

---



---

Soumis le : 21 Mars 2012

Forme révisée acceptée le : 14 Novembre 2012

Email de l'auteur correspondant :

*bredjel@yahoo.fr*

---



---

# Formulation et comportement mécanique de micro-bétons à matrice de résine polyester

Ghania Mirouzi<sup>a</sup>, Bachir Redjel<sup>a</sup>, Raoul Jauberthie<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Laboratoire Génie Civil, Département de Génie Civil, Université d'Annaba, BP 12 Annaba

<sup>b</sup>Département Génie Civil, Génie Mécanique, EA 3913, 20 Av. Buttes de Coësmes, INSA 35708 Rennes, France

---

## Abstract

Polymer micro-concretes made up of polyester resin as binder and of two types of sands one fine and the other means were formulated and studied. Empirical step adopted for the study of the formulation and based on the principle of the saturation point of sands with the resin, this reveals that a mass fraction of resin of 27% constitutes an optimum to obtain a new resin concrete with matrix polyester. Three point bending tests and compression tests were carried out thereafter to characterize the mechanical properties of these composites. The influence of the rate of sands, of the ratio Gravel/Sand (G/S), of the rate of glass fibers E of reinforcement as of their nature was highlighted. The study of the morphology of the fracture and the microscopic observations of the facies show that the mechanisms of deformation and failure under bending and compression of these composites differ from those of the traditional concretes.

*Key words:* formulation ; polymer concrete ; polyester resin ; fiber ; fracture

---

## 1. Introduction

Le béton de résine qui est un matériau composite dont le liant est constitué entièrement d'un polymère organique synthétique commence à prendre place dans le marché des matériaux de construction de grande diffusion. Désigné sous l'appellation de béton de résine synthétique, de béton de résine plastique ou de béton de polymère, il est ainsi constitué d'une charge minérale (granulat) et d'un liant de polymère, parfois thermoplastique mais généralement thermodurcissable [1-2]. Lorsque la charge est constituée de sable, le composite obtenu est appelé mortier de résine. Parmi les autres charges minérales figurent la pierre concassée, le gravier, le calcaire, la craie, le condensât de silice (poudre de silice, poussière de silice), le granit, le quartz, l'argile, le verre expansé et les fines métalliques. De façon générale, le béton de résine est obtenu en mélangeant à la dite charge, un monomère ou un pré polymère, un durcisseur (agent de réticulation) et un catalyseur. Différents produits peuvent aussi être ajoutés à la résine pour améliorer ses caractéristiques mécaniques et physiques, faciliter sa mise en œuvre ou simplement pour en diminuer le coût. Ainsi, il est d'usage de parler de charge quand la quantité ajoutée est de quelques dizaines % et d'additifs lorsque cette quantité ne dépasse pas quelques % [3-4].

Divers autres ingrédients sont aussi ajoutés au mélange comme par exemple les plastifiants ou les ignifugeants. Des agents de pontage à base de silane sont

parfois utilisés pour augmenter la cohésion entre la matrice de polymère et la charge.

Comparativement au béton de ciment Portland, les bétons de résine possèdent une plus grande résistance mécanique, adhèrent bien aux autres matériaux, résistent mieux aux produits chimiques et aux agents corrosifs, absorbent moins d'eau et présentent une plus grande stabilité aux cycles gel - dégel [4]. La littérature indique que, comme ils ont une plus grande résistance mécanique que le béton de ciment Portland, ils peuvent faire économiser jusqu'à 50% de matériaux concurrençant ainsi le béton conventionnel pour certaines applications spéciales. Cependant, ils présentent un fort retrait pendant et après la prise (jusqu'à dix fois plus que le béton de ciment Portland), ce qui constitue un grave handicap pour certaines utilisations. Ce type de béton est employé, coulé sur place ou en éléments préfabriqués, dans les travaux de construction, notamment d'édifices publics ou commerciaux, ainsi que pour la fabrication de carreaux de plancher, de tuyaux d'égout, d'escaliers et de panneaux de cloisonnement [5].

En général, le remplacement du ciment Portland par un polymère engendre une augmentation sensible du coût du béton [1-2-4]. C'est pour cette raison que sa fabrication est conditionnée par la recherche de caractéristiques supérieures répondant à des besoins précis et nécessitant un coût de main-d'œuvre et des besoins en énergie moins élevés lors de sa fabrication et de sa mise en œuvre [6].

Les résines utilisées sont généralement des produits synthétiques qui présentent, entre autres propriétés, une remarquable adhésivité. Les liants de résine les plus utilisés sont ceux à base de polymère de polyester insaturé [4].

Dans certaines applications, divers types de fibres comme la fibre de verre, le voile à base de fibre de verre, les tissus et les fibres métalliques sont utilisés comme renforts pour rendre les bétons de résine encore plus performants [7]. Il est facile de faire varier (de quelques minutes à plusieurs heures) le temps de prise et le délai d'obtention de la résistance maximale en choisissant la température et le type de catalyseur approprié. La quantité de polymère utilisée comme liant, généralement faible, est habituellement fonction de l'importance de la charge. Normalement, la teneur en résine varie entre 5 et 15% de la masse totale, mais cette proportion peut atteindre 30% si le matériau de charge est fin [8-9]. Les propriétés viscoélastiques du liant de polymère sont responsables du taux élevé de fluage du béton de résine. Ceci limite son utilisation dans la construction de charpentes [10-11-12]. Son comportement en déformation varie beaucoup selon la formulation. Le module d'élasticité peut varier entre 20 et environ 50 GPa. La déformation à la rupture en traction atteint habituellement 1%. Le taux de déformation du béton de résine suite au retrait varie selon le type de polymère utilisé [13]. Il est important dans le cas du polyester et faible dans celui de l'époxy et doit être pris en considération lors de son utilisation [1].

L'objectif de cette recherche est de formuler des micro bétons à base d'un liant de résine polyester en utilisant 2 types de sable l'un fin et l'autre moyen et un gravier 3/8mm. Une méthode empirique se basant sur le principe du point de la saturation du sable avec la résine a été adoptée pour l'optimisation de la formulation [8]. La fibre de verre E a été utilisée sous forme aléatoire et en tissu comme renforcement du composite.

## 2. Procédures expérimentales

### 2.1. Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés sont un sable de dune fin de module de finesse 0.8, un sable de dune moyen de module de finesse 1.83, un gravier de fraction 3/8 et un liant constitué d'une résine polyester sous forme liquide, de masse volumique  $1.11\text{g/cm}^3$ , de couleur rouge foncé, inflammable, de viscosité 20 dPa.s et de résistance à la traction de 45 MPa et à la compression entre 50 et 150 MPa.

Les additifs qui sont un accélérateur et un durcisseur ont été fournis sous forme liquide. Un film PVA servant d'isolant de résine a été utilisé pour éviter le collage entre la résine et le moule.

Les renforts utilisés sont des fibres de verre E injectées sous deux formes (tissu et aléatoire). Leurs propriétés

physiques et chimiques sont données par le fabricant : longueur de la fibre (40mm), densité ( $2.6\text{g/cm}^3$ ), module de Young (80 GPa), point de fusion ( $200\text{ }^\circ\text{C}$ ), allongement à la rupture (3.5%), section de la fibre ( $15\text{ }\mu\text{m}$ ).

Les caractéristiques physiques mesurées des constituants sont rassemblées dans le tableau 1.

### 2.2. Formulation

*Optimisation de la formulation* : Dans cette étude expérimentale une méthode empirique se basant sur le principe du point de saturation des sables avec la résine a été utilisée pour optimiser la formulation du béton de résine. La démarche a consisté à déterminer une formule en utilisant deux types de sable, le premier est fin et le second est moyen en partie égale (50% de sable fin, 50% de sable moyen). Le but de l'utilisation de deux types de sable est surtout d'améliorer le squelette granulaire.

Pour obtenir la saturation du béton, il a été procédé à la variation du taux de résine dans le mortier par pas. Le pourcentage de résine est choisi par rapport au poids du sable. Selon une étude antérieure, le taux de résine suffisant pour saturer le béton est estimé à 13% (pourcentage massique) [8]. Dans notre cas, le taux de 13% de résine expérimentée s'est avéré insuffisant car une non saturation du sable a été observée (partie non mouillée). La valeur de 25% s'est avérée mieux adaptée. A 30% de taux de résine, une pâte très liquide indiquant une sursaturation a été obtenue. Nous avons alors opté de façon empirique pour une valeur moyenne se situant entre 25% et 30% : 27% a été adopté.

Pour l'élaboration des bétons de résine, tous les moules ont été couverts avec un film PVA pour assurer l'isolation entre le mortier et les plaques de moule. La première étape consiste à mélanger le même pourcentage de sable fin et de sable moyen (50%) à l'état sec. Le mélange de résine et de durcisseur est préparé séparément tout en respectant le dosage prescrit auparavant. Ce deuxième mélange est ajouté alors au premier tout en malaxant l'ensemble. Il est alors procédé au moulage du mélange rapidement pour éviter le durcissement du mortier. Le dosage du durcisseur est ajusté au pourcentage de résine, il est fixé à 2,4%. Les différentes formulations du mortier de résine obtenues avec les différents pourcentages de sables expérimentés sont présentées dans le tableau 2 avec un taux de résine constant de 27%. Avant d'entamer la préparation du béton de polymère, nous avons d'abord déduit dans le mortier le rapport du sable fin sur le sable moyen qui donne les meilleurs résultats de résistances en traction par flexion et en compression.

Le mélange 3 contient 60% de sable fin et 40% de sable moyen, il est alors apparu comme étant le mélange optimal à prendre comme référence dans la formulation.

Tableau 1

Caractéristiques physiques des sables et du gravier

Caractéristiques	Sable moyen	Sable fin	Gravier 3/8
Module finesse	1.83	0.8	---
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.417	1.470	1.305
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.380	2.77	2.5
Porosité (%)	40.46	46.93	47.8
Propreté ES (%)	86.39	91.42	---

Tableau 2

Formulation des mortiers de résine

Constituants	Mélange I	Mélange II	Mélange III
Sable fin %	40	50	60
Sable moyen %	60	50	40

(%) : pourcentage massique

*Préparation des bétons* : Différentes formulations ont alors été composées en fixant le taux de sable (60% de sable fin et 40% de sable moyen), le taux de résine (27%) et le taux du durcisseur (2.4%) et en variant le rapport gravier/sable (G/S). 4 rapports de G/S ont été expérimentés : béton 1 (G/S=0.5) – béton 2 (G/S=1) – béton 3 (G/S=1.5) – béton 4 (G/S=2). Il est à signaler que le pourcentage de résine est pris par rapport au poids du mélange sable + gravier. Après 24h de conservation des éprouvettes dans l'eau, le mélange arrive à sa résistance maximale, le démoulage est alors effectué.

*Préparation des bétons de résine à base des fibres de verre E :*

a- fibres indépendantes

Après la préparation des bétons, il s'avère que le béton 2 avec un rapport G/S =1 donne les meilleurs résultats de résistance en traction par flexion et en compression. Ce béton est alors pris comme béton de référence dans ce travail. La méthode de conception est similaire à la méthode de préparation du micro - béton déjà faite à la différence qu'au début de la préparation du mélange on additionne les fibres et on fait varier leurs taux d'addition par rapport au liant "résine". Quatre pourcentages de fibres ont été utilisés 1% ; 2% ; 3% ; 4%.

b- fibres tissées

Le tissu de forme rectangulaire de longueur 160 mm et de largeur 40 mm est coupé par bandes comme indiquées sur la figure 1.

Pour les tissus placés de façon symétrique au sein de l'éprouvette, on étale deux couches disposées de façon symétrique au sein de l'épaisseur de l'éprouvette, séparées par une couche intermédiaire de résine comme indiqué sur les figures 2 et 3.

L'opération s'effectue en étalant la première couche de béton de résine au tiers de l'épaisseur, puis le tissu de fibres est déployé sur la surface de la couche précédente. On étale la seconde couche sur l'ensemble déjà déployé dans le moule tout en respectant la distance du tiers de l'épaisseur H/3 de la nouvelle couche. Enfin on répète la première procédure avec les mêmes caractéristiques dans le but de réaliser un stratifié (figure 4).



Fig. 1. Tissu au sein de l'épaisseur

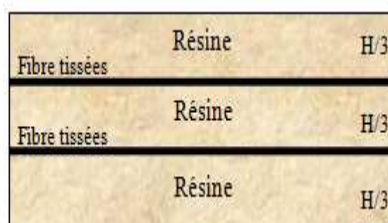


Fig. 2. Schéma des couches de stratifiés.



Fig. 3. Coupe longitudinale d'éprouvette.



Fig. 4. Tissu dans la zone tendue de l'éprouvette

Dans cette étape on renouvelle la procédure précédente qui consiste à concevoir un stratifié, sauf que dans cette étape, on change les distances entre les tissus et on concentre les couches de tissu uniquement dans la zone tendue. Trois couches y ont été concentrées (figures 5 et 6).

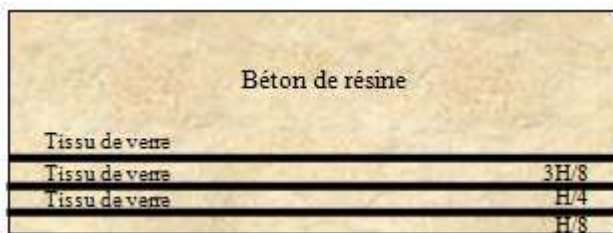


Fig. 5. Schéma de présentation des couches de stratifiés



Fig. 6. Couches de tissus dans le béton.

### 3. Essais expérimentaux

#### 3.1. Epreuves

Deux types d'éprouvettes ont été utilisés : des éprouvettes prismatiques de dimensions  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  pour l'essai de traction par flexion 3 points et les demi-éprouvettes obtenues après rupture en flexion pour les tests de compression. Un montage spécial est adapté à ce cas.

Il est à signaler qu'après 24 heures de conservation des éprouvettes dans l'eau, celles-ci sont ensuite conservées dans une étuve à une température de  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ . Les résultats de mesure des masses dans les situations prévues sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3

Valeurs des masses mesurées dans les deux milieux de conservation

Masse en (g)	Eau	Etuve
Masse avant	497.3	487.6
Masse après	500.01	485.6

#### 3.2. Essai de flexion

Cet essai permet de déterminer la résistance à la traction par flexion et s'applique uniquement aux éprouvettes prismatiques de dimension  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ . Les appuis sont constitués par des rouleaux en acier. L'essai est conduit jusqu'à la rupture sur une machine de flexion utilisée pour cet usage. Le calcul de la résistance à la traction par flexion  $R_f$  est donné par la formule suivante :

$$R_f = (3PL) / (2bh^2)$$

P, L, b et h représentent respectivement l'effort au moment de la rupture de l'éprouvette, la distance entre les appuis, la largeur et la hauteur de l'éprouvette.

#### 3.3. Essai de compression

Il s'agit de déterminer la contrainte de compression conduisant à l'écrasement d'une demi-éprouvette de micro béton de résine [14]. Les essais ont été menés à vitesse de chargement lente et constante de  $1 \text{ mm/min}$  de déplacement du plateau supérieur sur une presse de capacité 50 tonnes. La résistance à la compression est calculée par la formule suivante :

$$\sigma = \frac{P}{S}$$

P est l'effort de compression au moment de la rupture de l'échantillon et S la section transversale de l'échantillon. Il est à signaler la normalisation définie pour les mortiers a été adopté pour les deux types d'essai ainsi que pour la géométrie des éprouvettes utilisés.

## 4. Résultats et discussions

#### 4.1. Influence du pourcentage des sables sur la résistance des mortiers

Le tableau 4 résume les valeurs mesurées des résistances mécaniques obtenues en flexion et en compression pour les 3 mortiers et qui sont illustrés sur la figure 7. Il apparaît que les valeurs mesurées montrent une dispersion caractéristique des matériaux granulaires hétérogènes. Celle-ci est toutefois inférieure à celle généralement observée sur les bétons ou sur les mortiers.

Tableau 4

Résistances mécaniques des mortiers de résine			
R. (MPa)	I	II	III
Flexion	20±1	21±1	23±2
Compression	51±4	58±3	70±3

#### 4.2. Influence de G/S sur le béton de résine polyester

Les résultats obtenus de la résistance à la compression et à la traction par flexion des bétons de résine pour les différents rapports G/S expérimentés sont regroupés dans le tableau 5. Les chiffres entre parenthèses représentent les écarts-types. Ces résultats sont illustrés par la figure 8

pour la sollicitation en flexion et pour celle en compression.

Comme on peut le constater les résistances à la flexion et à la compression augmentent avec le rapport G/S jusqu'à la valeur du rapport 1 puis diminuent progressivement au-delà de cette valeur.

Lorsque le rapport G/S est élevé, l'adhérence entre la résine et les granulats devient mauvaise ce qui confère au béton de résine une mauvaise qualité. Les meilleures résistances à la traction par flexion et à la compression sont obtenues pour le rapport G/S = 1.

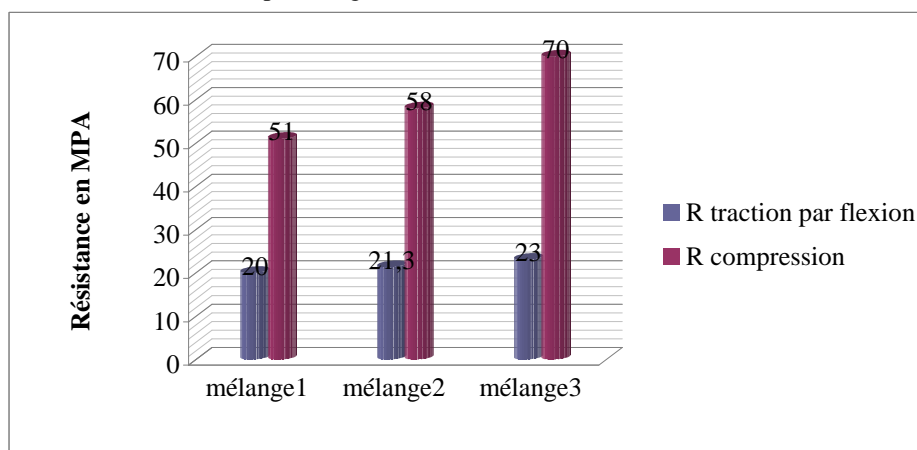


Fig. 7. Influence du pourcentage des sables sur les résistances en flexion et en compression des mortiers de résine.

Tableau 5

Résistances mécaniques des bétons de résine.				
Résistance MPa	Béton 1 G/S=0.5	Béton 2 G/S=1	Béton 3 G/S=1.5	Béton 4 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)

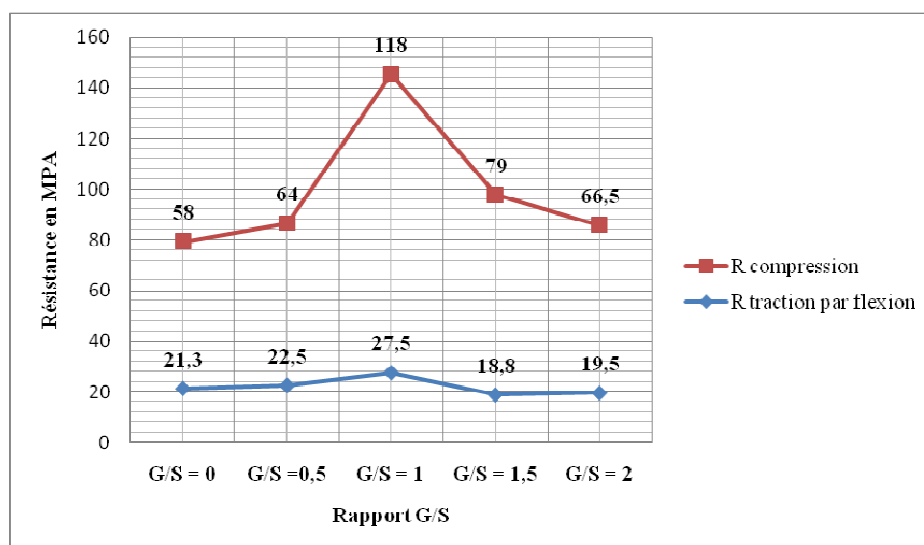


Fig. 8. Influence du rapport G/S sur les résistances en flexion et en compression du béton de résine

Signalons que les valeurs des résistances mesurées en flexion sont comparables à celles de la littérature. M. Haider ET E. El Ghorbel [8] obtiennent 25,5 Mpa pour une fraction massique de résine époxyde de 9%. J. P. Gorninsky et al [12] obtiennent des valeurs de l'ordre de 23 Mpa en ajoutant 20% de fumée de silice alors que les formulations de base aboutissaient à une valeur de 18 Mpa. P.J.R.O. Novoa et al [13] atteignent des valeurs de 36 Mpa avec une résine époxyde réticulée avec de l'amine.

#### 4.3. Influence du taux de fibres sur le béton de résine polyester

Les propriétés mécaniques des bétons de résine sont améliorées par l'ajout de fibres qui réduisent la fragilité de ces matériaux. Les résultats obtenus en compression et en traction sur les bétons de résine renforcés de fibres de verre E de façon aléatoire sont regroupés dans le tableau 6 et illustrés par la figure 9. Les chiffres entre parenthèses représentent les écarts-types calculés. Il apparaît que les résistances mécaniques en flexion et en compression augmentent avec l'augmentation du pourcentage massique des fibres. Il est observé une augmentation lente de la résistance à la traction par flexion par rapport à l'augmentation rapide de la résistance à la compression.

Tableau 6

Résistances mécaniques des bétons à base des fibres de verre E.

Résistance MPa	BF 1%	BF 2%	BF 3%	BF 4%
Traction par flexion	27.5±(1.8)	28.7±(1.27)	31±(1.80)	33±(0.37)
Compression	121±(1.94)	127±(2.65)	133±(2.48)	144±(2.08)

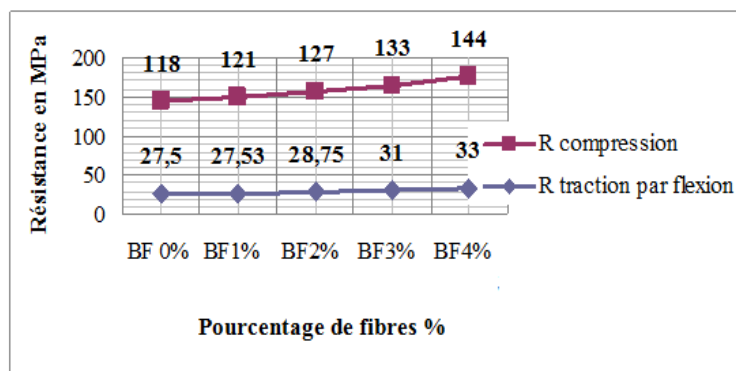


Fig. 9. Influence de taux de fibres sur les résistances en traction par flexion et en compression des bétons de résine polyester

Tableau 7.

Résistances mécaniques des bétons à base des fibres de verres E sous forme de tissu.

Résistance MPa	Béton (2 couches au milieu)	Béton (3 couches en zone tendue)
Traction par flexion	34±(1.67)	59±(1.49)
Compression	83±(3.67)	85±(1.02)

Par ailleurs Les fibres améliorent les performances des bétons de résine en favorisant sa ductilité.

#### 4.4. Influence du tissu des fibres sur la résistance des bétons de résine polyester

Les résultats obtenus de la résistance à la compression et de celle à la traction par flexion dans ce type de renforcement sont regroupés dans le tableau 7. Les chiffres entre parenthèses indiquent les écarts-types. Comme on peut le constater, ces résultats se caractérisent par une dispersion due essentiellement au caractère hétérogène de ces matériaux. Cette dispersion qui n'est toutefois pas importante comparativement à celle observée d'ordinaire sur les valeurs des bétons traditionnels est acceptable et elle est en moyenne de l'ordre de 5%. La figure 10 montre l'influence du mode de renforcement avec le tissu sur les résistances en flexion et en compression. La résistance en flexion est meilleure avec 3 couches situées dans la zone tendue qu'avec 2 couches au milieu. Le rapport entre les valeurs est d'environ 1,7. Au vu de la dispersion et des écarts type faibles, la résistance à la compression n'a pas évolué de façon significative dans les deux cas de figure. Ce phénomène du non renforcement des fibres dans le cas de la compression est souvent observé dans les composites granulaires.



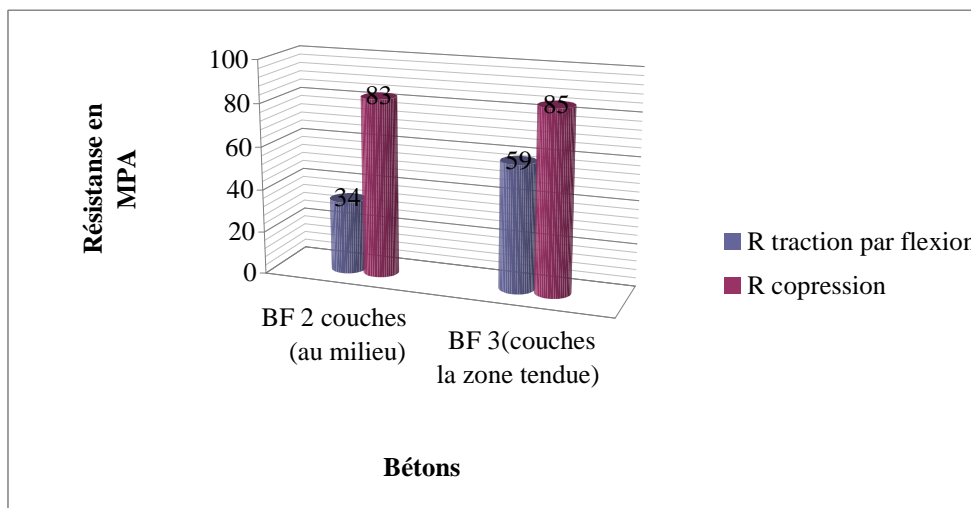


Fig. 10. Influence des tissus de fibres sur la résistance à la traction par flexion et sur la compression des bétons de résine polyester.

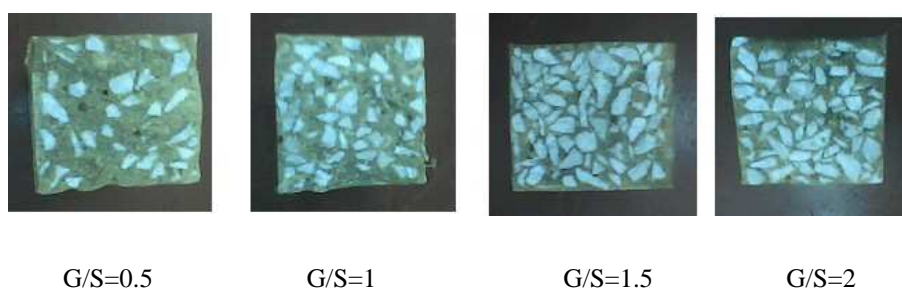


Fig.11. Morphologie de rupture des bétons de résine pour les différents rapports de G/S



Fig. 12. Mode de rupture des éprouvettes en flexion.



Fig. 13. Mode de rupture des éprouvettes en compression.

#### 4.5. Faciès de rupture

Les faciès de rupture des demi éprouvettes obtenues lors des essais de flexion sur le béton de résine sans fibres sont montrés sur la figure 11. Les différents squelettes illustrent les différentes morphologies obtenues en fonction du rapport G/S. Les photos de la figure 12 illustrent le mode de rupture observé sur des éprouvettes rompues en flexion pour les différents renforcements. Dans le cas du renforcement avec des fibres aléatoires et du renforcement avec des couches symétriques au niveau de l'épaisseur, la fissuration se fait au niveau de l'appui central. Dans le cas du renforcement dans la couche tendue, la rupture se fait par délaminage. Les photos de la figure 13 illustrent le mode de rupture des éprouvettes en compression. Dans le cas de la compression, les mécanismes de fissurations semblent être les mêmes dans les bétons de résine non fibrés et fibrés. On observe des craquelures éparpillées un peu partout dans le corps de l'éprouvette. Elles se développent au cours du chargement jusqu'à la ruine complète de l'échantillon.

#### 5. Observations au MEB des faciès de rupture

Les faciès de rupture des demi-éprouvettes obtenues lors des essais de flexion sur le béton de résine sans fibres sont observés au MEB. La figure 14 représente le contact résine granulat. Il est clair que l'adhérence est très correcte (pas de microfissures). Ceci était prévisible sur la rupture des échantillons : à l'œil nu les ruptures étaient traversantes à l'intérieur des granulats.

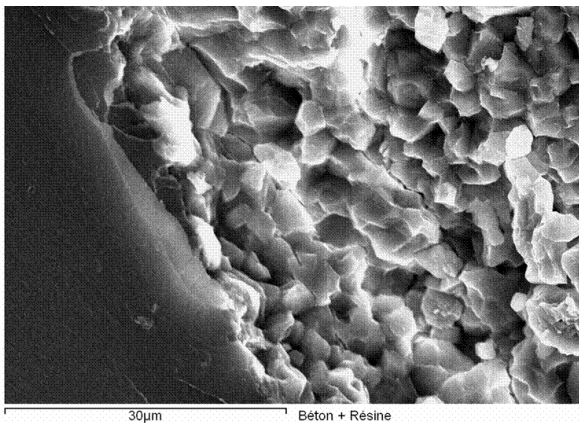


Fig. 14 : Contact résine /granulat

Pour vérifier la nature des composants du béton, des micro-analyses EDS sont réalisées de par et d'autre de la surface de séparation. Les résultats sont reportés sur les figures 15 et 16.

Le spectre 1 et la microanalyse sont bien caractéristiques de la résine (fig. 15). Le spectre 2 et la microanalyse sont caractéristiques de la calcite composant le granulat (fig. 16).

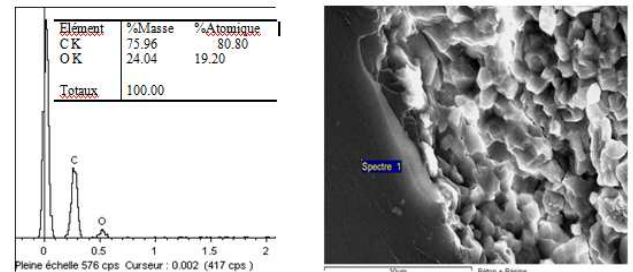


Fig. 15 : nature des composants : spectre 1

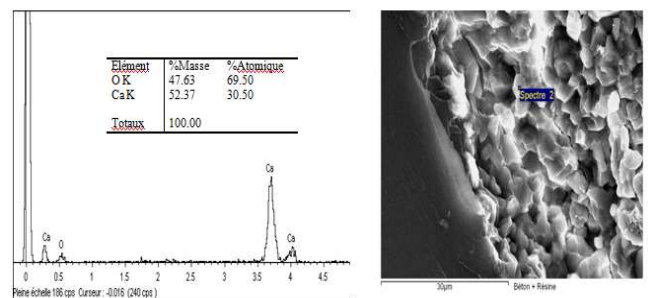


Fig. 16 : nature des composants : spectre 2

#### 6. Conclusions

Le béton de résine est un matériau qui peut remplacer le béton ordinaire dans certains domaines comme la réparation des ouvrages, les sols industriels, la fabrication des supports de fenêtres, la décoration des murs et des sols, etc... La démarche adoptée a visé à optimiser une formulation en vue d'obtenir des caractéristiques mécaniques (résistances à la traction par flexion et à la compression) performantes. Dans notre cas, nous avons opté pour un taux de résine de 27% comme point de saturation avec un taux de durcisseur par rapport au pourcentage de résine. Le mélange de 60% de sable fin et de 40% de sable moyen est apparu comme étant le mélange optimal à prendre comme référence dans la formulation des bétons de résine.

Le renforcement avec la fibre de verre améliore les performances mécaniques des bétons de résine.

#### Remerciements

Les auteurs remercient le service CMEBA de l'Université Rennes 1 pour l'assistance et les facilités accordées pour la réalisation des études microscopiques et des analyses EDS.



## Références

- [1] A. Blaga. « Les thermoplastiques », Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches Canada, Digest de la construction au Canada 158F, Ottawa, 1975.
- [2] A. Blaga. « Les plastiques thermodurcissables », Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches Canada, Digest de la construction au Canada 159F, Ottawa, 1975.
- [3] B. Chen, J. Liu « Mechanical properties of polymer-modified concretes containing expanded polystyrene beads » construction and building materials, 21, 2007, pp. 7-11.
- [4] G. Mirouzi « Les bétons de résine polyester : formulation et comportement » mémoire de Master 2, Matériaux, Département Génie Civil, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, Juin 2010.
- [5] A. Blaga et J.J. Beaudoin « Le béton de résine » CBD-242-F- Digests de la construction Canada /Publication de l'IRC-CNRC, 1986.
- [6] A. Blaga et J.J. Beaudoin. «Le béton modifié aux résines», Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches Canada, Digest de la construction au Canada 241F. Ottawa, 1986.
- [7] G. Mirouzi, B. Redjel, R. Jauberthie « Influence du mode de renforcement sur les performances mécaniques d'un béton de résine polyester renforcée de fibres de verre E » Premier Congrès international sur le Génie Civil et le Développement Durable GCDD2011 – 17-19 Octobre 2011, Tébessa, Algérie.
- [8] M. Haidar, I. El-Gorbel « Optimisation de la formulation de micro-Bétons de résine » 26 eme Rencontres Universitaires de Génie Civil, Nancy, 4-6 Juin 2008, France.
- [9] G. Mirouzi, B. Redjel « Formulation de micro bétons de résine polyester et étude du comportement mécanique en flexion et en compression » deuxième séminaire international-innovation et valorisation en génie civil& matériaux de construction, Rabat 23-25 Novembre 2011- Rabat – Maroc.
- [10] A. Blaga. « Propriétés et comportement des matières plastiques ». Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches Canada, Digest de la construction au Canada 157F, Ottawa, 1975.
- [11] J.P. Gorninski, D.C. Dal Molin, C.S. Kazmierczak, « Study of the modulus of elasticity of polymer concrete compounds and comparative assessment of polymer concrete and portland cement concrete », Cement and Concrete Research, 34, (2004), pp. 2091-2095.
- [12] J.P. Gorninski, D.C. Dal Molin, C.S. Kazmierczak, “Comparative assessment of isophthalic and orthophthalic polyester polymer concrete: Different costs, similar mechanical properties and durability” Construction and Building Materials, 21, (2007), pp. 546–555.
- [13] P.J.R.O. Novoa, M.C.S. Ribeiro, A.J.M. Ferreira, A.T. Marques “Mechanical characterization of lightweight polymer mortar modified with cork granulates” Composite Science and Technology, 64, (2004) pp. 2197-2205.
- [14] G. Dreux, J. Festa « Nouveau guide du béton et de ses constituants », Editions Eyrolles, Paris, p. 346.
- [15] B. Redjel « Mécanique des matériaux » cours DEUA 3, département de Génie Civil, Université de Annaba, 2005.