

République Algérienne Démocratique et Populaire
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ AMAR TELIDJI DE LAGHOUAT



Faculté de Technologie

Département de Génie Civil

MEMOIRE DE MASTER

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Option : Matériaux de construction

Présenté par

MOKHTARI Yamina

Thème

**Caractérisation physico-mécanique du micro-béton résineux
à base de sables dunaire et alluvionnaire**

Devant le jury composé de :

M^r KROBBA Benharzallah
M^{elle} DJOUDI Amina
M^r MAKHLOUFI Zoubir
M^r BEDERINA Madani

MAA
MCB
MCA
Professeur

Université de Laghouat
Université de Laghouat
Université de Laghouat
Université de Laghouat

Président
Examinatrice
Encadreur
Co-encadreur

2015/2016

REMERCIEMENT

Je remercie vivement mon encadreur M^r MAKHLOUFI Zoubir Docteur à l'Université Amar Tellidji de Laghouat pour ses précieux conseils, son aide et son assistance tout au long de ce projet, ainsi que mon co-encadreur M^r BEDRINA Madani Professeur à l'Université de Laghouat pour son soutien permanent.

Je remercie également les membres de Jury Mr KROBBA Benharzallah, Président de jury et M^{elle} DJOUDI Amina, Examinatrice d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je tiens à remercier tous les Professeurs, les Maitres Assistants et tout le personnel du département de génie civil pour leurs aides et leurs encouragements.

Je tiens à remercier M^{me} BENDJILANI Khadra, Maitre de conférences à l'Université de Laghouat pour ses conseils, sans oublier tous les membres du laboratoire de Génie civil pour leurs disponibilités.

Comme je tiens à remercier vivement les membres de ma famille de m'avoir porté leur aide durant cette période.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes parents ;

Mon beau-frère Mohamed.

Mon Mari;

Mon fils;

Mes frères et sœurs;

Résumé

Le micro béton résineux est un composite dont le liant est constitué entièrement d'un polymère organique synthétique qui commence à prendre place dans le marché des matériaux de construction.

Le micro béton résineux à base de sable alluvionnaire et dunaire est constitué alors d'un liant de polymère de type résiné médapoxy avec deux taux $m_p = 10\%$ et $m_p = 14\%$ et d'une charge minérale constituée d'un mélange de sables et gravier avec trois rapports G/S (0,25 ; 0,50 ; 0,75).

Le mélange de sables (alluvionnaire et dunaire) est pris égal à un rapport $SA/SD = 1,7$

Cet mémoire a pour objet d'une part l'étude des propriétés physico mécanique des micros bétons résineux sous l'influence de la variation du taux de la résine et la variation du rapport gravier sable G/S et d'autre part leur effet sur le retrait et l'absorption.

D'après les résultats expérimentaux obtenus, le liant utilisé a amélioré les performances du béton en donnant des résistances mécaniques très élevées par rapport à un béton à liant hydraulique.

ملخص

الميكرو خرسانة الراتنجية يحتوي على الصمغ كرابطة الذي أخذ مؤخراً مكان في سوق مواد البناء . الميكرو خرسانة الراتنجية هو خرسانة ذو قاعدة مكونة من رمل الواد و رمل الكثبان يحتوي على الصمغ من نوع ميدابوكسي بنسبتين مئويتين هما 10 % و 14 % من الكتلة الكلية و خليط من الحصى و الرمل على ثلاث نسب 0.25، 0.50 و 0.75

كتلة الرمل هي عبارة عن خليط من رمل الواد و رمل الكثبان ($SA/SD=1.7$).

من خلال هذا البحث أردنا أن نبين الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية لهذه الخرسانة من جهة و كذا تأثير تغير نسب الصمغ و تغير نسب الحصى مع الرمل و من جهة أخرى معرفة مدى تأثيرهما على قابلية امتصاص للماء و الانكماش.

النتائج التجريبية المتحصل عليها بينت أن الصمغ المستعمل له اثر على المقاومة بإعطائه نتائج عالية مقارنة بالخرسانة العادية .

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I	Page
TABLEAU I-1 Caractéristiques des différents types de résine	8
TABLEAU I-2 Principales différences entre matrices TP et TD	10
TABLEAU I-3 Caractéristiques mécaniques des différents type de résine..	12
TABLEAU I-4 Propriétés des types de bétons.....	13
TABLEAU I-5 Caractéristiques physiques et mécaniques des bétons résineux	17
TABLEAU I-6 Résistances mécaniques des mortiers de résine d'après Ghania Mirouzi.....	21
TABLEAU I-7 Résistances mécaniques du béton de résine en variant S le rapport G d'après Ghania Mirouzi	22

CHAPITRE II

TABLEAU II-1 Analyse chimique du sable de Dune.....	29
TABLEAU II-2 Analyse chimique du sable du gravier 3/8.....	29
TABLEAU II-3 Valeurs préconisés de l'équivalent de sable	33
TABLEAU II-4 Résultats des masses volumiques des sables et gravier.....	36
TABLEAU II-5 Résultats des coefficients d'absorption	36
TABLEAU II-6 Résultats des équivalents de sable	36
TABLEAU II-7 Résultats des compacités et porosité.....	37
TABLEAU II-8 Granulométrie sable dunaire	37
TABLEAU II-9 Granulométrie sable alluvionnaire	38
TABLEAU II-10 Granulométrie sable mélange (alluvionnaire-dunaire).....	39
TABLEAU II-11 Résultats module de finesse	39
TABLEAU II-12 Granulométrie Gravier 3/8	40
TABLEAU II-13 Résultats degré d'impureté et coefficients Los Angeles	40
TABLEAU II-14 Caractéristiques de la résine Médapoxy	41

CHAPITRE III

TABLEAU III-1 Différentes compositions du micro béton résineux	43
TABLEAU III-2 Les différents dosages du MBR	43

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

FIGURE I-1 Différentes bases pour la classification des composites	11
FIGURE I-2 Classification des bétons résineux	12
5FIGURE I-3 Montants de mines et traverses en béton de polymères.....	14
FIGURE I-4 Eléments annulaires de collecteurs pour canalisations souterraines urbaines	15
FIGURE I-5 Eléments porteurs de constructions.....	16
FIGURE I-6 Coques en béton de résine polyester sur ces appuis	16
FIGURE I-7 Coques en béton de résine en cours de chargement	16
FIGURE I-8 Résultats de la flexion d'après Haidar M	19
FIGURE I-9 Résultats de la compression d'après Haidar M	20
FIGURE I-10 Résultats du retrait d'après Haidar M	20
FIGURE I-11 Résistance à la flexion du mortier de résine avec la variation du taux du sable d'après Mirouzi G	22
FIGURE I-12 Résistance à la compression du mortier de résine avec la variation du taux du sable d'après Mirouzi	22
FIGURE I-13 Résistances à la flexion du béton de résine sous l'influence du rapport G/S d'après Mirouzi G.....	23
FIGURE I-14 Résistances à la compression du béton de résine sous l'influence du rapport G/S d'après Mirouzi G.....	23

CHAPITRE II

FIGURE II-1 Sable alluvionnaire	28
FIGURE II-2 Diffraction des rayons x du sable alluvionnaire.....	28
FIGURE II-3 Sable dunaire	28
FIGURE II-4 Gravier 3/8	29
FIGURE II-5 Structure chimique de la résine	30
FIGURE II-6 Dispositif le chatelier	32
FIGURE II-7 Essai de l'équivalent de sable à vue et à piston	33
FIGURE II-8 Courbe granulométrique du sable dunaire.....	38
FIGURE II-9 Courbe granulométrique du sable alluvionnaire.....	38
FIGURE II-10 Courbe granulométrique du sable mélange SAD.....	39
FIGURE II-11 Courbe granulométrique du gravier 3/8.....	40

CHAPITRE III

FIGURE III-1 Pré-polymère et durcisseur.....	44
FIGURE III-2 Mode opératoire	45
FIGURE III-3 Les six compositions du MBRs	45
FIGURE III-4 Dispositifs pour l'essai de résistance à la flexion à 3 points.....	46
FIGURE III-5 Dispositif de rupture à la compression	47
FIGURE III-6 Réfractomètre muni d'un comparateur de mesure de la variation de longueur.....	48
FIGURE III-7 Montage expérimental utilisé dans l'essai d'absorption par immersion.....	49
FIGURE III-8-a Evolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour les différentes compositions	50
FIGURE III-8-b Comparaison de l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du	

temps pour les différentes compositions	50
FIGURE III-9 Comparaison de l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un taux de résine 10 %.....	51
FIGURE III-10 Comparaison de l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un taux de résine de 14 %.....	51
FIGURE III-11 Comparaison de l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un rapport G/s= 0.25.....	52
FIGURE III-12 Comparaison de l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un rapport G/s= 0.50.....	52
FIGURE III-13 Comparaison de l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un rapport G/s= 0.75.....	53
FIGURE III-14-a Evolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour les différentes compositions	54
FIGURE III-14- b Comparaison de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour les différentes compositions	54
FIGURE III-15 Comparaison de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour un taux de résine 10 %.....	55
FIGURE III-16 Comparaison de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour un taux de résine 14 %.....	55
FIGURE III-17 Comparaison de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour un rapport G/s= 0.25.....	56
FIGURE III-18 Comparaison de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour un rapport G/s= 0.50.....	56
FIGURE III-19 Comparaison de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour un rapport G/s= 0.75....	56
FIGURE III-20 Comparaison de l'évolution du retrait en fonction du temps pour les différentes compositions	57
FIGURE III-21 Comparaison de l'évolution du retrait en fonction du temps pour un taux de résine 10%	58
FIGURE III-22 Comparaison de l'évolution du retrait en fonction du temps pour un taux de résine 14%.....	59
FIGURE III-23 Comparaison de l'évolution du retrait en fonction du temps pour un rapport G/S=0.25.....	59
FIGURE III-24 Comparaison de l'évolution du retrait en fonction du temps pour un rapport G/S=0.50.....	59
FIGURE III-25 Comparaison de l'évolution du retrait en fonction du temps pour un rapport G/S=0.75.....	60
FIGURE III-26 Comparaison de l'évolution de l'absorption par capillarité en fonction du temps pour les différentes compositions.....	60
FIGURE III-27 Comparaison de l'évolution de l'absorption par capillarité en fonction du temps pour un taux de résine 10%	61
FIGURE III-28 Comparaison de l'évolution de l'absorption par capillarité en fonction du temps pour un taux de résine 14%	61
FIGURE III-29 Comparaison de l'évolution de l'absorption par capillarité en fonction du temps pour un rapport G/S=0.25	62
FIGURE III-30 Comparaison de l'évolution de l'absorption par capillarité en fonction du temps pour un rapport G/S=0.50	62
FIGURE III-31 Comparaison de l'évolution de l'absorption par capillarité en fonction du temps pour un rapport G/S=0.75	62
FIGURE III-32 Comparaison de l'évolution de l'absorption par immersion en fonction du temps pour les différentes compositions.....	63

FIGURE III-33 Comparaison de l'évolution de l'absorption par immersion en fonction du temps pour un taux de résine 10%	64
FIGURE III-34 Comparaison de l'évolution de l'absorption par immersion en fonction du temps pour un taux de résine 14%	64
FIGURE III-35 Comparaison de l'évolution de l'absorption par immersion en fonction du temps pour un rapport G/S=0.25	64
FIGURE III-36 Comparaison de l'évolution de l'absorption par immersion en fonction du temps pour un rapport G/S=0.50	65
FIGURE III-37 Comparaison de l'évolution de l'absorption par immersion en fonction du temps pour un rapport G/S=0.75	65

Sommaire

Introduction Générale	1
.....	2
Chapitre I : Etude bibliographique	
I-1 Composites	5
I-2 Polymères	6
I-3 Travaux antérieurs	17
I-4 Utilisations des bétons de résines dans les différents domaines	23
Conclusion	25
Chapitre II : Caractérisations des matériaux utilisés	
II-1 Introduction	27
II-2 Les matériaux utilisés dans le micro béton résineux	27
II-2-1 Sable	27
II-2-2 Gravier 3/8	29
II-2-3 Liant	29
II-2-4 Résine	30
II-3 Essai de caractérisation des matériaux	30
II-3-1 Masse volumique	30
II-3-2 Coefficient d'absorption des granulats	32
II-3- 3 Equivalent de sable	32
II-3-4 Compacité et porosité	34
II-3-5 Analyse granulométrique	34
II-3-6 Degré d'impureté pour le gravier 3/8	35
II-3-7 Coefficients Los Angeles pour gravier 3/8	35
II-4 Résultats expérimentaux	36
II-4-1 Masse volumique	36
II-4-2 Coefficient d'absorption	36
II-4-3 Equivalent de sable	36
II-4-4 Compacité et porosité	37
II-4-5 Résultats de l'analyse granulométrique	37
II-3-6 Caractéristique de la résine Médapoxy	41
Conclusion	41
Chapitre III Propriétés physico mécanique du micro béton résineux	
III-1 Introduction	43
III-2 Formulation	43
III-3 Mode opératoire	44
III-4 Essais effectués sur le micro béton résineux durci.....	46
III-4-1 Resistance Mécanique	46
III-4-2 Essai de retrait	47
III-4-3 Essai d'absorption d'eau	48
III-5 Résultats des essais	50
III-5-1 Resistance mécanique	50
III-5-2 Essai de retrait	57
III-5-3 essai d'absorption d'eau	63
Conclusion.....	66
Conclusion Générale et perspectives	70
.....	71

Introduction :

Le béton de résine est un matériau composite dont le liant est constitué entièrement ou partiellement d'un polymère organique synthétique, désigné sous l'appellation de béton de résine synthétique, de béton de résine plastique ou de béton de polymère. Il est constitué d'une charge minérale (granulat) et d'un liant de polymère parfois thermoplastique mais généralement thermodurcissable.

Le béton de résine commence à prendre place dans le marché des matériaux de construction.

Dans les 40 dernières années ou plus, le développement des bétons (et mortiers) de résine a été mené dans plusieurs pays ; le béton de résine est devenue un matériau dominant dans l'industrie de la construction. Cependant les années 70 en Japon et en Europe et dans les années 80 aux états unis.

Aujourd'hui le béton (et mortier) de résine est employé d'une façon compétitive (rentabilité élevée), comme un matériau de construction courant pour fabriquer un large éventail de produit.

Les applications des matériaux composites dans l'industrie se développent rapidement pour les applications non structurales mais avancent très lentement vers les applications structurales.

Dans le domaine de l'habitat et l'urbanisme, le principal frein à l'utilisation des matériaux composites nouveaux est la difficulté de la caractérisation structurelle et le manque de schémas permettant de prévoir le comportement ultérieur des structures.

Les applications des matériaux nouveaux sont donc limitées à des fonctions non porteuses (protection anti-usure, anti corrosion, remplissage), ou à des éléments à sollicitations simples (tubes, tuyaux, réservoirs).

Une bonne connaissance des lois de comportement autoriserait des utilisations dans les formes à fonction porteuses (couvertures, dalle de grande portée) [1].

Des études antérieures ont montré que les bétons de résine résistent bien à l'action des produits chimiques et autres agents corrosifs, absorbent très peu l'eau, résistent bien à l'abrasion et possèdent une grande stabilité aux cycles gel-dégel. En outre, ils ont une plus grande résistance mécanique à la traction que le béton de ciment Portland, ils peuvent faire économiser jusqu'à 50 % de matériaux. Ainsi, pour certaines applications spéciales, ils concurrencent le béton ordinaire hydraulique.

La résistance aux agents chimiques et les caractéristiques mécaniques dépendent plus de la nature du polymère utilisé que du type et de la quantité des charges. Les

propriétés finales du béton résineux dépendent fortement de la nature chimique de la matrice polymérique, des conditions de conservation (temps (âge), température et hydrothermie) et des conditions environnementales aux quelles les structures sont exposées [2].

L'incorporation des polymères dans les bétons et mortiers produit évidemment des matériaux similaires aux bétons cimentaires ordinaires mais avec des caractéristiques supérieures.

Ces matériaux se sont développés pour palier certains inconvénients des bétons hydrauliques tels que [3] :

- Faible résistance en flexion ;
- Faible déformation à la rupture ;
- Sensibilité aux effets du gel ;
- Faible résistance aux produits chimiques.

Le remplacement du ciment Portland par un polymère entraîne par comparaison au béton à matrice cimentaire une augmentation sensible du coût du béton, du fait du coût plus élevé du polymère ainsi que de celui de la main-d'œuvre généralement plus qualifiée. Il importe donc, qu'architectes et ingénieurs aient une idée des possibilités et des limitations des bétons résineux pour être en mesure de choisir le béton le plus approprié et le plus économique [2].

Ce travail est scindé en trois chapitres et une conclusion.

- Le premier chapitre traite une étude bibliographique ;
- Le second chapitre traite les caractéristiques des différents matériaux utilisés pour la formulation du micro béton résineux ;
- Le troisième chapitre traite les caractéristiques physico-mécanique du micro béton résineux;
- Une conclusion générale illustrant un commentaire général.

I-1Le composite :

Un composite est constitué de l'assemblage de plusieurs matériaux non miscibles de natures différentes, et dont les qualités complémentaires permettent des performances supérieures à celles de chacun de ses composants [1].

Un matériau composite est composé de :

-Renfort, qui constitue l'ossature de la pièce, et supporte l'essentiel des contraintes, son rôle est d'assurer la fonction de résistance mécanique aux efforts.

Il existe trois catégories principales de renforts :

- Organique : fibres de verre, d'aramide,...
- Minéral : fibre de Carbone, céramiques,...
- Métallique : fibre de bore, d'alumine,....

Les renforts sont disponibles sous différentes structures :

- Particules ;
- Fibres courtes ou longues ;
- Tissage multiaxial ;
- Tressage ;
- Assemblage tridimensionnel.

-Matrice, qui assure la liaison de l'ensemble, répartit les efforts, et protège les renforts [4], elle assure la cohésion entre les renforts de manière à répartir les sollicitations mécaniques.

Les matrices (résines) sont de différents types :

- Epoxy;
- Polyester, vinylester;
- Phénolique;
- BMI ;
- Cynatester.

Lorsque le matériau composite est non endommagé, les renforts et la matrice sont parfaitement liés et il ne peut pas y avoir ni glissement ni séparation entre les différentes phases.

II- 2 Les Polymères :

Les **polymères** (étymologie : du grec *polus*, plusieurs, et *meros*, partie) constituent une classe de matériaux. D'un point de vue chimique, un polymère est une substance composée de **macromolécules**, elles-mêmes constituées de la répétition de nombreuses sous-unités.

Les polymères les plus connus sont :

- les fibres naturelles ;
- les matières plastiques ;
- les caoutchoucs naturels (latex) et artificiels ;
- les colles ;
- les peintures ;
- les résines.

Un polymère est une substance composée de macromolécules organiques (ou parfois minérales). Les macromolécules sont constituées d'un enchaînement répétitif d'au moins un type de monomère. Les monomères sont reliés entre eux par des liaisons covalentes. Les chaînes de polymères interagissent entre elles avec des forces plus faibles comme les liaisons de van der Waals. Les propriétés des polymères dépendent notamment du type de monomère(s), de la nature de leur assemblage et du degré de polymérisation.

On distingue les polymères naturels, les modifiés (polymères artificiels) et les synthétiques. On peut aussi les classer selon leur architecture. On distingue par exemple les polymères linéaires, branchés (avec des ramifications) ou non, les dendritiques (ramifications dans les trois dimensions) et les réticulés ou tridimensionnels qui forment un réseau.

Les polymères peuvent être fabriqués de diverses façons. On peut citer :

- les homopolymères, qui sont fabriqués avec le même monomère ;
- les copolymères, qui sont fabriqués avec des monomères différents.

Un autre type de classification des polymères est aussi selon leurs propriétés thermomécaniques. On distingue:

- les polymères *thermoplastiques*, qui deviennent malléables quand ils sont chauffés, ce qui permet leur mise en œuvre ;
- les polymères *thermodurcissables*, qui durcissent à chaud et/ou par ajout d'un durcisseur en faible proportion. Ce durcissement est en général irréversible ;
- les élastomères, qui présentent en général un allongement réversible très important et une température de transition vitreuse inférieure à l'ambiante.

On peut classer les polymères en deux types, en fonction de leur comportement à la chaleur et sous pression :

- portés à une température suffisante, les polymères thermoplastiques se trouvent à l'état « fondu » (état fluide ou déformable) et sont donc susceptibles de s'écouler sous l'action d'une contrainte. Cela permet leur mise en forme par les techniques d'extrusion, d'injection, de thermoformage, etc. C'est le cas des polyoléfinés (PE, PP, PMP, etc.), du PVC, du polystyrène, etc. ;
- les polymères thermodurcissables durcissent par réaction chimique. On peut citer les résines phénoplastes, polyépoxydes, certains polyuréthanes.

Les polymères de synthèse sont devenus l'élément essentiel d'un nombre très important d'objets de la vie courante, dans lesquels ils ont souvent remplacé les substances naturelles. Ils sont présents dans de nombreux domaines industriels.

Ils sont très utilisés pour les matrices des matériaux composites.

Ils ont les propriétés générales suivantes :

- ce sont des matériaux « légers », ils ont une masse volumique faible (en général inférieure à $1\,500\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, soit une densité par rapport à l'eau inférieure à 1,5) ;
- ils sont en général souples, les polymères thermoplastiques ont un module de Young inférieur à environ 3 GPa, comparé à environ 20 GPa pour les bétons, 70 GPa pour l'aluminium et 200 GPa pour l'acier ;
- ils ne sont stables qu'à des températures modérées. La plupart des polymères thermoplastiques se ramollissent ou se fondent à des températures comprises entre 100 °C et 250 °C ; un polymère est dit « thermostable » s'il résiste à 300 °C durant quelques instants, la plupart des polymères se dégradent à des températures supérieures ;
- ce sont des isolants électriques et thermiques, sauf cas particuliers.

Les propriétés sont déterminées par :

- la nature chimique des macromolécules, et en particulier des liaisons qui peuvent s'établir entre les atomes de la chaîne et des chaînes voisines ; les liaisons interatomiques peuvent être souples ou rigides, faibles ou fortes ;
- la « forme » de la macromolécule : il peut s'agir d'une chaîne linéaire longue ou courte, ou bien d'une structure ramifiée, réticulée. Les macromolécules peuvent se placer au hasard ou bien sont alignées. Elles peuvent s'imbriquer pour former des cristallites ;

la formulation (nature, taux des ingrédients): outre les macromolécules, on introduit divers constituants (charge éventuellement renforçante, plastifiant, antioxydant, durcisseur, système de vulcanisation pour un élastomère,

agent anti-ozonant, ignifugeant, colorant, déshydratant, agent de mise en œuvre, conducteur électrique, etc.).

La résine de synthèse est généralement composée de deux produits chimiquement différents dont l'association est complémentaire.

Le premier est la résine en elle-même, chaîne de polymères ouverts à tendance visqueuse et de couleur quasi incolore.

Le second est le durcisseur ou catalyseur suivant le type de résine qui a pour effet dans le cas d'un durcisseur d'apporter à la résine un complément moléculaire de façon à fermer ses chaînes de polymères.

Les matrices en polymères peuvent être subdivisées en matrices thermoplastiques et en matrices thermodurcissables [20].

Tableau I- 1 Caractéristiques des différents types de Résine [29]

Résine	Masse volumique (Kg/dm ³)	Résistance à la traction (MPa)	Module d'élasticité en traction (GPa)
Polyester	1.28	45-90	2.5-4
Époxydique	1.3	90-110	3-7
Phénolique	1.35-1.75	45-59	5.5-8.3

- **Résines thermoplastiques**

Les résines thermoplastiques ont des propriétés mécaniques faibles. Ces résines sont solides et nécessitent une transformation à très haute température.

Les polychlorures de vinyle (PVC), les polyéthylènes, polypropylène, polystyrène, polycarbonate polyamide sont quelques exemples de ces résines thermoplastiques.

Les résines thermoplastiques classiquement rencontrées sont PEEK, K3B.

De même que pour les résines thermodurcissables, les matériaux les plus performants ont des caractéristiques mécaniques élevées et une masse volumique faible [1].

Du fait de leurs propriétés intéressantes, les polymères ont peu à peu envahi les industries et la vie quotidienne en remplaçant les matériaux traditionnels[2].

- **Résines thermodurcissables**

Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées. Ces résines ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois. Elles sont en solution sous forme

de polymère non réticulé en suspension dans des solvants. Les résines polyesters insaturées, les résines décondensation (phénoliques, amioplastes, furaniques) et les résines époxy sont des résines thermodurcissables.

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

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

Il existe plusieurs familles de résines thermodurcissables [16]:

Les résines polyester ;

Les résines phénoliques ;

Les résines mélamines ;

Les résines époxy.

-Les résines polyesters : provenant de l'industrie charbonnière et dont la polymérisation est déclenchée par addition d'un catalyseur en très faible quantité (rarement plus de 1 %), leur vitesse de durcissement est très influencée par la température. Sont en général associées à des fibres de verre pour obtenir des matériaux composites économiques, doivent être utilisées à température ambiante. [21]

-Les résines phénoliques : possèdent des propriétés mécaniques relativement médiocres, elles sont issues de polycondensation du phénol et formol et se caractérisent par une bonne tenue au feu, sans fumée Elles restent fragiles, sensibles à l'humidité, difficiles à colorer et à mettre en œuvre.

-Les résines Mélamines ressemblent aux résines phénoliques, leurs propriétés électriques sont bonnes et elles sont peu inflammables. Elles résistent bien à l'abrasion, facilement colorables, elles sont utilisées souvent pour fabriquer des panneaux protecteurs ou décoratifs

-Les Résines époxydes : issues de la chimie du pétrole, leur polymérisation s'effectue par addition d'un durcisseur, le dosage du mélange et l'homogénéisation. Sont plus faciles que pour les polyesters.

-Le choix et le dosage judicieux du catalyseur ou durcisseur promettent en général de provoquer la prise au bout de 2 à 3 heures [21].

-Elles possèdent de meilleures propriétés mécaniques, chimiques et électriques que les résines de polyester, mais leur coût est supérieur, elles sont employées à grande échelle en aéronautique. -Elles permettent de fabriquer des matériaux composites.

On distingue deux classes de résines en fonction du :

- Du durcissement à chaud ou à froid ;
- De la tenue à la température (120-130°C , ou 180-200°C)

Tableau I- 2 Principales différences entre matrices TP et TD [30]

	Thermoplastiques (TP)	Thermodurcissables(TD)
Etat de base	Solide	Liquide visqueux
Stockage	Illimité	Réduit
Mouillabilité renforts	Difficile	Aisée
Moulage	Chauffage refroidissement	Chauffage continue
Cycle	Court	Long
Tenue au choc	Assez bonne	Limitée
Tenue thermique	Réduite	Bonne
Chutes et déchets	Recyclables	Perdus ou recyclés en charges
Conditions de travail	Propreté	Emanation pour méthode humide

La résine médapoxy STR est une résine époxy destinée :

- A la stratification sur différents supports.
- A la réparation des bétons et mortiers.
- A la réparation d'angles et poutres.
- A la réparation des fissures.
- A la réparation des épaufrures et des joints.
- A la réparation sur supports métalliques.
- Aux ancrages horizontaux et verticaux.
- Au surfacage des sols dégradés.
- Au collage de carreaux antiacide.
- Au collage de céramique, granite et marbre.

Dans un grand nombre de cas, la matrice constituant le matériau composite est une résine polymère. Les résines polymères existent en grand nombre et chacune à un domaine particulier d'utilisation.

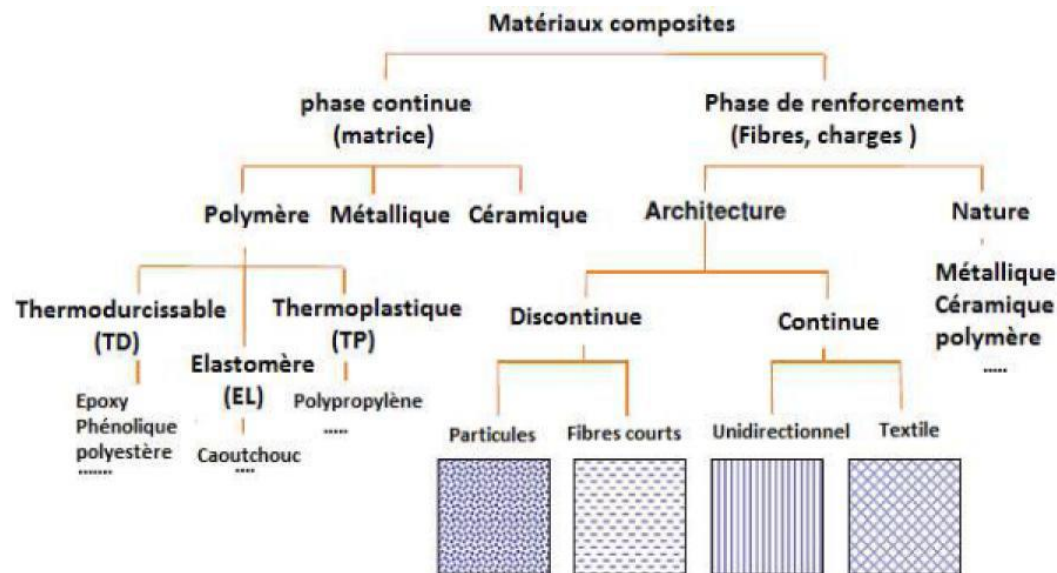


Figure I-1 Différentes bases pour classification des composites[16]

Le béton de polymère est devenu le matériau de construction dominant dans les pays développés dans les années 1970.

Vers la fin des années 50, le béton polymère trouvait sa première application dans la production du revêtement des bâtiments et du marbre synthétique, ses excellentes propriétés étaient à l'origine du développement de son utilisation dans d'autres domaines d'applications tels que l'industrie de la construction, la production d'énergie électrique, l'énergie atomique, le réaménagement des terrains [3].

Les mortiers et bétons résineux se sont développés entre la fin des années 1950 et le début des années 1960 et deviennent les matériaux de construction majeurs en Japon et en Europe vers les années 1970 et aux Etats –Unis dans les années 1980 [1].

Vers la fin des années 50, le béton polymère trouvait sa première application dans la production du revêtement des bâtiments et du marbre synthétique, ses excellentes propriétés étaient à l'origine du développement de son utilisation dans d'autres domaines d'applications tels que l'industrie de la construction, la production d'énergie électrique, l'énergie atomique, le réaménagement des terrains [3].

La recherche des méthodes et moyens pour augmenter la résistance, la densité, la résistance aux agressions chimiques et la durabilité des bétons renforcés ou non a conduit à la formulation de différents groupes de béton avec des additifs ou à base de polymères désignés comme les bétons polymères.

Tableau I-3 Caractéristiques mécaniques des différents types de résine [31]

Matériau	Masse volumique (Kg/dm ³)	Absorption D'eau %	Résistance en compression (MPa)	Résistance à la traction (MPa)	Résistance à la flexion(MPa)	Module D'élasticité (GPa)
Poly(méthacrylate de méthyle)	2-2.4	0.05-0.6	70-210	9-11	30-35	35-40
Polyester	2-2.4	0.3-1	50-150	8.25	15-45	20-40
Epoxy	2-2.4	0.02-1	50-150	8-25	15-50	20-40
Furane	1.6-1.7	0.2	48-64	7-8	-	-
Béton de ciment Portland	1.9-2.5	5-8	13-35	1.5-3.5	2-8	20-30

Les bétons de polymères sont obtenus en instruisant diverses résines synthétiques :

Epoxydes, polyesters, phénols-formaldéhydes, carbamides, indènes-coumarones et des produits modifiés par d'autres résines [4].

Le béton résineux représente une nouvelle génération de matériaux qui en dépit d'une faible consommation en liant polymérique par unité de masse se caractérise par une grande densité, une bonne résistance aux agents chimiques, une adhésion aux granulats, par des résistances mécaniques notamment à la traction plus élevées que les bétons hydrauliques.

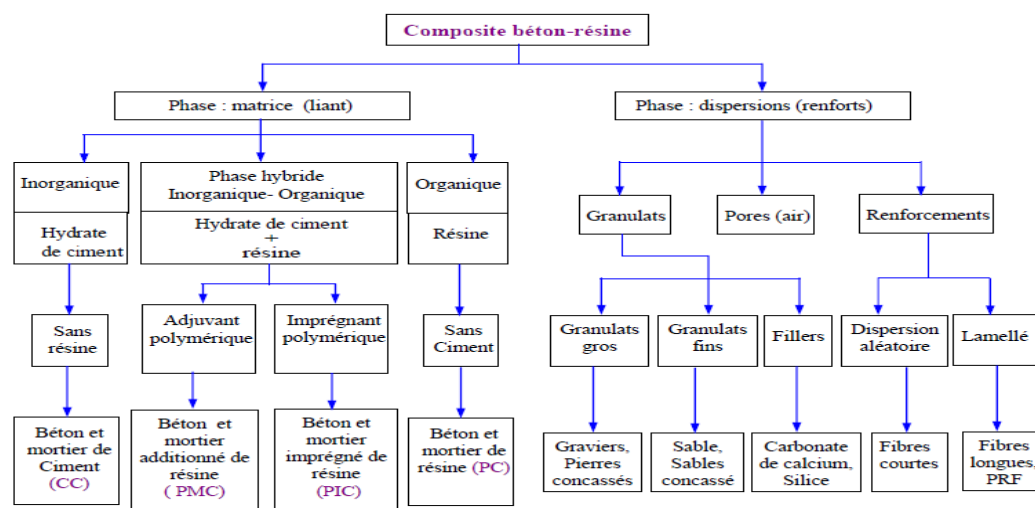


Figure I-2 Classification des bétons résineux [5]

Les bétons de résine sont initialement utilisés comme des matériaux décoratifs et de revêtement et pour la fabrication des éléments structuraux stable chimiquement.

Le béton de résine est un matériau fabriqué en remplaçant totalement ou partiellement le ciment par un polymère.

Les bétons de résine sont classés généralement en trois catégories selon le processus technologique de fabrication:[5]

- Béton ou Mortier additionné par des polymères " MAP ou BAP "
- Béton ou Mortier imprégné par des polymères " MIP ou BIP "
- Béton ou mortier résineux " BR ou MR "

Béton ou mortier additionné par des polymères " MAP ou BAP " sont fabriqués en incorporant des mélanges soit des pré-polymères de polyesters insaturés ou d'époxydes, soit des latex .Ce béton ou mortier peut être moulé sur place.

Béton ou Mortier imprégné par des polymères " MIP ou BIP " ; qui est employé comme structure préfabriqué [5].

La dernière application des bétons imprégnés par des polymères concerne la construction du chemin de fer du Grand Coulee Dam en 1982 aux Etats-Unis [5].

Les applications les plus courantes des bétons et mortiers résineux sont la réalisation d'escaliers, de plaques et panneaux de parements de diverses structures, d'appuis fenêtre et de beaucoup d'éléments de construction préfabriqués soumis à des agressions climatiques de type gel/dégel ou exposition à des solutions aqueuses corrosives. Certains mortiers résineux sont destinés à des usages spécifiques tels que le revêtement de sols pour améliorer leur résistance aux agressions climatiques ou encore leur pouvoir antidérapant et la fabrication de mortier pour sols.

Tableau I-4 Propriétés des types de bétons [31],[32]

Maériau	Résistance à la traction (MPa)	Module d'élasticité (GPa)	Résistance en compression (MPa)
Béton imprégné de résine	10.3	42	144
Béton modifié au résine	4.1	26.2	41.4
Béton de résine	9.6	36.4	137.9
Béton de ciment Portland	1.7	24.8	34.5

Les bétons de polymères à base de résines polyesters peuvent avoir diverses colorations et textures, une stabilité suffisante en milieu oxydants et en milieux chlorés, mais ils ne sont pas assez stables en milieux alcalins et présentent une grande déformabilité en particulier un retrait important par rapports aux bétons de polymères à base d'autres résines.

Les résines époxydes sont très résistantes en milieux acides et alcalins (elles ne sont pas stables en milieux oxydants) et présentent un retrait minimal. Elles sont actuellement encore chères et manquent sur le marché. Elles sont donc employées en revêtements protecteurs et pour la fabrication de sols chimiquement stables.

Les bétons de polymères à base de résines phenolsformadéhydes, sont très stables en milieux oxydants, mais sont moins résistants par rapport à d'autres types de polymères et ne sont pas suffisamment stables en milieux alcalins.

Les résines carbamides sont les résines les moins chères, elles ont une coloration claire et une viscosité relativement faible, les bétons de polymères, légers, à base de ces résines peuvent être utilisés dans les milieux faiblement acides.

Les bétons de polymères à base de résines furaniques ont pratiquement une stabilité chimique totale, une résistance mécanique élevée et un fluage limite [6] sont les plus utilisés en Union Soviétique pour la fabrication de structures chimiquement stables ; En particulier les montants de mines et les traverses en bétons de polymères, armés par des aciers sont deux fois plus légers que les éléments en béton armé de même résistance et de même force portante, plus de 20000 éléments de soutènement de ce type sont exploités avec succès dans les mines du donbass[7].

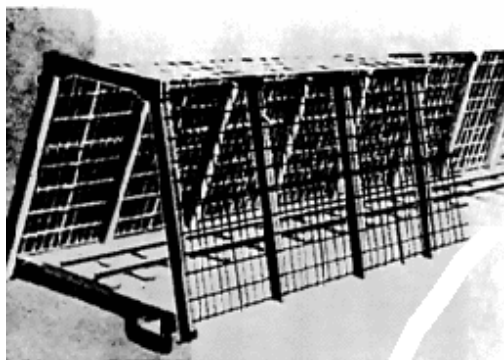


Fig. 1. — a) Schéma du soutènement de galeries de mines.

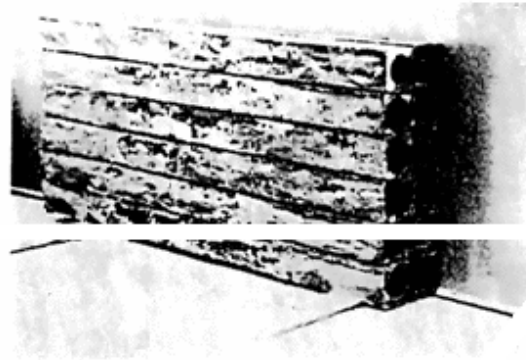


Fig. 1. — b) Vue générale de poteaux de miner

Figure I-3 Montants de mines et traverses en béton de polymères

Comme ils sont utilisés dans la fabrication industrielle d'éléments annulaires de collecteurs pour canalisations souterraines urbaines.



Figures I-4 Eléments annulaires de collecteurs pour canalisations souterraines urbaines

Sont utilisé pour construire des puits secs, étanches à l'eau dans les mines de potasse et de supprimer la pénétration de l'eau dans le puits central [8].

De 1960 à 1963, en Asie centrale, cinq barrages d'irrigation ont été réalisés en béton de polymères dont la surface totale de revêtement de l'ordre de 900 m², une étude faite après six ans d'exploitation a montré que ce béton est très efficace et présente une très grande résistance à l'usure.

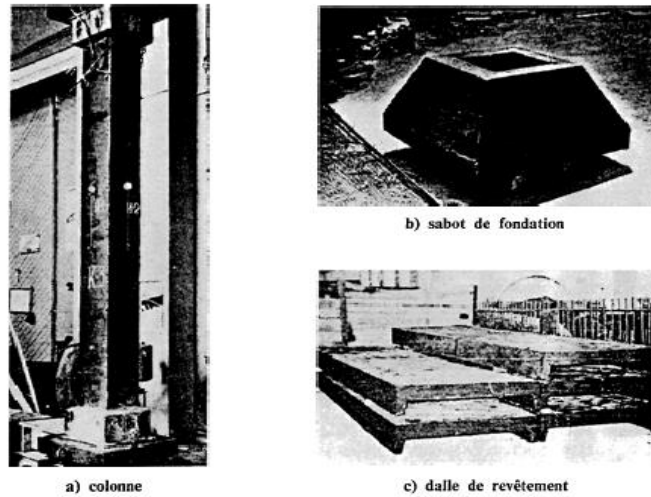
Le remplacement du bois ou de dalles basaltiques par du béton polymères a non seulement réduit le prix de la construction mais également augmenté de façon sensible la durée de service du déversoir [9].

Utilisés pour les systèmes d'irrigation avec drains fermés dans des sols salés, des tubes de drainage en bétons de polymères à base de kramzite, ils présentent une résistance mécanique suffisante, ils sont chimiquement stables et filtrent bien à l'eau ce qui a permis de construire des lignes de drainage sans utiliser de filtres spéciaux.

Une autre expérience dans la fabrication et l'exploitation de traverses de chemin de fer en bétons de polymères armés en acier, qui améliorent les conditions d'exploitation du matériel roulants, et dans les milieux salins, il est constaté une augmentation des durées de service.

L'utilisation dans les poteaux caténaires, les résultats d'essais de ces poteaux ont confirmé la possibilité et la rentabilité économique de l'utilisation de béton polymères dans des structures soumises à une corrosion électrique.

Dans les bâtiments industriels soumis à l'action de milieux liquide très agressifs, des structures porteuses chimiquement stables ont été élaborées de type : blocs de fondations, sabots, colonnes, poutres, dalles de revêtement.



Figures I-5 Eléments porteurs de constructions

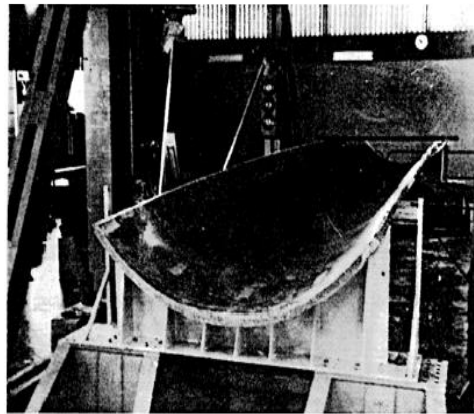


Figure I-6 Coques en béton de résine polyster sur ces appuis

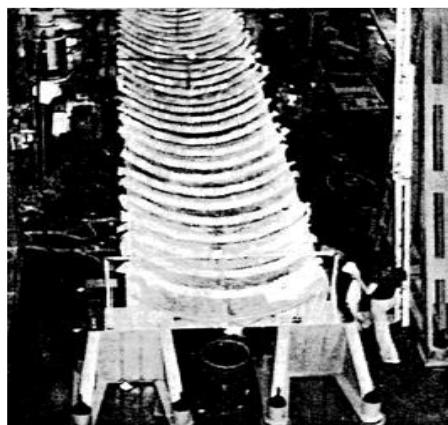


Figure I-7 Coques en béton de résine en cours de chargement

I –3 Travaux antérieurs

Des travaux antérieurs ont été effectués sur les bétons et mortiers résineux afin d'optimiser la formulation en diminuant le pourcentage des polymères et en ajoutant d'autres composants tout en gardant des propriétés physique et des résistances mécaniques convenables.

Tableau I- 5 Caractéristiques physiques et mécaniques des bétons résineux [15]

Référence	Fraction en %-Polymère	Fraction optimale En liant (%)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la flexion (GPa)	Module d'Elasticité (GPa)
REBE 1995	10% polyester insaturé	10	≈89	≈19	24-28
FATT 1999	(9-12-15)% Epoxyde I	12	36-38-22	--	--
	(9-12-15)% Epoxyde II		63-72-64	--	--
	(9-12-15)% Polyester insaturé		55-72-63	--	--
MAKS1999	9.8% polyester insaturé	9,8	108	20.8	--
MUTH 2004	(7.5-11.25)% furane	9.375	60,2- 84,3	--	--
GORN 2004	13% polyester insaturé orth.	13	99.7-112.3	--	23.71-28,95
	12% polyester insaturé iso.	12	101-120.1	--	24,66-30,37
REBE 2002 REBE 2004	10% polyester insaturée	10	64-91	15-20	--
CHOI 2004	18% Liant (EPS, Styrène, TMPTMA)	18	78-110	22-26	--
JO 2008	9% polyester insaturé	13	36.87-61.39	18,14-22,85	14-24
	13% polyester insaturé		58-78	14-23	--
	17% polyester insaturé		69-72	17-20,5	--
BARB 2008	(12.4-58.8)% Epoxyde		45.3-69.1	9,32-16,8	--
PLIY 2009	Béton cimentaire ordinaire		36.5	3.6	33.6
PLIY 2009	Béton cimentaire HP		70	7.3	44

-Rebeiz [10] a formulé un béton optimal à base de polyester insaturé issu du recyclage du P.E.T avec 10 % en masse de liant.

-Maksimov et al. [11] ont montré que le pourcentage optimal de polyester insaturé pour la fabrication de béton résineux dans lequel sont incorporés des fillers calcaires est de l'ordre de 9.8 % de la masse totale du béton.

-Abdel-Fattah et al [12] ont formulé des bétons à base de polyester insaturé et d'époxyde; fractions massiques variaient de 9 à 15 % .La fraction de 12 % a conduit aux résistances mécaniques les plus élevées.

-Muthukumur et al [13] ont montré que 9.75 % conduit à la meilleure ouvrabilité de bétons ternaires furanniques dont le squelette granulaire est composé d'un gravier , de deux sables et de micro fillers.

-Gorninski et al [14] ont formulé des mortiers résineux avec fractions massiques de 12 % de polyesters insaturés isophthaliques et 13 % polyesters insaturés

orthophtaliques réticulés avec du styrène en incorporant des cendres volantes pour améliorer leurs caractéristiques mécaniques et leur ouvrabilité.

- HAIDAR M [15] : Il a conclu dans son étude que :

Un micro béton résineux peu perméable est un micro-béton élaboré avec une fraction massique importante de liant à base d'époxyde et des grains fins. Les perméabilités des deux micros béton résineux (S+G1) et (S+G2) deviennent assez proches pour des fractions massiques de polymère 11% $p m$ et se rapprochent de celle du polymère. L'utilisation d'un mélange granulaire avec des grains fins (S+G2) conduit à un MBR plus compact et plus dense et moins perméable.

La fraction massique de polymère optimale vis-à-vis de la porosité est 9% $p m$. Elle correspond également à la fraction massique de polymère au delà de laquelle aucune variation significative de la conductivité thermique n'est observée.

Conservés en milieu sec (23°C et 24% RH) les micros béton résineux subissent un retrait qui s'accompagne d'une légère perte de masse. Au milieu est humide (23°C et 90% RH) un gonflement est observé avec une prise de masse. La nature organique du liant est, en partie, responsable de la prise de masse et du gonflement relevés.

Les résistances mécaniques à la flexion, à la compression, à la traction indirecte et à la traction, augmentent avec l'augmentation de la fraction massique de polymère et se stabilisent à l'âge de 3 jours. Les valeurs des résistances les plus élevées sont obtenues pour un *pourcentage* variant entre 9 et 11%. Ces fractions massiques de polymères correspondent à celles qui conduisent aux formulations les moins poreuses et perméables.

La rigidité la plus élevée est obtenue pour un micro béton résineux formulé avec 9% et est atteinte à l'âge de 3 jours.

Le mélange granulaire influence les propriétés physiques et les résistances mécaniques du micro béton résineux. Ainsi, le mélange contenant des éléments fins est plus compact et conduit à des structures moins poreuses que celles élaborées avec le mélange obtenu avec des gros grains. Pour les deux mélanges granulaires, les résistances n'évoluent plus significativement au delà de 9% $p m$.

L'utilisation du rapport optimal du squelette granulaire continu avec 9% de polymère conduit à un micro béton résineux optimal avec des résistances mécaniques maximales grâce à la continuité et la compacité du squelette granulaire et à la diminution de la porosité.

L'introduction des fillers calcaires dans les micros béton résineux formulés avec 7% $p m$ avait pour objectif d'optimiser la fraction massique des micros béton résineux conduisant à un MBR ayant des propriétés mécaniques et physiques proches voire supérieure au micro béton résineux optimal correspondant à 9% $p m$. Différentes formulations de micro béton résineux avec 7% $p m$.

L'incorporation des fillers à des pourcentages faibles est à l'origine d'une baisse notable de la porosité totale et de la perméabilité. Ceci a conduit à une augmentation de l'ensemble des résistances mécaniques des micros béton résineux (à la compression, à la flexion et à la traction) ainsi que de leur module d'Young.

Les micros béton résineux formulés avec 7% $p m$ peuvent être compétitifs avec la formulation optimale correspondant à 9% $p m$ en incorporant des fillers calcaires à des pourcentages tels que 5% $F m$.

Dans ce cas une augmentation des résistances mécaniques et de la rigidité est observée et est attribuée à l'augmentation de la compacité du squelette granulaire et par conséquent à la réduction de la porosité totale.

L'incorporation des fillers calcaires modifie le comportement à la traction des micros béton résineux formulés avec 7% $p m$..

Les déformations différées d'origine physico-chimiques sont amplifiées dans les milieux humides, et sont diminuées dans les milieux secs par l'introduction des fillers calcaires alors que celles induites par le fluage s'en trouvent diminuées.

Ces resultants sont illustrés sur les figures suivantes:

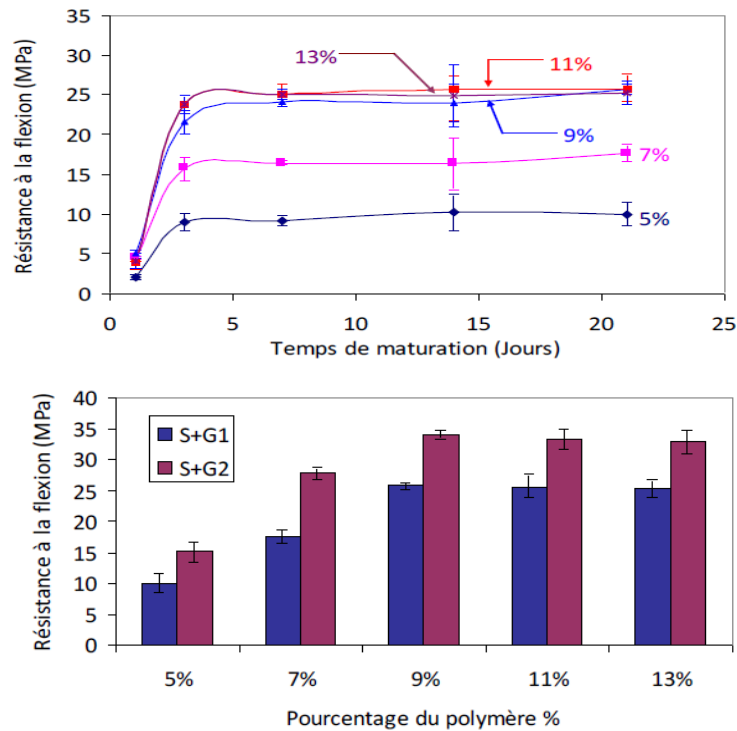
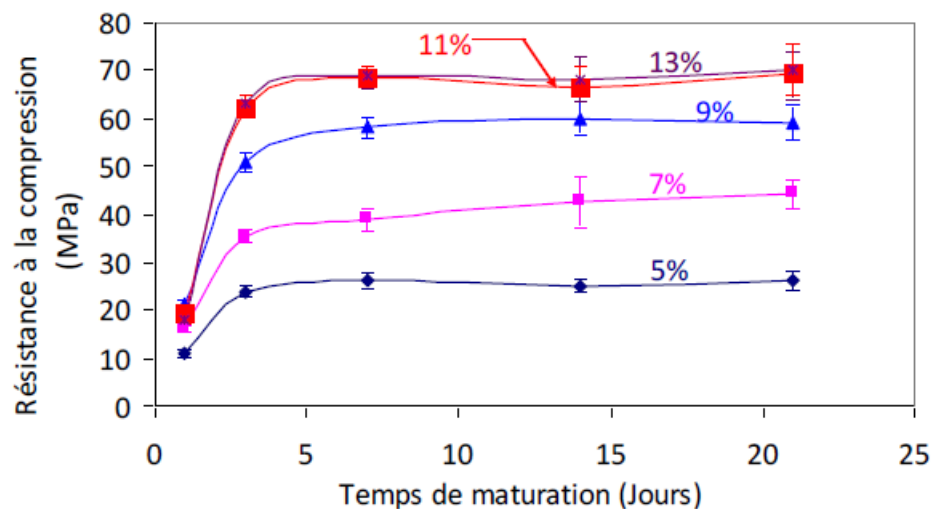


Figure II-8 Résultat de la flexion d'après Murhaff Haidar



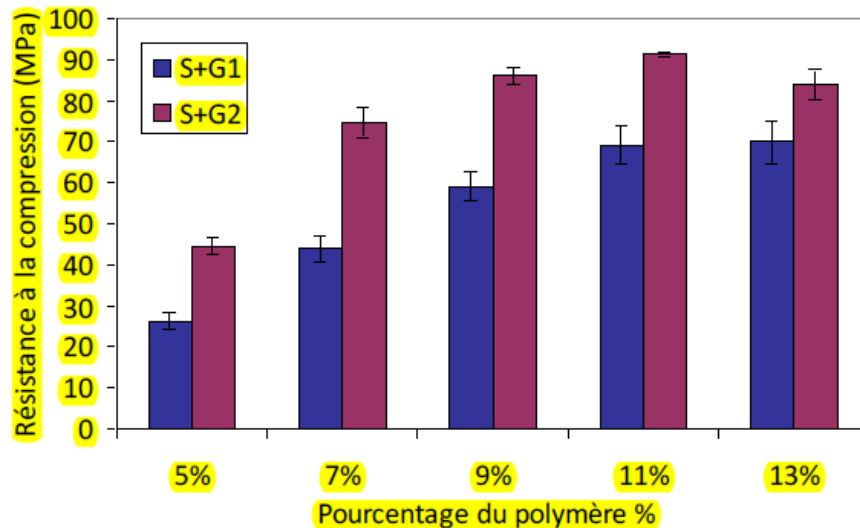


Figure II-9 Résultat de la compression d'après Murhaff Haidar

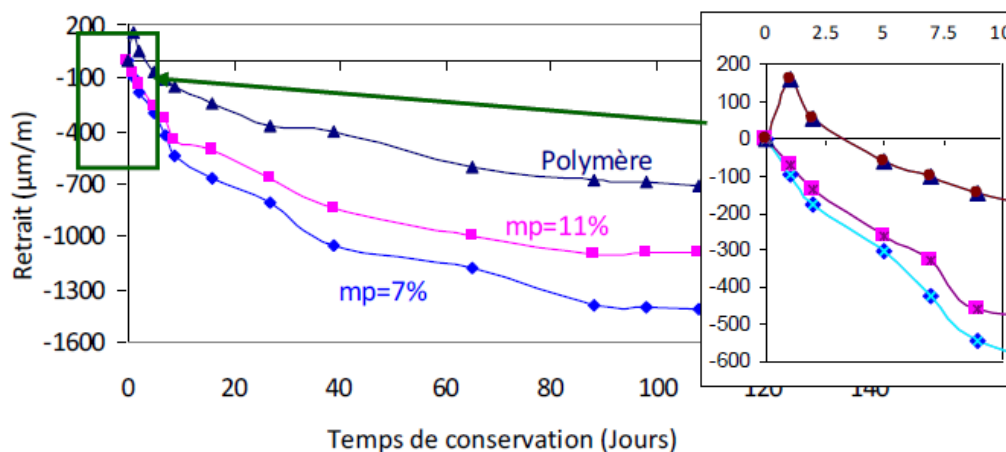


Figure II-10 Résultat du retrait d'après Murhaff Haidar

- ELALOUÏ O [16]: une étude a été menée pour la recherche d'une formulation de béton de résine économique répondant à des critères mécaniques maximales tout en alliant résistance mécanique, durabilité et coût.

Le polymère utilisé en tant que liant est composé d'un polymère appartenant à la famille d'époxyde de type DIGLYCIDYLETHER DE BISPHENOL A DGEBA réticulé par un durcisseur de type amine tertiaire aliphatique.

En premier lieu a trouvé l'optimisation du squelette granulaire ; soit le rapport G/S comme optimum puis variation du taux de liant.

Il a procédé ensuite à une comparaison entre le béton résineux et le béton hydraulique cimentaire

La résistance la plus élevée enregistrée sont obtenues pour un taux de 13 % de résine de même pour la rigidité.

En comparaison avec le béton hydraulique cimentaire ; le béton résineux possède des propriétés physique deux fois moins perméable, plus isolant thermiquement.

De point de vue mécanique le béton résineux est plus résistant en flexion (4fois) et en compression (3fois) .

-GHANIA Mirouzi , Bachir Redjel , Raoul Jauberthie [17]: dans leur travail , ils ont optimisé une formulation d'un micro béton en vue d'obtenir des caractéristiques (résistance à la traction par flexion et à la compression) performantes .

Ils ont opté pour un taux de résine de 27 % comme point de saturation avec 2.7 % de durcisseur par rapport au pourcentage de résine avec 60 % de sable fin et 40 % de sable moyen .

Les résistances mécaniques obtenues sont de l'ordre de 23 MPa en flexion et 70 MPa en compression. [9]

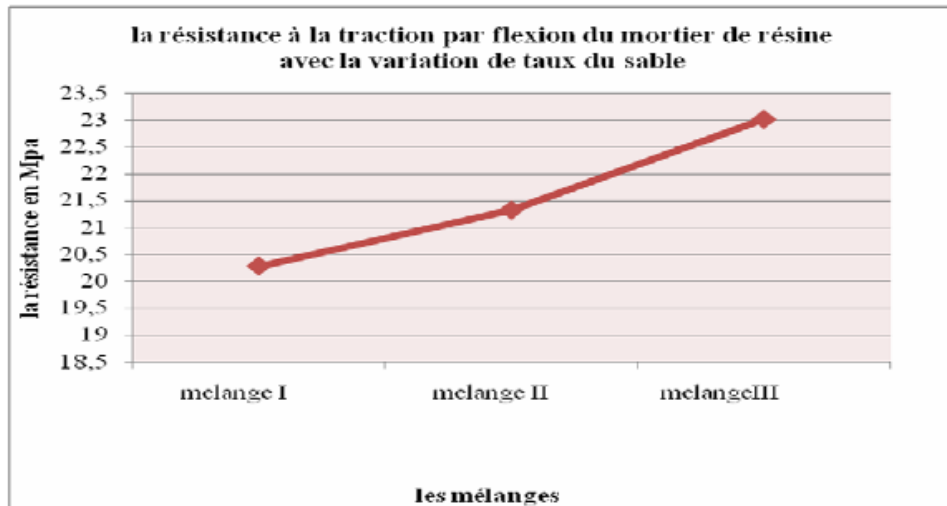
Des recherches antérieures ont exposé l'utilisation du béton de résine dans la rénovation des sols pour usage industriel

Des recherches antérieures ont montré qu'une étude comparative des propriétés mécaniques des bétons de résine courants et du béton de ciment portland a été réalisé par Blaga et al (Bla86) , les résultats ont montré que l'absorption d'eau du béton de résine est plus faible comparée à celle d'un béton hydraulique , les résistances mécaniques (flexion compression et traction) du béton de résine sont également supérieures à celles d'un béton hydraulique et atteignent jusqu'à 210

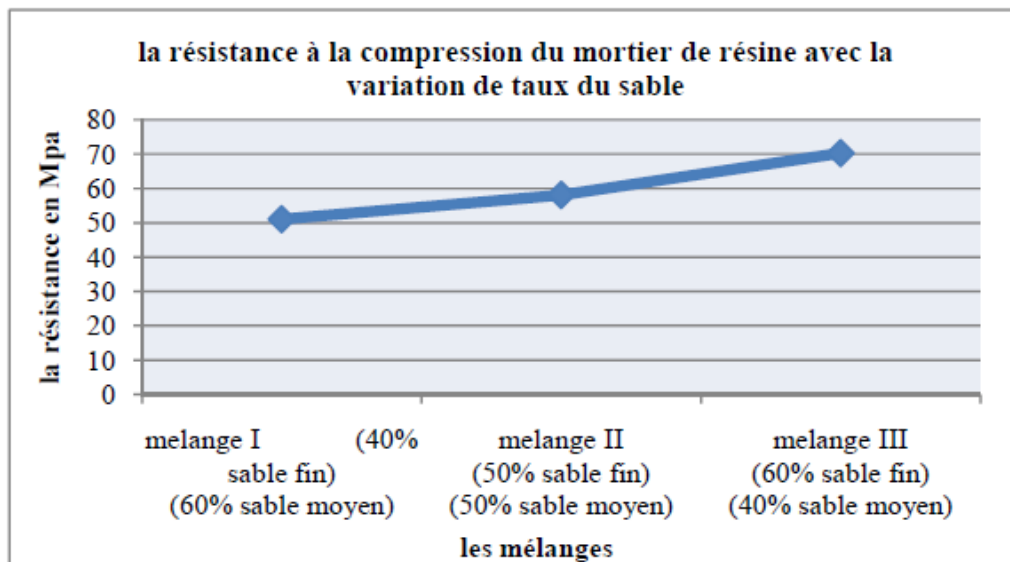
MPa en compression, 25 MPa en traction et 50 MPa en flexion avec des modules d'élasticités variant entre 20 GPa et 40 GPa.[10]

Tableau I-6 Resistances mécaniques des mortiers de résine d'après Ghania Mirouzi[17]

Résistance MPa	Mélange I	Mélange II	Mélange III
Flexion	20 ± (1)	21,3 ± (0.2)	23 ± (1.4)
Compression	51± (3.72)	58 ± (2.7)	70 ± (2.3)



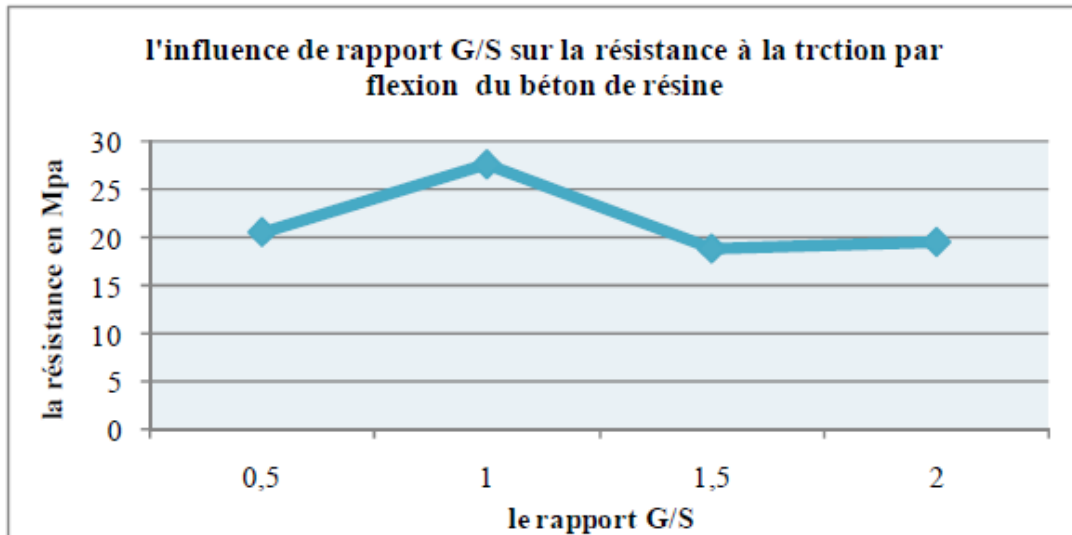
Figures I-11 Résistance à la flexion du mortier de résine avec la variation du taux du sable d'après Ghania Mirouzi[17]



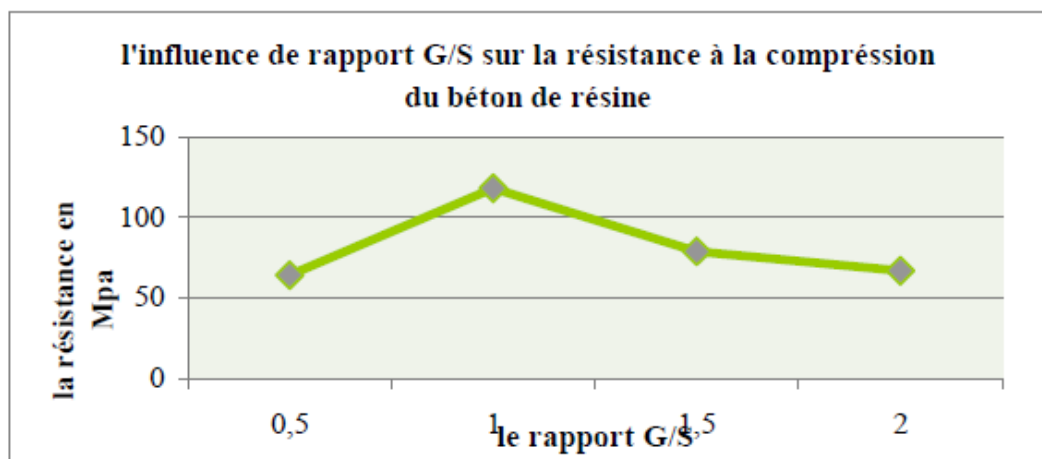
Figures I-12 Résistance à la compression du mortier de résine avec la variation du taux du sable d'après Ghania Mirouzi[17]

Tableau I-7 Résistances mécaniques du béton de résine en variant le G/S d'après Ghania Mirouzi [17]

Résistance MPa	Béton I G/S=0.5	Béton II G/S=1	Béton III G/S=1.5	Béton IV G/S=2
Flexion	20.5 ± (1.82)	27.5 ± (1.68)	18.8 ± (0.9)	19.5 ± (1.6)
Compression	64 ± (0.96)	118 ± (1.40)	79 ± (3.42)	66.5 ± (1.76)



Figures I-12 Résistance à la flexion du béton de résine avec la variation du taux du sable d'après Ghania Mirouzi [17]



Figures I-13 Résistance à la compression du béton de résine avec la variation du taux du sable d'après Ghania Mirouzi[17]

I-4 Utilisations des bétons de résine

I-4-1 Utilisations des bétons de résine dans les bâtiments_[18][19]

- Production du marbre artificiel ;
- Matériau de revêtement et conception des façades pour les formes plus complexes de point de vue architecturale avec des exigences économique et techniques plus strictes.
- Fabrication des éléments (panneaux, appuis de fenêtres, marbres d'escalier, table de travail, haut de table; équipement techniques sanitaire).

I-4-2 Utilisations des bétons de résine dans les travaux de drainage et hydraulique [19]

- Fabrication des différents systèmes de drainage et réseau de canalisation.
- Conduites fabriquées pour les égouts et les systèmes d'irrigation.
- Bétons résineux furanique dans le revêtement de la ligne principale des égouts de Prague sur une longueur de 11 kms.
- Déversoirs de quelque rivière.

I-4-3 Utilisation des bétons résineux dans l'agriculture et l'horticulture

- Employés dans beaucoup de pays pour réaliser des réservoirs d'aliments pour les fermes de bétails, pour des raisons de résistance mécanique, faible poids, résistance contre l'action des ammoniacs et des détergents industriels pour éliminer les bactéries pathogènes afin d'empêcher la contamination des aliments.
- Fabriquer des petites formes et des bacs pour les plants.

I-4-4 Utilisations des bétons dans l'industrie_[20]

- Construction des usines chimiques et dans la fabrication des équipements miniers.
- Utilisation dans le système d'isolation.

I-4-5 Utilisation des bétons dans l'industrie nucléaire_[21]

- Utilisation dans le site d'enfouissement des déchets toxiques et radioactifs.

I-4-6 Utilisation des bétons de résine en géothermie_[22]

- Utilisation pour manipuler la saumure et la vapeur chaude à des températures atteignant 260°C.

I-4-7 Utilisation des bétons de résine pour le revêtement des chaussées et planchers [23]

-Pour les planchers dans les établissements industriels exposés aux actions mécaniques permanentes exercées par les engins de transport.

- Dans les régions à grande variation de température, l'eau pénétrante dans le béton gel et gonfle ce qui engendrent des contraintes menant à la fracture du béton , de même pour les chaussées, le mouvement intensifs des véhicules lourds essentiellement réduit énormément le freinage à temps et cause l'usure de la surface du béton .

- Réparation du pont de Brooklyn à New York, le revêtement ne peut supporter la totalité de la charge du trafic après 4 heures de son étalement.

I-4-8 Utilisation des bétons de résine comme isolant phonique [23]

Pour produire des systèmes d'isolation phonique, le produit doit avoir une bonne résistance mécanique surtout sous l'action des vents intenses et une résistance à l'humidité, aux gaz d'échappement, aux huiles et aux antigels.

Conclusion :

Il ressort de cette étude bibliographique que malgré la diversité des actions de recherche dans la filière polymères dans le monde dont les plus importants ont été cités précédemment ; il se dégage un certain nombre de points qui sont à l'origine de ces choix effectués :

- Le coût des matériaux pour fabriquer un mètre cube de béton résineux est très élevé et il dépasse 700 euros pour un béton contenant 10 % de résine alors qu'il est de 100 euros pour un mètre cube en béton hydraulique.
- La fraction massique optimale du liant organique dépend du type de polymère et des charges minérales nature et étendue granulaire qui compose le béton.
- Les fractions massiques fréquemment utilisées se situent entre 9 et 13 %
- Les résistances à la compression atteintes varient entre 20 à 120 Mpa.
- Le béton résineux possède des propriétés physiques tels que ; deux fois moins perméable, trois fois plus résistant en compression, quatre fois plus résistant en flexion et plus isolant thermiquement et l'absorption d'eau plus faible.

II-1 Introduction

Le micro béton résineux à base de sable alluvionnaire, dunaire et gravier 3/8 objet de ce mémoire est un composite dont le liant est un polymère organique synthétique.

Ce chapitre traite les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans ce composite.

II-2 Matériaux utilisés

Les différents matériaux utilisés pour la confection du micro béton résineux à base de sable alluvionnaire et dunaire sont :

- Sable alluvionnaire;
- Sable dunaire;
- Gravier de fraction 3/8;
- Liant polymérique (résine Médapoxy STR).

II-2-1 Sable

Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur les qualités du béton, il joue le rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs dégagées et le prix de revient des bétons. Il doit être propre, ne pas contenir d'éléments nocifs il convient de se méfier de la présence de sables granitaires, de micas en paillettes, d'argiles, de sulfates etc. [19].

Les sables utilisés sont de deux types, l'un alluvionnaire de classe granulaire 0/5 mm et le second est dunaire de classe granulaire 0/0,63 mm.

II-2-1-a Sable alluvionnaire SA

Le sable alluvionnaire est issu de la carrière d'oued M'zi située au Nord Est de la commune de Laghouat, est utilisé généralement dans la composition des bétons dans les projets de construction de la région.



Figure II-1 Sable alluvionnaire

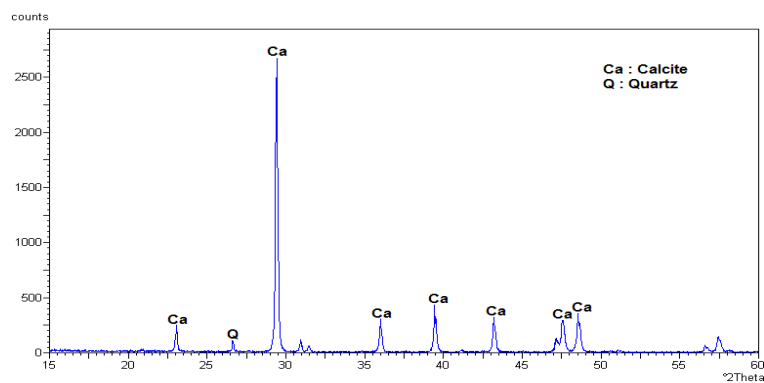


Figure II-2 Diffraction des rayons X du Sable alluvionnaire

II-2-1-b Sable de dune SD

Le sable de dune est un produit de désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie, etc..., les déserts de sable se localisent dans les vastes cuvettes d'épandage ou des puissantes accumulations alluviales du début du quaternaire.



Figure II-3 Sable dunaire

Le sable dunaire peut être considéré comme source quasi inépuisable de matériau. Il est composé de différents minéraux, tels que la silice, les silicates, les carbonates et les argiles.

Tableau II-1 Analyse chimique du sable de dune

Résidus insolubles (SiO_2 +Silice)%	96.25
Teneur en sulfate (SO_3)%	0.39
Teneur en chlorures %	0.036
Carbonate de calcium CaCO_3 %	2.4

II-2-2 Gravier 3/8

Les graviers utilisés sont de classe granulaire 3/8 issus de concassage des roches calcaires de la station d'Ouezzane (Laghout).



Figure II-4 Gravier 3/8

Tableau II-2 Analyse chimique du gravier 3/8

Calcit CaCO_3	55-70%
Sulfate $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0-5%
Les insolubles	Le reste

II-2-3 Liant

Le liant a pour rôle de lier les renforts, répartir les contraintes, apporter la tenue chimique de la structure et donner la forme désirée au produit.

La résine est un produit synthétique qui présente une remarquable adhésivité. Par ailleurs, en présence d'un catalyseur, elle durcit plus ou moins rapidement par polymérisation (association de molécules identiques engendrant la formation de molécules plus grosses), on peut donc penser à l'employer comme liant pour la confection de certains bétons.

II-2-4 Résine

La résine résulte de la polycondensation d'un groupement d'époxyde (l'épichlorhydrine) avec un diol (le bisphénol).

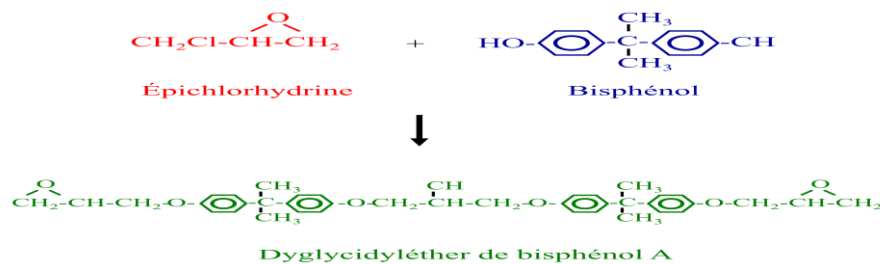


Figure II- 5 Structure chimique de la résine

II-2-4-a Avantages :

Tenues mécanique, thermique et chimique, faible retrait, excellente adhérence sur fibres, mise en œuvre facile sans solvant.

II-2-4-b Inconvénients

Prix élevé, sensibilité à l'humidité et aux ultra violet, vieillissement sous température, sensibilité aux chocs, Temps de polymérisation.

II-3 Essai de caractérisation des matériaux

II-3-1 Masses volumiques

Les masses volumiques du sable employé sont mesurées selon la norme NF P 18-555[25], on distingue alors :

II-3-1-a Masse volumique apparente

La masse volumique apparente γ_{app} est la masse de l'unité de volume du sable à l'état naturel. La méthode de détermination de cette caractéristique physique consiste à remplir un récipient dont le volume V est bien connu, par un échantillon

sec de granulats, en rasant soigneusement les bords du récipient et à peser l'échantillon sec M de sable. La masse volumique apparente Υ_{app} est déterminée par la relation ci-dessous :

$$\Upsilon_{app} = \frac{M_t - M_r}{V} \quad (II-1)$$

Ou:

M_t : Masse totale (matériau + récipient) ;

M_r : Masse du récipient ;

V : Volume du récipient.

II-3-1-b Masse volumique absolue

La masse volumique absolue Υ_{abs} est la masse de l'unité de volume absolue du sable. Pour la détermination de cette propriété physique, il existe la méthode de l'éprouvette graduée et celle du pycnomètre.

Nous avons utilisé la première méthode qui consiste à remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau, ensuite à peser un échantillon M_s et à l'introduire dans l'éprouvette en éliminant toutes les bulles d'air, le liquide monte dans l'éprouvette jusqu'au nouveau volume V_2 . La masse volumique absolue Υ_{abs} est alors déterminée par la formule suivante :

$$\Upsilon_{abs} = \frac{M_s}{V_t - V_v} \quad (II-2)$$

ou

M_s : masse des grains solides ;

V_v : Volume d'eau ;

V_t : Volume total (grains+ eau).



Figure II-6 Dispositif le chatelier

II-3-2 Coefficients d'absorption des granulats

L'essai est réalisé selon la norme NF P18-222 [25], la pluparts des granulats stockés dans une atmosphère pendant un certain temps, peuvent par la suite absorber de l'eau, le processus par lequel le liquide pénètre dans la roche et l'augmentation de poids qui en résulte est appelé absorption.

L'absorption peut varier dans de très larges mesures suivant la nature du granulat, elle peut varier de 0 à plus de 30 % du poids sec du granulat.

Le coefficient d'absorption A_{bs} est donné par la formule suivante :

$$A_{bs} = (M_h - M_s / M_s) * 100 \quad (II-3)$$

Où:

M_s : masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve pendant 24 h à 105 °C.

M_h : masse de l'échantillon imbibé.

II-3-3 Equivalent de sable

L'équivalent de sable E_s indique le pourcentage des impuretés qui se trouvent dans un sol. Il permet de contrôler la propreté d'un sable. Cet essai est réalisé conformément à la norme NFP 18-598 [25].

Deux indices sont déterminés : E_s à vue et E_s à piston comme il est indiqué sur la figure ci-dessous :

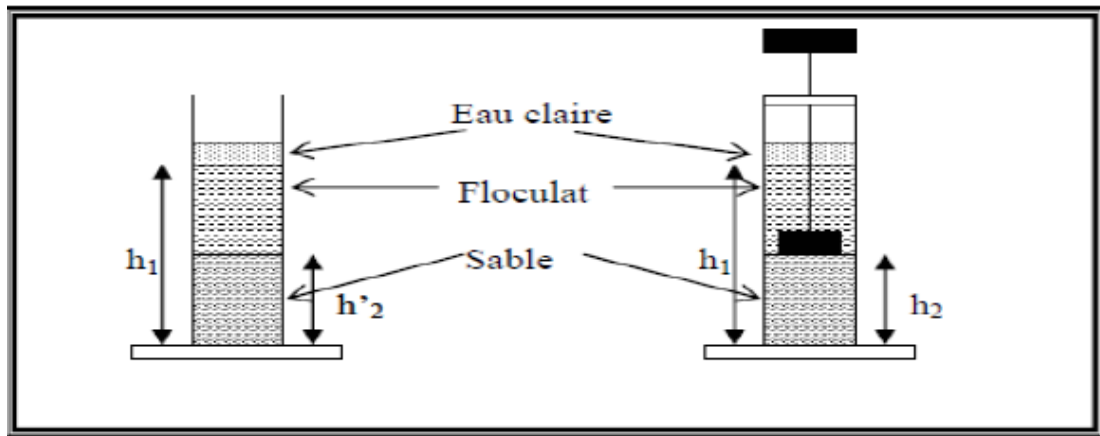


Figure II-7 Essai de l'équivalent de sable à vue et à piston

La relation de l'équivalent de sable est donnée par la formule suivante :

Equivalent de sable par piston $E_{sv} = h'_2/h_1 \times 100 \%$ (II-4)

Equivalent de sable visuel $E_{sp} = h_2/h_1 \times 100\%$ (II-5)

Où :

h_1 : Hauteur du niveau supérieur du floculat par rapport au fond de l'éprouvette

Et h_2 et h'_2 : Hauteur du niveau supérieur de la partie sédimentée mesurée de deux manières visuellement ou à l'aide d'un piston du floculat par rapport au fond de l'éprouvette.

Tableau II-3 Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable [24]

Es visuel	Es piston	Qualité de sable
$ESV < 65$	$Esp < 60$	Sable argileux: risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
$65 \leq ESV \leq 75$	$60 \leq Esp \leq 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour bétons de qualité courant
$75 \leq ESV \leq 85$	$70 \leq Esp \leq 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
$ESV \geq 85$	$Esp \geq 80$	Sable très propre, l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau

II-3-4 Compacité et porosité

II-3-1-a Compacité

La compacité **C** est égale au rapport du volume de matière pleine au volume total, elle est définie par la formule suivante : $C = \gamma_{app} / \gamma_{abs} * 100$ (II-6)

Où :

γ_{app} : Masse volumique apparente ;

γ_{abs} : Masse volumique absolue.

II-3-1-b Porosité

La pénétration de l'eau dans les pores du matériau conduit à former un béton moins durable surtout dans les milieux agressifs. Ce qui nécessite de connaître la porosité des constituants entrant dans la composition des bétons.

La porosité **P** est déterminée par la relation suivante :

$$P = 1 - C \quad (II-7)$$

Où **C**: Compacité.

II-3-5 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux des différents grains constituant l'échantillon. L'essai est utilisé pour les matériaux dont les particules sont de diamètre **D** supérieur à 0.08 μm , il est défini par la norme **NFP18-560**[25].

Le poids d'échantillon qui doit être pris en compte dans l'essai est tel que :

$$200 D < M < 600 D$$

Avec : **M** : Masse de l'échantillon en gramme ;

D : Dimension maximale en millimètre du plus gros élément.

Module de finesse

Cet essai consiste à évaluer la finesse des granulats et il est caractérisé par un facteur appelé module de finesse.

Ce module de finesse M_f dépend essentiellement de la taille et de la répartition des agrégats utilisés, il est égal au 1/100^{ème} de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante :

(0.16; 0.315; 0.63;1.25;2.5;5;10;20;40 et 80 mm)

Soit : $M_f = \sum \text{refus cumulés des tamis (0.16; 0.315; 0.63;1.25;2.5;5;10;20;40 et 80 mm)} / 100.$ (II-8)

II-3-6 Degré d'impureté pour le gravier 3/8

Le degré d'impureté I est calculé selon la norme NFP 18-591 [25]. C'est le taux de la masse de poussière par rapport à la masse totale du gravier avant lavage.

Ce paramètre est calculé avec la formule suivante :

$$I = M_1 - M_2 / M_2 \times 100 \quad (\text{II-9})$$

M_1 : masse de l'échantillon du gravier avant lavage ;

M_2 = masse de l'échantillon du gravier après lavage et séchage.

II-3-7 Coefficient Los Angeles pour le gravier 3/8

La dureté des graviers utilisés est déterminée par le coefficient Los Angeles (LA) est calculée selon la norme NFP 18-573 [25]. Elle caractérise la résistance des granulats à l'usure interne et au choc.

Le coefficient est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$LA = (5000 - M) / 5000 \quad (\text{II-10})$$

M = masse sèche de l'échantillon analysé.

II-4 Résultats expérimentaux

II-4-1 masse volumiques

Tableau II-4 Résultats des masses volumiques du sables (SD,SA)et graviers 3/8

Matériaux	γ_{app}	γ_{abs}
Sable dunaire SD	1.50	2.55
Sable alluvionnaire SA	1.50	2.60
Mélange sable dunaire et alluvionnaire SAD	1.51	2.58
Gravier 3/8	1.37	2.52

II-4-2 Coefficients d'absorption

Tableau II-5 Résultats des coefficients d'absorption

Matériaux	Coefficients d'absorption
Sable dunaire	0.55
Sable alluvionnaire	1.77
Gravier 3/8	2.26

D'après le tableau II-3 les résultats du coefficient d'absorption sont inférieurs à 2.5, les granulats ont une capacité d'absorption acceptable.

II-4-3 Equivalent de sable

Tableau II-6 Résultats des équivalents de sable

Matériau	Es (vue)	Es (piston)	Qualité
Sable dunaire SD	91	82	Très propre, absence totale de fines argileuses.
Sable alluvionnaire SA	87	84	Très propre, absence totale de fines argileuses.
Mélange sable dunaire et alluvionnaire SAD	92	81	Très propre, absence totale de fines argileuses.

Les sables dunaire et alluvionnaire sont très propres et ne contiennent pas d'argile et seront bons pour les bétons de haute résistance et autres propriétés mécaniques performantes.

II-4-4 Compacité et Porosité

Tableau II-7 Résultats des compacités et Porosités

Matériau	Sable dunaire	Sable alluvionnaire	Gravier 3/8
Compacité	59	57	51.2
Porosité	41	43	48.8

D'après les normes NF EN 196-2, une bonne compacité des granulats est comprises entre 55 et 65 % .

Donc les valeurs trouvées figurant dans le tableau II-5 sont bonnes et les granulats ont une bonne compacité.

II-4-5 Résultats de l'Analyse granulométrique

II-4-5-a Sable dunaire

Les résultats de l'analyse granulométrique du sable dunaire SD

Tableau II-8 Granulométrie sable dunaire SD

Tamis (mm)	3.15	1	0.63	0.2	0.315	0.16	0.08	Fond
SD %	100	100	94.29	98.2	62	30	2.6	0.46

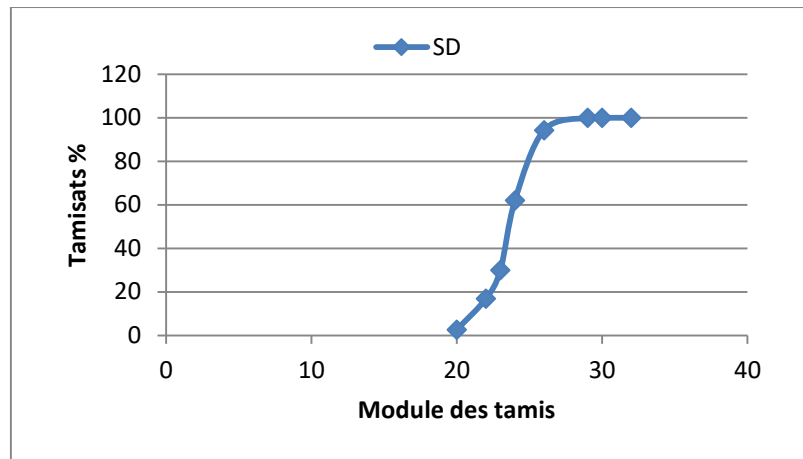


Figure II-8 Courbe granulométrique du sable dunaire SD

Le sable dunaire est à granulométrie serrée et continue.

II-4-5 -b Sable alluvionnaire SA

Les résultats de l'analyse granulométrique du sable alluvionnaire

Tableau II-9 Granulométrie sable alluvionnaire SA

Tamis (mm)	4	3.15	1	0.63	0.315	0.16	0.08	Fond
SA %	100	99	93	87	77	41	23	0

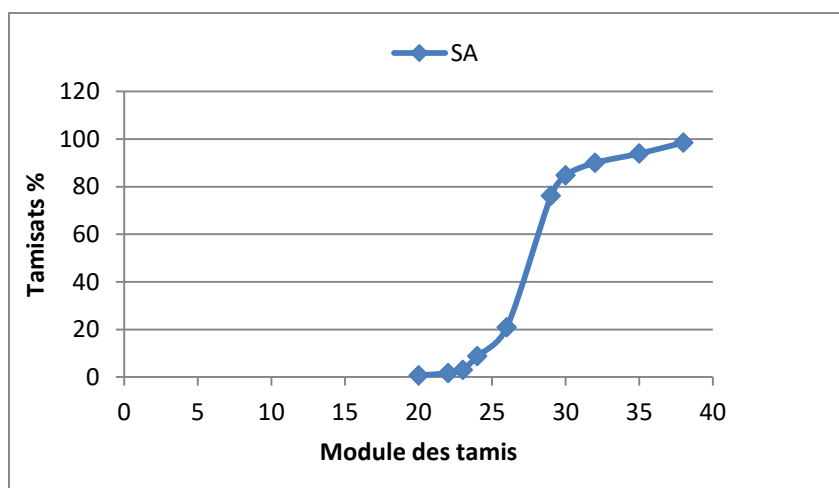


Figure II-9 Courbe granulométrique du sable alluvionnaire SA

Le sable alluvionnaire est à granulométrie étalée et discontinue.

II-4-5-c Mélange de sable dunaire et alluvionnaire SAD

Un mélange des deux sables dunaire et alluvionnaire avec un rapport $SA/SD = 1.7$ a été utilisé pour l'amélioration du squelette granulaire [27] .

Les résultats de l'analyse granulométrique du mélange SAD

Tableau II-10 Granulométrie du sable mélange SAD

Tamis (mm)	5.0	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	0.125	0.08
SAD%	100	90.80	80.07	45.70	30.70	12.00	8.30	2.90

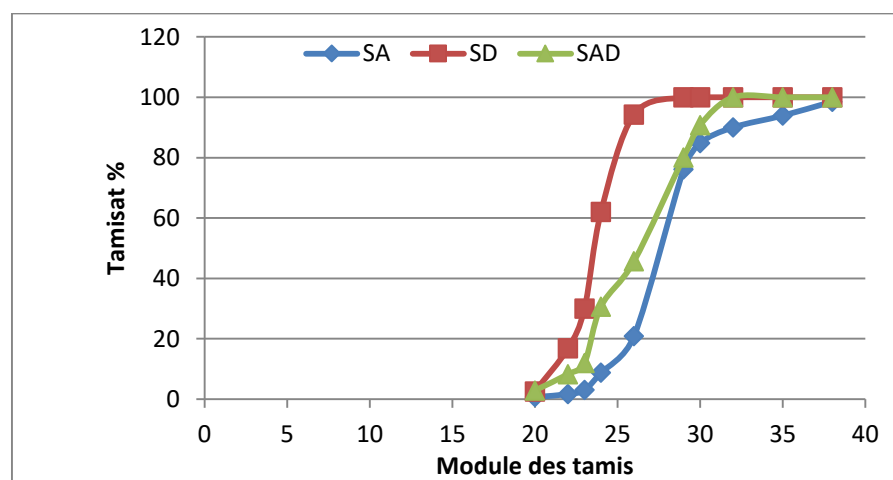


Figure II-10 Courbe granulométrique des sables SA-SD-SAD

La courbe granulométrique du mélange des deux sables de dune et alluvionnaire est étalée et continuée, ce mélange peut être utilisé pour la confection d'un béton .

Module de finesse M_f

Tableau II-11 Résultats du module de finesse

Matériau	Sable dunaire	Sable alluvionnaire	Mélange sable dunaire et sable alluvionnaire
module de finesse	1.86	2.5	2.28

Sable dunaire à un M_f inférieur à 2.20 c'est un sable très riche en éléments fins et le sable alluvionnaire présente un M_f égal à 2.5 c'est un sable normal.

Leur mélange (sable dunaire et sable alluvionnaire) présente un M_f égal à 2.28 ce qui va permettre d'obtenir une ouvrabilité satisfaisante et bonne résistance du béton.

II-4-5-c Gravier

Les résultats de l'analyse granulométrique du gravier 3/8

Tableau II-12 Granulométrie du gravier 3/8

Tamis (mm)	10	8	6.3	5	4	3.15	2	Fond
G3/8	100	93.46	67.48	40.31	21.82	1.8	0	/

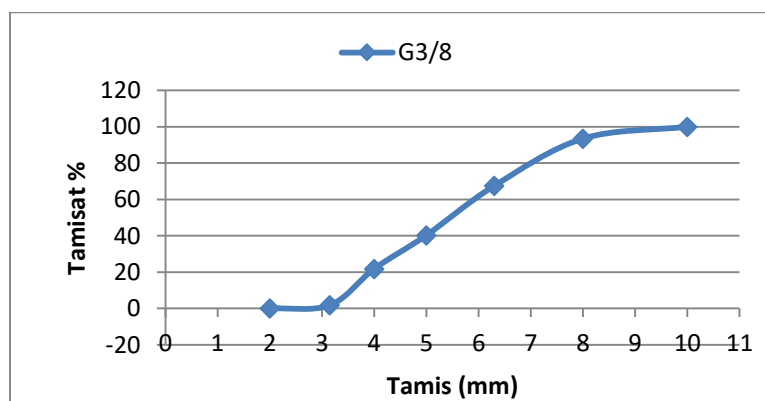


Figure II-11 Courbe granulométrique du G3/8

Le gravier 3/8 est à granulométrie étalée et continue.

Tableau II-13 Résultats degré d'impureté et coefficient Los Angeles

Matériau	Degré d'impureté (I)	Coefficient Los Angeles (LA)
Gravier 3/8	0.95 %	30
Observation	Gravier propre	Bonne dureté et bonne résistance au choc

Le gravier 3/8 à un degré d'impureté acceptable (inférieur à 1.5%) et un coefficient Los Angeles pour permettre la confection d'un béton à résistance élevée.

II-4-6 Caractéristiques de la résine Médapoxy

Le type de liant utilisé dans le micro béton c'est la résine Médapoxy STR.

La résine médapoxy est un liant polymère réactif constitue de deux composants, une base en polymère réactif et un durcisseur qui polymérisent à température ambiante.

Elle se présente sous forme de Kit dosé à 2 composants

Elément A : Résine

Elément B : Durcisseur

TABLEAU II-14 Caractéristiques de la résine Médapoxy STR

Densité	1.1 0.05
Viscosité	11000 MPa à 25°C
DPU NFP 18810°	1 h 15 mn à 20°C et 65 HR
Temps de durcissement à 20° et 65%HR	6 à 16 h
Résistance à la compression	>70 MPa
Résistance à la flexion	>25 MPa
Adhérence sur béton	>3 MPa
Durée de mise en service	10 j 20 °C

II-4-6-c Condition d'utilisation

Ne pas appliquer lorsque la température ambiante ou celle du support est inférieur à 10°C ou supérieure à 30°C ; l'humidité relative de l'air doit être inférieur à 80 %.

Conclusion

D'après les différents essais établis dans ce chapitre on peut conclure ce qui suit :

-Le gravier 3/8 utilisé issu de concassage des roches calcaires de la région de Laghouat avec une granulométrie continue et un degré d'impureté acceptable et bon pour la confection d'un béton à haute résistance.

-Sable alluvionnaire SA est issu de la carrière d'oued M'zi située au Nord Est de la commune de Laghouat, se caractérise d'une granulométrie étalée discontinue et d'une propreté acceptable et d'un taux d'absorption d'eau faible.

-Sable dunaire SD issu de produit de désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie, etc..., se caractérise par une granulométrie serrée et continue, d'une excellente propreté et d'un taux d'absorption considérables.

-Le sable mélange SAD (sables alluvionnaire et dunaire) présente un MF suffisant et une granulométrie étalée et continue ce qui convient bien pour avoir une résistance satisfaisante et une bonne ouvrabilité du béton.

-Le liant résine médapoxy STR présente plusieurs propriétés telles que :

- Propriétés mécaniques et thermiques élevées ;
- Bonne résistance à l'absorption de l'eau ;
- Faible retrait ;
- Très bonne tenue aux produits chimiques ;
- Très bonne adhérence sur supports béton et acier ;
- Bonne mouillabilité du support et de la fibre de verre.

Et des inconvénients tels que prix élevé, sensibilité à l'humidité et aux ultra violet, vieillissement sous température, sensibilité aux chocs, Temps de polymérisation.

III-1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de l'étude expérimentale portant d'une part l'effet de la résine à base d'époxyde et la variation du taux de résine ou sa fraction massique ainsi que la variation du rapport G/S sur les propriétés physico-mécaniques des micro-béton résineux à base de sables dunaire et alluvionnaire et d'autre part leur effet sur le retrait et l'absorption d'eau .

Les fractions massiques du polymère $m_p = 10\%$ et $m_p = 14\%$ ont été choisies dans notre travail à partir des études antérieures où les valeurs des résistances mécaniques élevées correspondent aux fractions massiques variant entre 9 et 13 % [15], [16].

Les différentes formulations ont été composées en variant le rapport gravier, sables pour les deux taux fractions massiques de la résine comme il est indiqué dans le tableau ci-contre.

Tableau III-1. Différentes compositions du micro-béton résineux

Composition	Résine médapoxy (%)	Rapport G/S gravier /sables
C1	14	0.25
C2	14	0.50
C3	14	0.75
C4	10	0.25
C5	10	0.50
C6	10	0.75

III-2 Formulation

Le micro-béton résineux MBR ainsi formulé, est constitué d'un liant à base de polymère (résine médapoxy), d'un gravillon 3/8 et sable mélange SDA.

Il a été pris deux dosages de résine médapoxy soit 10 % et 14 % dont 2/3 correspond à un pré-polymère (A) et 1/3 correspond à un durcisseur (B) pour toutes les formulations (le pourcentage de résine est pris par rapport au poids du mélange sable alluvionnaire, sable dunaire et gravier).

Tableau III-2. Les différents dosages du MBR (kg/m^3)

Composition	% Liant	Gravier 3/8 (g)	Sable dunaire (g)	Sable alluvionnaire (g)
C1	14 %	239.17	358.55	621.48
C2	14 %	398.61	298.78	517.89
C3	14 %	512.49	256.10	443.90
C4	10 %	283.15	424.47	735.77
C5	10%	471.92	353.74	613.15
C6	10%	606.77	303.20	525.55

III-3 Mode opératoire

Avant de fabriquer le micro-béton résineux (MBR), on a procédé au calcul des proportions massiques de chaque constituant, à l'étuvage des granulats pendant 48 heures à 105°C et à la préparation des moules en les imprégnant d'une couche d'huile afin de faciliter le démoulage des éprouvettes en MBR. Le traitement des moules est fait 10 minutes avant la procédure du moulage des MBR.

La préparation des micro-bétons s'est déroulée suivant les étapes suivantes :

- 1- Mélange pendant trois minutes, la résine avec le durcisseur en respectant les proportions 2/3 du pré-polymère (A) et 1/3 du durcisseur(B). Figure III-1. (un malaxeur a été utilisé pour assurer l'obtention d'un mélange homogène avec une vitesse de rotation adéquate).
- 2- Introduction dans le mélange le pré-polymère-durcisseur les charges minérales préalablement séchées, pesées et mélangées sans arrêter le malaxage. Les granulats sont incorporés en trois étapes.
- 3- Introduction de chaque mélange granulaire, un malaxage de trois minutes est réalisé à l'aide du malaxeur.
- 4- Moulage A l'aide d'une truelle des moules avec du MBR frais, en trois couches de la même hauteur (Figure III-2-1).
- 5- Compactage de chaque couche par 25 coups de barre de masse 200 grammes, en arasant soigneusement après le compactage de la deuxième et dernière couche afin de ne pas créer de trous sur la surface arasée (Figure III-2-2) (Figure III-2-3).
- 6- Les échantillons ainsi préparés sont conservés pendant 24 heures à l'air libre à $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ et RH= 48% (Figure III-2-4).
- 7- Démoulage après 24 heures des moules.



Figure III-1 Pré-polymère et durcisseur



Figure III-2-1



Figure III-2-2



Figure III-2-4

Figure III-2. Mode opératoire



Figure III-3. Les six compositions de MBR

III-4 Essais sur micro-béton résineux à l'état durci

Plusieurs essais ont été effectués pour déterminer les caractéristiques des micro bétons résineux.

III-4-1 Résistance mécanique

L'évolution de la résistance mécanique a été suivie au cours du temps en faisant des essais de flexion et de compression à différents âges 1, 7 et 28 jours pour les six différentes compositions.

III-4-1-1 Essai de flexion

L'essai est effectué suivant la norme NF P 18-433 [25] , Un dispositif à rouleau a été utilisé en flexion à 3 points selon la figure III-4 ci-dessous comportant deux appuis à rouleau distant de 100 ou 106.7 mm sur lesquels repose l'éprouvette prismatique 4 x 4 x 16 cm³ et un troisième rouleau équidistant des deux premiers transmettant une charge concentrée F_f .

La résistance à la flexion est calculée selon l'équation suivante :

$$R_f = 1.5 F_f l / b^3 \quad (\text{III-1})$$

R_f : résistance à la flexion en MPa ;

F_f : force de la rupture de l'éprouvette en flexion (N) ;

l : longueur qui sépare les deux appuis en mm ;

b : côté de l'éprouvette qui est égale à 40 mm ;

L : longueur totale de l'éprouvette.



Figure III-4. Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion à 3 points

III-4-1-2 Essai de compression

Cet essai est effectué suivant la norme NFP 18-406 [25]. Il a été exécuté avec une presse, sur les demi-éprouvettes provenant de l'essai précédent. Chaque demi-prisme est mis entre deux plaques de métal puis testé en compression sur ces faces latérales de section $4 \times 4 \text{ cm}^2$, les demi-prismes sont placés entre elles de manière que leur extrémité intacte dépasse d'environ 1 cm, le dispositif est présenté par la figure III-5 ci-dessous.

La résistance à la compression est calculée d'après l'équation suivante :

$$R_c = N / S \quad (\text{III-2})$$

R_c : Résistance à la compression en (MPa) ;

N : Charge de rupture en (N) ;

S : Surface de chargement (mm^2).



Figure III-5. Dispositif de rupture à la compression

III-4-2 Essai de Retrait

L'étude de l'évolution de la variation de longueur des bétons et MBR est un moyen nécessaire qui permet de prévoir le comportement d'une structure lorsque le matériau de construction de base a tendance à rétrécir au jeune âge de ces matériaux vis-à-vis des conditions climatiques, car la durabilité de ces matériaux est compromise lorsque le matériau de construction de base a tendance à rétrécir au jeune âge.

Le retrait ne dépend pas seulement des conditions de conservation (humidité, température), il dépend aussi des conditions et la composition du béton. Cet essai est effectué selon la norme NFP 15-433 [25].

Les mesures de retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ conservé à l'air libre à une température ambiante du laboratoire.

Le retrait ε est calculé d'après l'équation suivante :

$$\varepsilon = \Delta l / l \text{ (}\mu\text{ m/m)} = (l_i - l_f / l) * 1000 \quad (\text{III-3})$$

Ou

$$\Delta l : (l_i - l_f)$$

l_i (mm) : lecture initiale (1^{er} jour) ;

l_f (mm) : lecture du jour de mesure ;

l : longueur initiale de l'éprouvette = 16 cm .

On mesure la valeur du retrait avec un réfractomètre muni d'un comparateur digital.

L'humidité relative $R = 49 \%$ et la température = 20 °C.



Figure III-6. Réfractomètre muni d'un comparateur de mesure de la variation de longueur

III- 4-3 Essai d'absorption d'eau

La capacité d'absorption du béton donne une idée générale sur la présence et l'importance des vides dans le matériau.

III- 4-3-1 Absorption d'eau par capillarité

L'essai d'absorption d'eau s'avère être primordial vis-à-vis de la durabilité des bétons.

L'essai d'absorption d'eau par capillarité est réalisé conformément à la norme NFP 10-502 [25], cet essai est effectué sur des éprouvettes de dimensions (4 x 4 x 16 cm³) séchées jusqu'à poids constant.

On pose les éprouvettes sur leurs bases 4 x 4cm², en les séparant d'au moins 1 cm du fond du récipient et on maintient le niveau d'eau constant.

Les éprouvettes sont immergées dans l'eau à une profondeur de 5 mm, les surfaces latérales des éprouvettes sont imperméabilisées à l'aide de deux couches de verni pour avoir un écoulement uni directionnel.

La base supérieure et la base inférieure ne sont pas imperméabilisées pour permettre la montée de l'eau par capillarité et l'évacuation de l'air pendant l'essai.

Les éprouvettes sont pesées à des intervalles de temps réguliers.

L'absorption capillaire C_c est calculée par la formule suivante :

$$C_c = M \times 100 / S \sqrt{t} \quad (\text{III-4})$$

Où

M: Masse d'eau absorbée en gramme (g) ;

S: Section de la base de l'éprouvette en mm^2 ;

t : Temps d'absorption en heures.

III- 4-3-2 Absorption d'eau par immersion

Pour déterminer l'absorption d'eau, les échantillons ont été séchés dans une étuve à une température de 105°C environ durant 72 h, après séchage final (total) et refroidissement on pèse les éprouvettes. Soit A le poids de l'échantillon à l'état sec.

On immerge ensuite les échantillons dans l'eau ambiante pendant 72 heures. Les échantillons étant retirés de l'eau, leurs surfaces extérieures sont séchées à l'aide d'une serviette, on pose les échantillons une deuxième fois, soit le poids à l'état saturé. L'absorption d'eau A_{bs} est calculée selon la formule suivante :

$$A_{bs} = \gamma_w M / V \times 100 \quad (\text{III-5})$$

Où :

$M = M_1 - M_2$;

M_2 : Masse de l'éprouvette après saturation en grammes (g) ;

M_1 : Masse de l'éprouvette sèche en grammes (g) ;

V: Volume de l'éprouvette en cm^3 ;

γ_w : Masse volumique de l'eau.



Figure III-7. Montage expérimental utilisé dans l'essai d'absorption par immersion

III-5 Résultats des essais

III-5-1 Résistances mécaniques

III-5-1-a Resistance à la flexion

Les mesures des résistances à la flexion ont été effectuées pendant les intervalles de temps (1, 7 et 28 jours) pour les six compositions.

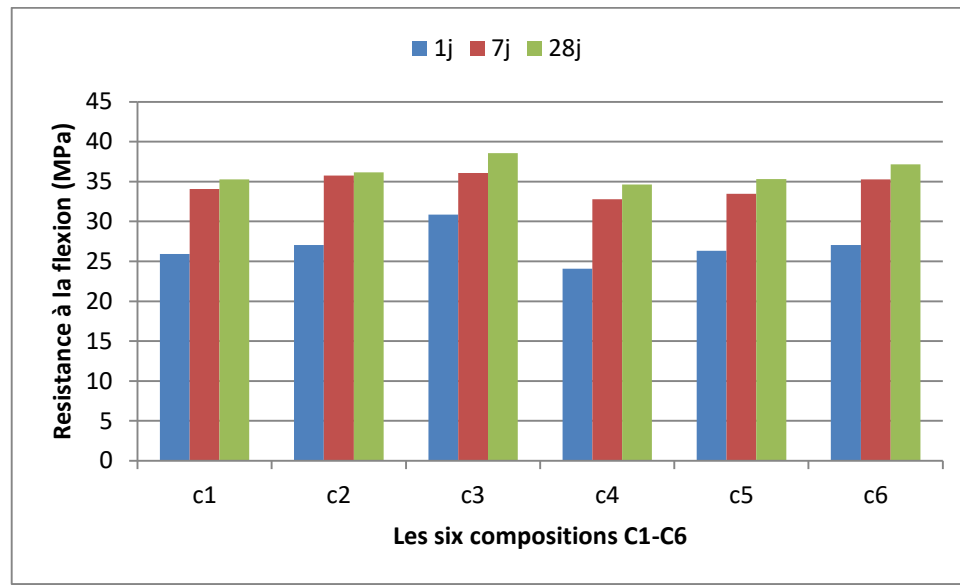


Figure III-8-a. Evolution de la résistance à la flexion en fonction du temps
Pour les différentes compositions

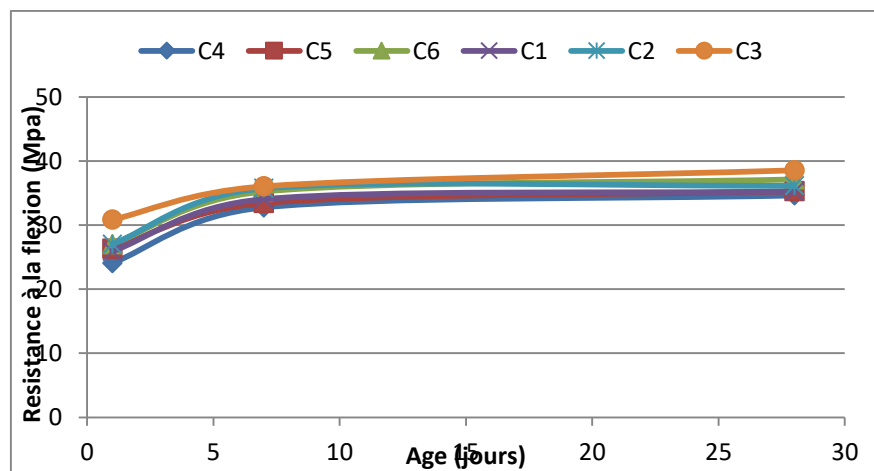


Figure III-8-b. Comparaison de l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour les six compositions

Les résultats illustrés dans les figures ci-dessus, montrent que les valeurs des résistances à la traction par flexion des micro-bétons confectionnées dont le liant est

remplacé par un polymère médapoxy sont fonction croissante du temps à différents échéances, quelque soient la nature et le rapport des agrégats et le taux de la résine.

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la flexion évolue positivement en fonction de l'âge et atteint sa valeur maximale à l'âge de 28 jours pour toutes les compositions de l'ordre de 34.65 à 38.57 MPa.

Durant toutes les échéances (1, 7 et 28 jours), les résistances à la flexion les plus élevées sont celles du MBR de composition C3 dont le taux du polymère médapoxy 14% et un rapport G/S=0.75.

L'effet du rapport des agrégats et le taux de résine sur la résistance à la flexion des micro-bétons, à différents âges est illustré dans les figures suivantes.

Influence du rapport gravier/ sable (G/S) pour les deux taux de résine.

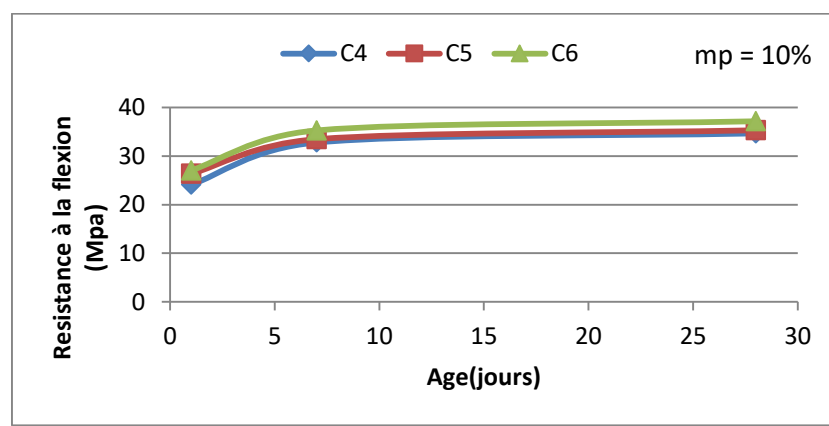


Figure III-9. Comparaison de l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un taux de résine 10 %

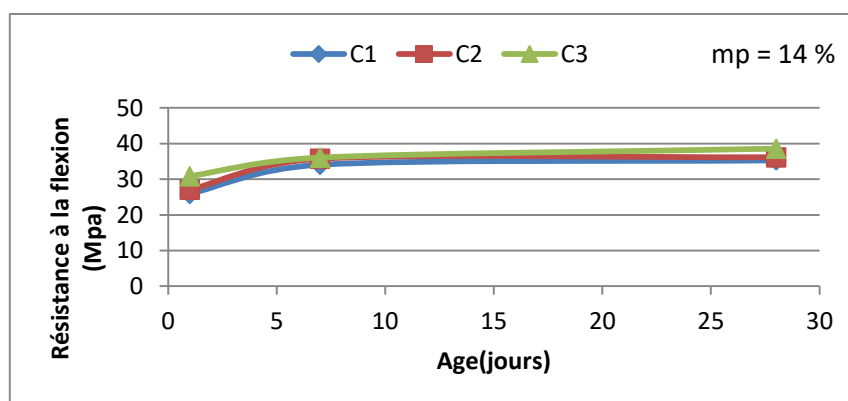


Figure III-10. Comparaison de l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un taux de résine 14 %

Les figures III-9 et III-10 montrent que pour les deux taux de résine (10 % et 14 %), les valeurs maximales de la résistance à la flexion sont est celles des compositions C3 et C6 correspondant au rapport G/S égal à 0.75.

Influence du taux de résine pour les trois rapports G/S

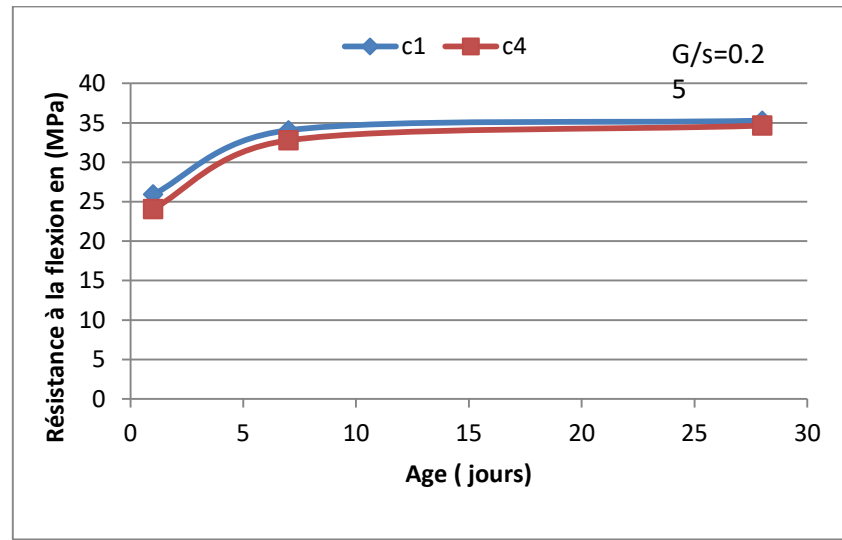


Figure III-11. Comparaison de l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un rapport G/S = 0.25

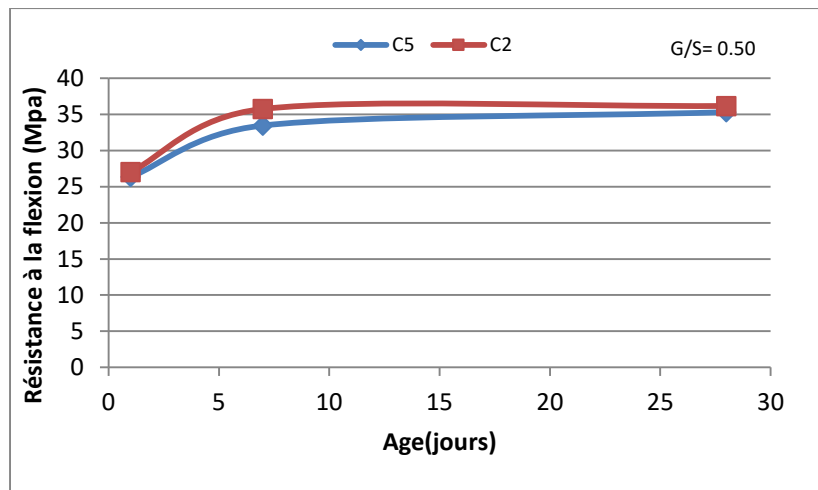


Figure III-12. Comparaison de l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un rapport G/S = 0.50

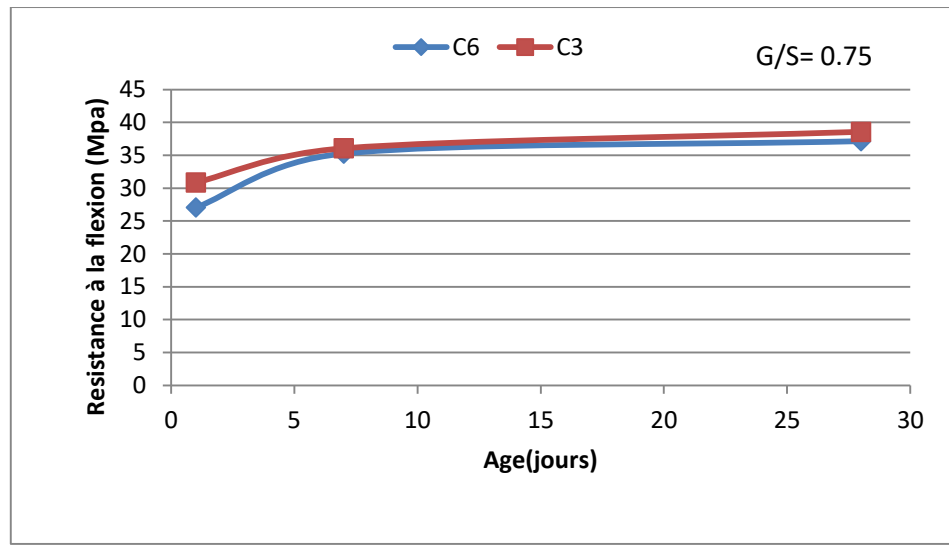


Figure III-13. Comparaison de l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un rapport $G/S = 0.75$

Pour les trois rapports $G/S = 0.25, 0.50$ et 0.75 , on remarque que les valeurs de résistance à la flexion à 28 jours les plus élevées sont ceux correspondant au MBR dont la fraction massique est de 14% (Figure III.11, 12 et 13).

On peut conclure que quel que soit le rapport G/S , la résistance à la traction par flexion la plus élevée correspond à celle des MBRs ayant un taux de résine de 14 %.

D'autres valeurs ont été obtenues par certains chercheurs avec différents type de polymères à différents pourcentages, soient :

M.Haidar, a trouvé que la résistance à la flexion augmente avec l'augmentation du pourcentage du polymère et varie entre 10 à 25 Mpa pour μp comprise entre 5 et 13 %. Et au delà de 9 % elle n'évolue pas significativement [15].

Oussama, La résistance à la flexion augmente en fonction du pourcentage du polymère au delà de 13 % elle n'évolue plus significativement et atteint sa valeur maximale 26 Mpa [16], Welch et al ont obtenus des valeurs maximales de 9.92 Mpa pour un taux de 15 %.

Novoa et al, ont trouvé que la résistance à la flexion atteint 38 Mpa avec un taux de 20 % de résine d'époxy et elle diminue pour atteindre 36 Mpa pour 25 % de résine [28].

Mirouzi et al, ont obtenus des valeurs qui varient entre 20 et 23 Mpa pour un taux de résine polyester 27 % [17].

III-5-1-b Résistance à la compression

La figure III-14 montre la variation de la résistance à la compression des intervalles de temps (1, 7 et 28 jours) pour toutes les compositions.

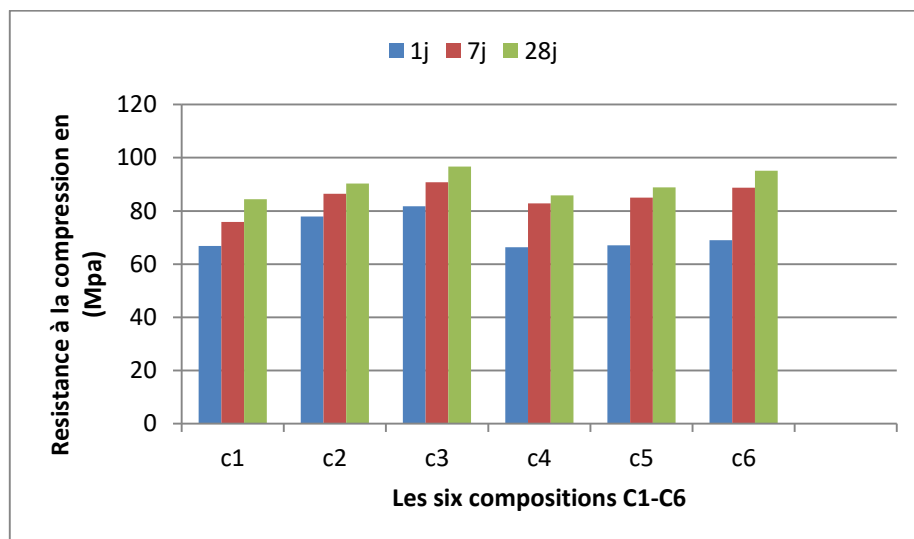


Figure III-14-a. Evolution de la résistance à la compression en fonction du temps
Pour les différentes compositions

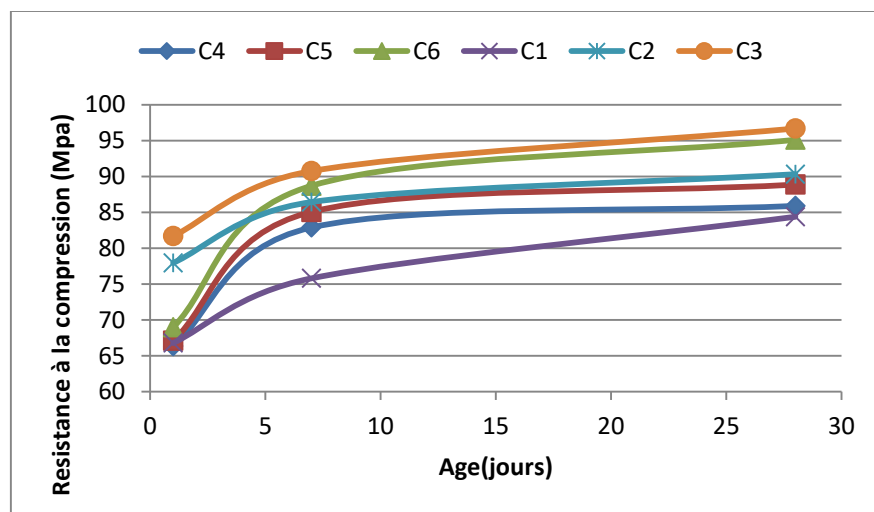


Figure III-14-b .Comparaison de l'évolution de la résistance à la compression en
fonction du temps pour les six compositions

Les valeurs des résistances à la compression des micro-bétons confectionnées dont le liant est remplacé par un polymère (Résine médapoxy) sont fonction croissante du temps à différents échéances, quelque soient la nature et le dosage en granulats et le taux de la résine. Les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression évolue positivement en fonction de l'âge et atteint sa valeur maximale

à l'âge de 28 jours De l'ordre de 85 MPa à 96.6 MPa. Durant toutes les échéances (1, 7 et 28 jours), les résistances à la compression les plus élevées sont celles du MBR de composition C3 dont le taux du polymère médapoxy 14% et un rapport G/S=0.75.

L'effet du dosage des agrégats et le taux de résine sur la résistance à la compression des micro-bétons, à différents âges est illustré dans les figures suivantes.

Influence du rapport gravier sable G/S pour les deux taux de résine

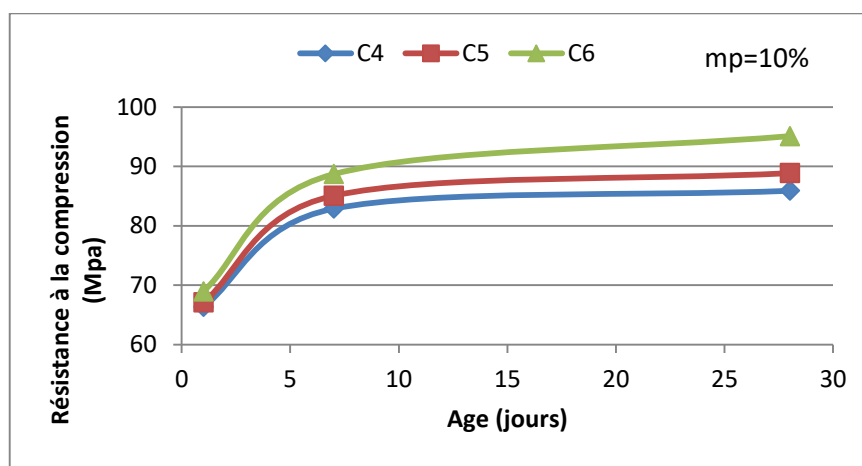


Figure III-15.Comparaison de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour un taux de résine 10 %

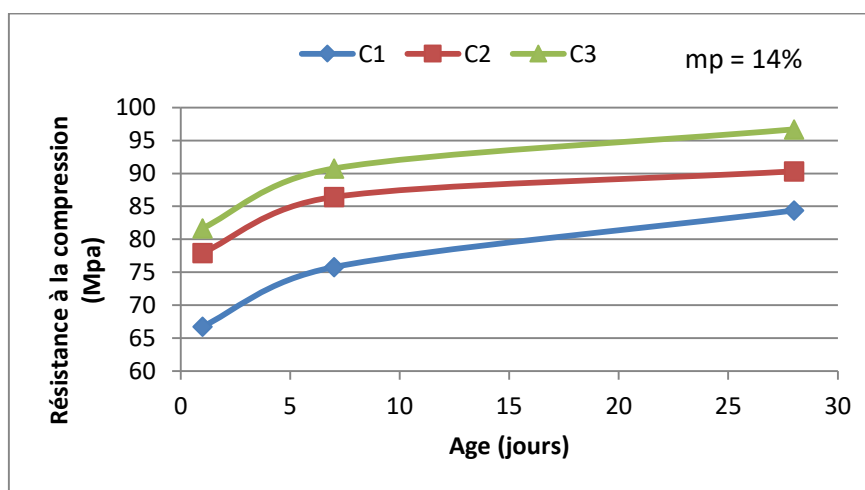


Figure III-16.Comparaison de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour un taux de résine 14 %

Les figures III-15 et III-16 montrent que pour les deux taux de résine (10 % et 14 %), les valeurs maximales de la résistance à la compression sont celles des compositions C3 et C6 correspondant au rapport G/S égal à 0.75. Il faut noter que plus le rapport G/S augmente, la résistance à la compression augmente.

Influence du taux de résine pour les trois rapports G/S

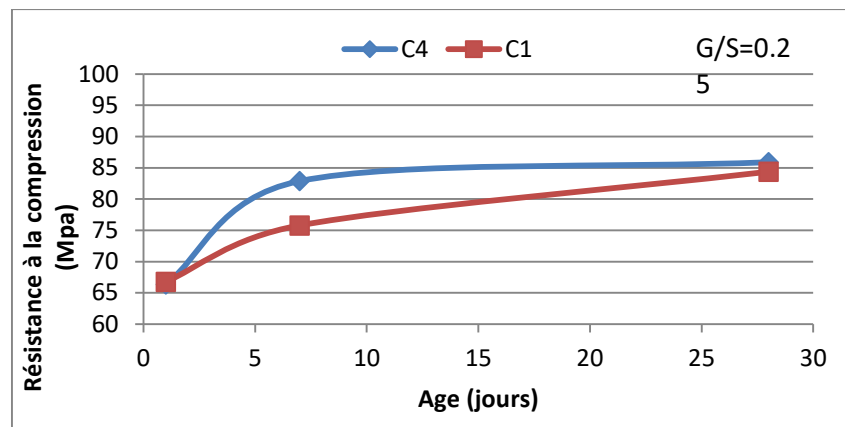


Figure III-17. Comparaison de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour un rapport G/S=0.25

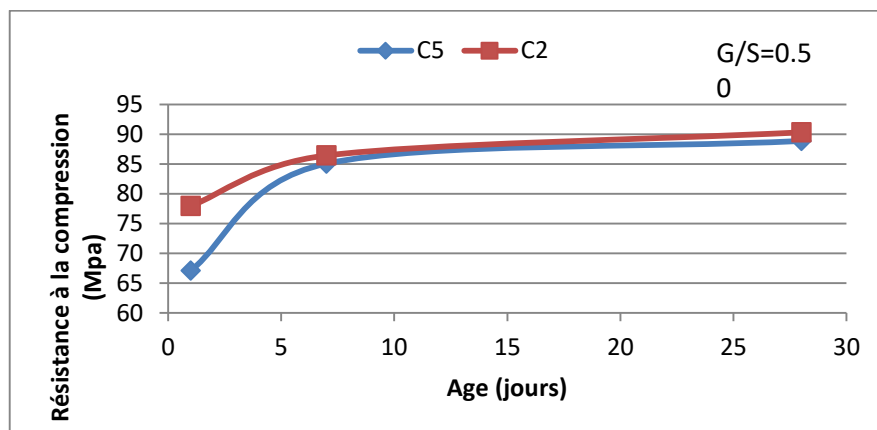


Figure III-18. Comparaison de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour un rapport G/S=0.50

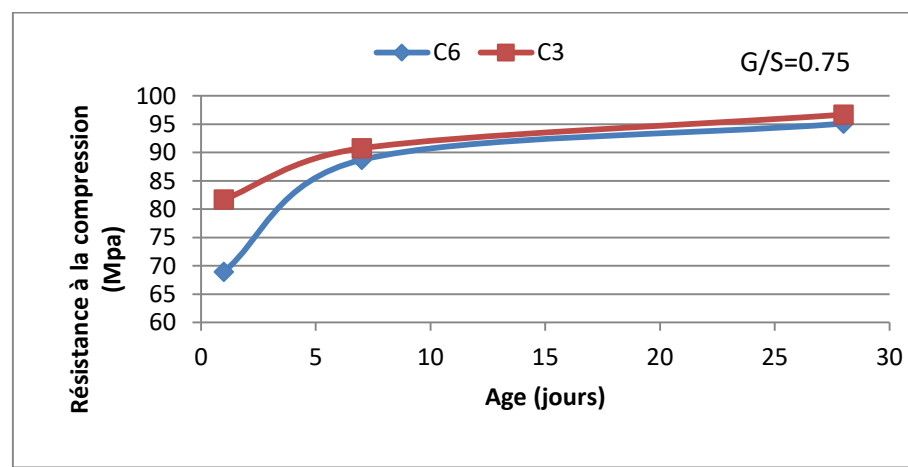


Figure III-19. Comparaison de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour un rapport G/S=0.75

Pour les trois rapports $G/S = 0.25, 0.50$ et 0.50 , on remarque que les valeurs de résistance à la compression à 28 jours les plus élevées sont ceux correspondant au MBR dont la fraction massique est de 14% (Figure III.17,18 et 19).

On peut conclure que quel que soit le rapport G/S , la résistance à la traction par flexion la plus élevée correspond à celle des MBRs ayant un taux de résine de 14 %.

D'autres résultats valeurs ont été obtenus par certains chercheurs avec différents type de polymères à différents pourcentages, soient :

Haidar M , La résistance à la compression augmente également en fonction de la fraction massique du polymère et varie entre 23 à 70 Mpa pour mp comprise entre 5 et 13 % et au delà de 11 % , n'évolue plus et atteint sa valeur maximale 70 Mpa [15].

Oussama, La résistance à la compression augmente en fonction du pourcentage du polymère au delà de 13 % elle n'évolue plus significativement et atteint sa valeur maximale 91 Mpa, Welch et al ont obtenus des valeurs maximales de 76.87 Mpa pour un taux de 15 % [16].

Novoa et al , ont trouvé que la résistance à la compression atteint 68 Mpa pour un taux de 20 % résine d'époxy [28] .

Mirouzi et al , ont obtenus des valeurs qui varient entre 20 et 23 Mpa pour un taux de resine polyster 27 % [17].

III -5-2 Retrait

Les résultats de l'évolution du retrait sont illustrés sur les figures suivantes pour les six compositions (C1,C2,C3,C4,C5 et C6).

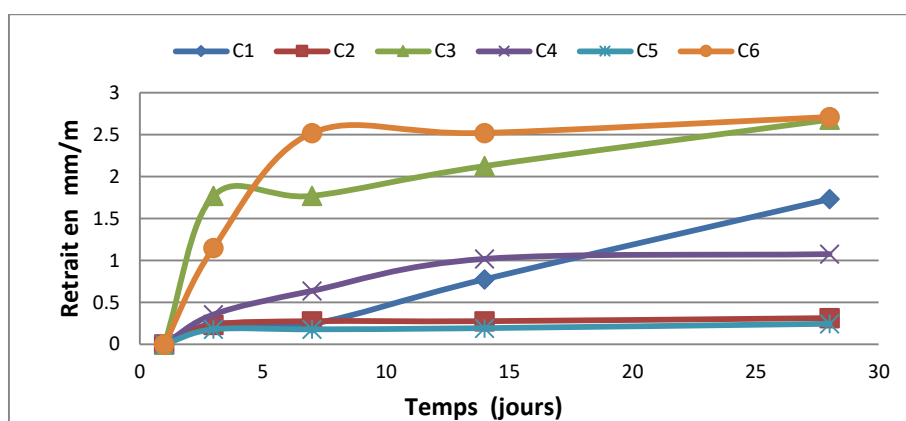


Figure III-20.Comparaison de l'évolution du retrait en fonction du temps pour les six compositions

La figure III-20 ci-dessus montre que les résultats obtenus lors de l'essai de retrait. L'évolution du retrait au cours du temps est similaire pour l'ensemble des micros-bétons, elle présente une augmentation jusqu'au 28^{ème} jour.

Les micro-bétons présentent presque les mêmes allures deux à deux à partir du 1^{er} jour (C1,C4),(C2,C5) et (C3,C6) pour le rapport G/S = 0.25, G/S=0.50 et G/S=0.75 respectivement. Comme il apparaît dans la figure III-20, les micro-bétons C3 (14 % de résine et G/S =0.75) et C6 (10% de résine et G/S=0.75) ont montré une grande tendance au retrait par rapport aux autres micro-bétons. Par contre, C1 (14% de résine et G/S=0.25) et C4 (10% de résine et G/S=0.25) présentent des valeurs intermédiaires présentent les plus faibles valeurs. Tandis que, les deux compositions C2 (14% de résine et G/S=0.50) et C5 (14% de résine et G/S=0.50). Ces constatations nous permettent de dire que le retrait est influencé par le rapport G/S quel que soit le taux de résine.

A 3 jours, la valeur maximale de retrait enregistrée est de 1.77 mm/m correspondant à celle de la composition C3 dont le rapport G/S est égal à 0.75 et un taux de résine de 14 % et la valeur minimale est de 0.178 mm/m correspondant à celle de la composition C5 dont le rapport G/S est égal à 0.50 et un taux de résine de 10 %.

A 7 jours, la valeur maximale est de 2.55 mm/m correspondant à celle de la composition C6 dont le rapport G/S est égal à 0.75 et un taux de résine de 10 % et la valeur minimale est de 0.178 mm/m correspondant à celle de la composition C5 dont le rapport G/S est égal à 0.50 et un taux de résine de 10 %.

A 28 jours, la valeur maximale est de 2.71 mm/m correspondant à celle de la composition C6 dont le rapport G/S est égal à 0.75 et un taux de résine est égal à 10 % et la valeur minimale 0.244 mm/m correspondant à celle de la composition C5 dont le G/S est égal à 0.50 et un taux de résine de 10 %.

Influence du rapport gravier sable G/S pour les deux taux de résine

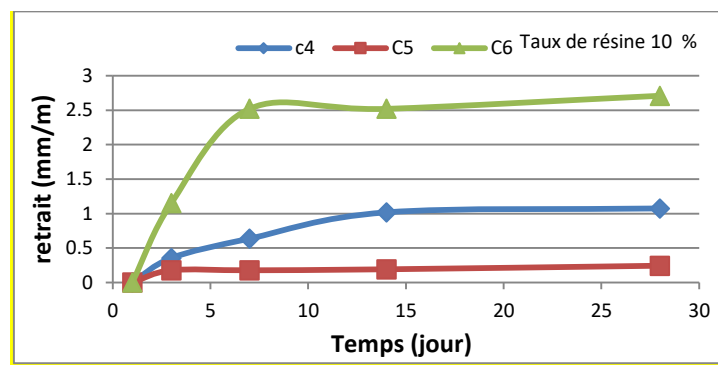


Figure III-21 Comparaison de l'évolution du retrait en fonction du temps pour un taux de résine 10 %

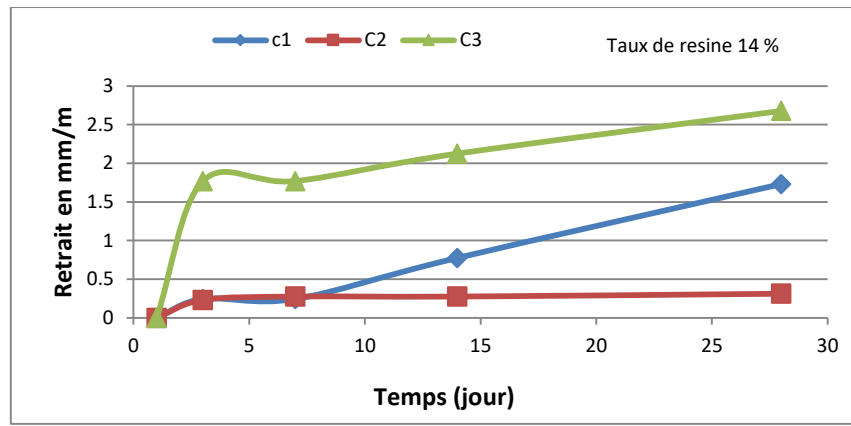


Figure III-22. Comparaison de l'évolution du retrait en fonction du temps pour un taux de résine 14 %

On peut conclure que pour les deux taux, les valeurs maximales du retrait sont celles correspondantes au rapport $G/S = 0.75$.

Influence du taux de résine pour les trois rapports G/S

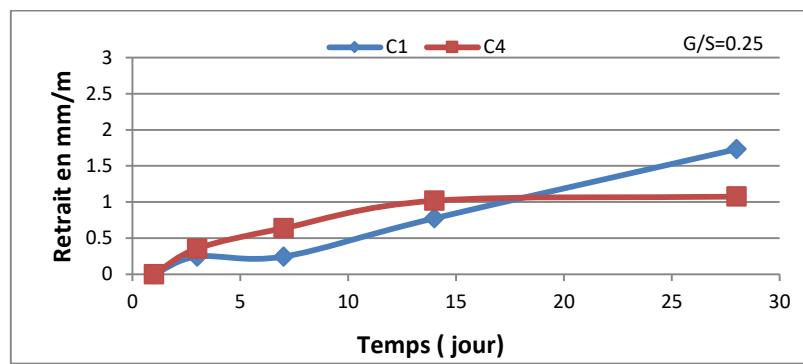


Figure III-23. Comparaison de l'évolution du retrait en fonction du temps Pour un rapport $G/S = 0.25$

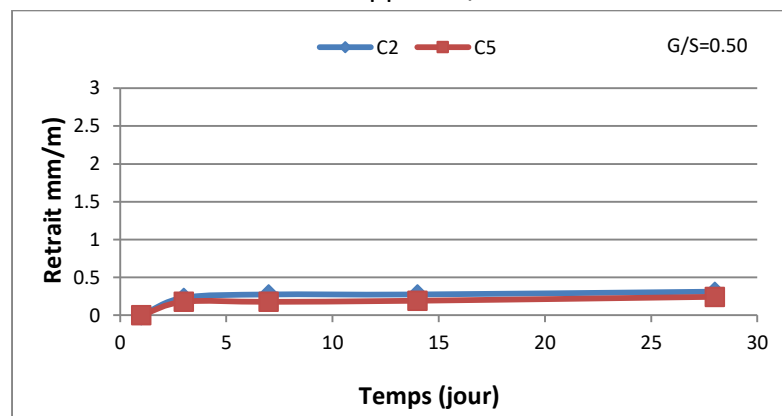


Figure III-24. Comparaison de l'évolution du retrait en fonction du temps Pour un rapport $G/S = 0.50$

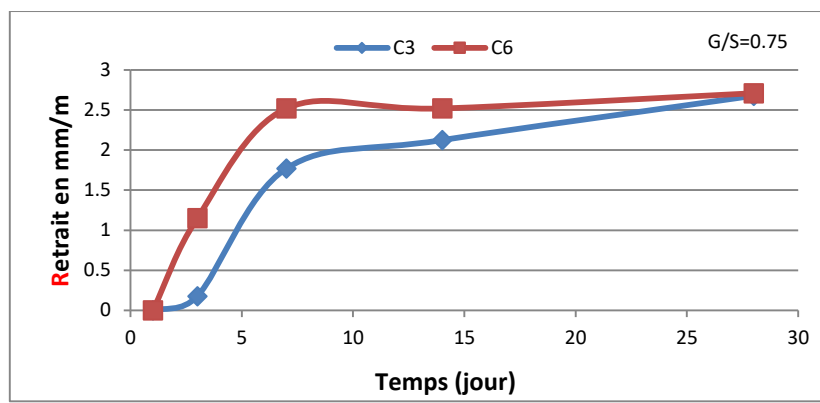


Figure III-25. Comparaison de l'évolution du retrait en fonction du temps
Pour un rapport $G/S = 0.75$

Le MBR dont le rapport $G/S = 0.25$ et de composition C1 montre une valeur de retrait plus élevée que celui de composition C4 à 28 jours (Figure III-23).

Pour un rapport $G/S = 0.50$, les MBRs C2 et C5 enregistrent des valeurs de retrait les plus faibles, inférieures à 0.5 mm/m . Les valeurs de retrait des deux MBRs sont proches les unes aux autres.

Pour un rapport $G/S = 0.75$, le retrait du MBR C6 est plus élevé que celui du C3 au cours du temps, ces valeurs se rapprochent. A 28 jours, les valeurs de retrait des deux MBRs seront égales.

Il est à noter que plus le rapport G/S augmente plus le retrait augmente, le retrait est influencé par la fraction massique du granulats et le liant polymère.

III-5-3 Essai d'absorption d'eau

III-5-3-a Absorption d'eau par capillarité

Les résultats d'absorption par capillarité pour les six compositions sont illustrés dans les figures suivantes :

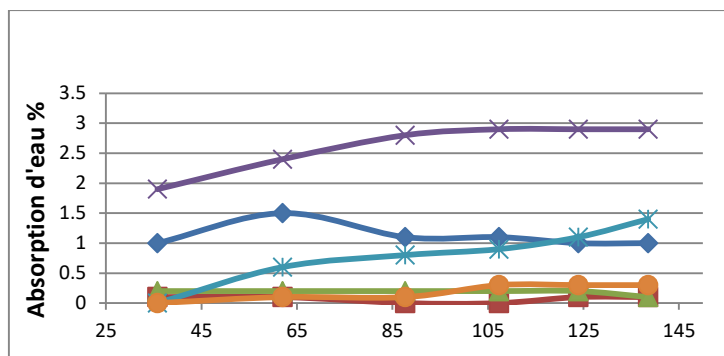


Figure III-26. Comparaison de l'évolution de l'absorption par capillarité en fonction du temps pour les six compositions

La figure III-26 montre que La composition C4 dont le taux de résine 10% et rapport G/S=0.25 présente la valeur maximale d'absorption par capillarité et les compositions C2,C3 et C6 présentent de faibles valeurs, tandis que C1 et C5 donnent des valeurs intermédiaires.

Influence du rapport gravier sable G/S pour les deux taux de résine

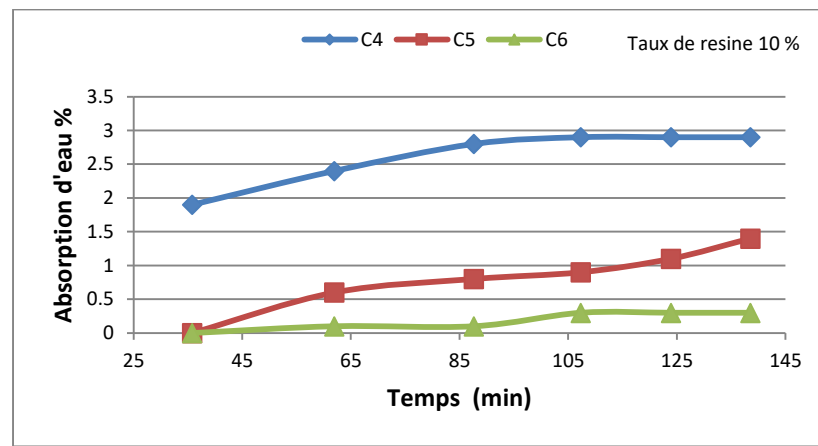


Figure III-27. Comparaison de l'évolution d'absorption par capillarité en fonction du temps pour un taux de résine 10 %

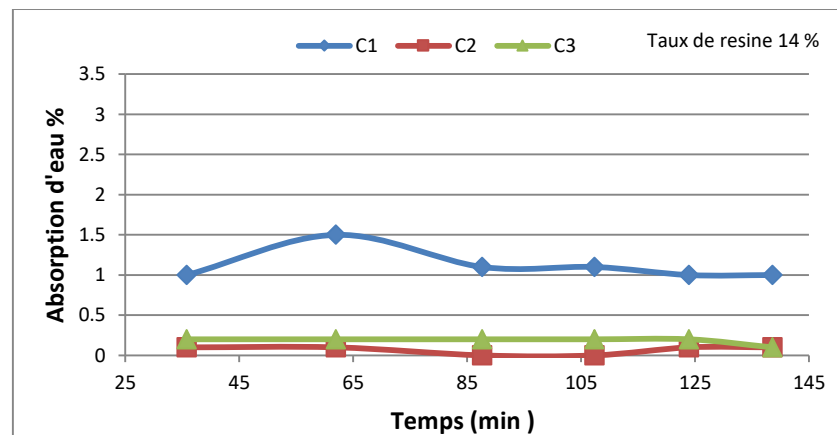


Figure III-28. Comparaison de l'évolution d'absorption par capillarité en fonction du temps pour un taux de résine 14 %

On peut conclure que pour les deux fractions massiques de résine, la valeur maximale d'absorption par capillarité est celle correspondante au rapport G/S = 0.25.

Influence du taux de résine pour les trois rapports G/S

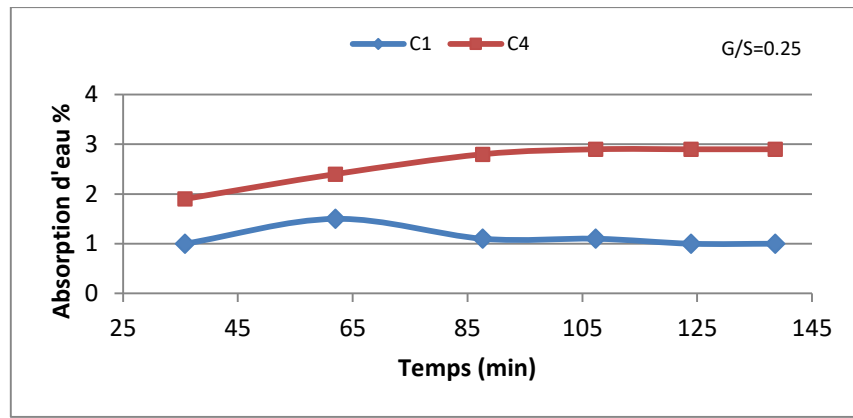


Figure III-29. Comparaison de l'évolution d'absorption par capillarité en fonction du temps pour un rapport G/S=0.25

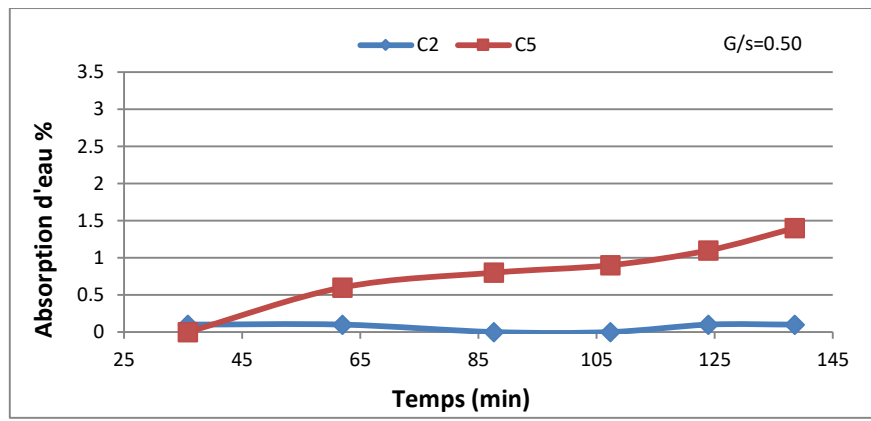


Figure III-30. Comparaison de l'évolution d'absorption par capillarité en fonction du temps pour un rapport G/S=0.50

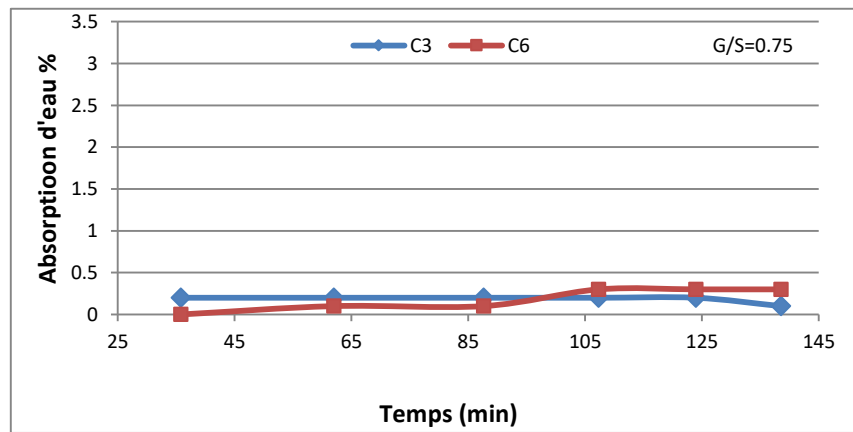


Figure III-31. Comparaison de l'évolution d'absorption par capillarité en fonction du temps pour un rapport G/S=0.75

Les figures III-29 et III-31 montrent que l'absorption par capillarité des compositions C4 et C5, dont les rapports G/S=0.25 et G/S= 0.50 successivement et dont le taux de

résine est de 10% sont plus élevées que celle des compositions C1 et C2 dont le taux de résine est de 14%. ; Tandis que l'absorption par capillarité pour des MBR C3 et C6 dont le rapport G/S = 0.75 sont proches les unes aux autres.

Les figures III- 29-31 montrent, l'absorption par capillarité des MBR la plus élevée correspond au taux de résine de 10 % et un rapport G/S =0.25.

Haider , le taux d'eau absorbée est d'autant plus faible que la fraction massique du liant à base d'époxyde est plus importante , pour $m_p < 9\%$ l'eau diffuse rapidement au delà de $m_p \geq 9\%$ la masse du MBR augmente légèrement [15].

III-5-3-b Absorption d'eau par immersion

Les résultats d'absorption par immersion pour toutes les compositions sont montrés dans les figures suivantes

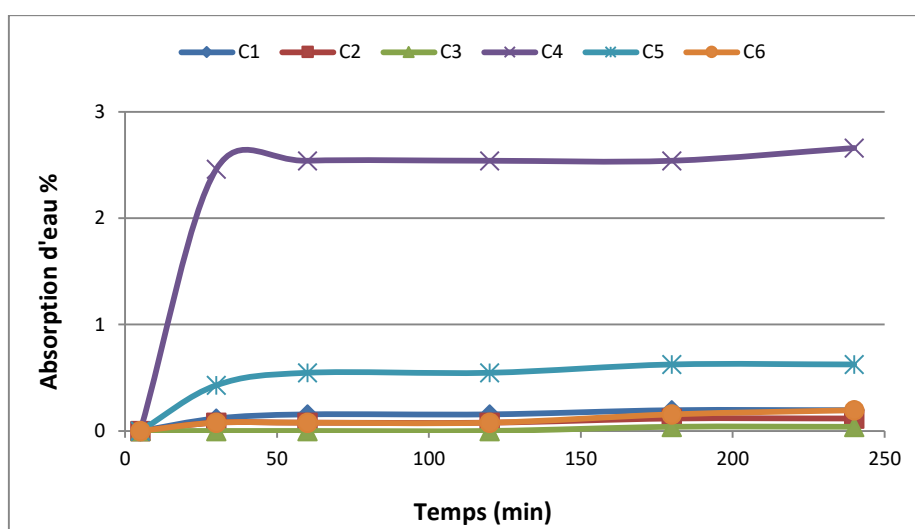


Figure III-32. Comparaison de l'évolution de l'absorption par immersion en fonction du temps pour les différents MBRs

La figure III-32 montre que, la composition C4 dont le taux de résine 10 % et rapport G/S=0.25 présente la valeur maximale d'absorption et les compositions C2, C3 et C6 présentent de faibles valeurs, tandis que la composition C5 donne une valeur intermédiaire.

Influence du rapport gravier sable pour les deux taux de résine

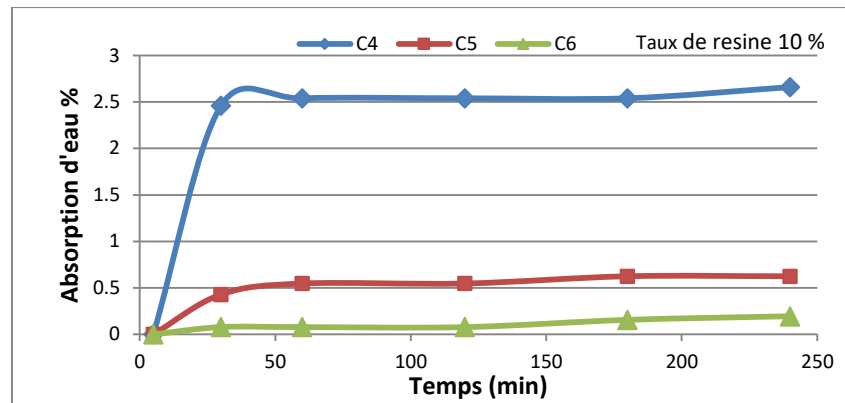


Figure III-33. Comparaison de l'évolution de l'absorption par immersion en fonction du temps pour taux de résine 10%

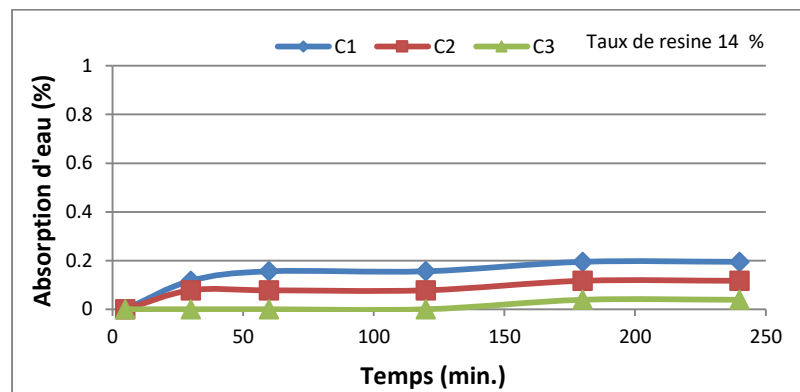


Figure III-34. Comparaison de l'évolution de l'absorption par immersion en fonction du temps pour taux de résine 14 %

On peut conclure pour les deux fractions massiques 10% et 14%, la valeur maximale d'absorption par immersion est celle correspondant au rapport G/S égal à 0.25.

Influence du taux de résine pour les trois rapports G/S

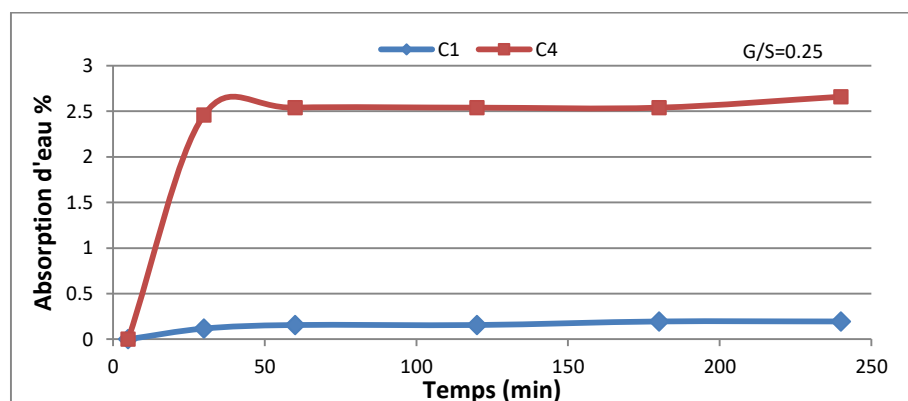


Figure III-35. Comparaison de l'évolution de l'absorption par immersion en fonction du temps pour G/S=0.25

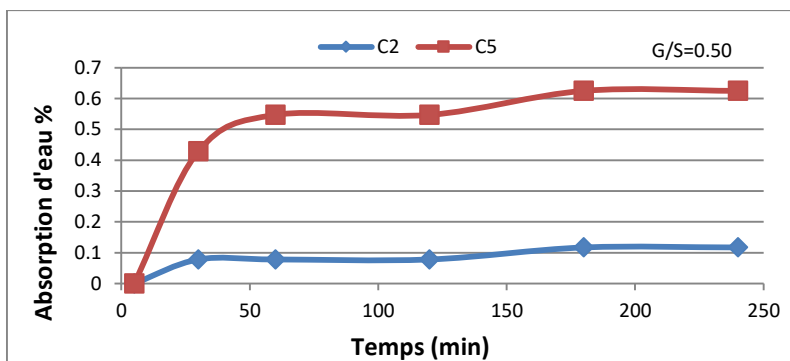


Figure III-36.Comparaison de l'évolution de l'absorption par immersion en fonction du temps (G/S=0.50)

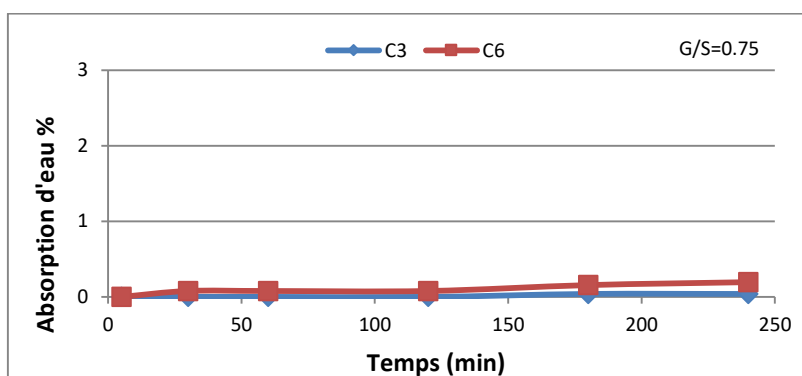


Figure III-37.Comparaison de l'évolution de l'absorption par immersion en fonction du temps pour un rapport G/S=0.75

Pour un rapport $G/S = 0.25$, le MBR C4 enregistre que l'absorption par immersion la plus élevée.

Pour $G/S = 0.50$, on remarque que l'absorption par immersion de la composition C5 est plus élevée que celle de la composition C2.

Pour $G/S = 0.75$, il a été constaté que l'absorption par immersion est presque la même pour les deux compositions C3 et C6.

Les figures III-33 et 34, montrent que l'absorption par immersion la plus élevée correspond à un taux de résine de 10 %.

On peut conclure que la porosité diminue en augmentant le taux de polymère. L'augmentation du taux de polymère permet un meilleur enrobage des agrégats et conduit à remplir les vides entre les granulats par le polymère. En faisant diminuer le taux de résine, la création des vides et le mauvais enrobage des granulats augmentent.

Conclusion :

Les différentes compositions du MBR ont été composées en variant la fraction massique du polymère (pré-polymère+durcisseur) $m_p = 10\%$ et $m_p = 14\%$ de la masse totale du micro-béton résineux et le rapport gravier-sable soient $G/S = 0.25$, 0.50 ; 0.75 , en utilisant deux types de sables avec un rapport $SA/SD = 1.7$ [27] pour améliorer le squelette granulaire.

Les différents essais effectués dans ce chapitre nous ont permis de tirer plusieurs constats : l'effet de la variation de la fraction massique du polymère et la variation du rapport G/S sur les propriétés physico-mécaniques des micro-bétons résineux à base de sables dunaire et alluvionnaire, sur le phénomène de retrait ainsi que sur la durabilité qui est influencée par leur capacité d'absorption sont :

Les résistances mécaniques augmentent avec l'augmentation du rapport gravier sable, et atteignent leurs valeurs maximales à 28 jours. Le MBR est plus résistant qu'un béton hydraulique.

Le phénomène de retrait est influencé par le rapport gravier sable, les MBRS dont le rapport gravier sable $G/S = 0.75$ ont tendance au retrait par rapport aux autres MBRS.

La capacité d'absorption d'eau est d'autant plus importante en diminuant la fraction massique du polymère, ce qui a été confirmé dans une autre étude antérieure avec un béton à base d'époxyde [16].

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Ce travail avait pour but de montrer l'influence d'un nouveau matériau qui est le liant polymère afin de mettre au point des bétons susceptibles de répondre aux besoins économiques et de contribuer au développement de ces nouveaux matériaux.

Cette étude est axée principalement sur l'effet de la résine Médapoxy type de polymère utilisée comme liant; sur les caractéristiques physico-mécanique d'un micro béton résineux à base de sable dunaire et sable alluvionnaire.

L'étude expérimentale qui a consisté d'une part à varier le taux de la résine Médapoxy ($m_p = 10\%$ et $m_p = 14\%$) et d'autre part à faire varier la fraction massique gravier / sables ($G/S = 0.25$; $G/S = 0.50$ et $G/S = 0.75$); nous a conduit à tirer plusieurs conclusions parmi lesquelles :

Les valeurs des résistances à la flexion et à la compression des micro-bétons confectionnées sont fonction croissante du temps à différents échéances et atteignent leurs valeurs maximales à l'âge de 28 jours soient : $R_f = 38.57$ MPa et $R_c = 96.6$ MPa quelque soient la nature et le dosage des agrégats et le taux de la résine.

La valeur maximale de la résistance à la flexion et à la compression sont celle de la composition C3 dont le taux de la résine 14 % et rapport gravier/sable égal à 0.75 pour tout échéance de temps ce qui est confirmé en variant soit le taux de la résine soit le dosage gravier /sable.

Les résistances mécaniques des MBR augmentent avec l'augmentation du rapport G/S .

L'évolution du retrait au cours du temps est similaire pour l'ensemble des micros bétons, ils présentent une augmentation jusqu'au 28 jours.

Ces constatations nous permettent de dire que le retrait est influencé par le dosage gravier sable quelque soit le taux de la résine.

Les micros bétons résineux C3 (Taux 14 % et G/S =0.75) et C6 (Taux 10% et G/S=0.75) ont montré une grande tendance au retrait par rapport aux autres micros béton.

Pour les deux types d'essai d'absorption par capillarité et par immersion les résultats sont semblables.

La valeur maximale d'absorption est celle de la composition C4 dont le taux de la résine 10 % et le dosage gravier/sable égal à 0.25 pour tous échéance de temps ce qui est confirmé en variant soit le taux de la résine ou le dosage gravier /sable.

On peut conclure que la porosité diminue en augmentant le taux de polymère. L'augmentation du taux de polymère permet un meilleur enrobage des agrégats et conduit à remplir les vides entre les granulats par le polymère. En faisant diminuer le taux de résine, la création des vides et le mauvais enrobage des granulats augmentent.

Perspectives

Suite à ce travail, d'autres perspectives peuvent être envisagés afin de compléter cette recherche soient :

Etude de durabilité comportant les essais de comportement des micros bétons résineux soumis aux milieux agressifs, essais de conductivité, essais de diffusivité thermique.

Etude de l'évolution des caractéristiques physico-mécanique à long terme.

Etude du comportement de micro béton résineux avec autre dosage massique de liant et l'utilisation d'autre type de liant polymère.

Etude d'éléments de structures ferrailés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Gornet L; Généralités sur les matériaux composites.
- [2] Mercier J P; Zanballi G, Wilfried K ; Introduction à la science des matériaux, pp 103, 1999.
- [3] Nguyen H ; Approche micro mécanique pour la modélisation du comportement élastoplastique des composites, application au mortier de résine These de doctorat, université de Gergy Pontoise, pp 115, 2008.
- [4] Davydov S.S, Moscanskij NA; Paturoev V V, Cebanenko AI; Eléments de construction en bétons de polymères.
- [5] Ohama Y, Recent progress in concrete-polymer composites, Advanced cement based materials, Volume 5 issue2, March 1997 ,pp 31-40.
- [6] Moscansku NA, paturoev V.V et Ivanov AI Vsb Bétons de polymères chimiquement stables pour structure strojizdat 1970.
- [7] Sapunov A.A et Sapro AI ; projets et constructions d'houillères.
- [8] Sapiro AI Gorodekoe Hozjastvo,Moskvy; les services urbains de Moscou, revue n°11 en 1965.
- [9] Elsin M; plast béton, le béton de matrice plaste IZd Budivelnik, Kiev 1967.
- [10] K.S. Rebeiz, Time-temperature properties of polymer concrete using recycled Pet, Cement and concrete composite 17 1995.
- [11] Maksimov M 1999, Jirgens L,Jansons J, and Plume E. Mechanical properties of polyester, Mechanics of composite Materials.
- [12] Hisham A (FAIT 1999); Moetaz M El Hawary; Flexural behavior of polymer concrete.Construction and building Materials .
- [13] Muthukumar M,Mohan D, Studies on polymer concretes based on optimized aggregate mix proportion, European polymer journal 40 pp 2167-2177, 2004.

- [14] Gokn J, Gorninski P, Denise C, Molin dal, Claudio S, Kazmierczak S, Study of the modils of elasticity of polymer concrete compounds and comparative assesement of polymer concrete and portland cement concrete, cement and concrete research .
- [15] Haidar M ; Optimisation et durabilité des micro-bétons à base d'epoxyde. Thèse de doctorat, Université de Cergy Pontoise, pp 53,54, 2011.
- [16] Elalaoui O ; Optimisation de la formulation et de la tenue aux hautes températures d'un béton à base d'époxyde. Thèse de doctorat, Université de Cergy Pontoise, 2012.
- [17] Mirouzi G, Formulation et comportement mécanique de micro béton à matrice de résine polyster. Mémoire de Master 2, matériaux, Département Génie civil, université Badji Mokhtar Annaba, Algerie, Juin 2010.
- [18] Miller M; Polymer in cementitious matériaux, Smithers Rapra Press, 2008, page 192 .
- [19] Mikhailov K.V, Paturoev V.V, Rao P.M, Kreis P, Polymer Concretes and their structural uses. Russian translations series, A.A Balkema Publishers pp 326, 1992.
- [20] Kukacka L.E, Fontana J, Horn W, Amaro J . Sugama, Alternate Matériaux of construction for geothermal application, Progress Report n°11, BNL 50627 pp 25, 1975.
- [21] Steinberg M, concrete polymer composite matériaux and their potential for construction, urban waste utilisations, and nuclear storage.
- [22] Kukacka L E, Fontana J, Sugama T, Horn W, Carciello N, Reams W, Alternate matériaux of construction for geothermal applications, Progress Report n°15, n°16, n°17 et n°18 BNL 50834, 1978.
- [23] Park K, Park J.C, Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and receycled concrete aggregates.
- [24] Dreux G, Festa Jean; Nouveau Guide du béton et ses constructions.

- [25] Bigot G ; Normes Françaises du domaine géotechniques.
- [26] Fiche technique résine.Granitex .
- [27] Bedrina M, Khenfer MM, Dheilly RM , Quenudec M, Reuse of local sand : effect of limestone filler proportion on the rheological and mechanical properties of different sand concrete.Cement and Concrete Research.35(2005),1172-1179.
- [28] Novoa P.J.R.O, Ribeiro M.C.S,Ferreira A.J.M,Marques A.T;Mechanical characterisation of light polymer mortar modified with cork granulates,composites science and technology 64 -2197-2205, 2004.
- [29] Illslon J.M, Domone P.L.J ; construction matériaux their nature and behaviours .spon press,pp 554, 2001.
- [31]Blaga A, Beaudon J.J , Le béton modifié aux résines canadien Building Digest; CBD-241-F Institue fir research in construction, pp1-4 1986.
- [32] Kirlikovali E , Polymer/concrete composites A revievv polymer Engineering et sciience, volume 21 issue 8 pp 507-509, 1981.