



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



BULLETIN **AIRE DE CONTACT**

En route vers des solutions durables !

NUMÉRO 6 • ÉTÉ 2012

DANS CE NUMÉRO

ÉVOLUTION DES PROJETS DE RECHERCHE

PROJET 1A-1 ET PROJET 1A-3

L'utilisation d'un simulateur à charge roulante.

P2

PROJET 1B-1

Traitement des sols et des structures de chaussées pour réduire la sensibilité des chaussées aux effets climatiques – Récupération des caractéristiques mécaniques d'une structure de chaussée en fonction des systèmes de drainage.

P4

PROJET 2A-2

Étude avancée de l'effet du type de pneu et de la pression de gonflage sur le comportement mécanique des chaussées souples.

P7

PROJET 2A-4

Étude de l'effet des charges dynamiques.

P8

PROJET 3.1

Développement et validation d'un modèle dynamique et quantification de l'influence du profil de la route sur un véhicule – Un support expérimental essentiel à la validation du modèle.

P9

BIOGRAPHIE PROFESSIONNELLE

Jérôme Fachon

P10

ACTUALITÉS

Bourse de Bitume Québec

Visite des bureaux de BPR

L'évènement Forum Force Laval

P11

Activité de la Société canadienne de géotechnique

Visite d'un chantier du MTQ – Pose d'un revêtement de béton

P12



À L'HEURE DU BILAN ET DE L'ÉLABORATION DU PROJET DE RENOUVELLEMENT DE LA CHAIRE I3C

Guy Doré, Titulaire de la Chaire i3c

La Chaire de recherche industrielle du CRSNG sur l'interaction Charges lourdes - Climat - Chaussées (i3C) entame le dernier « droit » de son programme de 5 ans. Des 11 projets prévus au programme de la Chaire, cinq sont complétés et les six autres sont en bonne voie de l'être. Plus d'une trentaine d'étudiants ont participé aux travaux de la Chaire dans le cadre de leur projet de doctorat, de maîtrise, de baccalauréat ou simplement à titre d'auxiliaire de recherche. Ces étudiants ont reçu une formation de haut niveau dans le domaine de l'ingénierie des chaussées et constituent le « produit » des travaux de la Chaire dont nous sommes les plus fiers.

Des résultats importants émergent des travaux réalisés. Sur le plan de l'ingénierie, des logiciels ou utilitaires de calculs orientés sur les besoins des partenaires industriels ont été développés, ou sont en voie de l'être. Les résultats des projets 1A-1 (déformation permanente), 1A-3 (renforcement structural lors d'un retraitement en place), 1A-2 (estimation du module réversible), 2A-2 (Étude de l'effet des pneus sur la chaussée), 2B-2 (dimensionnement de chaussées en contexte municipal) et 3.1 (Étude sur l'effet des chaussées déformées sur l'efficacité du transport) ont notamment servi au développement de ces utilitaires de calcul.

Parmi les outils proposés, mentionnons une méthode pour déterminer la sensibilité à la déformation permanente en fonction des conditions climatiques et un outil pour le calcul du renforcement structural requis en fonction sur la teneur en granulats bitumineux dans la fondation des chaussées retraitées. Ces deux aspects sont actuellement peu considérés en ingénierie des chaussées au Canada et sont susceptibles d'améliorer de façon significative le calcul des structures de chaussées. L'estimation fiable du module réversible des matériaux de chaussées à partir de leurs propriétés physiques permettra également d'optimiser le calcul des structures de chaussées en réduisant considérablement l'imprécision induite par l'utilisation de valeurs par défaut. Un des principaux produits de la Chaire, auquel viendront se greffer les utilitaires de calculs des projets 1A-1, 1A-2 et 1A-3, est le logiciel de dimensionnement de chaussées développé dans le cadre du projet sur la conception des chaussées municipales. Ce projet ambitieux impliquant le développement d'un modèle de conception mécaniste-empirique adapté aux chaussées municipales est toujours en voie de développement. D'autres utilitaires de calcul, développés dans le cadre des projets 2A-2 (effet des pneus sur la chaussée) et 3-1 (effet des chaussées déformées sur l'efficacité du transport) serviront à combler des besoins plus spécifiques. Toutefois, ils représentent des outils d'analyses très puissants permettant d'appuyer des expertises avancées ou des recherches sur l'interaction entre les véhicules lourds et la chaussée. En plus de nombreuses présentations dans des conférences d'ingénierie Québécoises (Infra et AQTR) et Canadiennes (ATC), la plupart des travaux réalisés à ce jour ont fait l'objet d'articles dans des revues scientifiques ou ont été présentés dans des conférences internationales. Plusieurs des projets de la Chaire ont attiré l'intérêt de la communauté scientifique internationale. C'est le cas notamment de l'étude sur l'effet des pneus, dont une partie a été réalisée au site



d'essai de l'IFSTAR en France et de l'étude sur l'effet des chaussées déformées sur l'efficacité du transport qui a fait l'objet d'une coopération spécifique avec l'École polytechnique de Milan en Italie.

Au cours des prochains mois, les travaux de la Chaire suivront essentiellement le plan prévu. Avec un peu moins de deux ans à faire dans le calendrier, il est maintenant important de penser au renouvellement de la Chaire. À cet effet, l'équipe de la Chaire i3C travaille à la production d'un document qui résume les principales réalisations de la Chaire et qui propose quelques suggestions pour le programme scientifique de la phase 2. Les partenaires de la chaire seront alors conviés à un atelier qui sera tenu en conjonction avec la rencontre des partenaires qui aura lieu en septembre 2012 pour discuter des orientations proposées et pour raffiner le programme. Une première ébauche de programme de recherche sera alors développée au cours de l'automne en consultation avec les partenaires.

J'en profite également pour rappeler que l'équipe de la Chaire i3C est activement impliquée dans l'organisation de la 15^e conférence internationale sur l'ingénierie des régions froides qui se tiendra à l'hôtel Loews le Concorde de Québec entre le 19 et le 22 août 2012. Une importante proportion des quelque 90 présentations prévues au programme portera sur l'exploitation des chaussées en régions froides (gel saisonnier et pergélisol). Vous êtes tous invités à participer à cet important événement scientifique qui se tient pour la première fois au Québec.

L'équipe de la Chaire i3C tient à souligner la collaboration exceptionnelle de ses partenaires qui, en plus de participer activement aux réunions de coordination et aux réunions de comités de projet, ont contribué activement à la réalisation des projets par la fourniture de produits et de service, mais surtout en mettant généreusement à la disposition des chercheurs leurs connaissances et leur savoir-faire dans les domaines d'activité de la Chaire.

ÉVOLUTION DES PROJETS DE RECHERCHE

PROJETS 1A-1 ET 1A-3

L'utilisation d'un simulateur à charge roulante

CHARGÉS DE PROJET : JOANNIE POUPART ET JONAS DEPATIE

L'étude du comportement plastique des matériaux granulaires peut être réalisée selon plusieurs méthodes en laboratoire. L'une des méthodes utilisées dans le cadre des projets 1A-1 « Étude de la déformation permanente des matériaux granulaires » et 1A-3 « Développement de matériaux recyclés performants pour les fondations de chaussées » de la Chaire i3C, réalisés respectivement par Joannie Poupart et Jonas Depatie, est basée sur l'utilisation du simulateur à charge roulante. Ce simulateur climatique et mécanique (SimUL) se situe à l'intérieur d'une chambre froide au laboratoire de géotechnique des régions froides à l'Université Laval. Il permet de reproduire de façon représentative en laboratoire la sollicitation d'une chaussée par le passage répété d'une charge roulante (Photo 1).

Contrairement à la presse hydraulique à chargement déviatorique axial répété, un instrument très utilisé dans le domaine de l'étude des déformations permanentes, le simulateur routier de l'Université Laval considère l'influence de facteurs d'agressivité comme le trafic (intensité et répétition de la charge, rotation des contraintes, etc.) et le climat (eau, gel et dégel) sur une structure de chaussée au lieu de sur un matériau en particulier. Le montage total du simulateur mesure 2,5 mètres de haut, 2,75 mètres de long et 1,25 mètre de largeur. Il est doté d'une roue suspendue à un système de rail et de poulie, permettant de faire un mouvement constant d'aller-retour. La vitesse maximale atteinte par le simulateur est de 6km/h sur le tiers central de la planche d'essai, tandis que les deux extrémités de celle-ci subissent des vitesses plus faibles puisqu'elles sont situées dans les zones d'accélération et de décélération. La cuve dans laquelle l'échantillon est compacté mesure 1,8 mètre de long, 0,6 mètre de hauteur et 0,6 mètre de largeur et se situe directement en dessous de la roue du simulateur.

Des tests de calibration sur l'instrumentation ainsi que des simulations à l'aide du logiciel d'analyse des systèmes multicouches linéaires élastiques WINJULEA ont permis de reproduire un état de contrainte se rapprochant le plus possible de la réalité. Puisque l'objectif des essais était de mesurer l'évolution du comportement plastique uniquement dans la couche de la fondation, il a fallu opter pour l'utilisation de matériaux résistants et ayant un comportement plutôt élastique comme couche d'infrastructure (sous la couche de fondation). L'utilisation de dalles de béton et d'une plaque de caoutchouc s'est avérée être les meilleurs choix. Les MG de fondation ont par la suite été compactés sur la couche de caoutchouc et un revêtement bitumineux a été

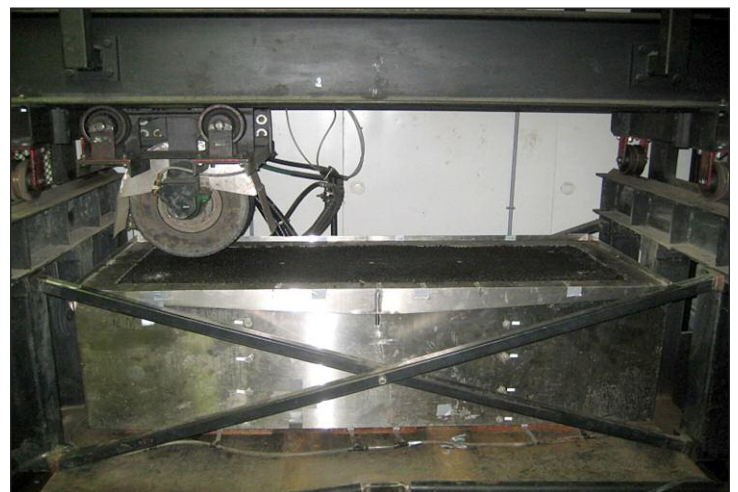


Photo 1) Simulateur climatique et mécanique (SimUL)

mis en place sur la fondation. Trois plaques en acier de 6,5 cm ont été déposées transversalement, au centre de l'échantillon, entre le revêtement et la fondation et correspondent à l'endroit de référence quant à la prise de mesure. Leur positionnement permet de mesurer l'évolution de l'orniérage structural au cours des 50 000 cycles de chargement réalisés pour chaque condition d'essai (optimale et saturée).

Les résultats obtenus permettent d'observer une progression de la déformation permanente par paliers de conditions. Jusqu'à présent, deux essais ont été réalisés sur deux matériaux de fondation différents, soit un mélange incorporant 50% de granulats bitumineux recyclés (GBR) et un granulat conventionnel, dans ce cas-ci un grauwacke. Deux paliers de 50 000 cycles de chargement ont été effectués pour chaque matériau. Le premier palier était réalisé à une teneur en eau optimale et le second à l'état saturé. Il est possible de remarquer, sur la figure 1, que le mélange à 50% de GBR est beaucoup plus susceptible à la déformation. La déformation finale à l'état optimal pour la couche de GBR est environ 2,5 fois plus élevée que pour le granulat conventionnel, soit de 2,25% et de 5,45% de déformation verticale respectivement. De plus, il est possible d'observer que le taux de déformation permanente dans le cas du granulat conventionnel semble vouloir se stabiliser contrairement au GBR, qui lui demeure constant. Leur comportement est donc tout à fait différent. Selon la théorie du « Shakedown », le mélange contenant des granulats recyclés adopte un comportement d'accommodation par fluage, tandis que le comportement du granulat conventionnel se rapproche davantage de l'accommodation plastique puisque le taux de déformation s'approche de zéro. À l'état saturé, la susceptibilité à la déformation permanente du mélange incorporant des

granulats bitumineux y est davantage marquée avec un pourcentage de déformation final de 17,56% comparativement à 5,50% pour le granulat conventionnel. De plus, une accumulation importante de déformation au cours des 10 000 premiers cycles de chargement est observable.

Finalement, il est important de revenir sur les facteurs d'échelle et d'agressivité entre l'essai triaxial et le simulateur. Malgré qu'ils mesurent le même paramètre sous des contraintes semblables, le comportement mesuré d'un matériau est totalement différent dans chaque cas. En effet, la figure 2 montre bien cette réponse différente d'un même matériau exposé à la même contrainte déviatorique, mais dans un premier cas sollicité sous la presse à chargement axial et dans le second au simulateur. Le matériau soumis à un essai triaxial présente une post compaction beaucoup plus faible et une stabilisation du taux de déformation beaucoup plus rapide que dans un essai au simulateur. De plus, l'agressivité est beaucoup plus élevée lors d'un essai au simulateur. En effet, suite à l'application de 50 000 cycles de chargement, un même matériau présente un pourcentage de déformation 3,5 fois plus élevé dans le cas d'un essai au simulateur comparativement à un essai en cellule triaxiale.

Ces observations exposent bien la difficulté d'évaluer, à l'aide de modèles réduits et simplifiés, le comportement réel d'un matériau dans une chaussée. Comme l'étude débute seulement, il sera nécessaire de réaliser plus d'essais comparatifs afin d'être en mesure d'obtenir une relation valable entre le comportement en chaussée et des essais de caractérisation avancés comme le simulateur. ■

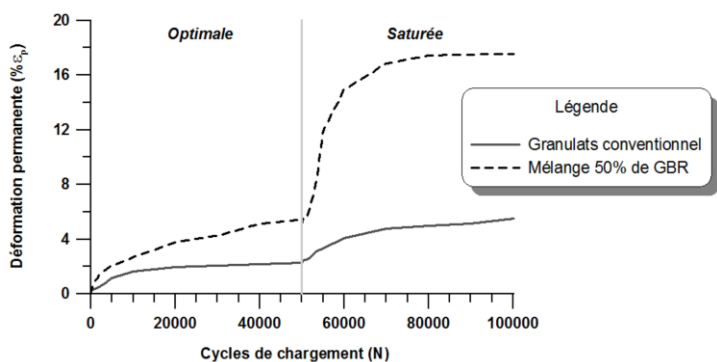


Figure 1) Essai de déformation permanente au simulateur pour un matériau à 50% de GBR et pour un granulat conventionnel à deux états de saturation (optimal et saturé)

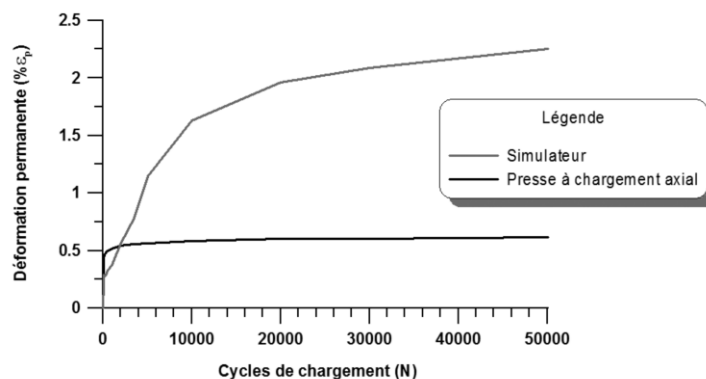


Figure 2) Comparaison des résultats en déformation permanente obtenus à l'aide du simulateur et de la presse à chargement axial pour un granulat conventionnel à l'état optimal

PROJET 1B-1

Traitement des sols et des structures de chaussées pour réduire la sensibilité des chaussées aux effets climatiques - Récupération des caractéristiques mécaniques d'une structure de chaussée en fonction des systèmes de drainage.

CHARGÉE DE PROJET : Catherine Savoie

Cet article présente l'avancement du projet 1B-1 qui porte sur les bénéfices technico-économiques liés à l'implantation d'un système de drainage de type géotextile et qui s'inscrit dans le cadre de la Chaire de Recherche sur l'Interaction Charges Lourdes - Climat - Chaussées (i3C).

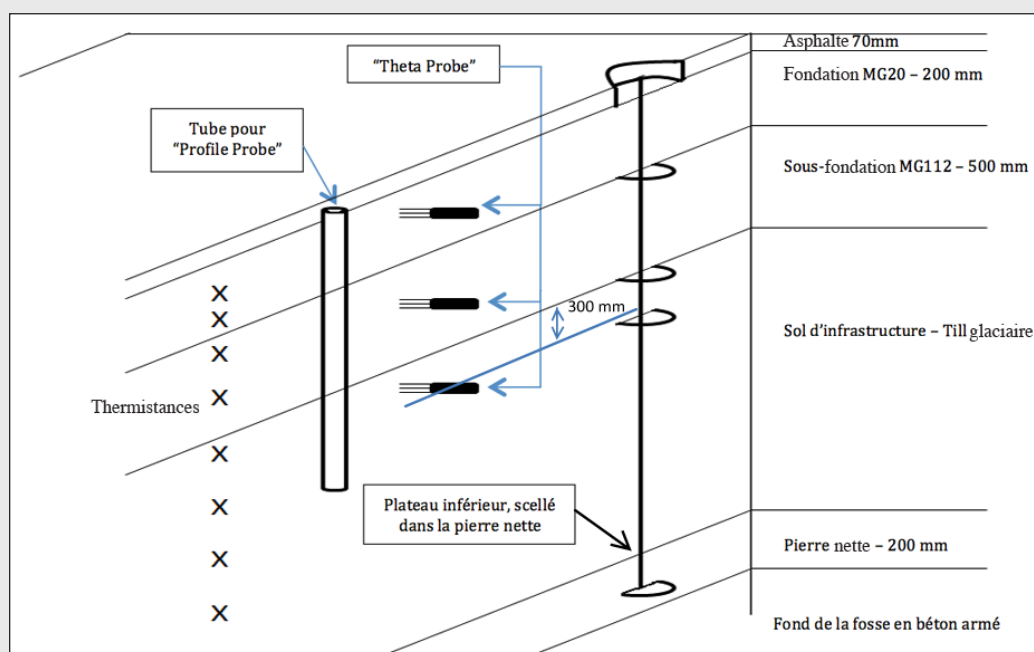
Dans l'objectif de statuer sur le fait de savoir si l'investissement additionnel que représente l'implantation de systèmes de drainage de type géosynthétique est compensé par une amélioration significative de la performance des chaussées, et pour faire suite aux différents essais laboratoire réalisés précédemment sur ce sujet, une chaussée en vraie grandeur a été construite sur le site expérimental routier de l'Université Laval et a été équipée de quatre systèmes de drainage différents, tous comparés à une section témoin, sans système de drainage. Chaque section a été équipée d'un deflectomètre multi-niveau, de thermistances et de deux types capteurs de teneur en eau à différents niveaux. Les chaussées ont été amenées à un point proche de la saturation et durant la phase de drainage des structures de chaussées instrumentées, des mesures au FWD, ainsi que des mesures de teneur en eau ont été réalisés à intervalles réguliers par le biais de l'instrumentation insérée au cœur même des sections.

Les travaux de terrain ont été réalisés au site expérimental routier de l'Université Laval (SERUL). Ce site a permis la construction d'une route expérimentale en vraie grandeur composée de 5 sections (4 avec géotextile drainant et 1 de référence) toutes identiques à celle étudiées au laboratoire. Cette construction a été réalisée dans l'une des 4 fosses de béton de 30 mètres de long, équipées d'un système d'alimentation et d'évacuation d'eau qui permet un contrôle strict du niveau d'une nappe phréatique simulée dans la structure.



Photo 2) Vue globale de la fosse expérimentale (excavée jusqu'à l'infra)

La construction des différentes structures de la cuve a été réalisée conformément aux règles de l'art. Confiée à l'entreprise BML, filiale du groupe Colas, partenaire de la chaire de recherche i3C (Interaction Charges lourdes-Climat-Chaussées), les travaux se sont déroulés lors de l'été 2011. Les différents systèmes de drainage et de séparation des fosses ont été réalisés avec le soutien et la présence de l'expertise de l'entreprise Texel-Géosol, également partenaire de la chaire de recherche i3C.



DÉTAIL DE L'INSTRUMENTATION

Figure 3) Synthèse de l'instrumentation de chaque section

TABEAU 1 : TABLEAU DES MESURES EFFECTUÉES POUR SUIVRE L'ÉVOLUTION DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES

	Mar.	Mer.	Jeu.	Vend.	Sam.	Dim.	Lun.	Mar.	Mer.	Jeu.	Vend.	Sam.	Dim.	Lun.	Mar.
FWD	-X	X-X	X-X	X-X			X-		X-		X-				X-
Profile Probe	-X	X-X	X-X	X-X			X-		X-		X-				X-
Thêta probe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Piézomètre	-X	X-X	X-X	X-X			X-		X-		X-				X-
Thermistances	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Le mardi 11 Octobre a été la journée d'ouverture des vannes de drainage

X-X : Signifie deux séries complètes de relevés dans la même journée : matin et après midi

X- : Série complète de relevés réalisée dans la matinée

-X : Série complète de relevés réalisée dans l'après midi

--- : Système d'acquisition de données en continue (a été actif jusqu'au 25 novembre 2011)

MESURE DE LA RÉCUPÉRATION MÉCANIQUE DES STRUCTURES

Données brutes obtenues

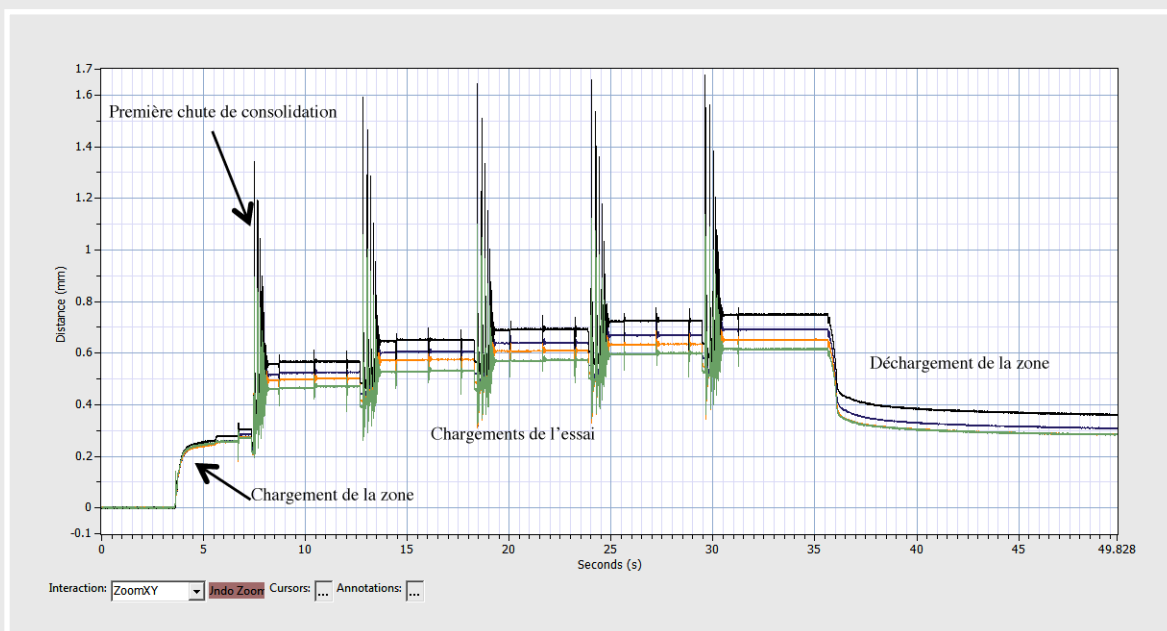


Figure 4) Courbes brutes de lecture des signaux des capteurs de déplacement



PROJET 1B-1 - SUITE

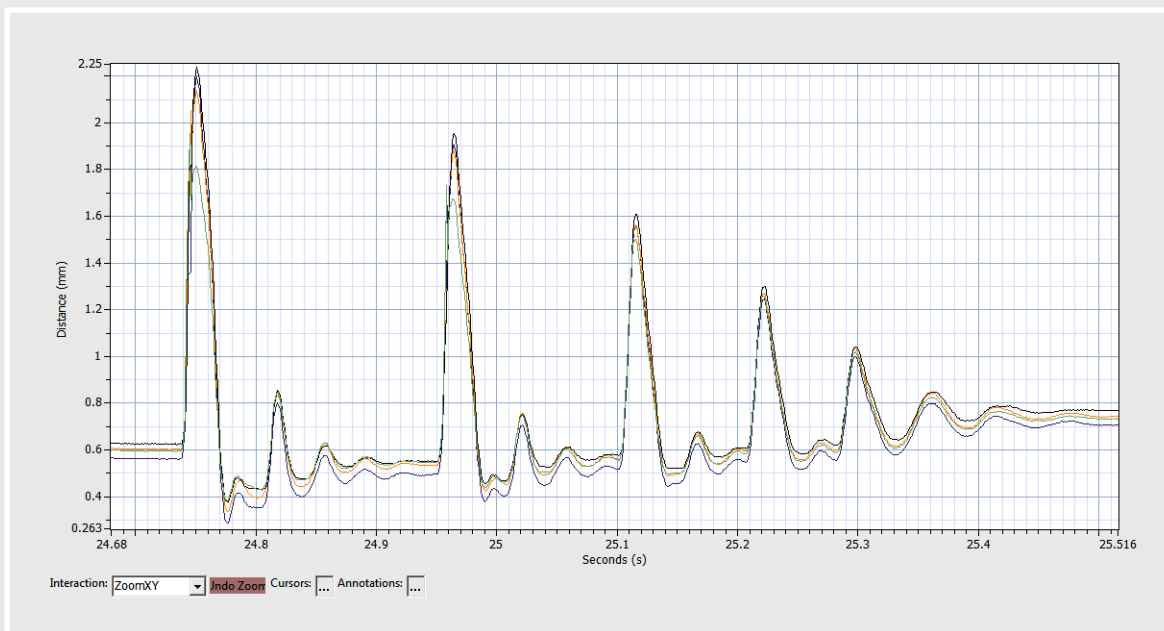


Figure 5) Agrandissement du signal pour une chute de la masse tombante



Photo 3) Maillage des mesures de récupération mécanique au FWD

CONCLUSIONS

Bien que la phase de construction des structures de chaussées et l'installation de l'instrumentation se soit déroulées de manière très satisfaisante dans l'ensemble, il est à noter que l'objectif d'une saturation complète de la structure n'a pas été possible, compte tenu de fuites probables dans le système. Cette perte d'eau est probablement due au fait que les parois de la fosse en béton, à ses extrémités, n'avait pas une hauteur suffisante pour contenir l'eau jusqu'au niveau de l'asphalte. Une autre perte possible serait une défaillance dans l'étanchéité des obturateurs des systèmes de drainage.

Une lecture du niveau de la nappe phréatique au piézomètre dans la zone de référence nous a permis de valider la présence d'eau à une profondeur de 94 cm par rapport à la partie supérieure de l'asphalte. Cependant, dans les autres sections, l'apport complémentaire en eau en surface, par les accotements a alimenté les systèmes de drainage avant même de parvenir à l'infra. Un défaut d'étanchéité trop important des obturateurs aurait donc pu interférer sur la saturation de l'infra et des couches de la structure. L'analyse des données de teneurs en eau nous apportera des informations plus précises sur ce paramètre.

Néanmoins, La phase expérimentale « en vraie grandeur » du projet 1B-1 qui porte sur les bénéfices technico-économiques liés à l'implantation d'un système de drainage de type géotextile et qui s'inscrit dans le cadre de la Chaire de Recherche sur l'Interaction Charges Lourdes - Climat - Chaussées (i3C), s'est déroulée dans des conditions très satisfaisantes. Les structures et les systèmes de drainage devraient permettre la collecte de données très pertinentes pour évaluer l'impact de la présence de tels systèmes au sein des chaussées. ■

PROJET 2A-2

Étude avancée de l'effet du type de pneu et de la pression de gonflage sur le comportement mécanique des chaussées souples

CHARGÉ DE PROJET : Damien Grellet

Le projet de recherche sur l'évaluation de l'impact des types de pneus sur les performances des chaussées souples débute sa dernière phase. Quatre campagnes de mesure ont d'ors et déjà eut lieu et sont résumées ici. Ces dernières ont permis la mise au point et le perfectionnement de capteurs de mesure spécifique à nos objectifs. Les résultats obtenus dernièrement au manège de fatigue viennent conforter nos données précédemment.

LES CAMPAGNES EXPÉRIMENTALES

Afin d'évaluer l'impact des différents paramètres de charge en conditions réelles d'utilisation, l'Université Laval dispose d'un Site Expérimental Routier (SERUL) situé à la forêt Montmorency. Ce site est représentatif du réseau routier avec quatre structures de chaussées dont les épaisseurs de revêtement bitumineux varient de 50 mm à 200 mm. Les deux premières campagnes de mesure, en 2008, ont été conduites sous des conditions printanière et estivale. Ces données ont été complétées par deux nouvelles prises de mesure au cours de l'été 2009 et 2010.

Une collaboration entre l'Université Laval et l'IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux) s'est mise en place au cours de l'année 2011, permettant d'effectuer une campagne de mesure très complète grâce au manège de fatigue situé à Nantes (France). Le manège de fatigue de l'IFSTTAR est un simulateur routier circulaire offrant la possibilité de tester une chaussée, de sa construction jusqu'à sa rupture en seulement quelques mois. Il est placé sur une cuve offrant un excellent contrôle des paramètres physiques et mécaniques de la fondation, sous fondation et du sol d'infrastructure. Le simulateur est muni de quatre bras en rotation sur lesquels des essieux simples, tandem et tridem peuvent être montés afin d'être représentatif des charges routières circulant sur le réseau. Les vitesses de roulement, les charges et les positions de la charge sur la chaussée sont réglables afin de couvrir une gamme complète de conditions d'essais.

Durant plus de cinq semaines une analyse comparative entre un pneu jumelé traditionnel et un pneu à bande large (X one 455/55R22.5) a été réalisée en équipant les bras du manège de ces deux types de pneus. Deux nouvelles structures de chaussée dont l'épaisseur de revêtement est de 70 mm et de 130 mm ont été étudiées pour des conditions de température du revêtement bitumineux compris entre 20°C et 40°C. Des chargements de 4 tonnes, 5 tonnes, 5,8 tonnes et 6,5 tonnes sur la roue ont été imposés pour des vitesses de roulement entre 30 Km/h et 60 Km/h. Le comportement de l'ensemble de la structure de chaussée a donc été évalué sous plus de soixante conditions expérimentales comme résumé à la figure 6.

tonnes et 6,5 tonnes sur la roue ont été imposés pour des vitesses de roulement entre 30 Km/h et 60 Km/h. Le comportement de l'ensemble de la structure de chaussée a donc été évalué sous plus de soixante conditions expérimentales comme résumé à la figure 6.

L'INSTRUMENTATION

L'instrumentation mise au point au cours de ce projet permet une caractérisation très précise des déformations s'exerçant dans la chaussée lors du passage d'une charge. La figure 7 illustre les deux types d'instrumentation à fibres optiques utilisées lors des essais routiers à l'IFSTTAR et au SERUL. La première instrumentation (figure 7-a) correspond à une carotte d'enrobé bitumineux sur laquelle deux capteurs ont été installés en croisillon permettant une acquisition, dans le sens longitudinal et transversal au roulement, des déformations s'initiant au bas de la couche de revêtement. Les deux capteurs sont placés dans un corps polymère et collés sur une carotte conditionnée à cet effet. Initialement, la carotte est prélevée sur le site expérimental puis elle est usinée, instrumentée, calibrée et finalement scellée en place à l'aide de colle époxy. La seconde instrumentation (figure 7-b) se compose d'une plaque polymère ayant un comportement mécanique proche de celui de l'enrobé bitumineux. La plaque est épaisse de seulement un demi-centimètre, elle est mise en place, transversalement au sens de roulement, dans une rainure réalisée par un trait de scie dans la chaussée. Les plaques sont fabriquées sur mesure pour chaque campagne expérimentale afin de s'adapter aux objectifs du projet.

Dans le cadre de la collaboration avec l'IFSTTAR, la structure analysée était constituée de deux couches d'enrobé bitumineux. Il a été possible d'instrumenter les deux couches de revêtement afin d'identifier spécifiquement le comportement de chaque couche. Une première série de fibre optique a été installée à 15 mm de la surface afin de quantifier les déformations dans les premiers centimètres sous le pneu. Ces capteurs sont orientés transversalement et verticalement au sens de roulement afin de mesurer le cisaillement s'exerçant à ce niveau. Une seconde série de capteurs, placés de part et d'autre de l'interface, permet d'analyser la transmission des déformations s'opérant au niveau de l'interface entre les deux couches bitumineuses. Finalement une troisième série de capteurs est placée au bas des deux couches bitumineuses. Ces capteurs sont reliés à un dispositif d'acquisition via des connecteurs présentés à la figure 7-c. La figure 7-d présente

une jauge classique d'extensiométrie en H, placée au bas du revêtement lors de la construction de la chaussée. Ces capteurs sont des jauges résistives très couramment utilisées dans l'instrumentation des chaussées souples. Toutes les mesures expérimentales ont été prises simultanément avec les capteurs résistifs et les capteurs optiques afin de comparer leur réponses respectives.

LES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

L'analyse des données en cours afin d'évaluer l'impact des deux types de pneu sur la durée de vie de la chaussée sous l'ensemble des conditions d'essais. Une première présentation de ces résultats aura lieu lors de la 7^e conférence international sur la fissuration des chaussées (Rilem 2012) aux Pays-Bas. Cette présentation visera spécifiquement à caractériser les déformations s'exerçant proches de la surface sous des températures tempérées et élevées.

IFSTTAR		Structure de 70 mm		Structure de 130 mm		
		Pneu jumelé	Pneu large	Pneu jumelé	Pneu large	
4 T	100 Psi	32 Km/h				
		42 Km/h				
	120 Psi	32 Km/h				
		42 Km/h				
5 T	120 Psi	32 Km/h				
		42 Km/h				
	56 Km/h					
5.8 T	120 Psi	42 Km/h				
6.5 T	120 Psi	42 Km/h				

SERUL		Structure de 100 mm		Structure de 200 mm	
		Pneu jumelé	Pneu large	Pneu jumelé	Pneu large
4 T	120 Psi				
	100 Psi				
	100/80 Psi				
	80 Psi				

■	10°C	■	20°C	■	26°C-30°C	■	35°C-40°C
---	------	---	------	---	-----------	---	-----------

Figure 6) Matrice expérimentale

PROJET 2A-2 - SUIITE

Deux autres publications sont en cours de rédaction afin de présenter une analyse comparative entre les capteurs résistifs et les capteurs optiques et proposer des méthodes d'analyses des signaux expérimentaux. La seconde publication aura pour objectif l'analyse comparative de l'endommagement pour les deux types de pneu. L'endommagement relatif de chaque pneu sera basé sur les mécanismes de rupture suivant : la fissuration de fatigue, l'orniérage au niveau du sol d'infrastructure, l'orniérage de la couche bitumineuse et la fissuration s'initiant proche de la surface. Un ratio combiné des dommages sera proposé en fonction de la structure de chaussée étudiée. Ce ratio tiendra compte de l'ensemble de nos conditions d'étude.

CONCLUSION ET REMERCIEMENT

Les différents acteurs du projet tiennent à remercier l'ensemble de l'équipe du manège de fatigue de l'IFSTAR pour l'excellente collaboration qu'il y a eu lors de la phase expérimentale du projet. Cette phase est maintenant terminée et l'analyse des données est en cours afin de caractériser précisément la mécanique de chaussée qui s'exerce à chaque niveau de la structure. Ces résultats vont permettre d'émettre des recommandations sur l'utilisation des deux types de pneu en fonction des conditions de charge, de pression de gonflage. ■

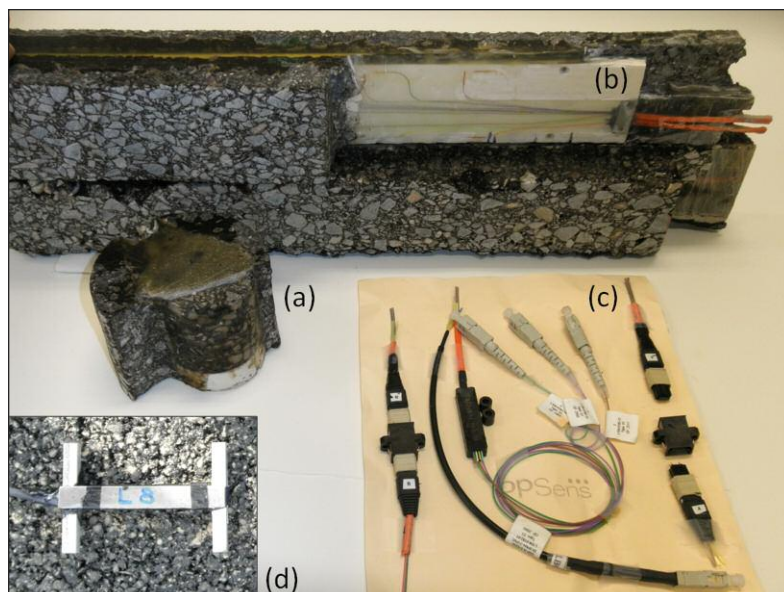


Figure 7) Instrumentation résistive et à fibre optique

PROJET 2A-4

Étude de l'effet des charges dynamiques

CHARGÉ DE PROJET : *Maxime Villeneuve*

Actuellement, lors de la conception d'une route, le calcul réalisé pour le choix de matériaux utilise souvent l'hypothèse que les véhicules appliquent une charge statique verticale. Dans la réalité, puisque les routes ne sont pas parfaites et se détériorent avec le temps, les véhicules qui y circulent oscillent. Cette oscillation crée des charges dynamiques sur la chaussée. Ces variations peuvent créer une charge 150% supérieure à la charge statique considérée lors de la conception de la route. [1] [2] Les charges dynamiques augmentent avec la dégradation de la route. Ils peuvent réduire de 20 à 30% leurs durées de vie.

Au Québec, les déformations les plus importantes sont observées en fin d'hiver. Les déformations résultant des soulèvements différentiels ont des longueurs d'onde variant de 2 à 10 m. Les amplitudes atteignent parfois 100 mm. [3] Ces variations se répercutent aussi sur l'indice de rugosité international (IRI) de la chaussée. Des variations du double de l'indice sont observées en fin d'hiver sur des routes du Québec. [3]

Des profils provenant des routes du Québec seront utilisés pour reconstituer des profils théoriques. Ces derniers seront utilisés pour effectuer une étude paramétrique. Les paramètres types de camion lourd utilisés seront ceux des camions retrouvés en majorité au Québec. Le logiciel TruckSim sera utilisé pour faire ces études de force. Il permet de faire une simulation de camion qui circule sur un profil de route qui a été préalablement créé. Les caractéristiques du camion : type de suspension, charge de la remorque, type et nombre d'essieux, vitesse de déplacement sont parmi les paramètres qui peuvent être choisis par l'utilisateur. L'utilisation de ce dernier permet de faire une analyse rapide de plusieurs aspects du camion à moindre coût qu'un essai réel.

Par la suite, des mesures seront effectuées pour valider la simulation. Des mesures seront effectuées sur la section instrumentée du Site Expérimental Routier de l'Université Laval (SERUL). Des obstacles seront placés sur une section de route où un véhicule circulera sur ces derniers.

Cargemel, [4] lors de son stage à l'été 2011, a étudié la force dynamique des pneus sur la chaussée pour une remorque chargée à sa capacité maximale selon les normes en vigueur au Québec. Son projet consistait à une simulation à l'aide du logiciel TruckSim de l'Université du Michigan. Ses résultats démontrent que pour une même déformation sur la chaussée, la force dynamique produite tend à augmenter avec la vitesse. Cependant, la vitesse n'a pas toujours un impact aussi significatif que l'on pourrait le croire. Elle fait augmenter la force dynamique du camion pour des valeurs de vitesse importante. Son étude démontre bien le choix du logiciel TruckSim pour ce présent projet par sa facilité d'utilisation et par la diversité des analyses possibles. Sans ignorer l'impact de la vitesse, l'étude se concentrera à définir le type de déformation le plus problématique au niveau des charges dynamiques. ■

- [1] OCDE, *Véhicules lourds, climat et dégradation des chaussées*. Paris : Organisation de coopération et de développement économiques, 1988.
- [2] D. Cebon, *Handbook of vehicle-road interaction* : Swets & Zeitlinger Publishers, 1999.
- [3] N. Fradette, et al., « Evolution of pavement winter roughness » pp. 137-147, 2005.
- [4] A. Cargemel, « Étude de l'impact des charges dynamiques sur la chaussée, » Rapport de stage, Département de Génie Civil, Département de Génie Civil, Université Laval, Québec, 2011.

PROJET 3.1

Développement et validation d'un modèle dynamique et quantification de l'influence du profil de la route sur un véhicule Un support expérimental essentiel à la validation du modèle

CHARGÉ DE PROJET : Louis Gagnon

RAPPEL DU PROJET

Le projet consiste à évaluer l'influence d'un profil de route sur différents aspects de l'opération d'un véhicule à l'aide d'un modèle dynamique développé et validé dans le cadre du projet. Ces aspects sont la consommation d'essence, l'usure des composantes, et la santé et la sécurité des usagers de la route. Le modèle permettra de proposer des seuils d'intervention sur les routes d'un réseau routier sur la base de l'IRI et des caractéristiques du profil de la surface.

ESSAIS DE VALIDATION DU MODÈLE

Afin de procéder à la calibration et à la validation de ce modèle, il faut acquérir des données sur le comportement d'un camion réel circulant sur des routes ayant différents niveaux de dégradation et les comparer avec les données du modèle de camion circulant sur le profil longitudinal de cette route. À cet fin des essais d'un camion semi-remorque sur route ont été réalisés.

Le modèle dynamique multicorps de calcul de l'impact du profil longitudinal d'une route sur les différents aspects de l'opération d'un camion est maintenant fonctionnel. Par conséquent, il faut le calibrer et valider les résultats qu'il renvoie. Afin d'obtenir les données nécessaires à cette étape, des tests de roulement au neutre furent effectués entre 9 h 00 et 16 h 00 le 21 septembre dernier sur le rang Smith à Saint-Louis-de-Blandford. La procédure recommandée par le standard SAE J2263 [1] et le rapport d'une étude européenne sur l'influence du profil de la route sur les véhicules [2] inspirèrent fortement l'élaboration des essais.

APPROCHE

La communauté scientifique a recours à différentes méthodes afin de calibrer et valider un modèle dynamique de véhicule. Une méthode courante lorsqu'on développe un modèle polyvalent consiste à confronter ce dernier à un logiciel spécialisé dans sa zone de haute précision. Un tel exemple confronterait le modèle multicorps à un modèle d'éléments finis. Par contre, les essais expérimentaux sont généralement favorisés. Lorsque c'est possible, les essais ont lieu sur la route plutôt qu'en laboratoire, car on y obtient le comportement du véhicule dans son environnement normal.

L'approche choisie fut une campagne d'essai de ralentissement au neutre sur une route. Cette approche est fréquemment utilisée pour mesurer la charge énergétique d'une route. Elle permet de valider les aspects énergétique et dynamique en un seul essai. Dans le cas présent c'est un gros avantage, car le modèle a le mandat de calculer à la fois la consommation d'essence et le comportement dynamique du camion.

Un tracteur fut équipé de six accéléromètres de haute précision et d'un photodétecteur pour ensuite être attelé à une semi-remorque considérablement chargée. Vingt essais de ralentissement au neutre d'environ un demi-kilomètre eurent lieu. La vitesse initiale fut de quatre-vingts kilomètres à l'heure pour les cinq essais dans chaque direction de chacun des deux segments de route choisis. Les deux segments furent choisis afin de donner deux types de profils différents. On peut voir à la Photo 4 le camion qui s'apprête à faire un passage sur un segment. Les données météorologiques

furent recueillies d'une station située à moins de huit kilomètres et à la même altitude. Le profil longitudinal de la route fut mesuré à l'aide d'un profilomètre de haute précision et sera confirmé par la lecture d'un profilomètre à haute vitesse. Le chauffeur fut pesé et la raideur de son siège mesurée.



Photo 4) Le camion des essais sur le rang Smith.

INTERPRÉTATION

Les accéléromètres confirmeront le comportement dynamique du tracteur et les vibrations ressenties au siège du conducteur et par les composantes sensibles. La Photo 5 (page suivante) montre les cônes qui serviront de repères visuels au photodétecteur et le signal obtenu suite à un essai. Ce signal permettra de mesurer les vitesses initiale et finale du camion sur un segment et d'ainsi connaître les pertes d'énergie cinétique pour valider le bilan énergétique du camion. Les données météorologiques et le profil longitudinal approvisionneront le modèle aérodynamique et le modèle de pneu, respectivement.

DÉNOUEMENT

Aussitôt après les essais, il est déjà possible de noter des modifications relativement simples qui donneraient de résultats légèrement plus précis. Par exemple, l'utilisation d'une semi-remorque avec des parois en fibre de verre et une lecture des données météorologiques en temps réel devant le camion amélioreraient l'analyse aérodynamique. L'utilisation de pneus identiques à ceux utilisés dans le modèle augmenterait la cohérence entre le modèle et l'expérimental. Un réchauffement plus rigoureux du camion augmenterait la constance de son comportement dynamique. Donc, après l'étude des résultats, il sera décidé quels essais permettraient une validation plus rigoureuse du modèle. Et, compte tenu des limites du modèle il sera aussi décidé si une telle validation supplémentaire serait utile.



PROJET 3.1 - SUITE

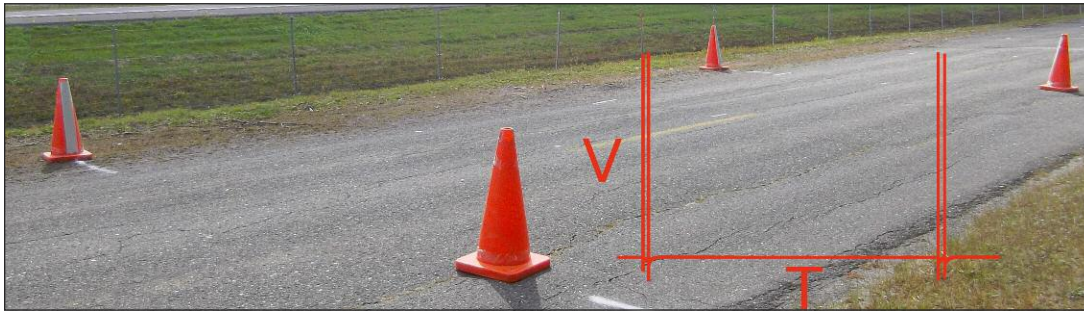


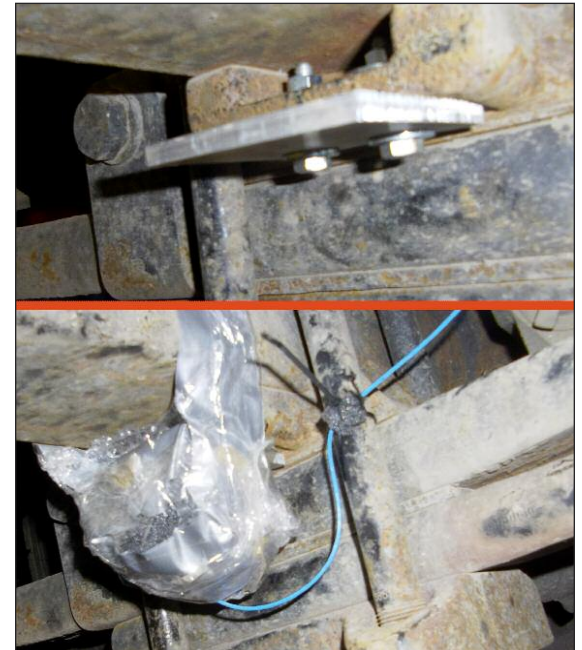
Photo 5)
Les deux cônes du début ou de la fin du segment de route, selon la direction empruntée, et le signal montrant les quatre points de voltage renvoyées lors d'un essai.

Photo 6)
Installation d'un accéléromètre sur un essieu moteur, en haut : plaque porteuse, en bas : accéléromètre abrité.

Le travail de coordination nécessaire à la réalisation des essais fut considérable. Lorsque qu'une dizaine de personnes sont nécessaires au déroulement des essais et que plusieurs autres y sont impliquées, il est difficile d'obtenir la collaboration de chacun au moment opportun. Un défi fut de maintenir, pour chaque composante impliquée, un niveau de précision assez élevé pour obtenir des résultats utiles, mais toutefois assez bas pour maintenir un coût minime. Enfin, bien qu'elle ait demandé un temps considérable, l'installation des capteurs fut une belle expérience de découverte de la mécanique du camion. On voit un aperçu de cette belle mécanique à la Photo 6 qui montre l'installation d'un accéléromètre sur un essieu moteur. La leçon à tirer suite aux essais est de planifier le plus possible à l'avance et de ne pas supposer que tout se déroulera comme sur des roulettes avant qu'un plan précis et complet comprenant des options alternatives ne soit établi et confirmé.

REMERCIEMENTS

Un nombre considérable de collaborateurs furent essentiels au projet et des remerciements particuliers sont adressés aux équipes du Centre de formation en transport de Charlesbourg, du Service des chaussées du ministère des Transports du Québec et du Département de génie mécanique de l'Université Laval, pour leur soutien essentiel aux essais. Le Conseil municipal de Saint-Louis-de-Blandford est remercié pour son consentement à l'utilisation du rang Smith. Enfin, tous les partenaires de la Chaire i3C sont remerciés pour permettre la réalisation d'un tel projet. ■



BIOGRAPHIE PROFESSIONNELLE



JÉRÔME FACHON est diplômé de L'INSA de Strasbourg en 1989. Après avoir réalisé son PFE sur l'étude du comportement des boues d'excavation sous bouclier à pression de terre sur le tunnelier du tunnel sous la Manche (France - Pas de calais), Jérôme Fachon commence sa carrière professionnelle sur ce même projet. Responsable de la coordination de fabrication des voussoirs béton et responsable adjoint du laboratoire de contrôle, il assume l'année suivante, le rôle

de planificateur des travaux, puis de géomètre de chantier sur le terminal du tunnel sous la Manche à Folkestone (Angleterre). Intégrant l'Entreprise Jean Lefebvre en 1991 (maintenant Eurovia), il est directeur de projet pour une agence dans le Nord de la France. En 1992, il est nommé directeur

technique de la région parisienne pour cette même entreprise et rejoint, en 2000 la direction technique du Siège, à Paris. En 2003, il rejoint le groupe industriel « Signaux GIROD ». Il est mandaté pour une restructuration d'une filiale de cette entreprise au Québec, dont il prendra la direction en intérim puis sera nommé président de cette filiale en 2004. Devenu résident permanent en Août 2006, Il quitte le groupe Signaux GIROD pour rester au Québec et rejoint la compagnie TECSULT où il sera directeur de projet. En Septembre 2007, il rejoint le groupe de recherche en ingénierie des chaussées (GRINCH) et intègre l'équipe de la Chaire de recherche i3C en 2008.

Jérôme Fachon est membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec, formateur agréé en technique routière auprès d'emploi-Québec et est citoyen canadien depuis septembre 2009. ■



Remise de la bourse Bitume Québec à François Perron-Drolet par M. Renald Leclerc, Président de Bitume Québec

BOURSE DE BITUME QUÉBEC

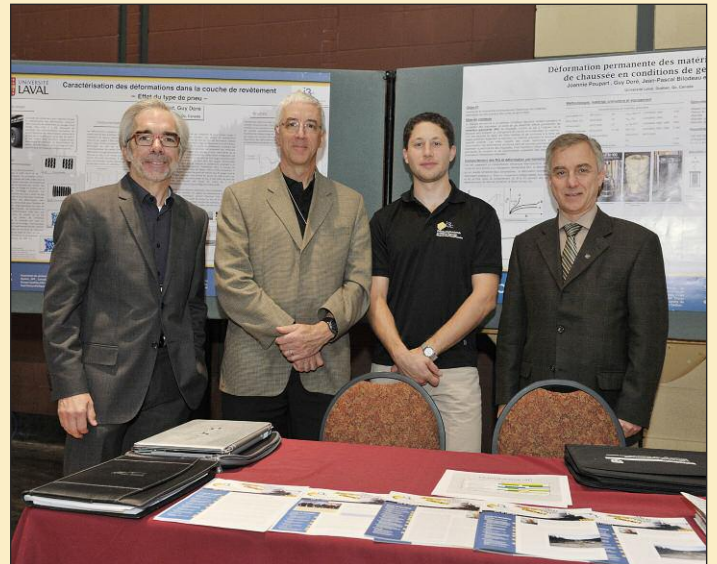
Dans le cadre de son 8^e congrès annuel qui a lieu le 22 mars 2012, Bitume Québec a attribué des bourses de 2000 \$ à des étudiants afin de promouvoir le développement professionnel au sein de l'industrie du bitume et des enrobés bitumineux. François Perron-Drolet fut l'un des récipiendaires pour son projet de maîtrise effectué au sein de la Chaire de recherche i3C à l'Université Laval. Son projet porte sur les impacts futurs des changements climatiques sur les structures de chaussée, plus précisément sur l'impact de l'augmentation des températures moyennes hivernales. Cette augmentation causera notamment un changement significatif des épisodes de cycles de gel et de dégel partiels en période hivernale. Le but de ce projet est de quantifier l'endommagement créé par ce changement et d'identifier des solutions d'adaptation possible.

Bitume Québec est une association à but non lucratif regroupant des fournisseurs et utilisateurs de bitume au Québec. Elle a pour objectif de promouvoir les bonnes pratiques de mise en œuvre, d'entretien et de réhabilitation des chaussées en enrobés bitumineux. Ainsi, l'Association diffuse les dernières informations techniques, économiques et environnementales relatives à la construction des chaussées en enrobés.

L'ÉVÈNEMENT FORUM FORCE LAVAL

Le 12 octobre 2011 s'est tenu la 3^e Forum Force-Laval sur le thème de la diffusion des résultats de recherche auprès du grand public. L'évènement se veut de regrouper une fois l'an les partenaires et titulaires de chaires en partenariat, ainsi que représentants de la direction et du développement de la recherche de l'Université Laval.

À l'occasion du Forum, des outils de communication développés pour le grand public dans le cadre des chaires sont aussi présentés dans des kiosques mis à la disposition des titulaires des chaires.



Le kiosque de la Chaire de recherche i3C a permis de présenter quelques projets en cours. Sur la photo : Pierre Perron, coordonnateur Chaire i3C; Guy Doré, titulaire de la Chaire i3C, Damien Grellet, étudiant au doctorat de la Chaire i3C; Pierre Gauthier, ville de Québec, représentant partenaire de la Chaire i3C.

VISITE DES BUREAUX DE BPR

Visite des bureaux de BPR le 23 février 2012 par les étudiants du second et troisième cycle (maîtrise et doctorat) et de collaborateurs à la Chaire de recherche i3C du Département de génie civil de l'Université Laval. Cette visite a été rendu possible avec la collaboration de Paul Bernier chez BPR.



PARTENAIRES

ACTUALITÉS

ACTIVITÉ DE LA SOCIÉTÉ CANADIENNE DE GÉOTECHNIQUE

CONFÉRENCIERS :

Félix Gaumond, Joannie Poupart, Catherine Savoie, Jonas Depatie, étudiants à la maîtrise à la Chaire i3C et en ingénierie nordique

Le but de cette conférence tenue le 17 novembre 2011 était de présenter une synthèse du cours sur l'ingénierie du pergélisol appliqué aux infrastructures de transport reçu au Yukon College qui vise à améliorer les connaissances dans le domaine du transport en régions nordiques.



Sur la photo: Félix Gaumond, étudiant à la maîtrise en ingénierie nordique; Didier Perret, Ressource naturelles Canada et directeur de la section Est du Québec de la Société canadienne de géotechnique ; Joannie Poupart, étudiante à la maîtrise de la Chaire i3C; Catherine Savoie, étudiante à la maîtrise de la Chaire i3C; Jonas Depatie, étudiant à la maîtrise de la Chaire i3C; Denis Lessard, MTQ et président de la section Est du Québec de la Société canadienne de géotechnique

VISITE D'UN CHANTIER DU MTQ POSE D'UN REVÊTEMENT DE BÉTON



Visite d'un chantier de travaux de l'autoroute tenue le 7 septembre 2011.

Sur la photo les étudiants du second et troisième cycle (maîtrise et doctorat) et de collaborateurs à la Chaire de recherche i3C du Département de génie civil de l'Université Laval. Cette visite a été rendu possible avec la collaboration de Denis Thébeau du MTQ.

RESPONSABLE
Guy Doré, ing. PhD

ÉDITION
Pierre Perron, ing.

COLLABORATEURS INGÉNIEURS :

Jonas Depatie
Jérôme Fachon
Louis Gagnon
Damien Grellet
Joannie Poupart
Catherine Savoie
Maxime Villeneuve

POUR NOUS JOINDRE :

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

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

<http://i3C.gci.ulaval.ca>

