

COMPORTEMENT DES PARAPETS DE PONTS COULÉS EN PLACE ET PRÉFABRIQUÉS

Jean-Philippe Charron¹
Professeur titulaire

Matthew Namy²
Ingénieur en structure

Bruno Massicotte¹
Professeur titulaire

¹ École Polytechnique de Montréal - CRIB, Département des génies civil,
géologique et des mines, Montréal, Québec, Canada, H3C 3A7.

² Keast & Hood, 1350 Connecticut Ave, Washington D.C., États-Unis, 20036.

RÉSUMÉ : Dans le cadre d'un projet de recherche de l'École Polytechnique, des dalles de pont de 6 m de longueur et de 1 m de porte-à-faux comprenant des parapets coulés en place et préfabriqués ont été soumises à un chargement transversal quasi-statique. Trois configurations d'essais ont été étudiées, la première avec un parapet en béton ordinaire coulé en place, la deuxième avec des parapets préfabriqués en béton fibré à haute performance (BFHP) sans connexion latérale, la troisième avec des parapets préfabriqués en BFHP avec connexion latérale. Un montage expérimental spécial a été conçu pour tester les dalles de taille réelle jusqu'à leur rupture. Le comportement mécanique des trois configurations d'essais ont été analysés et comparés. Les essais démontrent d'abord que les trois configurations de dalles surpassent les critères de conception du Code des Ponts Routiers du Canada (CSA 2006). Ensuite, l'utilisation de parapets préfabriqués sur les dalles conduit à une durabilité équivalente de la dalle en service et à une rupture plus ductile à l'ultime. Enfin, l'utilisation d'une connexion latérale entre les parapets préfabriqués procure une continuité longitudinale adéquate.

INTRODUCTION

Les parapets de pont ont deux fonctions principales, maintenir les véhicules sur le tablier en cas d'incidents et les rediriger adéquatement sur la chaussée (MASH 2009, CSA 2006). Les essais d'impact et l'expérience passée ont démontré que les parapets de profils *F* et *New Jersey* remplissent bien ces fonctions. Cependant, lorsque ces parapets sont soumis à des conditions environnementales sévères telles que celles retrouvées au Québec et au Canada, ils se détériorent prématurément et requièrent des travaux de réparation ou de remplacement coûteux pour maintenir leur intégrité structurale. Les fissures des parapets apparaissent fréquemment au jeune âge puisque la dalle de pont restreint le retrait et la déformation thermique du béton des parapets après sa mise en place (Cusson et Repette 2000). Les fissures verticales représente un accès privilégié pour la pénétration rapide de l'eau et des agents agressifs dans le béton, et il a été démontré que leur présence accélérerait significativement la dégradation des parapets dans le temps (Haluk et al. 2004).

Un programme de recherche de 4 ans visant le développement de parapets préfabriqués en bétons fibrés à haute performance (BFHP) a été réalisé par la Polytechnique de Montréal et ses partenaires industriels (*Ville de Montréal* et *Béton Brunet*). Les parapets préfabriqués en BFHP présentent de nombreux avantages en comparaison aux parapets coulés en place. La préfabrication offre une qualité de fabrication supérieure et élimine la fissuration au jeune âge reliée à la restriction des déformations des parapets qui sont libres de se déformer. De plus, les BFHP possèdent un comportement mécanique et une durabilité supérieurs étant donné la contribution des fibres qui réduisent l'ouverture des fissures et augmente l'énergie de rupture

(Desmettre et Charron 2012). Enfin, l'installation de parapets préfabriqués est rapide, elle peut être réalisée en 4 jours sur un pont de 30 m de longueur, alors qu'une période de 18 jours serait requise pour la fabrication des parapets coulés en place (Charron et al. 2011).

Quatre parapets préfabriqués différents ont été optimisés avec divers BFHP et validés en laboratoire dans les phases précédentes du programme de recherche (Niamba 2009, Duchesneau et al. 2011). Les concepts de parapets préfabriqués ont été basés sur le parapet de catégorie PL-2 Type 201 du *Ministère des Transports du Québec* (MTQ), ils présentent cependant une réduction significative du taux de renforcement et dans certains cas de l'épaisseur du parapet. Le parapet Type 201 du MTQ et un des concepts de parapets préfabriqués en BFHP sont présentés à la Figure 1. Le parapet préfabriqué illustré se distingue par son épaisseur et son renforcement réduit, de même que par son mode de connexion. Le parapet comporte à sa base une niche de connexion évidée. Lors de son installation sur la dalle, la niche du parapet est positionnée au-dessus des barres d'ancrage en attente de la dalle et ensuite injectée avec un matériau de remplissage pour établir la connexion avec la dalle. Le concept de ce parapet préfabriqué a été réutilisé dans la présente étude étant donnée sa simplicité, son efficacité et sa similarité avec la connexion habituelle du parapet coulé en place.

Les principaux objectifs de cette étude consistaient à concevoir une clé de cisaillement compatible avec les parapets préfabriqués et d'évaluer la performance structurale et la durabilité de dalles de pont avec parapets préfabriqués lors d'un chargement transversal.

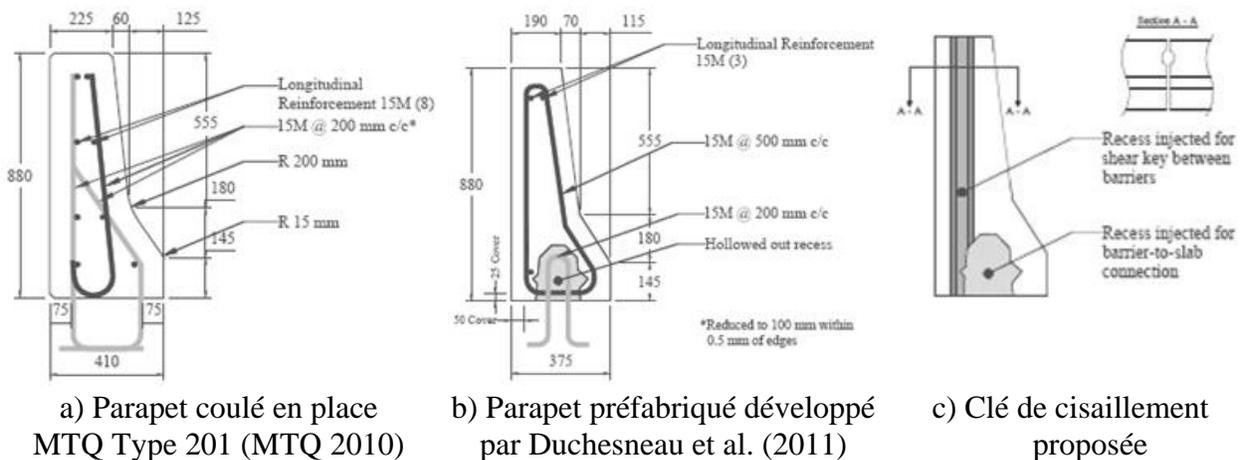


Figure 1 - Parapets de pont

PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

Programme expérimental

Trois configurations de dalles de pont avec parapets ont été testées dans cette étude, elles sont décrites au Tableau 1. Une dalle de pont de 6 m de longueur a été sélectionnée obtenir une bonne reproduction du comportement mécanique réelle d'un pont et pour limiter le poids total des spécimens à 16 tonnes. La longueur de 2 m des parapets préfabriqués a été fixée en considérant la

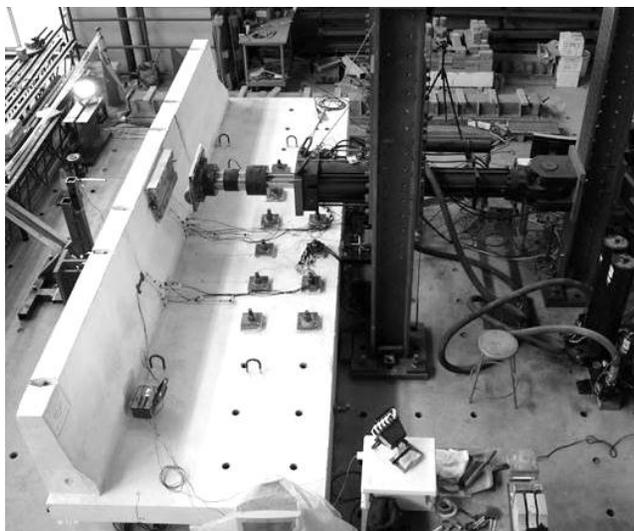
longueur de la dalle et pour permettre l'utilisation de 3 parapets avec et sans continuité longitudinale. Les parapets préfabriqués ont généralement une longueur de 4 m, ainsi les Configurations 2 et 3 testées dans cette étude sont plus critiques que celles attendues sur un pont.

Tableau 1 - Programme expérimental

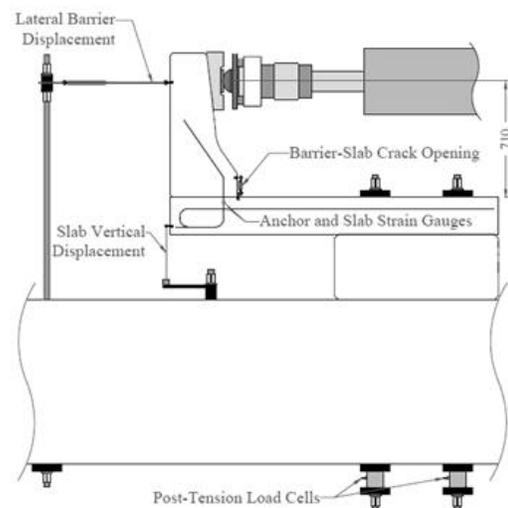
Essai	Type de parapet	Continuité long.
Configuration 1	Un parapet coulé en place de 6 m de longueur	Complète
Configuration 2	Trois parapets préfabriqués de 2 m de longueur	Aucune
Configuration 3	Trois parapets préfabriqués avec clés de cisaillement	Partielle

Montage expérimental et conception des spécimens

La Figure 2 présente le montage expérimental utilisé pour appliquer un chargement transversal quasi-statique sur les dalles de ponts avec parapets. Le chargement a été appliqué à l'aide d'un vérin hydraulique de 1000 kN contrôlé en déplacement à un taux de 6 mm/min. Lorsque les spécimens ont atteint leur capacité ultime, le taux de chargement a été doublé. Des capteurs de déplacement, des jauges d'extensométrie et des cellules de charge ont été installés sur les spécimens de manière à évaluer le comportement mécanique des dalles de ponts avec parapets. Les signaux des divers capteurs ont été enregistrés à une fréquence de 5 Hz.



a) Vue d'ensemble



b) Vue en élévation

Figure 2 - Montage expérimental

Le bloc de support de la dalle en porte-à-faux devait être robuste et conserver son intégrité pour tester les trois configurations du programme expérimental, il a donc été conçu en BFHP de 70 MPa comprenant 1.5 %-vol. de fibres ($l_f=30$ mm et $\phi_f=0.55$ mm). Des barres de post-tension

fixaient les dalles au bloc de support et à la dalle du laboratoire. Les 3 dalles de ponts identiques ont été conçues pour un porte-à-faux de 1 m selon les exigences de la CSA (2006) et du MTQ (2010). Les dalles avaient une épaisseur de 225 mm et une largeur de 2 m. Le renforcement transversal supérieur consistait en des armatures 20M@150mm, alors que le renforcement transversal inférieur était composé d'armatures 15M@150mm, leur enrobage respectif était de 60 et 35 mm. Des crochets à 180° ont été ajoutés à l'extrémité des barres transversales pour éviter une rupture en cisaillement de la dalle sous le parapet. Le renforcement longitudinal supérieur et inférieur de la dalle consistait en des armatures 15M@300mm.

Les parapets de pont de catégorie PL-2 devaient résister à une charge transversale pondérée de 170 kN (CSA 2006). Pour des fins de conception, la résistance minimale des parapets était de 227 kN en considérant un coefficient de tenu moyen de 0.75 pour le béton armé. Le parapet MTQ Type 201 (MTQ 2010) a été utilisé pour la Configuration 1 (Figure 1a), il a été fabriqué avec un béton ordinaire (BO) de 50 MPa. Le parapet préfabriqué en BFHP développé par Duchesneau et al. (2011) a été sélectionné pour les Configurations 2 et 3 (Figure 1b). Les parapets préfabriqués ont été conçus avec un BFHP de 70 MPa comprenant 1.5 %-vol de fibres ($l_f=30$ mm et $\phi_f=0.55$ mm). La présence des fibres a permis la réduction de 10% de l'épaisseur des parapets préfabriqués et de 60% de la quantité d'armature en comparaison au parapet de référence (15M@500mm versus 15M@200mm pour le parapet coulé en place). La clé de cisaillement intégrée à l'extrémité des parapets préfabriqués pour la Configuration 3 avec continuité longitudinale est illustrée à la Figure 1c. La clé prend la forme d'une niche évidée trapézoïdale et forme ensuite un hexagone évidé de 44 x 78 x 880 mm lorsque les parapets sont côte-à-côte. La clé de cisaillement peut être remplie avec le même matériau de remplissage et en même temps que la niche de connexion entre le parapet et la dalle.

Propriétés des matériaux

Le Tableau 2 résume les propriétés mécaniques des bétons utilisés pour les différents éléments structuraux. La résistance à la compression minimale exigée pour les dalles et les parapets de pont est de 35 MPa, cependant les exigences de composition pour la durabilité des bétons (MTQ 2009) mènent à l'obtention d'une résistance à la compression d'environ 50 MPa. Cette résistance de conception a été atteinte pour les dalles, le parapet coulé en place et le mortier d'injection. Les résistances de conception à la compression et à la traction pour le BFHP utilisé pour la fabrication des parapets préfabriqués et le bloc de support avaient été établies à 70 MPa et 4 MPa respectivement, de manière à maximiser l'action des fibres et réduire significativement la quantité d'armatures requise dans les éléments. Une problématique reliée à la composition du BFHP a été rencontrée lors de la production des parapets préfabriqués et a conduit au développement d'une quantité d'air anormalement élevée dans le béton. Ainsi, contrairement au BFHP du bloc de support, le BFHP des parapets préfabriqués a présenté des résistances à la compression et à la traction inférieures de 25% aux résistances de conception établies. L'effet de ces propriétés réduites pour les parapets préfabriqués sera discuté dans une prochaine section. Enfin, des armatures de nuance 400W ont été utilisées pour l'ensemble des spécimens, elles ont présenté une résistance ultime de 420 MPa et un module élastique de 215 000 MPa.

Tableau 2 - Propriétés mécaniques des bétons

Spécimen	Parapet coulé en place et dalles ¹	Bloc de support	Parapet préfabriqué ²	Parapet préfabriqué ³	Mortier d'injection ¹
Matériau (MPa)	BO 35	BFHP 70	BFHP 70	BFHP 70	MFHP 50
f_c (MPa)	54.4	70.1	47.8	59.2	50.2
f_t (MPa)	3.0 ⁴	5.7	3.1	3.0	3.3
E_c (MPa)	36300	24380	25800	35800	22700
ν	0.24	-	0.24	0.28	0.21

¹: Valeurs moyennes ²: Configuration 2 ³: Configuration 3 ⁴: Calculé avec CSA (2006)

RÉSULTATS ET ANALYSES

Résistance, mode de rupture et ductilité

La Figure 3 présente l'évolution de la force transversale appliquée sur les 3 configurations d'essais en fonction du déplacement latéral du parapet et du déplacement vertical de la dalle. La résistance minimale de conception de 227 kN est indiquée par la ligne pointillée sur les graphiques. Les spécimens d'essais ont été inspectés en cours d'essai à chaque 50 kN et à la résistance ultime pour tracer l'évolution des fissures. Les petites réductions de force observées à ces intervalles sont dues à la relaxation de la structure durant les inspections. De manière générale, les trois configurations de dalles avec parapets ont montré un comportement linéaire-élastique jusqu'à environ 80 kN. Ensuite, la rigidité a diminué avec le développement de la fissuration dans la dalle initialement et dans le parapet à plus haut niveau de chargement. Enfin, la résistance ultime a été atteinte et une réduction de la force plus ou moins progressive a été notée.

La Configuration 1 (dalle avec parapet coulé en place) a présenté des fissures de cisaillement dans le parapet à partir de 300 kN et une résistance maximale de 527 kN a été mesurée. Ensuite, une rupture fragile en poinçonnement a été observée et la résistance a chuté brutalement à 240 kN. Le ratio du déplacement transversal mesuré à 250 kN par rapport à celui mesuré à la résistance maximale ($d_{F250kN}/d_{F_{ultime}}$) a été de 1.4.

La Configuration 2 (dalle avec parapets préfabriqués) a présenté de fines fissures de flexion à une force de 220 kN et a atteint une résistance maximale de 295 kN. Ensuite, une rupture ductile en flexion avec une réduction graduelle de la résistance a été notée. Le ratio $d_{F250kN}/d_{F_{ultime}}$ a été de 1.9.

La Configuration 3 (dalle avec parapets préfabriqués incorporant des clés de cisaillement) a présenté de fines fissures de cisaillement dans le parapet central à une force de 375 kN. Ensuite, ces fissures de cisaillement se sont propagées dans les parapets extérieurs adjacents via les clés de cisaillement. Lorsque les fissures passant à travers les clés de cisaillement ont atteint une ouverture d'environ 1 mm, la connexion entre les parapets a perdu de son efficacité et la résistance ultime de 404 kN a été mesurée. Enfin, une rupture ductile en flexion-cisaillement avec une réduction graduelle de la résistance a été observée. Le ratio $d_{F250kN}/d_{F_{ultime}}$ a été de 2.7.

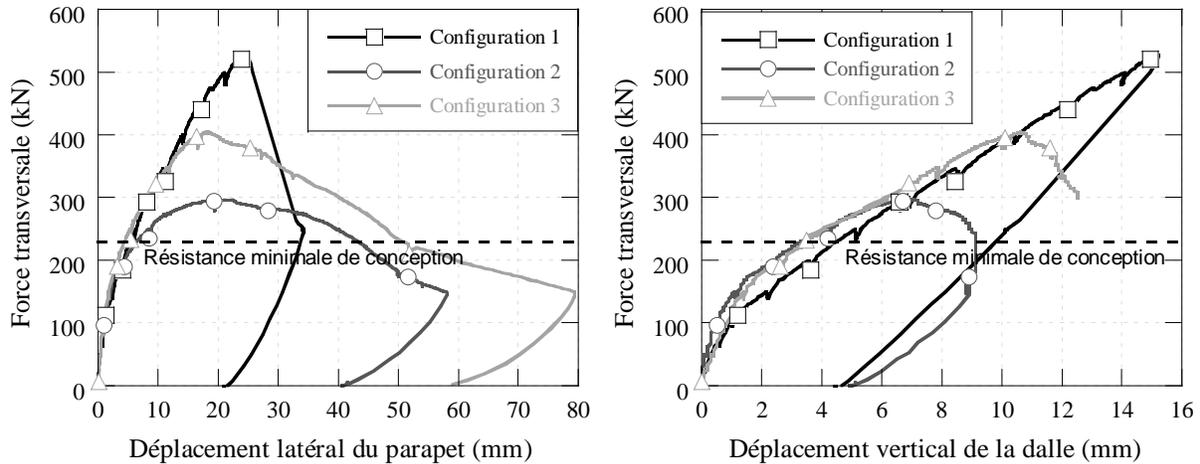


Figure 3 - Force transversale appliquée sur le parapet en fonction du déplacement latéral du parapet et du déplacement vertical de la dalle

Interaction parapet-dalle

La Figure 4 montre l'évolution de la force transversale appliquée en fonction de l'ouverture de fissure à l'interface parapet-dalle. L'ouverture de l'interface est causée par la formation d'une fissure au joint froid, elle est contrôlée par les propriétés de traction et de cohésion des surfaces de contact et l'action des barres d'ancrage entre le parapet et la dalle. L'ouverture de l'interface à la force ultime a atteint 2.5 mm dans les Configurations 1 et 3, et 5 mm dans la Configuration 2. L'ouverture de l'interface s'est poursuivie en comportement post-pic pour les ruptures en flexion des Configurations 2 et 3. Il importe de noter que l'interface parapet-dalle sur les Configurations 1 et 3 a été activée sur une longueur de 6 m, confirmant ainsi que les parapets préfabriqués avec clés de cisaillement permettent un transfert d'efforts efficace entre les parapets et d'obtenir une continuité longitudinale similaire à celui du parapet coulé en place. Logiquement, l'interface parapet-dalle sur la Configuration 2 a été activée sur une longueur de 2 m correspondant à la longueur du parapet préfabriqué sans clé de cisaillement.

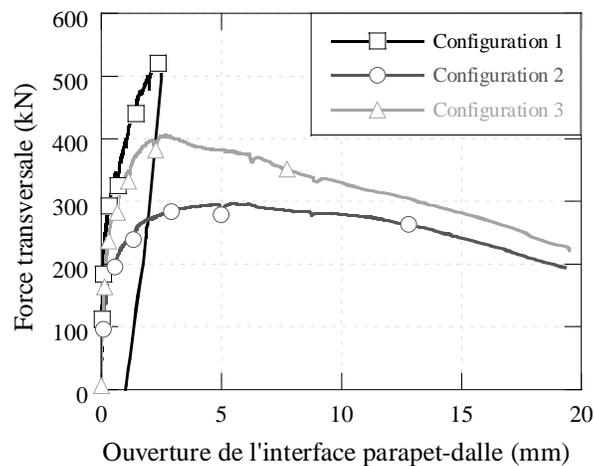


Figure 4 - Force transversale en fonction de l'ouverture de l'interface parapet-dalle

Patron de fissuration

La Figure 5 montre une reconstruction des patrons de fissuration observés sur les trois configurations d'essais à une force de 250 kN et à la résistance ultime. L'initiation et la propagation des fissures dans les dalles ont été très similaires pour les trois configurations, alors que la fissuration des diverses options de parapets se sont révélées très différentes. Les premières fissures longitudinale de flexion sont apparues à 150 kN au centre de la dalle (à l'avant du parapet), elles ont atteint les extrémités de la dalle vers 250 kN. Ensuite d'autres fissures longitudinales se sont formées avec l'augmentation de la force appliquée.

Dans la Configuration 1, les premières fissures verticales se sont formées à l'arrière du parapet vers 150 kN en raison de la courbure longitudinale. Ensuite des fissures de cisaillement sont apparues vers 300 kN à l'avant du parapet. A 500 kN les fissures de cisaillement ont atteint l'arrière du parapet et ont conduit à la rupture finale en poinçonnement.

Dans la Configuration 2, aucune fissure n'a été observée à l'arrière du parapet central par la courbure longitudinale qui est demeurée faible. A 250 kN, une fissure longitudinale de flexion a été notée à l'avant du parapet sur toute sa longueur. Cette fissure s'est ouverte progressivement jusqu'à la rupture finale en flexion.

Dans la Configuration 3, aucune fissure n'a été observée initialement à l'arrière des parapets par la courbure longitudinale malgré le transfert d'effort du parapet central aux parapets extérieurs par les clés de cisaillement. A 300 kN, de fines fissures de cisaillement ont été observées dans le mortier de remplissage à l'avant des clés de cisaillement, ces fissures se sont ensuite propagées vers la face arrière des parapets extérieurs. Vers 400 kN, de fines fissures verticales ont été notées à l'arrière du parapet central en raison de la courbure longitudinale. Ainsi aucune fissure n'a été observée sur la face avant des parapets préfabriqués jusqu'à la rupture finale.

Correction numérique

Tel que mentionné précédemment, les résistances à la compression et à la traction du BFHP utilisé pour la fabrication des parapets préfabriqués correspondaient à 75% des résistances de conception établies. Ce problème de fabrication ponctuel, non rencontré pour la fabrication du bloc de support avec le même matériau, a été désavantageux pour les Configurations 2 et 3 avec parapets préfabriqués.

Une correction numérique a été réalisée avec le logiciel par éléments finis *Atena* (Cervenka 2011) pour tenir compte du problème de fabrication et présenter la rigidité et la résistance ultime attendues pour les Configurations 2 et 3 avec les résistances de conception établies. Les détails sur le modèle numérique, la méthode de résolution, les conditions limites et les lois de matériaux sont disponibles dans Namy et al. (2012). La Figure 6a montre les résultats expérimentaux et les courbes de modélisation par éléments finis du comportement force-déplacement des trois configurations d'essais avec les propriétés de matériaux telles que mesurées. Les résultats démontrent que le modèle numérique reproduit adéquatement la rigidité, la résistance ultime et le type de rupture des trois configurations de dalles avec parapets soumises à un chargement transversal.

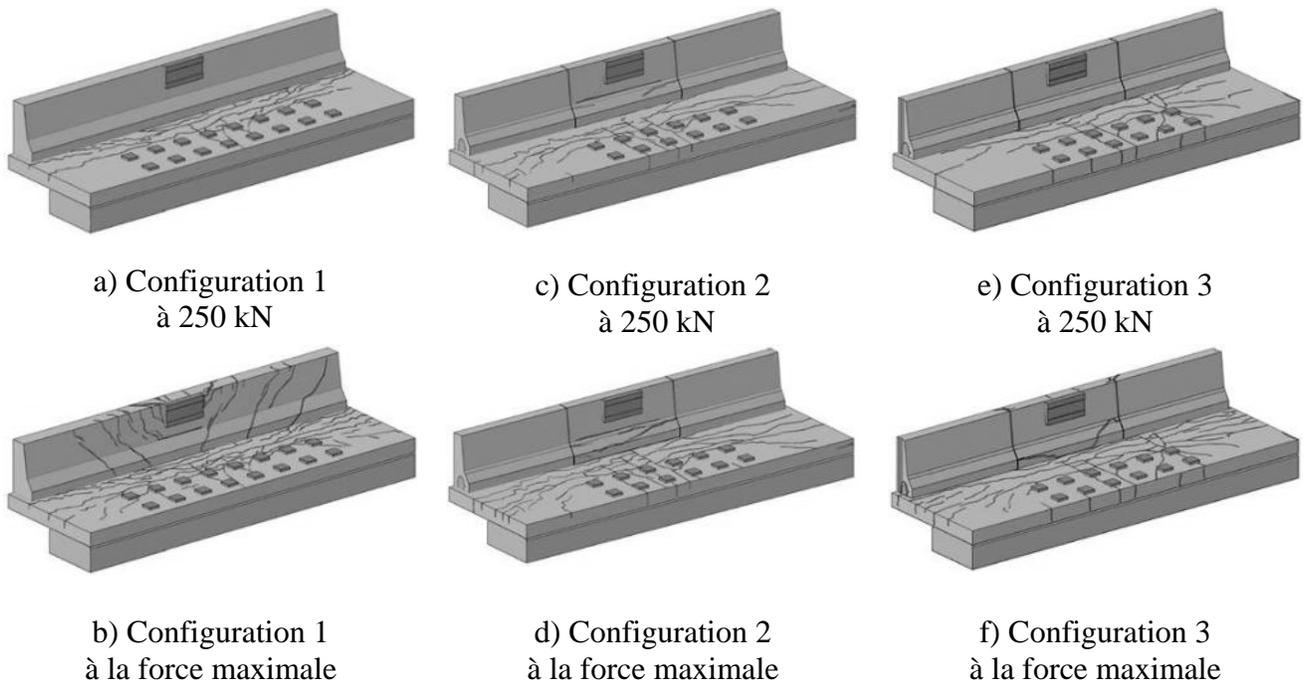


Figure 5 - Patron de fissuration à 250 kN et à la force maximale

La Figure 6b illustre le comportement force-déplacement pour les Configurations 2 et 3 après la correction numérique des propriétés du BFHP des parapets préfabriqués seulement, c'est-à-dire en utilisant les résistances de conception $f'_c=70$ MPa and $f_t=4$ MPa au lieu de celles indiquées au Tableau 3. Aucune correction n'a été appliquée à la Configuration 1 puisque les propriétés des bétons étaient adéquates pour cette condition. La correction numérique augmente la rigidité et la résistance ultime des Configurations 2 et 3, conduisant ainsi à des résultats équivalents pour les Configurations 1 et 3.

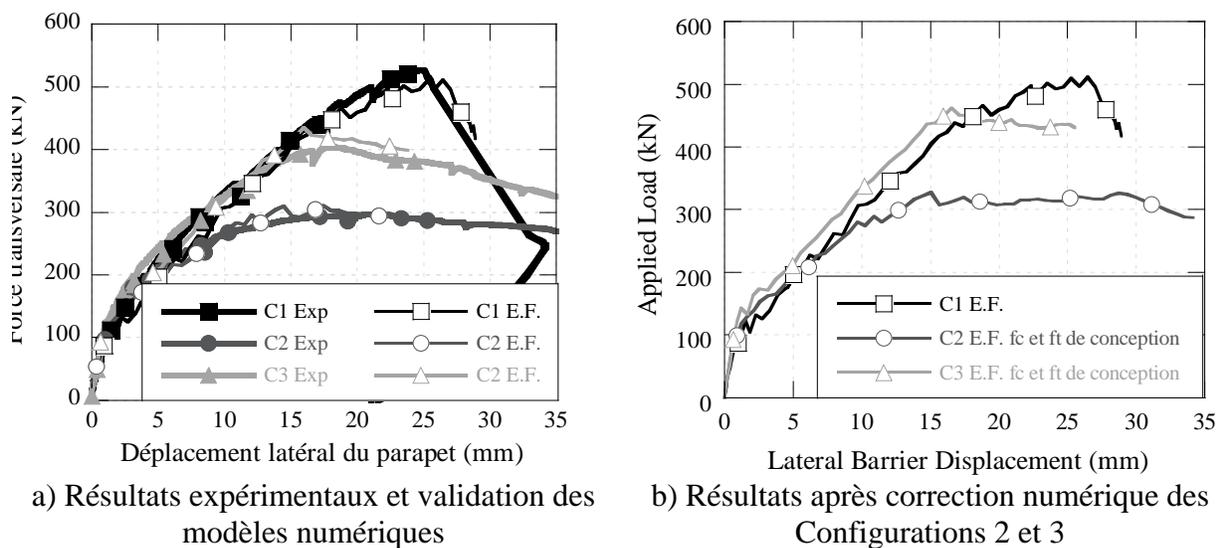


Figure 6 - Comportement mécanique, résultats expérimentaux et modèles numériques

DISCUSSION

La performance mécanique obtenue pour les dalles de pont avec différentes configurations de parapets fournit plusieurs indications pour la conception et de l'utilisation des parapets préfabriqués.

Le critère de conception concernant la force transversale quasi-statique appliquée aux dalles de ponts lors d'un impact de véhicules est de 170 kN (CSA 2006) et correspond à une résistance minimale de conception de 227 kN en tenant compte du coefficient de tenue du béton armé. Toutes les configurations de dalles testées ont nettement dépassé la résistance minimale de conception de 227 kN, ceci signifie que l'utilisation de parapets préfabriqués en BFHP conduit à une capacité structurale adéquate.

Les résultats expérimentaux ont indiqué clairement que les Configurations 1 et 3 comprenant une continuité longitudinale ont utilisé la longueur complète de dalle (6 m) pour transférer la force transversale du parapet à la dalle, tandis que la Configuration 2 a transféré les efforts sur une largeur de 2 m. La différence de longueur de transfert des efforts explique en grande partie la capacité réduite de la Configuration 2. Le comportement structural de la Configuration 3 a été presque identique à la Configuration 1 jusqu'à ce que les clés de cisaillement atteignent leur résistance maximale à 375 kN dans les essais (Figure 3) ou 460 kN dans les modèles numériques corrigés (Figure 6b). La longueur de transfert des efforts entre le parapet et la dalle est donc importante pour fournir une continuité longitudinale adéquate et optimiser la performance mécanique de la dalle de pont, en particulier pour des parapets préfabriqués de 2 m de longueur. Le constat est différent pour des parapets préfabriqués de 4 m de longueur. Dans ce contexte, la discussion suivante portera principalement sur les Configurations d'essai 1 et 3.

La Configuration 1 avec parapet coulé en place a présenté une rupture fragile en poinçonnement caractérisée par une perte brutale de résistance. La Configuration 3 avec parapets préfabriqués incorporant des clés de cisaillement a montré une rupture initiale en cisaillement jusqu'à ce que les clés de cisaillement ne soient plus efficaces et ensuite une rupture finale ductile en flexion. Le mode de rupture avec parapets préfabriqués est considérablement plus ductile et préférable d'un point de vue structural, puisqu'une plus grande énergie est dissipée lors de la rupture. Pour les Configurations 1 et 3, la rupture finale est survenue dans les parapets tel que recommandé par le Code des Ponts Routiers du Canada (CSA 2006).

L'un des objectifs du projet était de vérifier si l'utilisation de parapets préfabriqués pourrait être désavantageuse pour la durabilité de la dalle de pont. Le comportement global et les patrons de fissuration des dalles ont été similaires pour toutes les configurations d'essais (Figure 5). De plus, l'ouverture de l'interface parapet-dalle s'est révélée équivalente pour les Configurations 1 et 3 pour une force transversale atteignant 310 kN durant les essais, ceci correspond à un chargement d'impact rare et extrême pour les parapets de catégorie PL-2 (MASH 2009, Jiang et al 2004). Le potentiel de pénétration de l'eau et des agents agressifs menant à la corrosion des armatures est donc équivalent avec l'utilisation de parapets préfabriqués.

Le parapet préfabriqué de 2 m testé dans ce projet et développé par Duchesneau a démontré lors d'une campagne d'essais précédente un excellent comportement mécanique lorsque soumis à une série de chargements d'impact (Duchesneau et al. 2011). Considérant maintenant l'effet de

continuité longitudinale, la rigidité et la capacité ultime atteinte par la dalle utilisant ce parapet préfabriqué avec clés de cisaillement, toutes très similaires à celles de la dalle avec parapet coulé en place, il est à prévoir que l'interaction véhicule-parapet et la performance mécanique des Configurations 1 et 3 seront équivalentes lors d'essais d'impact.

L'étude numérique réalisée a permis de confirmer que le comportement mécanique de la Configuration 3 avec parapets préfabriqués incorporant des clés de cisaillement possède une résistance, rigidité et une capacité de dissipation d'énergie équivalentes à celles de la Configuration 1 avec parapet coulé en place (Figure 6b). D'autres analyses numériques décrites dans le mémoire de maîtrise de Namy (2012) indiquent par ailleurs que les différences observées dans cette étude expérimentale auraient été moins discernables si des parapets préfabriqués de 4 m de longueur avaient été utilisés. Dans ce cas, les trois configurations d'essais auraient présenté une rigidité et une résistance ultime avec un écart maximum de 10%. En conséquence, l'effet de l'incorporation des clés de cisaillement dans les parapets préfabriqués de 4 m de longueur serait nettement réduit (Namy 2012).

CONCLUSION

Les objectifs de ce projet de recherche étaient de concevoir une clé de cisaillement compatible avec les parapets préfabriqués et d'évaluer la performance structurale et la durabilité de dalles de pont avec parapets préfabriqués. L'analyse des résultats a mené aux constatations suivantes :

- La résistance ultime des trois configurations de dalles avec parapets coulés en place et préfabriqués ont dépassé largement le critère de conception du Code des Ponts Routiers du Canada (CSA 2006), et ce même si les parapets préfabriqués avaient une longueur de 2 m au lieu d'une longueur prévue de 4 m sur les ponts.
- La création d'une continuité longitudinale entre les parapets préfabriqués améliore le transfert d'effort parapet-dalle et maximise la performance mécanique du tablier.
- La clé de cisaillement hexagonale, formée par les extrémités évidées des parapets préfabriqués qui sont injectées, procure une continuité longitudinale adéquate.
- Une dalle avec parapets préfabriqués incorporant des clés de cisaillement présente une rupture très ductile lors de l'application d'un chargement transversal.
- L'utilisation de parapets préfabriqués incorporant des clés de cisaillement ne modifie pas la fissuration de la dalle et de l'interface parapet-dalle, la dalle devrait ainsi présenter une durabilité similaire à l'option utilisant le parapet coulé en place. La durabilité des parapets préfabriqués en BFHP sera quant à elle supérieure à celle du parapet coulé en place.
- Étant donné l'excellente performance mécanique du parapet préfabriqué sous un chargement dynamique et le comportement mécanique adéquat d'une dalle avec parapets préfabriqués sous un chargement quasi-statique, il est attendu qu'une telle dalle surpassera les exigences de la CSA (2006) lors d'essais d'impact.

Les constatations précédentes démontrent clairement que l'utilisation de parapets préfabriqués en BFHP sur les ponts devrait être considérée étant donné l'amélioration attendue de la durabilité des parapets, la performance mécanique et la durabilité adéquates de la dalle de pont avec de tels parapets, et la réduction du temps de travail en chantier permis par la préfabrication.

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

- AMINMANSOUR, M. (2004) *Performance characteristics of precast and reinforced concrete bridge barriers subjected to static and impact loads*, Ph.D. Thesis Pennsylvania State University, Altoona, PA, U.S.A.
- CERVENKA, V., JENDELE, L., AND CERVENKA, J. (2011) *ATENA Program documentation*, Cervenka Consulting Ltd. Prague, Czech Republic.
- CHARRON, J.-P., NIAMBA, E., MASSICOTTE, B. (2011) *Static and dynamic behavior of high- and ultrahigh-performance fiber-reinforced concrete precast bridge parapets*, ASCE Journal of Bridge Engineering, Vol. 16, Issue 3.
- CSA-S6-06. (2006) *Canadian Highway Bridge Design Code (CHBDC)*, CSA International, Toronto, Canada.
- CUSSON, D., REPETTE, W. (2000) *Early-Age Cracking in Reconstructed Concrete Bridge Barrier Walls*, ACI Materials Journal, Vol. 97, No 4.
- DESMETTRE, C., CHARRON, J.-P. (2012) *Water permeability of reinforced concrete with and without fiber subjected to static and constant tensile loading*, Cement and Concrete Research, Vol. 42, N° 7, pp. 945-952.
- DUCHESNEAU, F., CHARRON, J.-P., MASSICOTTE, B. (2011) *Monolithic and hybrid precast bridge barriers in high and ultra-high performance fiber reinforced concretes*, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 38, N° 8, pp. 859-869.
- HALUK, A., ATTANAYAKA, U. (2004) *Causes and cures for cracking of concrete barriers*, Research Report No RC-1448 Wayne State University, Detroit, Michigan, U.S.A.
- JIANG, T., GRZEBIETA, R.H., ZHAOR, X.L. (2004) *Predicting impact loads of a car crashing into a concrete roadside safety barrier*, International Journal of Crashworthiness, Vol. 9, No 1.
- MASH (2009) *Manual for Assessing Safety Hardware*, American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., U.S.A.

- MTQ (2010) *Normes – Ouvrages d’Art Tome III*, Ministère des Transports du Québec. Québec, Canada.
- MTQ (2009) *Normes – Manuel de Conception des Structures Volume 1*, Ministère des Transports du Québec. Québec, Canada.
- MITCHELL, G., TOLNAI, M., GOKANI, V., PICÒN, R., YANG, S., KLINGNER, R.E. (2006) *Design of Retrofit Vehicular Barriers using Mechanical Anchors*, Report No 4823-1F University of Texas at Austin, TX, U.S.A.
- NAMY, M. (2012) *Structural behavior of bridge decks with cast-in-place or precast concrete bridge barriers when barriers are subjected to static loading*, Mémoire de maîtrise Polytechnique Montréal, Montréal, Canada
- NAMY, M., CHARRON, J.-P., MASSICOTTE, B. (2012) *Structural behavior of bridge decks with cast-in-place and precast concrete barriers subjected to static loading: Numerical modeling*, Submitted to ACI Structural Journal.
- NIAMBA, É. (2009) *Développement de parapets préfabriqués en bétons renforcés de fibres pour les ponts*, Mémoire de maîtrise Polytechnique Montréal, Montréal, Canada.