

Résistance au feu de structures renforcées de composites de PRF



Mark Green¹

Les chercheurs d'ISIS Canada à l'Université Queen's, l'Institut de recherche en construction du Conseil national de la recherche du Canada (CNRC), de même que des partenaires industriels (Fyfe Co. ainsi que Watson-Bowman Acme, une division de Degussa Construction Chemicals) collaborent activement à l'étude de la résistance au feu d'éléments structuraux en béton renforcés de feuilles de PRF. La recherche prévoit réaliser des essais très poussés afin d'évaluer la résistance au feu de colonnes et de poutres de béton grandeur nature renforcées de PRF, de même que la modélisation numérique correspondante.

Jusqu'à maintenant, on a soumis à des tests de résistance au feu deux colonnes de béton renforcées d'enveloppes de PRF de carbone et pourvues d'un système d'isolation actif/passif pour lequel la compagnie Fyfe LLC a d'ailleurs un brevet en instance. La Figure 1 montre la colonne renforcée et isolée

« D'après les résultats obtenus jusqu'à maintenant pour ce qui est de la résistance au feu, les performances des colonnes recouvertes d'isolant sous une enveloppe de PRF peuvent s'avérer très supérieures à ce qu'on croyait généralement. »

Mark Green, Ph.D., Université Queen's

(400 mm de diamètre x 3800 mm de longueur) dans le four du CNR, avant l'épreuve du feu et immédiatement après. Les tests ont démontré, pour ce système particulier, un taux de résistance de 4 heures, sous charge, conformément aux lignes directrices figurant dans l'ASTM E119. En effet, les composites de PRF sont demeurés intacts pendant les 4 premières heures de l'épreuve.



Figure 1 - Avant l'épreuve

La Figure 2 montre les températures mesurées à l'intérieur de l'une des colonnes testées. Le système d'isolation est parvenu à

maintenir la température moyenne des PRF sous les 150 °C pendant les 4 premières heures de l'épreuve. On prévoit déjà mener, au cours de l'année qui vient, un certain nombre



Figure 1 - Immédiatement après l'épreuve

d'expériences additionnelles avec des colonnes et autres assemblages poutres-dalles renforcés soit de *TyfoFibrwrap*, soit de *WaboMBrace* et sur les systèmes d'isolation appropriés.

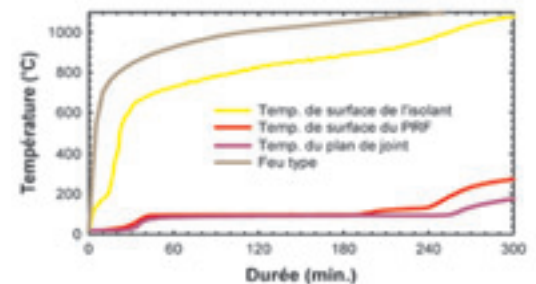


Figure 2

L'objectif global de la recherche consiste à élaborer des règles générales de conception liées à la mise en usage des composites de PRF dans la construction. Pour atteindre cet objectif, on a besoin de modèles numériques de prédiction de performance pour les poutres et les colonnes renforcées de PRF. La mise au point de tels modèles est en bonne voie puisqu'elle fait partie intégrante du projet en cours. On jugera de leur validité par comparaison aux résultats des tests.

Pour obtenir plus d'information sur ce programme de recherche, veuillez prendre contact avec Mark Green, Ph.D., greenm@civil.queensu.ca ou avec Venkatesh Kodur, Ph.D., Venkatesh.Kodur@nrc-cnrc.gc.ca. Pour ce qui est des partenaires industriels, ce sont Ed Fyfe (Fyfe Co. LLC), ed@fyfeco.com et Jim Derrigan (Watson-Bowman Acme), jim.derrigan@degussa.com.



Venkatesh Kodur²

L.A. Bisby¹ et B.K. Williams¹

¹ Département de génie civil, Université Queen's, Canada

² Institut de recherche en construction, Conseil national de la recherche du Canada

COMPÉTITIONS

Pour connaître les différentes compétitions, de même que les quatre bourses qui s'adressent aux étudiants, veuillez consulter le site Web d'ISIS Canada.

Bourses

Concours d'affiches

Épreuves écrites

Présentations

www.isiscanada.com/competitions/studentc.htm

L'ensemble des ouvrages d'infrastructure d'un pays constitue généralement pour ce dernier son actif le plus onéreux. Au Canada, on l'évalue à 2 trillions de dollars. Quant au déficit estimé de l'infrastructure, il est de 60 milliards de dollars et augmente à raison de 2 milliards par année. En outre, par comparaison avec la plupart des autres produits du commerce, ces mêmes ouvrages ont une durée de vie utile de beaucoup supérieure. Or, il est extrêmement long d'introduire des matériaux intelligents ou des concepts de design novateurs dans ce domaine, à cause du poids considérable de la confiance accordée aux pratiques traditionnelles de construction et d'entretien, et de la nature conservatrice des codes de conception. Pour ce qui est du feedback sur « l'état de santé » des ouvrages construits, il est à peu près inexistant.

Neuvième Conférence annuelle d'ISIS Canada

les 28, 29 et 30 avril 2004 Journée « Forum public », le 28 avril 2004

Ne manquez pas cette présentation exaltante de solutions de rechange intelligentes pour le remplacement et l'entretien de l'infrastructure civile. Vous y constaterez les progrès les plus récents réalisés dans la recherche et dans la pratique en matière de composites de PRF et de monitoring de l'état structural (MÉS). Ces techniques novatrices de pointe seront discutées par les chercheurs d'ISIS Canada de même que par des conférenciers invités qui les utilisent déjà.

Un conférencier de marque



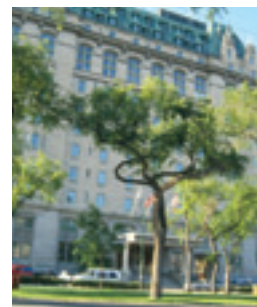
Dans ses recherches, le professeur Jin-Guang Teng s'intéresse à diverses utilisations des polymères renforcés de fibres (PRF) dans les ouvrages de génie civil, les coques et les structures spatiales, les structures en acier ou en composites acier-béton; il étudie le flambage et le comportement non linéaire des structures. Il est l'inventeur du système de toit à coque en composite acier-béton (le toit *Comshell*), un nouveau concept structural pour enclore et recouvrir de vastes espaces. Le professeur Teng était président d'un comité ad hoc qui vient de fonder l'*International Institute for FRP in Construction* (IIFC) et on l'a d'ailleurs élu président fondateur du nouvel organisme. Au service de la profession d'ingénieur et de la société en général, le nouvel institut a pour objectif de faire progresser la connaissance et les applications des composites de PRF dans les ouvrages d'infrastructure de génie civil.

Veuillez vous inscrire en ligne sur www.isiscanada.com/conference/conference04.htm

Hôtel Westin Nova Scotian, Halifax
Réservations : 1.877.9WESTIN ou <http://www.westin.ns.ca>

Deuxième Atelier international sur le Monitoring de l'état des structures novatrices de génie civil

**les 22 et 23 septembre 2004, Winnipeg, Manitoba
Hôtel Fort Garry**



Le Monitoring de l'état structural (MÉS ou SHM) est une technologie en pleine évolution. Il permettra de contrôler et de définir l'intégrité des ouvrages novateurs de génie civil qui font leur apparition dans l'infrastructure. La reconstruction et la réhabilitation de l'infrastructure vieillissante constituent actuellement l'industrie la plus importante du monde, représentant 10 pour cent du produit intérieur brut mondial.

Conférenciers invités

M. Baidar Bakht, Ph.D., JMBT Structures Research Inc., Canada
P^r Konrad Bergmeister, Institute of Structural Engineering, Autriche
M. J.J. Roger Cheng, Ph.D., Université de l'Alberta, Canada
M. Dan M. Frangopol, Université du Colorado à Boulder, É.-U.
P^r Toshiyuki Oshima, Institut de Technologie Kitami, Japon
M. Zhishen Wu, Ph.D., Université Ibaraki, Japon

Inscription en ligne :
http://www.isiscanada.com/shm_workshop/shm.htm

Le président visite les directeurs de projets

Au mois d'octobre 2003, le président d'ISIS Canada, M. Aftab Mufti, passait en revue les différents projets de recherche d'ISIS et rencontrait sur place chacun des directeurs de projets afin d'évaluer les progrès et les résultats de leur recherche. Deux distingués experts se sont joints à lui : le P^r Urs Meier et M. Rolf Broennimann de l'EMPA, de Suisse, et ils ont rédigé un rapport de leur évaluation. Cette initiative assure l'imputabilité du réseau et s'avère d'une grande valeur pour l'établissement du plan stratégique en vue de l'évaluation à mi-mandat du RCE qui aura lieu en 2005. Les experts internationaux ont déclaré à propos d'ISIS Canada :

- qu'il est maintenant le chef de file mondial dans le domaine du monitoring intelligent des structures novatrices de génie civil;
- qu'il peut compter pour son programme sur d'excellents partenaires des mondes universitaires et techniques, cumulant de vastes connaissances interdisciplinaires, beaucoup de compétence, d'expérience, de motivation et d'idées novatrices;
- qu'il est dirigé de façon très professionnelle;
- et qu'il fonctionne à merveille comme réseau.

Le professeur Meier affirme en outre que depuis la première évaluation qu'il a faite en 1997, ISIS a accompli des progrès remarquables au sein du programme de recherche.

Projet 2.3.5 : PRF pour éléments de structure en lamellé-collé

Farid Taheri, Ph.D., Université Dalhousie

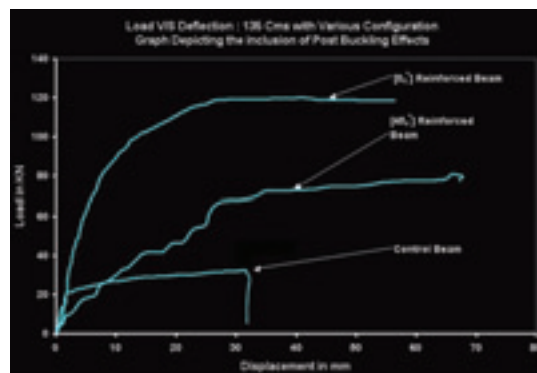
Au début des années 1980, une demande de brevet fut déposée pour des poutres en lamellé-collé renforcées de feuilles de PRF (*FRP/Glam*), appelées par la suite FiRP[®]. En 2001, un autre produit inédit en lamellé-collé renforcé de PRF fut mis au point par la compagnie Hi Tech Wood Products de la Nouvelle-Écosse, sous le nom de TENLAM[®], selon une méthodologie sous propriété industrielle. On promettait au TENLAM des propriétés mécaniques supérieures à celles du lamellé-collé FiRP. Cependant, on ne dispose jusqu'à maintenant d'aucun guide de conception pour ce nouveau produit, et on n'a mené aucune étude afin d'explorer les caractéristiques de ces éléments de structure quant aux impacts et aux vibrations. On n'a pas non plus exploré d'autres applications des *FRP/Glam* en structure. Le présent projet a donc pour but de : a) mieux comprendre le comportement mécanique, tant statique que dynamique, des poutres de lamellé-collé renforcé de PRF; trouver des solutions adéquates et solides répondant à cette caractérisation; et b) examiner, à partir de ces nouvelles connaissances, de nouvelles applications pour le *FRP/Glam* dans le but de produire avec ce type de matériau des colonnes et des arches qui aient un bon rapport coût-performance.



Farid Taheri



Décollement en phase et en discordance de phase de poutres en *FRP/Glam*



Graphique provenant des essais

Projet 1.1.2 : CFO à diffusion de Brillouin et démodulation

Xiaoyi Bao, Ph.D., Université d'Ottawa



Xiaoyi Bao

L'objectif de cette recherche consiste à mettre au point un dispositif économique et portable utilisant la diffusion de Brillouin pour le monitoring de la température et de la déformation à l'aide de capteurs à fibre optique distribués. Entre autres avantages, ce dispositif ne requiert pas de capteurs localisés et il peut prendre des mesures à partir de fibres optiques utilisées en télécommunications. Il pourra également servir d'instrument de monitoring sur de très grandes distances et fournir des mesures prises en tout point du parcours. On a déjà démontré que la fréquence obtenue avec la diffusion de Brillouin était proportionnelle à la température et à la déformation. Par conséquent, il est essentiel de séparer ces deux paramètres afin de déterminer la réponse de la structure.



Dispositif de monitoring et autres appareils associés

Chez ISIS Canada, on a, au cours des dernières années, caractérisé le spectre de gain de la diffusion de Brillouin et on a découvert qu'il était directement proportionnel et à la température et à la déformation. Par conséquent, en effectuant à la fois le monitoring des variations de fréquence et celui des coefficients de gain de la diffusion de Brillouin, on peut obtenir simultanément des mesures de température et de déformation. Or, en raison de la sensibilité à la polarisation du coefficient de gain de la diffusion de Brillouin, d'une part, et des décalages de puissance/fréquence du laser, d'autre part, la précision des mesures de température et de déformation est faible (4 °C pour la température et 180 microdéformation). Cet état de fait est inacceptable lorsqu'il s'agit du monitoring d'ouvrages de génie civil en exploitation. Qui plus est, en raison de leurs dimensions, de leur complexité et de leurs coûts, les systèmes actuels conviennent peu à cette utilisation. Dernièrement, on a utilisé des fibres de cristal pour mesurer simultanément la température et la déformation avec des pointes à double fréquence, et on a obtenu pour la première fois une précision de <1 °C pour la température et de <2 microdéformation pour la déformation, combinée à une résolution spatiale de 10 cm.

Projet 4.1.5 : Modules pédagogiques

Luke Bisby, Ph.D., Université Queen's



Luke Bisby

Ce projet répond à la mission de transfert technologique d'ISIS. Il consiste à mettre au point des « outils pédagogiques » afin de favoriser l'intégration des technologies d'ISIS dans les cours de génie civil de premier cycle partout au Canada. Nous osons espérer qu'à plus long terme leur utilisation se répandra dans les universités, les collèges techniques et les industries. Dans un premier temps, nous préparons cinq modules-cibles comprenant des notes de cours, des diapositives, des problèmes pratiques et leur solution, de même que des suggestions de travaux de laboratoire. Ce sont des unités de trois à quatre cours portant sur les polymères renforcés de fibre et/ou sur les technologies de monitoring de l'état des structures. Voici ceux sur lesquels nous travaillons présentement :

1. Exemples d'intégration de matériaux composites de PRF en mécanique;
2. Composites de PRF dans la construction;
3. Introduction au béton renforcé de PRF;
4. Introduction au renforcement des structures en béton à l'aide de PRF; et
5. Introduction au monitoring de l'état des structures

Les quatre premiers modules pédagogiques seront présentés officiellement à la Conférence annuelle d'ISIS qui se tiendra à Halifax au printemps 2004, puis ils seront rendus publics un peu plus tard. Pour ce qui est du module 5, il sera disponible d'ici à l'automne 2004. Le premier d'une série d'ateliers pédagogiques, à l'intention de professeurs de génie invités, aura lieu à Toronto en mai 2004. Les modules y seront présentés et discutés.

Projet 2.3.10 : Durabilité des tiges et des renforcements de PRF pour les ouvrages historiques en béton

Aftab Mufti, Ph.D., Université du Manitoba

Depuis 1990, dans plusieurs régions du Canada, on s'inquiète de la détérioration rapide des ouvrages historiques en béton armé. ISIS Canada a donc été sollicité par Patrimoine Canada, Anciens combattants Canada et TPSG Canada pour trouver des solutions économiques et durables à ce problème. C'est ainsi que, sous les auspices d'ISIS, on poursuit actuellement un programme de recherche expérimentale à grande échelle au *W.R. McQuade Structural Engineering Laboratory* de l'Université du Manitoba. On y examine la pertinence de concevoir des procédés novateurs en vue d'utiliser les PRF pour l'armature des poutres de soutien et pour les tiges d'ancrage servant à attacher les bornes aux poutres de soutien. L'objectif de la recherche consiste à recueillir des données pertinentes afin d'étayer les recommandations d'ISIS quant à l'amélioration des systèmes de renforcement des poutres sur sol en béton de même que la façon d'attacher les bornes, ce que l'on pourrait appliquer par la suite à tous les tombeaux des anciens combattants d'un bout à l'autre du Canada.



Aftab Mufti



Cimetière Brookside, Winnipeg, Man.



Fissure et détérioration d'une poutre de béton

Projet 3.2.2 : Des PRF par projection pour la réhabilitation de structures

Nemkumar Banthia, Ph.D., Université de la Colombie-Britannique

Avec l'appui d'ISIS Canada, M. Banthia, Ph.D., est à mettre au point des polymères renforcés de fibres qui peuvent être projetés sur la surface d'une structure pour la renforcer. Le procédé, qui fut d'abord utilisé à l'Université de la Colombie-Britannique, consiste à projeter des PRF de haute performance à une vitesse de plus de 100 km/h sur une surface de béton, d'acier ou de bois, de telle sorte qu'il se forme un composite bien compacté et bien lié, d'une grande résistance et d'une grande rigidité. Avec une distribution aléatoire en 2-D des fibres sur la surface, le composite présente une relation contrainte-déformation non linéaire et se comporte, dans son plan, comme un matériau isotrope. Le procédé utilise des fibres de haute performance (verre, carbone ou aramide), de même que des résines polymères hybrides résistantes. Au cours des sept dernières années, l'équipe de chercheurs est parvenue à améliorer de façon significative la résistance et la rigidité du composite ainsi produit, en plus de mettre au point de nombreux liants bifonctionnels qui assurent une adhérence forte et durable.

Le pont Safe sur l'île de Vancouver fut le premier pont au monde à être l'objet d'un renforcement à l'effort tranchant au moyen de cette technique novatrice. Après l'opération de ravalement, le pont à poutres profilées, construit en 1955, est maintenant au moins deux fois plus solide qu'avant et pourra absorber trois fois plus d'énergie au cours d'un tremblement de terre. Parmi les autres applications qui sont étudiées, il y a le renforcement parasismique de piliers, la protection de l'environnement, la réparation et le renforcement de pipelines, de même que l'utilisation de composites appliqués par projection comme enduits protecteurs de structures soumises à des environnements extrêmement rigoureux.



Nemkumar Banthia



L'opération de projection



Pont Safe, Duncan, C.-B.

PRÉSIDENT

Aftab Mufti, Ph.D., P.Eng.
Université du Manitoba

VICE-PRÉSIDENT

Kenneth Neale, Ph.D., ing.
Université de Sherbrooke

DIRECTEUR GÉNÉRAL

Lloyd McGinnis, Ph.D., P.Eng.

COMITÉ DE GESTION DE LA RECHERCHE

Aftab Mufti, Ph.D., P.Eng.
Université du Manitoba
Nemkumar Banthia, Ph.D., P.Eng.
Université de la Colombie-Britannique
Xiaoyi Bao, Ph.D.
Université d'Ottawa
J.J. Roger Cheng, Ph.D., P.Eng.
Université de l'Alberta
Andrew Horosko, P.Eng.
Transports Manitoba
Leslie Jaeger, Ph.D., P.Eng.
Ingénieur-conseil
Lloyd McGinnis, Ph.D., P.Eng.
ISIS Canada
Kenneth Neale, Ph.D., ing.
Université de Sherbrooke
Gamil Tadros, Ph.D., P.Eng.
SPECO Engineering Ltd.
Douglas Thomson, Ph.D., P.Eng.
Université du Manitoba
Alain Canuel, Ph.D.
Observateur pour les RCE

CONSEILLER EN APPLICATIONS TECHNIQUES

Gamil Tadros, Ph.D., P.Eng.
SPECO Engineering Ltd.

CONSEIL D'ADMINISTRATION

Président : Donald Whitmore, P.Eng.
Vector Construction Group
Vice-président : Ralston MacDonnell, P.Eng.
Vaughan Engineering Associates Ltd.
Victor Anderson, P. Eng.
Delcan International Corporation
Sherif Barakat, Ph.D.
Conseil national de la recherche
Bruce Blackett, P.Eng.
Earth Tech Canada Inc.
Edwin Bourget, Ph.D.
Université de Sherbrooke
Paul Drouin, ing.
ADS Inc.
Andrew Horosko, P.Eng.
Transports Manitoba
Gary Jolly, M.B.A.
FOX-TEK Inc.
Joanne Keselman, Ph.D.
Université du Manitoba
John Newhook, Ph.D., P.Eng.
Université Dalhousie
Edward Pentland, P.Eng.
A.E. Concrete Precast Products Ltd.
Guy Richard, ing.
Ministère des Transports, Québec
Aftab Mufti, Ph.D., P.Eng.
Président
Lloyd McGinnis, Ph.D., P.Eng.
Directeur général
Alain Canuel, Ph.D.
Observateur pour les RCE
Bulletin *L'Innovateur*
Rédactrice en chef :
Tobi Fletcher
fletcher@ms.umanitoba.ca

ISIS Canada Research Network
Université du Manitoba
Agricultural & Civil Engineering Building, Bureau A250
96, chemin Dafoe
Winnipeg (Manitoba) Canada R3T 2N2
Téléphone : 204-474-8506
Télécopieur : 204-474-7519
Courriel : central@isiscanada.com
Site web : www.isiscanada.com



L'Ordre du Canada remis à M. Lloyd McGinnis, directeur général d'ISIS Canada

C'est avec plaisir que le Réseau de recherche ISIS Canada annonce que son directeur général, **M. Lloyd McGinnis**, a été reçu Officier de l'Ordre du Canada. En plus d'avoir été le président fondateur d'ISIS Canada, M. McGinnis a aussi fondé d'autres organismes tels que : la Corporation de développement des affaires de Winnipeg; le Conseil d'entreprises Canada-Asie (favorisant les initiatives commerciales entre les pays qui bordent le Pacifique); et l'Institut international du développement durable (un centre de recherche établi à Winnipeg dont le mandat général est lié aux questions environnementales). Membre fondateur du « CentreVenture » de Winnipeg, il a reçu le titre de Citoyen du Monde des Nations Unies.



Le Comité du transfert technologique et de la commercialisation accueille son membre le plus récent en la personne de **M. Darrell Evans**. M. Evans est le directeur du service Conception et entretien des ponts au ministère du Transport et des Travaux publics de l'Î.-P.-É. Il est membre de l'Association du transport du Canada (ATC), de la Société canadienne de génie civil (SCGC), de l'Association canadienne de normalisation (CSA) et de l'*American Concrete Institute (ACI)*, section Atlantique.

M. Evans est aussi membre du Comité permanent des structures de l'ATC, du Comité d'experts en normalisation du CSA pour le Code canadien sur le calcul des ponts routiers (CHBDC), de même que membre associé du Comité technique du CHBDC. Il lui tarde d'apporter son expertise, mais surtout, d'acquérir de l'expérience dans l'application de toutes ces techniques dans un champ de plus en plus important du génie.



M. Nemkumar Banthia vient de recevoir le *Solutions Through Research Award* du Conseil de la science et de l'innovation de la Colombie-Britannique pour sa recherche sur le renforcement des structures au moyen d'une projection de PRF sur leur surface.

La talentueuse équipe du centre administratif d'ISIS Canada

En tant que *directrice administrative*, **Kim Archer** exerce sa surveillance sur les opérations qui se déroulent au centre administratif d'ISIS et elle assiste le directeur général dans l'orchestration des nombreux événements et activités du réseau.

Nancy Fehr est *adjointe au président*. C'est à elle qu'incombe la responsabilité générale de coordonner l'agenda et les différentes tâches de M. Mufti, en plus d'assurer, au nom de ce dernier, la liaison avec les étudiants, le personnel et les diverses agences extérieures.

Tobi Fletcher remplit le rôle *d'agent de communications*. Elle s'occupe de tout le matériel de communication, des événements spéciaux et des relations avec les médias.

Heather Lamoureux occupe le poste *d'agent de finances*. Elle assure l'administration des activités financières du centre administratif, en plus des comptes recherche de M. Mufti.

Janet Leclerc est une *adjointe administrative* bilingue. Elle est responsable de la planification des nombreuses réunions, retraites et conférences d'ISIS, de même que de l'organisation des voyages.

Enfin, **Charleen Choboter** complète l'équipe en tant que *secrétaire-réceptionniste*. Fière d'appartenir à l'Association internationale des professionnels administratifs, madame Choboter seconde madame Fehr dans ses tâches administratives.

Jennifer Radford continue à jouer son rôle d'adjointe au *secrétariat* à temps partiel, tout en poursuivant ses études d'infirmière.

