

CARACTERISATION EXPERIMENTALE D'UN BETON DE STRUCTURE COMPOSITE HYBRIDE

Gueciouer¹ D., Ait Tahar² K.

¹Laboratoire LMMC - Université de
Boumerdes

²Laboratoire LaMoMS - Département
de Génie Civil, Université de Tizi ou-

Mots clés :

Béton, renfort hybride, essais, analyse.

RÉSUMÉ: Cette étude a pour but essentiel de formuler et par la suite caractériser le comportement mécanique jusqu'à rupture des bétons composites hybrides à renforts combinés en fibres de verres et métalliques mettant en exergue l'influence de l'ajout aléatoire de fibres dans la matrice béton. L'intérêt de la combinaison des renforts très ductiles, réside dans la possibilité de conjuguer les performances mécaniques de chacun d'eux. Une fois, les performances sont conjuguées, un apport non négligeable de ductilité est conféré à la matrice béton, dont la résistance en traction est très faible. Le mode de rupture des bétons composites devient alors ductile. Les différents résultats expérimentaux obtenus par les essais de compression uni-axiale et de flexion quatre points sur les éprouvettes conçues, ont confirmés tout l'intérêt de cette incorporation de fibres hybrides dans la matrice béton en teneur limitée dans le retour de ductilité.

Indexation des éprouvettes

BT	Béton témoin (sans fibres)
BC I	Béton composite (fibre verre et métallique) à raison de 1% par rapport au volume
BC II	Béton composite (fibre de verre et métallique) à raison de 1,5 % par rapport au volume)

1. INTRODUCTION

La technologie de la construction ne cesse toutefois de progresser et avec elle le potentiel de performances, d'adéquation aux besoins et de rapidité de réalisation des ouvrages.

Dans la conception d'un béton composite le but est de rechercher des performances telles que : une résistance et un module élevé, une masse volumique faible et un coût moins prohibitif, selon la destination mécanique.

L'étude du comportement mécanique d'un béton composite passe généralement par l'utilisation du concept d'homogénéisation. L'hypothèse essentielle est celle de la continuité.

La formulation d'un béton composite est tributaire du choix des fibres de renfort à utiliser dans la matrice béton pour répondre aux exigences d'exploitation pratique du matériau conçu.

L'amélioration des résistances du béton en particulier à sa résistance en traction est généralement le but recherché. Là, beaucoup d'auteurs ont étudié et élucidé cette question, parmi les différentes formulations nous citerons celle qui consiste à incorporer des fibres de grande résistance (métalliques, verre, etc.) qui a donné naissance aux bétons de fibres.

L'ajout de fibres au béton est une des solutions qui permet de contrecarrer la propagation rapide des fissures. En effet, les fibres sont des éléments discontinus, dispersés aléatoirement ou pas dans le béton qui peuvent par un effet de couture, empêcher ou retarder l'apparition de fissures. [5, 7]

Pour être efficaces, les fibres doivent être bien ancrées, elles posséderont alors des longueurs suffisantes ou bien des formes adaptées, et la matrice elle-même devra être performante [6].

Pour couvrir toutes les micro-fissures existantes, ou susceptibles de se développer au sein du matériau, elles doivent être nombreuses et bien réparties pour conserver l'homogénéité du composite.

Le béton fibré doit être un matériau ouvrable, capable d'occuper un volume donné, compte tenu de la technique de mise en œuvre tout en conservant une certaine homogénéité.

L'utilisation de béton de fibres dans l'industrie en général et dans le domaine des travaux publics et bâtiment en particulier ces dernières années est en progression. Actuellement, on utilise ce matériau dans la fabrication des dallages industriels, dans le renforcement des tunnels par le béton projeté et dernièrement, on a commencé à utiliser ce matériau dans le domaine des grands ouvrages d'art et en particulier pour les ponts en encorbellement successifs de grandes portées et au niveau des intrados des passages supérieurs pour lutter contre les chocs; il est utilisé aussi pour le coulage des pieux forés [4].

En général, les fibres se sont imposées pour des raisons technologiques liées à la difficulté de mise en place des armatures transversales traditionnelles, en tenant compte de la bonne répartition des fibres (évitant le phénomène d'hérissou) et garantissant un bon bétonnage.[1]

Le but de notre travail est de modifier le mode de rupture fragile des bétons ordinaires en mode plus ductile en formulant un béton composite à ajout combiné de fibres de nature différentes mais présentant une certaine compatibilité du travail mécanique, de faible résistance, en teneur réduites, conférant un apport non négligeable de ductilité à la matrice béton.

2. MATÉRIAUX UTILISÉS ET MÉTHODE DE COMPOSITION

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes limités à une seule composition en granulats. Le sable roulé (0/5) de la sablière Baghli, le gravier (8/15) de la carrière Boussaâda, et le ciment de la cimenterie de Meftah. Également, nous avons utilisé deux types de fibres : fibres métalliques et fibres de verre.

La méthode de composition adoptée pour la formulation du béton et du béton à fibres de cette étude est la méthode de BARON-LESAGE. Cette méthode semble la mieux adaptée à la formulation des bétons de fibres puisqu'elle se base sur la maniabilité, propriété essentiellement, influencée par la présence des fibres. La variation de la maniabilité exprimée en affaissement pour chaque composition est illustrée par la figure 1.

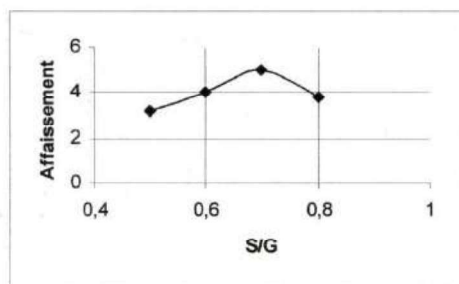


Figure 1: Variation de la maniabilité exprimée en affaissement pour chaque composition

Deux types de renforts ont été utilisés : des fibres métalliques et des fibres de verre (figures 2a, 2b).

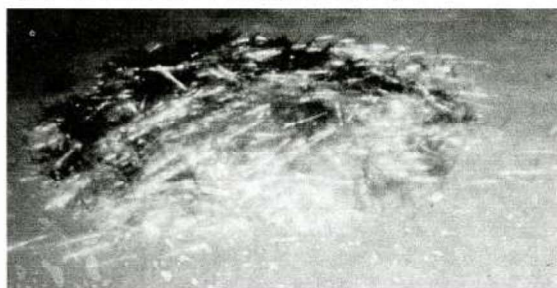


Figure 2a. fibres métalliques

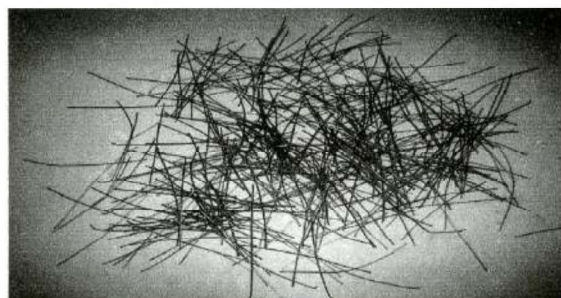


Figure 2.b. Fibres de verre

L'éclatement considéré est de l'ordre $L/O \neq 100$. Les poids des différentes fibres (Fibres métalliques et fibres de verre), incorporées, dans une éprouvette en fonction de pourcentage, sont donnés au tableau 1 et les caractéristiques mécaniques sont données dans le tableau 2

Tableau 1. Poids des fibres incorporées

Poids des fibres	Fibres de verre (g)		Fibres métalliques (g)	
% des fibres en volume	1	1	1,5	1,5
Moule prismatique	163	244,49	470,87	706,305
Moule cylindrique	191	286,48	551,75	827,63

Tableau 2 :Caractéristiques mécaniques des fibres utilisées

	Fibres métalliques	Fibres de verre
longueur l_f (mm)	50 - 60	25 - 30
largeur (mm)	—	—
Diamètre ϕ (mm)	0,6	—
Masse volumique (Kg/m ³)	6800	2500
résistance minimale (MPa)	527,14	3700
Module de Young (E)	200 000	76 000
Taux d'allongement à la rupture (%)	1,66	4,9

Principaux constituants	Composition
SiO ₂	55-75%
Zr O ₂	15-20%
Oxydes alcalins (Na ₂ O, K ₂ O)	11-21%
Oxydes alcalino terreux (CaO, MgO....)	0-6%
B ₂ O ₃	0-2%
Al ₂ O ₃	0-5%
TiO ₂	0-3%
F ₂	0-2%

Tableau 3. Compositions chimiques des fibres de verre [31]

Remarque : le béton de fibre est utilisé seulement dans la zone tendue des éléments prismatiques.

Pour mener à bien nos essais expérimentaux, on a réalisé dix-huit (18) éprouvettes :

- Trois (3) moules prismatiques et trois moules cylindriques pour béton témoin (sans fibres)
- Trois (3) moules prismatiques et trois moules cylindriques pour béton composite (1 % Fv + 1 % Fa).
- Trois (3) moules prismatiques et trois moules cylindriques pour béton composite (1, 5 % Fv + 1,5 % Fa).

3. PROCÉDÉ EXPERIMENTAL

Pour décrire et caractériser le mode de comportement mécanique des bétons composites, les différentes éprouvettes réalisées ont été soumises aux différents essais mécaniques et en particulier les essais de flexion quatre points et de compression centrée. Les essais ont été menés au niveau du laboratoire LMMC de Boumerdes et au niveau du CETIM- Boumerdes.

3.1. ESSAI DE COMPRESSION UNI AXIALE [NF P18-406]

Les corps d'épreuves sont des cylindres dimensions standard (16 * 32 cm). Ils sont soumis à l'essai, 28 jours après le coulage. Les éprouvettes sont disposées entre deux plateaux de la presse hydraulique 'TONI TECHNIK' dont la capacité est de 3000 KN. Son plateau supérieur est mobile de telle sorte à épouser la surface de l'éprouvette.

Les faces extrêmes de l'éprouvette doivent être rectifiées par abrasion ou par coulage d'une couche de soufre liquide pour éviter toute excentricité des charges appliquées.

Des jauges extensométriques sont collées sur la face latérale des éprouvettes. Elles sont reliées à une chaîne de mesures. Pour chaque étape de chargement, la valeur de l'effort vertical ainsi que la déformation correspondante sont directement enregistrées.

L'effort vertical est appliqué progressivement à une vitesse de chargement constante de 0.50 KN par seconde et ce, jusqu'à la rupture totale de l'éprouvette.

3.2. ESSAI DE FLEXION 4 POINTS [NF P18-407]

L'essai est mené en flexion quatre points conformément à la norme NF P18-407. Les corps d'épreuves sont de formes prismatiques de dimensions géométriques de 14*14*56 cm. L'éprouvette repose sur deux appuis distants de 42 cm et soumise à une charge verticale, appliquée au milieu de la travée centrale (figure 3).

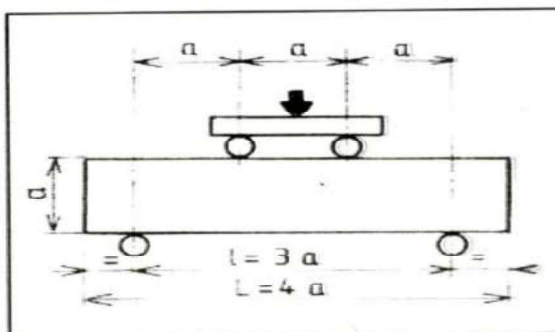


Figure 3. Dispositif de chargement

a: arête = 14 cm

L: longueur de l'éprouvette = 56 cm

l: distance entre appui = 42 cm

Le remplissage des moules est réalisé en deux couches pour le béton sans fibres, par contre pour le béton armé de fibres métalliques, l'introduction est faite en trois phases égales. Le remplissage des moules est effectué à l'aide d'une pelle à coque cylindrique du malaxeur-moule.

Les différentes phases de l'opération s'accompagnent d'une vibration externe à l'aide d'une table vibrante jusqu'au remplissage du moule, puis à la fin de l'opération, on procède au lissage avec une truelle. La durée de vibration est généralement comprise entre 15 et 60 secondes.

La machine d'essai est une presse hydraulique 'TONI TECHNIK' de capacité maximale 100 KN. La charge est appliquée progressivement à la vitesse de chargement contrôlée et ce, jusqu'à la rupture. Le dispositif d'essai est donné à la figure 4.



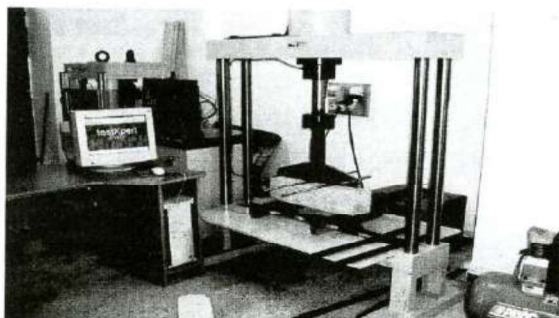


Figure 4: bâti de compression et de flexion

4. RESULTATS DES ESSAIS

En général, la rupture a lieu dès qu'apparaît la fissure magistrale parallèle à l'effort appliqué, au bas de la zone médiane de la poutre, qui se propage vers le haut. La contrainte de rupture se déduit par application des formules issues de la théorie de la poutre sur appuis simples. Pour chaque type de béton, la courbe charge-flèche est enregistrée.

les différents résultats obtenus lors de l'essai de flexion quatre points, en particulier la variation de la flèche (courbure) en fonction de la charge et les résistances, sont illustrés dans les figures 5, 6, 7 et 8.

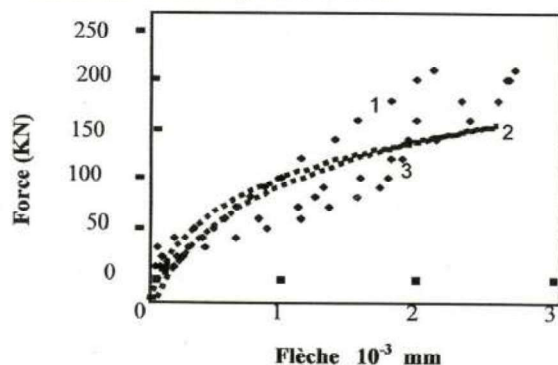


Figure 5. Diagramme force – déplacement en compression selon la composition

Série 1 : Béton témoin, série 2 : BCI et série 3 : BCII

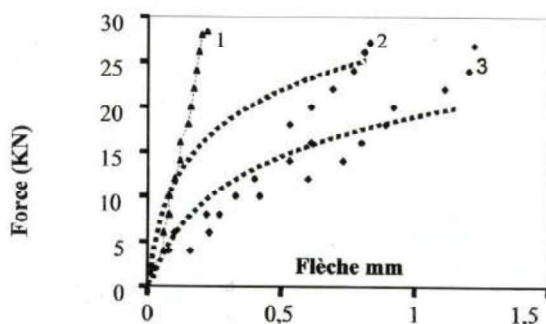


Figure 6. Diagramme force – flèche en flexion 4 points selon la composition Série 1 : Béton témoin, série 2 : BCI et série 3 : BCII

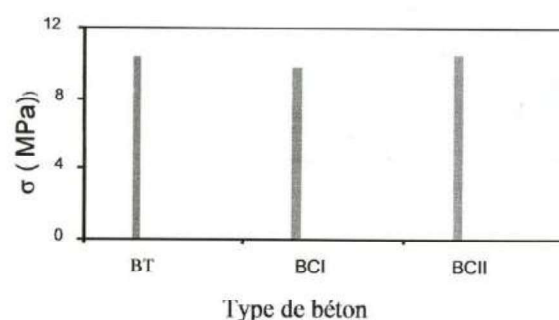
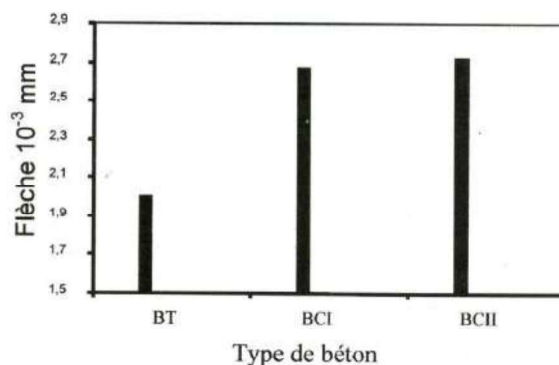


Figure 7. Variation de la flèche et la contrainte en compression selon la composition

Série 1 : Béton témoin, série 2 : BCI et série 3 : BCII

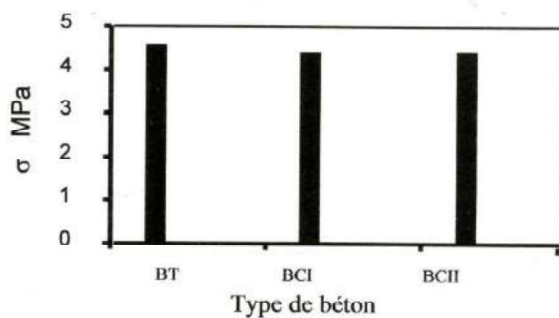
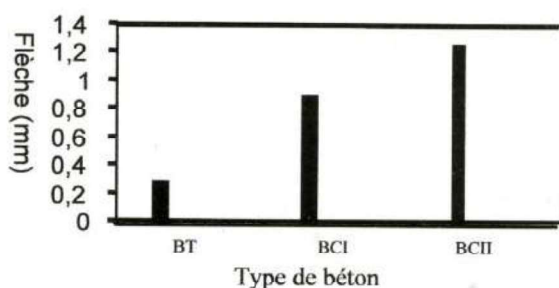


Figure 8. Variation de la flèche et la contrainte en flexion selon la composition

Série 1 : Béton témoin, série 2 : BCI et série 3 : BCII

5. ANALYSE DU MODE DE RUPTURE

5.1. Cas du béton témoin

La rupture du béton témoin est fragile, lorsque la limite de résistance est atteinte, on observe une rupture brutale, ceci est expliqué par la faible résistance du béton seul aux efforts de traction développés dans la zone tendue de l'élément fléchi. Cette rupture est illustrée par la figure 9.

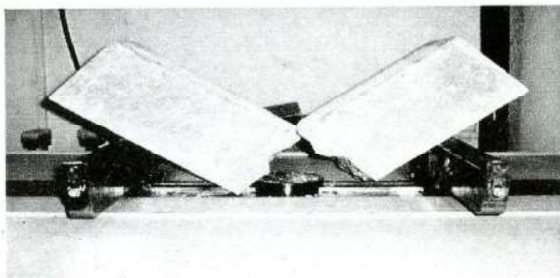


Figure 9. Rupture fragile du béton témoin

5.2. Cas du béton composite à renfort combiné type : BCI (1 % Fv + 1% Fa)

Le mode de rupture observé sur les éprouvettes en béton composite à renfort combiné de fibres de verre et métalliques à raison de 1% chacun du volume de la matrice béton, présente une amélioration sensible concernant l'amorce des microfissures et la vitesse de propagation des fissures. Ceci est expliqué par la présence des fibres dont le rôle est de couder les microfissures et de gêner le développement rapide de l'ouverture de la fissure magistrale (Figure 10).

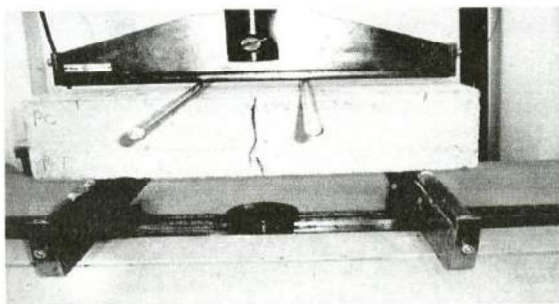


Figure 10. Mode de rupture ductile

5.3. Cas du béton composite à renfort combiné type : BCII (1,5 % Fv + 1,5% Fa)

Pour les éprouvettes en béton composite avec un renfort de 1,5% chacun en volume de la matrice béton, on observe d'une part, une rupture plus ductile par présence d'une fissure magistrale d'épaisseur moindre au niveau des appuis et d'autre part une densification des microfissures sur toute la face normale de l'élément fléchi. Ceci est expliqué par la forte teneur du renfort dans la matrice béton (Figure 11).



Figure 11. Densification de fissures et rupture ductile

6. ANALYSE DES RESULTATS ET CONCLUSION

L'analyse des résultats obtenus expérimentalement permettent d'en déduire que :

- lors des essais mécaniques, le mode de rupture de l'élément en béton seul (béton témoin) est de type fragile (rupture brutale) ceci est dû à sa faible résistance à la traction, alors que pour les bétons composites à différentes teneurs en fibres, on a observé une rupture ductile avec une densification des microfissures, la rupture est obtenue après l'apparition de la fissure magistrale au niveau des appuis, Ceci s'explique par l'ajout de fibres de verre et métalliques, dont le rôle est de stopper la propagation rapide des fissures en les couplant (après formation des fissures, les lèvres sont toujours reliées par les fibres par effet de goujon);

- Les résistances en compression simple sont peu affectées par la présence des fibres;

- L'ouverture de la fissure est largement réduite quand on passe d'un dosage en fibres à un autre. La vitesse de propagation des fissures est nettement inférieure à celle obtenue dans le béton témoin. Donc les fibres ont améliorés le comportement post fissuration du béton;

- Les rapports de flèche sont de l'ordre de 3.77 ; 5.54 respectivement selon le taux de fibres incorporées de 1 % pour BCI et de 1.5 % pour BCII, par rapport

au béton témoin ordinaire (sans fibres);

-les résistances ne sont pas significativement améliorées, ceux-ci peut s'expliquer par la nature des fibres utilisées. En effet, les fibres métalliques sont très déformables et les fibres de verre sous forme de filaments très fins.

Cependant vu que l'amélioration des résistances par incorporation dans la matrice béton, des fibres de performances mécaniques avérées étant largement développée et étudiée, notre approche conceptuelle a porté sur l'amélioration du mode de rupture fragile du béton ordinaire en lui conférant une plus grande ductilité, à travers le contrôle des mécanismes de fissuration.

Donc la combinaison de fibres à incorporer dans la matrice béton donnant naissance aux bétons composites, permet de conjuguer les performances de chaque constituant et de répondre aux conditions d'exploitation du matériau conçu. A cet effet, notre étude confirme que l'utilisation de fibres de résistances faibles permet de modifier le mode de comportement jusqu'à rupture des bétons. Le recours à cette approche de formulation est tributaire du prix de revient (étude économique).

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- **Beaudoin. J.I.**, 'béton renforcé de fibres. cbd-223-f, 1982
- 2- **Accion. F, Gorbantes. J, Blanco. M. T.**, 'cement reinforced by acrylie fibres , infarced studies, i / hydration and hydrolysis process in the fibres', cement and concrete research, 1990 p. 107-114.
- 3- **Gommers.B, Verpoest.I, Van houtte P**, 'Determination of the mechanical propreties of composite materials by tensils tests', ii. strength propreties, journal of composite matériels, vol.32(2), 1998.
4. **Rossi. P.**, « Concretes of fibres metal » ed. presse de l'enpc., 1998.
- 5- **Rabinovich. F.N.**, « Dispersno armirovani bétoni », ed. stroizdat- M, 1989.
- 6- **Bouafia Y.,Foure B.,Kachi. M.S.**, « Relation effort ouverture des fissures dans le cas du béton armé de fibres d'acier », annales de l'ITBTP n°2, avril 1998, Paris, France
- 7- **Ait Tahar K.**, " Etude expérimentale des poutres combinées en béton de fibres", annales de l' ITBTP n° 3 juin 2000, pp. 5-10, paris, France