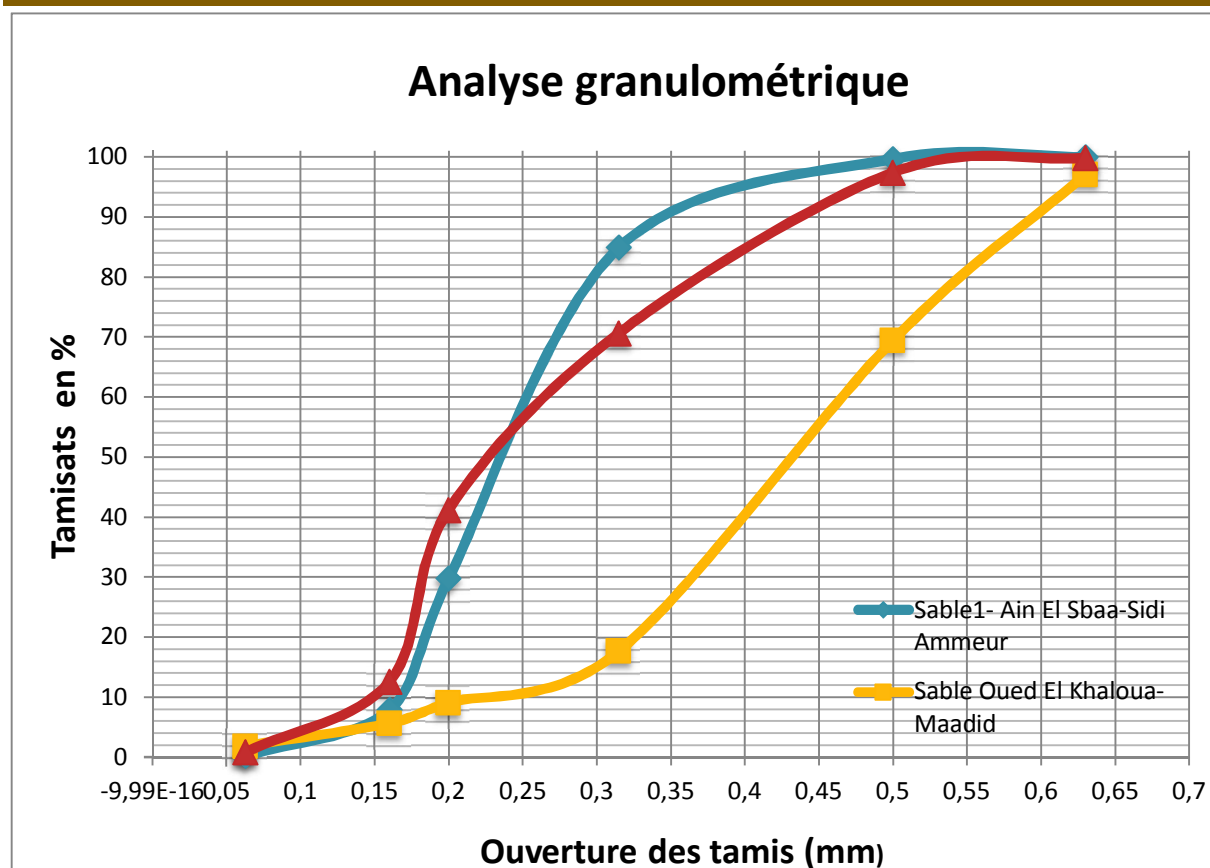


Fig. V. 5. Analyse granulométrique des trois sables

V.3. Essai de traction sur la résine pure récupéré

Les résultats des tests en traction sur la résine pure récupéré indiquent le comportement mécanique des éprouvette.

D'après les essais qu'on à fait au niveau de laboratoire de l'usine Maghreb Pipe sur la résine orthophtalique récupéré on a obtenue les résultats suivant mentionné dans le tableau V.4

Tableau V.4. Essai de traction sur la résine orthophtalique récupéré

Eprouvettes	Contrainte Mpa	Déformations %
1	29	4.07
2	35	4.35
3	34	4.16

D'après la Figure V.6. on remarque que la contrainte à la traction de la résine pure récupéré supérieure ou égale à 35 MPa .qui permettre d'introduire des bonne résultats avec le béton polymère.

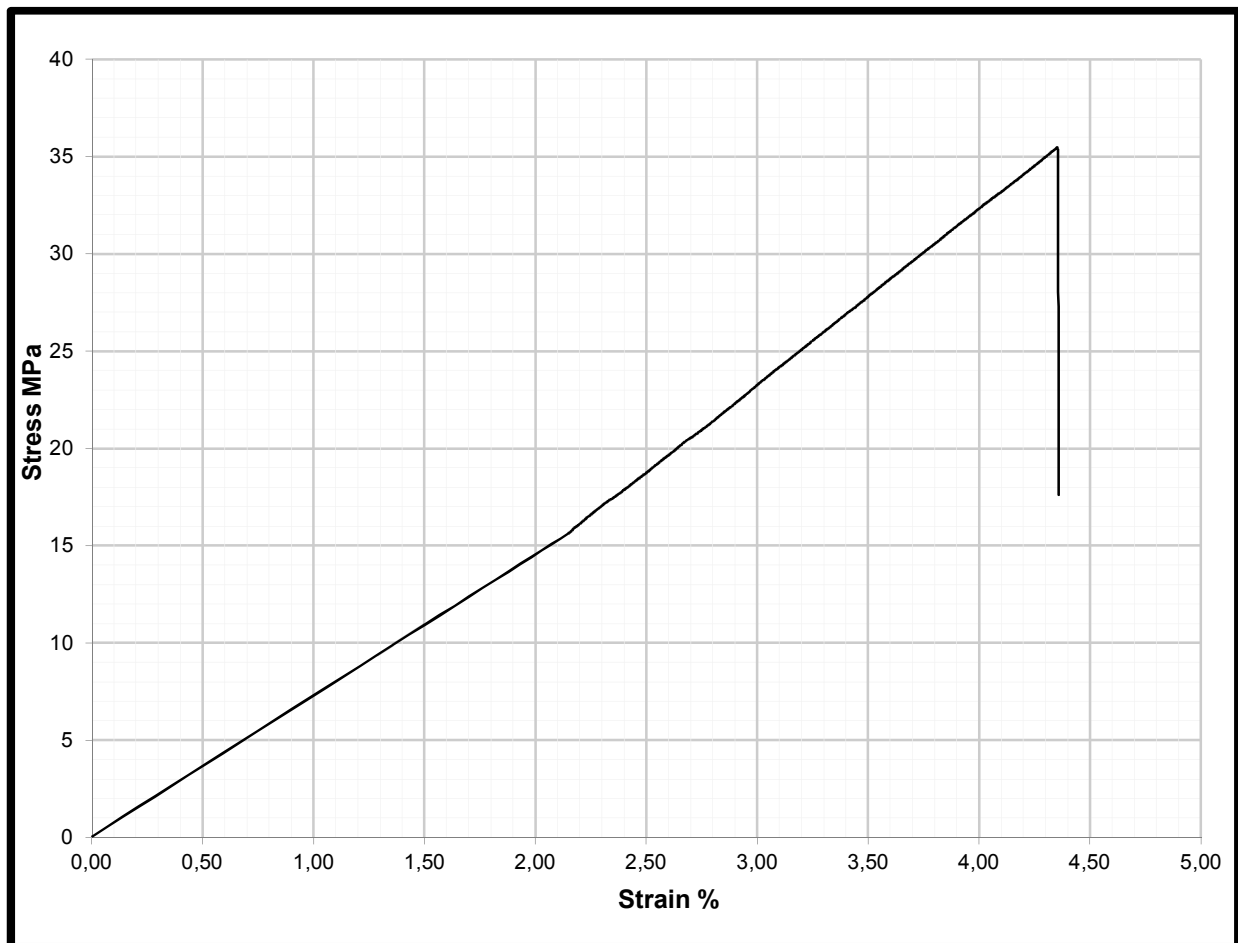


Fig.V.6 Courbe de répartition d'éprouvette

V.4. Propriétés mécanique des Bétons Polymères

V.4.1 Paramètre de rupture (K_R)

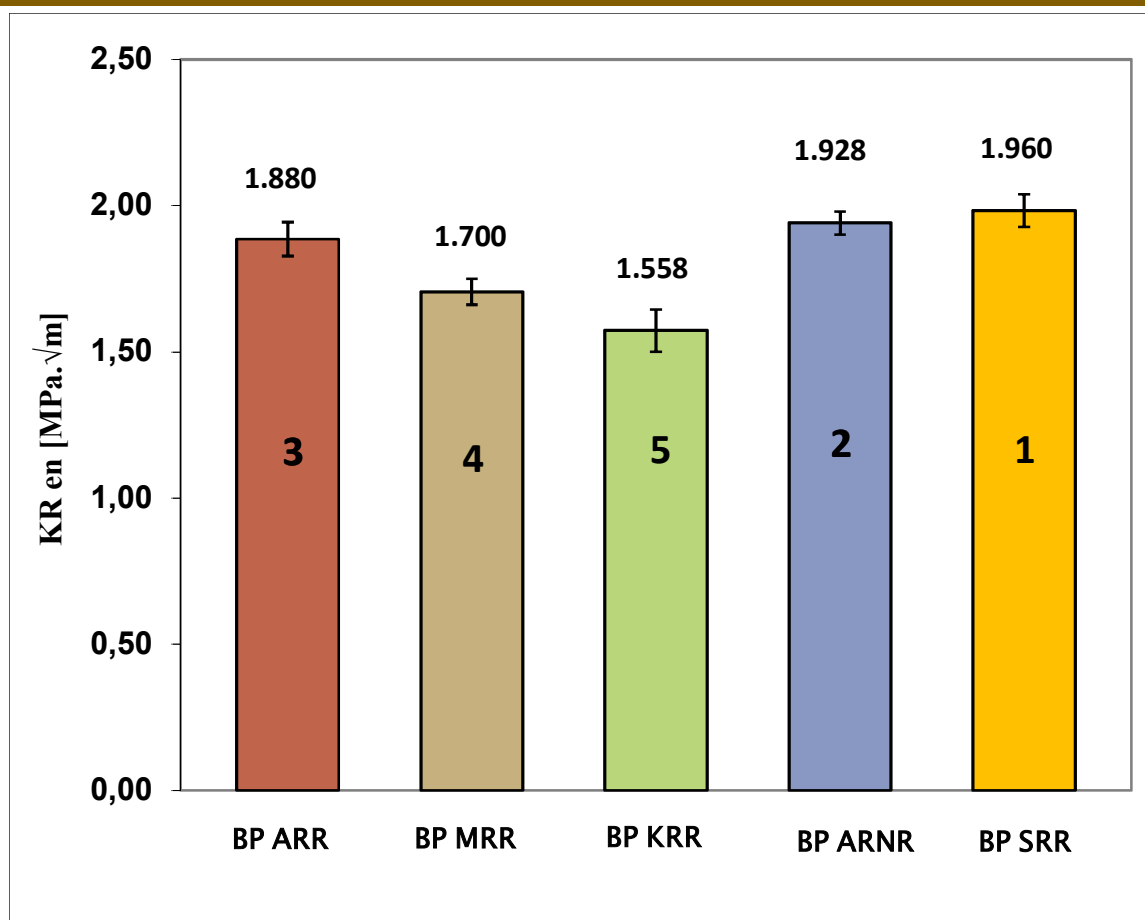


Fig.V.7. Paramètre de rupture des éprouvettes en bétons polymères testés.

La Figure.V.7.Représente l'historgramme des différentes valeurs moyennes du facteur d'intensité de contraintes des différents bétons polymères fissurés. Cet histogramme montre que le béton polymère avec le silice (S) de l'usine MP enregistré la plus grande valeur qui est de $1,98 \text{ MPa}\cdot\sqrt{m}$. En deuxième calasse vient le sable de Ain el Sbaa (A) qui donne des résultats plus proche que la silice d'usine M.P ($1,880 \text{ MPa}\cdot\sqrt{m}$, $1,928 \text{ MPa}\cdot\sqrt{m}$) respectivement pour la résine récupéré ou avec la résine non récupéré, ces résultats valorisé le sable d'EL HODNA de Ain el Sbaa.

Pour comparaison, le facteur d'intensité de contrainte enregistré pour le béton polymère de sable de Ain el Sbaa y'a une valeur de K_R très important para port au BP marbre ou polymère sisal, donc il et acceptable comparée au autres valeurs déjà déterminées dans la littérature.(23)

V.5. Résistance à la compression

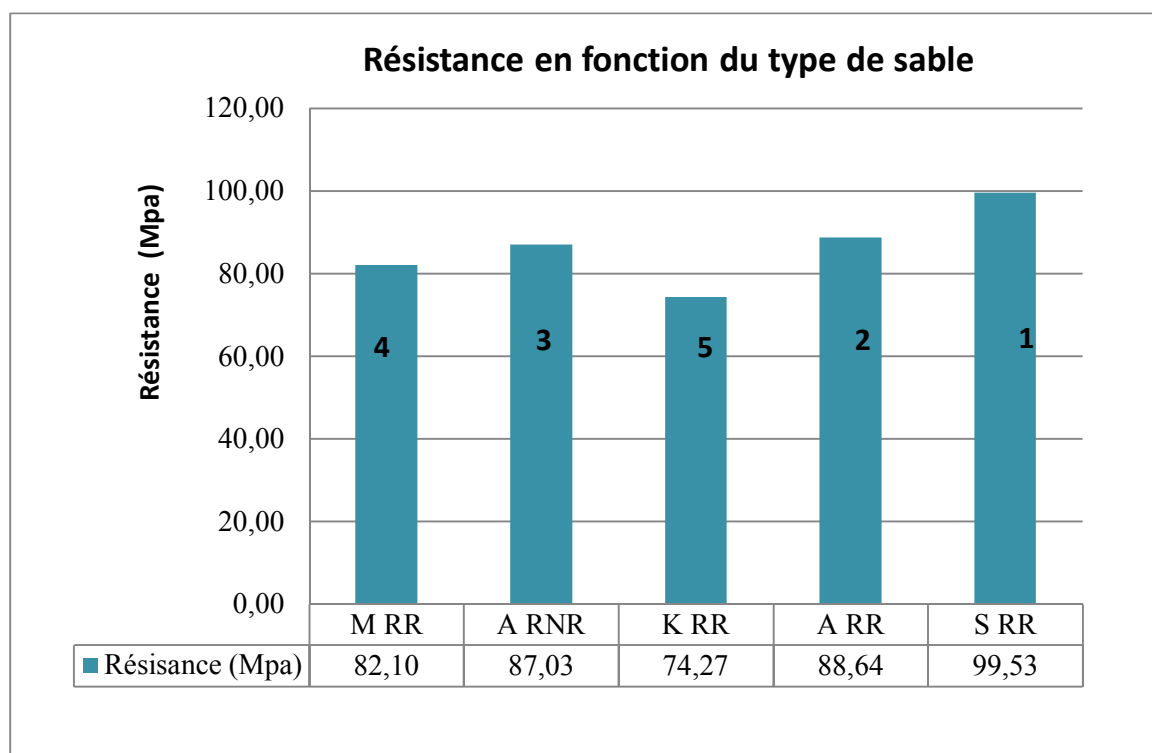


Fig.V.8. Variation de la résistance à la compression des différents bétons polymères

La Figure V.8 représente la variation de la résistance à la compression des différents bétons polymères. On remarque que les bétons polymères **BP-S RR** (sable d'usine silice), marque la valeur le plus grands de résistance a la compression, mais aussi en remarque que le **BP-A RR** (sable d'ain el sbaa avec la résine récupéré) y'a une résistance importante plus proche que **BP-S RR** et plus au moins le **BP-A RNR** sans oublier le **BP M RR** donne une résistance à la compression remarquable.

V.6. Valorisation du matériau pour fabrication de pavé

D'après les résultats obtenue par les essais de ruptures et les essais de compressions en a élaboré des pavés en béton polymère avec les trois types des sables issue de la région d' EL HODNA.

V.7. Conclusion

On a présenté dans ce chapitre les essais sur la résine récupéré, et nous avons élaboré des éprouvettes avec les différent types des sables local, pour les essais de la rupture et compression, et nous avons élaboré des pavés avec ces derniers.

Conclusion générale et perspectives

Le premier objectif du présent travail consiste à valoriser les sables de la région D'EL HODNA, pour l'obtention d'une formulation d'un béton polymère avec la résine récupérée, qui sera économique répondant à des critères mécanique, résistance mécanique, durabilité, et le coût.

Dans notre stage au niveau de l'usine Maghreb Pipe, on a remarqué au cours de la production des PRV, une grande quantité de résine se perd. Afin d'exploiter la matière gaspillée on a pensé de récupérer cette résine et faire une recherche et utiliser cette résine avant la période de gélification, on a médité de élaborer avec les matières locales (sable des dunes, ou sable de oued) des pavés répondant à des exigences. Pour quoi pas un investissement parallèle de fabrication des pavés spécial à la demande.

A cet effet on a choisie trois types de sable issue de la région du Hodna, pour la substitution de quartz (Silice d'usine) par l'un de ces derniers, la première étape on a fait une analyse granulométrique et minéralogique, pour connaître les composants et les caractéristiques des sables, cette analyse a conduit que le sable de Ain El Sbaa et le sable de Maiter son des sables fins, et ils ont des composants pas mal, par contre le sable oued el Khalwa leur composition chimique est faible de quartz.

La deuxième étape on a utilisé un pourcentage fixe (70% sable, et 30% résine), et élaboré des échantillons pour des caractérisations, et nous sommes arrivés à des résultats très encourageants en utilisant les différents sables issue de la région du Hodna, et particulièrement avec le sable de Ain El Sbaa, qui donne des résultats plus proches que le sable silice d'usine Maghreb Pipe.

Perspectives

Nous avons étudié un seul pourcentage (70% sable, et 30% résine), avec une seule variante de résine (orthophtalique), nous avons constaté que le pourcentage de la résine joue un grand rôle sur le béton polymère, même chose que le compactage, autre résine peut être donner de bons résultats.