

CONCEPTION DE PARAPETS PRÉFABRIQUÉS POUR LES PONTS EN BÉTONS RENFORCÉS DE FIBRES

**Jean-Philippe
Charron**¹
Professeur
agrégé

**Eric
Niamba**¹
Étudiant à la
maîtrise

**Bruno
Massicotte**¹
Professeur
titulaire

**Martin
Montpetit**²
V.P. recherche
et développement

**Richard
Morin**³
Chef de section

¹ CRIB, École Polytechnique de Montréal, Département des génies civil,
géologique et des mines, Montréal, Québec, Canada

² Béton Brunet, 1625 boulevard Langlois, Valleyfield, Québec, Canada

³ Ville de Montréal, Division des laboratoires, 999 Louvain Est, Montréal, Québec, Canada

RÉSUMÉ : De nouveaux concepts de parapets préfabriqués adaptés à l'utilisation de trois classes de résistance de bétons renforcés de fibres (BRF) ont été proposés sur la base de calculs par éléments finis. Selon le matériau utilisé, il s'avère possible de réduire de 50 à 100 % l'armature conventionnelle ainsi que de diminuer jusqu'à 50 % l'épaisseur des parapets. Afin de vérifier la performance des parapets préfabriqués en BRF, une campagne expérimentale d'envergure a été réalisée. Le comportement des parapets a été déterminé pour un chargement quasi-statique et un chargement dynamique équivalent à un impact. Les résultats des essais quasi-statiques démontrent que les parapets préfabriqués en BRF, dont l'épaisseur et l'armature ont été réduites, atteignent une résistance et une ductilité équivalentes au parapet de référence. Dans le but de comparer le rendement global de chacun des parapets en BRF, la performance mécanique est évaluée en regard au coût de fabrication et au temps de construction requis en chantier. Ceci permet de déterminer le concept présentant davantage d'intérêts pour la commercialisation.

INTRODUCTION

Un projet de développement de parapets de ponts préfabriqués conçus en bétons renforcés de fibres à haute et ultra haute performance a été initié en 2007 afin d'accélérer la construction et la réhabilitation des ponts et des ouvrages d'art. Deux facteurs motivent principalement l'accélération des travaux de construction : la courte saison favorable à la mise en place du béton et les coûts sociaux importants liés à la mitigation et la gestion de la circulation entravée qui atteint environ 30 % du budget de construction en milieu urbain. Les objectifs généraux du projet sont, d'une part, la mise au point et la production industrielle de bétons renforcés de fibres (BRF) de trois classes de résistance (50, 70 et 120 MPa) et, d'autre part, l'optimisation du dimensionnement et la production de parapets préfabriqués avec la classe de BRF la plus adaptée. Cet article résume les résultats des essais quasi-statiques réalisés sur les parapets préfabriqués en BRF de conception nouvelle. L'article a également été présenté au Congrès de l'ACI Section du Québec et de l'Est de l'Ontario à Sherbrooke en novembre 2008.

Le Code canadien de calcul des ponts routiers [1] limite actuellement ses recommandations aux parapets fabriqués en chantier ancrés dans les dalles de tablier par des armatures conventionnelles réparties uniformément. Cette technique éprouvée quant à la reprise des efforts d'impact associés à une collision présente toutefois plusieurs désavantages. Elle exige premièrement une longue période de fabrication en chantier qui retarde la mise en service des ouvrages neufs ou en cours

de réparation. Deuxièmement, il est fréquent d'observer une fissuration précoce des parapets puisque le retrait du béton au jeune âge est restreint dans ces éléments continus ancrés sur une dalle rigide [2]. Troisièmement, les parapets sont exposés durant la période hivernale à l'abrasion des chasse-neiges et à de fortes concentrations de sels de déverglaçage favorables à leur détérioration rapide et à leur réparation périodique. Enfin, la taille massive des parapets en fait des éléments peu esthétiques en milieu urbain.

Afin de pallier à ces problématiques, ce projet propose de nouveaux concepts de parapets préfabriqués en BRF. Les parapets préfabriqués permettent de réduire les délais de construction et d'éliminer la fissuration précoce des éléments fabriqués en chantier. L'utilisation de BRF permet également de prolonger la durabilité des parapets et de réduire leur épaisseur pour un niveau de performance mécanique équivalent.

CONCEPTION DES PARAPETS

Analyse préliminaire

À ce jour les parapets installés sur les tabliers de pont au Canada sont presque exclusivement fabriqués en chantier et présentent des profils standardisés de type New Jersey et F-shape [1]. De plus, les parapets sont classés selon 3 niveaux de performance, PL-1 à PL-3, qui dépendent principalement de la fréquence, de la vitesse et du type de véhicules circulant sur le pont. Le parapet de classe intermédiaire PL-2 adoptant le profil de type New Jersey étant le plus utilisé en milieu urbain, il a été sélectionné pour ce projet.

Le Code canadien des ponts routiers [1] et le guide de l'AASHTO [3] exigent que le parapet fabriqué en chantier de type PL-2 soit conçu pour résister à une charge transversale majorée de 170 kN et 350 kN respectivement. Par ailleurs, le dimensionnement standard du parapet fabriqué en chantier du Ministère des Transports du Québec [4] prévoit l'utilisation de cadres verticaux No15 (200 mm²) @ 200 mm c/c pour transmettre la force d'une collision du parapet à la dalle du pont. Ce dimensionnement, lorsqu'appliqué à un parapet de 2 m de longueur, fournit une résistance ultime de 350 kN. Le dimensionnement des parapets préfabriqués de 2m a été réalisé avec le critère le plus sévère, soit 350 kN.

Pour la première phase d'optimisation, les modifications proposées au dimensionnement des parapets sont reliées au mode d'ancrage, à l'épaisseur de la section et à son renforcement. L'épaisseur du parapet et la quantité d'armature ont été réduites grâce aux propriétés mécaniques avantageuses des BRF. Un ancrage avec manchons noyés dans le parapet et ensuite précontraints par post-tension dans la dalle de pont a été choisi pour remplacer les barres d'armature conventionnelles faisant la liaison entre la dalle et le parapet fabriqué en chantier. Il s'agit d'un mode d'ancrage simple, rapide d'installation et performant mécaniquement. Enfin, pour éviter une modification de la réponse du parapet lors de l'impact d'un véhicule, la rigidité et le profil intérieur du parapet de référence (côté véhicule) ont été conservés.

Modélisation numérique

La phase d'optimisation du dimensionnement des parapets en BRF a été réalisée à l'aide de modélisation par éléments finis sur le logiciel Atena 3D [5]. Le modèle développé tient compte du parapet ainsi que de la dalle en porte-à-faux depuis la poutre longitudinale extérieure du pont, du système d'ancrage par manchons en acier et des barres d'ancrage précontraintes, des interfaces de frottement entre le parapet et la dalle, et enfin des lois de matériaux non linéaires des bétons et des armatures.

Le modèle numérique a été mis au point initialement par Braike [6] et ensuite raffiné par Niamba [7]. Tous les détails sur le développement et la validation du modèle, les propriétés mécaniques des BRF choisis, de même que les étapes d'optimisation des parapets en BRF sont disponibles dans ces ouvrages et ne seront pas repris dans cet article dont la portée se limite à l'analyse du comportement expérimental des parapets.

Dimensionnement des parapets préfabriqués

Les résultats de l'optimisation du dimensionnement des parapets préfabriqués sont illustrés à la figure 1 pour les différents bétons à l'étude. Le dimensionnement du parapet en BHP 50MPa (figure 1a) a été modifié légèrement par rapport au parapet fabriqué en chantier. Les armatures verticales des cadres pénétrant dans la dalle du pont ont été remplacées par des manchons distants de 1.5 m. Les cadres ont ainsi été refermés dans la section inférieure du parapet. Les armatures longitudinales du parapet fabriqué en chantier ont néanmoins été conservées.

Pour le parapet en BRF 50MPa-1% (figure 1b), il n'a pas été possible de réduire l'épaisseur de la section. En revanche, l'armature conventionnelle a été limitée uniquement à 2 cadres verticaux situés de part et d'autre des manchons, pour permettre une meilleure redistribution des efforts localisés à l'ancrage dans le béton, et à 3 barres longitudinales, essentiellement pour maintenir en place les cadres dans le coffrage. Un dimensionnement similaire a été utilisé pour le parapet en BRF 70MPa-1.5% (figure 1c). Les seules différences étant que l'épaisseur de la section de 880 mm de hauteur a été réduite de 225 à 160 mm et que le recouvrement de béton autour des armatures a été diminué de 75 à 60 mm. Ceci a été permis grâce aux propriétés mécaniques et à la durabilité supérieures de ce béton (tableaux 1 et 2).

Le dimensionnement du parapet en BRF 120MPa-4% présente un degré d'optimisation supérieur (figure 1d). Étant donné les propriétés remarquables de ce béton, notamment en termes de résistance et de ductilité en traction, il a été possible de retirer toutes les armatures conventionnelles. L'épaisseur de la section de 880 mm de hauteur a été réduite de 225 à 95 mm. Un talon de 145 mm de hauteur et de 65 mm d'épaisseur a été ajouté à l'arrière du parapet uniquement pour limiter les forces à reprendre par la dalle lors de l'impact du véhicule. Sans l'ajout du talon, la rupture en cas d'impact exceptionnel surviendrait dans la dalle au lieu du parapet, or cette situation n'est pas envisageable pour préserver l'intégrité structurale du pont.

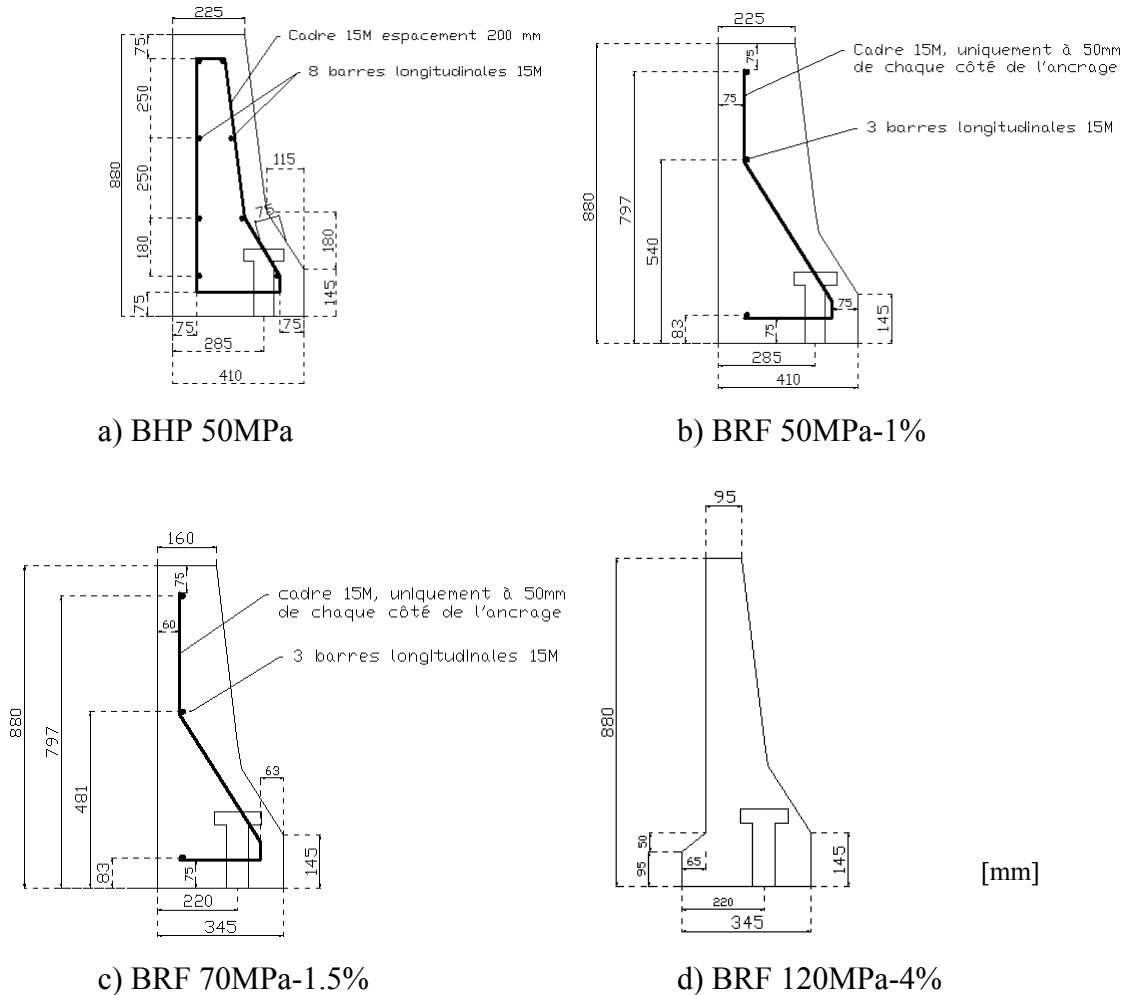


Figure 1 - Dimensionnement des parapets préfabriqués

PROGRAMME EXPÉRIMENTAL

Composition des bétons

Les parapets à l'étude ont été fabriqués l'usine de Béton Brunet avec 4 types de béton dont la composition est décrite au tableau 1. L'appellation des bétons fournit des informations sur la résistance à la compression et le dosage volumique en fibres métalliques, BRF 50MPa-1% indique donc une résistance à la compression de 50 MPa et un dosage de 1 % en fibres. Le BHP 50MPa constitue le matériau de référence. Les BRF 50MPa-1% et BRF 70MPa-1.5% sont des mélanges dont le squelette granulaire a été optimisé à l'aide de la méthode Baron-Lesage. Ensuite la quantité de superplastifiant a été ajustée afin d'obtenir un béton maniable et homogène. Le BRF 120MPa-4% a été mis au point par Braïke [6] sur la base des travaux de Rossi et al. [8]. Il s'agit d'un béton possédant un comportement écrouissant et adoucissant en traction et une énergie à la rupture très élevée. La production de ces bétons à l'usine de Béton Brunet a nécessité

un programme d'essais qui a conduit à l'adaptation de quelques équipements et à certains changements aux méthodes de travail.

Tableau 1 - Composition des bétons à l'étude

Constituants	BHP 50MPa	BRF 50MPa-1%	BRF 70MPa-1.5%	BRF 120MPa-4%
Ciment (kg/m ³)	506	506	575	1007
Fumée de silice (kg/m ³)	44	44	50	252
Eau (kg/m ³)	233	232	212	225
Sable (kg/m ³)	822	807	842	604
Pierre (kg/m ³)	685	673	601	0
Superplastifiant (L/m ³)	5.5	6.1	12.1	42
Fibres - Longueur (mm)	-	35	30	10
- Dosage (%)	-	1	1.5	4
Rapport eau/liant (-)	0.43	0.43	0.35	0.2

Essais matériaux

La résistance à la compression et le module élastique des bétons ont été évalués avec des cylindres de 100 mm de diamètre selon les normes ASTM C109 et ASTM C469 [9] respectivement. La résistance à la traction et la courbe contrainte-ouverture de fissure ($\sigma-w$) ont été déterminées par calcul inverse à partir d'un essai de flexion sur dalles circulaires de 800 mm de diamètre selon la norme ASTM C1550 [9]. La méthode de calcul inverse utilisée a été décrite récemment par Nour et al. [10]. Les spécimens de caractérisation ont subi une cure humide de 7 jours et une cure à l'air de 21 jours avant la réalisation des essais de caractérisation à 28 jours.

Essais structuraux

Les essais structuraux ont été réalisés sur des parapets de 2 mètres de longueur dont le dimensionnement a été présenté à la figure 1. Pour chaque type de parapet, 4 spécimens ont été fabriqués pour un total de 16 parapets. La moitié des spécimens de chaque type ont été testés sous un chargement quasi-statique, la seconde moitié des parapets seront testés prochainement sous un chargement dynamique équivalent à un impact de véhicule.

Le montage expérimental servant à l'étude du comportement des parapets est illustré à la figure 2. Les spécimens de parapets sont précontraints sur la dalle d'essai du laboratoire à l'aide de 2 barres de précontrainte. Le chargement transversal est appliqué en contrôle de déplacement par un vérin de 1000 kN dont la force est appliquée uniformément sur une surface de 0.245 m² (700 mm x 350 mm) au centre du parapet. Le vérin est encastré sur un cadre rigide en acier et il est relié au parapet par le biais d'une pièce profilée en mortier de haute résistance. Au cours des essais, des capteurs mesurent en plusieurs endroits le déplacement du parapet et des jauges collées aux armatures indiquent le niveau de contrainte atteint.

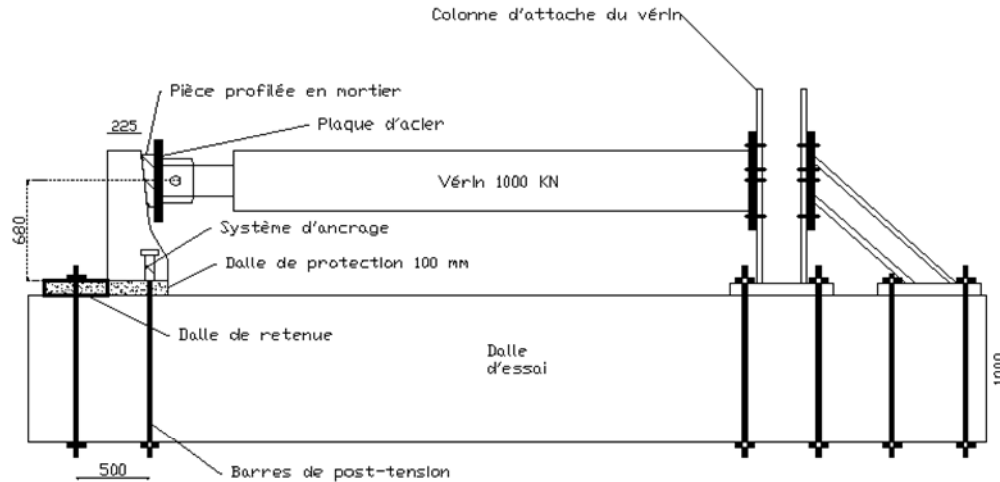


Figure 2 - Montage expérimental pour les essais de chargement quasi-statique

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Essais matériaux

Les caractéristiques mécaniques des bétons à l'étude dans ce projet sont décrites au tableau 2. L'analyse des résultats permet de constater que l'appellation des bétons est conforme aux propriétés mesurées pour la résistance à la compression. Les valeurs de résistance à la traction sont logiques compte tenu des dosages en fibres utilisés pour chacun des mélanges. L'augmentation du dosage en fibres de 0 à 1.5 % améliore principalement le comportement adoucissant des bétons en augmentant la contrainte reprise après la localisation de la fissuration du béton. Pour le béton avec 4 % de fibres, on note une amélioration du comportement avant et après la localisation de la fissuration en obtenant un comportement écouissant et adoucissant. Enfin les modules élastiques mesurés sont adéquats pour ces bétons.

Tableau 2 - Caractéristiques mécaniques des bétons à l'étude

Propriétés	BHP 50MPa	BRF 50MPa-1%	BRF 70MPa-1.5%	BRF 120MPa-4%
f_c (MPa)	54	57	71	116
E_c (GPa)	31	32	36	35
f_t (MPa)	3.1	3.1	3.6	5.4

Essais structuraux

Le comportement force-déplacement des différents parapets au cours des essais quasi-statiques est présenté à la figure 3. Le déplacement horizontal a été mesuré à l'arrière du parapet dans l'axe du vérin. Les chutes de résistance observées à 100, 200, 300 kN ainsi qu'à la résistance maximale des parapets sont dues à l'application d'une pause dans le chargement pour l'identification des fissures en cours d'essai alors que le déplacement était maintenu constant.

Les parapets démontrent un comportement élastique jusqu'à environ 50 kN, ensuite la rigidité diminue avec la fissuration créée par la force appliquée au centre des parapets. Une fois la résistance maximale atteinte, la force tend à se stabiliser vers une valeur correspondant à la contribution en traction des BRF et à la plastification des cadres verticaux le cas échéant. Le parapet en BRF 120MPa-4% ne possédant pas de cadres verticaux, la force diminue plus rapidement lorsque la charge maximale est atteinte. Afin de faciliter leur démontage, les parapets ont été déchargés avant la rupture complète lorsque l'un des 2 critères suivants a été atteint, soit une flèche supérieure à 35 mm ou une force inférieure à 150 kN.

Les patrons de fissuration principaux relevés en cours d'essais sont montrés à la figure 4. Les parapets en BHP-50MPa et en BRF 50MPa-1% ont présenté une rupture en flexion-cisaillement autour des manchons d'ancrage, tandis que les parapets en BRF 70MPa-1.5% et en BRF 120MPa-4% ont démontré une rupture en flexion au changement de section du profil intérieur. Dans tous les cas, une fissuration verticale au centre de la face arrière du parapet a été notée, celle-ci étant plus fine pour les parapets en BRF et presque qu'invisible pour le béton de plus fort dosage en fibres (BRF 120MPa-4%).

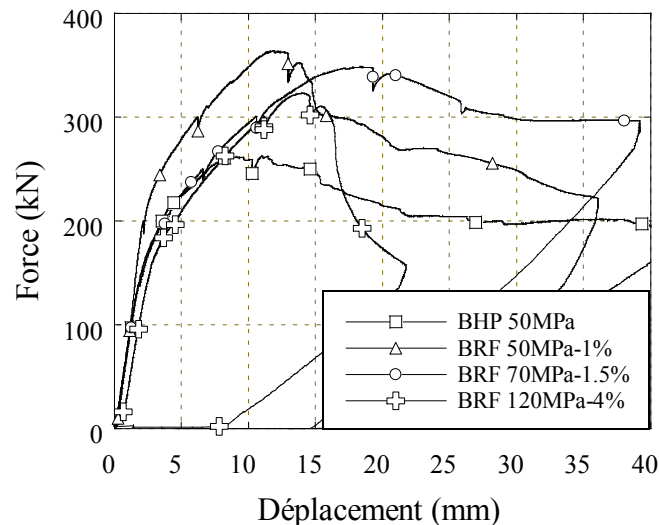
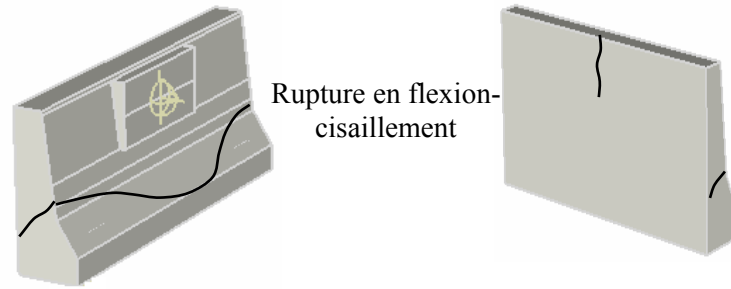
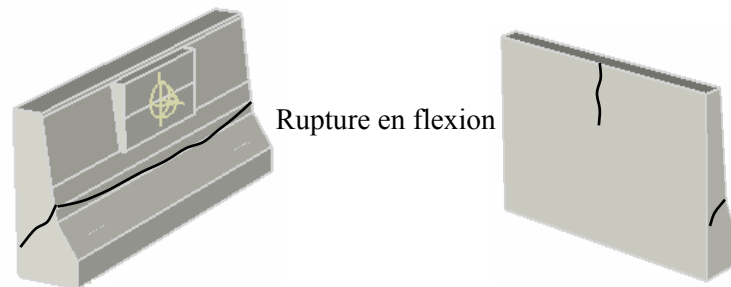


Figure 3 - Comportement des parapets préfabriqués sous un chargement quasi-statique



a) Patron de fissuration principal observé pour le BHP 50MPa-0% et le BRF 50MPa-1%



b) Patron de fissuration principal observé pour le BRF 70MPa-1.5% et le BRF 120MPa-4%

Figure 4 - Fissuration des parapets préfabriqués sous un chargement quasi-statique

ANALYSE ET DISCUSSION

Essais structuraux

Les essais structuraux ont démontré premièrement que les parapets préfabriqués en BRF possèdent une résistance mécanique supérieure à celle du parapet préfabriqué en BHP 50MPa (figure 3). De fait, la résistance maximale des parapets en BRF varie entre 320 et 360 kN tandis que la résistance du parapet en BHP est de 260 kN. Deuxièmement, la ductilité des différents parapets est comparable mis à part le parapet en BRF 120MPa-4% sans cadres verticaux. Troisièmement, la rigidité des différents parapets est semblable avant d'atteindre la résistance maximale. Cet aspect est très important, car l'objectif était de limiter la modification de la réponse des parapets lors de l'impact d'un véhicule pour que la redirection du véhicule demeure inchangée et que les transferts d'énergie soient comparables entre le parapet et le véhicule.

Il a été mentionné précédemment que le Code des ponts routiers du Canada et le guide de l'AASHTO spécifient une résistance de 170 kN et de 350 kN respectivement, par ailleurs le dimensionnement standard du Ministère des Transports du Québec offre une résistance de 350 kN. Compte tenu des forces transversales atteintes dans les essais de chargement quasi-statique (supérieures à 320 kN), les dimensionnements des parapets préfabriqués en BRF proposés dans ce projet répondent adéquatement aux critères susmentionnés. Ils présentent donc une capacité équivalente au parapet fabriqué en chantier.

Rendement global

La section précédente a démontré que les parapets préfabriqués en BRF constituent une avenue intéressante du point de vue mécanique. Par ailleurs, les parapets en BRF devraient présenter une durabilité prolongée en comparaison au parapet en béton armé (préfabriqué ou fabriqué en chantier). En effet, les fissures causées par les impacts de véhicules et les sollicitations environnementales seront plus fines et mieux contrôlées par les fibres métalliques que les armatures conventionnelles. En conséquence, les principaux processus de détérioration tels que la corrosion des armatures et l'endommagement par le gel-dégel seront ralentis. Par ailleurs, en cas d'impact exceptionnel requérant le remplacement d'un parapet très endommagé, la possibilité de remplacement du parapet préfabriqué offre une alternative très avantageuse par rapport à la réparation in situ du parapet fabriqué en chantier.

De manière à évaluer le rendement global des différents dimensionnements de parapets, le tableau 3 présente le ratio coût/résistance pour une unité de parapet de 2 m. Le coût total tient compte du coût des matériaux (béton, acier) et leur installation dans les coffrages, ainsi que des coûts de manutention et de transport. Ces derniers coûts ne s'appliquent qu'aux parapets préfabriqués et sont majorés selon leur poids. Il importe de souligner qu'aucune marge bénéficiaire n'a été considérée dans cette analyse, il s'agit uniquement de coûts de production bruts. Les coûts et résistances indiqués au tableau 3 ont été normalisés en fonction du parapet de référence en BHP-50 MPa fabriqué en chantier. On retrouve également le temps de construction en chantier requis pour un ensemble de parapets installé sur un pont typique de 30 m de longueur en milieu urbain. L'impact considérable du temps de construction en chantier, sur la gestion du trafic (coûts sociaux) ainsi que la gestion des projets et leur coût, requiert la prise en compte de cette donnée dans l'analyse du rendement global. Une période de construction totale de 18 jours est estimée pour l'utilisation de parapets fabriqués en chantier, soit 4 jours pour la mise en place des armatures, des coffrages et du béton, et 14 jours de cure humide appliquée au béton (2 fois 7 jours). De fait, pour éviter une fissuration due au retrait gêné, les parapets sont fréquemment fabriqués en sections alternées [2] et cela requiert 2 gâchées de béton espacées au minimum de 7 jours. Une période de construction totale de 4 jours est estimée pour l'installation des parapets préfabriqués.

On constate que le ratio coût/résistance minimum est obtenu avec le parapet fabriqué en chantier, cependant le temps de construction à prévoir pour un pont urbain typique est 4.5 fois supérieur à celui requis pour l'utilisation de parapets préfabriqués (tableau 3). L'analyse du rendement global tend donc à favoriser l'utilisation du parapet préfabriqué en BRF 50MPa-1% qui présente un ratio coût/résistance légèrement plus élevé combiné avec une courte période de construction en chantier. Le parapet préfabriqué en BRF 70MPa-1.5% montre un ratio coût/résistance plus élevé avec une période d'installation identique. Néanmoins, le rapport eau/liant de ce matériau devrait apporter un gain de durabilité intéressant qui pourrait justifier son utilisation. Le parapet préfabriqué en BRF 120MPa-4% possède un ratio coût/résistance trop élevé pour être considéré favorablement dans ce projet. Pour profiter pleinement des caractéristiques mécaniques et de la durabilité remarquables de ce matériau, il faudrait créer des évidements dans le parapet afin de retirer les volumes de béton qui ne contribuent pas à la résistance.

Tableau 3 - Rendement global des différents parapets

Caractéristiques	BHP 50MPa chantier	BHP 50MPa préfabriqué	BRF 50MPa-1% préfabriqué	BRF 70MPa-1.5% préfabriqué	BRF 120MPa-4% préfabriqué
Coût total parapet (-)	1	0,94	1,16	1,25	4,49
Résistance ultime (-)	1 ⁽¹⁾	0,74 ⁽²⁾	1,03	1,01	0,91
Coût/Résistance (-)	1	1,26	1,13	1,25	4,91
Temps - pont 30 m (j)	18	4	4	4	4

Note : Coûts et résistances normalisés en fonction du parapet en BHP-50MPa fabriqué en chantier

⁽¹⁾ : Résistance théorique utilisée

⁽²⁾ : Résistance inférieure aux exigences du MTQ pour les parapets coulés en place

CONCLUSION

Les objectifs de ce projet de recherche étaient de mettre au point des bétons renforcés de fibres (BRF) de 3 gammes de résistance, de dimensionner des parapets préfabriqués pour accélérer la construction des ponts et améliorer leur durabilité, et enfin de vérifier la performance mécanique des parapets. L'analyse des résultats a mené aux constatations suivantes :

- Les 3 gammes de BRF mis au point possèdent les propriétés mécaniques attendues et présentent un comportement autoplaçant. Les BRF ont été produits sans difficulté à une usine de produits préfabriqués en béton.
- L'optimisation du dimensionnement avec les BRF a permis de réduire de 50 à 100 % le renforcement conventionnel et de diminuer jusqu'à 50 % l'épaisseur des parapets préfabriqués selon le matériau utilisé.
- L'étude expérimentale a démontré l'excellente performance des parapets préfabriqués en BRF en comparaison au parapet en béton armé préfabriqué ou fabriqué en chantier. Un niveau de résistance et de ductilité équivalent est atteint. Une durabilité supérieure est attendue pour les parapets en BRF étant donné le faible rapport eau/liant et le meilleur contrôle de la fissuration procuré par les fibres métalliques.
- Le rendement global des parapets, déterminé en fonction du coût, de la résistance et du temps de construction en chantier, indique que le parapet préfabriqué en BRF 50MPa-1% est actuellement le dimensionnement optimal.

L'application d'un chargement dynamique sur les parapets, équivalent à un impact de véhicule, ont été réalisées récemment. Les résultats ont permis de confirmer la performance adéquate des parapets préfabriqués en conditions dynamiques. Les résultats expérimentaux seront comparés prochainement aux résultats des modélisations numériques et permettront certains ajustements si requis. Enfin, la phase finale d'optimisation sera complétée sur le parapet préfabriqué optimal et conduira potentiellement à sa production industrielle.

REMERCIEMENTS

Ce projet de recherche a été financé par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), l'entreprise Béton Brunet et la Ville de Montréal. Par ailleurs, certains matériaux ont été offerts gracieusement par Bekaert, Euclid, Ciment St-Laurent et Tech-Mix. Les auteurs désirent souligner la participation de l'équipe technique du laboratoire de Structures Hydro-Québec de l'École Polytechnique de Montréal, en particulier de M. Cédric Androuet, et des partenaires industriels. Les activités de recherche dans le domaine du béton sont facilitées par le support financier du Centre de recherche sur les infrastructures en béton (CRIB), regroupement stratégique du FQRNT.

RÉFÉRENCES

- [1] CSA. 2006. 'Code canadien sur le calcul des ponts routiers- CAN/CSA-S6-06', Canadian Standard Association, Mississauga, Ontario, Canada.
- [2] BISSONNETTE, B. ET MORIN, R. 2000. 'Expérimentation d'un ciment ternaire pour la reconstruction du passage supérieur Notre-Dame/St-Augustin à Montréal', 10^E Colloque sur la progression de la recherche québécoise sur les ouvrages d'art, Québec, pp. 1-10.
- [3] AASHTO, 1989. 'Guide Specifications for bridge railings', AASHTO, États-Unis, 49 pages.
- [4] MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC. 2006. 'Manuel de conception des structures', Bibliothèque Nationale du Gouvernement du Québec, Québec, Canada.
- [5] ČERVENKA, V., JENDELE L., ČERVENKA J. 2005. 'ATENA Program Documentation', Červenka Consulting, Prague, Czech Republic.
- [6] BRAIKE, S. 2007. 'Conception d'éléments préfabriqués de ponts avec des bétons fibrés à haute et ultra haute performance', Mémoire de maîtrise de l'École Polytechnique de Montréal, Canada.
- [7] NIAMBA, E. 2009. 'Développement de parapets préfabriqués en bétons renforcés de fibres pour les ponts', Mémoire de maîtrise de l'École Polytechnique de Montréal, Canada.
- [8] ROSSI P, PARANT E, LAURENCE O, FAKRI P, ARCA A. 2002. 'Comportement mécanique d'un nouveau composite cimentaire écrouissant', Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, No 238, pp. 25–38.
- [9] ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTINGS AND MATERIALS. 2008. 'Annual book of ASTM standards', ASTM Publications, Danvers, USA.
- [10] NOUR, A., DEMONTAIGNAC R., MASSICOTTE, B., CHARRON, J.-P. 2007. 'Application et validation d'une méthode d'analyse inverse pour le dimensionnement d'éléments en bétons renforcés de fibre', 8^e Journées scientifiques du (RF)²B, Montréal, Canada, pp. 176-187.