

Comportement résiduel des poutres en béton armé (avec ou sans renforcement par TRC) exposées à haute température

Roufaïda ASSAL¹, Xuan Hong VU¹, Manal BOUASRIA², Emmanuel FERRIER¹

¹ Université de LYON, U.C.B. LYON 1; Lab. Matériaux Composites pour la Construction LMC2, France.

² COMUE Normandie Université – Laboratoire ESITC, 1 Rue Pierre et Marie Curie, 14610 Epron, France

RESUME Ce papier présente la caractérisation expérimentale du comportement thermique et mécanique résiduel des poutres en béton armé (BA) exposées à différentes températures (20°C, 620°C, 770°C, 1100°C). Après exposition à un niveau de température voulu, les poutres ont été ensuite refroidies jusqu'à la température ambiante. Certaines poutres préchauffées-refroidies ont été renforcées avec le composite mortier/textiles en carbone (TRC). Les résistances mécaniques résiduelles des poutres préchauffées, avec/sans renforcement par TRC, ont été ensuite caractérisées par le biais d'un essai de flexion de 4 points. Les résultats obtenus mettent en évidence l'effet de haute température sur le comportement thermique et mécanique résiduel des poutres. Ce papier présente aussi la contribution du TRC au comportement résiduel des poutres.

Mots-clefs Poutre, béton armé, haute température, comportement résiduel, composite TRC

I. INTRODUCTION

Lors que les structures en béton armé (BA) sont exposées à un incendie, les températures peuvent monter jusqu'à 1100°C. Dans la littérature, certaines études [P. Thanaraja et al. (2020) ; A.H. Akca et al (2020)] ont étudié les performances des structures en BA exposées à un feu normalisé ISO 843. Le composite mortier/textile (Textile Reinforced Concrete, TRC) est de plus en plus utilisé comme une solution pour la réparation/renforcement des ouvrages de génie civil. A l'échelle matériau, grâce aux bonnes propriétés thermiques des TRC, certaines investigations ont été faites afin d'étudier le comportement en traction des TRC à différentes températures [Tran M.T. et al (2019)]. A l'échelle de la structure, certains auteurs [Raoof S. et al. (2017)] ont étudié le comportement des poutres en BA renforcées par TRC. Jusqu'à maintenant, il y a encore peu d'études qui s'investissent dans la résistance résiduelle des poutres en BA exposées à haute température. Cette étude s'intéresse à la caractérisation du comportement thermique et résiduel des poutres en BA, avec/sans renforcement par TRC, exposées à différentes températures (de 20°C à 1100°C).

II. PROCEDURE EXPERIMENTALE

A. Poutres en BA et matériaux

Le béton conçu pour les poutres est C20/25 (affaissement de 13cm). La taille maximale des grains du gravier est de 10mm et celle des grains du sable est de 4mm. La formulation du béton (pour un m³) est la suivante : gravier roulé 2-10 mm (986 kg) ; sable 0-4mm (840 kg) ; ciment CEM II 32,5 (336 kg) ; eau (190 kg); superplastifiant (1 kg). Les armatures choisies sont de type S500 (limite d'élasticité de 500 MPa). Le dimensionnement des poutres a été fait selon l'Eurocode 2. En raison de la taille du four électrique utilisé, les dimensions de la poutre sont les suivantes : longueur de 1,2m, hauteur de 0,15m et largeur de 0,1 m (Figure 1a). Ce dimensionnement (avec 2 barres d'armature Ø10 en zone tendue et 2 barres d'armature Ø12 en zone comprimée de la poutre) a été fait pour le but de compenser les forces (qui seront apportées par TRC) et à éviter la rupture de la poutre par compression du béton. Le composite mortier/textile, nommé F-GC2, pour le renforcement des poutres de BA (après réchauffées-refroidies) est composé d'une matrice réfractaire et des textiles en carbone [Tran M.T. et al. 2019]. Le comportement thermomécanique de ce composite à différents niveaux de température (variant de 20°C à 700°C) a été étudié [Tran M.T. et al. 2019]. Les poutres préparées et testées sont présentées dans le Tableau 1. En totalité, il y a sept poutres testées. Après l'essai thermique à 1100°C, la poutre (P4-*) a été thermiquement endommagée et n'a pas pu être testée en flexion de 4 points. La mise en place du TRC sur les poutres préchauffées-refroidies (P6-*-TRC1 ; P7-*-TRC2) a été effectuée par la technique de moulage au contact. La poutre P6-*-TRC1 a été renforcée par deux plaques transversales de TRC dans la zone de cisaillement de la poutre (voir Figure 1b). La poutre P7-*-TRC2 a été renforcée par les plaques de TRC sur plusieurs faces (sauf la face recevant le chargement mécanique (Figure 1c)). Ces deux poutres ont été conservées dans l'air ambiant du laboratoire pendant un mois avant les essais mécaniques.

TABLEAU 1. Poutres préparées et testées dans cette étude

Poutre	Température (°C)	Vitesse de chauffe (°C/min)	Renforcement par TRC	Essai en flexion (4 points)
P1-20C	20	-	Non	Oui
P2-620C-v1,7	620	1,7	Non	Oui
P3-770C-v1,7	770	1,7	Non	Oui
P4-1100C-v6,7	1100	6,7	Non	Non
P5-770C-v6,7	770	6,7	Non	Oui
P6-770C-v6,7-TRC1	770	6,7	Configuration TRC1	Oui
P7-770C-v6,7-TRC2	770	6,7	Configuration TRC2	Oui

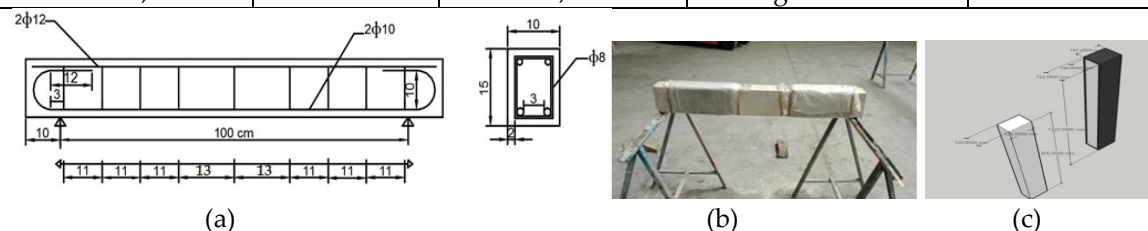


FIGURE 1. a) Poutre en BA : dimension et disposition du ferrailage; (c, b) Poutres (préchauffées-refroidies) renforcées selon les configurations TRC1 (b) et TRC2 (c)

B. Outils expérimentaux

Les essais de chargement thermique à haute température des poutres ont été réalisés par le four industriel FI-1100°C du LMC2 (voir Figure 2a). Le four (avec volume de 1,6 m³ et dimensions

suivantes : longueur de 1,3 m, profondeur de 1 m, hauteur de 1,2 m) permet de chauffer les structures jusqu'à 1100°C. Les poutres préchauffées-refroidies ont ensuite été testées par essai de flexion de 4 points (Figure 3b) grâce à la machine Wolpert de capacité de 1000kN (Figure 3a). Ces essais ont été effectués avec un pilotage en déplacement (vitesse de 1 mm/min). La force totale appliquée sur la poutre a été mesurée par un capteur de force. La flèche de la poutre au milieu de la poutre a été mesurée par le capteur de déplacement de la traverse et le capteur LVDT.

III. RESULTAT EXPERIMENTAL

La figure 2b présente les phases de réchauffement d'une poutre en BA qui a été testée avec une température de 1100°C avec une vitesse de chauffe de 6,7°C/minute. Le résultat de cet essai montre qu'après 13200 secondes (ou 3,7 heures), les températures extérieures de la poutre atteignent 1100°C et les températures intérieures de la poutre atteignent 900°C.

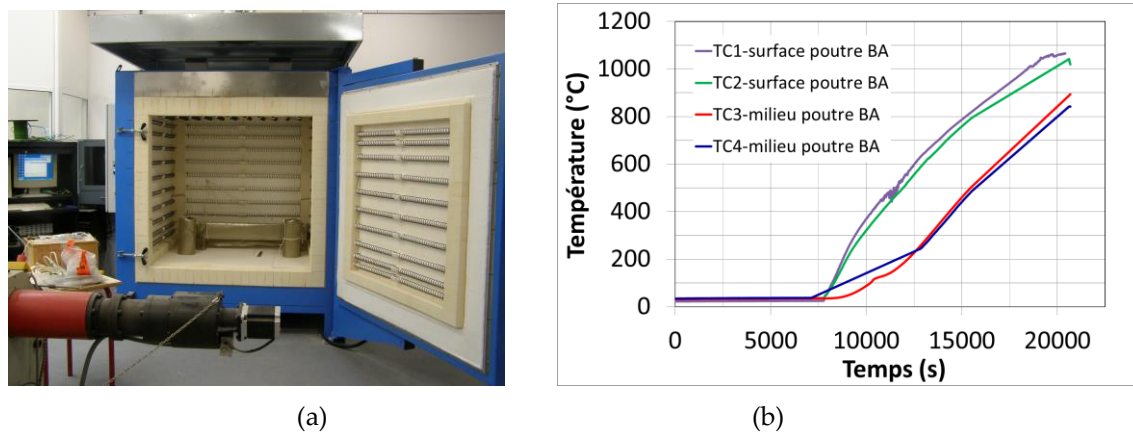


FIGURE 2. (a) Four FI-1100°C (LMC2) et poutre testée ; (b) Comportement thermique d'une poutre chauffée à 1100°C avec une vitesse de chauffe de 6,7°C/minute (P4-1100C-v6,7); réponses des thermocouples à la surface de la poutre (TC1, TC2) et au milieu de la poutre (TC3, TC4).

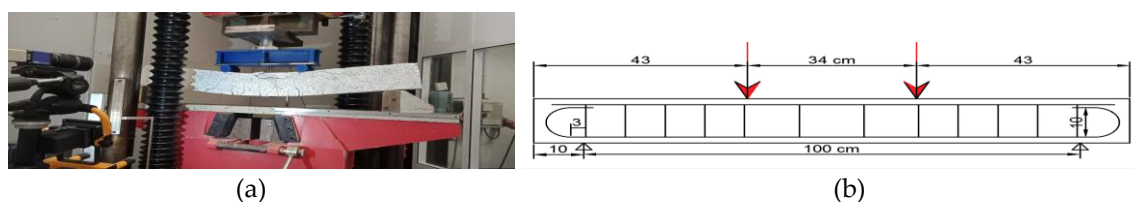


FIGURE 3 : Essai de flexion de 4 points sur la poutre en BA préchauffée-refroidie : (a) Poutre testée et machine Wolpert (LMC2) ; (b) Points d'application des chargements

La figure 4a présente la relation entre la force totale et la flèche au milieu des poutres en BA (poutre témoin P1-20C ; P2-620C-v1,7 et P3-770C-v1,7). La résistance résiduelle (le pic) de la poutre préchauffée à 620°C a diminué environ 65% par rapport à celle de la poutre témoin. La poutre préchauffée à 770°C a diminué à 54% par rapport à celle de la poutre témoin. La figure 4b présente la relation entre la charge totale et la flèche au milieu des poutres (P5-770C-v6,7 ; P6-770C-v6,7-TRC1 ; P7-770C-v6,7-TRC2). Avec la configuration de renforcement TRC1, la résistance résiduelle de la poutre a augmenté de 40149 N à 47157 N. On observe que la résistance résiduelle

de la poutre renforcée selon la configuration TRC2 a augmentée à 75000 N qui présente un gain de résistance de 59% en passant de la configuration TRC1 à la configuration TRC2.

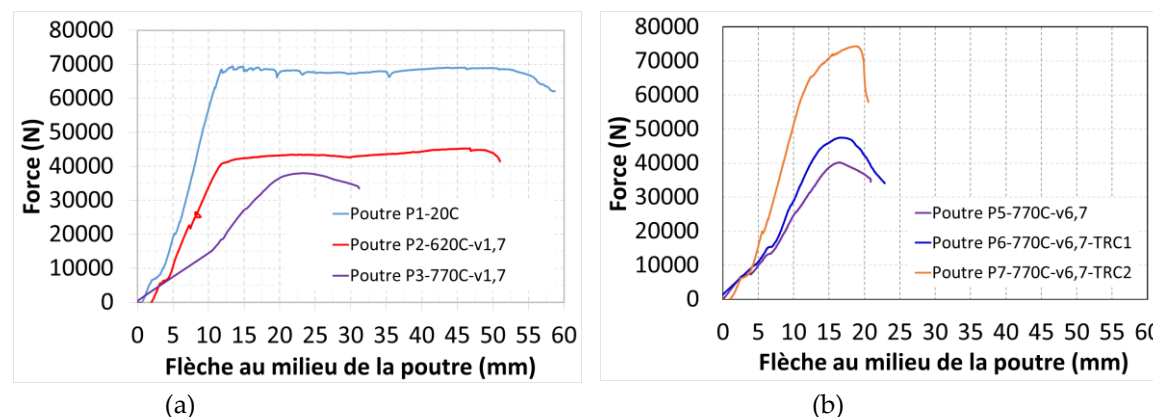


FIGURE 4. Force-flèche (poutre): a) poutres témoin et préchauffées à 660°C, 770°C (1,7°C/min); b) poutres préchauffées à 770°C (6,7°C/min) et renforcées selon la configuration TRC1 ou TRC2.

IV. CONCLUSION

Cette étude a permis de déterminer d'étudier le comportement thermique et mécanique résiduel des poutres à différentes températures. Les résultats des essais thermomécaniques ont montré que l'augmentation de la température a une influence directe sur le comportement résiduel des poutres en BA. Cette perte de résistance est due à des modifications physico-chimiques du béton et la dégradation des armatures. Le renforcement des poutres préchauffées (770 °C) - refroidies avec deux configurations TRC1 et TRC2 a montré que l'emplacement de deux plaques de TRC dans la zone de rupture par effort tranchant (configuration TRC1) n'est pas suffisant pour garantir la récupération de la force. Le renforcement sur plusieurs faces de la poutre préchauffée-refroidie (configuration TRC2) a permis d'obtenir une force maximale (75000 N) de la poutre qui est plus grande que la force maximale (70000 N) de la poutre de référence testée à 20 °C. Ce résultat a contribué à mettre en évidence la méthode et les avantages de la solution de renforcement avec le TRC pour l'augmentation de la résistance résiduelle des poutres préchauffées-refroidies.

REFERENCES

- Thanaraja D.P., Na A., Arulraja P., Al-Jabrib K. (2020), *Investigation on structural and thermal performance of reinforced concrete beams exposed to standard fire*, Journal of Building Eng., 32, 101764.
- Akcaa A.H., Özyurt N. (2020), *Post-fire mechanical behavior and recovery of structural reinforced concrete beams*, Constr. Build. Mater. Journal, vol. 253, 119188.
- Tran M.T., Vu X.H., Ferrier E. (2019). *Mesoscale experimental investigation of thermomechanical behaviour of the carbon textile reinforced refractory concrete under two simultaneous actions of mechanical loading and elevated temperature*. Constr. Build. Mater. Journal, vol. 217; 156–171
- Raouf S., Bournas D. (2017), *TRM versus FRP in flexural strengthening of RC beams: Behaviour at high temperatures*, Constr. Build. Mater. Journal, v.154.