



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

AIRE DE
CONTACT



BULLETIN **AIRE DE CONTACT**

En route vers des solutions durables !

NUMÉRO 3 • PRINTEMPS 2010

DANS CE NUMÉRO

ÉVOLUTION DES PROJETS DE RECHERCHE

PROJET 1A-2

Estimation du module réversible des matériaux granulaires de chaussées

P2

PROJET 2B-2

Conception et réhabilitation de chaussées municipales

P2

PROJET 2A-2

Caractéristiques des pneus et endommagement des chaussées

P3

PROJET DE DRAINAGE 1B-1

Drainage de chaussées

P4

PROJET DE DÉMARRAGE 2B-1

Estimation des déformations aux interfaces critiques d'une chaussée à l'aide d'essais de déflexion

P4

PROJET DE DÉMARRAGE 1A-3

Étude des effets des matériaux géosynthétiques sur la drainabilité et la récupération mécanique des matériaux recyclés

P5

PROJET DE DÉMARRAGE 2B-2

Développement et intégration d'un facteur de risque de soulèvement différentiel en contexte nordique dans une nouvelle approche rationnelle de conception de chaussées municipales

P5

PROJET DE DÉMARRAGE 3.1

Étude de l'effet des chaussées dégradées sur la consommation de carburant des véhicules et la sécurité des usagers de la route

P5

ACTUALITÉS

Participation de l'équipe au congrès de l'AQTR 2010

P6

Remise de prix lors du Congrès annuel de l'AQTR

Remise de prix lors du congrès annuel de Bitume Québec

LES PREMIERS PRODUITS DE RECHERCHE 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 (Chaire i3C) a atteint sa vitesse de croisière après plus d'un an de travail et de collaboration entre les chercheurs de la Chaire et ses partenaires. Le mode de gestion basé sur des échanges périodiques entre les chercheurs et les partenaires de la Chaire semble porter fruit. Ainsi, les partenaires ont l'opportunité de faire des commentaires et des suggestions sur l'orientation du programme de recherche ainsi que sur la mise en œuvre des résultats de recherche lors de réunions périodiques. De plus des groupes restreints de représentants de partenaires (Comités de suivi de projets) ont l'occasion d'interagir directement avec les chercheurs dans le cadre de projets spécifiques. Cette collaboration fructueuse permet à la Chaire de produire au rythme escompté des résultats pratiques qui pourront être exploités à court terme par l'industrie.

La Chaire a ainsi permis le développement d'un modèle de prédiction du module réversible des matériaux granulaires de chaussée. Elle a également permis le développement d'un modèle de comportement visco-élastique des matériaux de chaussée. Ces deux produits sont en voie d'être intégrés dans un modèle de conception mécaniste-empirique des chaussées municipales qui permettra notamment la prise en compte de la vitesse de circulation dans le calcul des chaussées municipales. Une version d'essai de ce logiciel devrait être disponible au cours des prochains mois.

La Chaire a également permis aux chercheurs de faire une percée scientifique importante dans la mesure et l'analyse de l'effet des pneus (type de pneus et pression de gonflage) sur l'endommagement des chaussées. Parmi les produits de cette recherche, notons le développement d'instruments de mesure novateurs à base de fibre optique et le développement d'un logiciel d'analyse du signal lors du passage des charges lourdes. Ces développements devraient permettre à moyen terme d'améliorer les connaissances sur l'effet des pneus sur la chaussée et d'améliorer la réglementation sur le transport lourd.

Finalement, les travaux de la Chaire ont également permis de développer une méthode d'analyse du comportement en déformation permanente des matériaux

granulaires de chaussées. Cette méthode permettra d'étudier les facteurs qui permettent de réduire l'endommagement des matériaux granulaires sous l'effet des charges lourdes et du climat. Les travaux de recherche de la Chaire feront l'objet de trois publications lors de la conférence internationale sur les chaussées souples qui se tiendra au Japon en août 2010.

Le produit dont nous sommes cependant les plus fiers est la formation de nos deux premiers étudiants gradués spécialisés en mécanique de chaussée. Ces deux nouveaux experts ont rapidement été embauchés par une firme de génie conseil et contribueront à améliorer le niveau d'expertise en génie routier au Québec. Bonne chance à Alejandro et à Claudia dans leur nouvelle carrière!

Les travaux de la Chaire se poursuivent avec le démarrage de plusieurs nouveaux projets. En plus de la poursuite des études sur la déformation permanente des matériaux granulaires, des projets sur l'efficacité des systèmes de drainage des chaussées, sur l'action du gel sur les matériaux granulaires contaminés par les sels de déglacage ainsi que sur la caractérisation et le comportement mécanique des matériaux granulaires recyclés sont présentement en voie de démarrage. Un autre projet d'envergure sur l'effet des chaussées dégradées sur l'efficacité du transport routier est présentement en voie de démarrage. Quatre autres projets de moindre envergure sont également en cours de réalisation. Ces projets sont le développement d'un critère pour la vérification au gel des chaussées urbaines, l'étude de la possibilité d'améliorer le comportement des matériaux recyclés en place par l'utilisation de géosynthétiques, l'étude de l'effet de la dégradation de l'uni des chaussées sur la consommation d'essence et le développement d'un modèle simple pour estimer la déformation dans la chaussée à partir des bassins de déflexion.

Admirablement épaulée par un groupe de partenaires motivés, l'équipe de chercheurs de la Chaire i3C est en voie de relever le défi lancé lors de la soumission du projet il y a deux ans.

PROJET 1A-2

Estimation du module réversible des matériaux granulaires de chaussées.

CHARGÉE DE PROJET :

Claudia Andrea Mellizo Suarez

La réalisation de cette recherche a permis d'apprécier l'influence des propriétés des matériaux granulaires en relation avec le module réversible (M_R). Tout d'abord, la création d'un modèle avec des données typiques du Canada (Doucet et Doré 2004, Bilodeau 2009), et en particulier du Québec, qui inclut la granulométrie, la teneur en eau, la densité et l'état de contraintes, a mis en évidence un avancement dans le domaine de la conception des chaussées. Dans un premier temps, le modèle proposé estime le M_R à l'état saturé et, par la suite, une valeur ΔM_R est ajoutée pour estimer le M_R à un degré de saturation déterminé. Ainsi, dans la pratique, le modèle peut être utilisé en toutes saisons en faisant un lien avec le degré de saturation des matériaux granulaires.

Equation 1

Où M_R : module réversible (MPa)

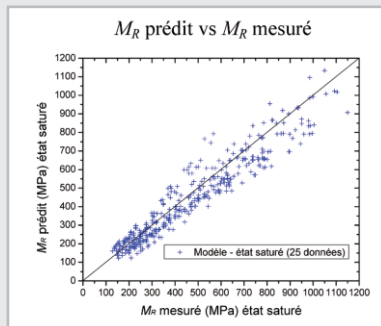
Θ : contrainte totale (kPa)

c_1s , c_2s : constantes de régression à l'état saturé

ΔM_R : l'augmentation du M_R pour le changement du degré de saturation (selon la méthode Bilodeau 2009).

Tableau SEQ Tableau * ARABIC \s 1 1 Équations c_1s , c_2s (état saturé), modèle ajusté.

Équation pour c_1s et c_2s	R^2
$c_1s = -8.97620 - 0.50796 \left(\frac{C_u}{n_f} \right) + 0.02717 * S_{at} + 7.72547 * \left(\frac{\rho_{dmax}}{\rho_d} \right) - 0.10661 * w + 0.16825 * w_{opt}$	0.7271
$c_2s = 672.47622 + 14.35277 * n - 6.21307 * n_c + 2.06996 * S_{at} + 0.25323 * \rho_{dmax} - 0.55721 * \rho_d - 27.53323 * w$	0.7978
Cu : Coefficient d'uniformité n : Porosité totale (%) n _f : Porosité de la fraction fine (%) n _c : Porosité de la fraction grossière (%) w _{opt} : Teneur en eau optimale (%)	w : Teneur en eau (%) ρ _{dmax} : Densité maximale (kg/m ³) ρ _d : Densité sèche (kg/m ³) S _{at} : Degré de Saturation (%)



PROJET 2B-2

Conception et réhabilitation de chaussées municipales

CHARGÉ DE PROJET :

Alejandro Quijano Murillas

Dans le cadre de ce projet, une méthode de calcul mécaniste-empirique pour la conception des chaussées municipales est proposée. Cette méthode est basée sur l'utilisation des modèles viscoélastiques pour la détermination de la réponse mécanique de la couche d'enrobé bitumineux et du sol d'infrastructure en fonction du temps d'application de la charge. L'intérêt de cette approche est la possibilité de prendre en considération l'effet de la vitesse de circulation qui est un facteur important à considérer dans un contexte de conception urbain. Pour l'évaluation de la réponse mécanique, la recherche a été axée sur le développement de modèles d'endommagement spécifiques au contexte d'exploitation municipal en prenant notamment en considération les effets saisonniers.

Des essais de laboratoire et de terrain ont permis d'identifier trois comportements viscoélastiques différents en fonction du type de sol d'infrastructure (Figure 1). La méthode de conception développée en tient compte en normalisant les modules par rapport à un module de référence (temps de chargement de 0,05 s)

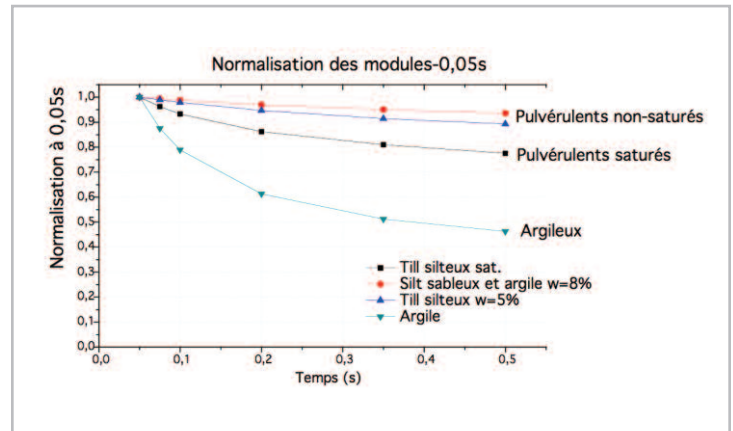


Figure 1)

Normalisation des modules – 0.05s

Étant donné que les fluctuations climatiques et la nature des sols en place sont des facteurs majeurs pour la répartition annuelle de l'endommagement de la chaussée, la méthode de conception proposée prend en considération les dommages propres à chaque période de l'année (début dégel, fin dégel, été, automne et hiver). La méthode de conception mis en place dans ce projet, considère une analyse saisonnière des modules pour chaque type de matériau. La méthode nécessite seulement, comme valeur d'entrée, la valeur estivale du module pour les matériaux granulaires et pour le sol d'infrastructure choisis. Les valeurs des modules pour les autres périodes de l'année sont déduites de la valeur estivale par la mise en application des coefficients saisonniers issus de la base des données MnPave.

PROJET 2A-2

Caractéristiques des pneus et endommagement des chaussées

CHARGÉ DE PROJET : Damien Grellet

L'analyse de l'endommagement d'une chaussée sous des passages de charges lourdes n'est possible qu'au travers la connaissance de la répartition des déformations engendrées dans la structure de chaussée lors d'un de ces passages.

Au cours de l'été 2009, l'installation d'une plaque en polyphénylène, munie de vingt quatre jauges à fibre optique a permis cette caractérisation suivant deux directions. La première étant transversalement placée à la direction de roulement à deux profondeurs dans la couche de revêtement (proche de la surface et au bas de la couche). La seconde étant verticale et proche de la surface. L'évolution de la déformation au passage du pneu est ainsi connue avec une grande précision.

La figure 1 illustre les trois types signaux obtenus. À partir de ces signaux, la valeur maximale de la déformation est relevée pour chaque essieu et connaissant la position de la jauge sous le pneu, le tracé de chacun des bassins est réalisé comme illustrée à la figure 2. Les essais ont été réalisés à la fois pour des pneus jumelés et des pneus à bandes larges sous trois pressions différentes (120 Psi, 100 Psi et 80 Psi). Seuls les bassins pour la pression de 100 Psi sont représentés ici. Ces bassins ont mis en avant plusieurs éléments importants.

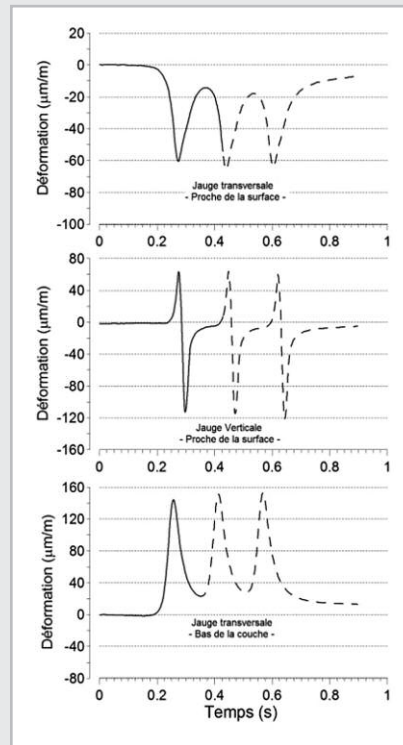


Figure 1)

Signaux caractéristiques obtenus avec la plaque de déformation

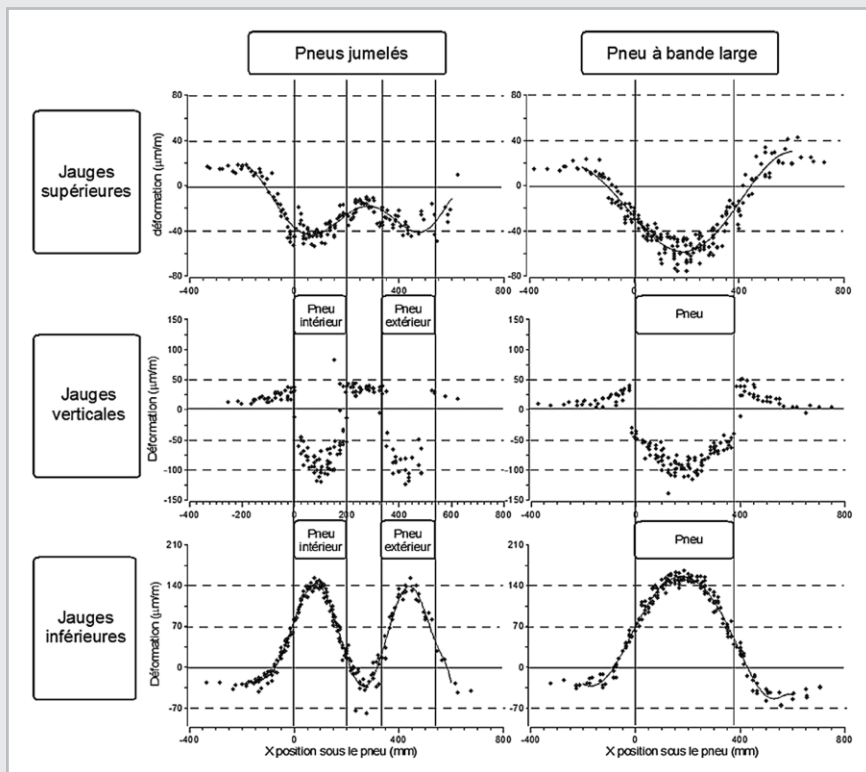


Figure 2)

Ensemble des bassins de déformations pour chaque type de pneu.

En premier lieu, au bas de la couche, il ressort qu'un effort de traction s'opère sous les pneus et qu'un autre de compression à l'extérieur de ces derniers. Phénomène inverse observé proche de la surface. Les jauges verticales mettent en avant un effort de cisaillement sous le pneu et plus particulièrement proche des arêtes. Les déformations, engendrées par un pneu à bandes larges, possèdent des amplitudes plus importantes compte tenue d'une zone plus restreinte pour la distribution de la charge. Cependant, la forme des bassins diffère en plusieurs points. Entre autres, l'espacement entre les deux pneus du jumelé soumet le matériau à des variations très importantes de la déformation.

Une analyse détaillée de ces signaux permettra de définir des critères d'endommagement de la chaussée et d'évaluer l'impact de chaque type de pneu sur la structure et cela, pour les différentes pressions. Ces données, obtenues sur une section ayant 100 mm d'enrobé bitumeux, seront complétées grâce à une nouvelle campagne d'essais qui aura lieu sur la section de 200 mm d'épaisseur, au cours de l'été 2010.

PROJET DE DRAINAGE 1B-1

Drainage de chaussées

CHARGÉE DE PROJET : Catherine Savoie,
Étudiante à la maîtrise en génie civil

Le projet s'inscrit dans le cadre du thème de recherche 1 (Comportement des matériaux et des structures de chaussées) de la Chaire de recherche industrielle du CRSNG sur l'interaction Charges lourdes - Climat - Chaussées (Chaire i3C). Il consiste à étudier l'effet de l'ajout de géocomposites drainants dans la chaussée pour en améliorer le drainage et le comportement mécanique. Une phase préliminaire a été réalisée à l'hiver 2010 et des travaux de terrain de grande envergure auront lieu en 2011.

Un modèle de laboratoire représentant une section de route a été mis en place afin d'obtenir des données précises sur les comportements hydrique et mécanique du système en conditions contrôlées. Pour ce faire, une cuve de 1,2 mètre de diamètre par 1,3 mètre de hauteur a servi à reproduire la section de route (photos 1 et 2). Un système en quatre couches incluant un sol d'infrastructure (till), une sous-fondation (sable), une fondation (MG-20) et un revêtement (enrobé bitumineux) a été reproduit dans la cuve pour recréer de manière réaliste la section de chaussée (photo 3).

À l'heure actuelle, deux essais ont été réalisés dans le cadre de cette phase préliminaire. Le premier, l'essai témoin, est un essai où la cuve a été inondée, pour ensuite suivre le taux de drainage de la cuve grâce à la présence de différents capteurs installés dans les couches et d'un piézomètre placé dans la couche inférieure. Durant la période de drainage, la réponse mécanique du système a été mesurée à l'aide d'un déflectomètre portable. En ce qui concerne le deuxième essai, l'ajout d'un géocomposite drainant sur les parois de la cuve a permis d'évaluer l'efficacité d'un système de type « écran de rive » pour activer le drainage et la récupération mécanique de la chaussée. En notant l'évolution du drainage et de la réponse mécanique, il a été possible d'estimer à 5% le gain de capacité portante, en termes d'évolution d'un module relatif, lié à l'utilisation d'un écran de rive. De plus, l'utilisation de la couche drainante en géocomposite a permis de doubler le taux de drainage dans les couches granulaires dans les premières heures d'essais.

Le projet restreint servira à la préparation d'un projet d'envergure qui sera réalisé sur une chaussée en vraie grandeur dans la fosse du SERUL à la Forêt Montmorency à compter du printemps 2011. Ce projet servira à évaluer l'efficacité de différents dispositifs de drainage, placés à différentes positions, et installés dans une chaussée expérimentale en vraie grandeur construite dans une fosse de béton permettant le contrôle de la nappe phréatique dans la chaussée. Deux types de structures de chaussées seront étudiées, soit une construite avec des matériaux granulaires nobles et une construite avec des matériaux recyclés. Les conditions hydriques et la récupération mécanique de la chaussée seront mesurées lors de cet essai à l'aide de capteurs de teneur en eau et de succion ainsi qu'à l'aide d'un déflectomètre. Les essais avec le modèle de laboratoire se poursuivront conjointement avec les essais au SERUL.

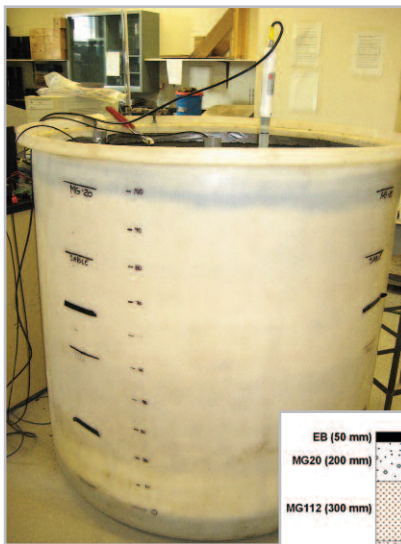


Photo 1)

Photo 2)

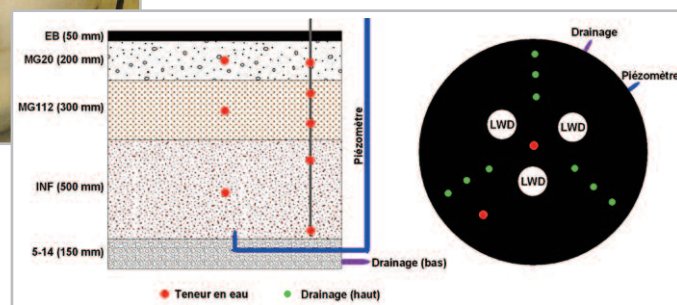


Photo 3)

PROJET DE DÉMARRAGE 2B-1

Estimation des déformations aux interfaces critiques d'une chaussée à l'aide d'essais de déflexion

CHARGÉ DE PROJET : Sébastien Wurckler

Le projet vise à développer des indicateurs avancés de la condition structurale des chaussées basés sur l'analyse des bassins de déflexion obtenus d'essais au déflectomètre à masse tombante. Les résultats ont été obtenus sur des planches expérimentales contrôlées, équipées avec des jauges à fibres optiques situées à divers niveaux dans la structure de chaussée pour mesurer la déformation en traction à la base du revêtement et la déformation verticale au sommet du sol d'infrastructure. Le projet fera intervenir des notions statistiques sur la corrélation et la régression afin de développer les indicateurs.

Une première étape de revue littéraire permet de se familiariser avec l'analyse des signaux et des bassins de déflexion obtenus à l'aide du déflectomètre à masse tombante (FWD). Il est important de connaître les mécanismes de déformation des systèmes multicouches ainsi que les modèles existants sur la prédiction de la déformation à divers niveaux dans les chaussées afin de comprendre le fonctionnement du déflectomètre à masse tombante.

La seconde étape est la réalisation des analyses et des développements des modèles en créant une base de données à partir d'un logiciel de modélisation par éléments finis. Les valeurs recueillies à l'aide de cette modélisation sont ensuite comparées aux signaux des jauges de déformation installées au site expérimental routier de l'université Laval (SERUL), afin de valider les modèles d'estimation de la déformation en traction à la base du revêtement et en compression au sommet du sol d'infrastructure.

PROJET DE DÉMARRAGE 1A-3

Étude des effets des matériaux géosynthétiques sur la drainabilité et la récupération mécanique des matériaux recyclés

CHARGÉ DE PROJET : *Fabrice Dalmasso*

Les procédés de construction et d'entretien des routes nécessitent des volumes énormes de liants et de granulats tout en produisant, en même temps, des matériaux qui ont traditionnellement été traités comme des déchets. Cependant, étant donné la préoccupation relative à l'utilisation de ressources non renouvelables, et l'élimination des déchets, le recyclage des matériaux est une option de plus en plus importante à envisager pour répondre à un objectif de développement durable. Une des solutions est le retraitement en place des chaussées. Mon travail de recherche se fonde sur l'étude du comportement des matériaux recyclés après un procédé de retraitement en place pour envisager une bonification de celui-ci à travers la solution des géosynthétiques.

Cette bonification par les géosynthétiques a été réalisée à travers une approche mécanique de renforcement par géosynthétiques dans le but d'améliorer la capacité portante des matériaux recyclés et d'atténuer les effets différentiels tel que le tassement et le soulèvement. Une seconde approche s'est révélée nécessaire pour étudier la drainabilité. Ainsi 3 méthodes de conceptions ont été analysées pour réduire les entrées d'eau dans la structure et diminuer l'effet des cycles de gel-dégel. (Imperméabilisation en surface, drain de rive et interception de la remontée capillaire).

Pour appuyer cette étude théorique une série de mesure sera réalisée sur le site de la Ville de St-Hyacinthe. L'objectif étant de quantifier la variabilité des caractéristiques physiques et de la réponse mécanique des matériaux recyclés non stabilisés produits par retraitement en place. Et ainsi obtenir des données de référence en vue de la bonification par les géosynthétiques. Ce projet a été réalisé en collaboration avec la Ville de St-Hyacinthe, SAGÉOS et la Chaire i3C de l'Université Laval.

PROJET DE DÉMARRAGE 2B-2

Développement et intégration d'un facteur de risque de soulèvement différentiel en contexte nordique dans une nouvelle approche rationnelle de conception de chaussées municipales

CHARGÉ DE PROJET : *Nicolas Farcette*

Aujourd'hui, les méthodes de conception des chaussées ont été développées en fonction des besoins des grandes administrations routières. Dans la plupart des cas, les approches sont fondées sur des situations de routes à fort débit en milieu rural. Ces méthodes sont donc mal adaptées aux situations de routes municipales (artères municipales, rues résidentielles et chemins municipaux) à faible vitesse et/ou à faible débit de circulation. De plus, la présence de nombreuses contraintes, comme les bordures, les regards et les tranchées de service, qui ont un fort impact sur le comportement des chaussées municipales, sont très rarement considérées lors du dimensionnement structural.

Le projet de fin d'études que j'entreprends s'inscrit dans cette problématique et vise à intégrer et à adapter une méthode de prédiction du soulèvement des structures de chaussées dans le but de compléter une nouvelle méthode de dimensionnement des structures de chaussées municipales. Il consiste à prendre en compte la variabilité des sols d'infrastructures dans la conception des chaussées municipales afin d'étudier celle-ci en termes de comportement de structure face aux sollicitations imposées par le gel.

La première étape du projet consiste à établir une revue littéraire sur la géotechnique des régions froides afin de définir et d'expliquer les problèmes liés aux soulèvements différentiels.

La deuxième étape vise à intégrer les techniques de prédictions au gel dans les chaussées et d'intégrer des techniques d'analyse du risque en fonction de la variabilité des sols et des contextes de conception.

L'objectif principale est de quantifier une valeur de soulèvement admissible à partir de laquelle il sera envisageable de dimensionner une chaussée.

PROJET DE DÉMARRAGE 3.1

Étude de l'effet des chaussées dégradées sur la consommation de carburant des véhicules.

CHARGÉ DE PROJET : *Vincent Drouot*

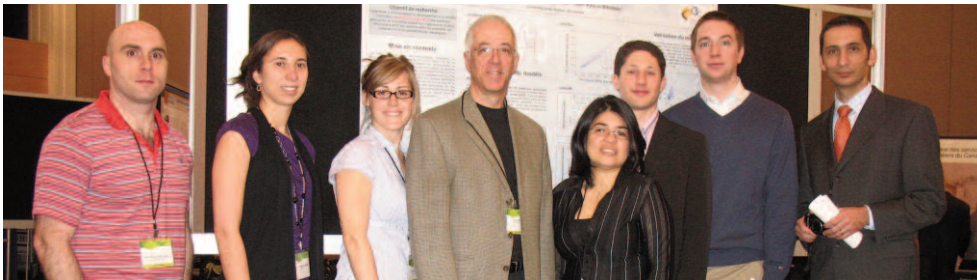
Le projet vise à étudier de façon théorique l'effet de la dégradation des chaussées, en termes d'uni routier, sur la consommation de carburant des véhicules et la sécurité des usagers.

Une revue littéraire vient débiter le projet, ce qui permet de se familiariser avec les paramètres préjudiciables à la consommation de carburant des véhicules, telles que la condition de la chaussée (uni routier, longueur d'ondes critiques de déformation, etc.) et l'énergie nécessaire au roulement.

La suite du projet est portée sur des simulations dynamiques du comportement d'un véhicule à l'aide des logiciels d'analyse CARSIM et PROVAL. Des profils théoriques de surface de chaussées (générés sur ordinateur) et réels (fournis par le MTQ) sont analysés dans les logiciels, comparés et interprétés, en termes d'uni de la chaussée, de consommation de carburant et d'émissions de gaz à effet de serre, et d'énergie nécessaire au roulement.

PARTENAIRES

ACTUALITÉS



PARTICIPATION DE L'ÉQUIPE AU CONGRÈS DE L'AQTR 2010

Lors de son congrès annuel 2010, l'AQTR a offert un espace aux étudiants pour exposer leurs travaux sous la forme de « Poster session ». Sur la photo, on reconnaît Jean-Pascal Bilodeau, professionnel de recherche et les étudiants/étudiantes : Julie Bonenfant, Joannie Poupart, Guy Doré, Claudia Andrea Mellizo, Damien Grellet, Alban Ficheur et Alejandro Quijano Murillas.

REMISE DE PRIX LORS DU CONGRÈS ANNUEL DE BITUME QUÉBEC

Le 25 mars 2010, au Château Bromont, dans le cadre du 6^e Congrès annuel de Bitume Québec, monsieur Alejandro Quijano Murillas, étudiant à la maîtrise et chercheur à la Chaire de recherche industrielle CRSNG sur l'interaction des charges lourdes, le climat et les chaussées, a reçu la Bourse d'études Shell 2010. Ce prix a été remis par M. Gaëtan Poirier des Produits Shell Bitumes.

REMISE DE PRIX LORS DU CONGRÈS ANNUEL DE L'AQTR



Le 30 mars 2010, lors du 45^e Congrès annuel de l'AQTR, monsieur Quijano Murillas, a reçu une bourse donnée par l'Association québécoise du transport et des routes (AQTR) et par le Comité québécois de l'Association mondiale de la route (AIPCR).

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.,
Catherine Savoie

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>

