

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : Structure

Présenté par :

BOUSSAHA Selma

MEDAREG-NAROU Meriem

Thème : Etude des propriétés du béton à base de polymère.

Sous la direction de : **Dr. NIGRI. Ghania**

2019

Remerciements

Tout d'abord louange à « ALLAH » qui nous a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et qui nous a inspiré les bons pas et nous a donné le courage et la patience pour pouvoir élaborer ce modeste travail de fin d'études de master en génie civil.

Nous somme honorées et reconnaissantes a notre encadreur :

Mme. NIGRI. qui nous a fait preuve d'une grande patience et qui a été d'un grand aide dans la réalisation de ce travail, ses conseils, ses encouragement, ses orientations ainsi que son soutien moral et scientifique, IL nous permis de mener à bien la rédaction de ce travail. Nos vifs et sincères remerciements s'adressent aux honorables membres de jury.

Nous tenons à remercier, Les techniciens (Mme Samira et Siham) de laboratoire du Département de génie civil et hydraulique de l'Université 08 mais 1945 de Guelma pour la qualité de leur travail
Sans oublier ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.

Dédicace

Premièrement, je remercie Allah, le bon Dieu, qui m'a donné l'ambitieux, le défi, la santé et le courage pour terminer cette mémoire.

Je tiens à remercier profondément mes parents, qu'ils trouvent ici ma plus profonde gratitude et tout mon amour pour leur soutien et leurs encouragements.

Je remercie mes beaux parents et tous les membres de la grande famille «BOUSSAHA», surtout mes belles sœurs « Imane, Boutaina » pour leur soutien moral.

Je lui dis « Merci beaucoup ma chère famille ».

Dédicace

Je dédie ce mémoire de fin d'étude à :
Mes parents pour leurs sacrifices
Et tous leurs efforts consentis pour mon éducation
Mes frères « Rahim, Slimen , Hakim»
Mes sœurs « hayet, khawla »
Mon marie
Et toute ma famille« MEDAREGUE NAROU»

Résumé

Dans ce travail de recherche, nous étudions les caractéristiques physiques et mécaniques d'un béton polymère, dans le quel, on a remplacé totalement le liant traditionnel (le ciment) par une résine. Ce béton polymère a été élaboré par malaxage d'un sable de granulométrie inférieure à 2 mm, d'un gravier 3/8 (le rapport S/G = 0.5), de fillers (poudre de brique, et poudre de marbre, poudre de fumée de silice et poudre de ciment) et de résine.

Pour étudier l'effet du type de résine, l'effet du pourcentage de résine, l'effet des différentes poudres des déchets généralement recyclées dans béton et pour étudier l'influence de présence de la matière fine dans le béton polymère, nous avons formulé des bétons polymères avec les variantes suivantes : deux types de résine polyester insaturée (résine 1 et résine 2), deux pourcentages de résine (14 et 18 %), plusieurs poudres (brique, marbre, fumée de silice et ciment) et deux pourcentages des poudres (10 et 20%).

Plusieurs compositions de béton ont été préparées et caractérisées d'un point de vue physique et mécanique.

Les résultats obtenus montrent que ce béton se caractérise par une résistance mécanique élevée qui dépasse 16 Mpa pour la résistance à la flexion et qui atteint 98 Mpa à la compression. L'étude des propriétés physiques montre clairement le caractère étanche de ce béton. (Porosité inférieure à 1 %). Enfin les meilleures performances mécaniques et physiques ont été observées pour un béton polymère 10% de poudres de brique et 18% de résine polyester insaturée 2.

Mots clés: Résine polyester, polymère, porosité accessible à l'eau, retrait libre résistance mécanique.

Abstract

In this research work, we study the physical and mechanical characteristics of a polymer concrete, in which the traditional binder (cement) was completely replaced by a resin.

This polymer concrete was prepared by mixing sand with particle size lower than 2 mm, a gravel 3/8 (S / G ratio = 0.5), of fillers (brick powder, marble powder, silica fume powder and cement powder) and resin.

To study the effect of the type of resin, the effect of the percentage of resin, the effect of the various waste powder generally recycled in concrete and to study the influence of presence of the fine material in the polymer concrete, we formulated polymeric concretes with the following variants: two types of unsaturated polyester resin (resin 1 and resin 2), two percentages of resin (14 and 18%), several powders (brick, marble, silica fume and cement) and two percentages of powders (10 and 20%).

Several concrete compositions have been prepared and characterized from a physical and mechanical point of view.

The results obtained show that this concrete is characterized by a high mechanical strength which exceeds 16 MPa for the flexural strength and which reaches 98 MPa on compression. The study of physical properties clearly shows the tightness of this concrete. (Porosity less than 1%). Finally, the best mechanical and physical performances were observed for a polymer concrete 10% of brick powder and 18% of unsaturated polyester resin 2.

Key words: Polyester resin, polymer, porosity accessible to water, free shrinkage , mechanical Strength.

ملخص

في هذا العمل البحثي ، ندرس الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة البوليمرية، حيث تم استبدال الموثق التقليدي (الأسمنت) بالكامل بالراتين، تم إنتاج هذه الخرسانة البوليمرية عن طريق خلط الرمل مع حجم جسيم أقل من 2 مم، وحصى 8/3 (النسبة (S/G)(حصى/رمل) = 0.5) والحشو (مسحوق الآجر، ومسحوق الرخام ، ومسحوق دخان السيليكا ومسحوق الأسمنت) والراتين.

من اجل دراسة تأثير نوع الراتين وتأثير نسبة الراتين ، وتأثير مسحوق النفايات المختلفة المعاد تدويرها بشكل عام في الخرسانة ودراسة تأثير وجود المواد الدقيقة في الخرسانة البوليمرية ، قمنا بتحضير عينات من الخرسانة البوليمرية مع المتغيرات التالية: نوعان من راتين البوليستر الغير مشبعة (الراتين 1 والراتين 2) ، ونسبتان مئويتان من الراتين (14 و 18 %) ، ومساحيق متعددة (الآجر ، الرخام ، دخان السيليكا والأسمنت) ونسبتان مئويتان من المساحيق (10 و 20 %).

تم تحضير العديد من التركيبات الخرسانية وتميزها من وجهة النظر الفيزيائية والميكانيكية.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن هذه الخرسانة تتميز بقوة ميكانيكية عالية تتجاوز 16 Mpa لقوة الانثناء والتي تصل إلى 98Mpa عند الانضغاط.

توضح دراسة الخواص الفيزيائية ضيق هذه الخرسانة. (المسامية أقل من 1 %)

أخيراً لوحظت أفضل العروض الميكانيكية والفيزيائية لخرسانة البوليمر 10% من مساحيق الآجر و 18% من راتين البوليستر غير المشبعة 2.

الكلمات المفتاحية: راتين البوليستر، البوليمر، المسامية المفتوحة، مقاومة ميكانيكية، التقلص الحر.



Remerciments

Dédicace

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale

Chapitre I: Généralités sur le béton polymère

I.1 .Introduction.....	1
I.2. Les différents types de béton	1
I.2.1. Les Bétons Prêts à l'Emploi	1
I.2.2. Le béton armé.....	2
I.2.3. Le béton fibré	2
I.2.4. Le béton précontraint	2
I.2.5. Les Bétons Hautes Performances	3
I.2.6. Le béton projeté.....	4
I.2.7. Le béton de ciment alumineux (ou béton fondu)	5
I.2.8. Le béton décoratif.....	6
I.2.8.1. Le béton bouchardé.....	6
I.2.8.2. Le béton désactivé	6
I.2.9. Le béton polymère.....	6
I.2.9.1. La composition principale d'un béton polymère	6
I.2.9.2. Caractéristiques intrinsèques du béton polymère	7
I.2.9.3. Les types de béton polymère	8
I.2.9.4. Les Caractéristiques générales des bétons de résine	10
I.2.9.5. Avantages du Béton Polymère.....	11
I.2.9.6. Les inconvénients du Béton Polymère	12
I.2.9.7. Les différentes applications d'un béton polymère.....	12
I.3. Conclusion	16

Chapitre II : Matériaux et techniques expérimentales

II.1. Introduction	17
II.2. Matériaux utilisés	17
II.2.1. Caractéristiques des matériaux utilisés	17
II.2.2. Essais de caractérisation des charges minérales	24
II.2.2.1. Essai de caractérisation physique	24
II.3. Procédure expérimentale (Modes de préparation des bétons de résine polyester	27
II.4. Essais effectués sur béton polymère	29
II.4.1. Traitement thermique du béton polymère élaboré	29
II.4.2. Etude de l'effet du traitement thermique sur la masse et le retrait des éprouvettes..	30
II.4.3. Retrait des bétons	30
II.4.4. Essai de porosité accessible à l'eau	31
II.4.5. Essais de résistance mécanique	33
II.5. Conclusion	34

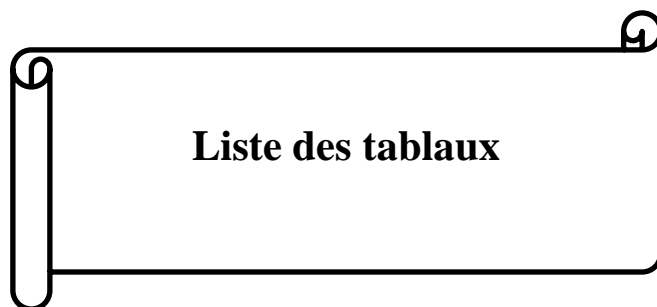
Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Introduction	35
III.2. Caractéristiques des matériaux utilisés	35
III.2.1. Essai de caractérisation physique	35
III.3. Essais effectués sur béton polymère	37
III.3.1. Etude de l'effet du traitement thermique sur la masse et le retrait des éprouvettes ..	37
III.3.2. Essai de porosité accessible à l'eau	39
III.4. Essais de résistance mécanique	44
III.4.1. Essai de résistance mécanique à la flexion	44
III.4.1.1 Résistance à la flexion des bétons de résine1.	45
III.4.1.2. Essai de la résistance à la flexion des bétons de résine2	45
III.4.2. Essai de la résistance à la compression	46
III.5. Synthèse des résultats acquis	49

Conclusions générales

Références bibliographiques

Annexes



Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur le béton polymère

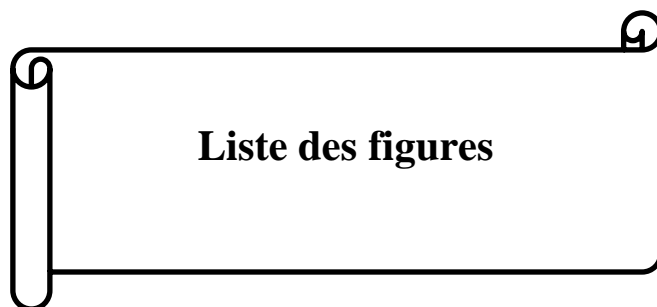
Tableau I.1 : Propriétés mécaniques des différents types de bétons de résine et du béton de ciment.....	10
--	----

Chapitre II : Matériaux et techniques expérimentales

Tableau II.1 : Composition chimique de la fumée de silice	19
Tableau II.2 : Composition chimique des déchets de brique utilisés	19
Tableau II.3 : Propriétés du ciment utilisé (fiche technique)	20
Tableau II.4 : Composition chimique du ciment utilisé	21
Tableau II.5 : Caractéristiques de la résine polyester insaturée selon la fiche technique.....	22
Tableau II.6 : Caractéristiques de la résine polyester 2	23
Tableau II.7 : Caractéristiques du durcisseur	24
Tableau II.8 : Désignation et dosage des constituants des bétons élaborés.....	28

Chapitre III : Résultats et discussions

Tableau III.1 : Masse volumique apparente des granulats.	36
Tableau III. 2 : Masse volumique absolue des granulats.	36
Tableau III.3 : Porosité des granulats utilisés.	37
Tableau III.4 : Propreté de sable.	37
Tableau III.5 : Variations des masses avant et après traitement thermique (Résine 1).....	38
Tableau III.6 : Variations des masses avant et après traitement thermique (Résine 2).....	38
Tableau III.7 : Résultats de retrait des bétons à (7 et 8 jours) pour béton formulé de résine 2	39
Tableau III.8 : Résultat de porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine1	40
Tableau III.9 : Porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine 2.....	41
Tableau III.10 : Résultat de porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine 1 (pesée hydrostatique).....	42
Tableau III.11 : Résultat de porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine 2 (pesée hydrostatique).....	43
Tableau III.12 : Résultat de résistance à la flexion à 8 jours formulé de résine1.....	45
Tableau III.13 : Résultat de résistance à la flexion à 8 jours formulé de résine2.....	45
Tableau III.14 : Résultat de résistance à la compression à 8 jours formulé de résine1.....	47
Tableau III.15 : Résultat de résistance à la compression à 8 jours formulé de résine 2.....	48



Liste des figures

Chapitre I: Généralités sur le béton polymère

Figure I.1 : camion toupie alimentant une pompe à béton	1
Figure I.2 : Armatures à béton armé dans un coffrage	2
Figure I.3 : Mécanisme de post-tension	3
Figure I.4 : Réparation d'un pont grâce à l'utilisation du béton projeté	5
Figure I.5 : composition du béton polymère	7
Figure I.6 : Façades et marches d'escalier en béton polymère pour bâtiment	13
Figure I.7 : Quelques applications du béton polymères (Bacs de fleurs –chaise)	13
Figure I.8 : Le pont mythique (New York Mania).....	14
Figure I.9 : Plancher en béton polymère	14
Figure I.10 : Quelques applications du béton polymères (drainage et hydrauliques)	15
Figure I.11 : Quelque application de béton polymère (industrie).....	15
Figure I.12 : Quelque application de béton polymère pour l'isolation	16

Chapitre II : Matériaux et techniques expérimentales

Figure II.1 : Sable utilisé	17
Figure II.2 : gravier 3/8 utilisé.....	18
Figure II.3 : Fumée de silice utilisée	18
Figure II.4 : Poudre de brique utilisée	19
Figure II.5 : Poudre de ciment	20
Figure II.6 : Poudre de marbre.....	21
Figure II.7 : La résine polyester insaturée 1	21
Figure II.8 : Résine polyester rose 2	23
Figure II.9 : Durcisseur utilisé	24
Figure II.10 : Tamiseuse électrique.	24
Figure II.11 : Masse volumique apparente du sable	25
Figure II.12 : Masse volumique apparente du gravier	25
Figure II.13 : Masse volumique absolue de gravier	26
Figure II.14 : Masse volumique absolu de sable	26
Figure II.15 : Essai d'équivalent de sable.....	27
Figure II.16 : Séchage des charges minérales utilisées.....	27
Figure II.17 : Etapes de préparation du béton polymère.....	28

Figure II.18 : Traitement thermique des bétons polymères	30
Figure II.19 : Mesure de retrait	30
Figure II.20 : Porosité accessible à l'eau	31
Figure II.21: Balance hydrostatique.....	32
Figure II.22 : Essai de résistance à la flexion 3 points	33
Figure II.23 : Essai de résistance à la compression.....	33

Chapitre III : Résultats et discussions

Figure III.1: Courbe d'analyse granulométrique de gravier.	35
Figure III.2 : Courbe d'analyse granulométrique du sable utilisé.	36
Figure III.3: Porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine1.	40
Figure III.4 : Porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine2.	41
Figure III.5 : Porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine 1 (pesée hydrostatique).....	42
Figure III.6 : Porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine 2	
(pesée hydrostatique).....	43
Figure III.7 : Mode de rupture en flexion des éprouvettes de béton polymère	44
Figure III.8 : Résistance à la flexion à 8 jours des poudres.....	45
Figure III.9: Résistance à la flexion à 8 jours des bétons formulés de résine2	46
Figure III.10 : Mode de rupture en compression des éprouvettes de béton polymère	47
Figure III.11: Résultats de la résistance à compression à 8 jours des bétons formulés de résine1.	47
Figure III.12: Résistance à la compression à 8 jours des bétons formulés de résine2.	48



Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

L'objectif de ce travail de recherche est la caractérisation physique et mécanique d'un béton polymère dans le quel, on a remplacé totalement le ciment par une résine. Ce béton polymère a été élaboré par malaxage d'un sable, d'un gravier 3/8 dont le rapport S/G = 0.5, de fillers (poudre de brique, et poudre de marbre, poudre de fumée de silice et poudre de ciment) et de résine.

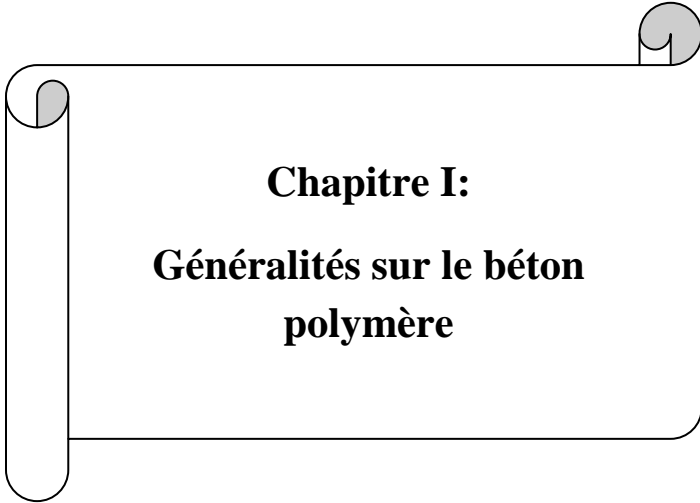
Pour refléter l'effet du type et du pourcentage de la résine on a utilisé deux types de résine cités résine 1 et résine 2 avec deux pourcentages de résine (14 et 18 %).

Pour refléter l'effet des fines sur les propriétés du béton polymère, différentes poudres ont été employées. et pour étudier l'influence du taux de la matière fine dans le béton polymère, nous avons utilisé deux pourcentages de poudre (10 et 20%). Les bétons ainsi formulés font l'objet d'une caractérisation physique et mécanique.

Notre travail de recherche vise à étudier les propriétés physiques à savoir les variations de masse et le retrait avant et après traitement thermique, la porosité accessible à l'eau ainsi que les propriétés mécanique à savoir la résistance à la flexion et à la compression. La démarche suivie consiste dans un premier temps, à caractériser les charges utilisées (sable, gravier et poudres), dans une seconde étape, on cherchera à évaluer, à partir d'un protocole expérimental détaillé, les différentes performances physiques et mécaniques de notre béton.

Le mémoire, construit en trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à une analyse de la bibliographie sur les bétons en général puis sur les bétons polymères. Le deuxième chapitre présente les matériaux utilisés, la procédure expérimentale utilisée pour la préparation et la caractérisation des bétons élaborés, on se réfère à certaines normes Algériennes, Européenne et Américaines.

Le troisième chapitre est consacré aux résultats obtenus et leurs interprétations. Enfin, le manuscrit est clôturé par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus.



Chapitre I:
Généralités sur le béton
polymère

Chapitre I: Généralités sur le béton polymère

I.1 .Introduction

Le béton de ciment est le matériau de construction le plus utilisé et le plus connu, en raison de leur faible couts, leur facilité de mise en œuvre et la disponibilité de leur constituants. Dans la présente recherche, on s'intéresse a un autre béton appelé béton polymère. Le béton polymère (BP) est un matériau fabriqué en remplaçant totalement ou partiellement le ciment par un polymère. La recherche et le développement des bétons et mortiers polymères ont connu un grand essor dans différents pays occidentaux depuis les années 1980. Comme le remplacement du ciment portland par un polymère entraîne une augmentation sensible du coût du béton, il ne faudrait le faire que si l'on recherche des caractéristiques supérieures. Actuellement, le BP est utilisé très efficacement de par sa résistance élevée et sa légèreté, en éléments préfabriqués dans le bâtiment, pour les tabliers de pont, pour les conteneurs de déchets dangereux, pour bases de machines industrielles [1].

I.2. Les différents types de béton

I.2.1. Les Bétons Prêts à l'Emploi

Les "Bétons Prêts à l'Emploi", abrégés en BPE, sont des bétons conçus et produits industriellement dans une centrale à béton. Le béton est livré frais sur le chantier dans des camions-toupies. Il est prêt à être mis en œuvre soit directement avec la goulotte du camion-toupie, soit à l'aide d'un tapis ou d'une pompe à béton [2].



Figure I.1 : camion toupie alimentant une pompe à béton [2]

I.2.2. Le béton armé

Le béton armé est un matériau composite qui allie les propriétés mécaniques du béton et celles de l'acier (alliage de fer et carbone en faible pourcentage).

La résistance en traction du béton étant assez mauvaise, on ajoute des armatures en acier qui viennent renforcer le béton. L'acier ayant une bonne résistance tant en traction qu'en compression, il compense les faiblesses du béton et retarde ainsi l'ouverture des microfissures qui apparaissent lorsque le béton ne résiste plus à la traction [2].



Figure I.2: Armatures à béton armé dans un coffrage [2]

I.2.3. Le béton fibré

Le béton fibré est un béton dans lequel sont incorporées des fibres synthétiques ou métalliques. Comme pour le béton armé, les fibres renforcent le béton. Il permet une plus grande rapidité et une plus grande facilité de mise en œuvre du fait de la suppression de la mise en place du ferrailage et une limitation de la fissuration grâce au grand nombre de fibres dispersées dans le béton [2].

I.2.4. Le béton précontraint

Techniques qui consistent à tendre (comme des ressorts) les aciers constituant les armatures du béton, et donc à comprimer, au repos, ce dernier [2].

Dans la pré-tension (le plus souvent utilisée en bâtiment), les armatures sont mises en tension avant la prise du béton. Elles sont ensuite relâchées, mettant ainsi le béton en compression par simple effet d'adhérence. Cette technique ne permet pas d'atteindre des valeurs de précontrainte aussi élevées qu'en post-tension [2].

La post-tension consiste à disposer des câbles de précontrainte dans des gaines incorporées au béton. Après la prise du béton, les câbles sont tendus au moyen de vérins de manière à comprimer l'ouvrage au repos. Cette technique, relativement complexe, est généralement réservée aux grands ouvrages (comme les ponts) puisqu'elle nécessite la mise en œuvre d'encombrantes « pièces d'about » (dispositifs mis en place de part et d'autre de l'ouvrage et permettant la mise en tension des câbles) [2].



Figure I.3 : Mécanisme de post-tension [2]

La précontrainte permet d'augmenter encore la résistance des pièces en béton, et d'allonger la portée des éléments porteurs. Elle équilibre les efforts des charges extérieures, et évite ainsi au béton de se fissurer. La compression initiale introduite grâce à la précontrainte dans la partie inférieure des poutres s'oppose aux tractions engendrées par les charges et surcharges appliquées sur la poutre [2].

I.2.5. Les Bétons Hautes Performances

Les BHP sont des bétons dits de hautes performances car ils possèdent de meilleures caractéristiques que les bétons normaux tels que :

- Une meilleure résistance à la compression, ce qui permet une réduction des quantités de béton nécessaires.

- Une grande fluidité (due aux super plastifiants) ce qui permet une meilleure mise en œuvre, un meilleur pompage et ne nécessite pas de vibrer le béton pour obtenir une surface lisse.
- Des besoins en eau plus faible [2].

De plus les BHP ont une plus grande durabilité qui résulte de leur forte compacité et de leur très faible porosité ce qui diminue la quantité d'agents agressifs pénétrant dans le béton et donc protège les armatures de la corrosion et augmente la résistance des bétons au cycle gel/dégel [2].

I.2.6. Le béton projeté

Le béton projeté est un béton qui est projeté à grande vitesse sur une surface au moyen d'air comprimée. La force de l'impact sur la surface compacte le matériau ce qui l'empêche de s'affaisser ou de couler. Le béton projeté a des propriétés similaires à celles d'un béton ordinaire de composition similaire et mis en place de façon usuelle si ce n'est en fait qu'une méthode de mise en place différente. Cette méthode permet d'éviter l'utilisation des coffrages, elle ne nécessite qu'une seule surface de support et peut être utilisée sur des surfaces courbes et irrégulières [2].

Il existe deux procédés pour faire du béton projeté, le procédé par voie sèche et celui par voie humide :

- Le procédé par voie sèche est le plus utilisé pour les réparations. Les matériaux secs, c'est-à-dire le ciment et les granulats, sont incorporés directement dans une canalisation, où ils sont transportés par l'air comprimé jusqu'à la lance. L'eau sous pression est introduite dans le mélange à la sortie de la lance. Le procédé par voie sèche a l'avantage de pouvoir être arrêté et reparti à tout moment durant les travaux, Car le béton étant sec dans la lance il ne risque pas de se solidifier. Des résistances élevées peuvent être facilement obtenues avec ce procédé puisqu'il permet d'atteindre de faibles rapports eau/liant. Le désavantage du procédé sec est que le dosage de l'eau dans le mélange se fait directement à la lance, par le lancier, ce qui complique le contrôle de la qualité [2].
- Le procédé par voie humide implique qu'un béton ou un mortier soit pompé de façon conventionnelle et projeté à haute vitesse contre une surface réceptrice en utilisant de l'air comprimée ajoutée à la lance. Le procédé par voie humide est surtout utilisé

lorsque les volumes à produire sont importants. Le contrôle de la qualité est plus simple avec ce procédé, puisqu'en utilisant un béton conventionnel, le dosage des constituants du mélange est connu [2].



Figure I.4: Réparation d'un pont grâce à l'utilisation du béton projeté [2]

I.2.7. Le béton de ciment alumineux (ou béton fondu)

Le béton de ciment alumineux est un béton dans lequel le liant utilisé est du ciment alumineux. Il s'agit un ciment à base d'aluminates de calcium. Ces aluminates ne libèrent pas de chaux au cours d'hydratation et offrent plusieurs propriétés spéciales au béton ou au mortier alumineux. Cela permet :

- une prise rapide
- une résistance chimique élevée
- une résistance élevée à l'usure
- une résistance aux températures élevées
- une accélération de la prise par temps froid [2].

Ce béton a une bonne résistance aux environnements agressifs et développe rapidement des résistances mécaniques élevées. Lorsqu'il contient des granulats artificiels à base d'aluminium, il a également des propriétés réfractaires (forte inertie thermique) [2].

I.2.8. Le béton décoratif

I.2.8.1. Le béton bouchardé

Béton décoratif mettant en valeur les granulats. Il est réalisé à l'aide d'une machine qui érode le béton en surface afin de faire apparaître les granulats [2].

I.2.8.2. Le béton désactivé

Béton décoratif mettant en valeur les gravillons inclus dans le béton. Pour obtenir ce résultat, on applique lors du coulage, un retardateur de prise sur la surface sur béton frais juste après la mise en œuvre. Quelques heures après, un nettoyage au jet d'eau haute pression est réalisé, pour faire apparaître les gravillons en relief par rapport au mortier [2].

I.2.9. Le béton polymère

Le béton polymère est un matériau composé de différents types d'agrégats. Ces derniers sont liés par des résines de polyester pour assurer la solidité de chaque réalisation [3].

Cette combinaison se complète, pour les bétons préfabriqués, d'agrégats de silice, de quartz et de résines de polyester stable [3].

Preuve de sa performance, le béton polymère a déjà obtenu de très nombreuses certifications de qualité auprès d'organismes du bâtiment comptant parmi les plus réputés [3].

Le béton polymère n'est pas un béton traditionnel, bien que certains matériaux aient en commun. Il est utilisé pour des projets de construction tels que le traditionnel, mais les composants polymères de nous donner plusieurs caractéristiques qui le rendent plus sûr et plus durable que le béton ordinaire. Le polymère a tendance à être plus cher que d'habitude est mesurée et plus précisément en termes de densité et de retrait [3].

I.2.9.1. La composition principale d'un béton polymère

Le béton de résine (polymère) est formé par un squelette granulaire (les agrégats) et un liant polymère (résine) parfois thermoplastique mais dans la plupart des cas thermodurcissable [4].

a) Le liant (la résine)

Les polymères sont des structures ayant une architecture le plus souvent linéaire ou tridimensionnelle constituée par l'enchaînement covalent de plusieurs unités chimiques de répétitions ou motifs unitaires appelées monomères possédant une ou plusieurs fonctions chimiques potentiellement réactives. Le nombre et la nature de ces fonctions permet de

déterminer ce que l'on appelle la fonctionnalité du monomère, c'est-à-dire le nombre de liaisons qu'un monomère peut établir avec d'autres monomères lors de la réaction chimique appelée polymérisation. La différence entre un polymère et une grosse molécule quelconque provient de cette Répétition de molécules identiques ou similaires constituant une chaîne ou une portion de chaîne. Les polymères peuvent être fabriqués à partir d'un seul type de monomère (on parle alors d'homo polymère, comme par exemple le polystyrène), ou bien à partir de plusieurs types [4].

b) Les agrégats

Ils forment le squelette du béton et ils jouent donc un rôle très important dans la composition et la fabrication des bétons en général et le béton de résine en particulier. Ils influent les propriétés mécaniques et physiques du produit fini. Les agrégats utilisés dans la plupart des cas sont des sables de quartz de granulométrie différente. Le 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 [5].

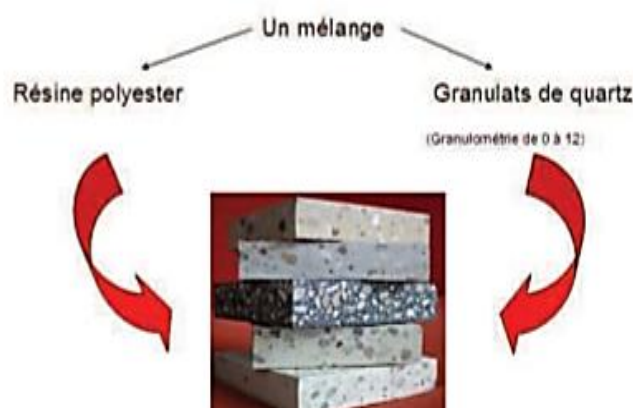


Figure I.5 : composition du béton polymère [5]

I.2.9.2. Caractéristiques intrinsèques du béton polymère [2]

Résistance totale aux agressions des effluents sans aucun traitement : résistance du ph 1 à 14.

- Résistance totale à l'H₂S ainsi qu'aux produits chimiques.
- Résistance totale aux hydrocarbures.

- Excellent coefficient d'écoulement : Manning Strickler de 108 moyens, offrant ainsi 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 : coefficient d'abrasion permettant de conserver les qualités hydrauliques des ouvrages durant des décennies.
- Insensible aux phénomènes de gel/dégel.
- Légèreté accrue par rapport aux ouvrages en béton classique.
- Résistance aux tags (se nettoie sans laisser de traces).
- Résistance au sel marin et au sel de déneigement.

I.2.9.3. Les types de béton polymère

a) Le béton d'acrylique

La résine acrylique la plus répandue est le poly (méthacrylate de méthyle) (PMMA), produit par polymérisation du méthacrylate de méthyle (MMA) [6]. Le béton de résine acrylique est un matériau polyvalent qui résiste très bien aux intempéries, est relativement imperméable, résiste bien aux produits chimiques et rétrécit relativement peu (de 0,01 à 0,1 %) pendant la prise; son coefficient de dilatation thermique se compare à celui du béton de ciment Portland. En raison de sa faible perméabilité, le béton d'acrylique résiste très bien aux cycles gel-dégel. Par contre, le point d'éclair peu élevé (11°C) du MMA pose un problème de sécurité. Le MMA coûte plus cher que le pré polymère-monomère utilisé dans le béton de polyester, d'emploi plus courant, mais les propriétés exceptionnelles du béton d'acrylique expliquent ses applications très nombreuses et variées: fabrication d'escaliers, de produits sanitaires, de bordures de trottoir et de plaques de parement. On s'en sert beaucoup, en raison de son temps de prise court, pour la réparation des gros trous dans les tabliers de ponts.

Le béton utilisé à cette fin est constitué d'un granulats qualité route et d'une matrice obtenue par réticulation du MMA au moyen du tri méthacrylate de triméthylolpropane (TMATMP).

b). Le béton de polyester

En raison de leur faible coût, les liants de résine les plus utilisés sont ceux à base de polymère de polyester insaturé. Dans la plupart des applications, le liant de polyester est une formulation de pré polymère de polyester insaturé d'usage général.

Ces formulations existent sous forme de solutions consistant en 60 à 80 pour cent de pré polymère dissous dans des monomères copolymérisables comme le styrène et le styrène-

méthacrylate de méthyle. Pendant le durcissement, le pré polymère de polyester et le monomère réagissent par l'intermédiaire de leurs groupes insaturés (doubles liaisons).

La réaction chimique s'appelle réticulation, le procédé employé est la cure, et le liant ainsi obtenu est un polymère thermodurcissable [7]. Le béton de polyester possède une bonne résistance mécanique, adhère assez bien aux autres matériaux et résiste bien aux produits chimiques et aux cycles gel-dégel. Cependant, il rétrécit beaucoup pendant et après la prise (jusqu'à dix fois plus que le béton de ciment Portland), ce qui constitue un grave inconvénient pour certaines utilisations. Ce type de béton est employé, coulé sur place ou en éléments préfabriqués, dans les travaux de construction, notamment d'édifices publics ou commerciaux, ainsi que pour la fabrication de carreaux de plancher, de tuyaux d'égout et d'escaliers.

c). Le béton d'époxy

Comme le polyester, l'époxy utilisé comme liant est une résine thermodurcissable [7]. On peut employer divers agents de cure pour faire durcir la résine d'époxy, mais on se sert le plus souvent des polyamines (p. ex. les polyamines tertiaires) [8].

L'emploi de durcisseurs aux polyamines permet d'obtenir les bétons de résine les plus résistants aux produits chimiques. On utilise aussi, comme agents de cure, les polysulfures et les polyamides. Le béton d'époxy traité aux polyamides est plus flexible que celui durci aux polyamines, il résiste mieux à la chaleur et sa tendance au farinage à l'extérieur est moins marquée; par contre, il résiste moins bien aux solvants et autres produits chimiques. Quant aux polysulfures, ils donnent un béton d'époxy doté d'une flexibilité supérieure. Le béton d'époxy adhère bien à la plupart des matériaux, il rétrécit peu pendant et après la prise, résiste bien aux produits chimiques et au fluage, et possède une bonne endurance. Les résines d'époxy coûtant relativement cher, on ne s'en sert guère pour fabriquer du béton sauf lorsque le surcoût peut se justifier aisément : confection de mortier pour sols industriels résistant aux agressions physiques ou chimiques, revêtement antidérapant (additionné de sable, d'émeri, de ponce ou de quartz) pour routes, enduit pour murs extérieurs (p. ex. panneaux de granulats apparents) et matériau de réparation de surfaces endommagées (p. ex. planchers). Le béton d'époxy armé de fibres de verre, de carbone ou de bore sert à la fabrication de panneaux translucides, de coques de bateau et de carrosseries d'automobile.

d). Le béton de résine furaniques

Les résines furaniques sont basées sur l'alcool furfurolique, qui provient de résidus agricoles comme ceux d'épis de maïs, de riz ou d'avoine, ou comme la bagasse [8]. Pour fabriquer le béton de résine furaniques, on ajoute habituellement au pré polymère furaniques de l'alcool

furfurolique, du furfuraldéhyde ou du formaldéhyde, ce qui donne, par réticulation, des polymères thermodurcissables résistant très bien à la plupart des solutions aqueuses acides ou basiques et aux solvants puissants comme les cétones et les composés aromatiques ou chlorés. On utilise les résines furaniques comme agent liant dans les mortiers et coulis pour réaliser des revêtements de sols ou autres en brique (p. ex. de carbone ou de schiste rouge) résistant à l'action des produits chimiques. Ces revêtements résistent aussi très bien aux températures élevées et aux chocs thermiques extrêmes.

Tableau I.1 : Propriétés mécaniques des différents types de bétons de résine et du béton de ciment

Type de liant	Poly méthacrylate 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
Resistance à la compression (Mpa)	70-210	50-150	50-150	48-64	13-35
Resistance à la traction (Mpa)	9-11	8-25	14-25	7-8	1.3-3.5
Resistance à la 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

I.2.9.4. Les Caractéristiques générales des bétons de résine [9]

➤ Poly (méthacrylate de méthyle)

- Faible tendance à absorber l'eau, donc grande résistance au gel-dégel.
- Faible retrait pendant et après la prise.
- Excellente résistance aux produits chimiques et aux intempéries.

➤ Polyester

- Bonne résistance
- Bonne adhésion aux autres matériaux

- Bonne résistance aux produits chimiques et au gel-dégel, mais retrait considérable pendant et après la prise

➤ **Époxy**

- Forte adhésion à la plupart des matériaux de construction.

- Faible retrait.

- Excellente résistance aux produits chimiques.

- Bonne résistance au fluage.

- Faible sorption d'eau.

➤ **Résine à base de furanne**

- Matériaux composites

- Résistant bien aux produits chimiques (la plupart des solutions aqueuses acides ou basiques), ainsi qu'aux liquides organiques polaires comme les cétones, les hydrocarbures aromatiques et les composés chlorés.

Les mortiers et coulis de résines furaniques servent aux revêtements de sols ou autres en brique (p. ex. de carbone ou de schiste rouge) qui doivent résister aux produits chimiques, aux températures élevées et aux chocs thermiques.

I.2.9.5. Avantages du Béton Polymère

Voici quelques-unes des principales caractéristiques du béton polymère [3] :

- Le Béton Polymère possède des caractéristiques mécaniques supérieures à un béton classique ce qui permet d'obtenir des épaisseurs et un poids moindre par rapport à des ouvrages en béton armé, facilitant ainsi la manutention et la pose.
- Capacité de production et de livraison très importante, le béton polymère est sec en 20 minutes et obtient sa résistance maximale en 16 heures.
- 100 % étanche dans la masse.
- 100 % recyclable ainsi qu'un bilan carbone plus faible qu'un béton traditionnel.
- Vieillesse lamellaire sans fissuration ni décrochage, ce qui rendra vos projets esthétiques durables dans le temps.
- Résistance totale au sel marin et au sel de déverglaçage.
- Résistance totale aux phénomènes de Gel/Dégel (aucune présence d'eau + parfaite étanchéité).
- Aucune présence d'acier dans le béton polymère, de ce fait aucun risque d'éclatement, de chute de morceaux ou de coulure de rouille pour un aspect esthétique garantie à long terme.

- Résistance totale aux agressions et ce sans aucun traitement : résistance du pH 1 à 14, à l'H₂S, à un très grand nombre d'acides et aux hydrocarbures.
- Excellent coefficient d'écoulement : Manning Strickler de 108, évitant ainsi tout dépôt de matière et fournissant un matériau auto curant lors de la montée en charge de l'ouvrage.
- Le phénomène d'auto curage est accentué par un aspect parfaitement lisse sur les surfaces techniques évitant tout risque de dépôts, même lors de débits très faibles ;
- Excellente tenue à l'abrasion : notre coefficient d'abrasion (=1) permet de conserver les qualités hydrauliques de nos ouvrages durant des décennies. Le béton polymère est donc compatible avec des vitesses d'écoulement élevées.
- Possibilité de teinter le béton polymère en pleine masse et de la couleur voulu (selon classification RAL). La couleur du béton polymère est peu sensible aux UV et ce sur le long terme

I.2.9.6. Les inconvénients du Béton Polymère [2]

- Le coût 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.

I.2.9.7. Les différentes applications d'un béton polymère

Béton polymère est utilisé pour de nombreux types de projets de construction spécialisés. Comme d'autres types de béton, il peut être utilisé pour assembler deux composants différents ou de fournir une structure ou une base. Le matériau est utilisé dans la construction électrique ou industrielle où le béton doit durer longtemps et être résistant à de nombreux types de corrosion [10].

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

Utilisé essentiellement dans la production du marbre artificiel, l'industrie de façades, s'est enrichie avec l'utilisation du béton polymère comme matériau de revêtement avec des différentes formes de ces dernières de plus en plus complexes de point de vue architecturale et les exigences économiques et techniques plus stricts Figure I.6 [4].



Figure I.6: Façades et marches d'escalier en béton polymère pour bâtiment [4]

✓ **L'utilisation des bétons polymère dans l'horticulture**

Dans de nombreux pays, le béton de résine est employé pour réaliser des réservoirs d'aliments et les fermes de bétails. En horticulture, le béton de résine est utilisé pour fabriquer des petites formes et des bacs pour les plants. [11] Ces conteneurs sont à déplacer selon les conditions météorologiques et c'est ici que réside l'avantage de profiter de béton de résine plus léger et robuste.



Figure I.7: Quelques applications du béton polymères (Bacs de fleurs –chaise) [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 sont constamment exposés à des actions mécaniques permanentes exercées par les engins de transport, les vibrations, les impacts, l'abrasion, l'action des agents chimiques. De même pour les chaussées, le mouvement intensifs des véhicules 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 (Figure I.8, Figure I.9) [12].



Figure I.8: Le pont mythique (New York Mania) [4]



Figure I.9: Plancher en béton polymère [4]

✓ **L'utilisation des bétons polymère dans les travaux de drainage et hydrauliques**

L'utilisation du béton polymère pour la fabrication des différents systèmes de drainage et le réseau de canalisation, est très répandue comme résultat de la faible absorption d'eau et une résistance exceptionnelle au gel -dégel par conséquent, les éléments fabriqués en béton polymère peuvent avoir jusqu'à 15 mm d'épaisseur (réduction de 1/3 du poids par rapport au béton cimentaire) (Figure I.10) [13].



Figure I.10: Quelques applications du béton polymères (drainage et hydrauliques) [4]

✓ **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.)[4].



Figure I.11: Quelques applications de béton polymère (industrie) [4]

✓ **L'utilisation des bétons polymère comme isolation phonique**

Par la fabrication des écrans phoniques (Figure I.12), le produit doit avoir une bonne résistance mécanique surtout sous l'action des vents intenses et une résistance à l'humidité,

aux gaz, aux huiles et antigels. Par des renforts comme le verre, le caoutchouc et des autres minéraux usuels [14].



Figure I.12 : Quelques applications de béton polymère pour l'isolation [4]

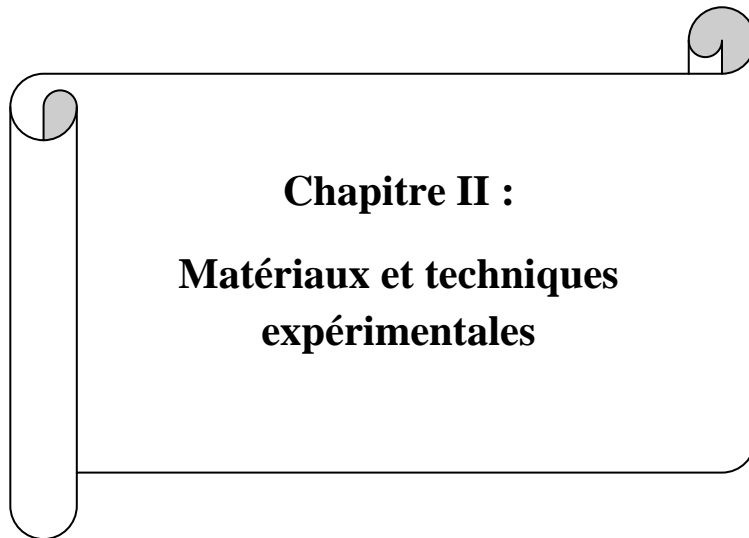
I.2.9.8. Travaux de recherche menés sur le béton polymère.

Dans la littérature, plusieurs travaux de recherche traitent la caractérisation des bétons polymères renforcés ou non renforcés, parmi ces travaux, on trouve celui de Mirouzi. G qui a étudié un béton polymère renforcé avec des tissus de fibres de verre et des fibres de polypropylène (6 mm et 12 mm) et leur influence sur la résistance mécanique en vue de leur utilisation pour la réparation des structures.

Benkerrouche Alaa Eddine et Ourida Mohammed dans leur mémoire de master ont étudié la caractérisation d'un béton polymère renforcé par les fibres d'Alfa.

I.3. Conclusion

On peut dire que le béton polymère n'est pas comme le béton traditionnel, même si elle utilise certains des mêmes types de matériaux. Il est également utilisé pour des projets de construction de la même manière. Le béton polymère tend à être plus cher que la version traditionnelle, mais les composés polymères lui offrent des caractéristiques qui tendent à le rendre plus sûr et plus durable que le béton ordinaire.



Chapitre II :
Matériaux et techniques
expérimentales

Chapitre II : Matériaux et techniques expérimentales

II.1. Introduction

Dans ce deuxième chapitre, nous allons nous intéresser dans un premier temps à la caractérisation des différents matériaux qui seront utilisés dans cette étude. On s'intéressera par la suite, aux procédures de fabrication des différentes compositions des micro-bétons de résine ainsi l'étude des propriétés physiques et mécaniques des bétons formulés.

II.2. Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans cette étude sont:

- Sable.
- Gravier.
- Poudre de fumée de Silice.
- Poudre de brique.
- Poudre de ciment.
- Poudre de marbre.
- Résine polyester insaturée.

II.2.1. Caractéristiques des matériaux utilisés

a. Sable

Dans la présente étude, nous avons utilisé un sable siliceux tamisé en utilisant un tamis 2 mm. Puis séché 24 H à l'étuve à une température de 105°C.



Figure II.1 : Sable utilisé

b. Gravier

Le gravier utilisé est de fraction (3/8) mm. Ce gravier a été lavé et séché avant son utilisation.



Figure II.2 : gravier 3/8 utilisé

c. Poudre de fumée de Silice

Figure II.3 : Fumée de silice utilisée

C'est un ajout à base de micro silice conforme à la norme [NFP 18-502]. Il est sous forme de poudre et de couleur grise et il se caractérise par une densité apparente de 0.5, d'une surface massique supérieure à $15 \text{ m}^2/\text{gr}$, d'une humidité par étuve à 105°C inférieure à 1% avec une taille des particules inférieure à 0.1 microns. Sa composition chimique est présentée dans le tableau II.1 [15].

Tableau II.1 : Composition chimique de la fumée de silice [15]

Eléments	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	CL ⁻	PAF
%	0.2	93.7	0.6	0.3	0.2	0.5	0.2	<2.5	<0.2	2.9

d. Poudre de briques

Les déchets de briques sont des sous-produits de l'industrie des produits rouges. Ils se trouvent en grande quantité au niveau national à cause du nombre élevé de briqueteries et des taux de rejets (briques non conformes ou cassées) qu'elles génèrent et qui représentent 10 à 15 % de leurs productions [16]. Dans la présente recherche, des échantillons récupérés auprès de la briqueterie de Bendjerrah (Wilaya de Guelma) ont fait l'objet d'un broyage, pour les transformer en poudre puis d'un tamisage (tamis 90 μ m). Sa composition chimique a été déterminée par fluorescence X. Les résultats obtenus, présentés en tableau II .2 mettent en évidence des pourcentages élevés en silice et en alumine.

Tableau II.2 : Composition chimique des déchets de brique utilisés [16]

Eléments	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	PAF
%	4.28	69.26	14.17	6.30	2.25	1.34	0.28	0.02	1.96

D'autres propriétés de l'ajout ont été également évaluées .ainsi sa masse volumique absolue est de 2.25 g/cm³ ; sa masse volumique apparente est de 0.71 g/cm³ ; et enfin son coefficient d'absorption d'eau est égal à 16.1% [16].

**Figure II.4** : Poudre de brique utilisée

e. Poudre de ciment



Figure II.5 : Poudre de ciment

Le ciment employé est un ciment CPJ CEMII/A 42.5 fabriqué à la cimenterie de Hadjar soud (wilaya de Skikda). Sa composition minéralogique fournie par le laboratoire de la cimenterie est la suivante [15] : $C_3S = 55\text{ à }65\%$, $C_2S = 10\text{ à }18\%$, $C_3A = 10\text{ à }12\%$, $C_4A = 10\text{ à }12\%$.

Les caractéristiques physiques et la composition chimiques du ciment utilisé selon le laboratoire de la cimenterie sont présentées dans les tableaux II.3 et II.4.

Tableau II.3 : Propriétés du ciment utilisé (fiche technique) [17]

Caractéristique physique			Caractéristique mécanique	
NA 230	Consistance normal (%)	≥ 25	NA 442	Compression (MPa)
NA 230	Début de prise (mn)	≥ 60		02 jours ≥ 12.50
NA 230	Fin de prise (mn)	150-250		07 jours 25-35
NA 232	Expantion a chaud (mm)	≤ 10		28 jours 42.5-52.5
NA 231	S.S.Blaine cm^2/g	3300-4000	NA 234	Flexion (MPa)
				02 jours 3.0-4.0
				07 jours 5.0-6.5
NA 440	Retrait sur mortier $\mu\text{m}/\text{m}$	≤ 1000		28 jours 6.5-8.5

Tableau II.4 : Composition chimique du ciment utilisé

Eléments	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
%	59-62	22-24	5.3-6	3-4	1.5	<0.9	<0.7	1.8-2.2

f. Poudre de marbre**Figure II.6 :** Poudre de marbre**g. Liant polymère (résine polyester + durcisseur)**

Le polymère utilisé en tant que liant est une résine polyester insaturée. Les polyesters insaturés sont des résines thermodurcissables liquides qui avec l'adjonction d'un catalyseur (peroxyde organique) provoquera une réaction chimique et permettra de former les résines polyesters à l'état solide. Dans cette étude, deux types de résine polyester insaturée et un durcisseur fabriqués localement ont été utilisés.

g.1 Résine polyester insaturée 1

Elle est fabriquée par la société Sarl LORN située à la wilaya de Bouira (nord centre de l'Algérie) Ses caractéristiques selon la fiche technique [18] fourni par le producteur sont représentées dans le tableau II.5



Figure II.7 : La résine polyester insaturée 1

Tableau II.5: Caractéristiques de la résine polyester insaturée selon la fiche technique [18]

Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> • Résine polyester insaturée iso phtalique. • Moyenne réactivité. 	
Versions	<ul style="list-style-type: none"> • Non accélérée. • Non thixotrope. 	
Technique de moulage	<ul style="list-style-type: none"> • Contact. • Projection simultanée. 	
Applications	<ul style="list-style-type: none"> • Nautisme. • Pièce industrielle • Piscine. 	
Spécifications	• Viscosité 25°C	300 - 400 cps
	• Teneur en styrène	39 - 41 %
	• Densité	1.1 - 1.2 kg/dm ³
	• Gel time à 25°C	8 - 15 minutes
	• Temps de durcissement	20 - 30 minutes
	• Pic exothermique	150 - 180 °C
Dosages recommandés	<ul style="list-style-type: none"> • 0.3 -0.4 % accélérateur RP 60 6% • 1.5 -2 % catalyseur RP 50 	
Propriétés mécaniques	• Résistance en traction	Mpa
	• Dureté BARCOL	40 -45
	• Résistance en flexion	Mpa
	• HDT	-
Stabilité	<ul style="list-style-type: none"> • La résine est stable pendant 06 mois stocké dans son emballage d'origine, dans un endroit sec et bien aéré, loin des rayons solaires. La température de stockage ne doit pas dépasser 20°C. 	
Emballage	<ul style="list-style-type: none"> • Fut : 230 kg 	
Important	<ul style="list-style-type: none"> • Les différentes quantités et types de charges affectent le temps de gel est durcissement de la résine. Donc , nous, vous recommandons de testé un échantillon en petites portions , déterminer les quantités de catalyseurs avant d'arriver au processus réel . 	

g.2. Résine polyester insaturée 2

Une deuxième résine polyester insaturée de couleur rose a été utilisée en tant que liant. Ses caractéristiques mécaniques sont regroupées dans le tableau II.6.



Figure II.8 : Résine polyester rose 2

Tableau II.6 : Caractéristiques de la résine polyester 2 [19]

Résine2	Type de sollicitation					
	Traction			Flexion		
	Contrainte (MPa)	Déformation (%)	M.de Young (GPa)	Contrainte (Mpa)	Déformation (%)	M. de Young (GPa)
	29.36±2.87	2.25±0.24	12.128±2.04	81.74±11.08	2.56±0.52	3.33±0.25

g.3. Le durcisseur

Une préparation est nécessaire pour utiliser la résine polyester dans la fabrication d'un matériau composite. Un additif (durcisseur amine) a été ajouté en raison de 2 % pour la résine 1 et 1.5 % pour la résine 2. Se dernier a été fournis sous forme de liquide dans des flacons hermétiques. Le tableau II.7 rassemble les caractéristiques du durcisseur utilisé.

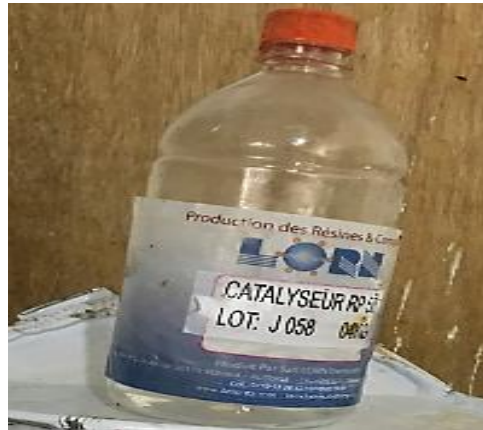


Figure II.9 : Durcisseur utilisé

Tableau II.7 : Caractéristiques du durcisseur [18]

Caractéristiques	Résultats
Etat	Liquide
Couleur	Incolore
Dangereux	Inflammable

II.2.2. Essais de caractérisation des charges minérales

II.2.2.1. Essai de caractérisation physique

a). Analyse granulométrique du gravier et du sable utilisés



Figure II.10 : Tamiseuse électrique.

L'essai, par voie sèche selon la norme NF P 18-560, [20] consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboites les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas :

- ✓ pour le sable : 2 – 1.4 - 1 - 0.710 - 0.500 - 0.355 - 0.250 -0.125 -0.063 mm.
- ✓ Pour le gravier : 8 – 5.6 – 4 – 3.55 – 3.35 – 2.8 – 2 mm.

b) Mesure de la masse volumique apparente

La masse volumique apparente est la masse d'un corps par unité de volume y compris les vides entre les grains. Cet essai est réalisé selon la norme (NF EN 1097-3) [21]. L'essai consiste à remplir un récipient vide de volume connu de matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité de matériau. On calcule la valeur de la masse volumique apparente par le rapport :

$$\rho_{app} = \frac{M}{V_{app}} \text{g/cm}^3 \dots\dots\dots(\text{II.1})$$



Figure II.11 : Masse volumique apparente du sable



Figure II.12 : Masse volumique apparente du gravier

c) Mesure de la masse volumique absolue

Il s'agit de mesurer la masse, par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains en versant une quantité connue de la poudre dans un liquide inerte, si la matière est hydraulique, sinon, dans de l'eau. La différence de volume rapporté à la masse de matériau nous donne la masse volumique absolue. Cet essai est réalisé selon la norme NF EN 1097-3

[21]. Cet essai est répété trois fois pour chaque matériau. La moyenne des essais constitue la masse volumique absolue.

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_{abs}} \text{ g/cm}^3 \dots\dots\dots (II.2)$$



Figure II.13 : Masse volumique absolue de gravier



Figure II.14 : Masse volumique absolu de sable

d) La porosité

A partir de la masse volumique absolue et apparente on a déduit la porosité qui a été défini par la formule suivante :

$$P = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) \times 100) \dots\dots\dots (II.3)$$

P : la porosité.

ρ_{abs} : masse volumique absolue.

ρ_{app} : masse volumique apparente.

f) Essai d'équivalent de sable

Le degré de propreté du sable est fourni par l'essai d'équivalent de sable selon la norme P 18-597[22]. L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du matériau à étudier. On lave l'échantillon selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- Hauteur h1 : sable propre + éléments fins.

- Hauteur h2 : sable propre seulement. On déduit l'équivalent de sable (ESV) qui, par convention :

$$ESV = \frac{h1}{h2} \times 100 \quad \dots\dots\dots (II.4)$$

Cet essai est répété trois fois. La moyenne des essais constitue la valeur d'équivalent de sable.



Figure II.15 : Essai d'équivalent de sable

II.3. Procédure expérimentale (Modes de préparation des bétons de résine polyester)

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



Figure II.16 : Séchage des charges minérales utilisées

Le tableau II.8 regroupe les bétons confectionnés et la teneur de chaque constituant.

Tableau II.8 : Désignation et dosage des constituants des bétons élaborés

	Sable	gravier	Filler				Résine
			Ciment	brique	Marbre	Fumée de silice	
E10%	24%	48%	10%	10%	10%	10%	18%
	25%	51%	10%	10%	10%	10%	14%
E20%	21%	41%	20%	20%	20%	20%	18%
	22%	44%	20%	20%	20%	20%	14%

Le processus de fabrication du béton se déroule comme suit :

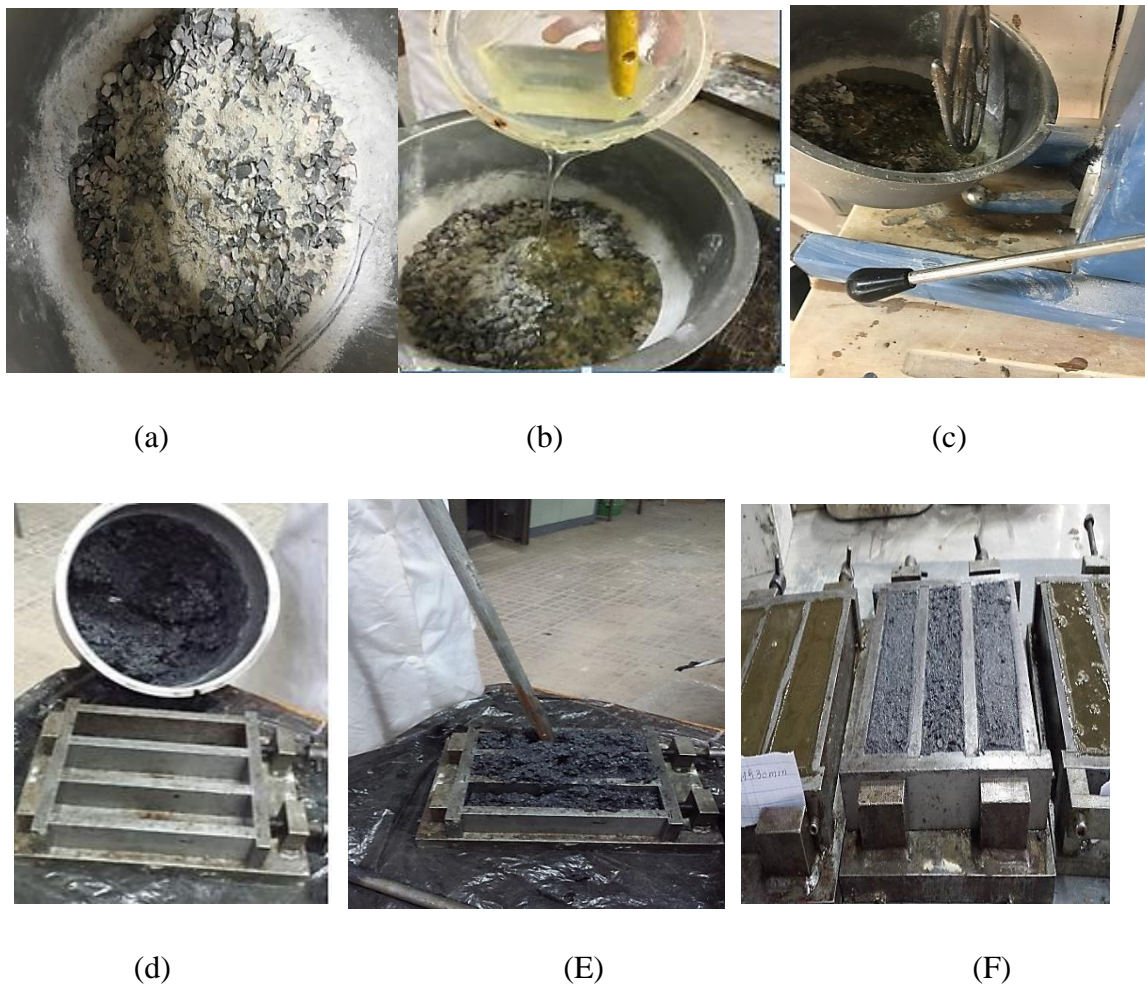


Figure II.17 : Etapes de préparation du béton polymère

- Mélange pendant 30 secondes de la résine polyester et du durcisseur en respectant les proportions massiques étudiées. Le malaxage se fait manuellement à l'aide d'une tige métallique.
- On prépare le mélange du sable, du gravier et poudre à l'état sec dans un récipient tout en respectant le dosage des constituants étudié.
- On ajoute au mélange déjà préparé séparément le polymère (résine +durcisseur) avec un taux du polymère nécessaire.
- Chaque introduction est suivie d'un malaxage pendant 2 minutes (afin d'éviter la cristallisation brusque) Ainsi, la phase de malaxage se termine ; on obtient alors du béton de résine à l'état frais et la phase de remplissage peut commencer.
- les moules prismatiques (4x4x16 cm³) sont remplis en trois couches pour assurer sa stabilité à l'état frais et éliminer les risques de ségrégation et chaque couche reçoit 30 coups (compactage) avec une barre métallique pendant 30 seconde. Cette phase s'achemine par l'arasement de la surface supérieure des éprouvettes avec une règlette selon mouvement de scie. (Vipulanandran el al. [23]) prouvent que le procédé de fabrication par compactage donne des propriétés mécaniques meilleures supérieures de 50% par rapport à la méthode de vibration.
- Après durcissement, le mélange est arrivé à certaine résistance et les échantillons sont prés à démouler et en fin conserver.

II.4. Essais effectués sur béton polymère

Plusieurs essais ont été effectués pour déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques du béton formulés de résine 1 et de résine 2.

II.4.1. Traitement thermique du béton polymère élaboré

Le temps de durcissement du béton polymère vari en fonction du type de résine utilisée. Pour la résine 2, on a utilisé 1.5% de durcisseur, le durcissement du béton est enregistré entre 3 à 4 heures. Alors que pour la résine 1, le durcissement du béton dépasse les 48 heures malgré l'utilisation de 2 % de durcisseur (valeur maximale selon la fiche technique). Une fois le durcissement est atteint, les éprouvettes sont démoulées. Avant de procéder aux tests, on laisse le béton pendant 7 jours à la température de laboratoire, ensuite on le met dans une étuve à une température de 70 ° C durant 24 heures. Ceci, afin d'assurer une polymérisation totale du mélange.

II.4.2. Etude de l'effet du traitement thermique sur la masse et le retrait des éprouvettes

Pour pouvoir refléter l'effet du traitement thermique qui a subi le béton polymère, nous avons étudié deux paramètres :

- peser les éprouvettes avant et après séchage à l'aide d'une balance.
- Mesurer le retrait libre des éprouvettes par réctromètre digital avant et après séchage..



Figure II.18 : Traitement thermique des bétons polymères

II.4.3. Retrait des bétons

Le retrait a été mesuré sur des éprouvettes de forme prismatique (4x4x16) cm³ selon la norme NA440 [24], après vingt quatre heures, les échantillons sont conservés à l'air libre et à la température de laboratoire jusqu'à l'échéance déterminée (7 et 8 jours). Les déformations ont été mesurées à l'aide d'un réctromètre digital à haute sensibilité. La figure II.21 présente la méthode utilisée pour la mesure du retrait.



Figure II.19: Mesure de retrait

II.4.4. Essai de porosité accessible à l'eau

Pour étudier la porosité accessible à l'eau des différents bétons formulés, nous avons utilisé deux méthodes : la première selon la norme Américaine ASTM C642 et la deuxième selon la norme Européenne NF EN18-459.

a) La porosité accessible à l'eau selon la norme ASTM C642 [25]

Il s'agit d'un essai qui consiste à :

Sécher l'échantillon à l'étuve à 105 °C, jusqu'à masse constante notée M_1 . Émerger l'échantillon dans une casserole d'eau. Chauffer jusqu'à ébullition, et ce pendant 5 heures.

Essuyer et peser l'échantillon, soit une masse M_2 . La porosité accessible à l'eau, exprimée en pourcentage, est définie alors comme :

$$P (\%) = \frac{(M_2 - M_1)}{(M_2)} \times 100 \dots \dots \dots (II.5)$$



Figure II.20 : Porosité accessible à l'eau

b) La porosité accessible à l'eau selon la norme NF EN18-459

La porosité accessible à l'eau a été mesurée par pesée hydrostatique, suivant la norme NF EN18-459 [26]. Les mesures ont été effectuées après conservation des éprouvettes (4x4x16) cm³ à l'air libre et à température ambiante jusqu'à l'échéance de 7 jours. Cette mesure simple, praticable sur une large variété de types de ciment, mortiers ou bétons, est considérée comme un paramètre de premier ordre dans l'évaluation et la prévision de la durabilité. C'est en effet un indicateur de la qualité du matériau. Elle est calculée grâce à la différence de masse entre un échantillon à l'état saturé.

Cette méthode (pesée hydrostatique) présentée dans la figure II.20 est certainement la plus simple parmi toutes celles permettant d'accéder aux différents indicateurs de durabilité, les spécifications proposées sont préférentiellement basées sur la porosité à l'eau. L'essai comprend les étapes suivantes [27]:

- **Pesée hydrostatique**

Cette pesée s'effectue en immergeant complètement l'éprouvette à l'aide d'une balance hydrostatique (précision 0.01g) pour obtenir M_{eau} de l'éprouvette immergée dans l'eau.

- **Pesée à l'air**

Après la pesée à l'eau, il faut essuyer rapidement superficiellement l'éprouvette avec un chiffon sec sans toutefois retirer l'eau des pores. Ensuite peser immédiatement l'éprouvette à l'air à 0.01 g près. On obtient de cette manière, la masse M_{air} de l'éprouvette imbibée. Pour mieux caractériser un mortier, l'essai est réalisé sur 3 échantillons.

- **Pesée à sec**

S'effectue par étuvage de l'échantillon à une température de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à stabilisation de la masse, c'est-à-dire lorsque deux pesées consécutives espacées de 24 heures ne diffèrent pas de plus de 0.05%. La masse ainsi déterminée est la masse de l'éprouvette sèche M_{sec} . On utilise la formule suivante pour calculer la porosité accessible à l'eau P :

$$P = \frac{(M_{air} - M_{sec})}{(M_{air} - M_{eau})} \dots\dots\dots (II.6)$$



Figure II.21 : Balance hydrostatique

II.4.5. Essais de résistance mécanique

L'essai consiste à étudier les résistances à la flexion et à la compression d'éprouvettes de béton [28].

Si F_f est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$R_f = \frac{(1.5.F_f.L)}{(b^3)} \dots\dots\dots(II.7)$$

Cette contrainte est appelée « contrainte à la flexion ». Compte tenu des dimensions b et L .

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression comme indiquée sur la figure. Si F_c est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$F_c = \frac{F_c}{b^2} \dots\dots\dots(II.8)$$

Cette contrainte est appelée « contrainte à la compression. »



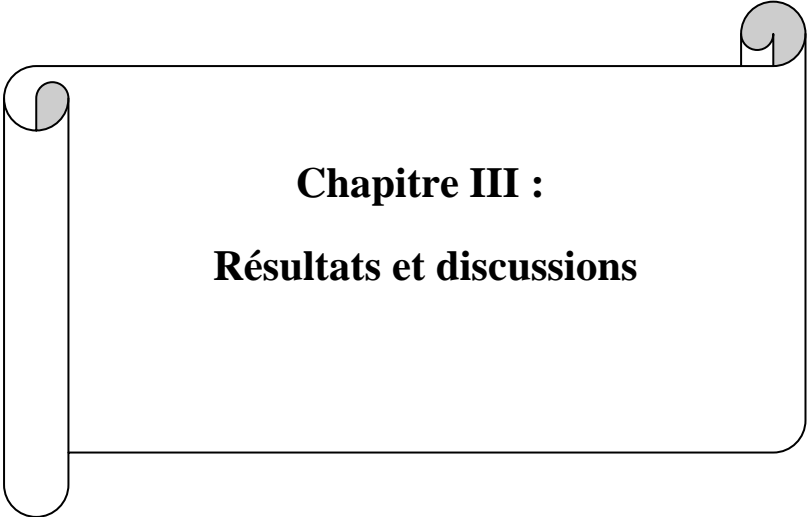
Figure II.22 : Essai de résistance à la flexion 3 points



Figure II.23 : Essai de résistance à la compression

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons traité la mise en œuvre et la caractérisation d'un matériau composite à matrice thermodurcissable. Différents tests sur les matières premières, suivi par la procédure de préparation des bétons polymères. De plus, les méthodes de caractérisations mécanique (flexion trois points, compression), physique (porosité accessible à l'eau, Retrait libre des bétons) sont données en détail.



Chapitre III :
Résultats et discussions

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats des essais menés sur le béton polymère à base de résine débuté d'une analyse des propriétés physiques de différentes charges utilisées dans la présente étude. Les résultats des différents essais de caractérisation seront également représentés, discutés et comparés entre eux à savoir, la caractérisation physique qui consiste à la porosité accessible à l'eau et au retrait libre, la caractérisation mécanique qui consiste aux analyses de la résistance à la flexion et de la résistance à la compression des micro-bétons polymères élaborés.

III.2. Caractéristiques des matériaux utilisés

III.2.1. Essais de caractérisation physique

a) Analyse granulométrique du gravier et du sable utilisés

La figure III.1 et la figure III.2 représentent les analyses granulométriques du gravier et du sable utilisés dans les formulations.

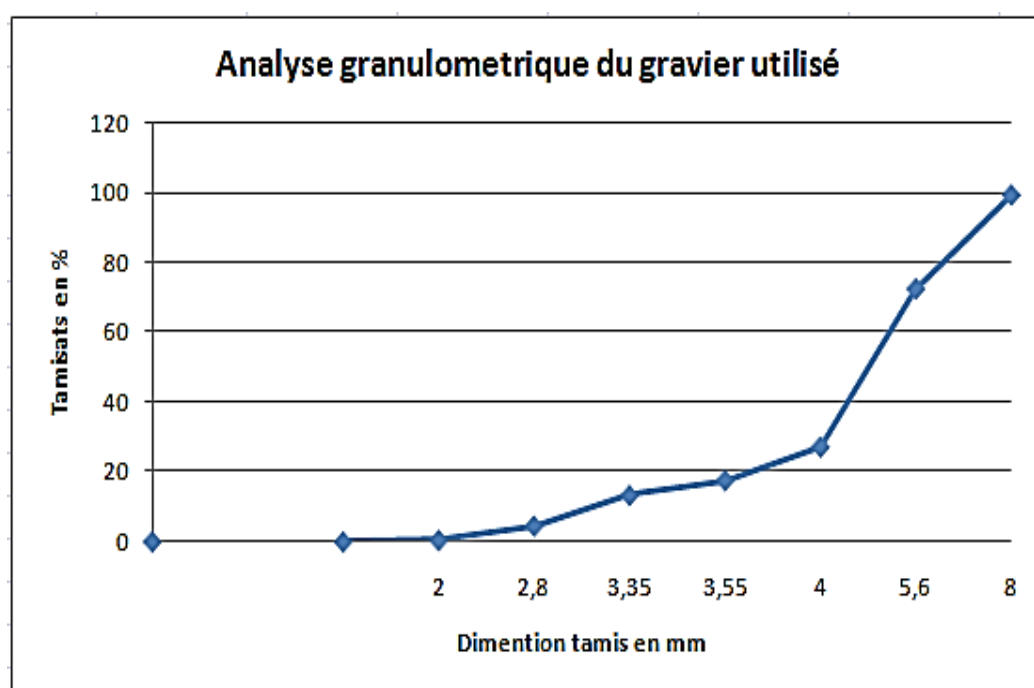


Figure III.1: Courbe d'analyse granulométrique de gravier

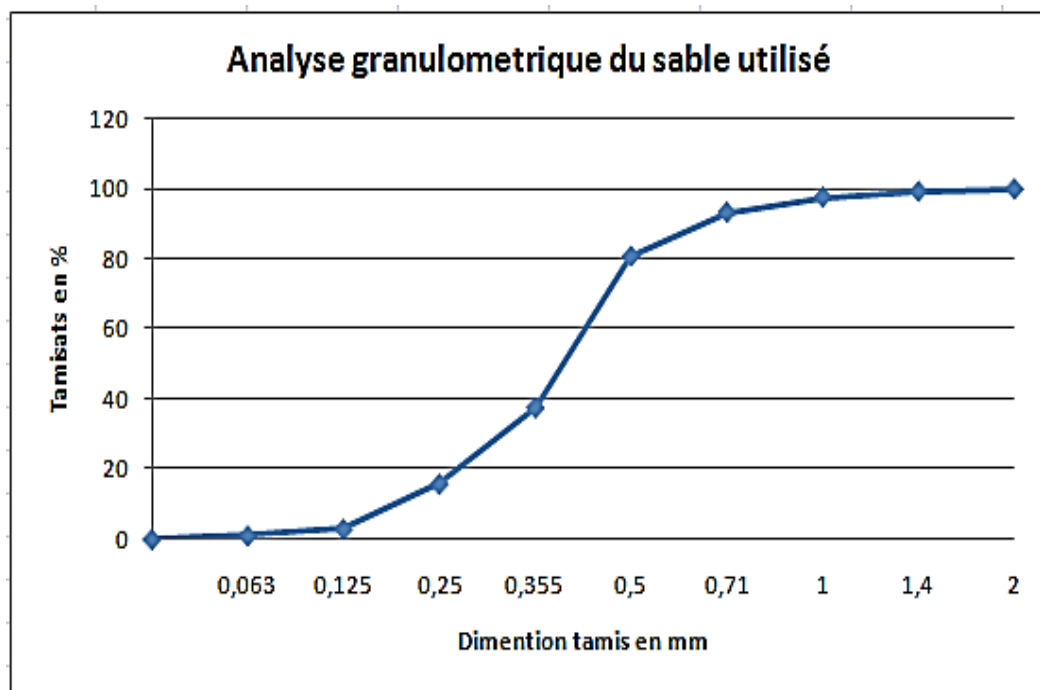


Figure III.2 : Courbe d'analyse granulométrique du sable utilisé

Ces courbes se caractérisent par une évolution monotone croissante et continue indiquant que les fractions utilisées se distinguent par une granularité homogène les prédestinant à l'utilisation à juste titre dans la composition des bétons de résine.

b) Mesure de la masse volumique apparente et absolue

Les résultats de la mesure de la masse volumique apparente et absolue du gravier et du sable utilisés sont représentés dans les tableaux III.1 et III.2 respectivement.

Tableau III.1 : Masse volumique apparente des granulats

Caractéristiques	Unité	Sable	Gravier 3/8
Masse volumique apparente	g/cm ³	1.42	1.33

Tableau III. 2: Masse volumique absolue des granulats

Caractéristiques	Unité	Sable	Gravier 3/8
Masse volumique absolue	g/cm ³	2.78	2.60

Les valeurs de la masse volumique apparente et absolue du gravier et du sable trouvées correspondent aux valeurs standards pour ces types de matériaux.

c) La porosité

La porosité du sable et du gravier a été calculée à partir des masses volumiques (absolue et apparente) de ces derniers. Le tableau III.3 expose les résultats de la porosité trouvés.

Tableau III.3 : Porosité des granulats utilisés

Caractéristiques	Unité	Sable	Gravier 3/8
Porosité	%	48.92	48.85

D'après les résultats trouvés, on peut dire que le gravier et le sable utilisés dans la présente étude ont presque la même porosité.

d) Essai d'équivalent de sable

Le degré de propreté du sable défini selon la norme P 18-597 est donné dans le tableau III.4.

Tableau III.4 : Propreté de sable

Caractéristiques	h_1 (cm)	h'_2 (cm)	ESV (%)	Qualité du sable
La propreté(ESV)	4.3	3.7	86.04	Sable très propre

En se basant sur les valeurs préconisées par la même norme pour l'équivalent de sable ($ESV \geq 85$), nous pouvons dire que notre sable est un **Sable très propre** : l'absence presque totale de fines argileuses.

III.3. Essais effectués sur béton polymère

Pour caractériser notre béton polymère, plusieurs essais à l'état durci ont été effectués.

III.3.1. Etude de l'effet du traitement thermique sur la masse et le retrait des éprouvettes

Après 7 jours de conservation à l'air libre, les éprouvettes de béton polymère ont subi un traitement thermique (séchage à l'étuve pendant 24 heures à une température de 70°C) pour assurer une polymérisation totale du béton, et pour pouvoir refléter l'effet de ce traitement thermique sur notre béton polymère, deux paramètres ont été étudiés dans cette recherche.

a) Etude de la variation de masse avant et après traitement thermique.

Les variations de masse engendrées par le traitement thermique des éprouvettes de béton polymère sont représentées dans les tableaux III.5 et III.6 pour la résine 1 et la résine 2 respectivement.

Tableau III.5: Variations des masses avant et après traitement thermique (Résine 1)

	M1 : Avant étuvage (g)	M2 : Après étuvage (g)	M2 – M1 (g)
₁ B _{10%} 14%	573	573	0
₁ B _{20%} 18%	518.66	518.33	-0.33
₁ C _{20%} 18%	527.00	526.10	-0.90
₁ F _{10%} 18%	539.00	539.00	0
₁ M _{10%} 18%	518.66	518.00	-0.66
₁ M _{20%} 14%	577.66	577.66	0

Il ressort de l'examen du tableau III.5 que les éprouvettes préparées avec 14 % de résine 1 n'ont pas enregistré des variations de masse, et de même pour les éprouvettes préparées avec 10 % de fumée de silice malgré que le pourcentage de résine est de 18%. Ce phénomène est expliqué par le fait que ces échantillons ont la même consistance et qu'aucun excès de résine n'est remarqué. Alors que les autres échantillons (₁B_{20%,18%} ; ₁C_{20%, 18%} et ₁M_{10% ,18%}) ont marqué les diminutions de masses suivantes (0.33 ; 0.90.et 0.66 g) respectivement. Ces diminutions sont dues probablement à la partie supplémentaire de la résine 1 influencée par le traitement thermique.

Tableau III.6 : Variations des masses avant et après traitement thermique (Résine 2)

	M1 : Avant étuvage (g)	M2 : Après étuvage (g)	M2 –M1 (g)
₂ B _{10%} 18%	573.00	573	0
₂ C _{10%} 18%	555.33	554.83	- 0.5
₂ M _{10%} 18%	376.33	376.33	0

La lecture des résultats du tableau III.6 indique que les échantillons de béton préparés avec 18 % de résine 2 non pas changés de masse malgré leurs séchages. Ceci peut être expliqué par la juste quantité de résine (pas d'excès remarqué de résine).

b) Mesurer le retrait libre des éprouvettes avant et après séchage.

Le deuxième paramètre étudié est le retrait. Ce paramètre à été mesuré avant et après traitement thermique. Vu le manque des plots utilisés (petites pièces qui seront collées sur les éprouvettes), nous avons limité la mesure de retrait à deux échantillons seulement (échantillons contenant 10% marbre et 10% ciment) et nous avons utilisé trois éprouvettes pour chaque échantillon. Les résultats trouvés sont regroupés dans le tableau III.7.

Tableau III.7: Résultats de retrait des bétons à (7 et 8 jours) pour béton formulé de résine 2

	${}^2M_{10\%}$ 18%			${}^2C_{10\%}$ 18%		
	Ep 1	Ep 2	Ep 3	Ep 1	Ep 2	Ep 3
7jours	-2.339	-0.279	-0.525	-0.255	-0.136	-0.751
8 jours	-2.355	-0.289	-0.536	-0.249	-0.137	-0.752
Retrait	0.016	0.010	0.011	-0.006	-0.001	-0.001
Moyenne	0.0123 $\mu\text{m/m}$			0.003 $\mu\text{m/m}$		

D’après le tableau III.7, on remarque que pour le même pourcentage de poudre, le même type et le même pourcentage de résine, l’échantillon préparé avec 10 % de ciment à subit un retrait inférieur à celui de l’échantillon préparé avec 10% de marbre. Pour expliquer ce comportement.

III.3.2. Essai de porosité accessible à l’eau

Pour étudier la porosité accessible à l’eau des différents bétons formules, nous avons utilisé deux méthodes : la première selon la norme Américaine ASTM C642 et la deuxième selon la norme Européenne NF EN18-459.

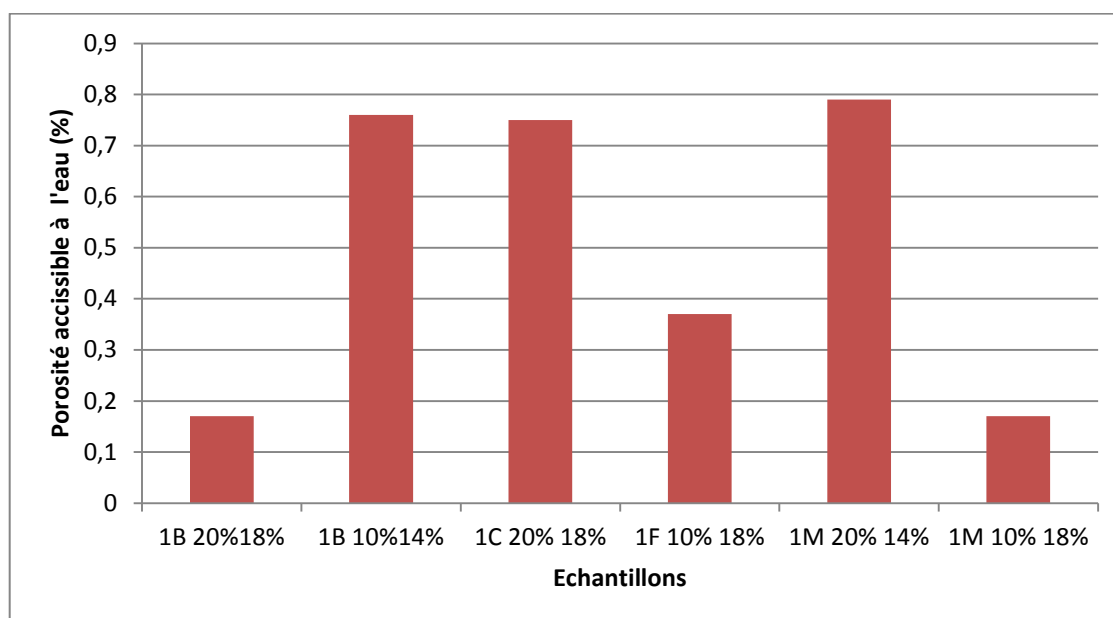
a) La porosité accessible à l’eau selon la norme ASTM C642

Après séchage des échantillons puis leurs ébullitions dans l’eau, on a constaté que les éprouvettes ont perdu leurs bruyances (absence de la couche superficielle de résine des éprouvettes). Les résultats trouvés pour les bétons de résine 1 et de résine 2 sont regroupés dans les tableaux III.8 et III.9 respectivement.

Tableau III.8 : Résultat de porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine1

	M1 : masse sèche du matériau (g)	M2 : masse après ébullition (g)	$\frac{M2 - M1}{M2}$ (%)
₁ B 10% 14%	578	579	0.17
₁ B 20% 18%	521	525	0.76
₁ C 20% 18%	526	530	0.75
₁ F 10% 18%	541	543	0.37
₁ M 10% 18%	252	254	0.79
₁ M 20% 14%	583	584	0.17

D'après les résultats du tableau III.8, on remarque d'une manière générale que le taux de poudre ajouté n'a aucune influence sur la porosité. On remarque aussi que les échantillons préparés avec 14 % de résine 1 ont présenté la même porosité (0.17%). Alors que les bétons confectionnés avec 18% de résine1 présentent une augmentation de masse importante par rapport aux échantillons préparés avec 14 % de la même résine. Les augmentations constatées, variant entre 3.64, 3.47 et 3.41% pour les échantillons préparés avec 10% de marbre, 20 % de brique et 20% de ciment. Cette augmentation de masses des éprouvettes se traduit par l'augmentation de la porosité.

**Figure III.3**: Porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine1

Pour les éprouvettes préparées avec la résine 2, on a remarqué que l'échantillon préparé avec 10 % de ciment et 18 % de résine 2 n'a pas changé de masse après ébullition, alors que les échantillons préparés avec 10 % de marbre et 10% de brique ont enregistré respectivement 0.18 et 0.34% de porosité. L'explication de ces variations de la porosité nécessite d'autres essais et d'autres reconnaissances.

Tableau III.9 : Porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine 2

	M1 : masse sèche du matériau (g)	M2 : masse après ébullition (g)	$\frac{M2 - M1}{M2}$ (%)
${}^2B_{10\%}$ 18%	582	584	0.34
${}^2C_{10\%}$ 18%	552	552	0
${}^2M_{10\%}$ 18%	569	570	0.18

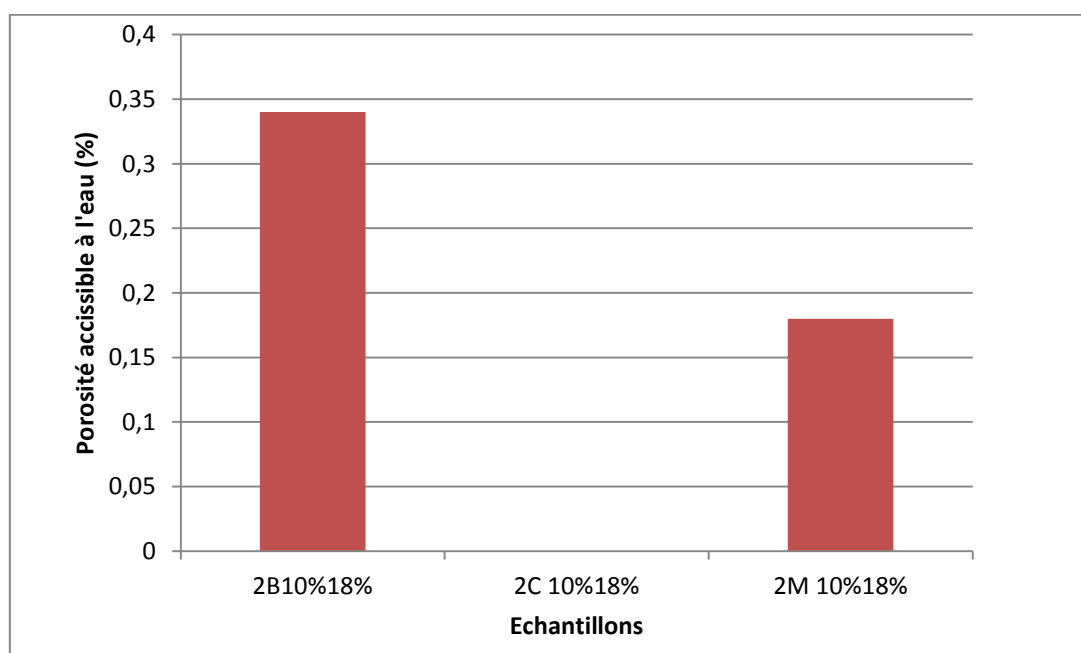


Figure III.4 : Porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine2

b) La porosité accessible à l'eau selon la norme NF EN18-459

Les résultats de l'essai de mesure de la porosité accessible à l'eau par pesées hydrostatique effectué selon la norme NF EN18-459 réalisé sur les éprouvettes confectionnées avec la résine 1 et contenant 10 % et 20% de poudre sont donnés dans le tableau III.10 et la figure III.5.

Tableau III.10 : Résultat de porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine 1 (pesée hydrostatique)

	M sous l'eau	M a l'air	M sèche	$P (\%) = \frac{(M_{air} - M_{sec})}{(M_{air} - M_{eau})}$
₁ B 10% 14%	325.6	576.9	576.7	0.08
₁ C 20% 18%	298.4	526.0	525.7	0.13
₁ F 10% 18%	290.1	540.6	541.0	0.16
₁ M 10% 18%	141.8	256.5	256.0	0.44
₁ M 20% 14%	328.2	582.5	581.6	0.35

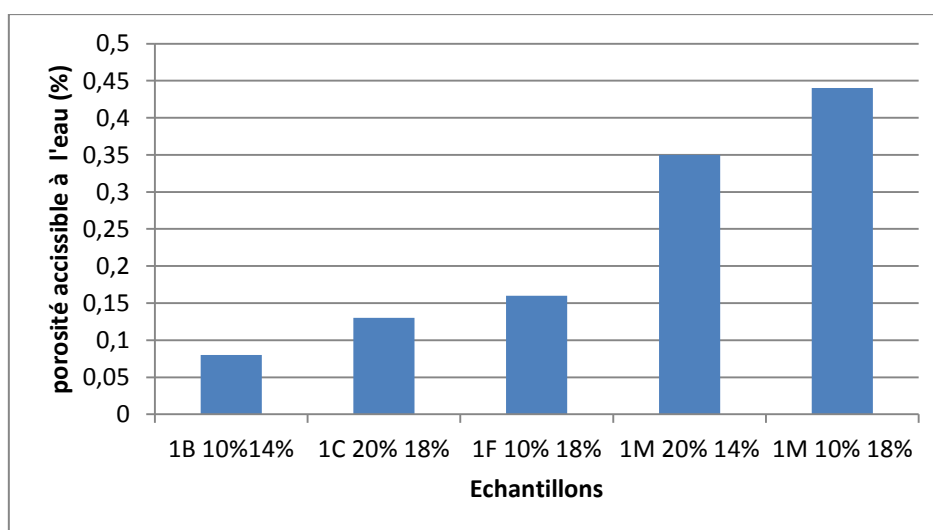


Figure III.5 : Porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine 1 (pesée hydrostatique)

Pour les bétons de résine 1, les résultats trouvés montrent clairement que les échantillons contenant la poudre de brique, de ciment et de fumée de silice sont moins poreux par rapport aux échantillons contenant la poudre de marbre. On remarque aussi que l'échantillon préparé avec 20% de marbre (14% de résine) est plus dense que celui préparé avec 10% de la même poudre et 18% de résine.

Pour les bétons de résine 2, les résultats de porosité accessible à l'eau sont regroupés dans le tableau III.11 et illustrés dans la figure III.5

Tableau III.11 : Résultat de porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine 2 (pesée hydrostatique)

	$M_{\text{sous l'eau}}(\text{g})$	$M_{\text{a l'air}}(\text{g})$	$M_{\text{sèche}}(\text{g})$	$P(\%) = \frac{(M_{\text{air}} - M_{\text{sec}})}{(M_{\text{air}} - M_{\text{eau}})}$
$2B_{10\%}$ 18%	317.5	581.4	581.1	0.11
$2C_{10\%}$ 18%	305.3	550.5	549.8	0.29
$2M_{10\%}$ 18%	310.5	567.7	567.2	0.19

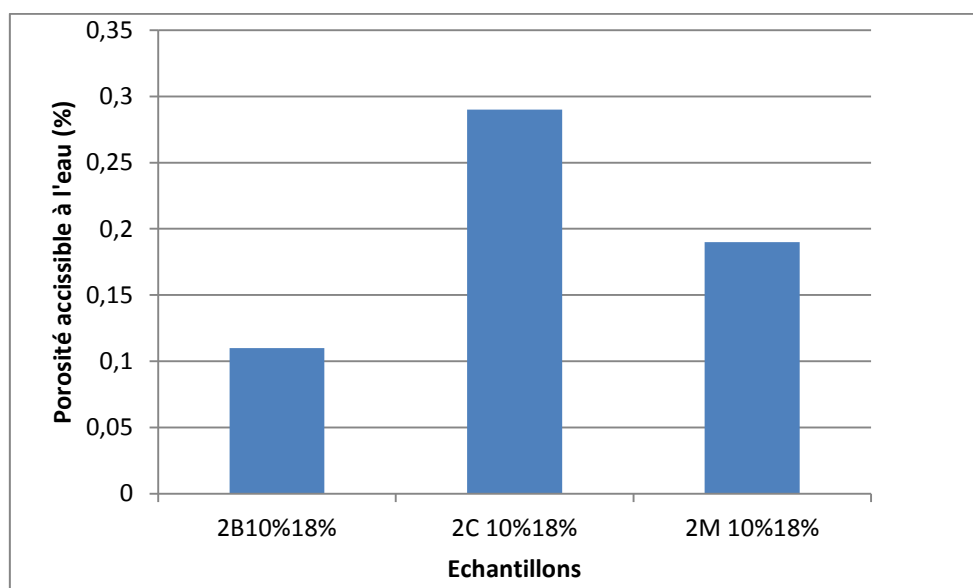


Figure III.6 : Porosité accessible à l'eau des bétons formulés à base de résine 2 (pesée hydrostatique)

La porosité accessible a été mesurée par pesée hydrostatique, suivant la norme NF EN18-459. Les mesures trouvées après 8 jours de conservation sont représentées dans le tableau III.11. et la figure III.6. D'après ces derniers, on a trouvé que :

Pour les mêmes taux des poudres (10%) et les mêmes taux de résine 2 (18%), la porosité accessible à l'eau présente une diminution linéaire en fonction du type des poudres employé.

Ces diminutions ont l'ordre suivant : $P_{\text{ciment}} > P_{\text{marbre}} > P_{\text{brique}}$.

III.4. Essais de résistance mécanique

Pour étudier l'effet du type de résine, l'effet du pourcentage de résine, l'effet des différentes poudre des déchets généralement recyclées dans béton et pour étudier l'influence de présence de la matière fine dans le béton polymère, nous avons formulé des bétons polymères avec les variantes suivantes : deux types de résine (résine 1 et résine 2), deux pourcentages de résine (14 et 18 %), plusieurs poudres (brique, marbre, fumée de silice et ciment) et deux pourcentages des poudres (10 et 20%).

III.4.1. Essai de résistance mécanique à la flexion

Pour les différents bétons de résine élaborés, on a remarqué que la propagation de la fissuration en flexion se fait au niveau de l'appui central. Cette rupture est accompagnée du bruit de la cassure et les deux morceaux de l'éprouvette rompue sont projetés hors du dispositif.

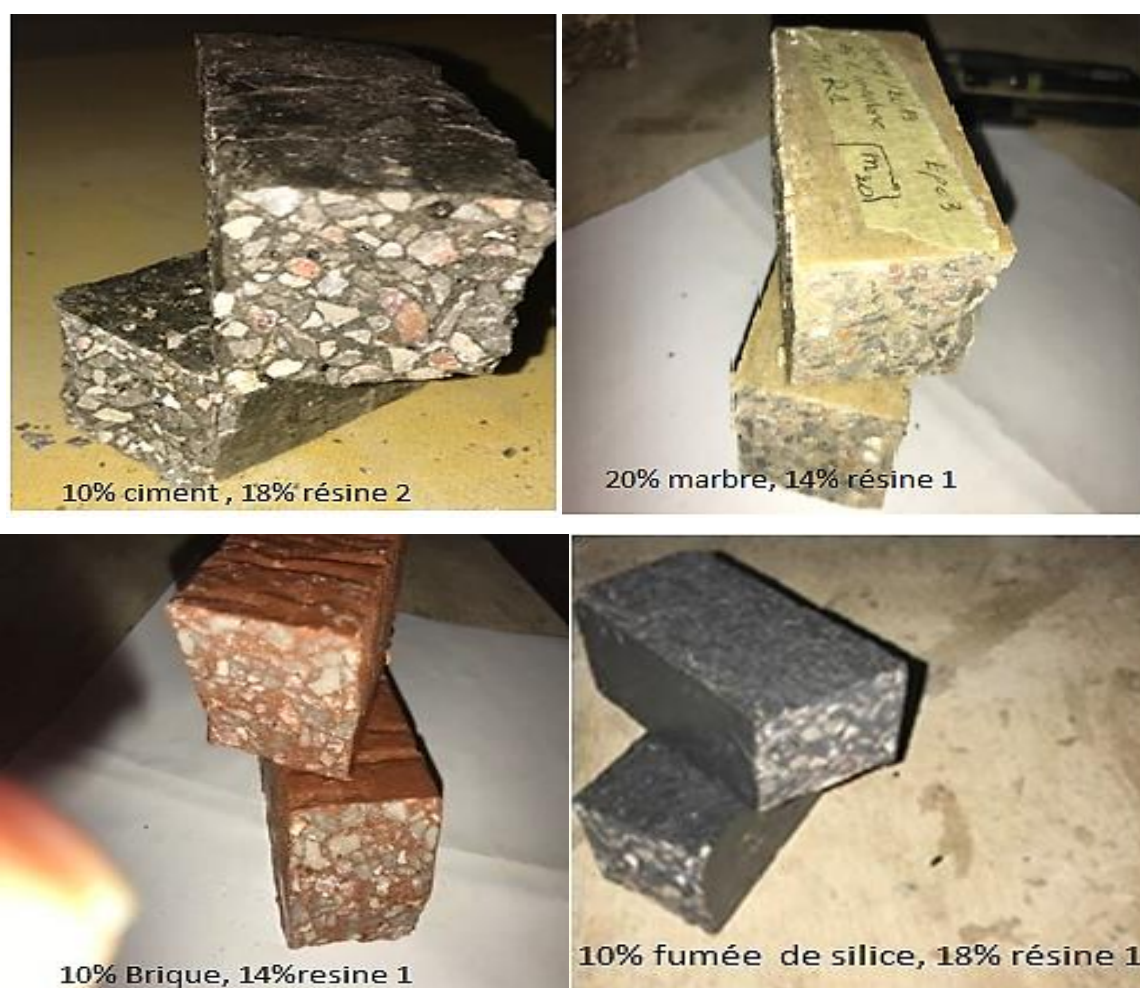


Figure III.7 : Mode de rupture en flexion des éprouvettes de béton polymère

III.4.1.1 Résistance à la flexion des bétons de résine1.

Les résultats de l’essai de résistance à la flexion sont représentés dans le tableau suivant.

Tableau III.12 : Résultat de résistance à la flexion à 8 jours formulé de résine1

	1B 10% 14%	1C 20% 18%	1F 10% 18%	1M 10% 18%	1M 20% 14%
Résistance à la flexion à 8 jours (Mpa)	21.63	16	16.36	15.83	19.98

D’après le tableau III.12, on constate que la résistance à la flexion est comprise entre 15.83 et 21.63 Mpa. Les meilleurs résistances sont données par les échantillons contenant 14 % de résine 1 (1B 10% ; 14% et 1M 20% ; 14%) et il semble que les pourcentages de poudres n’influence pas le développement de la résistance.

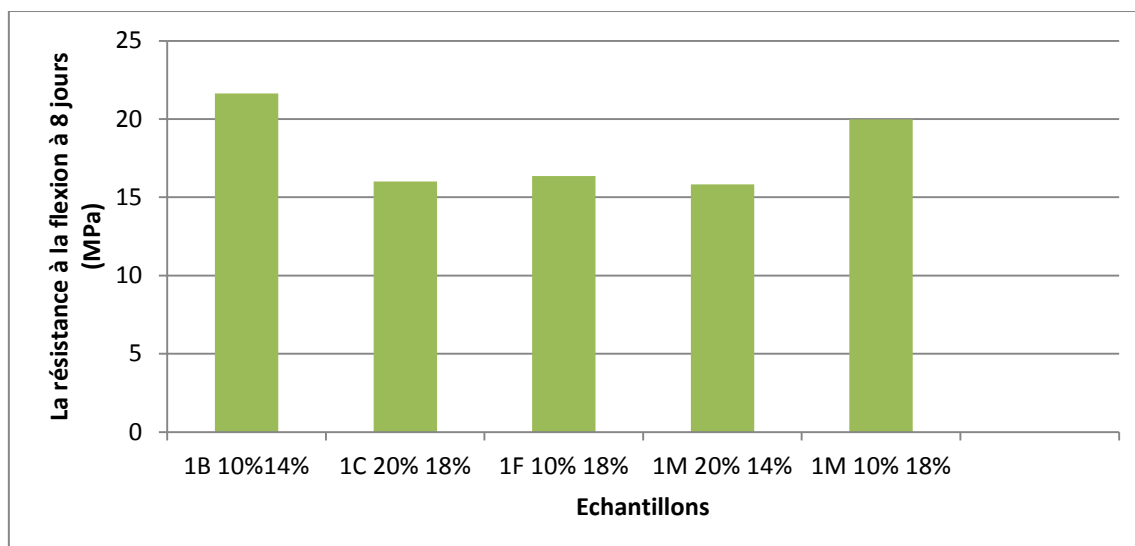


Figure III.8 : Résistance à la flexion à 8 jours des poudres

III.4.1.2.Essai de la résistance à la flexion des bétons de résine 2

Pour pouvoir refléter l’effet du type de poudre sur le comportement mécanique des différents bétons polymères, nous avons fixé le pourcentage de la résine 2 ainsi que le pourcentage de poudre (10%). Après 7 jours de conservation à l’air libre et 24 heures à l’étuve (70°C), on a obtenu les résultats suivants.

Tableau III.13 : Résultats de résistance à la flexion à 8 jours des bétons formulés de résine 2

	2B 10% 18%	2C 10% 18%	2M 10% 18%
Résistance à la flexion à 8 jours (MPa)	23.08	17.71	21.79

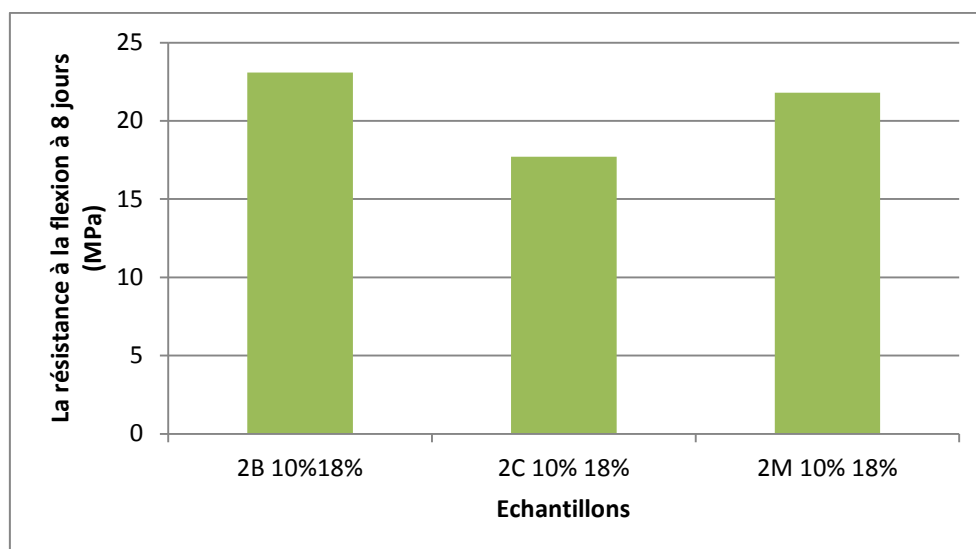
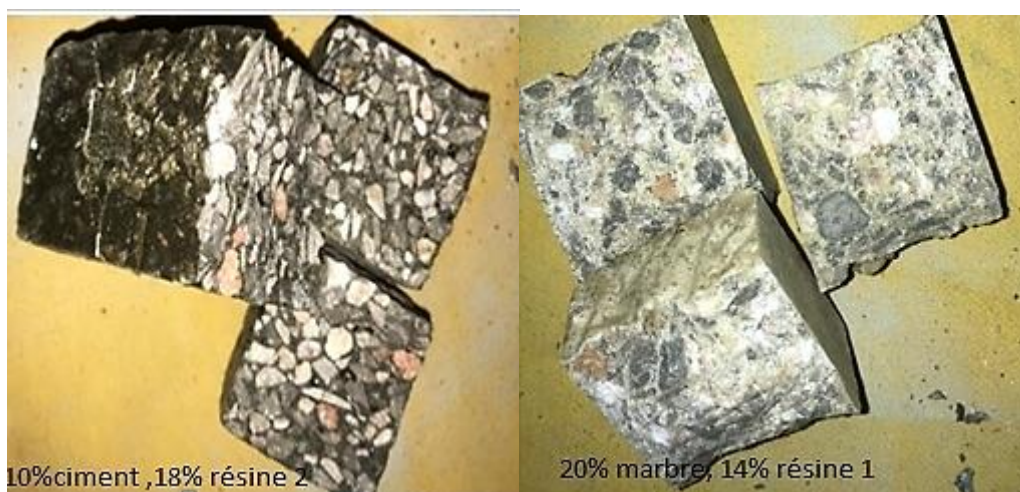


Figure III.9: Résistance à la flexion à 8 jours des bétons formulés de résine 2

Pour 18% de résine 2 on a comparée la résistance à la flexion des bétons polymères formulée avec 10% des poudres, on constaté que l'échantillon 10% ciment enregistre la valeur la plus faible par rapport aux autres bétons, alors que l'échantillon 10% de brique enregistre la valeur la plus élevée ($R_{f \text{ brique}} > R_{f \text{ marbre}} > R_{f \text{ ciment}}$).

III.4.2. Essai de la résistance à la compression

Dans le cas de la compression, On assiste beaucoup plus à des craquelures éparpillées un peu partout dans le corps de la demi-éprouvette. Ce mécanisme semble être le même pour les différents bétons de résine fabriqués.



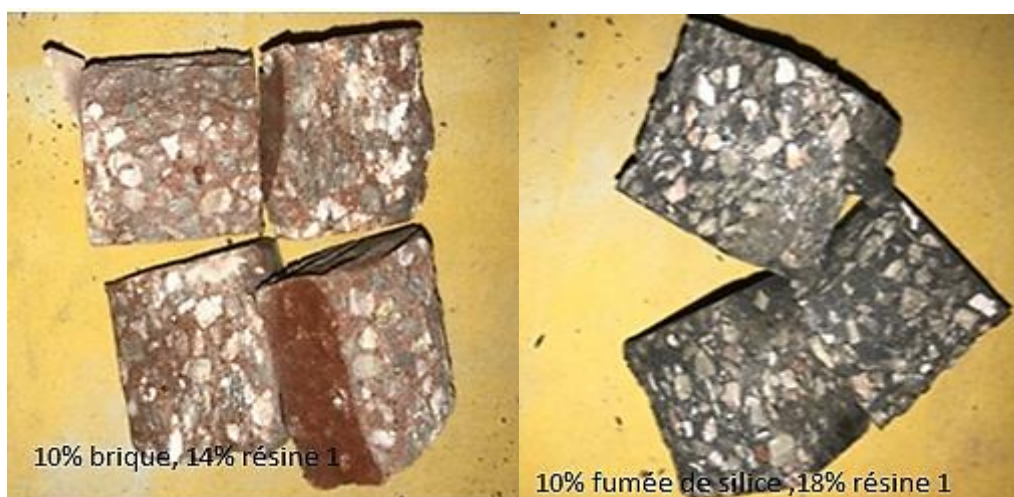


Figure III.10 : Mode de rupture en compression des éprouvettes de béton polymère

III.4.2.1. Résistance à la compression des bétons de résine1

Tableau III.14: Résultat de résistance à la compression à 8 jours formulé de résine1

	1B 10% 14%	1C20% 18%	1F 10% 18%	1M 10% 18%	1M20% 14%
Résistance à la compression à 8 jours (MPa)	53.32	48.67	98.20	88.715	98.70

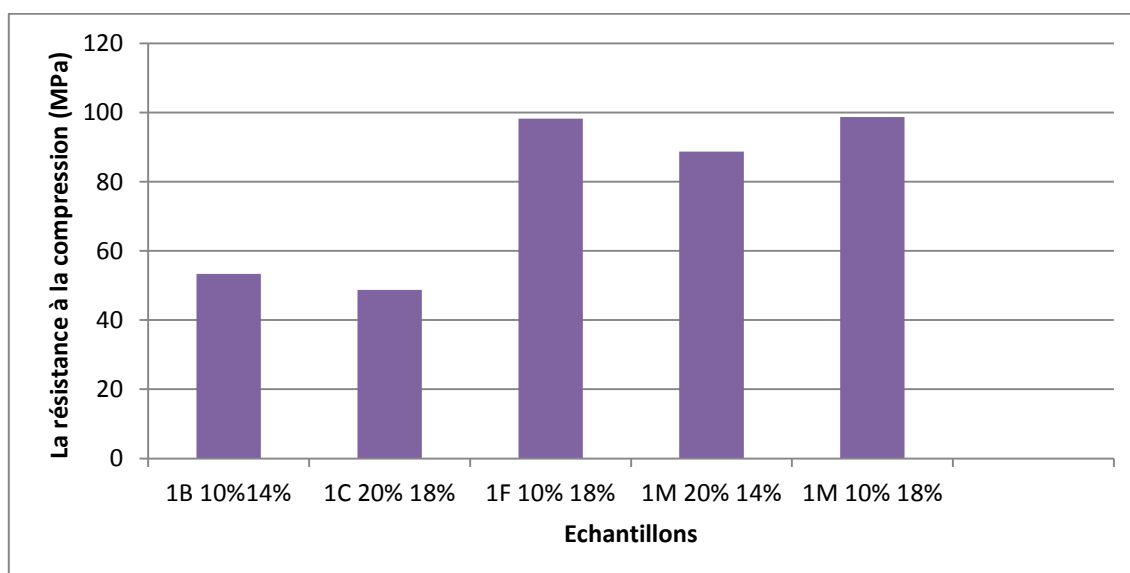


Figure III.11: Résultats de la résistance à compression à 8 jours des bétons formulés de résine 1

Après L'étude de la variation de la résistance à la compression des différents taux de résine polymère1 (14% et 18%) et des différents taux des poudres (10% et 20%), Nous avons

constaté que pour le même taux de résine (18%) et le même taux de poudre (10%), la meilleure valeur de résistance à la compression est obtenue pour la poudre de fumée de silice (98.20 Mpa). Alors que pour le même pourcentage de résine (14%), on a trouvé que l'échantillon préparé avec 20% de marbre a donné une résistance largement supérieure à celle donnée par l'échantillon préparé avec 10% de poudre de brique (98.70 Mpa contre 53.32 Mpa). Ce comportement montre que plus le pourcentage de la matière fine est important plus les résistances mécaniques de béton de résine augmente (augmentation de densité du matériau).

III.4.2.2. Résistance à la compression des bétons de résine 2

Tableau III.15: Résultat de résistance à la compression à 8 jours formulé de résine 2

Echantillons	$2B_{10\%18\%}$	$2C_{10\%18\%}$	$2M_{10\%18\%}$
Résistance à la compression à 8 jours (MPa)	95.60	51.31	92.97

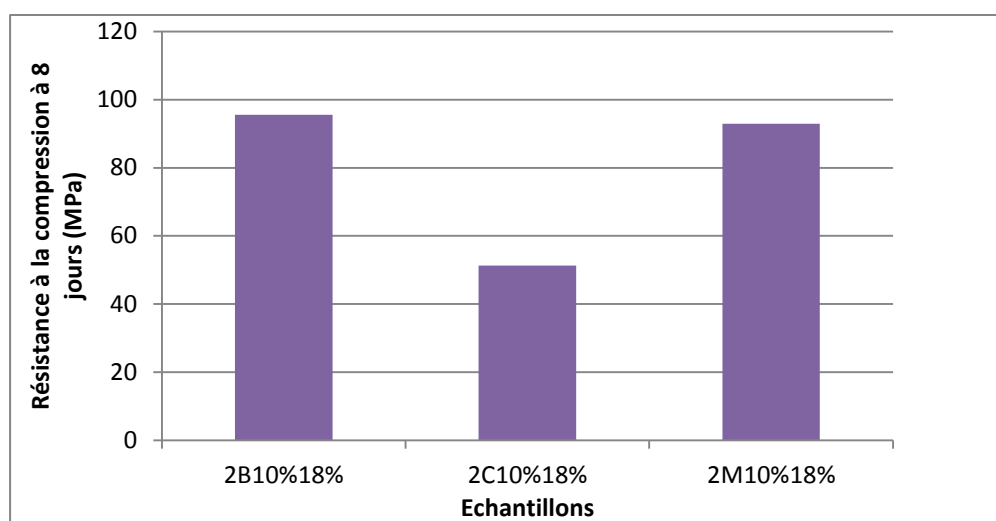


Figure III.12: Résistance à la compression à 8 jours des bétons formulés de résine 2

Pour le même pourcentage des poudres (10%) et le même pourcentage de résine 2 (18%) on a trouvé que la résistance à la compression des bétons polymères varie d'un échantillon à un autre donnant le même ordre de croissance que la résistance à la flexion ($R_{c \text{ ciment}} < R_{c \text{ marbre}} < R_{c \text{ brique}}$). Ces résultats sont en accord avec ceux de la porosité accessible à l'eau : $P_{\text{ciment}} > P_{\text{marbre}} > P_{\text{brique}}$. Pour les mêmes échantillons.

III.5. Synthèse des résultats acquis

Dans ce qui suit, nous synthétisons l'ensemble des résultats des différents essais réalisés.

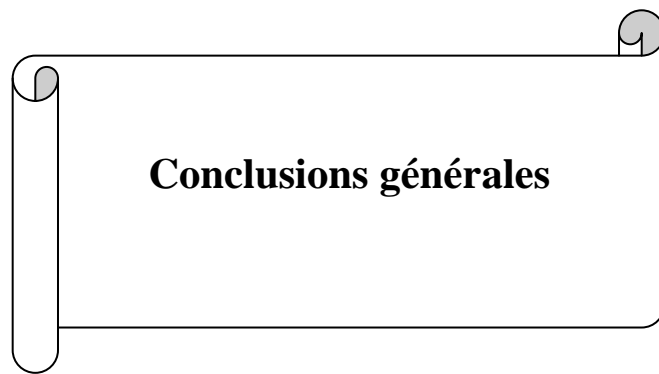
- Les bétons formulés sont peu influencés par le traitement thermique.
- La porosité varie d'un échantillon à un autre mais elle reste plus faible que celle du béton ordinaire (environ 9%).

Pour les bétons formulés de la résine 1

- La meilleure résistance à la flexion est donnée par l'échantillon $1B_{10\% ; 14\%}$ (21.69 Mpa).
- La meilleure résistance à la compression est donnée par l'échantillon $1M_{20\% ; 14\%}$ (98.70 Mpa).

Pour les bétons formulés de la résine 2

- La meilleure résistance à la flexion est donnée par l'échantillon $2B_{10\% ; 18\%}$ (23.08 Mpa).
- La meilleure résistance à la compression est donnée par l'échantillon $2B_{10\% ; 18\%}$ (95.90 Mpa).



Conclusions générales

CONCLUSIONS GENERALES

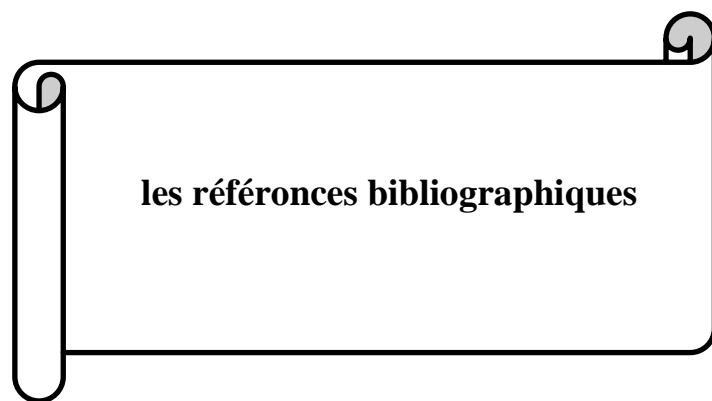
Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au laboratoire de génie civil et hydraulique de l'université 8 mai 1945, Guelma.

L'objectif visé dans cette étude est de caractériser un béton polymère obtenu par malaxage des charges minérales sable, gravier 3/8, des poudres (poudre de brique, et poudre de marbre, poudre de fumée de silice et poudre de ciment) et de résine.

Après une série d'essais de caractérisation physique et mécanique, nous avons tiré les conclusions survivantes:

1. Le traitement thermique des bétons polymères formulés à une influence très faible sur leurs propriétés physiques (variation de masse et retrait).
2. La porosité accessible à l'eau varie d'un échantillon à un autre mais elle reste toujours plus faible par rapport à celle d'un béton ordinaire.
3. Pour les bétons formulés à base de la résine 1, la meilleure résistance à la flexion est donnée par l'échantillon $1B_{10\% ; 14\%}$ (21.69 Mpa) et la meilleure résistance à la compression est donnée par l'échantillon $1M_{20\% ; 14\%}$ (98.70 Mpa).
4. Pour les bétons formulés de la résine 2, la meilleure résistance à la flexion est donnée par l'échantillon $2B_{10\% ; 18\%}$ (23.08 Mpa) et la meilleure résistance à la compression est donnée par l'échantillon $2B_{10\% ; 18\%}$ (95.90 Mpa).
5. Le travail avec la résine 2 est plus souple, les résultats des différents essais sont en accordances et les performances sont largement améliorées.

Finalement, la composition optimale proposée pour l'élaboration d'un béton polymère performant doit contenir 18% de résine 2 et 10% de poudre de brique.

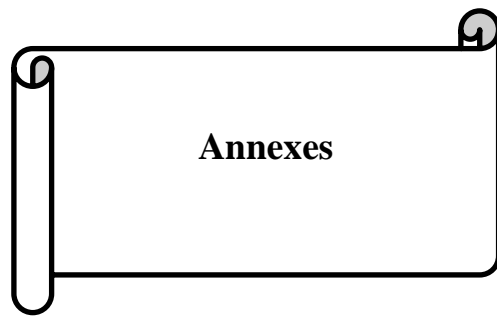


les références bibliographiques

Les références bibliographiques

1. **Cherchari S., (2016).** Étude comparative du comportement d'un béton polymère à matrice organique thermodurcissable et thermoplastique, Génie Civil, Université Mohamed Boudiaf - M'sila
2. **[http://lebeton.free.fr/types de beton.html#BPE](http://lebeton.free.fr/types_de_beton.html#BPE)**(consulter le 28/01/2019 14 :15).
3. **Latelli H., (2017).** Etude du comportement mécanique du béton polymère renforcé par des fibres végétales et déchets minéraux, Génie Civil, Université Mohamed Boudiaf - M'sila
4. **Oussama E., (2012).** Optimisation de la formulation et de tenue aux hautes températures d'un béton à base d'époxyde, thèse de doctorat, université de Tunis EL Manar
5. **Baali H., (2014).** Etude de l'effet du traitement chimique des fibres de palmier dattier sur Le comportement mécanique du béton polymère, Génie Civil, université de M'sila
6. **Blaga A., (1975).** Les thermoplastiques, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches Canada, Digest de la construction au Canada 158F, Ottawa
7. **Blaga A., (1975).** Les plastiques thermodurcissables, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches Canada, Digest de la construction au Canada 159F, Ottawa
8. **Seymour R B., (1979).** Plastics, Mortiers, Sealants and Caulking Compounds, éd., ACS Symposium, Série 113, American Chemical Society, Washington, D.C
9. **Browne R.D, Adams M et French EL., (1975).** Expérience in the Use of PolymerConcrete in the Building and Construction Industry. Compte rendu du First International Congress on Polymers in Concrete, Londres
10. **<http://www.aac-mo.com/qu-est-ce-que-beton-polymere.html>**
11. **Vipulanandan C, Ghazzaly O., (1989)** Polymerconcrete in hazardouswaste management: Applications Original, Journal of HazardousMaterials 22, p. 261-262
12. **Miller M., (2008).** Polymers in CementitiousMaterials. SmithersRapraPress, pp.192
13. **Mikhailov K, Paturoev V, Rao P, Kreis P., (1992)** PolymerConcretes and Their Structural Uses. Russian Translations Series, A BalkemaPublishers, pp. 326
14. **Steinberg M., (1975)** Concrete-Polymer Composite Materials and TheirPotential for Construction, UrbanWasteUtilization, and NuclearWaste Storage, Advances in Chemistry vol. 142, Copolymers, Polyblends, and Composites, chap.37, pp 431–441

15. **Aidoud A., (2018).** Evolution des caractéristiques des bétons et des BHP aux hautes températures, Génie Civil, Université 08 mais 1945 Guelma
16. **Nigri G., (2018).** Nouvelle élaboration d'un liant hydraulique, Génie Civil, Université 08 mais 1945 Guelma
17. **Derabla R., (2015).** Influence des additions minérales sur le comportement au jeune âge et à long terme des bétons autoplacant traités thermiquement, Université 08 mais 1945 Guelma
18. **Fiche technique de la résine(Lorn).** voir annexe 1
19. **Benzannache N., (2017).** Caractérisation mécanique des bétons polymères, Génie Civil, Université 08 mais 1945 Guelma
20. **NFP 18-560.** Analyse Granulométrique pour 0/3, 0/5, 3/8, 15/25, 8/15
21. **NFEN 1097-3.** Mesure de la masse volumique absolue et apparente des granultas
22. **NF P 18-597.** Essai d'équivalent de sable-Détermination de la propreté des sables
23. **Vipulanandan C., Dharmarajan N., (1987).** Flexural Behavior of polyester polymerconcrete. Concrete and cement research, Vol. 17, pp. 219-230.
24. **NA440 .**Ciment - Méthodes d'essais des ciments – Détermination du retrait et du gonflement. Institut Algérien de la normalisation.
25. **ASTM C642.** Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete
26. **NF EN 18-459.** Béton-Essai pour béton durci : essai de porosité et de masse volumique.2010
27. **Boukour S., (2017).** Caractéristiques physico-chimiques et durabilité des éco-composites cimentaires à base de granulats de caoutchouc issue de pneus usagés. Université 08 mais 1945 Guelma
28. **NF EN 12390-7.** Essai pour béton durci-7 : masse volumique du béton. 2012





LORNESTER

AV 583

Caractéristiques

Résine polyester insaturée iso phtalique
moyenne réactivité.

Versions

Non accélérée et non thixotrope.

Technique de moulage

Contact. Projection simultanée

Applications

Nautisme -Pièces industrielle - Pscine.

Specifications

Viscosité 25°C	300 -400	cps
Teneur en styrène	39-41	%
Densité	1.1 -1.2	kg/dm ³
Gel time à 25°C	15 -20	minutes
Temps de durcissement	25-35	minutes
Pic exothermique	180 -195	°C

Dosages recommandés

0.3-0.4% accélérateur RP 60 6%
1.5-2% catalyseur RP 50.

Propriétés mécaniques

Resistance en traction	Mpa
Dureté BARCOL	40-45
Resistance en flexion	Mpa
HDT	-

Stabilité

La résine est stable pendant 06 mois stocké dans son emballage d'origine, dans un endroit sec et bien aéré, loin des rayons solaires. La température de stockage ne doit pas dépasser 20°C.

Emballages

Fut : 230 kgs

Important

Les différentes quantités et types de charges affectent le temps de gel et durcissement de la résine. Donc, nous vous recommandons de tester un échantillon en petites portions, déterminer les quantités de catalyseur avant d'arriver au processus réel.

MEDAPLAST HP

Conforme à la norme NFP 18-502

Ajout à base de micro silice

DESCRIPTION

Le **MEDAPLAST HP** est un ajout en poudre pour confection de bétons à hautes performances (BHP). Il permet :

- d'obtenir des bétons durables à résistances mécaniques élevées
- d'obtenir des bétons résistants aux agressions chimiques et atmosphériques

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

- Forme Poudre
- Couleur Grise
- Densité apparente 0,5
- Composants SiO₂ > 85(%)
..... SO₃ < 2,5 (%)
..... Cl⁻ < 0,2 (%)
- Aire massique > 15 (m²/gr)
- Humidité par étuve à 105°C < 1 (%)
- Taille des particules < 0,1 (microns)

PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST HP** permet :

Sur béton frais :

- d'améliorer la cohésion
- d'éviter le ressuage et la ségrégation

Sur béton durci :

- d'augmenter les résistances mécaniques
- d'obtenir des bétons possédant une excellente imperméabilité
- d'augmenter la résistance à l'érosion et à l'abrasion
- d'obtenir des bétons résistants aux agressions chimiques
- d'augmenter la durabilité du béton

L'ajout d'un super plastifiant est recommandé (**MEDAPLAST SP, SP40**) afin d'améliorer la fluidité du béton et de diminuer le rapport E/C. Le béton obtenu, une fois appliqué, ne présente aucun ressuage.

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Autoroutes, pistes d'aéroport
- Ouvrages d'art, ouvrages hydrauliques
- Bétons très sollicités
- Bétons soumis aux impacts et aux chocs
- Bétons soumis à des milieux agressifs
- Sols industriels
- Silos

DOSAGE

Le dosage du **MEDAPLAST HP** varie de 5 à 10% du poids du ciment. Ce dosage dépend des performances recherchées.

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAPLAST HP** est mélangé à sec avec les composants du béton, avant l'ajout de l'eau de gâchage, pendant 1 minute au moins. Après ajout de l'eau de gâchage mélanger encore pendant 2 minutes au minimum.

Malaxer ensuite jusqu'à homogénéisation du béton.

Il est nécessaire de procéder à une cure de plusieurs jours du béton obtenu (toile de jute + arrosage ou **MEDACURE**) surtout par temps chaud ou en présence de courants d'air.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAPLAST HP** est conditionné en sacs de 2kg.

Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur.

PRECAUTION D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex.dz

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenue pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granitex
قرانيتكس

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz

