

# Caractérisation Physico-mécanique Du Micro-béton Résineux à Base de Sables Dunaire et Alluvionnaire

Berkak Hichem<sup>\*1</sup>, Makhloufi Zoubir<sup>#2</sup>, Bederina Madani<sup>#3</sup>, Merrah Ahmed<sup>#4</sup>

<sup>#</sup>Structure Rehabilitation and Materials Laboratory (SREML), University of Laghouat,  
37G Road of Ghardaia, Laghouat 03000, Algeria.

<sup>1</sup>h.berkak@lagh-univ.dz

<sup>2</sup>z.makhloufi@lagh-univ.dz

<sup>3</sup>m.bederina@lagh-univ.dz

<sup>#</sup>Civil Engineering Research Laboratory (LRGC), University of Laghouat,  
37G Road of Ghardaia, Laghouat 03000, Algeria.

<sup>4</sup>a.merrah@lagh-univ.dz

**Résumé**— La présente étude s'attache à décrire les caractéristiques des micro-bétons de résine (MBR) étudiés, qui sont constitués d'une matrice de résine et de deux types de sables, alluvionnaire et dunaire, ainsi que d'un gravier de fraction 3/8 mm. Deux taux de polymère, à savoir 10% et 14% en masse par rapport à la masse totale du micro-béton, ont été sélectionnés. De plus, trois rapports gravier/sable (G/S) distincts, soit G/S=0.25, 0.5 et 0.75, ont été utilisés. L'objectif principal de cette recherche est d'explorer le comportement mécanique et physique des MBR. Plus précisément, l'étude se concentre sur l'influence de la concentration de résine et du rapport "G/S" sur les propriétés physico-mécaniques de ces matériaux. Les résultats obtenus révèlent que le remplacement complet du ciment par un liant polymère confère aux MBR une résistance accrue, une compacité supérieure, une densité plus élevée, ainsi qu'une moindre perméabilité, ainsi que les MBR les plus denses sont obtenus pour un taux de 14% et pour un rapport G/S=0.75. Cette étude ouvre ainsi la voie à une meilleure compréhension des MBR en tant que matériaux de construction alternatifs, présentant des propriétés mécaniques et physiques avantageuses.

**Mots-clés**—Micro-béton, résine, sable de dune, sable alluvionnaire, comportement mécanique et physique.

## I. INTRODUCTION

Les bétons de résine sont initialement utilisés comme des matériaux décoratifs et de revêtement et pour la fabrication des éléments structuraux stable chimiquement. En effet c'est vers la fin des années 50 que le béton polymère trouvait sa première application dans la production du revêtement des bâtiments et du marbre synthétique [1], [2]. Ses excellentes propriétés étaient à l'origine du développement de son utilisation dans d'autres domaines d'application au point qu'ils sont utilisés dans l'industrie de la construction, dans la production d'énergie électrique, dans l'énergie atomique, le réaménagement des terrains, etc. [3], [4].

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

les années 1970. 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. À présent, ils sont des matériaux de construction courants [5], [6]. Aujourd'hui, le béton (et mortier) de résine est employé, d'une façon compétitive (rentabilité élevée), comme un matériau de construction courant. Le béton de résine a plusieurs domaines d'application dans le génie civil [7]-[10].

L'utilisation de résine dans la fabrication de micro-bétons à base de sables de dune et alluvionnaire, en remplacement total du ciment, est un objectif fondamental de cette recherche, qui permet de formuler un produit résistant et durable environnemental. Cette étude a été basée sur l'influence du taux de résine et du rapport 'G/S' sur les propriétés physico-mécaniques des micro-bétons à résine.

## II. CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS

Dans cette recherche, les caractéristiques des différents constituants utilisés dans la formulation du micro-béton de résine ont été étudiées.

### A. Sables utilisés

Le sable est le composant principal du béton ou du mortier ; selon ses qualités, il a une influence prépondérante : il participe à la résistance et il donne la cohésion du mélange.

1) *Sable de dune*: Un sable de dune provenant de la région nord de la ville de Laghouat. Il est noté dans ce qui suit « SD ».

2) *Sable alluvionnaire*: Un sable alluvionnaire provenant d'oued M'zi (région de Laghouat), il est noté dans ce qui suit « SA ».

3) *Sable mélange (alluvionnaire dunaire)*: Un sable préparé avec un rapport massique déterminé en corrigeant la partie fine de la courbe granulométrique du sable alluvionnaire par ajout de sable de dune. Ce rapport a été défini comme suit : SA/SD = 1.7 [11]. Ce sable est noté dans ce qui suit « SAD » (e.g. Fig. 1).

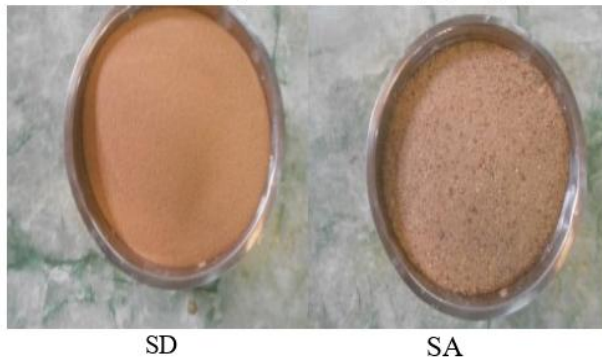


Fig. 1 Types de sables utilisés

### B. Gravillon

Le gravillon (G) utilisé dans la formulation de micro-béton de résine est de classe granulaire (3/8) de nature silico-calcaire concassés et provenant de la station de Laghouat (e.g. Fig. 2).



Fig. 2 Gravillon (3/8)

### C. Caractéristiques minéralogiques au DRX des sables

Les différents minéraux constituant les sables utilisés sont identifiés par le diffractogramme DRX (e.g. Figs. 3 et 4) :

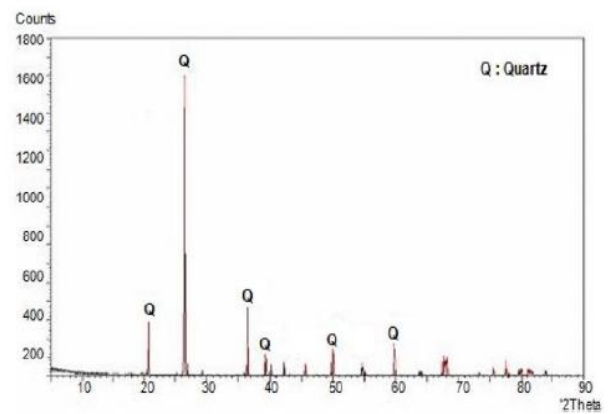


Fig. 4 Diffractogramme aux rayons X du sable de dune utilisé [1]

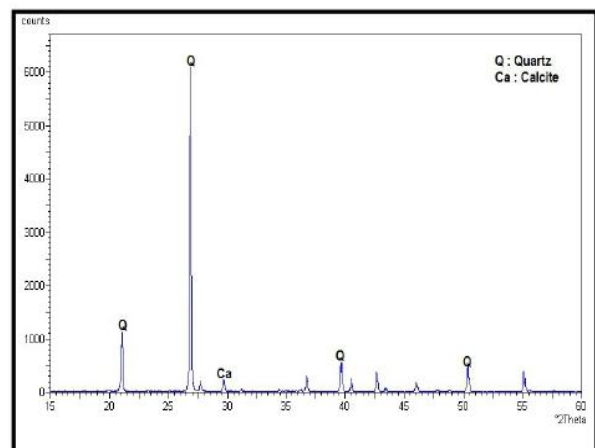


Fig. 4 Diffractogramme aux rayons X du sable alluvionnaire utilisé [1]

### D. Résine époxy

La résine résulte de la polycondensation d'un groupement d'époxyde (l'épichlorhydrine) avec un diol (le bisphénol A). Le spectre Infra-Rouge de résine à l'état liquide (e.g. Fig. 5). Il révèle, également, la présence de charges de silice bien qu'en petite quantité. L'indexation des pics a été réalisée à l'aide des travaux antérieurs d'Emilie en 2009 [12].

TABLEAU II  
COMPOSITION DES MICRO-BÉTONS  
POUR LES SIX COMPOSITIONS

Composition	% Liant	Gravier 3/8 (g)	Sable dunaire (g)	Sable alluvionnaire (g)
C1	14 % (224 g résine et 112 g durcisseur)	412.80	611.5.	1039.55
C2	14 % (224 g résine et 112 g durcisseur)	688.00	509.63	866.37
C3	14 % (224 g résine et 112 g durcisseur)	884.57	436.82	742.59
C4	10 % (160g résine et 80 g durcisseur)	432.00	640.00	1088.00
C5	10% (160g résine et 80 g durcisseur)	720.00	533.33	906.66
C6	10% (160g résine et 80 g durcisseur)	925.72	457.14	777.14

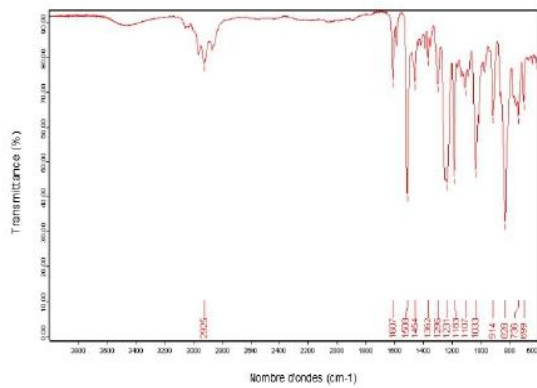


Fig. 5 Analyse infrarouge de résine MédapoxySTR [12]

### E. Formulation

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 différentes formulations ont été composées en variant le dosage gravier, sables pour deux taux ou deux fractions massiques de polymère (pré-polymère+durcisseur) sélectionnées sont de 10% et de 14% de la masse totale du micro-béton résineux (Tableau I).

TABLEAU I  
DIFFÉRENTES COMPOSITIONS DU MICRO-BÉTONRÉSINEUX

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

Le micro-béton résineux ainsi formulé, est constitué d'un liant à base de polymère (résine médapoxy), d'un gravillon 3/8 et de deux sables (sable dunaire et sable alluvionnaire). Pour une masse de 2400 g, 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 II).

## III. PROGRAMME EXPÉRIMENTAL ET MÉTHODES D'ESSAI

### F. Mode Opératoire

Avant de fabriquer le micro-béton résineux, 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 la procédure suivante :

- On a mélangé, pendant trois minutes, la résine avec le durcisseur en respectant les proportions 2/3 du pré-polymère (A) et 1/3 du durcisseur (B). (un malaxeur a été utilisé pour assurer l'obtention d'un mélange homogène avec une vitesse de rotation adéquate).
- On a introduit 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.
- Après l'introduction de chaque mélange granulaire, un malaxage de trois minutes est réalisé à l'aide du malaxeur.
- A la fin de cette étape, on obtient le MBR à l'état frais.
- A l'aide d'une truelle, on a rempli les moules de MBR frais, en trois couches de la même hauteur (Figure III-2).
- Puis on a procédé au 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.
- Les échantillons sont conservés pendant 24 heures à l'air libre à  $23 \pm 2^\circ \text{C}$  et RH= 48%.
- Après 24 heures, on a procédé au démoulage des moules.

### G. Essais sur micro-béton résineux à l'état durci

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

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. L'essai à la flexion et à la compression sont effectués selon la norme EN 196-1.

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. Cet essai est effectué selon la norme NFP 15-433. 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 (l'humidité relative HR=49% et la température = 20 °C).

3) *Essai d'absorption d'eau par capillarité*: La capacité d'absorption du béton donne une idée générale sur la présence et l'importance des vides dans le matériau. L'essai d'absorption d'eau par capillarité s'avère être primordial vis-à-vis de la durabilité des bétons. Il est réalisé conformément à la norme NFP 10-502, cet essai est effectué sur des éprouvettes de dimensions (4 x 4 x 16 cm<sup>3</sup>) séchées jusqu'à poids constant. On pose les éprouvettes sur leurs bases 4 x 4 cm<sup>2</sup>, 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 unidirectionnel. 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 (Cc) est calculée par la formule suivante :

$$C_c = M \times 100 / S \sqrt{t}$$

Où :

M: Masse d'eau absorbée en gramme (g) ;  
S: Section de la base de l'éprouvette en mm<sup>2</sup> ;  
t : Temps d'absorption en heures.

#### IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

##### A. Résistances mécaniques

1) *Résistance à la traction par flexion*: Les mesures des résistances à la traction par flexion ont été effectuées pendant les intervalles de temps (1, 7 et 28 jours) pour les six compositions comme montrées dans la Fig. 6.

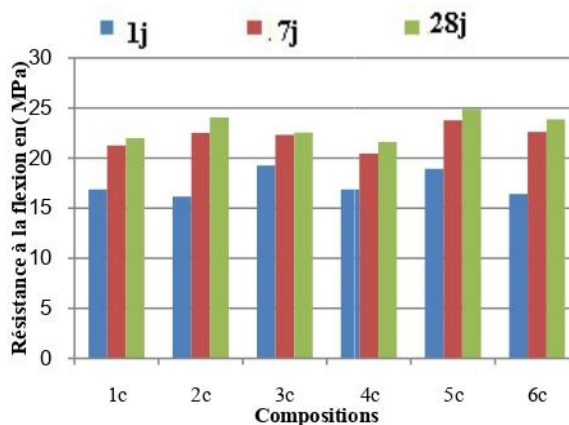


Fig. 6 Evolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour les différentes compositions

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 dosage 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.

Durant toutes les échéances (1, 7 et 28 jours), les résistances à la flexion les plus élevées sont celles du MBR de composition C5 qui contient 10% de résine et un rapport G/S = 0.50.

L'effet du dosage 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 G/S pour les deux taux de résine*

On peut conclure que pour les deux taux de résine (10 % et 14 %), les valeurs maximales de la résistance à la flexion est celle correspondant au rapport G/S égal à 0.50 (e.g. Figs. 6 et 7).

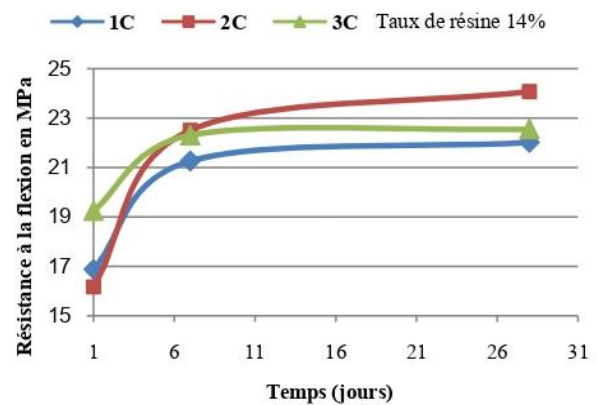


Fig. 7 Evolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un taux de résine 14%

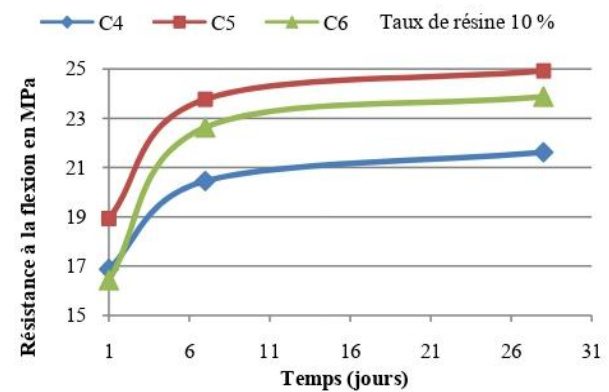


Fig. 8 Evolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un taux de résine 10%

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

La Fig. 9 montre pour les MBR de rapport G/S = 0.25 que la résistance à la flexion à 28 jours est

presque la même pour les deux compositions C1 et C4 dont la fraction massique est de 14% et 10% successivement. Pour le rapport  $G/S = 0.50$ , on remarque que la résistance à la flexion à 28 jours du MBR C5 avec un taux de 10 % de résine est plus élevée que celle du MBR de composition C2 où le taux est de 14 % (e.g. Fig. 10).

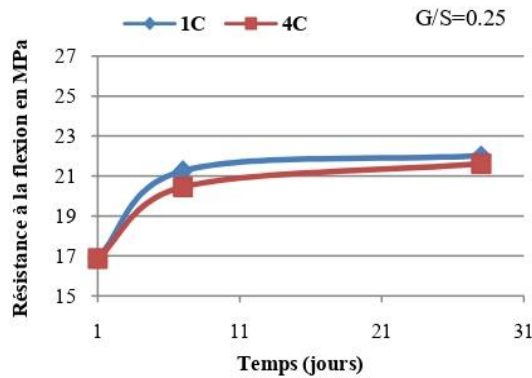


Fig. 9 Evolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un rapport  $G/S = 0.25$

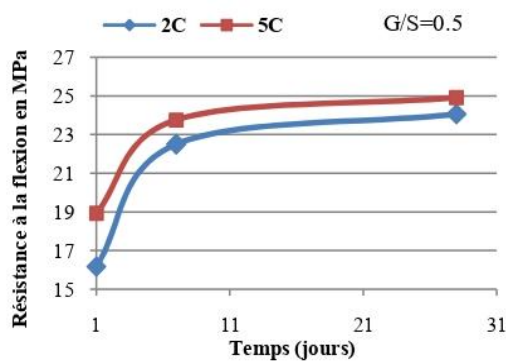


Fig. 10 Evolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un rapport  $G/S = 0.50$

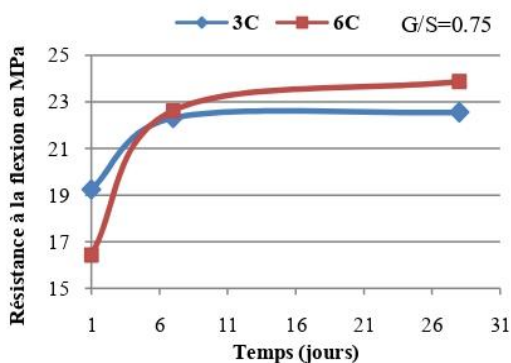


Fig. 11 Evolution de la résistance à la flexion en fonction du temps pour un rapport  $G/S = 0.75$

Pour les MBR de rapport  $G/S = 0.75$ , la résistance à la flexion à 28 jours de composition C6 avec un taux de 10 % de résine est plus élevée que celle de la composition C3 où le taux est de 14 % (e.g. Fig. 11). 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 MBR ayant un taux de résine de 10%.

2) Résistance à la compression : La Fig. 12 montre la variation de la résistance à la compression des intervalles de temps (1, 7 et 28 jours) pour toutes les compositions.

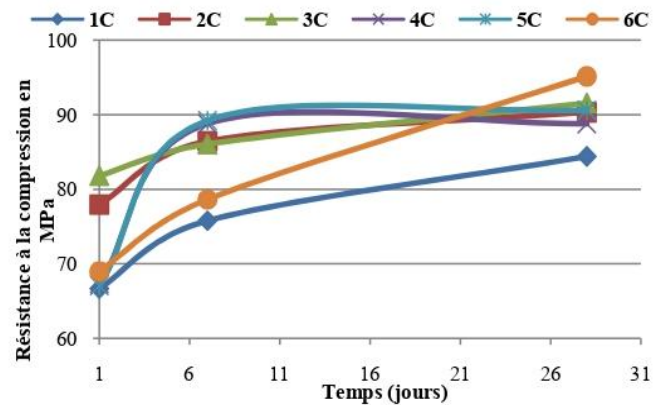


Fig. 12 Evolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour les six compositions

Les valeurs des résistances à la compression des micro-bétons confectionnées dont le liant est remplacé par un polymère (résine époxy) 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.

A court terme (1 jour), la résistance à la compression la plus élevée est celle de la composition C3 correspondant à un taux de résine 14% et un dosage gravier/sable  $G/S = 0.75$ . A 7 jours, la résistance à la compression la plus élevée est celle des compositions C5 et C4 correspondant à un taux de résine 10% et un rapport  $G/S = 0.25$  et  $G/S = 0.50$ . A 28 jours, la résistance à la compression la plus élevée est celle de la composition C6 correspondant à un taux de résine 10% et un rapport  $G/S = 0.75$  [13-15].

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 G/S pour les deux taux de résine

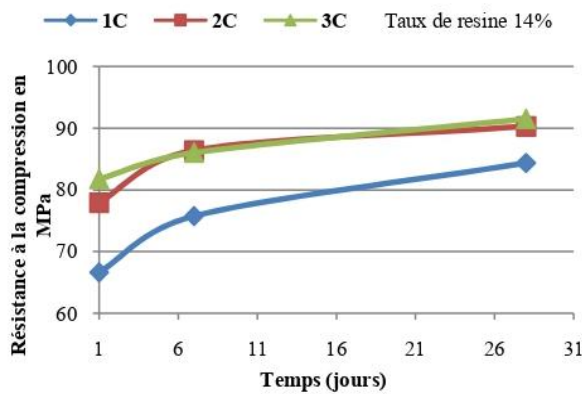


Fig. 13 Valeurs de la résistance à la compression en fonction du temps pour un taux de résine 14%

Fig. 15 Valeurs de la résistance à la compression en fonction du temps pour un rapport G/S=0.25

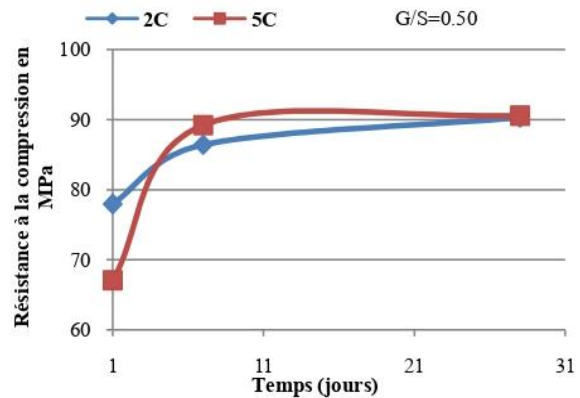


Fig. 16 Valeurs de la résistance à la compression en fonction du temps pour un rapport G/S=0.50

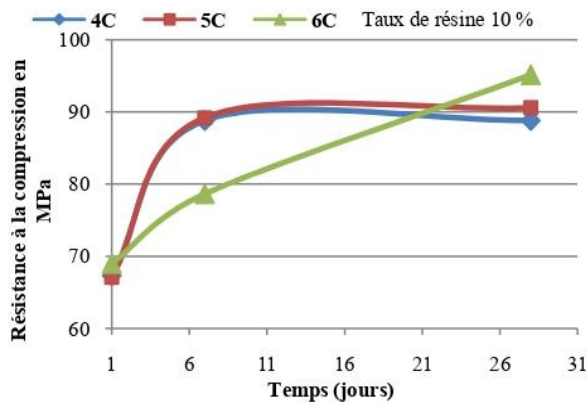


Fig. 14 Valeurs de la résistance à la compression en fonction du temps pour un taux de résine 10%

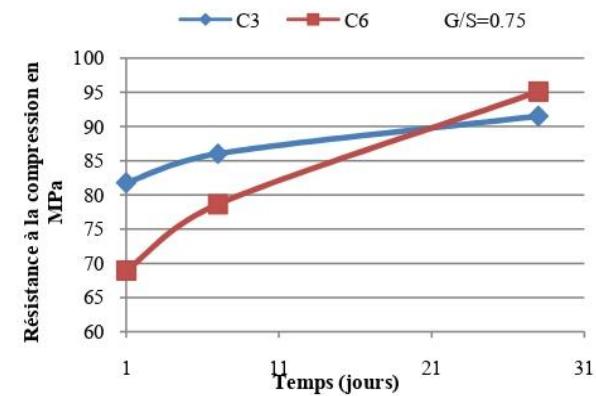
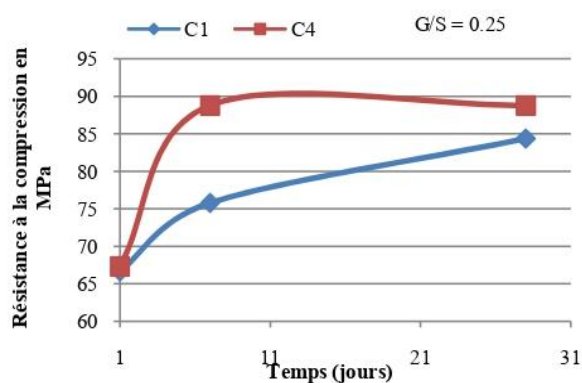


Fig. 17 Valeurs de la résistance à la compression en fonction du temps pour un rapport G/S=0.75

Il est à noter pour les deux taux de résine que les valeurs maximales de la résistance à la compression est celle correspondant au rapport G/S égale à 0.75. En effet, plus le rapport G/S augmente, la résistance à la compression augmente comme montrées dans les Figs. 13 et 14.

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



La Fig. 15 montre pour le MBR de composition C4 avec un taux de 10 %, dont le rapport G/S=0.25, que la résistance à la compression à 28 jours est plus élevée que celle du MBR C1. Pour un rapport G/S =0.50, la résistance à la compression à 28 jours est presque la même pour les deux compositions C2 et C5 (e.g. Fig. 16).

Pour le rapport G/S=0.75, la résistance à la compression à 28 jours de la composition C6 avec un taux de 10 % de résine est plus élevée que celle du MBR C3 ou le taux est de 14 % (e.g. Fig. 17).

On peut conclure que quel que soit le rapport G/S, la résistance à la compression des MBR la plus élevée correspondant à celle dont le taux de résine est de 10 % [16].

### B. Retrait

Au cours du séchage, le micro-béton résineux à base de sable alluvionnaire et dunaire diminue de volume. Ce phénomène est dû à la perte d'eau d'air lors du séchage à l'air libre. Les résultats de l'évolution du retrait sont illustrés sur les figures suivantes pour les six compositions (C1, C2, C3, C4, C5 et C6).

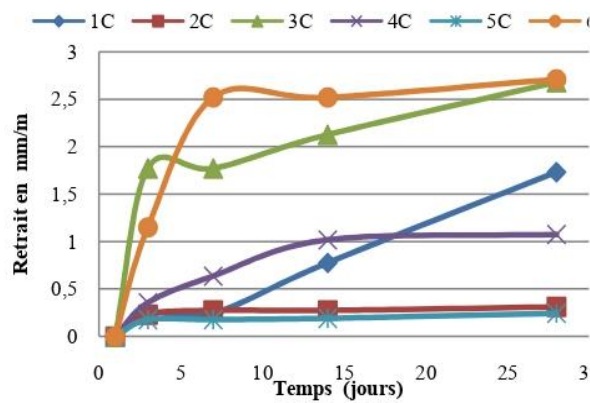


Fig. 18 Valeurs de retrait en fonction du temps pour les six compositions

La Fig. 18 montre les résultats obtenus lors de l'essai de retrait. L'évolution du retrait au cours du temps est similaire pour l'ensemble des micro-bétons, elle présente une augmentation jusqu'au 28<sup>ème</sup> jour.

Les micro-bétons présentent presque les mêmes allures deux à deux à partir du 1<sup>er</sup> 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. Ces constatations nous permettent de dire que le retrait est influencé par le rapport G/S quel que soit le taux de résine.

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, les deux compositions C2 (14% de résine et G/S=0.50) et C5 (14% de résine et G/S = 0.50) présentent les plus faibles valeurs ; tandis que, les deux compositions C1 (14% de résine et G/S = 0.25) et C4 (10% de résine et G/S = 0.25) présentent des valeurs intermédiaires.

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 %.

On peut conclure pour les deux taux de résine que les valeurs maximales du retrait sont celles correspondantes au rapport G/S = 0.75. Il est à noter que plus le rapport G/S augmente plus le retrait augmente.

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. Pour un rapport G/S = 0.50, les MBR C2 et C5 enregistrent des valeurs de retrait les plus faibles, inférieures à 0.5 mm/m. Les valeurs de retrait des deux MBR 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 et cours du temps, ces valeurs se rapprochent. A 28 jours, les valeurs de retrait des deux MBR seront égales.

### C. Absorption d'eau par capillarité

Les résultats d'absorption par capillarité des différents micro-bétons sont montrés dans les Figs 19 et 20. La composition C4 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 G/S pour les deux taux de résine

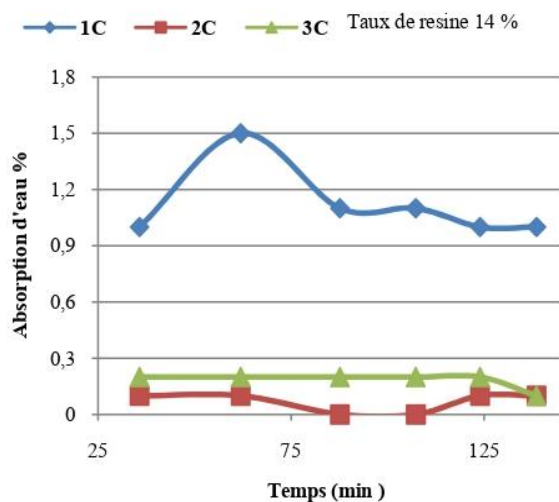


Fig. 19 Evolution d'absorption par capillarité en fonction du temps pour les compositions C1, C2 et C3

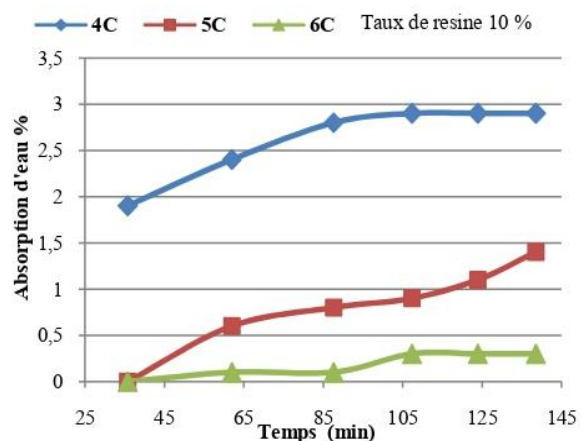


Fig. 20 Evolution d'absorption par capillarité en fonction du temps pour les compositions C4, C5 et C6

On peut conclure que pour les deux fractions massiques de résine, la valeur maximale d'absorption par capillarité est celle correspondant au rapport  $G/S = 0.25$  [16]-[17].

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

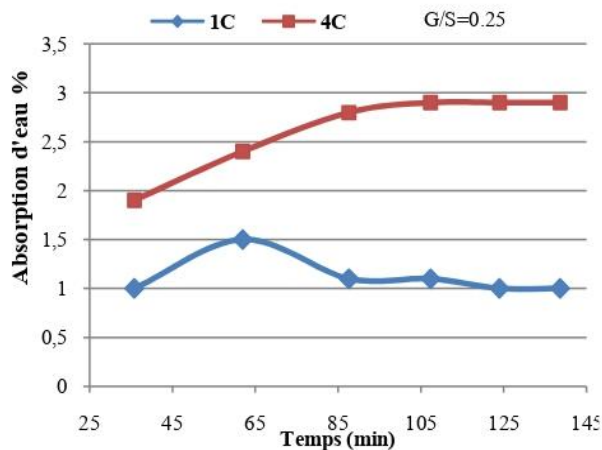


Fig. 21 Evolution d'absorption par capillarité en fonction du temps pour les compositions C1 et C4

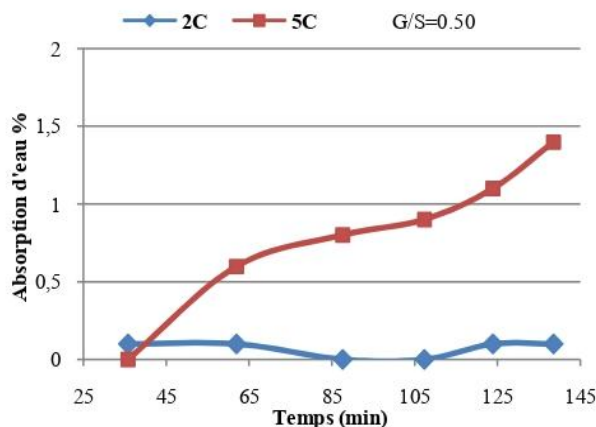


Fig. 22 Evolution d'absorption par capillarité en fonction du temps pour les compositions C2 et C5

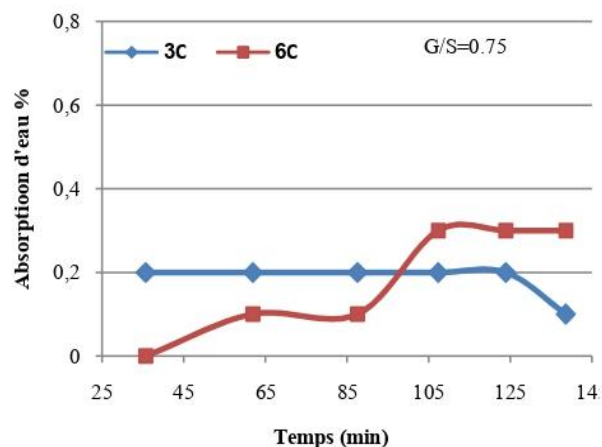


Fig. 23 Evolution d'absorption par capillarité en fonction du temps pour les compositions C3 et C6

Les Figs. 21, 22 et 23 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. On peut conclure que quel que soit le dosage en gravier et sables, l'absorption par capillarité des MBR la plus élevée correspond au taux de résine de 10 %.

## V. CONCLUSIONS

L'analyse des résultats des essais montre que :

- Les résistances mécaniques des MBR, que ce soit en compression ou en flexion augmentent avec l'âge et avec l'augmentation du taux de polymère ; au-delà de 14%, ces propriétés restent inchangées ou décroissent.
- Les résistances à la flexion et à la compression des MBR sont plus élevées que le mortier de résine donc l'ajout de gravier 3/8 augmente la résistance.
- Les résistances mécaniques des MBR augmentent avec l'augmentation du rapport  $G/S$ .
- En comparaison avec le béton ordinaire, le MBR est plus résistant en flexion et en compression.
- Les mesures des masses volumiques apparentes des MBR ne montrent aucune évolution en fonction de l'âge. Une augmentation des masses volumiques apparentes de MBR en fonction de l'augmentation du rapport  $G/S$  et avec l'augmentation du taux de polymère a été enregistrée.
- Les mesures expérimentales montrent que les MBR les plus denses sont obtenus pour un taux de 14% et pour un rapport  $G/S=0.75$ .
- Les formulations de MBR présentent une diminution de la porosité avec l'augmentation du taux de liant polymérique et avec l'augmentation du rapport  $G/S$ .
- Le remplacement total du ciment par un polymère donne un MBR plus compact, plus dense et par conséquent plus résistant et moins perméable.

## RÉFÉRENCES

- [1] Z. Kerrida, H. Berkak, Z. Makhloufi, M. Bederina, A. Ferhat, "Effect of Gravel-sand Ratio on Physico-mechanical, Thermal and Macrostructural Properties of Micro Epoxy Polymer Concrete based on a Mixture of Alluvial-dune Sand", *The Open Civil Engineering Journal*, vol.14, p.p. 247-261, 2020.
- [2] H. Berkak, M. Bederina, Z. Makhloufi, "Physico-mechanical and microstructural properties of an eco - friendly limestone mortar modified with styrene - polyacrylic latex", *Journal of Building Engineering*, Vol.32, p.p.101-463, 2020.



- [3] Y. Ohama, Concrete-polymer composites-the past, present and future, *13 th ICPIC Portugal*, 1-14, 2010.
- [4] D. Feldman, *Polymeric Building Materials*, Elsevier Applied Science, Routledge, London, p.p. 575, 1989.
- [5] H. Abdel-Fattah, M. Moetaz, "Flexural behavior of polymer concrete". *Construction and Building Materials*, vol.13, p.p. 253-262, 1999.
- [6] H. Berkak, Z. Makhloufi, M. Bederina, A. Demdoun, Y. HadjAissa, "Physico-mechanical characterization of composite cementitious mortars modified by resin containing antifoam", *Matec Web Conférences, CMSS-2017*, vol. 149, p.p. 01067, 2018.
- [7] H. Berkak, Z. Makhloufi, M. Bederina, "Microstructural study of Styrene Polyacrylic (SPA) latex modified mortars", *Journal of Materials and Engineering Structures*, vol.6, p.p.535-545, 2019.
- [8] K.S. Rebeiz, "Time-temperature properties of polymer concrete using recycled PET", *Cement and concrete composite*, vol.17(2), p.p.119-124, 1995.
- [9] M. Seyed, M. Bederina, Z. Makhloufi, "Effect of ternary binder on the mechanical and microstructural properties of sand concrete", *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 30(4), p.p.339-361, 2016.
- [10] M. Bederina, Z. Makhloufi, A. Bounoua, T. Bouziani, M. Queneudec, "Effect of partial and total replacement of siliceous river sand with limestone crushed sand on the durability of mortars exposed to chemical solutions", *Construction and Building Materials*, vol.47, p.p. 146-158, 2013.
- [11] M. Bederina, M.M. Khenfer, R.M. Dheilily, M. Quénudec, Reuse of local sand: effect of limestone filler proportion on the rheological and mechanical properties of different sand concrete. *Cement and Concrete Research*, vol.35, p.p. 1172-1179, 2005.
- [12] B. Emilie, *Vieillessement hygrothermique d'un composite résine époxyde silice et impact sur sa rigidité diélectrique*. Thèse de doctorat, université Joseph Fourier Grenoble, 2009.
- [13] L.V. Thillo, J. Blom, A. Moreels, B. Craeye, "Influence of aggregates, glass fibre reinforcement and recycled aggregates on polyester mortar", *Construction and Building Materials*, vol. 293,123534, 2021.
- [14] W. Ferdous, A. Manalo, H.S. Wong, R. Abousnina, O.S. AlAjameh, Y. Zhuge, P.Schubel, "Optimal design for epoxy polymer concrete based on mechanical properties and durability aspects", *Construction and Building Materials*, vol. 232, 2020.
- [15] Gagandeep, "Experimental study on strength characteristics of polymer concrete with epoxy resin", *Materials Today: Proceedings*, Vol.37(2), 2021.
- [15] M. Muthukumar, D. Mohan, "Studies on polymer concretes based on optimized aggregate mix proportion", *European Polymer Journal*, vol.10, p.p.2167-2177, 2004.
- [16] J. Shao, H. Zhu, X. Zuo, W. Lei, S. MirganBorito, J. Liang, F. Duan, "Effect of waste rubber particles on the mechanical performance and deformation properties of epoxy concrete for repair", *Construction and Building Materials*, Vol.241, 118008, 2020.
- [17] M.F. Kai, W.M. Ji, J.G. Dai, "Atomistic insights into the debonding of Epoxy-Concrete interface with water presence", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol.271, 108668, 2022.