



Chaire de recherche industrielle  
du CRSNG sur l'interaction  
Charges lourdes - Climat - Chaussées



BULLETIN **AIRE DE CONTACT**

En route vers des solutions durables !

NUMÉRO 2 • HIVER 2010



De gauche à droite : MM. Steve Mercier, chercheur – Programme routes, FPInnovations, et François Chaignon, directeur technique, Colas inc., représentants des partenaires de la Chaire, M. Edwin Bourget, vice-recteur à la recherche et à la création, Université Laval, M. Guy Doré, titulaire de la Chaire de recherche industrielle du CRSNG sur l'interaction charges lourdes-climat-chaussées, Mme Suzanne Fortier, présidente, CRSNG et M. André Darveau, vice-doyen au développement et à la recherche, Faculté des sciences et de génie, Université Laval.

# UN SUCCÈS

## LE LANCEMENT OFFICIEL DE LA CHAIRE I3C

C'est le vice-recteur à la recherche et à la création de l'Université Laval, Edwin Bourget, qui a lancé le 26 novembre dernier, en compagnie de la présidente du CRSNG, Mme Suzanne Fortier, la Chaire de recherche industrielle CRSNG sur l'interaction charges lourdes-climat-chaussées. Il a rappelé que la création de la Chaire s'inscrit dans la volonté de l'Université Laval et du CRSNG d'accroître les partenariats en recherche et de développer des équipes de chercheurs de calibre international dans des domaines d'intérêt stratégique pour le Canada.

*Ce lancement qui a connu un succès grâce à la participation de plusieurs partenaires et divers intervenants du milieu de la recherche vient officialiser les travaux et les projets entrepris depuis un peu plus d'une année.*

## DANS CE NUMÉRO

### ÉVOLUTION DES PROJETS DE RECHERCHE

#### PROJET 1A-1

Comportement mécanique des matériaux routiers sous sollicitation mécanique et effets climatiques saisonniers

P2

#### PROJET 1A-2

Estimation du module réversible des matériaux granulaires de chaussées

P2

#### PROJET 2A-2

Caractéristiques des pneus et endommagement des chaussées.

P3

#### PROJET 2B-2

Conception et réhabilitation des chaussées municipales

P3

### CONGRÈS AQTR

P4

### ACTUALITÉS

Le lancement officiel de la Chaire i3C - De nombreuses références de la couverture médiatique

P4

Je profite de cet évènement pour rappeler que cette Chaire permettra de développer des solutions aux problèmes de l'industrie du transport routier et des infrastructures publiques. Nos recherches viseront à améliorer la connaissance des mécanismes en cause, et à maîtriser l'interaction entre les charges lourdes, le climat et les chaussées afin d'assurer la qualité et la durabilité de nos infrastructures, ainsi que l'efficacité de l'industrie du transport. Le bulletin met justement l'emphasis sur les premiers résultats de nos travaux de recherche

La Chaire contribuera aussi à former des spécialistes en matériaux et mécanique de chaussées soumises à l'effet des charges et du climat. Ces spécialistes seront de plus sensibilisés aux enjeux relatifs au comportement des véhicules lourds et à l'économie du transport. Les travaux de la Chaire seront orientés vers la recherche de solutions technologiques pour améliorer les infrastructures routières.

Les nombreux partenaires privés et publics de la Chaire bénéficieront de connaissances et d'outils techniques qui leur donneront un avantage compétitif à l'échelle internationale et faciliteront l'exportation de leur savoir-faire dans un contexte de concurrence mondiale.

En plus des appuis financiers de l'Université Laval et du CRSNG, la Chaire de recherche industrielle CRSNG sur l'interaction charges lourdes-climat-chaussées bénéficie de l'appui de 4 partenaires du secteur public soit : la Ville de Québec, la Ville de Montréal, Transports Québec, Transports Canada et de 9 entreprises privées : FPInnovations, Colas Canada, Solmax-Textel, Groupe Qualitas, Groupe CTT-Sageos, BPR, LVM-Jegel-Géolab, Opsens, Michelin Canada, ainsi que de 3 associations : Association des constructeurs de routes et grands travaux du Québec, Association du camionnage du Québec et Association des propriétaires de machinerie lourde du Québec.

Guy Doré

Titulaire de la Chaire de recherche industrielle CRSNG sur l'interaction charges lourdes-climat-chaussées

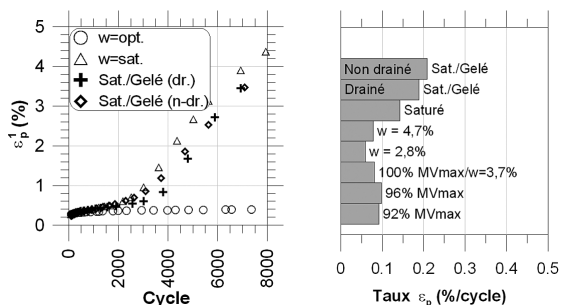
## PROJET 1A-1

**Comportement mécanique des matériaux routiers sous sollicitation mécanique et effets climatiques saisonniers**  
**Volet 1 : Déformation permanente des matériaux**

CHARGÉE DE PROJET : *Camille Schwarz*

Dans les régions nordiques, le comportement mécanique des matériaux routiers est significativement affecté par les cycles de gel et dégel ainsi que par les nombreuses précipitations. Plus particulièrement, les matériaux granulaires non liés (MGNL) sont susceptibles de changer de volume et d'approcher la saturation en eau dû aux divers phénomènes associés aux effets climatiques. Ces variations d'état, soit l'augmentation de l'indice des vides et du degré de saturation, affectent négativement le comportement mécanique la couche de fondation granulaire, dont la principale fonction est structurale. Bien que l'effet du climat sur le module réversible des MGNL est aujourd'hui bien documenté, ce n'est pas le cas pour la susceptibilité à la déformation permanente puisque les essais nécessaires pour la caractériser sont longs et destructifs. Pourtant, la déformation permanente des chaussées est directement liée à la perception qu'a l'utilisateur du réseau routier, puisqu'elle est davantage un paramètre lié à la performance qu'un paramètre lié à la conception comme le module réversible. Une meilleure compréhension du comportement en déformation permanente des MGNL peut contribuer ultimement à améliorer le confort au roulement et la sécurité des usagers, ainsi que réduire les problèmes de santé et la consommation d'essence. Par conséquent, ce projet de recherche de la Chaire i3C vise à mieux caractériser le comportement plastique des MGNL en contexte climatique rigoureux. Ainsi, divers paramètres seront inclus dans l'étude afin de mieux cerner l'effet du climat : la granulométrie, la source de granulats, le degré de saturation, la porosité et des cycles de gel/dégel en conditions drainées et non drainées.

À ce jour, une source de granulats (gneiss granitique) à granulométrie constante contrôlée a été soumise à divers essais triaxiaux cycliques sous un ratio de contraintes  $\sigma_1/\sigma_3=6$  sélectionné après la modélisation des contraintes et déformations d'une structure de chaussée typique avec le logiciel WinJulea. Les résultats ont été modélisés avec le modèle de Dresden, permettant de décrire les trois principales phases du comportement plastique des MGNL. Les figures suivantes présentent des exemples de résultats obtenus. À fortes teneurs en eau et après les cycles de gel/dégel, les échantillons ne peuvent résister à l'état de contraintes et rupturent après moins de 5000 cycles. Par contre, pour des degrés de saturation entre 20 et 50% et pour des masses volumiques sèches entre 90 et 100% de la masse volumique sèche maximale, les échantillons supportent l'état de contraintes, mais présentent évolution constante de la plasticité avec le nombre de cycles (100000). Dans les limites de l'étude, il a été mesuré que la variation de la porosité et du degré de saturation ont un effet respectif de 20% et 150% sur le taux de déformation permanente. De plus, lorsque les échantillons sont soumis à des cycles de gel/dégel, des augmentations du taux de déformation permanente, par rapport à des échantillons à faibles teneurs en eau, de 215% (conditions drainées) et 250% (conditions non drainées) ont été observées. Ainsi, en conditions drainées, bien que l'essai à saturation et l'essai soumis au cycle de gel/dégel présentent une réponse similaire, le cycle environnemental affecte bel et bien le MGNL. Globalement, les résultats obtenus à ce jour suggèrent que le degré de saturation est le paramètre principal à prendre en compte pour l'analyse du comportement plastique des MGNL et que les efforts des concepteurs et des constructeurs de routes doivent être concentrés sur la diminution du degré de saturation des MGNL.



## PROJET 1A-2

**Estimation du module réversible des matériaux granulaires de chaussées.**

CHARGÉE DE PROJET :  
*Claudia Andrea Mellizo Suarez*

Le projet 1A-2 a pour objectif le développement de modèles d'estimation du module réversible des matériaux granulaires non liés de chaussées adaptés aux matériaux du Québec. Cette façon alternative d'obtenir le module réversible est basée sur des analyses en laboratoire du comportement mécanique et des propriétés physiques de 25 matériaux granulaires étudiés dans le cadre de deux projets de doctorat.

Dans cette étude, des analyses statistiques ont permis d'identifier les différentes propriétés des sols influençant le plus module réversible. Le modèle proposé a été développé afin de prédire avec confiance, en prenant en considérant les caractéristiques et l'état des assemblages granulaires, le module réversible au niveau de la fondation et de sous-fondation des chaussées. Dans le contexte d'un dimensionnement mécanistique-empirique, cette estimation s'avère souhaitable en comparaison à l'utilisation de paramètres typiques des constantes de régression des lois constitutives.

Les équations empiriques d'estimation des constantes C1 et C2 de la loi constitutive considérée ont été obtenues par régression et ont été construites en considérant les propriétés liées à la densité, la granulométrie, la teneur en eau et l'état de contraintes.

$$MR = C1 * \epsilon_p + C2$$

$$C1 = -5.90426 - 0.00757 * C_u - 3.29267 * \ln + 0.20970 * w_{opt\_m\_w} + 10.65359 * p_{dmax\_pd}$$

$$R^2 = 0.7519$$

$$R^2_{Adj} = 0.7023$$

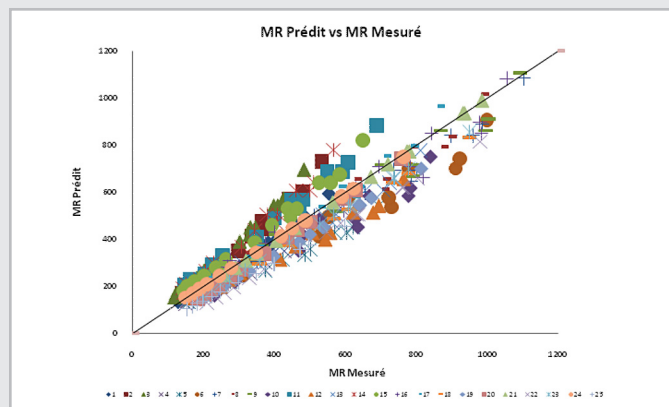
$$C2 = -860.54968 - 0.35416 * C_{u\_nf} + 0.34539 * sat\_nc + 939.15567 * p_{dmax\_pd} + 19.62333 * w_{opt} - 43.79090 * w$$

$$R^2 = 0.7875$$

$$R^2_{Adj} = 0.7315$$

où

- Cu = Coefficient d'uniformité
- ln = Logarithme de la porosité totale
- Wopt\_m\_w = Différence de la teneur en eau optimale
- Pdmax\_pd = Densité maximale sur densité sèche
- Cu nf = Coefficient d'uniformité sur porosité de la fraction fine
- Sat\_nc = Saturation sur la porosité de la fraction grossière
- Wopt = Teneur en eau optimale
- w = Teneur en eau



La figure illustre les résultats obtenus pour le module réversible prédit et le module réversible mesuré pour les 25 données empruntées dans la base de données des études de doctorat de M. Jean-Pascal Bilodeau et M. Félix Doucet. La validation de ce modèle sera réalisée à partir des données indépendantes de la base de données SHRP.

## PROJET 2A-2

### Caractéristiques des pneus et endommagement des chaussées.

CHARGÉ DE PROJET : Damien Grellet

La première campagne d'essai, sur la caractérisation de l'endommagement de la chaussée au passage d'une charge, à l'été 2008, a permis de mettre en lumière les différences pouvant exister entre un pneu gonflé à une pression normale et un pneu sous gonflé. Des différences significatives au niveau des déformations sur différentes profondeurs de la structure de la chaussée ont été identifiées. Cela a été possible par la mise en place dans la chaussée d'une instrumentation innovante basée sur la pose de jauges à fibre optique sur des carottes d'enrobée. Ces jauges permettent une lecture au bas de la couche et proche de la surface suivant la direction longitudinale et transversale de la chaussée. Suite à des passages répétés à différentes distances des capteurs, le tracé des bassins de déformations a été possible.

Avec l'installation d'une nouvelle instrumentation, au cours de l'été 2009, l'accent a été mis sur les déformations transversales et verticale de la couche de revêtement. Une plaque équipée de vingt quatre jauges permet une lecture des déformations proche de la surface et au bas de la couche sur une distance de 400mm (figure 1). Assisté par un logiciel de traitement du signal, l'analyse détaillée des signaux est possible dès le passage du véhicule sur les capteurs. Ils résultent des dernières expérimentations une analyse très détaillée des déformations s'exerçant dans la chaussée. A titre d'exemple, la figure 2 présente le bassin des jauges transversales au bas de la couche de revêtement sur une section de 100 mm d'épaisseur sous un pneu jumelé.

Ce projet a permis le développement d'un logiciel de traitement des signaux associés aux jauges à fibre optique, et une optimisation des instrumentations de mesure. Les opérations de mise en place des capteurs, de la lecture ainsi que le traitement des données en sont simplifiées par l'utilisation de ces nouveaux outils.

L'analyse montre de plus une très bonne fiabilité, répétabilité et précision des signaux. Ces nouvelles technologies permettront de déterminer avec précision d'ensemble des bassins de déformation pour chaque type de pneu et pour chaque pression caractéristique de ces derniers. Elles ouvrent donc de nouvelles perspectives dans l'étude détaillée des facteurs causant la dégradation des chaussées sous le passage des charges lourdes.

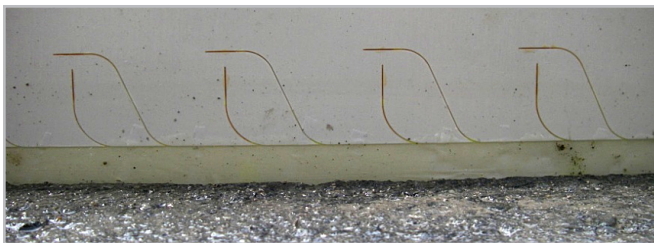
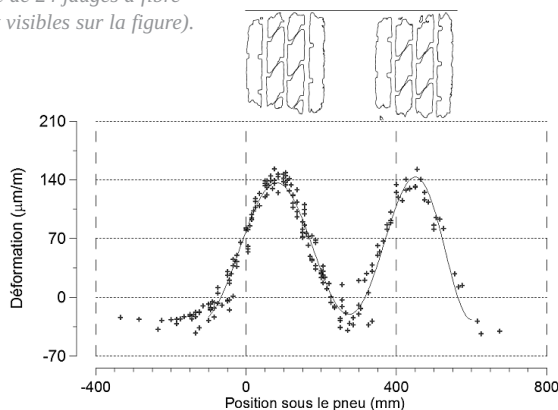


Figure 1)  
Plaque équipée de 24 jauges à fibre optique (8 sont visibles sur la figure).



## PROJET 2B-2

### Conception et réhabilitation des chaussées municipales

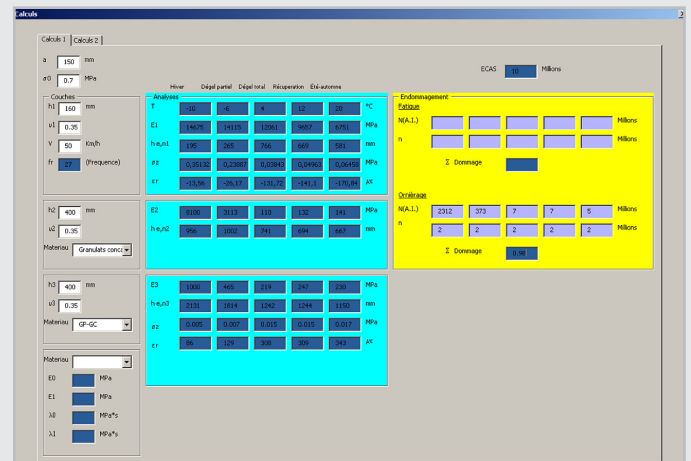
CHARGÉE DE PROJET : Alejandro Quijano

La conception des chaussées municipales présente des défis particuliers. Ce type de routes est caractérisé par des vitesses particulièrement lentes, et, pour certaines classes de routes, des faibles débits de trafic. Les méthodes de conception usuelles ont été développées en fonction des besoins des états et des provinces. Ces administrations gèrent des routes essentiellement en milieu rural caractérisées par des vitesses de circulation généralement élevées.

La méthode proposée portera principalement sur le développement des modèles de comportement mécanique de la chaussée en fonction de la vitesse de circulation. L'analyse de modules des couches a été développée en trois étapes : l'analyse du comportement viscoélastique de la couche de revêtement réalisée selon le modèle de Witczak adapté par Doucet (2004), l'analyse du comportement élastique des couches granulaires basée sur la loi de Hooke et l'analyse du comportement viscoélastique de la couche de sol d'infrastructure a été faite par le modèle de Burger. Dans le cas du sol d'infrastructure les données utilisées proviennent du travail de Claude Columbe (2002) et de la campagne d'essais réalisés au SERUL, site expérimental routier de l'Université Laval, à l'automne 2009.

Les déformations dans la chaussée ont été calculées par la méthode de la hauteur équivalente d'Odemark et de Boussinesq. Les critères de fissuration par fatigue liée aux déformations en traction à la base du revêtement et d'orniérage lié à la déformation verticale de compression calculée au sommet du sol du sol d'infrastructure ont été pris pour l'analyse structurale de la chaussée.

Un des produits importants de cette recherche sera le développement d'un logiciel adapté au contexte des chaussées municipales. La première version de ce produit est une feuille de calcul incluant des fonctions programmées qui servira à valider la méthode de calcul. La méthode permet notamment de calculer l'endommagement saisonnier de la chaussée pour prendre en considération un contexte d'application nordique.



Exemple de feuille de calcul utilisée pour la conception structurale des chaussées urbaines.



Figure 2)  
Bassin de déformation transversale sous un pneu jumelé.

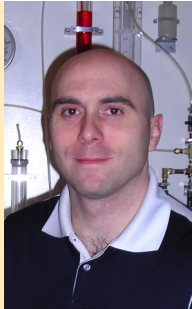
## PARTENAIRES

### À ne pas manquer

#### ÉVÈNEMENTS À VENIR :

#### CONGRÈS AQTR 2010

Lors du congrès de l'AQTR qui se tiendra à Québec les 29,30 et 31 mars 2010, quatre projets de recherche de la Chaire i3C seront présentés. • Pour référence [www.aqtr.qc.ca](http://www.aqtr.qc.ca)



### JEAN-PASCAL BILODEAU, ATTACHÉ DE RECHERCHE, CHAIRE I3C

Jean-Pascal Bilodeau a gradué en génie géologique à l'Université Laval en 2004. Il a par la suite complété une maîtrise (2006) et un doctorat (2009) au département de génie civil de l'Université Laval dans le domaine de la géotechnique routière, sous la direction du titulaire de la Chaire de recherche industrielle du CRSNG sur l'interaction Charges lourdes - Climat - Chaussées, monsieur Guy Doré. Son cheminement académique et professionnel l'ont conduit à l'acquisition d'un important bagage de connaissances dans les matériaux et la conception de chaussées, ainsi que dans la caractérisation avancée des sols et matériaux en laboratoire.

De 2002 à 2009, il a occupé un poste d'assistant de recherche pour le Groupe de Recherche en Ingénierie des Chaussées où il a été impliqué dans plusieurs projets en lien avec diverses problématiques du domaine routier. De plus, il a effectué des stages de recherche à l'Université de Waterloo, où il a été impliqué dans la mise sur pied d'un laboratoire de recherche et de caractérisation SUPERPAVE des liants et enrobés bitumineux, et au laboratoire du Ministère des Transports du Québec, où il a participé à la caractérisation avancée du comportement mécanique de matériaux granulaires.

Il a à son actif, à titre d'auteur ou coauteur, une trentaine de publications dans le domaine de la géotechnique routière et agit comme réviseur pour deux revues scientifiques (Revue Canadienne de Génie Civil et International Journal of Pavement Engineering).

## ACTUALITÉS

Le lancement officiel de la Chaire i3C, qui a connu un grand succès attribuable en grande partie à la participation de plusieurs partenaires et de plusieurs autres intervenants du milieu de la recherche, a fait l'objet d'une importante couverture médiatique. On peut prendre connaissance des principales références ci-dessous.

#### ARTICLE DU JOURNAL CHEF D'ENTREPRISE :

[http://www.chefs-entreprises.ca/index.asp?s=detail\\_actualite&ID=127496&actualite=1](http://www.chefs-entreprises.ca/index.asp?s=detail_actualite&ID=127496&actualite=1)

#### ARTICLE DU JOURNAL DE QUÉBEC :

<http://lejournaldequebec.canoe.ca/journaldequebec/actualites/quebec/archives/2009/11/20091127-172906.html>

#### ARTICLE DU CANAL DE NOUVELLES LCN :

<http://lcn.canoe.ca/lcn/infos/regional/archives/2009/11/20091126-172822.html>

RESPONSABLE  
Guy Doré, ing. PhD

ÉDITION  
Pierre Perron, ing.

COLLABORATEURS  
Claudia Andréa Mellizo Suarez,  
Jean-Pascal Bilodeau et Jérôme Fachon,  
Damien Grellet, Alejandro Quijano M.,  
Camille Schwarz

#### POUR NOUS JOINDRE :

Département de génie civil  
Université Laval, Québec  
(Québec) G1K 7P4

Téléphone : 418 656-2203  
Télécopieur : 418 656-2928

<http://i3c.gci.ulaval.ca>

