

# routes et transports

PUBLICATION DE L'ASSOCIATION QUÉBÉCOISE DES TRANSPORTS

VOL 49 NUM 1, PRINTEMPS 2020

Retrouvez Orange Traffic à la page 84

**Orange**traffic+

## Infrastructures Aménagements Technologies

**INFRASTRUCTURES** : ANALYSE DU CYCLE DE VIE, MATÉRIAUX INNOVANTS ... sur la voie d'un développement plus durable

**AMÉNAGEMENTS** : CRÉER DES ESPACES CONVIVIAUX DÉDIÉS AUX CYCLISTES ET PIÉTONS ... incitatif pour le transport actif et multimodal

**TECHNOLOGIES** : LA GESTION ET L'ANALYSE DES DONNÉES ... la clé d'un trésor inestimable

**AQTr**

L'expertise en transport

# exo mon réseau

En 2017, 14 réseaux de transport collectif ont été regroupés sous la bannière exo afin d'améliorer la cohérence des services de trains, d'autobus et de transport adapté dans les couronnes nord et sud de Montréal.

Exo, c'est **237 lignes d'autobus**, **6 lignes de trains** et **60 lignes de taxibus**. Résolument tourné vers l'avenir et l'innovation, exo s'engage à offrir des déplacements efficaces, à la hauteur des attentes de la clientèle.

C'est dans ce contexte qu'exo a lancé un programme de refonte des services d'autobus. Plusieurs secteurs seront repensés au cours des prochaines années pour offrir de nouvelles options de déplacement et améliorer l'expérience de mobilité.



## Bâtissons le réseau de demain !

Pour connaître tous les détails, visitez [exo.quebec/monreseau](http://exo.quebec/monreseau).



# routes et transports

PUBLICATION DE L'ASSOCIATION QUÉBÉCOISE DES TRANSPORTS

VOL 49 NUM 1, PRINTEMPS 2020

## Infrastructures, Aménagements, Technologies

Mot de la direction p.6-7, La revue en un coup d'œil p.8, Les experts de ce numéro p.10, Le tour de table p.14, Nouvelles de l'AQTr p.15, Focus p.104, Le cahier *START-UP* p.108, Bulletin de l'AIPCR p.112, L'aparté avec Asymptote p.124



### Québec

#### UN NOUVEAU CHAPITRE POUR YUL AÉROPORT INTERNATIONAL MONTRÉAL-TRUDEAU ET SA MÉTROPOLE

Pierre Loyer  
*Aéroports de Montréal*  
Page 19

#### VALIDATION DES TECHNOLOGIES DE COMPTAGES DES VÉHICULES À L'ENTRÉE D'UN STATIONNEMENT : UNE DÉMARCHE AXÉE SUR LA CONSULTATION ET LA CONCERTATION

Étienne Beauchamp, Nicolas Saunier,  
Hamzeh Alizadeh et Mohsen Nazem  
*Polytechnique Montréal et exo*  
Page 24

#### BILAN DE PLUS DE 10 ANS D'UTILISATION DE LA THERMOGRAPHIE ET DES VTM AU MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC

Martin Lavoie  
*Ministère des Transports du Québec*  
Page 31

#### L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE : UN OUTIL CLÉ POUR ÉVALUER LA PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DES CHAUSSÉES

Charles Thibodeau  
*CT Consultant*  
Page 36

#### AMÉNAGER POUR LES PIÉTONS ET LES CYCLISTES

Marc Jolicoeur  
*Vélo Québec*  
Page 42

#### DES SYSTÈMES DE BIORÉTENTION SUR L'AVENUE PAPINEAU : UNE GESTION ÉCOLOGIQUE DE L'EAU DE PLUIE PAR LES PLANTES, EN ROUTE VERS LA « VILLE ÉPONGE »

Guy Trudel et David Courchesne  
*Ville de Montréal et Les Services EXP.*  
Page 47

## ET SI LE SECTEUR FERROVIAIRE POUVAIT EXPLOITER AU MAXIMUM LES DONNÉES?

James Salvolainen et Jordan Daniels

WSP

Page 52

## IMPACTS ON THE SAFETY AND ENVIRONMENT OF AUTONOMOUS VEHICLES IN QUEBEC: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

Arash Mazaheri and Ciprian Alecsandru

Gina Cody School of Engineering and Computer Science, University of Concordia

Page 59

## TRANSPORTS INTELLIGENTS ET DONNÉES PERSONNELLES : COMMENT PROTÉGER LA VIE PRIVÉE SUR UNE VOIE PUBLIQUE DE PLUS EN PLUS CONNECTÉE?

Selma Coban et Marc-Kevin Daoust

Ministère des Transports du Québec et Commission de l'éthique en science et en technologie

Page 65

## UTILISATION DE MATÉRIAUX INNOVANTS DANS LES PONTS

Étienne Cantin Bellemare

Ville de Montréal

Page 73

## DURÉE DE VIE DES TABLIERS DE PONTS EXPOSÉS AUX SELS DE DÉGLAÇAGE : RÉTROSPECTIVE SUR LES STRUCTURES DE PJCCI

Soufyane Loubar

Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée

Page 78



## Canada

### TORONTO'S CYCLE TRACKS AND SAFETY BENEFITS

Marie-Soleil Cloutier, Andrew Howard, Rebecca Ling, Colin Macarthur et Linda Rothman

Hospital for Sick Children et Ryerson University et Institut National de la Recherche Scientifique

Page 87



## France

### DE L'IMPORTANCE DE LA REPRÉSENTATION DES ESPACES DE TRAVERSÉE DE RUE PAR LES PIÉTONS

Marie-Axelle Granié

IFSTAR-TS2-LESCOT

Page 93



## Nouvelle-Zélande

### AUTOMATED CLASH DETECTION: A SIGNIFICANT STEP FORWARD FOR RAIL INFRASTRUCTURE PROJECTS

Josh Symonds

Arup

Page 99

## RÉDACTRICE EN CHEF

Rafika Lassel

## AUTEURS

Ciprian Alecsandru – Université Concordia  
Hamzeh Alizadeh – exo  
Étienne Beauchamp – Polytechnique Montréal  
David Beauséjour – Citadel  
Étienne Cantin Bellemare – Ville de Montréal  
Frédéric Bove – PROMPT  
Claude Carette – AIPCR-Québec  
Marie-Soleil Cloutier – Institut National de la Recherche Scientifique  
Selma Coban – Ministère des Transports du Québec  
David Courchesne – Les Services EXP.  
Jordan Daniels – WSP  
Marc-Kevin Daoust – Commission de l'éthique en science et en technologie  
Lise Fournier – Ministère des Transports du Québec  
Mathieu Fournier – Citadel  
Marie-Axelle Granié – Ifsttar – TS2-LESCOT  
Andrew Howard – Hospital for Sick Children  
Dardan Isufi – Eva  
Mathieu Jacques – École de technologie supérieure  
Marc Jolicoeur – Vélo Québec  
Martin Lavoie – Ministère des Transports du Québec  
Soufyane Loubar – Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
Rebecca Ling – Hospital for Sick Children Research Institute  
Pierre Loyer – Aéroports de Montréal  
Colin Macarthur – Hospital for Sick Children Research Institute  
Arash Mazaheri – Université Concordia  
Mohsen Nazem – exo  
Mélissa Plante – Vélo-Transit  
Barbara Pouliot – Ministère des Transports du Québec  
Linda Rothman – Ryerson University  
James Salvolaïnen – WSP  
Nicolas Saunier – Polytechnique Montréal  
Josh Symonds – Arup  
Marie-France Tessier – Parallèle 54 expert conseil  
Charles Thibodeau – CT Consultant  
Guy Trudel – Ville de Montréal  
Jessica Vibert – Ministère des Transports du Québec

## RECHERCHE DE COLLABORATEURS ET D'AUTEURS

Laszlo Dankovics, Rafika Lassel, Ramaji Tombor, Gabriel Laurin,  
Anne-Julie Robitaille, Sophie Gaudreau et Tatiana Wangler

## COORDINATION

Sophie Gaudreau et Tatiana Wangler

## MONTAGE GRAPHIQUE

Nadia Béliveau

## RÉVISION LINGUISTIQUE

Sophie Gaudreau et ER Translations

## ORIENTATION

Publiée deux fois par an, la revue routes et transports s'adresse à tous ceux qu'intéresse le domaine du transport. Sa liste de distribution comprend des représentants des autorités gouvernementales, paragonnementales et municipales, des entreprises privées, des bibliothèques, des institutions d'enseignement, des médias, de même que tous les membres de l'AQTr.

Les opinions exprimées dans la revue routes et transports n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions de l'Association québécoise des transports. Tous les articles de routes et transports peuvent être reproduits sans autorisation, à condition d'en mentionner la source et de faire parvenir un exemplaire de la publication au secrétariat de l'Association québécoise des transports.

## ABONNEMENT

L'abonnement annuel est de 50 \$ + taxes pour le Canada et pour les autres pays. Frais d'expéditions en sus. Prière de s'adresser au secrétariat de l'AQTr.

## ÉDITEUR

Martin Latulippe, président-directeur général de l'AQTr par intérim

## PUBLICITÉ

Anne-Julie Robitaille : 514 523-6444, poste 313

## IMPRIMERIE

Imprimerie l'Empreinte

## INDEXÉE PAR REPÈRE

Dépôt légal, Bibliothèque nationale du Canada, ISSN 0319-3780

## ENVOI DE PUBLICATION

Poste-publications  
Convention n° : 40038871  
Port de retour garanti

## GRANDS PARTENAIRES



## PARTENAIRES PRIVILÈGE



## PARTENAIRES PRESTIGE

YUL Aéroport International Montréal-Trudeau, Bombardier Transport, Englobe Corp., Les Services Exp. Inc., Norda Stelo Inc., Société de transport de Montréal (STM), Tetra Tech, Réseau de transport de la Capitale (RTC), Ville de Québec



Partenaire principal de l'AQTr

## PARUTIONS 2020

	Thèmes	Parution
<b>VOL. 49 N°1</b>	Infrastructures - Aménagements - Technologies	Printemps 2020
<b>VOL. 49 N°2</b>	Gouvernance - Mobilité - Technologies	Automne 2020

### Articles

Nous attendons vos propositions d'articles. Pour connaître les dates de remise des textes, veuillez consulter notre site Web à AQTr.com.

### Publicité

Pour réserver votre espace publicitaire et offrir une visibilité incomparable à votre entreprise, contactez Anne-Julie Robitaille au 514 523-6444, poste 313.

### Profil d'entreprise

Faites connaître votre entreprise en réservant le prochain Profil d'entreprise, un publiereportage comprenant deux pages de contenu rédactionnel.

### Des nouvelles de nos partenaires

Faites-nous connaître vos dernières réalisations. Contactez-nous à communication@AQTr.com.

### Suggestions

Faites parvenir vos suggestions à communication@AQTr.com



## Mot de la direction

Nous sommes fiers de vous présenter la toute nouvelle édition de la revue *routes et transports* consacrée aux thèmes de l'aménagement, des infrastructures et des technologies. Tout comme pour le 55e Congrès et Salon des transports de l'AQTr *Le transport au cœur des écosystèmes*, la revue réunit des experts issus d'horizons variés qui partagent leurs connaissances, leur savoir-faire et le fruit de leurs recherches sur des enjeux de l'heure. À travers un choix d'articles d'actualité d'ici et d'ailleurs, nous vous proposons de découvrir des projets sur des sujets tels que la protection et l'utilisation des données, l'analyse et la gestion de cycle de vie des infrastructures, les aménagements pour piétons et cyclistes, le REM, la gestion des eaux pluviales, l'analyse de la sécurité entourant les véhicules autonomes et leur impact sur l'environnement et plus encore...

La revue *routes et transports* réserve également une place de choix aux projets et aux belles initiatives en transport avec son cahier Start-up dédié à mettre en lumière l'ingéniosité et les innovations des jeunes entreprises et la section Focus qui souligne des initiatives inspirantes tout en nous rappelant que le domaine des transports est en perpétuelle évolution.

Nous remercions chaleureusement tous les auteurs pour leur généreuse contribution et espérons que ce numéro saura vous plaire.

Bonne lecture!

### MICHEL VEILLEUX

Président du conseil d'administration de  
l'Association québécoise des transports

### MARTIN LATULIPPE

Président-directeur général par intérim de  
l'Association québécoise des transports





## Départ de Dominique Lacoste

**L'AQTr et son conseil d'administration souhaitent remercier chaleureusement Mme Dominique Lacoste pour son engagement, son leadership et son immense contribution au développement de l'Association.**

Ingénieure de formation, Mme Lacoste a fait ses débuts à l'AQTr de 1997 à 2000 à titre de coordonnatrice puis directrice technique. En 2003, elle y revient, cette fois à titre de directrice générale. En 2008, elle est nommée présidente-directrice générale et poursuit son travail pour faire rayonner l'AQTr et accroître sa notoriété, autant au Québec que sur la scène internationale.

Dès son arrivée en poste en 2003, Mme Lacoste s'est donné comme mission d'assurer la pérennité financière de l'AQTr, ce qu'elle a réussi avec brio. Sous sa gouverne, les revenus de l'Association ont augmenté de façon exponentielle, frôlant aujourd'hui les 6 M\$. Cette santé financière a d'ailleurs permis à l'AQTr d'atteindre son objectif de créer un fonds de réserve de 15 % du budget annuel.

Sous son impulsion, de nombreuses réalisations ont été livrées et un vaste réseau de partenaires mis en place. Elle a notamment renforcé le partenariat avec le ministère des Transports du Québec qui est devenu le Partenaire principal de l'AQTr sous sa gouverne. En 2007, elle a positionné l'AQTr comme leader en formation en mettant sur pied le centre de formation Transform, qui forme maintenant près de 6 000 personnes par an. Elle a également structuré et mis en place le programme de reconnaissance des écoles de conduite, l'AQTr ayant été mandatée par la Société de l'assurance automobile du Québec, pour assurer l'encadrement des écoles de conduite. Une autre de ses réalisations importantes aura été le développement de l'axe international, en obtenant le tout premier mandat pour le développement et l'implantation

d'un programme de formation de moniteurs pour les apprentis conducteurs en Côte d'Ivoire, en remportant un appel d'offres international. Une première dans l'histoire de l'AQTr.

La transmission des connaissances et le développement des savoir-faire ont toujours été au cœur de la mission de l'AQTr, et les membres ont toujours été au centre de ses préoccupations, via notamment les tables d'expertise. Mme Lacoste a été, tout au long de son mandat, une visionnaire en réalisant une vaste refonte du mode de fonctionnement des tables d'expertise et en proposant une large gamme d'activités innovantes et pertinentes pour le milieu qui ont su devenir des incontournables pour la communauté des transports : une dizaine de colloques par an, un congrès annuel regroupant de 700 à 1000 personnes, un Gala des grands prix qui souligne l'excellence des projets en transport et de nombreuses initiatives en direction de la relève pour créer des ponts indispensables entre les experts d'aujourd'hui et de demain.

Enfin, Mme Lacoste avait à cœur le bien-être de ses 60 employés. En mettant en place sa Politique de reconnaissance des employés, elle a su instaurer un sentiment d'appartenance et une atmosphère de travail réjouissante.

L'AQTr et son conseil d'administration sont reconnaissants de tout le travail, le professionnalisme et l'engagement dont a fait preuve Mme Lacoste au cours de ses 16 années passées à la tête de l'Association.

Merci Dominique!

# La revue en un coup d'œil

L'AQTr vous présente le monde

Cette édition de **routes et transports** rassemble des articles qui présentent des projets innovants en transport, réalisés au Québec et ailleurs dans le monde. Voici un aperçu.



## CANADA

Devant le nombre croissant de décès liés à la circulation impliquant des cyclistes, la Ville de Toronto a instauré différentes mesures telles que le Plan de sécurité « Vision Zéro » et un Plan de réseau cyclable. À lire en page 87.



## MONTREAL Canada

Il y a plus d'un an, Aéroports de Montréal dévoilait son programme de développement côté ville pour le site YUL, un des plus importants projets d'infrastructures privés au Québec. Apprenez-en plus en page 19.

## MONTREAL

Pour le réaménagement de l'avenue Papineau, la Ville de Montréal a mis en place des bassins de biorétention, une méthode innovante et plus verte pour la gestion des eaux pluviales. Un projet à découvrir en page 47.



## LE QUÉBEC

La venue des véhicules automatisés et connectés sur nos routes comporte plusieurs avantages, mais elle pose également de nombreux défis et enjeux. Les détails en page 65.





## FRANCE

Les piétons peuvent souvent faire preuve de témérité et leur comportement peut varier selon l'aménagement et l'environnement dans lequel ils se trouvent. Apprenez-en plus en page 93.



## NOUVELLE-ZÉLANDE

Les projets de réseau ferroviaire souterrain en zones urbaines constituent un véritable casse-tête pour les acteurs impliqués dans leur mise en œuvre. Toutefois, la méthode de détection automatique des collisions peut faciliter leur travail. À lire en page 99.



## CÔTE D'IVOIRE

En 2019, l'AQTr a développé et mis en place un programme national de formation à la conduite en Côte d'Ivoire...le premier programme de ce type à avoir été harmonisé à l'échelle nationale en Afrique de l'Ouest. Découvrez ce projet en page 15.

# routes et transports

VOL 49 NUM 1, PRINTEMPS 2020

## Les experts de ce numéro

Des projets majeurs, comme ceux présentés dans *routes et transports*, ne pourraient se réaliser sans l'apport d'experts qui en assurent le développement.

Découvrez le parcours de ces professionnels en consultant la présente section.



**CIPRIAN ALECSANDRU**  
Professor  
*University of Concordia*

Ciprian Alecsandru is an Associate Professor of Civil Engineering at the University of Concordia. He joined the Department of Building, Civil and Environmental Engineering in 2006. He earns his M.S. and Ph.D. degrees in Civil Engineering from Louisiana State University in 2003 and 2006, respectively. His research interests including but not limited to Traffic Simulation, Traffic Operations and Intelligent Transportation Systems. He has done remarkable projects in Quebec and the Country. He also has many publications and is Chapter Advisor of Quebec ITE Student Chapter.



**HAMZEH ALIZADEH**  
Conseiller expert  
Modélisation  
*exo*

Ingénieur de formation, Hamzeh Alizadeh est titulaire d'une maîtrise en transport et circulation et d'un doctorat en transport de l'école Polytechnique de Montréal. Depuis deux ans, à titre de conseiller expert, il soutient *exo* dans les projets de modélisation de transport et est au cœur des innovations dans ce domaine. Il est entre autres responsable d'identifier les opportunités de collaboration scientifique avec des partenaires extérieurs. Il collabore également au développement des différentes méthodes de collectes de données et des différents outils informatiques sous-jacents.



**DAVID COURCHESNE**  
Ingénieur civil  
*Les Services EXP.*

Diplômé de Polytechnique en 2008, David Courchesne œuvre dans le domaine du génie-conseil depuis 10 ans pour la firme EXP. Au fil des années, il a acquis une solide expérience en conception et préparation de plans et devis pour des projets d'infrastructures urbaines, ainsi qu'en aménagements extérieurs. Il possède à son effectif la réalisation de plusieurs mandats où le traitement des eaux pluviales se fait par des techniques basées sur la biorétention, les infrastructures vertes, la réduction des îlots de chaleur et l'utilisation de matériaux recyclés.



**JORDAN DANIELS**  
Gestionnaire de projets  
*WSP*

Jordan Daniels est gestionnaire de projets de systèmes ferroviaires chez WSP et compte dix ans d'expérience dans la conception, la mise en service et la gestion technique de projets. Il a dirigé des équipes multidisciplinaires et de conception pour plusieurs projets de systèmes légers sur rail (SLR), ainsi que pour des projets de conception de postes haute tension. M. Daniels est actuellement directeur de la conception et responsable de l'intégration des systèmes pour le projet du prolongement de la ligne de métro à Edmonton.



**MARC-KEVIN DAOUST**  
Conseiller en éthique  
*Commission de l'éthique en science et en technologie*

Marc-Kevin Daoust détient une maîtrise en philosophie de l'Université de Montréal. À la Commission de l'éthique en science et en technologie, il analyse les enjeux entourant le développement de l'Internet des objets. Ce développement technologique pose un ensemble de risques éthiques, notamment ceux liés à l'observation et à l'analyse du comportement des consommateurs et ceux liés à la surveillance des citoyens par les États.



**MARIE-AXELLE GRANIÉ**  
Directrice de recherche en psychologie sociale du développement  
*IFSTTAR - TS2-LESCOT*

Marie-Axelle Granié, PhD, est directrice de recherche en psychologie sociale du développement au Laboratoire ergonomie et sciences cognitives pour les transports (LESCOT) à l'IFSTTAR. Elle travaille depuis 20 ans sur la façon dont la relation au risque et aux règles de circulation est construite tout au long de la vie de l'individu, en particulier pour comprendre les différences entre les sexes dans les comportements à risque et les infractions routières.

**ÉTIENNE BEAUCHAMP**

Étudiant

*École Polytechnique Montréal*

Détenteur d'un baccalauréat en génie électrique de l'École Polytechnique de Montréal, Étienne Beauchamp est actuellement candidat à la maîtrise en génie civil sous la supervision du professeur Nicolas Saunier. Se spécialisant dans l'utilisation de systèmes embarqués et la valorisation de données, ses travaux se penchent sur les transports intelligents et leurs impacts sur la sécurité routière.

**ÉTIENNE CANTIN BELLEMARE**Chargé de projet  
*Ville de Montréal*

Étienne Cantin Bellemare est chargé de projet en conception d'ouvrages d'art à la section ponts et tunnels de la Ville de Montréal. M. Bellemare a travaillé à la conception de plusieurs ouvrages tels que des passerelles piétonnes, des ponts routiers, des ponts mobiles et des ponts temporaires. Il a été impliqué dans divers projets pilotes utilisant des matériaux innovants. Accordant une place importante à l'esthétisme, il collabore régulièrement avec des architectes sur des ouvrages signatures. Il est diplômé de l'université Concordia.

**MARIE-SOLEIL CLOUTIER**Health geographer, professor  
*Institut National de la Recherche Scientifique*

Marie-Soleil Cloutier, PhD, is a health geographer and professor of urban studies at Institut National de la Recherche Scientifique. She is the director of the Pedestrian and Urban Space Laboratory (LAPS), where her research interests include, among others, the impact of the built environment on pedestrian road safety and road risk perception (especially for children and older adults). She has been working for more than 10 years with partners from all disciplines to improve our practices in the prevention of road injuries.

**SELMA COBAN**Ingénieure analyste en systèmes de transport intelligents  
*Ministère des Transports du Québec*

Depuis 2019, Selma Coban est ingénieure analyste en systèmes de transport intelligents à la Direction générale de la politique de mobilité durable et de l'électrification du ministère des Transports. Elle a étudié à l'Université Laval et détient un baccalauréat en génie électrique et une maîtrise en génie électrique. Elle a occupé la fonction de professionnelle de recherche à l'Université technique de Chemnitz, en Allemagne, et à la Chaire d'excellence en recherche du Canada sur l'innovation en photonique de l'Université Laval.

**ANDREW HOWARD**Paediatric orthopaedic surgeon, clinician scientist, associate professor  
*Hospital for Sick Children, University of Toronto*

Dr. Andrew Howard is a paediatric orthopaedic surgeon and clinician scientist at the Hospital for Sick Children and an associate professor in the departments of surgery and health promotion, management, and evaluation at University of Toronto. His primary academic focus is on minimizing the effects of trauma on children. He leads a research program on the prevention of road traffic injuries and sports and leisure injuries for child occupants and pedestrians.

**MARC JOLICOEUR**Directeur de la recherche  
*Vélo Québec*

Marc Jolicoeur, ingénieur civil diplômé de Polytechnique en 1980, occupe le poste de Directeur de la recherche à Vélo Québec depuis 1995. Il gère les mandats de planification de réseaux cyclables et piétonniers, ceux de géomatique et de cartographie, et le soutien technique offert aux municipalités dans le cadre de la Route verte. Il est aussi responsable de l'étude L'état du vélo au Québec, réalisée aux 5 ans depuis 1995. Auteur du guide *Aménagements en faveur des piétons et des cyclistes*, il a formé près de 1000 professionnels du domaine.

**MARTIN LAVOIE**Ingénieur, Chargé de projets  
*Ministère des Transports*

Titulaire d'un baccalauréat en génie civil et d'une maîtrise en géotechnique routière, Martin Lavoie est, depuis 2003, chargé de projets à la Direction des Chaussées de la Direction générale du Laboratoire des Chaussées du MTQ. Son travail consiste entre autres à collaborer et à agir à titre de conseiller dans le cadre de projets majeurs en vue de la réalisation d'études et d'expertises à caractère technique. Il gère également des projets de recherche dans le domaine des chaussées et de la mise en œuvre des enrobés.

**SOUFYANE LOUBAR**Directeur recherche et développement  
*PJCCI*

Ingénieur en travaux publics et détenteur d'une maîtrise en génie de la construction, M. Loubar détient plus de 18 ans d'expérience dans le domaine de la conception et la réfection des structures, à l'échelle nationale et internationale. Il est directeur recherche et développement au sein de PJCCI. Depuis 2016, il est en charge de la préparation et de la réalisation de programmes de recherche et développement visant l'amélioration de la durabilité des infrastructures. Il est également l'auteur de quelques publications en lien avec la durabilité des structures en béton. M. Loubar est également un membre actif de la Table d'expertise Infrastructures de transports de l'AQTr.



**REBECCA LING**

Research Coordinator  
Hospital for Sick Children  
Research Institute -  
Child Health Evaluative  
Sciences Program

Rebecca Ling is a Research Coordinator in the Child Health Evaluative Sciences Program at the Hospital for Sick Children Research Institute. She completed her master's in Public Health, Epidemiology at the University of Toronto. She is involved in pre-post evaluation studies related to school safety interventions, traffic calming devices, and active transportation. She is also working on a CIHR funded grant looking at the built environment and active transportation safety in children and youth (CHASE).



**PIERRE LOYER**

Vice-président  
Aéroports de Montréal -  
Infrastructures aéroportuaires

Pierre Loyer s'est joint à Aéroports de Montréal en mai 2017, après avoir cumulé différents postes de gestionnaire exécutif au sein d'Engie Services. Œuvrant principalement dans le domaine de la gestion technique d'infrastructures diverses en Amérique du Nord, il apporte une connaissance profonde du monde aéroportuaire, pour avoir acquis une expertise en développement et en réalisation de projets, en exploitation, en maintenance et en maintien d'actifs de systèmes aéroportuaires, tant aux États-Unis qu'au Canada. Pierre Loyer est diplômé en automatisation et robotique, et détient sa licence de pilote commercial (CPL) depuis 1991.



**COLIN MACARTHUR**

Senior Scientist  
Hospital for Sick Children  
Research Institute -  
Child Health Evaluative  
Sciences Program

Colin MacArthur MBChB, PhD completed his medical training at the University of Glasgow Scotland, and doctoral training in Epidemiology and Biostatistics at McGill University, Canada. Dr. MacArthur is currently a Senior Scientist in the Hospital for Sick Children Research Institute in the Child Health Evaluative Sciences Program. He is a professor in the Department of Paediatrics and the Department of Health Policy Management and Evaluation at the University of Toronto. His area of research interest is the epidemiology and prevention of childhood injury.



**ARASH MAZAHERI**

Student  
University of Concordia

Arash Mazaheri is a Ph.D. student in Civil Engineering at the University of Concordia. He receives a bachelor's degree in Civil Engineering and a Master of Science in Highway and Transportation Engineering. He received his Ph.D. degree in Civil Engineering in 2018. Currently, he is doing his Ph.D. under the supervision of Dr. Ciprian Alecsandru. His main research hovers around traffic flow simulation, traffic safety and Automated Vehicles. He has 16 papers in scientific international journals and conferences. At present, he is president of Québec Institute of Transportation Engineers (ITE) Student Chapter.



**JOSH SYMONDS**

Australasian Leader -  
Spatial & Data Engineering  
& Digital Skills Network  
Arup

Josh Symonds is the Regional Leader for Spatial & Data Engineering as well as the Digital Skills Network Leader, providing GIS & Big Data / Data Analytics support for the teams across r Australasia. Responsible for GIS & digital implementations on infrastructure related projects. He plays a key role in supporting growth of skills and mentoring the region in the digital environment, winning multiple awards for his innovative approach to utilising data and automation to solve engineering problems.



**CHARLES THIBODEAU**

Spécialiste en analyse du  
cycle de vie environnementale  
CT Consultant

Passionné des enjeux environnementaux, Charles Thibodeau est un spécialiste en analyse du cycle de vie environnementale (ACV). Après avoir achevé son postdoctorat en 2016, M. Thibodeau a lancé la firme CT Consultant dédiée à la réalisation d'ACV, d'empreintes carbone et à l'écoconception des produits, bâtiments et infrastructures, tels les routes et les ponts.



**GUY TRUDEL**

Architecte OAO,  
Conseiller en aménagement  
Ville de Montréal -  
Section Aménagement  
de rues

Diplômé de l'École d'architecture de l'Université McGill, Guy Trudel développe ses intérêts pour l'aménagement durable du domaine public au fil de ses collaborations professionnelles à des projets majeurs de requalification dont les préoccupations urbaines portent sur des enjeux de biodiversité et de verdissement. Personne ressource au sein de l'organisation municipale montréalaise depuis 2007, son expertise liée aux infrastructures vertes s'acquiert grâce à des réalisations telles que l'intégration urbaine du SRB Pie-IX, le Quartier vert Maisonneuve, le verdissement de la rue Jarry et les systèmes de biorétention de l'avenue Papineau.



**MOHSEN NAZEM**

Directeur - Recherche et modélisation de la mobilité  
*exo* -  
Expérience client

Détenteur d'un doctorat en modélisation des transports de l'École Polytechnique de Montréal, de deux maîtrises, l'une en modélisation des transports et la deuxième en transport et développement durable en plus d'un baccalauréat en ingénierie en génie civil, Mohsen Nazem œuvre actuellement chez *exo* à titre de directeur – Recherche et modélisation de la mobilité au sein de la direction Expérience client. Il travaille entre autres sur les projets de développement de méthodologies de modélisation des déplacements, valorisation des données de mobilité, et développement d'outils d'analyse géomatique.



**LINDA ROTHMAN**

BScOT, PhD,  
assistant professor  
*Ryerson University* -  
School of Occupational  
and Public Health

Linda Rothman BScOT, PhD is an assistant professor at the School of Occupational and Public Health at Ryerson University. She completed her training as an occupational therapist at the University of Toronto. She obtained a master's in Community Health and Epidemiology and PhD at the University of Toronto. Her area of expertise is in unintentional injury prevention, relating to, playground, road traffic and car occupant injuries. Her current research focus is on child pedestrian and cycling injury prevention related to school travel and the built environment.



**JAMES SAVOLAINEN**

Spécialiste des systèmes  
ferroviaires  
*WSP*

James Savolainen est un spécialiste des systèmes ferroviaires chez WSP. Il a une formation en génie mécanique et une expérience en ingénierie de systèmes basée sur la modélisation. M. Savolainen travaille actuellement sur la conception de systèmes de communication, d'acquisition de données et sur le développement de spécifications pour le projet de prolongement de la ligne de métro à Edmonton.



**NICOLAS SAUNIER**

Professeur  
*Polytechnique Montréal* -  
Département des Génies civil,  
géologique et des mines

Nicolas Saunier a un diplôme d'ingénieur et un doctorat en informatique de Télécom ParisTech. Il est professeur titulaire au département des Génies civil, géologique et des mines de Polytechnique Montréal. Ses centres d'intérêt sont les transports intelligents, la sécurité routière et la science des données pour le transport. Il est membre de l'IVADO, du CIRRELT, du CIRODD et de la Chaire Mobilité de Polytechnique Montréal.



# Le tour de table

Ramaji Tombor  
AQTr

**Forte du dynamisme de ses membres et de leur expertise, l'AQTr a connu une deuxième moitié d'année 2019 bien remplie. En effet, l'automne et l'hiver ont été riches en événements grâce à l'organisation de livrables produits par les Tables d'expertise Infrastructures de transports, Viabilité hivernale, Sécurité routière et Mobilité intelligente - STI.**

La Table Infrastructures de transport a été très active durant les derniers mois avec la production de deux activités techniques. L'objectif du premier événement, intitulé *L'innovation au service des infrastructures de transport*, était de présenter un aperçu des dernières innovations dans le domaine des infrastructures de transport et des ouvrages d'art. Cet événement a été suivi de l'organisation du colloque *Point de mire sur les travaux de la Direction générale du Laboratoire des chaussées du ministère des Transports du Québec (DGLC)*. En parallèle, des échanges ont eu lieu au sein de la Table d'expertise sur des thèmes d'actualité, tels que le réseau structurant de transport en commun de Québec, les performances sismiques des infrastructures et les programmes de réhabilitation des chaussées et le réaménagement de l'autoroute Bonaventure.

Notons que la Table d'expertise Transport collectif a changé officiellement de direction. Christine Gauvreau, directrice planification et développement de la Société de transport de Laval (STL), s'est vu confier le mandat de directrice.

Une rencontre entre les participants des deux Tables d'expertises, Mobilité durable et Sécurité routière, a été organisée. Les experts présents ont eu l'occasion d'échanger et d'assister à la présentation de M. Marc Jolicoeur de Vélo Québec qui portait sur la révision du *Guide d'aménagement en faveur des piétons et cyclistes*, puis à une présentation de Mmes Marina Fressancourt et Marie-Hélène Armand de la Ville de Montréal sur les différents Plans locaux

de déplacement (PLD) de la Ville et sur la forme, les résultats et le déploiement de ceux-ci.

Soulignons que les membres de la Table d'expertise ferroviaire ont accueilli un nouveau directeur Darren Reynolds, Premier Directeur Expansion commerciale au Canadien National (CN). D'ailleurs, à l'initiative de cette Table a eu lieu un colloque intitulé *Le partage des emprises ferroviaires*, qui fut marqué par une entrevue avec Madame Cynthia Garneau, présidente et chef de la direction de VIA Rail Canada.

Pour finir, plusieurs activités techniques ont été organisées dans la seconde moitié de 2019. La Table Viabilité hivernale a été à l'origine du colloque *Défis de la main-d'œuvre en viabilité hivernale* durant lequel les questions de la pénurie, de la rétention et des différentes stratégies d'attractivité de la main-d'œuvre ont été abordées. Le lien qui existe entre l'usage des modes de transports alternatifs et l'auto solo ainsi que la réduction de l'exposition au risque ont ensuite été explorés lors du colloque *La mobilité au service de la sécurité*, activité initiée par la Table Sécurité routière. L'année s'est achevée avec la tenue du colloque *Le MaaS, plus qu'une tendance*, émanant de la Table Mobilité. Le MaaS (*Mobility as a Service*) est défini comme étant l'intégration de toutes les solutions de transport dans un seul service reposant sur un outil technologique unique offert aux usagers.

Pour consulter les résumés de nos dernières activités, ainsi que les présentations dont les conférenciers ont accepté la diffusion, veuillez vous rendre sur le site Web de l'AQTr au [aqtr.com](http://aqtr.com). ■



# L'AQTr accompagne le ministère des Transports de Côte d'Ivoire pour réduire les accidents de la route

Martin Latulippe et Marie-Ameline Barbier  
AQTr

**Possédant une solide expertise en matière de renforcement des capacités des gouvernements dans le domaine de la sécurité routière, l'Association québécoise des transports (AQTr) a pu déployer ce savoir-faire unique en Côte d'Ivoire en 2019, en développant un programme national de formation à la conduite. Il s'agit du premier programme de formation à la conduite à avoir été harmonisé à l'échelle nationale, en Afrique de l'Ouest.**

**C**e projet témoigne de la capacité et de la légitimité de l'AQTr à accompagner des gouvernements dans leurs efforts pour appuyer et développer le secteur de la sécurité routière.

Après avoir signé des ententes de coopération avec le Cameroun et la Côte d'Ivoire et avoir organisé différentes activités de formation en Afrique francophone depuis 4 ans, 2018 fut une année charnière pour l'AQTr. L'Association est fière d'avoir remporté son premier appel d'offres lancé par le PAMOSSET, le Projet d'Appui à la Modernisation du Secteur des Transports en Côte d'Ivoire, attribué par le ministère des Transports et cofinancé par la Banque mondiale.

Ce mandat visait à développer intégralement un programme national de formation en Côte d'Ivoire destiné tant aux apprentis conducteurs qu'aux formateurs et évaluateurs, et qui inclut le matériel didactique (guides de formation théorique et pratique destinés aux moniteurs et apprenants) et le contenu des examens théoriques (près de 500 questions d'examens). L'AQTr a également pu, dans la dernière phase du projet, former pour le compte du ministère des Transports 20 maîtres formateurs et 100 moniteurs d'auto-écoles accrédités. Cette démarche s'inscrivait dans la volonté du ministère des Transports de

Côte d'Ivoire d'assainir le secteur des auto-écoles en Côte d'Ivoire en établissant des standards de règles en matière de formation pour l'ensemble des opérateurs et acteurs du milieu.

## Apprendre à se conduire

La première étape de ce plan ministériel consistait ainsi à développer un programme harmonisé pour l'ensemble des auto-écoles du pays. Afin de développer ce nouveau programme de formation, l'AQTr s'est appuyée sur le Programme d'éducation à la sécurité routière du Québec. Reconnu au-delà des frontières du Québec, ce programme est inspiré des meilleures pratiques européennes et américaines. Basé sur l'approche par compétences, il met l'accent sur un contenu pédagogique enrichi et qui repose non seulement sur le développement de capacités relatives au savoir-faire, mais aussi sur l'acquisition de notions liées au savoir-être sur la route. Il ne s'agit pas seulement de préparer les candidats à passer l'examen, mais bien à faire d'eux des conducteurs responsables à long terme. Parce que conduire, ce n'est pas seulement connaître les panneaux de signalisation routière ou maîtriser un véhicule automobile, le nouveau





cours de conduite privilégie l'éducation à la sécurité routière.

Le nouveau programme de formation ivoirien inclut maintenant un important volet comportemental qui vise à modifier le comportement des conducteurs qui est à l'origine de 94 % des accidents mortels sur les routes. En effet, les comportements humains et les responsabilités de chaque usager de la route sont considérés comme des facteurs clés favorisant la diminution des accidents de la route au même titre que la planification des équipements routiers, la gestion de la circulation, l'état des véhicules ou encore les règles de la circulation routière ainsi que la manière dont elles sont appliquées. Or, les actions entreprises par les gouvernements émergents afin de réduire le bilan routier ne semblent pas tenir compte de cet objectif, également énoncé par les Nations Unies, de changer le comportement des usagers de la route pour réduire les accidents de la route. L'AQTr a ainsi conçu son programme en Côte d'Ivoire autour de cette notion avec pour objectif de développer et de susciter auprès des apprentis conducteurs des comportements sécuritaires, coopératifs et responsables.

## La normalisation, la clé de voûte d'une politique réussie de sécurité routière

À travers ce projet, l'AQTr a également conseillé le ministère des Transports. Afin d'assurer la bonne mise en œuvre du programme de formation en Côte d'Ivoire, l'AQTr a pu présenter au ministère différents enjeux et recommandations en matière de réglementation. Au premier rang de ces enjeux, figure la nécessité de mettre en place un processus de normalisation du secteur de la sécurité routière.

La normalisation définit, encadre, uniformise les savoir-faire et permet la bonne mise en œuvre et l'efficacité des programmes et actions de sécurité routière. Elle oblige très souvent l'instauration d'un processus de certification qui a pour objectif de s'assurer que les processus

de sécurité routière répondent et soient conformes à des exigences préalablement établies. La normalisation s'appuie sur trois piliers importants à savoir la mise en place et le déploiement d'une législation solide et adaptée, de capacités techniques, humaines et matérielles suffisantes, ainsi que d'un processus de contrôle et de sanctions.



Dans le cadre de ce projet, la mise en place d'un processus de normalisation passe par le développement d'un dispositif de certification et de contrôle des auto-écoles et des moniteurs qui permettra de s'assurer de la bonne synchronisation des étapes d'obtention du permis de conduire. À terme, le suivi de ces étapes garantira la bonne exécution et le respect des politiques du gouvernement en matière de sécurité routière.

Ce projet témoigne de la capacité et de la légitimité de l'AQTr à accompagner des gouvernements dans leurs efforts pour normaliser des secteurs du domaine des transports tels que la sécurité routière. La pertinence de l'Association pour formuler des conseils et de l'assistance technique est confirmée au-delà des frontières du Canada. ■

Figure 2

SOURCE  
AQTr

Figure 1

SOURCE  
alamy.com



# LE QUÉBEC

Population 8,394 millions



Montréal, Québec

# Un nouveau chapitre pour YUL Aéroport international Montréal-Trudeau et sa métropole

Pierre Loyer, **Aéroports de Montréal**

**Avec plus de 20 millions de passagers accueillis en 2019, une offre de destinations internationales grandissante, l'obtention de la certification 4 étoiles du « World Airport Star Rating » de Skytrax et des projets structurants de plusieurs milliards de dollars, YUL fait rayonner Montréal, participe à son développement économique et contribue à en faire une destination internationale de choix.**

## YUL au service de la Métropole

**E**n 2018, Montréal affichait la plus forte croissance économique des 13 plus grandes villes canadiennes selon le Conference Board. Montréal est un carrefour vibrant et attire les regards du monde entier, affaires, technologie, culture, savoir. La compétitivité de la métropole est reliée à son accessibilité et en raison de son positionnement, Montréal-Trudeau est un hub, un grand aéroport de correspondance, avec une desserte de choix pour la collectivité.

Proportionnellement à son trafic total de passagers, YUL est l'aéroport le plus international du Canada. Il compte plus de 90 destinations internationales et près d'une trentaine vers les États-Unis, qui en font une plaque tournante dynamique pour le trafic de passagers. Au cours des cinq dernières années, le trafic de passagers a connu une augmentation globale de près de 40 %.

Cette croissance est stimulante, mais engendre une pression supplémentaire sur les installations. Les infrastructures d'accueil du côté ville sont utilisées au maximum en plus d'être en fin de vie utile. Les travaux en cours permettront d'accueillir convenablement tous les passagers en conservant un haut niveau de service, en plus de permettre l'arrimage des modes de transport pour favoriser l'intermodalité sur le site aéroportuaire.

Pour continuer d'assurer le rayonnement de Montréal, ADM poursuivra ses efforts pour assurer un service hors pair pour les passagers et d'adapter ses infrastructures pour répondre à la demande croissante des dernières années.



## Un projet ambitieux

**Y**UL, comme tous les grands aéroports, a pris le virage de l'intermodalité.

Il y a un peu plus d'un an, Aéroports de Montréal dévoilait son programme de développement côté ville pour le site YUL avec l'annonce de la construction d'un nouveau stationnement, le P4, maintenant baptisé Écono-Premium. Dans le jargon aéroportuaire, le côté ville représente les infrastructures d'accueil qui se trouvent avant le point de contrôle de sécurité.

Avec un investissement de plus de 2,5 G\$ pour la prochaine décennie, le programme de développement côté ville représentera l'un des plus importants projets d'infrastructures privés au Québec. Il comprend notamment la reconstruction de deux infrastructures majeures situées face à l'aéroport, soit le stationnement étagé et le débarcadère. À cela s'ajoute le chantier de construction de la station du Réseau express métropolitain (REM) qui sera reliée à l'aérogare en souterrain, à

35 mètres sous le stationnement étagé et qui offrira une liaison rapide entre l'aéroport et le centre-ville.

La construction de la future station du REM sera entièrement sous la responsabilité d'ADM, afin que celle-ci réponde aux besoins très précis de la clientèle aéroportuaire. Les voyageurs possèdent entre autres de nombreux bagages, les quais doivent par conséquent être conçus un peu différemment des autres stations et devront notamment être un peu plus larges. C'est aussi une façon pour ADM de contribuer à ce projet structurant, attendu par de nombreux Montréalais et qui permettra aux usagers de compter sur un moyen de transport durable et efficace pour leurs déplacements vers le site aéroportuaire.

Avant de pouvoir reconstruire le stationnement étagé, une étape importante a été réalisée en amont. La construction du nouveau stationnement Écono-Premium avec 2 800 cases disponibles remplacera le stationnement étagé situé devant l'aérogare. Cette

**Figure 1**  
Façade

SOURCE  
ADM



**Figure 2**  
Stationnement  
Écono Premium

SOURCE  
ADM

infrastructure comporte plusieurs particularités, dont un système de guidage avec bornes « wayfinding » permettant de retrouver facilement son véhicule. Un

Le plan est ambitieux et demande une grande agilité opérationnelle dans son exécution. Pour bien saisir l'ampleur du projet, il faut comprendre la réalité d'un

## **Avec un investissement de plus de 2,5 G\$ pour la prochaine décennie, le programme de développement côté ville représentera l'un des plus importants projets d'infrastructures privés au Québec.**

édicule chauffé et climatisé desservi par une navette 100 % électrique proposant des départs aux cinq minutes sera mis à disposition des passagers. De plus, le stationnement possédera un accès direct au réseau routier, ce qui facilitera le transport.

De plus, ADM continue de plaider en faveur de la création d'un lien entre l'aérogare et la gare Dorval afin de faire de Montréal-Trudeau un véritable pôle intermodal de l'est du Canada.

environnement aéroportuaire qui est par définition un lieu qui ne ferme jamais.

Cela signifie que les travaux devront être effectués de façon continue, en considérant les 13 000 employés qui travaillent à l'aérogare, les 55 000 voyageurs accueillis en moyenne quotidiennement, et les 30 000 véhicules commerciaux et privés qui circulent sur les débarcadères.



## Un projet signature prend vie

Le 19 juillet dernier avait lieu la première pelletée de terre donnant officiellement le coup d'envoi aux travaux de construction de la future station du Réseau express métropolitain (REM). YUL accueillera le futur train reliant le centre-ville à l'aéroport à la fin de l'année 2023. Avec l'arrivée du REM, les voyageurs auront enfin accès à une liaison rapide et efficace entre la ville et l'aéroport international. Un lien qui s'est fait attendre pendant deux décennies!

Pour l'accompagner dans la réalisation des travaux du programme ville, ADM a octroyé le contrat de gérance du projet à un consortium formé de firmes ayant une expertise pointue, Pomerleau, SNC-Lavalin et Kiewit (PSK Construction). En tant que partenaires du programme, ils ont notamment comme mandat d'identifier des opportunités pour optimiser l'échéancier et le phasage des

travaux et de veiller à minimiser leur impact sur le niveau de service offert aux passagers.

Des défis logistiques et techniques attendent les équipes d'experts qui travailleront sur le projet. Par exemple, un million de mètres cubes de roc devront être excavés pour construire la station souterraine du REM, ce qui équivaut à quatre Tours des Canadiens.

Le projet sera réalisé selon les normes de construction durable en vue de l'obtention de la reconnaissance Envision. Pour y arriver, les principes de développement durable seront intégrés à chaque étape du projet. Plusieurs initiatives seront donc mises de l'avant, telles que l'utilisation de navettes électriques, à terme autonomes, pour relier le nouveau parc de stationnement Écono-Premium à l'aérogare. Le stationnement sera complètement recouvert d'un toit vert. Pour l'ensemble des travaux de démolition, le béton sera recyclé pour le réutiliser comme matériel de remblais. Des panneaux solaires seront également installés

**Figure 3**  
Programme  
côté ville

SOURCE  
ADM



**Figure 4**  
Station du  
REM

SOURCE  
ADM

et la possibilité de faire du stockage d'énergie électrique sera étudiée.

Afin de minimiser les impacts des grands projets à venir, un plan de communication efficace sera déployé pour aviser les passagers des futurs impacts liés aux travaux. De plus, l'utilisation judicieuse des plateformes numériques permettra de partager de l'information avec la clientèle en temps réel et de faire connaître les moments phares de la réalisation auprès de toute la communauté.

## Une dynamique économique importante

À titre de principale porte d'entrée de la métropole, YUL est un important moteur économique. Une étude réalisée par le Conference Board a révélé que les opérations d'ADM et des 200 entreprises situées sur le site aéroportuaire de YUL ont contribué pour près de 6,8 milliards de dollars en un an au PIB du Québec. Cela fait d'ADM un participant et un partenaire

à l'un des plus importants pôles économiques du Québec. Ce regard macroéconomique permet d'apprécier le caractère structurant pour tout le Québec des activités provenant du site aéroportuaire.

La capacité de YUL de répondre à la demande de vols et d'offrir une expérience de classe mondiale est donc capitale pour la prospérité du Grand Montréal et du Québec. ADM poursuivra ses efforts pour développer sa desserte aérienne, améliorer le service offert aux passagers et adapter les infrastructures pour répondre à la demande croissante afin d'assurer le rayonnement de Montréal. ■

i [https://www.conferenceboard.ca/temp/a4c990cd-fc39-4d65-b588-d9aec306261e/9391%20Comparer%20Montreal%202017\\_FR\\_.pdf](https://www.conferenceboard.ca/temp/a4c990cd-fc39-4d65-b588-d9aec306261e/9391%20Comparer%20Montreal%202017_FR_.pdf)



Montréal, Québec

# Validation des technologies de comptages des véhicules à l'entrée d'un stationnement

## Une démarche axée sur la consultation et la concertation

Étienne Beauchamp et Nicolas Saunier, **Polytechnique Montréal**,  
Hamzeh Alizadeh et Mohsen Nazem, **exo**

**Dans l'univers du transport collectif, les défis sont nombreux et parmi eux, il y en a un de taille : l'optimisation de l'utilisation des stationnements. Inherent fondamental dans le choix des modes de transport, c'est aussi un moyen d'encourager certains comportements de mobilité, comme dans le cas des stationnements aux gares qui incitent à l'utilisation du train.**

**A**ctuellement, les données d'informations sur l'utilisation des stationnements d'exo ne sont pas collectées automatiquement en continu. Afin d'acquérir une meilleure compréhension de cette utilisation, exo a collaboré avec Polytechnique Montréal à un projet qui visait à comparer la performance de plusieurs méthodes automatiques de comptage des entrées et sorties de véhicules dans un parc de stationnement selon les conditions météorologiques. Après avoir testé trois méthodes, les résultats ont démontré que les capteurs magnétiques et les caméras vidéo dans le spectre visible offrent une meilleure performance que les caméras infrarouges.

Plusieurs technologies de capteur permettent actuellement de compter automatiquement le passage des voitures en un point de la chaussée. Il y a les capteurs magnétiques et les boucles à inductions qui sont enfouis dans la chaussée, et il y a les capteurs de types radars et caméras vidéo, qui sont eux, au-dessus de la chaussée. Les données ainsi collectées permettent un affichage en temps réel du nombre de places disponibles dans le stationnement. Les capteurs appartenant à la première catégorie sont généralement précis et fiables, nécessitent moins de ressources de traitement et de stockage d'information [1]. Cependant, leur enfouissement dans la chaussée entraîne une maintenance plus coûteuse et complexe [2]. Parmi les capteurs de la seconde catégorie, les caméras vidéo fournissent des images desquelles il est possible d'extraire une information plus riche, y compris les positions, vitesses et catégories de véhicules,





Figure 1

SOURCE  
exo et  
Polytechnique  
Montréal

et cela, au prix d'un traitement automatique de vidéo et d'une analyse de données plus complexes dont la performance varie selon la complexité de la scène.

Les résultats qui suivent sont issus d'un projet expérimental de comparaison des performances de comptage de véhicules par capteurs des deux catégories, à savoir un capteur magnétique enfoui et deux caméras vidéo, dans les spectres visible (caméra dite régulière) et infrarouge, selon les conditions météorologiques.

## Méthodologie

La comparaison a été faite à partir de données recueillies dans le stationnement incitatif Montcalm-Candiac d'exo. Des capteurs magnétiques, ou magnétomètres, de type « rondelle » ont été placés sous la chaussée des voies d'entrée et de sortie, et des caméras du groupe de recherche de Polytechnique ont été installées à certains jours (les 4, 21, 26, 27 et 29 mars, le 26 avril, et du 18 au 21 juin). L'utilisation de deux caméras a permis de comparer les résultats selon leurs spectres, soit le visible et l'infrarouge, dans

des conditions météorologiques variées. Des travaux antérieurs avaient confirmé la bonne performance d'algorithmes de vision par ordinateur disponibles dans le projet sous licence libre qui a été développé à Polytechnique, «Traffic Intelligence», afin d'extraire des données de circulation pour les vidéos de caméra infrarouge [3].

## Collecte des données

Le stationnement Montcalm-Candiac compte une voie d'entrée et une voie de sortie. L'analyse a été faite sur deux périodes de trois heures : en période de pointe du matin (de 5 h 30 à 8 h 30) et en période de pointe de l'après-midi (de 16 h 30 à 19 h 30). Les données ont été collectées pendant au moins deux journées pour chacune des trois conditions météo considérées : 1) bonnes conditions (ensoleillé), 2) temps couvert (nuageux) et 3) temps pluvieux. Malheureusement, il n'a pas été possible de collecter des données lors de chutes de neige.

Pour ce projet, des capteurs magnétiques ont été installés par la Ville de Candiac

sous chaque voie et deux caméras fixées sur des poteaux télescopiques proches l'un de l'autre ont été attachées à un lampadaire sur le terre-plein à l'entrée du stationnement (voir la figure 1). Les données ont ensuite été collectées à plusieurs reprises selon les conditions météorologiques.

## Analyse vidéo

Les données vidéo doivent être analysées pour compter les entrées et les sorties de véhicules. L'analyse repose sur des outils et méthodes disponibles dans le projet «Traffic Intelligence» [4].

En premier lieu, il faut déterminer la relation entre les positions dans l'espace de l'image et les positions des véhicules au niveau du sol dans le monde réel (voir les figures 2 et 3). La projection se fait en deux temps. D'abord, la distorsion de l'image est corrigée à l'aide des paramètres intrinsèques et des coefficients de distorsion de chaque caméra. Ces paramètres

des véhicules sont ensuite effectués de façon automatique à l'aide de l'outil disponible dans le projet «Traffic Intelligence», et génèrent les trajectoires de tous les véhicules dans les zones d'études [4].

## Méthode de comptage et comparaison

Les trajectoires sont analysées à l'aide d'un code développé à partir de «Traffic Intelligence» pour calculer automatiquement les instants d'entrées ou de sorties des véhicules. Une ligne a été tracée sur l'image pour définir l'endroit de comptage : les instants de croisement de chaque trajectoire avec la ligne de comptage sont enregistrés (voir respectivement les figures 6 et 7, pour les vues visibles et infrarouges). Pour faciliter la comparaison entre les capteurs et limiter les erreurs potentielles liées aux horloges de chaque système, les comptages ont été faits par intervalles de 5 min. Les

# Seule la performance de la caméra infrarouge dépend des conditions météorologiques, avec, constatation surprenante, de meilleurs résultats lors des averses qu'en conditions ensoleillée ou couverte.

et ces coefficients sont spécifiques pour chaque type de caméra et sont connus au préalable. Les points de l'espace image, dont la distorsion est corrigée, sont ensuite projetés vers une image aérienne du site mise à l'échelle grâce au calcul de la matrice d'homographie en mètres. Une matrice doit être estimée pour chaque journée puisque la position de la caméra change légèrement à chaque installation. La détection et le suivi

données vidéo ont aussi été utilisées pour obtenir manuellement des comptages qui servent de référence. Pour chaque intervalle, l'erreur absolue et relative a été calculée. L'erreur absolue est obtenue en calculant la valeur absolue de la différence entre le comptage de chaque méthode automatique et le comptage manuel. L'erreur relative est calculée en divisant l'erreur absolue par le comptage manuel.



Figure 2

SOURCE  
exo et  
Polytechnique  
Montréal

Figure 3

SOURCE  
exo et  
Polytechnique  
Montréal

## Résultats

Une analyse préliminaire des données a été conduite pour les valider. Une association entre les erreurs de comptage des divers capteurs et les jours de collecte a été identifiée à l'aide de l'analyse de variance ANOVA (pour l'erreur relative du capteur magnétique :  $F=20,50$  et  $p=3,79.10^{-27}$ ). Deux modèles de régression linéaire ont été calculés. Chacun avait comme variable dépendante le type d'erreur et comme variables indépendantes la période (chaque période de pointe est divisée en trois périodes d'une heure), le jour, le nombre de passages et le sens de la circulation. Or ces modèles mènent à la même conclusion puisque les coefficients de plusieurs jours de collectes sont significatifs. Trois jours se distinguent avec des erreurs moyennes nettement plus élevées que les autres jours pour le capteur magnétique. Cette variation des erreurs peut être liée à des patrons d'arrivée différents comme, par exemple, des passages difficiles à séparer parce que très près dans le temps. Il a

donc été décidé de retirer ces jours de collecte pour la suite des analyses. Une fois ces données retirées, le test d'ANOVA a révélé que les erreurs absolues et relatives des divers capteurs ne dépendent pas ou peu du jour de collecte. Les liens des erreurs avec les capteurs, les conditions météorologiques, les périodes et les directions de circulation sont étudiés par l'entremise de plusieurs tests ANOVA en fonction de ces facteurs. Les graphiques des distributions cumulées, c'est-à-dire de la fonction de répartition, permettent de voir si les distributions sont décalées les unes des autres : une distribution décalée vers des erreurs plus élevées indique une moins bonne performance puisqu'elle comprend une proportion plus élevée de grandes erreurs.

Tout d'abord, les erreurs sont significativement différentes selon les capteurs ( $F=18,788$  et  $p=0,0002$  pour l'erreur relative) : les deux erreurs montrent que les capteurs magnétiques et la caméra régulière ont des performances similaires, tandis que la caméra

Tableau 1 . Moyennes des erreurs absolues et relatives pour les différents capteurs, avec l'écart-type et le nombre d'observations entre parenthèses

Capteur	Erreur absolue	Erreur relative
Capteur magnétique	1,295 ± 1,970 (560)	0,171 ± 0,147 (225)
Caméra infrarouge	2,016 ± 3,047 (500)	0,219 ± 0,217 (225)
Caméra régulière	1,307 ± 1,835 (546)	0,155 ± 0,130 (225)

## Validation des technologies de comptages des véhicules à l'entrée d'un stationnement

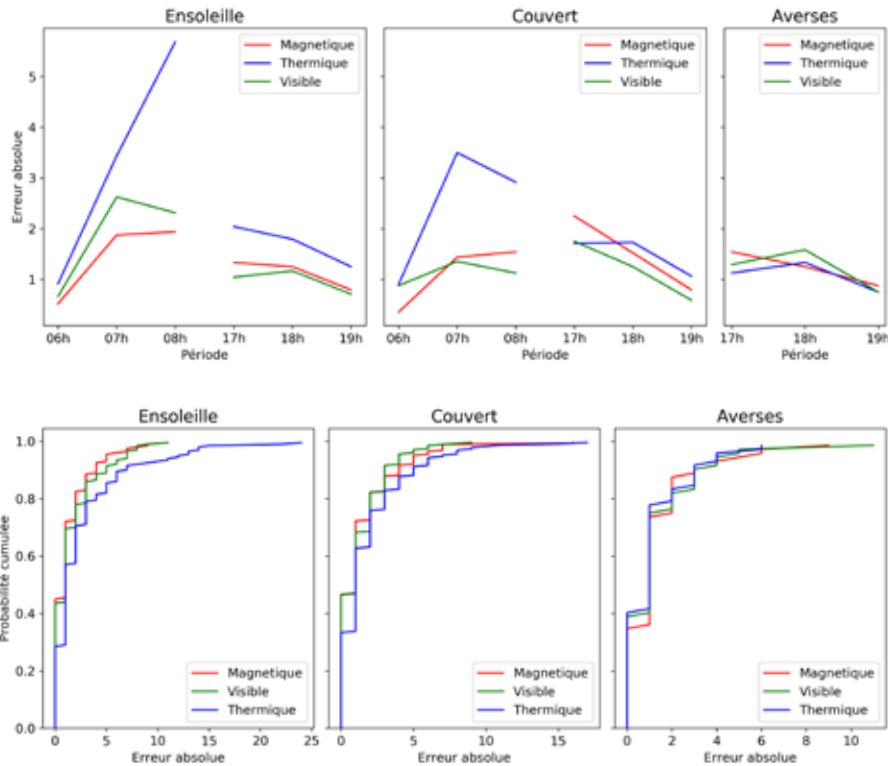


Figure 4

SOURCE  
exo et  
Polytechnique  
Montréal

Figure 5

SOURCE  
exo et  
Polytechnique  
Montréal

infrarouge est moins performante. Ceci est confirmé globalement dans les figures 4 et 5, avec des variations selon la période et la condition météorologique. Les ANOVA par capteur selon les conditions météorologiques indiquent que les performances du capteur magnétique et de la caméra régulière n'en dépendent pas, ce qui est attendu pour le capteur magnétique, mais un peu plus surprenant pour la caméra régulière. Seule la performance de la caméra infrarouge dépend des conditions météorologiques, avec, constatation surprenante, de meilleurs résultats lors des averses qu'en conditions ensoleillée ou couverte. La performance du capteur magnétique ne dépend pas significativement de la période, à la différence des deux caméras, et dans une moindre mesure pour la caméra régulière. Les figures 4 et 5 montrent que l'erreur absolue est généralement plus importante pour l'heure de pointe avec le plus fort achalandage (heure du « milieu » des périodes de pointe du matin et de l'après-midi), alors que l'erreur relative

est plus faible pour cette heure, ce qui indique que l'erreur croît avec l'achalandage, mais moins vite que l'achalandage. Enfin, la performance du capteur magnétique ne dépend pas du sens de la circulation à la différence de celles des deux caméras. Il n'est pas surprenant que les caméras soient affectées par le sens de la circulation puisque la performance de détection et de suivi des véhicules peut changer selon qu'il s'agisse de l'avant ou de l'arrière des véhicules.

Des modèles de régression linéaire ont aussi été estimés avec ces facteurs, pour prendre en compte leurs effets simultanés. Les résultats sont cohérents, et indiquent le peu d'importance des conditions météorologiques, qui sont non significatives dans des modèles incluant les capteurs. Les modèles indiquent une meilleure performance des caméras pour les véhicules sortants.

Une importante erreur de comptage avec la caméra infrarouge peut être observée à 7 h et à 8 h lors des matinées



**Figure 6**

SOURCE  
exo et  
Polytechnique  
Montréal

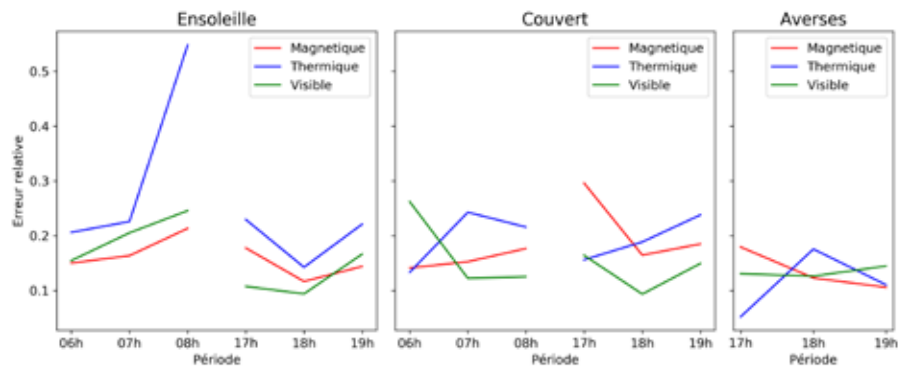
**Figure 7**

SOURCE  
exo et  
Polytechnique  
Montréal

ensoleillées. Une analyse plus fine des comptages a permis de constater un comptage inférieur au comptage manuel de référence causé par un moins bon suivi des véhicules lors de la journée du 19 juin. Or, il manque près d'une heure de données pour la journée du 27 mars, qui est la seule autre journée à condition ensoleillée lors de la période de pointe du matin. Conséquemment, les erreurs plus importantes du 19 juin ont un impact important sur la moyenne globale de l'erreur à ce moment. Il faut aussi noter que les algorithmes d'extraction des trajectoires ont été ajustés pour la caméra régulière,

et que les mêmes paramètres ont ensuite été utilisés pour les vidéos de la caméra infrarouge, ce qui pourrait expliquer sa performance inférieure.

Il ressort de ce projet expérimental que le capteur magnétique et la caméra régulière ont des performances comparables, tous deux peu sensibles aux conditions météorologiques. La caméra infrarouge offre cependant une performance inférieure, particulièrement en conditions ensoleillée et couverte. Il s'agit d'une constatation prévisible pour le capteur magnétique du fait

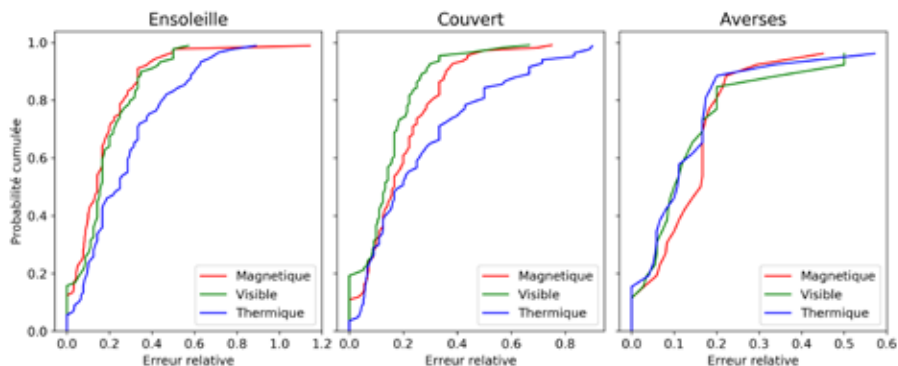


**Figure 8**

SOURCE  
exo et  
Polytechnique  
Montréal

**Figure 9**

SOURCE  
exo et  
Polytechnique  
Montréal



de son installation dans la chaussée et de son principe de fonctionnement qui le rend insensible aux conditions météorologiques. De plus, les performances des deux caméras sont affectées par la période d'analyse et le sens de la circulation.

Afin de valider les conclusions de cette étude, il serait intéressant de reproduire ces résultats à d'autres entrées de stationnement et dans d'autres conditions environnementales, par exemple, lors de chutes de neige. Ce type d'étude permet à exo de bonifier ses infrastructures et son offre de service pour favoriser le transport collectif. ■

1. Klein, L. A.; Mills, M. K. & Gibson, D. R. Traffic Detector Handbook: Third Edition - Volume I and II FHWA, FHWA, 2006
2. Buch, N.; Velastin, S. & Orwell, J. A Review of Computer Vision Techniques for the Analysis of Urban Traffic IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, 12, 920-939
3. Fu, T.; Stipancic, J.; Zangenehpour, S.; Miranda-Moreno, L. F. & Saunier, N. Automatic Traffic Data Collection under Varying Lighting and Temperature Conditions in Multimodal Environments: Thermal vs Visible Spectrum Video-Based Systems Journal of Advanced Transportation, 2017, 2017, 15 pp.
4. Jackson, S.; Miranda-Moreno, L. F.; St-Aubin, P. & Saunier, N. A Flexible, Mobile Video Camera System and Open Source Video Analysis Software for Road Safety and Behavioural Analysis Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2013, 2365, 90-98



comprendre  
innover  
collaborer  
réaliser  
exp.com

explorez les possibilités.

Platine  
Palmarès des 100 plus grands projets  
d'infrastructures au Canada  
ReNew Canada, 2020

200+  
prix et distinctions  
reçus dans les  
10 dernières années

1 100+  
employés  
au Québec





Québec, Québec

# Bilan de plus de 10 ans d'utilisation de la thermographie et des VTM au ministère des Transports du Québec

Martin Lavoie

Ministère des Transports du Québec

**L'utilisation du devis Évaluation de l'homogénéité de pose des enrobés fabriqués et posés à chaud a débuté en 2008. Son implantation dans la pratique du ministère des Transports du Québec (MTQ) a fait suite à diverses étapes, dont la réalisation, en 2005, d'une étude révélant le fort potentiel de la thermographie en chantier à des fins de contrôle de la mise en place des enrobés et l'implantation de clauses techniques dans le cadre de projets pilotes en 2007.**

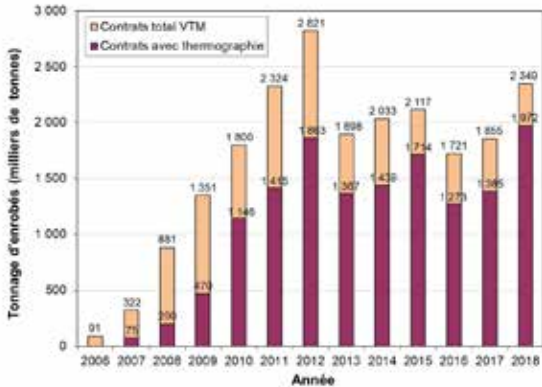
L'utilisation des véhicules de transfert de matériaux (VTM) visant à améliorer l'uniformité de la pose des enrobés a commencé de façon sporadique en 2005. En 2006, des projets pilotes répartis dans différentes régions du Québec ont été planifiés par le MTQ afin d'étudier plus en détail les avantages liés à l'usage des VTM. Le nombre de contrats de pose d'enrobés comportant l'utilisation de VTM a pris de l'ampleur à partir de 2007, notamment parce que leur usage constituait une exigence contractuelle pour la réalisation des projets avec un devis d'homogénéité.

Ces deux dossiers, liés un à l'autre ont été implantés de manière à ce que la prescription d'un moyen (le VTM) soit graduellement remplacée par une prescription de performance encadrée par le devis d'homogénéité. Le MTQ a dressé un bilan de l'application de la thermographie et l'utilisation des VTM de 2007 à 2018, soit sur un peu plus de 10 ans de vécu.

## L'évolution

La figure 1 résume les quantités d'enrobés assujetties à l'utilisation du devis d'homogénéité (thermographie) ainsi que les quantités totales d'enrobés posées au moyen d'un VTM (avec ou sans devis d'homogénéité). En 2018, 235 contrats ont été réalisés avec un VTM, dont 185 ont fait l'objet d'un contrôle par thermographie. Par rapport à la quantité totale d'enrobés posée au MTQ, l'implantation de la thermographie

s'est effectuée selon une progression constante sur 11 ans, passant de 3 % en 2007 à 72 % en 2018. Similairement, la quantité d'enrobés posée au moyen d'un VTM (majoritairement avec devis d'homogénéité) pour la même période est passée de 11 % à 86 %.



## L'homogénéité de pose

Le contrôle par thermographie prévu au devis inclut trois critères thermiques, soit la température minimale (Tmin), la température maximale (Tmax) et la ségrégation thermique longitudinale (STL). Les pourcentages de lots non conformes en ce qui a trait à ces critères ont eu une tendance à la baisse au courant des dernières années. À titre d'exemple, le pourcentage de lots non conformes en lien avec la Tmin variait entre 1 % et 2 % les cinq premières années alors qu'il oscillait plutôt autour de 1 % les dernières années. De même pour la STL, dont le pourcentage variait entre 6 % et 14 % les cinq premières années alors qu'il était de l'ordre de 3 % les dernières années.

## La formation des thermographes

Des formations en thermographie adaptées au contrôle des enrobés en chantier impliquant l'utilisation de caméras à infrarouge ont été données à l'ensemble des intervenants. Depuis 2007, plus d'une cinquantaine de séances ont été offertes. De nombreuses formations en chantier ont aussi été réalisées par le MTQ ou par des firmes mandatées pour le contrôle de qualité des matériaux. Plus de 240 attestations, une exigence pour appliquer la procédure, ont été émises (personnel du MTQ ou de firmes mandataires). Des audits en chantier ont également été planifiés afin d'assurer de maintenir un niveau adéquat d'application.

## La performance des revêtements posés avec un VTM

Une évaluation de la performance de divers types d'interventions ayant fait l'objet d'une pose d'enrobés au moyen d'un VTM a été réalisée afin de quantifier les avantages en ce qui concerne la durée de vie. La qualité de roulement, tenant compte aussi de l'effet de la fissuration, est l'indicateur de performance qui a été retenu pour les fins de l'évaluation.

Figure 1  
Tonnage d'enrobés avec utilisation de la thermographie et d'un VTM

SOURCE  
MTQ

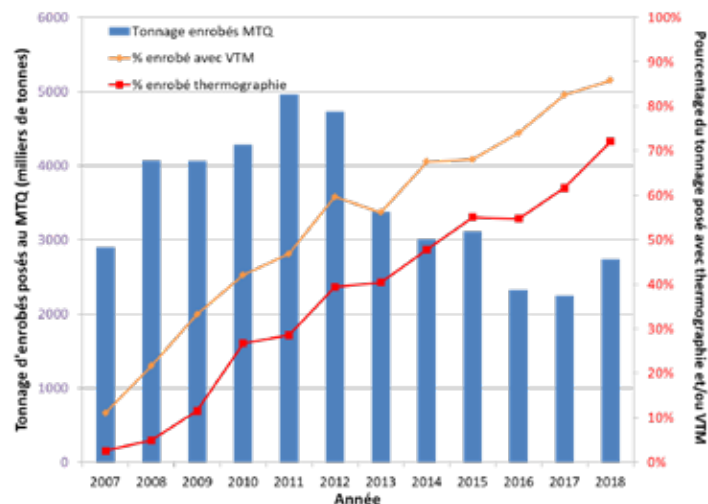


Figure 2  
Proportion des enrobés avec thermographie et/ou VTM

SOURCE  
MTQ





Figure 3

SOURCE  
MTQ

Les données relatives à la qualité de roulement (IRI) provenant de plusieurs dizaines de contrats, travaux effectués entre 2005 et 2008 inclusivement, ont permis d'établir des modèles d'évolution couvrant une période de 8 à 12 ans.

À titre d'exemple, les courbes d'évolution établies pour les interventions de type recouvrement bitumineux dont la pose de l'enrobé a été effectuée au moyen d'un VTM sont présentées à la figure 4. Les données des courbes comparatives

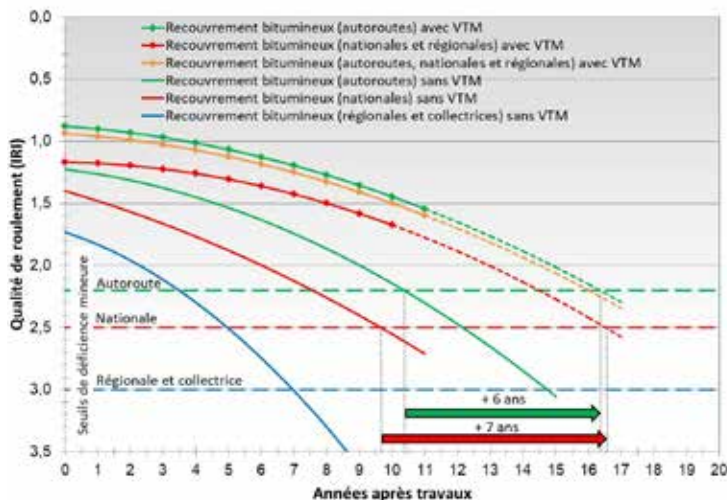
proviennent de suivis de comportement antérieurs portant sur la performance des différentes techniques employées dans les années 1990 et au début des années 2000 [1], alors que les VTM n'étaient pas utilisés. Pour ce type d'intervention, la période avant d'atteindre des seuils de déficience mineure, dépendant du type de route, est prolongée de 6 à 7 ans, représentant ainsi un gain de durée de vie de l'ordre de 65 % par rapport à la durée de vie normale sans VTM.

L'usage d'un VTM se traduit ainsi par une amélioration de l'indice de l'IRI initial, élément principal conduisant aux gains de durée de vie pour les différents types d'intervention étudiés (tableau 1).

En ce qui concerne les recouvrements bitumineux et les réfections majeures, l'atténuation du taux de détérioration de la qualité de roulement (tableau 1) est aussi un effet associé à l'usage d'un VTM et de l'application d'une procédure de contrôle

Figure 4  
Courbes d'évolution de la qualité de roulement pour les recouvrements avec ou sans VTM

SOURCE  
MTQ



**Tableau 1 . Amélioration de la qualité de roulement et gain de durée de vie des revêtements posés avec un VTM**

Types d'interventions	Amélioration de l'IRI initial (m/km)	Atténuation du taux de détérioration moyen sur les 10 premières années (IRI/an)	Gain (années)	Gain (%)
Recouvrements	0,2 à 0,3	-0,035 à 0,065	6 à 7	65
Réfections majeures	0,4 à 0,5	-0,018 à 0,049	5 à 6	35
Constructions/reconstructions	0,2 à 0,4	-0,001 à 0,007	3 à 4	20

de la qualité. Une meilleure homogénéité de pose peut donc se traduire par un ralentissement de l'apparition de dégradations, améliorant du coup la performance à plus long terme de la qualité de roulement.

Dans la littérature, une étude américaine de Smith et col. [2] dans les années 90 arrivait à la conclusion qu'une amélioration de l'uni (qualité de roulement) de 25 % correspondait à une augmentation d'au moins 9 % de la durée de vie et qu'une

Les gains évalués par le MTQ (20 à 65 %) sont plus élevés que ce que l'on retrouve dans la littérature. La différence peut s'expliquer en partie par le fait que les modèles de la littérature considèrent des courbes d'évolution comportant des pentes similaires de détériorations de la qualité. Ce n'est pas le cas avec les interventions de type recouvrements bitumineux et réfections majeures où les données de suivis du MTQ montrent que les pentes des courbes avec VTM peuvent être moins prononcées dans

## **Une meilleure homogénéité de pose peut donc se traduire par un ralentissement de l'apparition de dégradations, améliorant du coup la performance à plus long terme de la qualité de roulement.**

amélioration de l'uni de 50 % correspondait à une augmentation d'au moins 15 % de la durée de vie. Des modèles d'évolution de l'IRI ont été développés par un chercheur de la compagnie de consultants Stantec [3]. Selon le modèle associé à des routes à hautes vitesses ( $\geq 100$  km/h), en considérant une valeur d'IRI de typique de 1,2 m/km, une amélioration de l'IRI initial de 0,4 m/km occasionnerait une prolongation de 2,5 ans avant l'atteinte du seuil de déficience mineure pour autoroutes, soit une augmentation d'environ 15 % de la durée de vie.

les premières années que celles des courbes sans VTM (atténuation de la détérioration de 0,018 à 0,065 IRI/an). Une pente plus faible fait en sorte que la période avant d'atteindre des seuils est prolongée d'au moins 2 ou 3 ans, signifiant un gain additionnel de 20 à 30 % de durée de vie pour les recouvrements bitumineux et de 15 à 20 % pour les réfections majeures.

## Les derniers développements

Depuis 2019, l'évaluation de l'homogénéité de pose des enrobés est une clause qui est incluse dans le devis type Revêtement de chaussée en enrobé du MTQ. Cette clause comporte des changements, principalement en ce qui a trait à la procédure d'essai en chantier. Cette procédure fera éventuellement l'objet d'une méthode d'essai LC spécifique.

L'amélioration de l'homogénéité de pose et de la qualité de roulement se traduit par des gains significatifs en ce qui concerne la durée de vie des interventions, un gain d'au moins 20 % selon les analyses du MTQ.

Les constats effectués au cours de la dernière décennie démontrent que l'usage de VTM encadré par les clauses techniques du devis d'homogénéité s'avère une approche efficace pour améliorer la mise en œuvre des enrobés.

## La thermographie appliquée à la pose des enrobés est un dossier actif au MTQ qui comporte plusieurs aspects, dont la formation et le développement.

Également, un logiciel permettant l'analyse automatique des images infrarouges (Analyseur Thermo) est actuellement en déploiement. Cet outil représente une amélioration significative à la procédure.

L'utilisation de la thermographie et des VTM a fait ses preuves et s'inscrit maintenant parmi les pratiques courantes dans le domaine des enrobés au Québec. ■

La thermographie appliquée à la pose des enrobés est un dossier actif au MTQ qui comporte plusieurs aspects, dont la formation et le développement.

L'implantation de la thermographie comme méthode de contrôle de la qualité et l'usage des VTM se sont avérés des changements majeurs dans le domaine de la mise en œuvre des enrobés au Québec. Les VTM sont maintenant utilisés dans la majorité des contrats du réseau routier québécois. Une meilleure maîtrise des ajustements des finisseuses, l'achat de finisseuses plus performantes et l'utilisation des VTM sont des éléments importants qui ont contribué à améliorer la qualité de la pose au fil des années.

1. Bergeron, G., Performance des techniques de retraitement en place et de recyclage à froid au Québec, ministère des Transports du Québec, Congrès annuel de l'Association des transports du Canada (ATC), Calgary, Alberta, 16 p., 2005.
2. Smith, K.L., Smith, K.D., Hoerner, T.E., Darter, M.I., Effect of Initial Pavement Smoothness on Future Smoothness and Pavement Life, Transportation Research Record 1570, Transportation Research Board, pp. 60-69. 1997
3. Zaghoul, S., Development of Objective Payment Adjustment Criteria for Nova Scotia, Annual Conference of Transportation of Canada, Saskatoon, Saskatchewan, Transportation Association of Canada, 16 p. 2007.



Québec, Québec

# L'analyse du cycle de vie : un outil clé pour évaluer la performance environnementale des chaussées

Charles Thibodeau  
CT Consultant

**Pour atteindre les cibles de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) permettant de limiter la hausse de température moyenne à 2°C, des efforts considérables devront être accomplis dans tous les secteurs de l'économie, y compris celui de la construction des chaussées. Pour y arriver, les planificateurs et les concepteurs de chaussées devront avoir en main un outil pour mesurer les impacts environnementaux des différents types de chaussées à construire ou à entretenir. Avec cet outil, il sera alors possible de comparer différents scénarios, par exemple « béton bitumineux vs béton de ciment » ou encore « béton de ciment régulier vs béton compacté au rouleau » pour un projet de chaussée spécifique.**

## L'analyse du cycle de vie

L'outil clé permettant de mesurer les impacts environnementaux des chaussées s'appelle l'analyse du cycle de vie (ACV) dans sa version courte ou l'analyse environnementale du cycle de vie dans sa version plus évocatrice. Appliquée au cas d'une chaussée, l'analyse du cycle de vie permet de calculer les impacts environnementaux pour plusieurs catégories d'impacts (changements climatiques, acidification du milieu, création du smog, etc.) d'une chaussée donnée en considérant l'ensemble des substances envoyées dans l'environnement et les ressources consommées à chaque étape de la vie d'une chaussée : 1) extraction des matières premières, 2) transport vers le lieu de fabrication, 3) fabrication des matériaux, 4) transport des matériaux vers le site de construction de la chaussée, 5) installation des matériaux, 6) entretien et réhabilitation de la chaussée sur l'ensemble de sa durée de vie prévue (p. ex. 50 ans) et fin de vie de la chaussée sous la forme d'enfouissement ou de recyclage de certains matériaux. De plus, il est également possible d'élargir le périmètre d'analyse afin d'y inclure d'autres effets attribuables à une chaussée donnée, tels que l'effet de la dégradation de la qualité de la chaussée sur la consommation d'essence des véhicules et l'effet sur les changements climatiques découlant de l'albédo de la chaussée [1]. Typiquement, une ACV vise à déterminer quel type de chaussée est préférable d'un point de vue environnemental sur la base de plusieurs scénarios de chaussées

envisagées qui respectent les mêmes spécifications (DJMA, part de camions, urbain/rural, durée de vie, etc.), mais elle peut également servir à repérer les étapes du cycle de vie d'une chaussée donnée qui ont le plus d'impacts afin de les réduire.

L'analyse du cycle de vie des chaussées est une méthode en pleine évolution. Les premières ACV portant sur une chaussée dateraient de la fin des années 90, et leur nombre a augmenté grandement ces dernières années [2] [3]. Dans le contexte nord-américain, l'ACV des chaussées est en croissance, mais est surtout utilisée par les agences gouvernementales et

au rouleau et une chaussée en enrobé bitumineux pour un boulevard industriel, et 2) une ACV comparative entre une chaussée en enrobé bitumineux et une chaussée en béton de ciment pour un cas type d'autoroute.

## Étude de cas 1 : ACV d'une chaussée de boulevard industriel

Pour la reconstruction de son boulevard industriel, la Ville de Châteauguay désirait savoir si une chaussée en

**L'analyse du cycle de vie des chaussées est une méthode en pleine évolution. Les premières ACV portant sur une chaussée dateraient de la fin des années 90, et leur nombre a augmenté grandement ces dernières années.**

le milieu universitaire, dont le MIT CS Hub [2] [4]. Au Québec, l'Université de Sherbrooke [3] et le CIRAIQ de Polytechnique Montréal [5] ont apporté leur contribution. Selon ce que l'on en sait, la première ACV de chaussée réalisée au

béton compacté au rouleau (BCR) procurait moins d'impacts environnementaux que son équivalent en enrobé bitumineux (EB). Pour répondre à la question, une analyse du cycle de vie comparative a été réalisée par l'Association canadienne du ciment et un rapport technique a été remis aux autorités compétentes de la Ville [6]. L'unité fonctionnelle utilisée, c'est-à-dire la base de comparaison des deux types de chaussée, était la suivante : **« Permettre le passage d'un débit journalier moyen annuel de 7500 véhicules dont 17,3 % de véhicules lourds sur un tronçon de 2,0 km situé à Châteauguay pendant une période de 45 ans »**. Sur cette base, une liste de matériaux de construction a été dressée et modélisée dans le logiciel Athena Pavement LCA v2.2. Ce logiciel, développé par l'Athena Sustainable Materials Institute localisé à Ottawa, permet d'évaluer et de comparer différents types

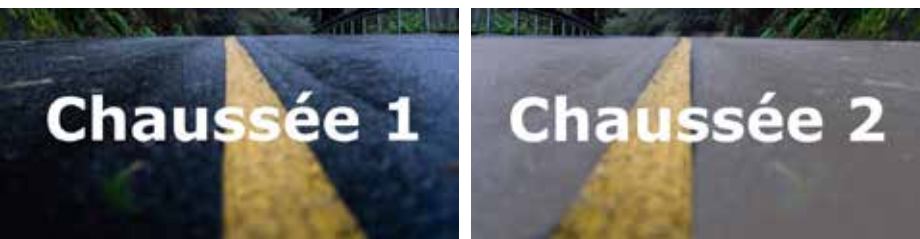


Figure 1

SOURCE  
CT Consultant

Québec aurait été accomplie par le CIRAIQ pour le compte du MTQ en 2009 [5].

Pour illustrer la manière dont une ACV est réalisée, deux études de cas sont présentées : 1) une ACV comparative entre une chaussée en béton compacté

de chaussées selon plusieurs paramètres clés définis par l'utilisateur et en exploitant la base de données d'inventaire du cycle de vie développé par l'Institut [7].

Les étapes du cycle de vie considérées dans l'étude étaient les suivantes : l'extraction des matières premières, le transport des matières premières, la fabrication des matériaux, le transport des matériaux et des équipements sur le site de construction, la construction de la chaussée et l'entretien et la réhabilitation de la chaussée.

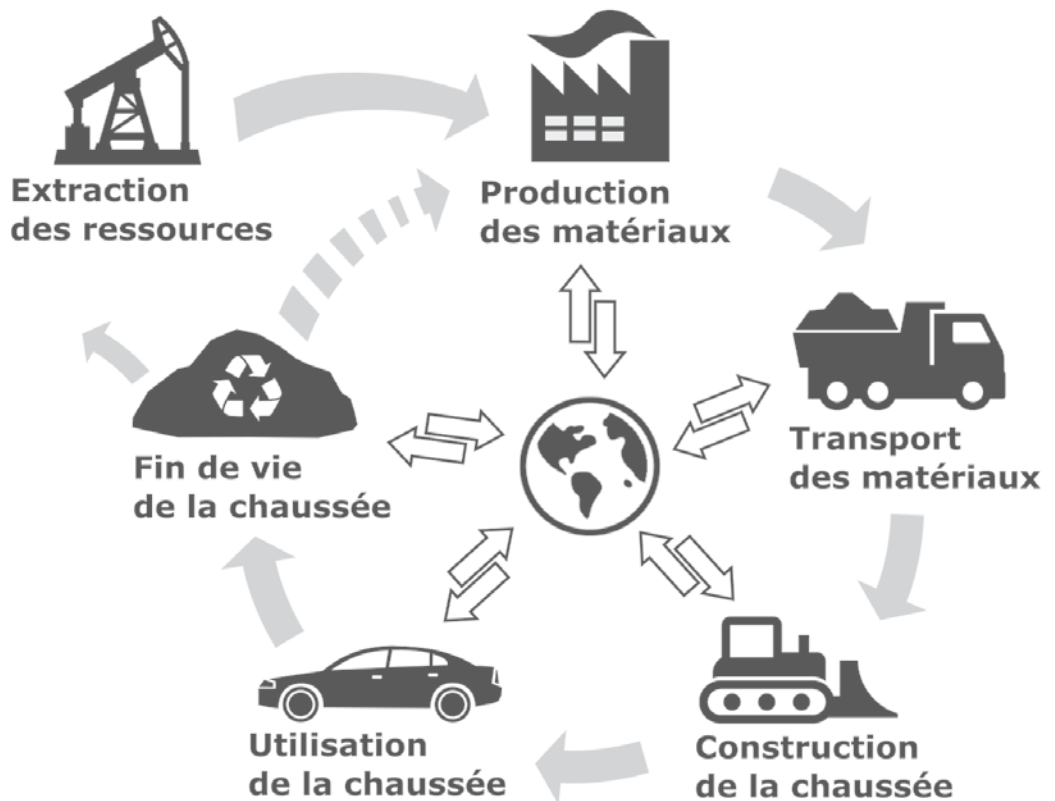
L'étape de l'entretien et de la réhabilitation de la chaussée a été modélisée à partir de calendriers d'entretien et de réhabilitation des chaussées (scellement, réparation, planage et resurfaçage) établis pour maintenir un niveau de service équivalent entre les deux scénarios, et ce, pour une période de 45 ans. Par ailleurs, les étapes d'utilisation de la route, telles que le nettoyage, l'entretien hivernal et l'éclairage, n'ont pas été prises en compte, tout comme la consommation en excès d'essence des véhicules liée aux interactions pneu-chaussée dans l'objectif de simplifier la réalisation de l'étude. La méthode d'évaluation des impacts environnementaux utilisée par le logiciel est la méthode TRACI v2.1, une

méthode qui traduit les flux entrants et sortants du système analysé (p. ex. CO<sup>2</sup>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, SO<sub>x</sub>, etc.) en scores d'impacts environnementaux pour plusieurs catégories [8]. La méthode a été élaborée principalement pour représenter les impacts spécifiques au territoire états-unien, mais est également jugée valable pour le contexte canadien [9]. Par souci d'efficacité, les résultats seront limités à six catégories d'impacts : réchauffement global, acidification du milieu, particules en suspension, eutrophisation, smog et combustibles fossiles.

Les scores d'impacts obtenus pour la chaussée de BCR et la chaussée en EB montrent que le BCR engendre moins d'impacts que l'EB, et ce, toutes les catégories considérées (Tableau 1). Cette différence s'explique par une économie d'impacts liée à l'entretien et à la réhabilitation de la chaussée du BCR par rapport à l'EB, économie qui compense largement le surplus d'impact lié à la production des matériaux (extraction, transport et fabrication) du BC par rapport à l'EB. À titre d'exemple, à la catégorie réchauffement global, la chaussée de BCR génère 1169 tonnes de GES de moins que celle en enrobé bitumineux. Exprimée

**Tableau 1 . Scores d'impacts pour deux types de chaussées d'un boulevard industriel**

Catégories d'impacts	Unité	Enrobé bitumineux (EB)	Béton compacté au rouleau (BCR)	Différence absolue	Différence relative
<b>Réchauffement climatique</b>	Tonne éq. CO <sub>2</sub>	3846	2677	1169	30 %
<b>Acidification</b>	Tonne éq. SO <sub>2</sub>	29,1	16,6	12,5	43 %
<b>Particules en suspension</b>	Tonne éq. PM2.5	5,7	3,5	2,2	39 %
<b>Eutrophisation</b>	Tonne éq. N	1,9	1,3	0,6	31 %
<b>Smog</b>	Tonne éq. O <sub>3</sub>	852	465	388	46 %
<b>Combustibles fossiles</b>	TJ (10 <sup>12</sup> J)	119,5	27,1	92,5	78 %



**Figure 2**  
Étapes  
considérées  
pour  
l'analyse  
du cycle de  
vie des  
chaussées

SOURCE  
CT Consultant

de façon plus évocatrice, cette économie de GES représente 277 voitures typiques roulant pendant une année (20 000 km) [10].

## Étude de cas 2 : ACV d'une chaussée d'autoroute

Dans une recherche exploratoire visant à valider l'effet de la qualité de la chaussée (niveau de rugosité et de déflexion) sur la consommation d'essence des véhicules, et son effet final sur l'impact du cycle de vie de la chaussée, une équipe composée de CT Consultant, avec l'aide du Athena Sustainable Materials Institute, a procédé à la comparaison des impacts environnementaux de deux types de chaussées d'autoroute (béton de ciment (BC) et enrobé bitumineux (EB)). La plus récente version (3.2) du logiciel Athena Pavement LCA a été utilisée. L'unité fonctionnelle utilisée était la suivante : **« Permettre la circulation quotidienne de 20 000 véhicules dont 5 % de véhicules lourds sur un tronçon d'autoroute à deux voies de 5,0 km, situé en milieu**

**urbain au Québec sur une période de 50 ans »**. Pour réaliser la collecte des données d'inventaire, les quantités de matériaux composant les deux types de chaussées comparées ainsi que leur calendrier d'entretien et de réhabilitation ont été repris de l'étude du CIRAIG réalisé pour le compte du MTQ en 2009 [5].

Pour définir l'interaction pneu-chaussée dans le logiciel et ainsi calculer l'effet de la qualité de la chaussée sur la consommation d'essence des véhicules circulant sur l'autoroute, plusieurs paramètres sont requis. Pour modéliser l'effet lié à la déflexion de la chaussée, les paramètres de l'épaisseur, de la densité et du module d'élasticité de la couche supérieure de la chaussée ont été entrés sur la base du design des chaussées d'autoroute [5]. Afin de modéliser l'effet de la rugosité de la surface de la chaussée, les valeurs d'indice international d'uni (IRI) avant et après une opération de réhabilitation devaient être spécifiées. Pour estimer des valeurs qui soient les plus réalistes possible en absence de valeurs réelles provenant du MTQ ou d'un logiciel de référence comme PavementME, il a été décidé de retenir les valeurs IRI de référence pour une autoroute québécoise qui

ont été établies par un groupe d'utilisateurs du logiciel PavementME : IRI de 1,2 après une opération de réhabilitation, un IRI de 2,2 avant

En effet, cet écart en faveur de l'enrobé bitumineux s'explique par un impact intrinsèque et par un impact lié à l'interaction

## Dans cette ère d'urgence climatique, un outil comme l'analyse du cycle de vie demeure essentiel pour fournir un bilan quantifié basé sur une méthode fiable et reconnue.

une opération de réhabilitation mineure et un IRI de 3,5 avant une opération majeure [11].

Les résultats montrent que l'enrobé bitumineux engendre moins d'impacts que la chaussée en béton de ciment à toutes catégories d'impacts, à l'exception de l'utilisation de combustibles fossiles.

pneu-chaussée qui sont moindres que ceux liés à son équivalent en béton de ciment, sauf pour l'impact intrinsèque à la catégorie des combustibles fossiles. Par ailleurs, il est à souligner que la part de l'impact total attribuable à l'interaction pneu-chaussée représente entre 60 et 80 % de l'impact total pour chaque type

Tableau 2 . Scores d'impacts pour deux types de chaussées d'autoroute

Types de chaussées	Catégories d'impacts	Unité	Impact intrinsèque*	Impact de l'interaction pneu-chaussée	Total	Différence absolue	Différence relative
BC	Réchauffement global	Tonne éq. CO <sub>2</sub>	6 132	18 336	24 468	-	-
EB	Réchauffement global	Tonne éq. CO <sub>2</sub>	4 255	17 143	21 398	-3070	-13 %
BC	Acidification	Tonne éq. SO <sub>2</sub>	39	103	142	-	-
EB	Acidification	Tonne éq. SO <sub>2</sub>	38	97	135	-7	-5 %
BC	Particules en suspension	Tonne éq. PM2.5	3,2	3,5	6,7		
EB	Particules en suspension	Tonne éq. PM2.5	2,2	3,3	5,5	-1,2	-18 %
BC	Eutrophisation	Tonne éq. N	2,9	6,3	9,2	-	-
EB	Eutrophisation	Tonne éq. N	2,1	5,9	8,0	-1,2	-13 %
BC	Smog	Tonne éq. O <sub>3</sub>	934	3084	4018	-	-
EB	Smog	Tonne éq. O <sub>3</sub>	817	2907	3724	-294	-7 %
BC	Combustibles fossiles	TJ (10 <sup>12</sup> J)	91	268	359	62	-15 %
EB	Combustibles fossiles	TJ (10 <sup>12</sup> J)	171	250	421	-	-



de chaussée. En conséquence, la qualité des données utilisées pour modéliser l'interaction pneu-chaussée demeure un enjeu de taille pour la robustesse d'une étude qui désire considérer cet aspect.

Les deux études de cas présentées illustrent l'importance pour les concepteurs et les planificateurs de se doter d'outils pour mesurer les impacts environnementaux des chaussées sur l'ensemble de leur cycle de vie. Ainsi, les intuitions et préconceptions sur la performance environnementale d'un type de chaussée par rapport à une autre peuvent facilement mener à des choix trompeurs. Dans cette ère d'urgence climatique, un outil comme l'analyse du cycle de vie demeure essentiel pour fournir un bilan quantifié basé sur une méthode fiable et reconnue. En plus d'orienter le choix vers un type de chaussées plutôt qu'un autre, l'ACV permet également d'envisager la mise en place de mesures pour diminuer encore davantage les impacts du type de chaussée retenu, par exemple en réduisant la distance de transport des matériaux ou en fixant des cibles d'émission par tonne de matériau produit à un manufacturier donné. Avec un portrait global des impacts environnementaux d'une chaussée, la voie est libre pour une réelle lutte aux changements climatiques en ne laissant pas derrière les autres problèmes environnementaux auxquels nous sommes confrontés. ■

1. Azarijafari H. 2018. Development of a consequential dynamic model incorporating variability and uncertainty analysis for assessing life cycle environmental impacts of pavements. Thèse de doctorat. Disponible en ligne : [https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/13618/Azarijafari\\_Hessam\\_PhD\\_2018.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/13618/Azarijafari_Hessam_PhD_2018.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
  2. Santero, N.J., Masanet, E. & Horvath, A., 2011. Life-cycle assessment of pavements. Part I: Critical review. Resources, Conservation and Recycling, 55(9–10), pp.801–809.
  3. Azarijafari H, Yahia A, Amor M Ben. 2016. Life cycle assessment of pavements : reviewing research challenges and opportunities. J Clean Prod;112:2187–97. doi:10.1016/j.jclepro.2015.09.080.://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.03.010.
  4. Harvey, J.T. et al., 2016. Pavement Life-Cycle Assessment Framework. Disponible en ligne : <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/sustainability/hif16014.pdf>.
  5. Kicak, K. et Ménard, J.-F. 2009. Analyse comparative du cycle de vie des chaussées en béton de ciment et en béton bitumineux à des fins d'intégration de paramètres énergétiques et environnementaux au choix des types de chaussées. Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec. Disponible en ligne : <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1111036.pdf>
  6. Lemieux, M. 2017. Comparaison des impacts environnementaux sur le cycle de vie d'une structure de chaussée en béton compacté au rouleau et d'une chaussée en enrobé bitumineux dans le cadre de la reconstruction du boulevard Industriel à Châteauguay. Rapport technique. Disponible sur demande à l'Association canadienne du ciment.
  7. Athena Sustainable Materials Institute, 2019. Athena Pavement LCA. Disponible en ligne : <http://www.athenasmi.org/our-software-data/pavement-lca>.
  8. Bare et al., 2012. TRACI 2.1 - Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts version 2.1. User Manual. US EPA. 24 p. Disponible en ligne : <https://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100HN53.pdf>.
  9. Ryberg M, Vieira MDM, Zgola M, Bare J, Rosenbaum RK. Updated US and Canadian normalization factors for TRACI 2.1. Clean Technol Environ Policy 2014;16:329–39. doi:10.1007/s10098-013-0629-z.
  10. FAQDD. 2010. Calculateur GES. Disponible en ligne : [http://www.faqdd.qc.ca/public/Calculateur\\_GES\\_FAQDD\\_version2013.xls](http://www.faqdd.qc.ca/public/Calculateur_GES_FAQDD_version2013.xls)
  11. TAC (2014) Canadian guide: default parameters for AASHTOWare PavementME Design. PavementME user group. 52 pages.
- i \*L'impact intrinsèque représente l'impact cumulé lié à la production des matériaux, au transport sur site, à la construction et à l'entretien/réhabilitation de la chaussée.



Montréal, Québec

# Aménager pour les piétons et les cyclistes

Marc Jolicoeur  
Vélo Québec

**Vélo Québec publiait son premier *Guide technique d'aménagement des voies cyclables* en 1990, en pleine renaissance du vélo. Cette référence, qui outillait les professionnels et les décideurs, paraissait la même année qu'un premier cahier de normes de signalisation des voies cyclables publié par le ministère des Transports du Québec.**

**U**ne révision complète de ce premier guide, publiée en 2003 sous la direction de l'auteur, introduisait les notions de modération de circulation et de complémentarité avec les transports en commun, déjà bien implantées en Europe, mais peu connues ici, de même que des aménagements spécifiques aux cyclistes, comme les pistes cyclables unidirectionnelles sur rue et les sas vélo. L'ajout de figures schématiques a favorisé la diffusion de ces connaissances à un public plus large. Plusieurs de ces éléments ont par la suite été introduits dans les normes du Ministère.

En 2009 paraissait *Aménagements en faveur des piétons et des cyclistes*, qui prenait acte de la complémentarité de la marche et du vélo. Ce guide comblait un vide au Québec, les normes du ministère des Transports étant presque muettes au sujet des aménagements pour les piétons.

Dix ans plus tard, une importante mise à jour s'imposait, l'utilisation du transport actif et les pratiques d'aménagement ayant beaucoup évolué. Sur le plan de l'utilisation, davantage de gens se déplacent à vélo, la saison d'affluence s'allonge, et l'utilisation hivernale s'accroît.

Du côté des pratiques se manifeste une volonté de créer des aménagements conviviaux, qui incitent un public diversifié à marcher et à faire du vélo. Ce qui passe par des trottoirs larges, des voies cyclables séparées, la généralisation de la modération de la circulation et l'introduction d'aménagements tels la rue partagée, la vélorue, la bande cyclable suggérée et l'intersection protégée. Au-delà de l'effet de mode, il est important de comprendre l'utilité de ces aménagements, leur champ d'application et leurs limites.



**Figure 1**

Piste cyclable  
au niveau du  
trottoir

SOURCE  
Vélo Québec

Comme son titre, *Aménager pour les piétons et les cyclistes*, rédigé par Bartek Komorowski et Marc Jolicoeur, est plus synthétique que l'édition précédente. Plus facile à consulter et mieux illustré, il amène le lecteur à revoir ses façons de concevoir la rue, la route et même l'espace urbain.

## Répondre aux besoins des piétons et des cyclistes

Les besoins des piétons et des cyclistes se résument à efficacité, confort et sécurité. Traditionnellement, pour les piétons ceci se traduit par des trottoirs de béton, des bateaux pavés en diagonale aux intersections et des feux piétons avec décompte numérique aux croisements majeurs. Pour les cyclistes, il s'agit souvent de bandes cyclables délimitées par une simple ligne de peinture. Ces éléments sont utiles, mais il est possible de faire mieux à plusieurs égards, comme le démontre le nouveau guide.

### LARGEUR DES TROTTOIRS

La largeur du trottoir devrait être d'au moins 1,8 m, pour le croisement confortable de deux piétons ou celui serré d'une personne en fauteuil roulant et d'un piéton. Cette largeur évite également que les équipements de déneigement arrachent la pelouse qui borde le trottoir. Une largeur plus importante est requise devant les écoles pour permettre aux élèves de marcher côte à côte hors de la chaussée, devant les salles de spectacles, les commerces, etc.

### SURFACE PLANE ET UNIFORME

La continuité du trottoir au croisement de l'entrée charretière affirme la priorité des piétons sur les automobilistes. Une surface plane d'au moins 1,2 m de largeur est requise pour le passage des fauteuils roulants, des poussettes, des personnes qui marchent avec une canne ou une marchette. Pour y arriver, il est recommandé de conserver le trottoir au

même niveau et d'aménager la pente de l'entrée charretière dans la banquette, entre le trottoir et la chaussée.

S'il n'y a pas de banquette, une solution acceptable consiste à conserver le trottoir au même niveau, rétrécir le corridor de marche jusqu'à un minimum de 1,2 m et aménager la pente de l'entrée dans l'espace repris aux piétons; une pente raide incitera les automobilistes à ralentir et à céder le passage aux piétons.

Sur un trottoir de béton, des joints sciés assurent une surface plus uniforme

intersection, une phase protégée de courte durée ou sur appel augmentera inutilement le temps d'attente et incitera ceux qui ne se sentent pas en danger à traverser au feu rouge.

### DES VOIES SÉPARÉES POUR LES CYCLISTES

Les pistes cyclables unidirectionnelles entre la chaussée et le trottoir sont la norme dans les pays où le vélo occupe une part importante des déplacements en milieu urbain. Aux Pays-Bas, ces pistes sont au même niveau que le trottoir. Au

## Les pistes cyclables unidirectionnelles entre la chaussée et le trottoir sont la norme dans les pays où le vélo occupe une part importante des déplacements en milieu urbain.

que les joints effectués à la truelle, qui occasionnent des secousses désagréables aux personnes en fauteuil roulant. Une surface d'asphalte peut être une solution intéressante à cet égard. Aux intersections, l'abaissement dans l'axe du trottoir facilite le cheminement des personnes handicapées.

### EFFICACITÉ ET SÉCURITÉ DES FEUX DE CIRCULATION

Une phase protégée pour les piétons ou les cyclistes offre un haut niveau de confort et de sécurité, mais ne doit pas se faire au détriment de l'efficacité. Au croisement d'une rue secondaire, on préférera une phase non protégée, où piétons et cyclistes bénéficient de toute la durée du feu vert et ont la priorité sur les véhicules qui tournent. À une telle

Danemark, elles sont souvent à mi-niveau entre le trottoir et la chaussée. Cette solution facilite le repérage de la limite entre les corridors de circulation des piétons et des cyclistes, mais complexifie les opérations de déneigement.

Après un départ très lent au Québec, où la Ville de Mont-Saint-Hilaire a été une pionnière avec l'aménagement sur la rue Fortier et le chemin Ozias-Leduc, il y a multiplication de ces pistes depuis 2015. Celles-ci se retrouvent maintenant à Gatineau sur la rue Laurier, à Laval sur plusieurs boulevards (Le Corbusier, Daniel-Johnson, de la Concorde...), à Longueuil sur le boulevard La Fayette, à Montréal sur l'avenue Pierre-de-Coubertin. La Ville d'Ottawa en a également aménagé de longs segments sur les rues Churchill et Main.

## L'INTERSECTION PROTÉGÉE

**A**u croisement de rues dotées de pistes cyclables, l'intersection protégée comporte des îlots qui empêchent les véhicules d'empiéter dans la zone de croisement des corridors cyclables. Cette géométrie :

- donne plus de temps aux conducteurs pour réagir et céder le passage aux piétons et aux cyclistes;
- crée des zones d'attente distinctes pour les piétons et les cyclistes, hors de leurs corridors de cheminement;
- raccourcit les passages piéton et vélo, ce qui diminue l'exposition aux véhicules;
- améliore la visibilité.

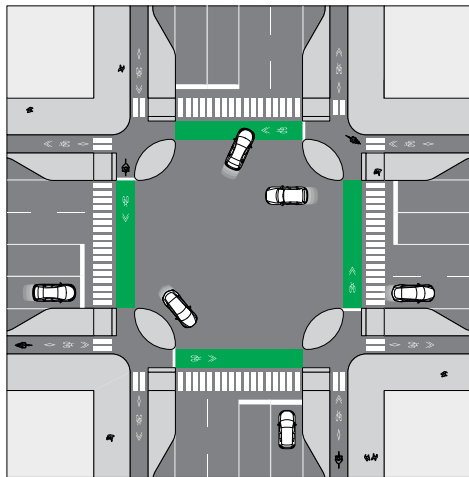


Figure 2

Intersection protégée

SOURCE  
Vélo Québec

## DES VOIES PARTAGÉES

**L**es concepts de rue partagée et de vélorue, déjà mentionnés dans le guide de 2009, ont récemment été introduits dans le Code de la sécurité routière du Québec. La rue partagée, nommée « zone de rencontre » en Europe, est une voie partagée par les piétons, les vélos et les automobiles, où la vitesse

est limitée à 20 km/h. Les piétons y sont nombreux et ont le droit de circuler sur toute la largeur de la rue. Les automobilistes sont tenus de céder le passage aux piétons et aux cyclistes, et les cyclistes aux piétons. La rue partagée s'implante dans des contextes tels les campus d'université, les quartiers historiques et les rues avec des commerces de proximité où on veut encourager l'accès à pied sans toutefois interdire celui des véhicules.

La vélorue est une rue à faible vitesse et faible débit de circulation motorisée où les cyclistes sont autorisés à circuler côte à côte. Elle s'implante en milieu urbain sur un axe recelant le potentiel de générer un débit de vélos importants. La vélorue est dotée de mesures préférentielles qui empêchent le transit des automobiles sans entraver celui des vélos et qui facilitent le franchissement des artères.

La bande cyclable suggérée n'a pas encore été introduite dans les normes québécoises. C'est une voie cyclable implantée de part et d'autre d'une voie de circulation étroite à double sens et sans ligne axiale. Les véhicules circulent entre les deux bandes cyclables suggérées, dans un corridor dont la largeur est insuffisante pour un croisement. Ils sont autorisés, en l'absence de vélos, à empiéter dans la bande cyclable suggérée pour se croiser. La présence légitime des vélos est renforcée par la bande cyclable suggérée, mais ceux-ci n'y ont pas l'exclusivité, contrairement à la bande cyclable standard.

## Réapprendre l'hiver

**C**ertaines villes nordiques le démontrent, il est possible de maintenir une part importante de déplacements actifs en hiver. Pour y parvenir, il faut aménager en pensant déneigement et déneiger efficacement.

Une conception adéquate pour l'entretien hivernal requiert de prendre en considération :

- le type et le gabarit des équipements qui seront utilisés : un trottoir ou une piste cyclable très étroits nécessiteront des équipements de petite capacité, coûteux à opérer;
- la possibilité d'entretenir simultanément plus d'une voie : un trottoir et une piste cyclable adjacents et au même niveau peuvent être entretenus simultanément; s'ils sont séparés par des arbres ou du mobilier urbain, ou s'ils ne sont pas au même niveau, il faudra les entretenir séparément, ce qui double le coût d'entretien;
- l'espace pour le stockage de la neige : une banquette entre le trottoir ou la piste cyclable et la rue permet d'accumuler la neige avant de la charger pour l'amener au dépôt à neige; un léger empiétement de l'andain de neige dans le corridor de circulation des piétons ou des cyclistes est tolérable, à condition de maintenir un corridor dégagé de 1,5 m pour les piétons et 1 m pour une voie cyclable unidirectionnelle.

Le déneigement efficace des trottoirs et des pistes cyclables requiert plus que le traditionnel duo chasse-neige/épandeuse de sel et d'abrasifs. Sur la chaussée, après le passage du chasse-neige, les véhicules motorisés fondent les résidus de neige grâce à la chaleur de leur moteur, à la largeur de leurs pneus et à leur poids. Les piétons et les cyclistes ne disposent pas de ces avantages, et les résidus de neige s'accumulent en croûtes glacées diminuant l'efficacité, la sécurité et le confort de leurs déplacements.

Les balais mécaniques sont beaucoup plus efficaces que les équipements à lame pour enlever une fine couche de neige. Ils peuvent être employés seuls ou couplés à d'autres équipements tels une lame ou un réservoir à saumure sur un même véhicule. En laissant moins de neige résiduelle, ils minimisent les besoins d'épandage d'abrasifs et de fondants. Le balai mécanique est très utile lorsque les conditions sont propices à l'accumulation de croûte de neige :

- neige mouillée avec refroidissement annoncé;
- température près du point de congélation;
- chaussée près du point de congélation.

Pour ce qui est des fondants, la saumure est plus facile à épandre que le sel granulaire et il est aussi plus facile d'ajuster le dosage d'épandage selon les besoins. Aux Pays-Bas, cet ajustement se fait automatiquement et en continu sur la route, à l'aide du GPS du camion qui reçoit par télémétrie les données de température de thermomètres fixés dans la chaussée. ■

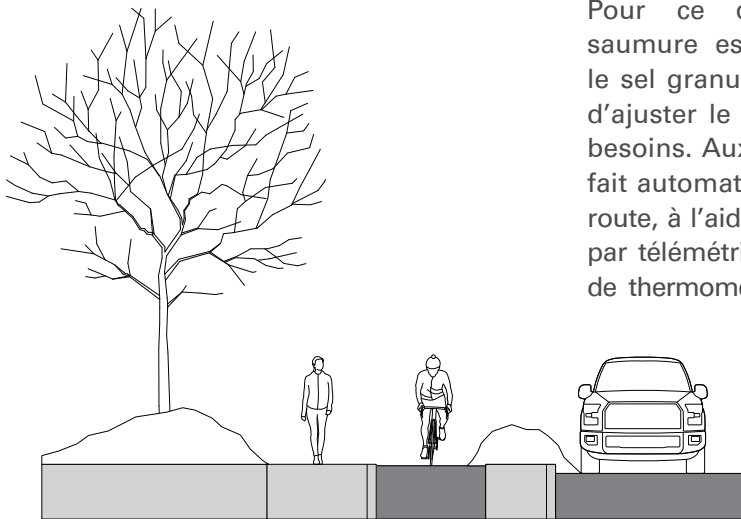


Figure 3

SOURCE  
Vélo Québec



Montréal, Québec

# Des systèmes de biorétention sur l'avenue Papineau : une gestion écologique de l'eau de pluie par les plantes, en route vers la « ville éponge »

Guy Trudel, **Ville de Montréal**  
David Courchesne, **Les Services EXP.**

**En quoi mettre plus de nature dans nos rues profiterait-il à Montréal? Telle est l'idée de cette publication où nous tentons un plaidoyer pour une transformation durable et équitable de nos pratiques de gestion des eaux pluviales en transport et en mobilité pour lesquelles nous démontrons, réalisation à l'appui, le potentiel inouï du projet de transition écologique de l'avenue Papineau.**

## Redonner «vie» à nos rues

**M**ontréal, à l'instar de plusieurs grandes villes internationales qui aspirent à devenir plus vertes, peut maintenant revendiquer plus de «nature» dans ses rues avec la revitalisation de la nouvelle avenue Papineau. Elle innove en matière d'infrastructures vertes en intégrant à cette artère névralgique une solution d'avant-garde pour répondre à des enjeux de société imposés par les défis des prochaines conditions climatiques anticipées mondialement. En ce qui concerne la mobilité durable, Montréal s'engage résolument vers la transition écologique.

Installés depuis 2017, trente-huit bassins de biorétention végétalisés agissent comme de véritables «éponges urbaines». Que ce soit lors de petites ou de fortes pluies, celles-ci sont prêtes à diminuer non seulement les débits de pointe, mais aussi les volumes rejetés, à prévenir les surcharges du réseau d'égout public existant et à éliminer les surverses fréquentes au milieu naturel réceptif. Comme Shanghai ou New York, Montréal peut rêver de devenir réellement une «Sponge City».

Révolutionnaire, ce projet écologique de requalification urbaine devient à ce jour une réalité nouvelle en matière de gestion durable des eaux pluviales et de verdissement massif en milieu artériel lourd, permettant d'améliorer la résilience de la ville et d'assurer un environnement durable à la faveur d'une diminution des îlots de chaleur, d'une augmentation des surfaces perméables et

Plus de nature dans nos villes signifie aussi moins de pollution dans nos environnements liés aux transports. Ce nouvel écosystème urbain de bassins de biorétention gère les eaux de pluie en instaurant des processus de phytoremédiation au moyen des plantes et de leurs terreaux comme de mini centrales de traitement des polluants et des matières en suspension.

pouvons assurément affirmer que l'axe routier des années 60 a cédé la place à un boulevard digne du XXI<sup>e</sup> siècle, déminéralisé, durable, humain, convivial et verdoyant.

Planter des systèmes de biorétention, c'est avant tout compter sur près de 300 nouveaux arbres plantés et 2500 arbustes d'essences variées pour une biodiversité assumée. Réussir une gestion écologique des eaux de

## Installés depuis 2017, trente-huit bassins de biorétention végétalisés agissent comme de véritables «éponges urbaines».

### Vers un boulevard déminéralisé, convivial et verdoyant

L'avenue Papineau est une artère primordiale pour Montréal. Elle compte un débit de circulation dense et permet depuis le pont Jacques-Cartier de relier le centre-ville aux secteurs situés au nord de la métropole et même au-delà par le pont Papineau-Leblanc vers Laval et la couronne nord.

Le plus grand défi pour Montréal fut d'intégrer cette incontournable nécessité véhiculaire de satisfaire aux nouvelles réalités environnementales qui pèsent de plus en plus dans l'aménagement des villes. Or, pour réaliser une artère performante, l'aménagement d'une autoroute en milieu urbain n'est plus une solution viable et socialement acceptable.

Planter des infrastructures vertes dans un environnement entièrement routier est indéniablement un tour de force. De la fracture urbaine avérée que présentait l'avenue jadis, l'aventure récente de sa revitalisation prouve hors de tout doute que Montréal a la capacité de relever le défi vers plus de nature et de verdure dans ses rues. Aujourd'hui, nous

pluie, c'est compter sur un réseau racinaire de plus de 35 000 plants de graminées et de vivaces réparties en plusieurs espèces différentes.

### «Perméabiliser» nos environnements urbains

À l'heure où le territoire montréalais est confronté à une urbanisation de plus en plus pressante et à d'importantes perturbations climatiques récurrentes, la population réclame désormais des solutions écologiques et viables, porteuses d'avenir. Avec Papineau, nous instaurons définitivement plus de perméabilité et de résilience à nos environnements urbains.

Ainsi, le réaménagement de l'avenue Papineau est une occasion réussie par Montréal de mettre de l'avant une méthode innovante et moderne afin de répondre aux préoccupations de drainage de cette artère névralgique dans un horizon écologique de transition et de développement. Dès 2011, les concepteurs décident de recourir à des pratiques de gestion optimale de l'eau de pluie à la source, sans rejet direct à l'égout existant. En d'autres mots, les eaux de pluie vont pratiquement disparaître avant même





**Figure 1**  
Bassin planté  
de biorétention  
et de  
biodiversité

SOURCE  
Lise Gobeille

d'atteindre l'usine d'épuration. Les bassins de biorétention végétalisés seront construits en 2017 et agiront sur la rue comme trente-huit «éponges géantes». D'un environnement fortement minéralisé, nous migrons dès lors vers une perméabilité porteuse de résilience urbaine écologique.

Ces nouveaux ouvrages de gestion des eaux pluviales offrent des bénéfices insoupçonnés, tels en santé publique, puisqu'ils sont concordants avec ce besoin qu'ont nos villes de produire plus de verdissage dans nos rues, de développer plus de convivialité et plus d'humanisation dans nos espaces urbains. C'est une solution inclusive où le partage de l'espace public sert équitablement l'ensemble de la communauté des multiples usagers de la route, qu'ils soient à pied, à vélo ou à bord d'un véhicule. Ces ouvrages uniques permettent ainsi un équilibre retrouvé entre le besoin de réduire des volumes et un flux rapide de véhicules, d'augmenter la présence d'usagers plus lents et la nécessité incontournable de verdir massivement nos rues.

Papineau, c'est un écosystème paysager intégré à toute la rue comme en fait foi le large mail planté 4,2 m au centre de l'emprise routière, le nombre réduit de voies véhiculaires, la présence d'un large trottoir de 4 mètres pour les besoins des 150 hectares du futur parc Frédéric-Back, une consolidation des buttes plantées existantes et, surtout, nos

1200 mètres linéaires de bassins plantés de biorétention larges de 3,5 m.

## Vers une urbanité résiliente

Les systèmes de biorétention de l'avenue Papineau se distinguent par leur simplicité, principale originalité, un atout important de pérennité et de résilience urbaine. Révolutionnaires par leur sobriété technologique, ces systèmes sont irréfutablement faciles à construire.

Composés d'équipements civils standards (puisards et drains) et de matériaux disponibles localement (terreaux et végétaux), ces ouvrages de gestion durable de l'eau de ruissellement jouissent d'une reproductibilité infaillible tout en étant équitables d'un point de vue environnemental et sont dotés d'une empreinte carbone neutre.

Le fonctionnement silencieux et invisible de ces ouvrages verts où l'eau de pluie disparaît littéralement ne requiert aucune technique et aucun entretien particulier, ce qui les rend uniques et singuliers.

Simplement, l'eau de pluie ruisselant sur la chaussée à travers des puisards standards s'infiltré par gravité dans un mélange défini de terre et de sable pour permettre

## Des systèmes de biorétention sur l'avenue Papineau : une gestion écologique de l'eau de pluie par les plantes, en route vers la « ville éponge »

une juste percolation. Un drain perforé se déploie au fond des bassins pour une dispersion uniforme de l'eau au terreau, lui-même doté d'un réseau racinaire naturellement fourni par les végétaux. Sans aucune infrastructure grise supplémentaire, la mise en place de ce nouvel équipement vert selon le principe « Less is more! » vise principalement à soulager le collecteur existant Curotte-Papineau, sujet à des débordements fréquents.

Installer trente-huit bassins de biorétention et s'assurer ainsi que la gestion durable de l'eau de pluie contribue à lutter contre les changements climatiques en favorisant la réduction de polluants et en apportant plus de fraîcheur dans nos villes. S'assurer également d'une urbanité plus résiliente dont on appréciera les bienfaits sur la santé publique lors d'épisodes de chaleur intense ou d'événements pluviaux exceptionnels.

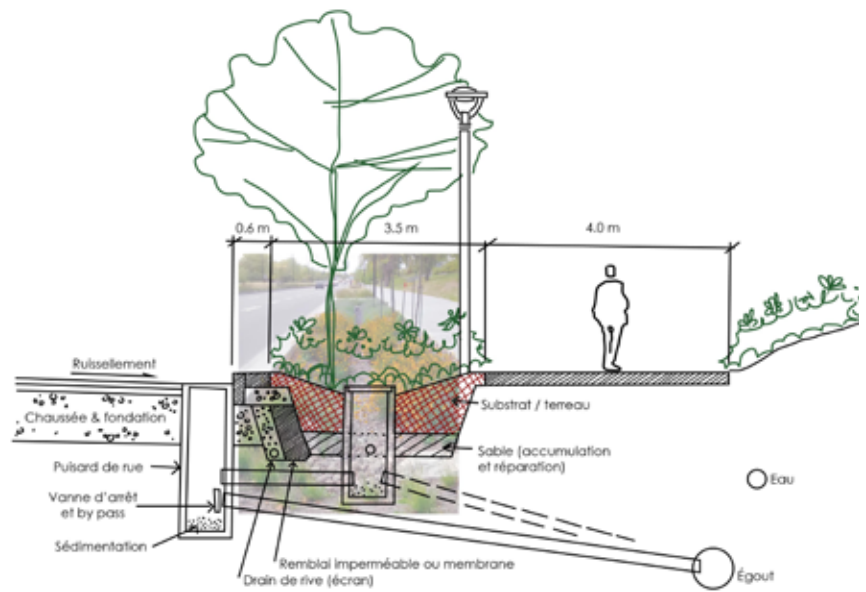
On voit déjà ce dont est capable une infrastructure verte de type Papineau après les conditions climatiques connues lors du dernier cycle saisonnier; un hiver 2019 particulièrement froid, un printemps tardif où les chaleurs ne sont apparues qu'en juin et un été très sec avec peu de précipitations. Les végétaux ont dû s'adapter tout au long des saisons pour finalement exploser littéralement et atteindre leur plein potentiel au cours d'un automne particulièrement pluvieux.

### Pour une transversalité du savoir et de l'expertise: vers plus de partage entre les experts et les citoyens

Le projet initial d'infrastructure verte de Papineau, au début mal perçu, se distingue grâce à un consensus

unanime de tous les professionnels autour de plusieurs enjeux techniques de fond. Pour espérer mettre plus de nature dans nos rues et les rendre plus perméables, il faut aussi miser sur une transversalité incontournable du savoir et de l'expertise, un partage entre experts et citoyens.

Les responsables du projet se sont donc assurés de mettre en place un programme de monitoring pour un suivi technique et expérimental exigeant dont une prémisses est basée sur la diffusion des connaissances acquises afin de garantir la pérennité et la reproductibilité des ouvrages réalisés.



L'école Polytechnique de Montréal a donc relevé le défi et constitué une équipe de chercheurs qui, dès l'été 2018, s'est consacrée au suivi continu des bassins végétalisés. Échelonnées sur les trois premières années de mise en fonction de cette infrastructure verte, les activités de recherche basées sur des observations systématiques et la cueillette d'un ensemble précis de données techniques permettent déjà d'établir les conditions irréfutables au succès de reproduction d'ouvrages similaires sur les rues de Montréal et exportables à d'autres centres urbains.

**Figure 2**  
Illustration du souterrain

SOURCE  
Martin Guay  
et Ville de  
Montréal



**Figure 3**  
Vue de l'existant en 2011

SOURCE  
Ville de Montréal

**Figure 4**  
Vue d'un bassin lors d'une pluie

SOURCE  
Ville de Montréal

D'un projet expérimental, le monitoring de Papineau offre la possibilité d'être comme un grand laboratoire urbain visant un partage des connaissances scientifiques et pratiques dans un rapport de collégialité entre universités et municipalités. Déjà, les résultats préliminaires sont probants comme en témoignent les échantillons d'eaux prélevés. De couleur noire à l'entrée de nos bassins de biorétention, les eaux de pluie en ressortent plus vertes et plus transparentes, grâce à la biofiltration de l'écosystème du réseau racinaire de nos végétaux.

Les observations recueillies par les différents instruments de mesure tels les débitmètres, perméamètres, sondes et stations météo, pointent toutes dans la même direction, les trente-huit bassins sont efficaces dans leur fonction de dépollueurs urbains et dans leurs tâches à diminuer non seulement les débits de pointe (plus de 45 minutes d'écart), mais aussi les volumes rejetés (près de 88 % de rétention). Ces données sont précieuses. Elles viennent corroborer nos hypothèses de départ, soient

## Vers un avenir plus écologique de nos rues

**M**algré la démonstration de la viabilité d'un réseau résilient de rues, il reste encore plusieurs défis à surmonter pour migrer d'une ville qui reste encore passablement imperméable et minérale à la ville dite «éponge».

Dans la volonté d'une transition écologique pour Montréal, tout reste à faire! Au-delà des récentes avancées à mieux gérer les eaux de pluie ruisselant sur nos rues, les acquis sont minces et beaucoup de chemin reste à parcourir.

Néanmoins, et nous venons de le voir, mettre plus de «nature» dans nos rues est tout à fait possible comme en témoigne la mise en place récente des infrastructures vertes de l'avenue Papineau. Il est sans conteste réaliste d'imaginer un avenir écologique et résilient pour Montréal. ■

<sup>i</sup> Voir le reportage au téléjournal de Radio-Canada, vendredi 2 août 2019, 18h00. <https://ici.radio-canada.ca/tele/le-telejournal-18h/2016-2017/segments/reportage/127232/plantes-gestion-eau-pluie-montreal>



**Figure 5**  
Des eaux noires à l'entrée des bassins

SOURCE  
Julia Bond

**Figure 6**  
Des eaux vertes à la sortie des bassins

SOURCE  
Julia Bond

celles voulant que les infrastructures vertes aient la capacité, entre autres, de prévenir les surcharges du réseau d'égout public existant et d'éliminer les surverses fréquentes au milieu naturel réceptif.



Montréal, Québec

# Et si le secteur ferroviaire pouvait exploiter au maximum les données?

James Salvolainen et Jordan Daniels  
**WSP**

Les quantités de données créées augmentent de manière exponentielle et font plus que doubler tous les deux ans. D'ici 2020, on s'attend à ce que 50 milliards de dispositifs soient connectés via l'Internet des objets, et que ceux-ci génèrent 44 milliers de milliards de giga-octets de données<sup>1</sup>. Lorsqu'utilisées correctement, soumises à des analyses et gérées avec rigueur, les données peuvent servir à orienter les décisions sur des stratégies de remise en état, de mise à niveau, d'opération et de maintenance. Le transport ferroviaire, ainsi bonifié et plus efficace, offrirait aux usagers un service plus rapide, plus sécuritaire, plus économique et plus fiable qu'auparavant.

## Données ferroviaires

Les données ont une grande valeur pour les opérations ferroviaires. On estime que l'inspection et la maintenance préventive peuvent réduire les coûts d'entretien des chemins de fer de 25 % tout en améliorant l'offre de services et la disponibilité des actifs<sup>2</sup>. Les données ferroviaires offrent également des avantages durant toute la durée d'un projet en permettant aux ingénieurs, aux opérateurs et aux responsables de la maintenance de prendre des décisions éclairées, de réduire les coûts et de fournir un service fiable aux usagers.

### LES MÉGADONNÉES CHANGENT LA DONNE DANS LE SECTEUR FERROVIAIRE<sup>3</sup>

Afin de tirer pleinement parti des données pour la maintenance préventive, il faut qu'elles soient abondantes et de grande qualité. Ces données peuvent ensuite être analysées pour orienter les décisions en matière de maintenance.

Pour appliquer l'approche Conçu pour l'avenir<sup>MD</sup>, le secteur ferroviaire doit considérer la valeur des données pour toute la durée de vie du projet, et orienter la conception actuelle en conséquence.



Figure 1

SOURCE  
WSP

## Acquisition de données

**LA TECHNOLOGIE S'AMÉLIORE RAPIDEMENT : ELLE PERMET DE RECUEILLIR DAVANTAGE DE DONNÉES ET DE SURVEILLER EN TEMPS RÉEL L'ÉTAT D'UN NOMBRE GRANDISSANT D'ACTIFS.<sup>4</sup>**

Les données sont devenues un prérequis pour que la technologie et les capteurs soient économiques, connectés et productifs. Il est plus facile que jamais d'acquérir des données, de manière passive ou active, à partir de nombreuses sources. Le secteur ferroviaire est devenu riche en données en raison de cette tendance.

La connectivité sans fil a fait exploser le volume des données en connectant des périphériques sans infrastructure réseau physique coûteuse. Des technologies comme le 5G permettent la connexion plus rapide des périphériques avec des

taux de transfert comparables à ceux des réseaux câblés. Ce qui est très important dans le secteur ferroviaire en raison de l'espace souvent limité et des améliorations coûteuses.

L'explosion du volume des données dans le secteur ferroviaire a mené au cloisonnement des données. En l'absence d'un service interne centralisé contrôlant et gérant le processus, les différents services d'une entreprise recueillent souvent des renseignements chacun à leur façon dans divers formats. Cela conduit fréquemment à la duplication des données qui n'ont pas été validées de manière cohérente, et à des problèmes liés à leur accès, à leur exactitude et à leur facilité d'utilisation au sein des entreprises. Lors d'un tel scénario, il est impossible de tirer parti des systèmes de données modernes en temps réel. La gestion des données traite ces problèmes par l'entremise de la gouvernance, de l'architecture et de la propriété, garantissant ainsi la disponibilité de données de grande qualité dans l'ensemble de l'entreprise.

## Gestion des données

### POURQUOI LES DONNÉES NE SONT-ELLES PAS TRAITÉES COMME LES AUTRES ACTIFS FERROVIAIRES, AVEC LA GOUVERNANCE, LA GESTION ET LE STOCKAGE APPROPRIÉS?

La gouvernance des données est le fondement de la gestion des données. Elle construit un cadre pour garantir la disponibilité, l'utilisabilité et la cohérence des données. Elle définit aussi les processus et les politiques pour faciliter la gestion formelle d'actifs sous forme de données importantes. Elle fait en sorte que des renseignements fiables soient accessibles et utilisés pour les processus critiques et la prise de décisions. Les politiques de gouvernance des données décrivent les règles pour la saisie et la préservation des données, régissent leur application, désignent les gestionnaires de données et dictent les règles à respecter par les utilisateurs.

Une architecture évolutive pour emmagasiner, organiser et consulter les données est essentielle pour gérer le volume de données produit par le secteur ferroviaire. Une robuste architecture de données forme des référentiels pour l'extraction et l'utilisation de ces dernières par les différents services de l'entreprise. Elle facilite aussi la validation des données en favorisant la création de structures normalisées. Cela permet à différents services d'accéder à des données de grande qualité à différents moments par l'entremise de référentiels centralisés. Grâce au format normalisé des données, les valeurs de conception peuvent être enregistrées dans le même système que les valeurs mises en service et les observations en matière de maintenance. Les ingénieurs ont ainsi accès aux données de cycle de vie des

opérations ferroviaires en tant qu'intrants pour des conceptions à maintenance améliorée. La chaîne d'approvisionnement et les acquisitions peuvent aussi mieux saisir la fréquence des pannes et les niveaux d'inventaire requis. Tout cela peut être accompli sans dédoublement d'efforts.

Transformationnels, les avantages des données normalisées dans le secteur du transport collectif vont au-delà de l'opérateur ferroviaire individuel. Le General Transit Feed Specification (GTFS) est un excellent exemple de la manière dont la gouvernance de la structure de données peut être mise en œuvre avec succès. Il s'agit d'une norme de données ouverte largement répandue permettant de communiquer de l'information sur les horaires, l'emplacement et les frais du transport en commun. Depuis sa création en 2015, le GTFS joue un rôle important dans la prolifération de « centaines d'applications de transport collectif utiles et populaires<sup>5</sup> » en fournissant un cadre commun que les développeurs d'applications peuvent utiliser pour mettre au point des outils et des solutions de réseaux de transport en commun universels et conviviaux. Cela a grandement amélioré l'expérience générale sur les réseaux de transport collectif tout en transformant la façon dont les gens d'aujourd'hui utilisent le transport en commun. Tous ces avantages sont possibles grâce à la gouvernance des données et à la normalisation des formats de données.

### LE PROBLÈME NE VIENT PAS DES CAPACITÉS, MAIS PLUTÔT DE L'ABSENCE DE RESPONSABILITÉ ET DE COMMUNICATION

Les référentiels de données centralisés et la gestion formelle des données ne sont pas de nouveaux concepts. Le secteur ferroviaire n'a pas su assumer la responsabilité des données qu'il produisait, particulièrement lorsque leur volume a explosé. D'autres secteurs se

sont responsabilisés en désignant une seule entité pour superviser la gestion des données au sein d'une entreprise. Office Depot, par exemple, a été repensé en matière de gestion de données afin de confier à un seul service la responsabilité du stockage efficace et précis de ses données dans un référentiel centralisé. La nouvelle structure permet à Office Depot de produire des catalogues en ligne 40 % plus rapidement qu'avec sa structure précédente<sup>6</sup>.

### Analyse de données

Les données nous offrent leur pleine valeur quand elles sont abondantes, de grande qualité et disponibles pour alimenter les programmes de surveillance d'état des actifs et de maintenance préventive. Ces programmes analysent les données opérationnelles pour prédire les pannes. En offrant des avantages importants par rapport à la maintenance fondée sur les horaires, la surveillance d'état et la maintenance préventive sont l'avenir de la maintenance des chemins de fer. Quand l'entreprise ferroviaire exploite la valeur de ses données et met en œuvre la surveillance d'état et la maintenance préventive, une autre génération de programmes de maintenance se concrétise. Cette nouvelle génération de programmes offre des garanties de disponibilité, des modèles de partage des risques et des contrats fondés sur le rendement<sup>7</sup>.

### Surveillance d'état

Les améliorations apportées à la technologie des capteurs ont permis de mesurer précisément en temps réel les réseaux ferroviaires. Les phénomènes physiques comme la chaleur, les vibrations, le son, la vitesse de rotation et la contrainte sur l'essieu peuvent être mesurés pour

préciser l'état du réseau. La nouvelle technologie de capteurs permet également la collecte de données d'une manière auparavant inimaginable. Par exemple, des câbles à fibres optiques intégrés dans un revêtement de câble pour fournir un profil de température précis du câble. Les données de température peuvent être utilisées pour déterminer l'état des câbles et repérer les zones susceptibles de tomber en panne. Les lasers combinés à des caméras servent à créer des profils numériques détaillés du rail et du fil de contact aérien. Les profils numériques permettent ensuite de détecter des profils d'usure anormale et des zones où la géométrie de la voie est hors des limites de tolérance, sans que des inspections manuelles soient nécessaires. Les caractéristiques de tension et de courant sont mesurées sur les moteurs et servent à surveiller l'état du moteur. Ces trois techniques de mesure recueillent des données précieuses sur l'état du réseau en temps quasi réel pour aider à la prise de décisions éclairées en matière de maintenance.

Des composants électroniques à faible coût sont désormais intégrés à la plupart des équipements ferroviaires. Ces composants électroniques comprennent souvent des fonctions de surveillance qui font le point sur l'état de l'équipement en temps réel et produisent des alertes lorsqu'il ne fonctionne pas comme prévu. Ces alertes fournissent des données supplémentaires, pour que l'entreprise ferroviaire puisse repérer les pannes et envoyer du personnel résoudre les problèmes.

Lors de la surveillance d'état, un paramètre de composant est mesuré en temps réel et comparé à des seuils critiques. Lorsque le paramètre dépasse ces seuils, la maintenance du composant est planifiée. Dans les aiguillages motorisés, par exemple, le courant des moteurs électriques est surveillé et comparé à une

valeur de référence afin de détecter les états anormaux avant que la panne ne survienne. Lorsqu'un état anormal est détecté, la maintenance peut être effectuée pour résoudre le problème. La surveillance d'état fournit également des renseignements sur le composant qui pose problème pour que le personnel de maintenance se munisse des pièces et des outils appropriés lorsqu'il va effectuer la réparation. Dans un réseau entièrement surveillé, on s'attend à ce que les programmes de maintenance fondés sur la surveillance d'état réduisent les coûts d'entretien de 15 %<sup>3</sup>.

Le futur réseau ferroviaire est entièrement surveillé en temps réel. Les données de surveillance indiquent quand et pourquoi une pièce d'équipement est tombée en panne, ou quand un tronçon de rail présente une usure excessive. Cependant, la surveillance du réseau ne permet de présenter qu'une partie de la situation globale.

### Maintenance Conçu pour l'avenir<sup>MD</sup>

La maintenance préventive fait passer la surveillance d'état à un niveau supérieur en utilisant plusieurs sources

l'analyse des données et des technologies d'apprentissage automatique comme les réseaux neuronaux et l'apprentissage par renforcement. Compte tenu du volume de données relatives au secteur ferroviaire, la maintenance préventive peut être considérée comme une application des mégadonnées aux entreprises ferroviaires. On estime que la maintenance préventive réduit les coûts d'entretien de 10 % par rapport à un programme de maintenance avec surveillance d'état<sup>2</sup>.

Savoir quand un composant tombera en panne, avec un degré de certitude raisonnable, permet aux opérateurs ferroviaires de planifier et d'optimiser les activités de maintenance, de réduire les interruptions de service et d'augmenter la disponibilité des actifs. De plus, les données recueillies pour la maintenance préventive peuvent être utilisées pour concevoir un réseau ferroviaire à la fiabilité accrue.

La maintenance préventive brosse un tableau de l'état de l'ensemble du réseau ferroviaire. Les opérateurs ferroviaires peuvent utiliser ces renseignements pour planifier et optimiser les activités de maintenance. Par exemple, si un composant fonctionne au-delà de son seuil critique, la maintenance préventive permet d'indiquer

**Savoir quand un composant tombera en panne, avec un degré de certitude raisonnable, permet aux opérateurs ferroviaires de planifier et d'optimiser les activités de maintenance, de réduire les interruptions de service et d'augmenter la disponibilité des actifs.**

de données pour prévoir le moment où un composant cessera de fonctionner. Elle est désormais possible grâce aux progrès de

si une intervention immédiate est requise. Si l'intervention n'a pas à être faite dans l'immédiat, le composant peut rester



## Et si le secteur ferroviaire pouvait exploiter au maximum les données?

en service jusqu'à ce qu'il soit rentable d'effectuer la maintenance.

La maintenance préventive réduit le nombre de pannes et améliore les niveaux de services généraux. Par exemple, si l'on prédit qu'une porte de train tombera en panne, le train peut être retiré du service le temps de résoudre le problème. Cela élimine une éventuelle interruption du service et améliore le niveau de service ferroviaire en général.

La maintenance préventive augmente la disponibilité des actifs. Grâce à elle, les actifs sont mis hors service moins souvent et généralement, seuls les composants endommagés sont remplacés. Cela augmente la durée pendant laquelle l'actif peut rester en service par rapport aux autres types de maintenance. Pour les trains, la disponibilité accrue peut réduire considérablement les dépenses en immobilisations, car un nombre inférieur de trains permet d'atteindre le même niveau de service. En outre, moins de systèmes légers sur rail (SLR) nécessitent une utilisation moindre des bâtiments de maintenance et de stockage, ce qui réduit les investissements en capital.

Les avantages de la maintenance préventive vont au-delà du programme de maintenance. Les données sur les pannes peuvent être étudiées au niveau du système, en analysant les défaillances des composants et les caractéristiques du système qui y ont contribué. Cela permet d'effectuer des analyses de cause fondamentale et de revoir les composants afin d'améliorer la fiabilité de l'ensemble du réseau.

### Les mégadonnées sont au cœur des tendances futures

**P**our appliquer l'approche Conçu pour l'avenir<sup>MD</sup>, les ingénieurs et les opérateurs doivent considérer la

valeur des données tout au long de la vie du système.

La conception doit être réalisée en tenant compte de la valeur des données. Les réseaux de capteurs et l'architecture de données doivent être conçus dès le début du projet. Pour les systèmes existants, les réseaux de capteurs sans fil doivent être explorés en tant que méthode rentable d'acquisition de données.

Les opérations doivent comprendre la valeur des données et créer une gouvernance et une architecture des données pour ainsi entretenir des données de grande qualité constamment mises à jour. Les structures organisationnelles doivent tenir compte de l'importance des données et désigner des responsables de la gestion des données.

Enfin, les entreprises ferroviaires doivent revoir les philosophies de maintenance et remettre en question le statu quo. La maintenance préventive constitue un changement fondamental par rapport aux normes ferroviaires actuelles. Pour tirer pleinement parti de la maintenance préventive, il faut s'appuyer sur les données et s'engager envers l'amélioration continue.

La valeur des mégadonnées ne se limite pas aux données recueillies par les entreprises ferroviaires. Les données peuvent être collectées à partir de services en dehors du transport. Les données météorologiques servent à déterminer si les conditions météorologiques contribuent aux pannes du réseau. Les données de téléphonie mobile sont utilisées pour créer des cartes d'itinéraires précises, un élément clé de la planification du réseau de transport. Les calendriers d'événements majeurs sont importés dans les calendriers d'opérations de transport en commun afin d'adapter les niveaux de service en fonction de la demande. Un réseau ferroviaire Conçu pour l'avenir<sup>MD</sup> sera prêt à utiliser tous les types de données pour améliorer sa fiabilité et

## Et si le secteur ferroviaire pouvait exploiter au maximum les données?

son service, réduire les risques et accroître l'innovation.

L'avenir du réseau ferroviaire ne repose plus sur le matériel roulant, les infrastructures, ni même les personnes. Ce sont les données qui seront le plus grand atout du réseau ferroviaire. ■

1. 21 Big Data Statistics & Predictions on the Future of Big Data. Accessible à : <https://www.newgenapps.com/blog/big-data-statistics-predictions-on-the-future-of-big-data> (date d'accès : 10 octobre 2018)
2. The rail sector's changing maintenance game. Accessible à : <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/travel%20transport%20and%20logistics/our%20insights/the%20rail%20sectors%20changing%20maintenance%20game/the-rail-sectors-changing-maintenance-game.ashx> (date d'accès : 14 octobre 2018)
3. Big Data & The Digital Railway. Accessible à : <https://on-trac.co.uk/big-data-digital-railway/> (date d'accès : 12 octobre 2018)
4. Railway assets: A potential domain for big data analytics. Accessible à : <https://core.ac.uk/download/pdf/82722206.pdf> (date d'accès : 10 octobre 2018)
5. Beyond Transparency: Open Data and the Future of Civic Innovation, Chapter 10, Pioneering Open Data Standards: The GTFIS Story, Bibiana McHugh Accessible à : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/>
6. Case Study: Enhanced Master Data Management Implemented at Office Depot. Accessible à : <https://www.dataversity.net/case-study-office-depot-implements-enhanced-master-data-management/> (date d'accès : 12 février 2019)
7. Towards the Internet of Smart Trains: A Review on Industrial IoT-Connected Railways. Accessible à : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5492363/> (date d'accès : 14 février 2019)

# HATCH



Nous croyons aux idées hors du commun assorties d'un service exceptionnel.

Apprenez-en en plus en visitant [hatch.com](http://hatch.com).





Montréal, Quebec

# Impacts on the Safety and Environment of Autonomous Vehicles in Quebec: Challenges and Opportunities

Arash Mazaheri and Ciprian Alecsandru

Gina Cody School of Engineering and Computer Science, University of Concordia

Transportation networks are essential for societies and economies to function, and provide the infrastructure for the movement of people and goods. However, transportation networks impose some problems for societies like Quebec. Transportation in Quebec is a significant problem. Transport, for example, accounted for 29.1% of Quebec's total energy usage in 2010 and was the second-largest household cost in 2012 (Quebecers and their automobiles, 2014). Based on Statistics Canada, in 2018, there were over 5 million passenger vehicles owned by individuals on Quebec's roads. The number of passenger cars in Quebec increased at an annual rate of 1.9% from 2006 to 2013. In addition, net sales of gasoline in Quebec increased by 1 million litres from 2014 to 2018, hovering around 43.5 million litres. This increase in the number of registered vehicles and fuel consumption leads to an increase in emissions and, consequently, air pollution. This may be affecting climate change, which is widely recognized as the most urgent problem facing humanity.

The most frequent solution to addressing congestion problems is to increase capacity (i.e. new roads or adding new lanes to existing highways), mainly in urban areas. For example, in Montreal, which is the biggest city in the province, there were 25 major road projects in 2019 with a price tag of \$766 million. It may lead to increased supply and demand. With these trends, the province will be dealing with congestion and pollution in a not too distant future. In one study on traffic predictions in the Montreal metropolitan area, Shekarrizfard et al. [1] found that the total number of trips in 2031 will increase by 31% compared to the base year 2008. Population growth is the main reason for increasing the number of trips, mostly in peripheral areas. Researchers also predicted an increase in vehicle kilometres travelled (VKT) and a change in traffic volume on the road network in 2031 compared to 2008, clearly influenced by an increase in the amount of trips. The total VKT was estimated at 43,411,417 and

## Impacts on the Safety and Environment of Autonomous Vehicles in Quebec: Challenges and Opportunities



60,548,846 for 2008 and 2031, respectively. With this expected growth in travel demand, other strategies are needed to ameliorate the negative effects of traffic congestion, in addition to increasing capacity.

The automotive industries have made significant progress in introducing computerization into what has primarily been a human function for more than a century. Automated vehicles (AVs) [2] are a potentially disruptive yet advantageous improvement to the transportation network. This modern technology has the potential to affect the safety, congestion and travel behaviour of citizens. It may also affect investments in infrastructure and operational improvements, travel choices, parking needs, land use, and other operations.

In this article, the advantages and disadvantages of AV technology related to emissions and fuel consumption, as well as its impact on traffic safety, will be discussed.

### Traffic Congestion

Researchers are developing ways of reducing congestion and fuel consumption for AV technology. AVs, for example, may detect and likely predict the braking and acceleration of lead vehicles [3]. Such technology enables the following vehicles to brake more smoothly and adjust their speed, resulting in better fuel efficiency. It is also expected that AVs will use existing lanes and intersections more efficiently

by choosing shorter vehicle gaps, forming platoons and more efficient route choices. In one study, it was estimated that the gap between AVs could be 1 second, compared to 2.5 seconds for conventional vehicles (CVs) [4]. Also, in another study, researchers used 0.6 seconds as a headway for analyzing the performance of AVs on the freeway [5].

However, such advantages will not appear without any effort. Many of these congestion-relieving strategies rely not only on automated driving capabilities, but also on cooperative abilities through vehicle-to-vehicle (V2V) and vehicle-to-infrastructure (V2I) communication. With the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) announcing its plan to include vehicle-to-everything (V2X) capabilities in all passenger vehicles, vehicle connectivity is likely to be incorporated into most vehicles [6]. Figure 1 represents a conceptual connected system in an urban area. Without V2X communication, if only the safety benefits are considered, a substantial reduction in congestion could take place. The Federal Highway Administration (FHWA) reports that 25% of traffic congestion is due to traffic incidents, of which approximately half are accidents [7].

The introduction of AVs may also promote the growth of ride-sharing and car-sharing services. Automated vehicles may significantly reduce operating costs for ride-sharing and vehicle-sharing services. These schemes could better satisfy the transportation needs of individuals, with lower costs and greater flexibility, compared to current public transit systems.

In conclusion, as previously mentioned, AVs can be used as one method for congestion mitigation in the coming decades. Compared to CVs, AVs travel with lower headway, and for this reason, the capacity of the road network will increase. However, it is important to mention that all of these advantages are dependent on AV penetration rates in transportation networks. If the penetration rate is low, the networks will be dominated by

**Figure 1**  
Conceptual representation of a connected area [8]

SOURCE  
University of  
Concordia



Figure 2

SOURCE  
fleetowner.com

CVs. Therefore, the interaction between AVs and CVs may lead to an increase in congestion and delay. For this reason, policymakers might have to create incentives to help people replace conventional vehicles with automated vehicles for better transportation networks in the province.

## Fuel Consumption and Emissions

According to Natural Resources Canada, the transport sector accounts for 27% of Canada's greenhouse gas (GHG) emissions. Over the past two decades, energy use and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions have increased steadily. This is because CO<sub>2</sub> – which has a significant effect on climate change – is an inevitable by-product of fossil fuel burning. Even though light-duty vehicles are more fuel efficient than they were in the 1970s, today there are a lot more vehicles on the road and citizens are driving them more than before, and are thus using more fuel.

The introduction of AVs could lead to energy and emission benefits due to reduced congestion, more homogeneous traffic flows, reduced air resistance due to shorter headway, and less idling (due to lower congestion delays).

Even at lower levels of automation, implementing AV technology will result in improved driving and technology, also known as eco-driving. Cruise control and smooth acceleration and deceleration are examples of some basic technologies that result in eco-driving [9]. Studies show that eco-driving can lead to a 4% to 10% increase in fuel efficiency [10]. Another study expects a fuel efficiency rise of up to 39% due to the introduction of AVs in the transportation network [11].

Looking at the effects of AVs on emissions, Grumert et al. reported a reduction in NO<sub>x</sub> and H.C. emissions from the introduction of a cooperative variable speed limit framework using vehicle-to-vehicle communication to set individual

speed limits for each car. With this method, emissions have been found to decrease for higher penetration levels [12]. Wang, Chen, Ouyang, & Li also found that a higher rate of penetration of smart vehicles (i.e. vehicles equipped with their proposed longitudinal controller) was associated with lower NOx emissions in a congested platoon [13]. Choi & Bae compared CO2 emissions in a connected and manual vehicle when changing lanes. Researchers found that connected vehicles could produce up to 7.1% less CO2 by switching from a faster to a slower lane and up to 11.8% less CO2 by moving from a slower to a faster lane [14].

Greenblatt & Saxena estimated in another study on the long-term effects of automated vehicles that autonomous taxis (i.e. battery-electric shared automated vehicles) could reduce GHG emissions per vehicle-mile in 2030 and by 63-82% compared to hybrid-electric vehicle emissions in 2030. A significant increase in travel demand for autonomous taxis, according to these authors,

fatality imposes more than 15 million dollars on society. It should be considered that this amount is just for fatalities, and if injuries and property damage only (PDO) crash costs are considered, it can be a significant amount of money.

Near 93% of crashes are attributed to human errors. Typical causes include perception errors (e.g. inattention), judgement (e.g. aggressive driving), performance (e.g. poor steering control), and non-performance (e.g. fatigue). The introduction of automated vehicles could significantly reduce traffic accidents attributed to the driver by phasing out control from the driver's hands. These technologies are applied to automated vehicles in terms of environmental perception and motion planning, identity and avoidance of moving obstacles, longitudinal, lateral and intersection control systems, and automatic parking systems.

AVs have the ability to alleviate this public safety issue significantly by reducing many of

## **The introduction of automated vehicles could significantly reduce traffic accidents attributed to the driver by phasing out control from driver's hands.**

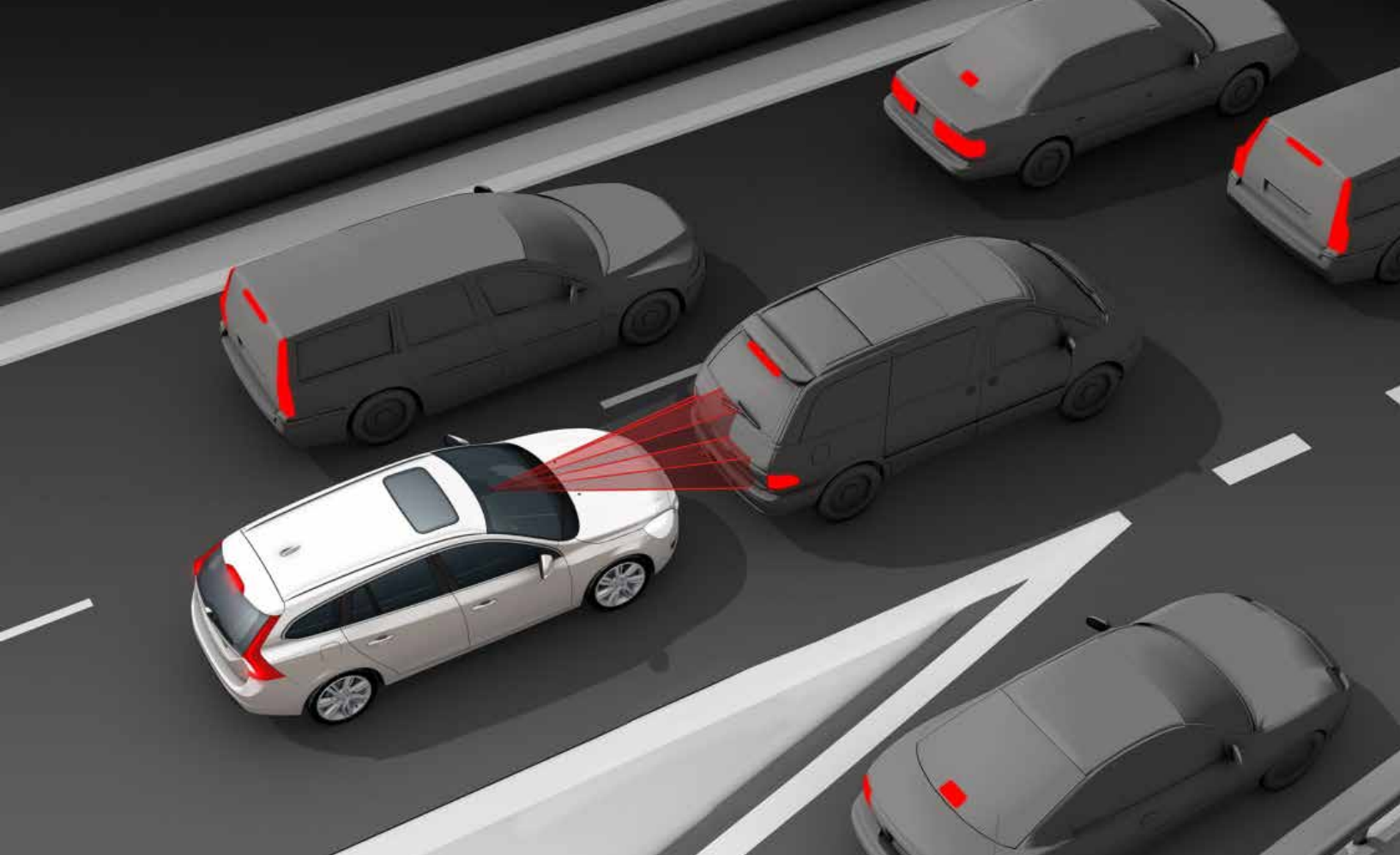
makes battery-electric vehicle technology more cost effective, compared to CVs or hybrid-electric vehicle technologies [15].

### **Traffic Safety**

**T**he severity, more than the frequency, of automobile crashes, is a source of growing social concern, prompting government agencies to impose strict vehicle safety requirements [16]. According to the Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ), 359 people were killed on Quebec roads in 2018. Based on previous studies, each

the errors that human drivers make regularly. First of all, automated vehicles cannot be drunk, distracted or tired; these factors are correlated with 29%, 10% and 2.5% of all fatal crashes, respectively. AVs could also perform better than human drivers because of improved vision (e.g. no blind spots), better decision-making (e.g. more precise planning of complex driving manoeuvres) and better performance (e.g. faster and more accurate steering, braking, and acceleration control) [17].

Connected vehicle technologies will notify a vehicle about the traffic situation from the environment, such as the location of a nearby vehicle, speed, acceleration, signal status,



**Figure 3**  
Crash  
avoidance  
in AVS

SOURCE  
cars.com

and other traffic information through V2V and V2I communication [18]. These technologies will avoid 439,000 to 615,000 accidents annually with complete V2V communication, according to the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) [19]. A number of studies have proposed a wide range of advanced driver assistance systems (ADAS) that could improve levels of traffic safety. Such schemes include collision avoidance, lane-keeping and lane change assistance.

Nevertheless, not all crashes are likely to be prevented by deploying automated vehicles. For example, adverse weather conditions and complex driving environments pose threats for both automated vehicles and human drivers, and in some cases, autonomous vehicles may perform worse than human drivers, especially in early testing and implementation stages. AVs offer potential benefits as well as limitations to transport safety.

Congestion in transportation networks is one of the biggest challenges that major cities are

facing. Vital disruptive technologies aimed at significantly shifting the transport landscape include vehicle connectivity and automation, as well as shared, customized travel across evolving on-demand mobility systems [2]. Recent interest in vehicle automation has increased in past years, as evidenced by a wide range of announcements by several vehicle manufacturers [20]. AVs follow a three-stage configuration defined as "sense-plan-act," similar to some robotic frameworks. The successful deployment of AVs depends on several factors (e.g. technological advancements, population acceptance, market penetration, etc.). Since AVs aim to replace human intervention in driving tasks, specific systems must be developed to understand the complex and mixed driving conditions on the roadway networks [9, 21].

AVs can provide human society with many benefits. These include, but are not limited to, safer roads, improved travel time and fuel consumption, and less congestion. Technological advances in the AV industry could significantly improve citizens' quality of life [22].

## Impacts on the Safety and Environment of Autonomous Vehicles in Quebec: Challenges and Opportunities

It should be mentioned that based on the available statistics, Quebec transportation networks suffer from congestion due to the increase in registered vehicles. Furthermore, CVs contribute to emissions and air pollution. For this reason, the introduction of AVs into the provincial transport network may be beneficial. They may improve driving behaviours and decrease human error, which contributes to 93% of crashes. Additionally, because of their eco-friendly characteristics, AVs can reduce emissions and fuel consumption significantly. Considering all of these advantages, policymakers in Quebec should create incentives for the deployment of AVs instead of conventional vehicles (even with a lower level of automation).

*This disclaimer informs readers that the views, thoughts, and opinions expressed in the article belong solely to the authors. ■*

- 1 Shekarrizfard, M., et al., Regional assessment of exposure to traffic-related air pollution: Impacts of individual mobility and transit investment scenarios. *Sustainable Cities and Society*, 2017. 29: p. 68-76.
- 2 Bhavsar, P., et al., Risk Analysis of Autonomous Vehicles in Mixed Traffic Streams. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2017. 2625(1): p. 51-61.
- 3 Fagnant, D.J. and K. Kockelman, Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2015. 77: p. 167-181.
- 4 Conlon, J. and J. Lin, Greenhouse Gas Emission Impact of Autonomous Vehicle Introduction in an Urban Network. *Transportation Research Record*, 2019: p. 0361198119839970.
- 5 Bibeka, A., Evaluation of CACC Vehicles Clustering on Freeway Performance. 2016.
- 6 Naylor, N., US Department of Transportation Announces Decision to Move Forward with Vehicle-to-Vehicle Communication Technology for Light Vehicles. 2014, May.
- 7 Systematics, C., Traffic congestion and reliability: Linking solutions to problems. 2004, United States. Federal Highway Administration.
- 8 Zheng, K., et al., Reliable and efficient autonomous driving: the need for heterogeneous vehicular networks. *IEEE Communications Magazine*, 2015. 53(12): p. 72-79.
- 9 Bagloee, S.A., et al., Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies. *Journal of modern transportation*, 2016. 24(4): p. 284-303.
- 10 Council, N.R., Hidden costs of energy: unpriced consequences of energy production and use. 2010: National Academies Press.
- 11 Atiyeh, C., Predicting traffic patterns, one Honda at a time. *MSN Auto*, June, 2012. 25.
- 12 Grumert, E., A. Tapani, and X. Ma. Effects of a cooperative variable speed limit system on traffic performance and exhaust emissions. in *Transport Research Board 92nd Annual Meeting, 13-17 January 2013, Washington DC, USA*. 2013.
- 13 Wang, Z., et al., Emission mitigation via longitudinal control of intelligent vehicles in a Congested Platoon. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2015. 30(6): p. 490-506.
- 14 Choi, J.-E. and S.-H. Bae, Development of a methodology to demonstrate the environmental impact of connected vehicles under lane-changing conditions. *Simulation*, 2013. 89(8): p. 964-976.
- 15 Greenblatt, J.B. and S. Saxena, Autonomous taxis could greatly reduce greenhouse-gas emissions of US light-duty vehicles. *Nature Climate Change*, 2015. 5(9): p. 860.
- 16 Hannan, M., et al., Development of an embedded vehicle safety system for frontal crash detection. *International journal of crashworthiness*, 2008. 13(5): p. 579-587.
- 17 Kalra, N., Challenges and Approaches to Realizing Autonomous Vehicle Safety. 2017: RAND.
- 18 Rahman, M.S., et al., Safety benefits of arterials' crash risk under connected and automated vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2019. 100: p. 354-371.
- 19 Administration, N.H.T.S., Vehicle-to-Vehicle Communication Technology for Light Vehicles. Preliminary Regulatory Impact Analysis, FMVSS, 2016(150).
- 20 Barth, M., K. Boriboonsomsin, and G. Wu. The potential role of vehicle automation in reducing traffic-related energy and emissions. in *2013 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)*. 2013. IEEE.
- 21 Behere, S. and M. Torngren. A functional architecture for autonomous driving. in *2015 First International Workshop on Automotive Software Architecture (WASA)*. 2015. IEEE.
- 22 Xu, H., IMPACT OF LEVEL 3 HIGHLY AUTOMATED VEHICLE ON WEAVING SEGMENT. 2018.





Québec, Québec

# Transports intelligents et données personnelles : comment protéger la vie privée sur une voie publique de plus en plus connectée?

Selma Coban, **ministère des Transports du Québec**  
Marc-Kevin Daoust, **Commission de l'éthique en science et en technologie**

**L'arrivée des véhicules automatisés et connectés (VA/VC) sur les routes offre de nombreux avantages, notamment sur le plan du bilan routier (réduisant les risques associés à l'erreur humaine), de la congestion routière (meilleure fluidité de la circulation), de la mobilité (accès aux personnes avec des limitations), de l'environnement (transport écoénergétique), de l'économie (innovation, investissements et croissance des entreprises), etc. Cependant, ces véhicules, qui intègrent des technologies de l'information et de la communication, présentent un enjeu moderne: la collecte, la communication et l'usage, parfois inapproprié, de renseignements personnels<sup>1</sup>.**

**A**u cours des dernières années, tous les constructeurs ont intégré de nouvelles technologies à leurs véhicules, les rendant de plus en plus intelligents. Pensons à la transmission de données (par Internet, par satellite, etc.) collectées par les voitures. Initialement, la possibilité de transmettre des données par les véhicules avait pour but d'offrir de nouveaux services, comme les systèmes de navigation GPS, l'assistance routière d'urgence ou les primes d'assurance personnalisées. Ces fonctionnalités ont été intégrées afin d'augmenter la satisfaction, le confort ou la sécurité des utilisateurs.

De nos jours, les nouveaux véhicules automobiles sont généralement munis de plusieurs services d'information, de divertissement, de navigation et de sécurité. Ces services sont assurés par de nombreuses organisations, incluant les constructeurs automobiles, des entreprises informatiques et des sociétés de télécommunications. Ils sont alimentés par des douzaines de microprocesseurs et de capteurs intégrés dans le véhicule. Une voiture connectée peut alors produire autour de 25 Gb de données par heure – l'équivalent d'une douzaine de films en haute définition<sup>2</sup>.

Dans les prochaines années, l'arrivée massive des véhicules automatisés et connectés va engendrer un volume considérable de données collectées et échangées. Mais à quelles fins ces données seront-elles employées? Qui les utilisera? Devons-nous craindre des dérives en ce qui a trait à la surveillance des déplacements et au cadre d'utilisation de notre véhicule?

## La valeur des données

**E**n plus de leur importance pour améliorer la mobilité, l'efficacité, le bilan environnemental et la sécurité des transports routiers, les données peuvent avoir une grande valeur financière : la revue britannique *The Economist* suggère qu'elles sont aujourd'hui la ressource la plus précieuse au monde – le pétrole du 21<sup>e</sup> siècle. Les données personnelles sont très prisées, notamment par l'industrie de la publicité, qui

## Les considérations éthiques

**D**eux principes éthiques importants peuvent entrer en conflit dans le développement et le déploiement des véhicules connectés. D'une part, nous voulons des produits et des services qui sont utiles, c'est-à-dire qui augmentent les bénéfices nets totaux pour le plus grand nombre d'individus. Les véhicules intelligents offrent un fort potentiel, notamment sur le plan du bilan routier, en réduisant les risques associés à l'erreur humaine. Par exemple, une voiture connectée peut être plus sécuritaire, être en mesure de mieux prévenir les accidents ou être plus susceptible de s'adapter aux préférences des utilisateurs.

D'autre part, il faut aussi veiller au respect de la vie privée. Toute personne devrait bénéficier d'intimité dans sa sphère privée. Cela passe par certaines protections précises, comme celle de ne pas divulguer des informations

**En plus de leur importance pour améliorer la mobilité, l'efficacité, le bilan environnemental et la sécurité des transports routiers, les données peuvent avoir une grande valeur financière : la revue britannique *The Economist* suggère qu'elles sont aujourd'hui la ressource la plus précieuse au monde – le pétrole du 21<sup>e</sup> siècle.**

veut connaître autant que possible les profils des consommateurs de produits et services, soit leurs habitudes, leurs besoins, leurs goûts, etc.<sup>3</sup>

L'industrie des données personnelles est en forte croissance et est très lucrative. Plus elle dispose d'informations sur nous, plus ces informations sont profitables. La voiture connectée fait partie de ces sources d'information.

personnelles sur cette personne, de ne pas diffuser des images de celle-ci, et ainsi de suite.

Certes, nous acceptons souvent que certaines de nos activités et habitudes soient connues publiquement (par exemple, nos préférences musicales ou notre emploi). Or, nous souhaitons néanmoins protéger d'autres informations confidentielles. Nous pouvons souhaiter que de nombreuses activités,



Figure 1

SOURCE  
MTQ

telles que des visites médicales, des relations amoureuses ou certains lieux fréquentés, ne soient pas connues publiquement.

Dans ce contexte, comment trouver l'équilibre entre les bénéfices du partage des informations (utilité des données) et la protection de la confidentialité (sécurité des données et droit à la vie privée)? Et comment s'assurer que cet équilibre est respecté d'un point de vue technique et légal?

## Comment encadrer la collecte, l'utilisation et le partage des données?

Actuellement, au Québec, il n'y a pas d'encadrement réglementaire et légal de la collecte, de l'utilisation (incluant le téléchargement et le stockage sur un serveur) et du partage des données personnelles en provenance des véhicules routiers.

Bien sûr, les règles en vigueur sur le

consentement s'appliquent. Une utilisatrice ou un utilisateur peut toujours refuser d'utiliser un véhicule connecté ou refuser les conditions d'utilisation d'une technologie connectée (GPS, etc.) ou automatisée (système d'aide à la conduite automobile, etc.) à bord d'un véhicule.

Cependant, les politiques axées exclusivement sur le consentement individuel sont insatisfaisantes à plusieurs égards. L'étendue de la collecte et du traitement de l'information est souvent cachée dans des politiques d'utilisation des données longues et arides, que personne ne lit. Ce problème se pose pour les consommateurs, mais aussi pour les compagnies qui leur louent ou leur vendent des véhicules connectés. Un vendeur ou un loueur de véhicules connectés n'a pas forcément les ressources pour former son personnel à toutes les subtilités légales entourant la collecte des données par un véhicule.

Les pratiques en cours laissent aussi peu de place à la négociation, par les



Figure 2

SOURCE  
MTQ

consommateurs, des conditions acceptables d'utilisation des objets connectés. Par exemple, une personne en désaccord avec la politique de respect de la vie privée d'une grande compagnie technologique (Google, Microsoft, Apple, Facebook, etc.) peut difficilement contacter la compagnie pour négocier, de gré à gré, un contrat plus adapté à ses préférences. Nous pouvons aisément imaginer la même chose dans le cas des véhicules connectés. Il est plausible qu'une cliente ou un client se présentant chez un loueur de véhicules puisse difficilement exiger que le véhicule soit « déconnecté », c'est-à-dire qu'il ne collecte pas de données pendant son utilisation.

Dans son *Rapport annuel au Parlement 2018-2019 concernant la Loi sur la protection*

*des renseignements personnels et la Loi sur la protection des renseignements personnels et les documents électroniques*, le Commissariat à la protection de la vie privée du Canada souligne l'importance d'adapter les lois et règlements aux nouvelles technologies de collecte des données. Le commissaire écrit : « Partout dans le monde, les gouvernements et les législateurs ont constaté les lacunes des modèles d'autoréglementation et les menaces que ces modèles font peser dans une économie numérique mondialisée. Nous espérons que le Canada est prêt à prendre des mesures fermes et décisives pour moderniser nos lois sur la protection des renseignements personnels, afin de mieux protéger les droits des Canadiens »<sup>4</sup>. Naturellement, cette recommandation couvre aussi les voitures connectées.

## Des méthodes de collecte et d'intégration des données respectueuses de la vie privée

Les données collectées par les véhicules automatisés et connectés sont utiles, particulièrement sur le plan de la sécurité et de l'efficacité du réseau routier. La difficulté consiste à déterminer des méthodes pour protéger adéquatement la vie privée des citoyens qui utilisent ces véhicules. Des outils technologiques sont en cours de développement pour y parvenir.

Prenons l'exemple d'une citoyenne ou d'un citoyen voulant utiliser une voiture connectée (pour se déplacer plus facilement, pour avoir une meilleure prime d'assurance, pour la sécurité, etc.) sans pour autant dévoiler son adresse personnelle ou son lieu de travail. Nous savons, selon plusieurs études, que les intrusions dans la vie privée sont proportionnelles au nombre de données stockées et partagées, à la période de temps sur laquelle les données sont mesurées, à la fréquence d'accès à ces données

visités par une utilisatrice ou un utilisateur, comme sa résidence, son lieu de travail, etc. Plus on détient d'informations sur les habitudes de mobilité des conducteurs et sur le profil de localisation, plus il est facile, pour un algorithme, d'estimer automatiquement les endroits fréquemment visités par un utilisateur<sup>6</sup>.

Alors, comment protéger un utilisateur d'un véhicule connecté qui ne voudrait pas dévoiler ses habitudes de vie? Quelles solutions technologiques sont offertes?

La politique de traitement des données à deux extrémités (*Two-End Data Processing Policy*), qui a pour but de protéger les informations critiques, permet des compromis intéressants entre la protection de la vie privée des utilisateurs et le maintien de l'utilité des données<sup>7</sup>. Cet algorithme empêche ou limite les risques d'inférence d'informations individuelles additionnelles entourant les lieux fréquemment visités. Il peut être exécuté automatiquement à grande échelle parmi les données d'un utilisateur.

**Plus on détient d'informations sur les habitudes de mobilité des conducteurs et sur le profil de localisation, plus il est facile, pour un algorithme, d'estimer automatiquement les endroits fréquemment visités par un utilisateur.**

ainsi qu'à la diversité de leurs types, sources et modes<sup>5</sup>. Des personnes mal intentionnées disposant des données d'un véhicule peuvent déduire assez facilement les lieux fréquemment

Cette méthode consiste à supprimer ou masquer (par le cryptage, par exemple) une petite portion des informations autour de la donnée de

localisation sensible d'une personne. Le procédé est simple : on supprime ou l'on brouille une certaine portion de données aux extrémités d'un trajet, soit exactement au point de départ et à la destination, ce qui va masquer les localisations exactes des points d'intérêt tout en conservant la majorité des données durant le trajet pour permettre l'utilisabilité par les prestataires de services.

Puisqu'on minimise les pertes d'informations de localisation, on ne change pas significativement le profil de l'utilisateur. Donc, ces algorithmes n'affectent pas les systèmes utilisés, comme ceux des assureurs pour ajuster les primes des conducteurs ou ceux pour la détection de la conduite dangereuse. L'utilisatrice ou l'utilisateur d'un véhicule connecté pourra donc jouir des fonctionnalités de sa voiture tout en protégeant sa vie privée.

Les données individuelles sont souvent préalablement anonymisées avant partage pour préserver la vie privée de l'utilisateur. Cependant,

même son droit à la vie privée. Or, en apprentissage automatique, les techniques d'algorithmes de classification, exécutées sur une quantité suffisante de données anonymisées, permettent aux personnes mal intentionnées d'identifier les individus à partir de données de groupe.

Il existe des procédés pour atténuer ce risque. En voici un. L'algorithme de la confidentialité différentielle (*Differential Privacy*), qui est associé à la cryptographie, consiste à ajouter du bruit aléatoire dans une base de données<sup>8</sup>. Les cas typiques d'application de cette technique sont en gestion de flotte et en surveillance du trafic en temps réel. Plus il y a du bruit, plus la possibilité d'inférence d'identité est réduite<sup>9</sup>.

Par exemple, supposons que l'utilisateur d'un véhicule connecté effectue un trajet et longe la 5<sup>e</sup> Avenue (située entre la 4<sup>e</sup> et la 6<sup>e</sup> Avenue). Le véhicule collecte des données concernant la localisation (coordonnées géographiques) du conducteur, qui peut ne pas souhaiter partager sa

**Les données individuelles sont souvent préalablement anonymisées avant partage pour préserver la vie privée de l'utilisateur. Cependant, l'utilisateur d'un véhicule connecté pourrait s'inquiéter du fait que ses données soient mal anonymisées, et donc qu'elles compromettent quand même son droit à la vie privée.**

l'utilisateur d'un véhicule connecté pourrait s'inquiéter du fait que ses données soient mal anonymisées, et donc qu'elles compromettent quand

position exacte. L'algorithme ajoute donc aléatoirement du bruit selon une distribution de Laplace (loi en théorie des probabilités et des statistiques)

## Transports intelligents et données personnelles : comment protéger la vie privée sur une voie publique de plus en plus connectée?

sur l'ensemble de ces données de localisation, ce qui réduit un peu leur précision selon le contrôle approprié du niveau de bruit. Donc, suivant ce mécanisme, on pourrait combiner les données de géolocalisation réelles de l'utilisateur avec d'autres données de géolocalisation approximatives, choisies aléatoirement à proximité. Puisque l'utilisateur se trouvait sur la 5e Avenue, ses données pourraient inclure des points de géolocalisation sur la 4e ou la 6e Avenue. Nous ne savons donc plus exactement où il se trouvait.

Bien sûr, l'algorithme va modifier les données et les rendre moins utiles pour des applications ou services, mais la confidentialité différentielle requiert que cet effet soit négligeable<sup>10</sup>. C'est, encore une fois, une question d'équilibre entre la protection de la vie privée des utilisateurs et l'utilité des données pour les prestataires de services. Des données un peu moins précises peuvent avoir une grande incidence sur la protection de la vie privée<sup>9</sup>.

Les politiques de protection décrites précédemment sont des illustrations parmi d'autres. Il existe des approches de contrôle d'accès et de protection de la vie privée des utilisateurs à des fins différentes. De plus, des protocoles et des normes sont existants pour les VA/VC. Également, la norme de cybersécurité automobile Road vehicles – Cybersecurity Engineering – ISO/SAE DIS 21434) est en cours de développement. Les normes des véhicules connectés peuvent être mises à jour lors de leur déploiement, pour des améliorations ou corrections.<sup>11</sup> Nous pouvons donc nous réjouir du fait que des ingénieurs et des chercheurs travaillent à trouver des solutions concrètes permettant aux citoyennes et citoyens de tirer pleinement bénéfice des véhicules intelligents, et ce, sans compromettre la sécurité et leur vie privée. ■

- 1 Commission d'accès à l'information du Québec. 2020. « La collecte de renseignements personnels », <https://www.cai.gouv.qc.ca/la-collecte-de-renseignements-personnels/>
- 2 McKinsey and Company. 2020. « What's driving the connected car? », <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/whats-driving-the-connected-car>
- 3 Investor Relations. 2019. « Facebook Reports First Quarter 2019 Results », <https://investor.fb.com/investor-news/press-release-details/2019/Facebook-Reports-First-Quarter-2019-Results/default.aspx>; Statista. 2019. « Facebook's advertising revenue worldwide from 2009 to 2018 », <https://www.statista.com/statistics/271258/facebook-advertising-revenue-worldwide/>
- 4 Commissariat à la protection de la vie privée du Canada. 2019. Réforme des lois sur la vie privée. Pour faire respecter les droits et rétablir la confiance envers le gouvernement et l'économie numérique, p. 9.
- 5 SAE (Society of Automotive Engineers) International ). 2017. « Secure and Privacy-Preserving Data Collection Mechanisms for Connected Vehicles », <https://saemobilus.sae.org/content/2017-01-1660>
- 6 Li, H., Ma, D., Medjahed, B., Kim, Y. S. et Mitra, P. 2019. « Analyzing and Preventing Data Privacy Leakage in Connected Vehicle Services », *SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility*, <https://saemobilus.sae.org/content/2019-01-0478>
- 7 *Ibid.*
- 8 Dwork, C. 2008. « Differential Privacy », <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/dwork.pdf>
- 9 Li, H., Ma, D., Medjahed, B., Kim, Y. S. et Mitra, P. 2019. « Analyzing and Preventing Data Privacy Leakage in Connected Vehicle Services », *SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility*, <https://saemobilus.sae.org/content/2019-01-0478>
- 10 Andrés, M., Bordenabe, N., Chatzikokolakis, K. et Palamidessi, C. (2013). « Geo-Indistinguishability: Differential Privacy for Location-Based Systems », *Proceedings of the ACM Conference on Computer and Communications Security*.
- 11 United States Department of Transportation, Intelligent Transportation Systems, Joint Program Office. 2020. « Connected Vehicle Standards », [https://www.its.dot.gov/factsheets/jpo\\_connected\\_vehicle\\_standards.htm](https://www.its.dot.gov/factsheets/jpo_connected_vehicle_standards.htm)



## Un projet pilote ambitieux

# L'inspection de l'échangeur Turcot par des drones !



**FNX-INNOV a su développer des solutions novatrices, utilisant les nouvelles avancées technologiques de drones pour accélérer les inspections de structures, limiter le temps de fermeture des voies et maximiser la sécurité sur le projet de reconstruction de l'échangeur Turcot à Montréal.**



Sur l'un des plus importants projets d'infrastructure au Canada qu'est la reconstruction de l'échangeur Turcot, les équipes de FNX-INNOV (à l'intérieur du consortium ARUP-FNX), en étroite collaboration avec KPH Turcot (le Fournisseur) et le ministère des Transports du Québec, ont fait face à des défis importants concernant l'inspection des structures. Ce projet hors norme de 1,54 milliard \$, qui compte 45 structures, dont certaines au-dessus de canaux et de terrains très escarpés, ainsi que 22 km de voies ferrées, a rapidement fait ressortir que le processus d'inspection classique avec l'utilisation systématique de nacelles était difficilement viable tant en ce qui touche l'échéancier que la santé et la sécurité.

*Ces nouvelles pratiques avec drones n'élimineront pas complètement les inspections avec nacelles, mais ouvrent la voie à différentes possibilités d'inspecter de manière plus efficace les structures, tout en permettant de conserver sous support vidéo l'état initial des structures pour les suivis de dégradation.*

Un ambitieux projet pilote a dès lors été mis sur pied par l'équipe d'arpentage de FNX-INNOV, avec le précieux support de l'équipe Qualité de KPH Turcot et du ministère des Transports du Québec, pour établir des balises d'un système hybride d'inspection des structures jumelant des inspections avec drones et des interventions plus limitées avec des nacelles.

Ainsi, grâce aux drones pilotés par les experts de FNX-INNOV, tous formés avec l'accréditation de Transports Canada pour les opérations avancées, les spécialistes en structures, munis de lunettes FPV (vol en immersion), peuvent être transportés virtuellement en réalité augmentée et ainsi être en contrôle de la caméra, visualiser en temps réel les différentes structures et avoir la possibilité de conserver les vidéos d'inspections.

L'objectif premier de ce projet novateur est de limiter les interventions humaines dans les secteurs à risque, comme au-dessus de l'eau, de voies ferrées ou en hauteur. D'autre part, le système hybride permet aussi d'accélérer le processus d'inspection de manière à respecter les délais très serrés établis pour le projet, tout en limitant les temps de fermeture des voies de circulation d'un des échangeurs les plus achalandés au Canada.







Montréal, Québec

# Utilisation de matériaux innovants dans les ponts

Étienne Cantin Bellemare, **Ville de Montréal**

La façon de concevoir et de construire les ponts a bien évolué depuis les 50 dernières années au Québec. Les mécanismes de détérioration du béton et de l'acier sont maintenant bien connus. Il ne fait aucun doute que les structures construites de nos jours seront plus durables que celles bâties par nos prédécesseurs. Néanmoins, les ingénieurs en ouvrages d'art continuent de rechercher des façons d'améliorer la durabilité des ponts et d'en réduire l'empreinte environnementale. La Ville de Montréal présente trois projets pilotes impliquant l'utilisation de matériaux innovants.

## Ponts West Vancouver

**E**n 2020 et 2021, les deux ponts West Vancouver situés sur le boulevard de L'Île-des-Sœurs seront démolis et reconstruits. Construits en 1967, ce sont des ponts de type dalles évidées en béton précontraint avec post-tension transversale. Ces ouvrages permettent aux piétons et cyclistes de passer sous les quatre voies de circulation du boulevard en toute sécurité et d'entrer dans le parc West Vancouver situé en bordure du fleuve Saint-Laurent.

Ces ponts sont situés dans un secteur à haute valeur architecturale. En effet, trois tours d'habitation ainsi qu'une station-service, situées à proximité, sont l'œuvre de Ludwig Mies van der Rohe. Cet architecte autodidacte d'origine allemande est considéré comme un des plus grands architectes du 20<sup>e</sup> siècle. C'est d'ailleurs à lui que nous devons le Westmount Square à Montréal. La Ville de Montréal s'est adjointe à la firme d'architecture Provencher-Roy pour définir la signature des ponts. Le résultat est le fruit d'une collaboration étroite entre les architectes et les ingénieurs en structure du projet. Les nouveaux ponts seront élégants, modernes et s'intégreront bien dans le secteur.

Derrière les motifs architecturaux de ces ponts tout en courbes se cache un béton bien spécial. Une partie du ciment ternaire a été remplacé par du verre recyclé finement broyé. Le résultat est un ciment quaternaire contenant 10 % de poudre de verre.

Depuis 2012, la Ville de Montréal est impliquée dans la *Chaire de recherche SAQ sur la valorisation du verre dans les matériaux* en collaboration avec l'Université de Sherbrooke. Sans le savoir, les Montréalais marchent dorénavant sur des trottoirs en béton contenant de la poudre de verre. Toutefois, cette dernière n'avait encore jamais été utilisée pour des applications structurales.

Comme d'autres ajouts cimentaires tels que le laitier, la fumée de silice ou les cendres volantes, la poudre de verre permet notamment d'accroître la durabilité et la résistance mécanique du béton. De plus, la production de ciment Portland étant très énergivore, le fait d'en remplacer une partie par de la poudre de verre réduit l'empreinte environnementale du béton. Le recyclage du verre est un enjeu d'actualité au Québec. Cette matière déborde des centres de

Ces deux structures feront également l'objet d'un projet pilote pour l'utilisation de barres d'armature en acier inoxydable (BAAI). À l'exception des semelles, la totalité des éléments des ponts (dalle de tablier, culées, murs de soutènement, trottoirs et glissières) sera armée de BAAI.

En raison de leurs hautes teneurs notamment en chrome, manganèse, et nickel, les aciers inoxydables ont une excellente résistance à la corrosion. Bien que ce type d'armature ne soit pas encore utilisé au Québec, il est maintenant couramment employé en Colombie-Britannique, en Alberta, en Ontario, dans plusieurs états américains et ailleurs dans le monde. Toutefois, ce type d'armature n'est pas encore encadré par le *Code canadien sur le calcul des ponts routiers CAN/CSA-S6-14*.

## Les ponts West Vancouver seront les premiers ponts au monde en béton avec de la poudre de verre.

recyclage et une partie importante de celle-ci finit malheureusement dans les sites d'enfouissement. Par conséquent, l'utilisation de la poudre de verre dans le béton est une façon de valoriser le verre.

Depuis cette année, la poudre de verre est intégrée à la norme *Compendium des matériaux liants CSA-A3000-18* qui encadre les ajouts cimentaires au pays. Les ponts West Vancouver seront les premiers ponts au monde en béton avec poudre de verre. Cela représente l'équivalent d'environ 120 000 bouteilles de vin qui seront valorisées et de 40 000 kg de ciment qui seront économisés. Les ponts seront instrumentés et suivis de près par l'Université de Sherbrooke et la Ville de Montréal afin d'évaluer la performance du béton dans les années à venir.

Un exemple célèbre est le Progreso Pier dans la province de Yucatan au Mexique qui a été construit en 1937 avec des BAAI. Situé en milieu marin et n'ayant jamais fait l'objet de travaux de réfection majeur, cet ouvrage de 2,1 km est toujours en bon état.

Les BAAI disponibles sur le marché sont fabriquées selon la norme ASTM A955M-19 ou la norme britannique BS:6744. La norme ASTM propose sept types d'alliage et deux limites élastiques (420 et 520 MPa). Quant au choix de l'alliage approprié pour un projet, mieux vaut consulter un ingénieur en métallurgie puisqu'il est ardu pour un ingénieur en structure de s'y retrouver.

L'alliage choisi pour les ponts West Vancouver est le S32304 (communément appelé le



Figure 1 et 2

SOURCE  
Ville de  
Montréal

Lean Duplex 2304) de la norme ASTM. Cet alliage représente environ 90 % de la production nord-américaine. C'est d'ailleurs cet alliage qui a été utilisé dans certains éléments du pont Samuel-De Champlain.

L'estimation de la durée de vie d'un ouvrage est un exercice complexe. Il est toutefois raisonnable de penser que la durabilité des ponts sera prolongée environ 20 ans.

Les BAAI sont environ 4 fois plus chères que les barres d'armature en acier au carbone galvanisé (BAACG) couramment utilisées au Québec. Si l'on tient compte de la fabrication (coupe et pliage) et de l'installation, les BAAI sont environ 2,7 fois plus chères que les BAACG. Dans le scénario où seulement la dalle du tablier et les glissières seraient armées de BAAI, le coût initial du pont serait

augmenté de seulement 2 % environ. Dans le cas des ponts West Vancouver où tous les éléments des ponts sont armés de BAAI, le coût initial a été augmenté d'environ 8 %. Ce n'est pas cher payé pour accroître la durabilité de plusieurs années.

Les règles de calculs avec les BAAI sont sensiblement les mêmes qu'avec des barres d'armature en acier au carbone. Pour l'instant, elles ne sont pas recommandées dans les zones de rotules plastiques pour des applications parasismiques dues à un manque d'études. Quant au risque de corrosion galvanique entre les BAAI et les barres d'armature en acier au carbone, les études diffèrent d'une à l'autre. La Ville de Montréal a fait une demande au comité du *Code canadien sur le calcul des ponts routiers* pour que les BAAI soient intégrées lors



Figure 3

SOURCE  
Ville de  
Montréal

d'une prochaine révision afin que ces enjeux soient clarifiés.

La Ville de Montréal vise la certification environnementale Envision pour ce projet. Les ponts West Vancouver ont été conçus par les ingénieurs de ponts de la Ville de Montréal.

## Passerelle Pointe-Nord

La première utilisation au Québec de l'aluminium dans les ponts remonte à 1953 lors de la construction du pont d'Arvida de 153 m de longueur dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean et qui est toujours en service. Avec l'introduction de l'aluminium dans le *Code canadien sur le calcul des ponts routiers* en 2011, ce matériau gagne en popularité dans le domaine des passerelles piétonnes. En 2019, la Ville de Montréal a construit une première passerelle piétonne entièrement en aluminium à L'Île-des-Sœurs dans le parc Gewurz-Remer.

L'aluminium a l'avantage d'avoir une excellente résistance à la corrosion. La fine couche d'alumine qui se développe naturellement à sa surface suffit à le protéger. Il n'est donc pas nécessaire de peindre les structures en aluminium exposées aux intempéries.

L'aluminium est léger. Une structure en aluminium est environ 50 % moins lourde qu'une structure équivalente en acier. C'est également un matériau résilient à basse température et extrudable. Finalement, l'aluminium est complètement recyclable en fin de vie.

La passerelle Pointe-Nord a une longueur de 12 m et une largeur carrossable de 4,5 m. Elle a été conçue pour permettre le passage d'un camion d'entretien de 8 tonnes. Réputé pour sa grande durabilité, du bois ipé a été utilisé pour le platelage du tablier. Pour ce type de structure en aluminium, le coût initial est similaire à celui d'une structure en acier galvanisé et peinturé.

Les professionnels qui souhaiteraient en savoir davantage sur l'aluminium structural peuvent s'adresser gratuitement aux ingénieurs du Centre d'expertise sur l'aluminium (CeAl) d'Alu-Québec.

## Béton fibré à ultra-haute performance

En 2016, la Ville de Montréal a procédé au remplacement de la passerelle piétonne Isabey-Darnley située au-dessus de l'A-520 à Montréal. Construite en 1967, l'ancienne structure était rendue à la fin de sa vie utile. La nouvelle passerelle est de type pony-warren de 60 m de longueur.

Un important projet de recherche industrielle impliquant l'École Polytechnique de Montréal, la Ville de Montréal, la Société des Ponts Jacques Cartier et Champlain, Euclid et Béton Brunet a débuté en 2012 avec pour objectifs de développer des éléments préfabriqués en béton fibré pour les ponts. Les dalles préfabriquées sont l'une des applications développées dans le cadre du projet. La phase 1 du développement avait pour but de concevoir et de valider en laboratoire des concepts de dalles préfabriquées avec

armatures réduites et durabilité prolongée. La phase 2 du développement avait pour objectif de concevoir et de valider en laboratoire des joints de connexion en BFUP adaptés aux dalles préfabriquées mises au point en phase 1. La phase 3 consistait à appliquer les connaissances acquises lors des phases précédentes pour réaliser un projet pilote. La passerelle Isabey-Darnley a été choisie pour le projet pilote.

Afin de garantir une excellente durabilité sous des conditions d'exposition sévères, la dalle de la passerelle a été préfabriquée en béton fibré à ultra-hautes performances (BFUP) comprenant 4 % de fibres d'acier. La dalle est composée de onze éléments préfabriqués de 6 m de longueur, assemblés par de courts joints de connexion en BFUP de 125 mm coulés en chantier. L'épaisseur de la dalle est de 75 mm. Les résistances en flexion et en cisaillement, de même que la durabilité exceptionnelle du BFUP ont permis une réduction de 64 % de l'épaisseur de la dalle ainsi qu'une réduction de 91 % de la quantité de barres d'armature. L'utilisation d'éléments préfabriqués a également permis d'accélérer les travaux et de réduire l'impact sur la circulation de l'autoroute.

Parallèlement, la Ville de Montréal a construit une passerelle identique, mais avec une dalle de tablier en béton armé coulé en place. Construite en 2016 également, cette deuxième structure permettra à la Ville de Montréal de comparer la durabilité des deux types de dalles. Il s'agit de la passerelle Barr qui est également située au-dessus de l'A-520 à Montréal. Une troisième passerelle identique (passerelle 32e avenue) munie d'une dalle de tablier armé de barres en polymère renforcé de fibre (PRF) a été également conçue, mais n'a pas été construite encore.

Finalement, la Ville de Montréal a procédé à des mesures des fréquences de vibrations des deux passerelles afin de valider leur

comportement dynamique et de suivre leur évolution dans le temps. Le projet Isabey-Darnley fait partie des 50 projets retenus dans le livre *50 Years of Progress in Concrete* de l'American Concrete Institute publié en 2016. Les passerelles Isabey-Darnley, Barr et 32<sup>e</sup> avenue ont été conçues par les ingénieurs de ponts de la Ville de Montréal.

## Projets pilotes



Consciente de l'importance du développement durable et de l'innovation, la Ville de Montréal continue à investir dans la recherche et le développement afin de soutenir la progression dans le domaine des ouvrages d'art.

L'objectif de ces projets pilotes est d'évaluer la performance de ces matériaux innovants, de déterminer leurs enjeux (approvisionnement, mise en place, durabilité, coûts, etc.) avant de les utiliser sur des ouvrages d'envergure. ■

Figure 4

SOURCE  
Ville de  
Montréal



Montréal, Québec

# Durée de vie des tabliers de ponts exposés aux sels de déglacage

## Rétrospective sur les structures de PJCCI

Soufyane Loubar

Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée

**Les enjeux de durabilité relatifs à l'usage de sels de déglacage sur les infrastructures de transport sont énormes et divers notamment sur le plan socio-économique et en ce qui a trait aux coûts d'entretien des structures. Les propriétaires des structures dans la province de Québec font face à des défis importants en termes de durabilité et de développement de solutions viables pour les usagers de la route.**

**L**es tabliers de ponts représentent un des éléments sur lequel ces enjeux se matérialisent pleinement. À cet effet, nous avons réalisé à travers cette étude, un bilan et une analyse comparative de notre expérience en construction et en réfection des tabliers de ponts.

Cette analyse est basée principalement sur une comparaison de plusieurs types de tabliers selon les conditions de protection et les divers matériaux. Ainsi, l'étude réalisée a permis de déterminer les coûts de cycle de vie pour chacun des cas d'étude sélectionnés.

Ce bilan analytique constitue un constat important sur l'évolution de la durabilité des tabliers de ponts ainsi qu'un éclaircissement sur la situation actuelle et sur le besoin criant de soutenir le développement technologique et l'innovation en matière de durabilité.

### Localisation des structures

Les structures du réseau de Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée (PJCCI) sont situées dans la région métropolitaine de Montréal. Elles permettent principalement le franchissement du fleuve Saint-Laurent, et sont caractérisées par un fort débit de circulation et par la nature

névralgique de leur rôle dans le réseau métropolitain de transport.

remplacés est considérée dans l'étude. Le Tableau 1 indique l'ensemble des tabliers des structures (12 cas d'étude).

## Inventaire et spécifications des tabliers

### LES CAS D'ÉTUDE

Compte tenu des écarts importants liés à la durée de vie observée sur les différents tabliers de ponts du réseau, une analyse multicritère a été réalisée pour tenter de mieux en comprendre les raisons, notamment par l'étude des coûts de cycle de vie. La totalité des tabliers de ponts existants ou déjà

### SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES DES TABLIERS

Les douze cas d'étude ci-haut représentent divers types de tabliers et une multitude de configurations en termes de protection et de type d'armatures. L'ensemble des structures est situé dans une localisation géométrique assez limitée et soumise aux mêmes conditions météorologiques. Le Tableau 1 ci-dessous résume l'ensemble des données techniques des douze tabliers considérés dans cette étude.

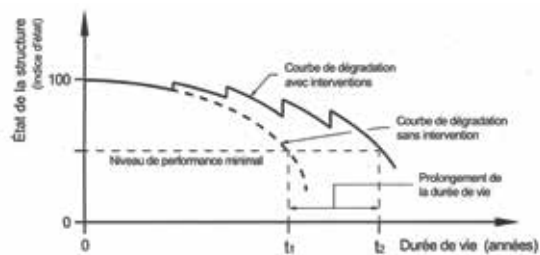
Tableau 1. Spécifications techniques des tabliers étudiés

Réf. (cas)	Structures	Type du tablier	Protection	Type d'armatures	Enrobage (mm)	Année de construction/ mise en service	Constat de fin de vie	Usage de sels (à partir)	Durée de vie / âge	Notes
1	Pont Champlain : Section 6	Béton armé	Aucune	Acier noir	50 mm	1962	1987	1962	25	
2	Pont L'Île-des-Sœurs	Béton armé	Pavage de 50 mm	Acier noir	32 mm au-dessus/ 25 mm au-dessous	1960	2007	1962	47	45 ans avec sels
3	Pont H-Mercier (fédéral)	Béton armé	Pavage de 50 mm	Acier noir	50 mm	1959	2005	1959	46	45 ans avec sels
4	Pont Clément	Béton armé	Pavage de 50 mm	Acier noir	50 mm au-dessus/ 35 mm au-dessous	1967	1997	1967	30	
5	Autoroute Bonaventure	Béton armé	Pavage de 50 mm	Acier noir	50 mm (min)	1966	2011	1967	45	45 ans avec sels
6	Pont Jacques-Cartier	Béton armé	Pavage de 50 mm	Acier noir	25 mm	1930	1954	Sans sels	24	
7							1998	1955	68	43 ans avec sels
8	Pont Champlain : Sections 5 et 7	Poutres, dalles intercalaires, post-tension transversale	Imperméabilisé et pavage de 50 mm	Acier noir	25 à 32 mm	1962	2022(*)	1962	60	(*) Projection
9	Pont Clément	Béton armé	Imperméabilisé et pavage de 50 mm	Acier avec revêtement époxydique et membrane	50 mm	1997	En service (2016)	1997	19	En bon état
10	Pont Jacques-Cartier	Béton armé, préfabriqué, BHP pré tension, et post-tension longitudinale et transversale	Membrane et pavage de 50 mm	Acier galvanisé	50 mm	2001/2002	En service (2016)	2001	15	En très bon état
11	Pont Champlain : section 6 (2)	Orthotrope métallique	Pavage de 50 mm	-	S.O	1991/1992	En service (2016)	1991	25	En bon état
12	Estacade du pont Champlain	Béton armé	Pavage de 38 mm	Acier noir	25 mm	1965	En service - moins de 1 % de détérioration en 2014	Sans sels	51	Sans sels de déglçage et circulation limitée

## COURBES DE VIE DES TABLIERS

La dégradation d'une structure en béton se développe de manière très différente en fonction des conditions climatiques et du type d'exposition face aux agents agressifs. Dans un climat nordique tel que celui du Québec, les structures en béton soumises aux sels de déglçage subissent les phénomènes suivants : la fissuration interne due au gel-dégel, l'écaillage dû aux sels fondants, la corrosion prématurée des armatures et les réactions alcalis-granulats.

Dans le cadre de notre étude, nous avons décidé de tracer les courbes de vie (de dégradation) de chacun des 12 cas d'étude dans le but de mieux illustrer l'évolution de leur état dans le temps et de pouvoir effectuer des comparaisons technico-économiques.



Le traçage de ces courbes est guidé principalement par la courbe de dégradation typique des éléments en béton armé. L'évolution de l'état global des tabliers à travers leur durée de vie est basée sur les différentes études d'inspection réalisées périodiquement et

Les courbes de vie (de dégradation) de l'état des tabliers, objet de l'étude sont représentées sur la Figure 1.

## BILAN DES RÉSULTATS

Les durées de vie observées et projetées présentent des écarts importants, variant de 25 ans pour le tablier initial de la Section 6 du pont Champlain à 80 ans pour le tablier préfabriqué actuel du pont Jacques-Cartier. On remarque aussi une valeur d'âge récurrente de 45 ans pour un groupe considérable de tabliers, soit le pont de L'Île-des-Sœurs, le tablier de voies élevées de l'autoroute Bonaventure, le tablier initial du pont Jacques-Cartier (après l'usage des sels seulement) et le tablier initial du pont Honoré-Mercier (fédéral).

L'analyse de l'écart entre la durée de vie de 25 ans de la Section 6 du pont Champlain (cas 1) et le groupe des tabliers ayant une durée de vie de l'ordre de 45 ans, mène à croire que la mise en place d'un revêtement de 50 mm a permis d'allonger d'approximativement 20 ans la durée de vie de ces derniers tabliers.

Le cas du tablier des sections 5 et 7 du pont Champlain présente un système de précontrainte transversale et une imperméabilisation de la dalle, en comparaison du groupe des tabliers de 45 ans (cas 2, 3, 5 et 7), ce qui indique que ces deux éléments ont permis de prolonger leur durée de vie de 15 ans. Pour le cas du nouveau tablier du pont Clément, la présence d'armatures en acier avec revêtement époxydique et d'une membrane, permet l'estimation de sa durée de vie totale à environ 63 ans grâce aux courbes de dégradations indiquées à la figure 4. Dans ce cas, et en comparaison avec le groupe référentiel de 45 ans, on considère que l'intégration de ces deux éléments de protection, soit le revêtement époxydique et la membrane d'étanchéité, permet une augmentation de la durée de vie de l'ordre de 18 ans.

Figure 1

SOURCE  
PJCCI



Figure 2

SOURCE  
PJCCI

Figure 3

SOURCE  
PJCCI

dont les données sont disponibles aux archives de PJCCI.



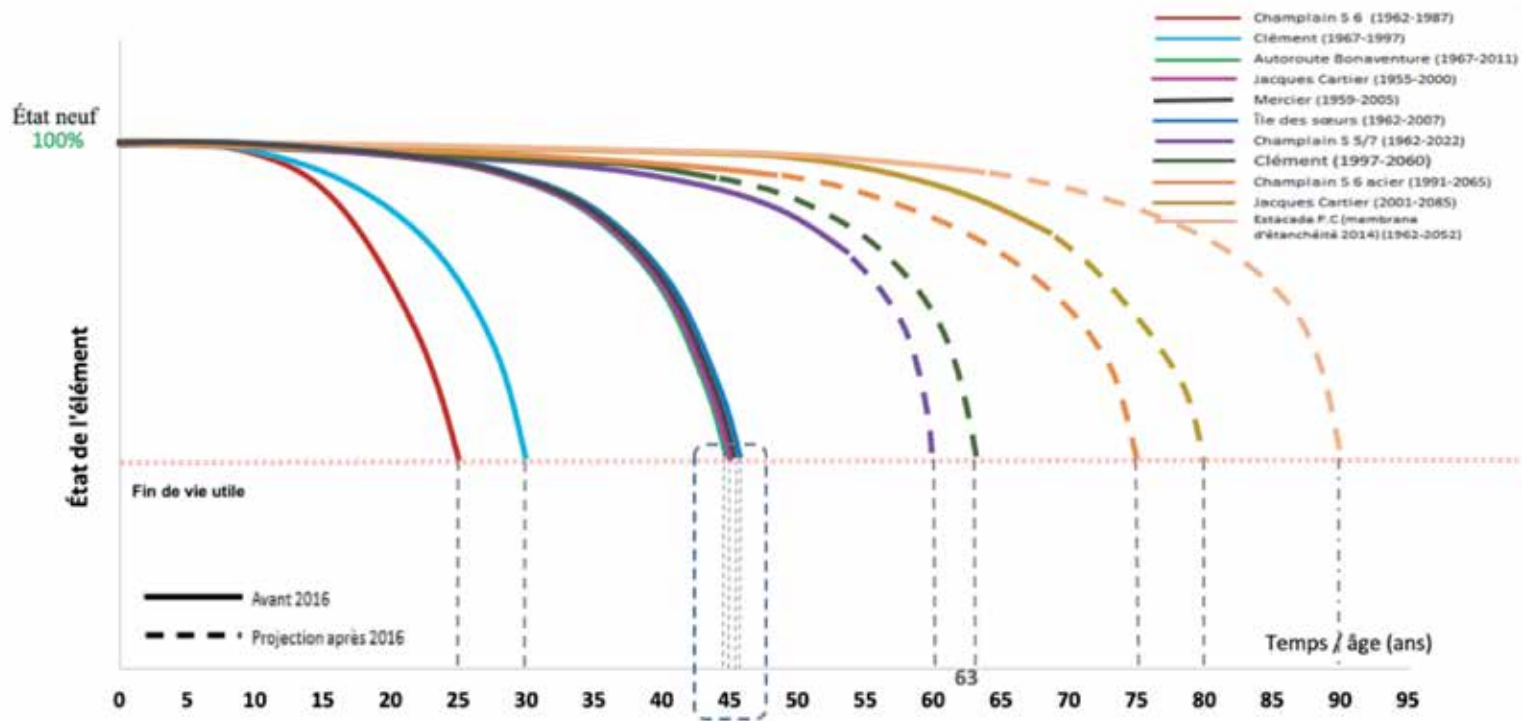


Figure 4

SOURCE  
PJCCI

Les cas du nouveau tablier orthotrope actuel de la Section 6 du pont Champlain construit en 1991-1992, et celui du tablier préfabriqué actuel du pont Jacques-Cartier, construit en 2001-2002 présentent respectivement une durée de vie de 75 ans et de 80 ans. Cela indique donc que le recours à un tablier orthotrope en acier s'avère un choix judicieux en termes de durabilité. L'exercice de courbe de vie réalisée sur le tablier préfabriqué du pont Jacques-Cartier démontre une durée de vie totale projetée de 80 ans. La technologie utilisée pour la construction de ce tablier est avant-gardiste; le tablier est en béton armé préfabriqué avec un béton haute performance (BHP) et les panneaux des dalles sont dotés d'une précontrainte par pré-tension ainsi que d'une post-tension longitudinale pour l'assemblage. En faisant la comparaison avec le groupe référentiel de 45 ans cité plus haut, nous estimons que l'intégration de la précontrainte dans le tablier, les armatures galvanisées et la mise en place d'une membrane d'étanchéité sont en voie de permettre de prolonger la durée de vie du tablier d'environ 35 ans par rapport à l'ancien tablier où une durée de vie de 45 ans est observée.

Le tablier de l'estacade du pont Champlain (cas 12) représente un cas référentiel et particulier,

où le tablier d'une structure n'est pas soumis aux sels de déglacage. Ce cas a permis de mettre en évidence encore une fois l'impact colossal de l'usage de sels de déglacage sur la durabilité des tabliers des structures. Selon notre estimation, le tablier de cette structure atteindra une durée de vie d'environ 87 ans. La valeur monétaire de cet impact est illustrée par le calcul de cycle de vie. Selon une étude réalisée par la Direction recherche et applications de PJCCI, l'impact d'un dollar de sel de déglacage est estimé à 25 dollars de coût direct d'entretien.

## Analyse des coûts de cycle de vie (CCV)

Pour illustrer les écarts importants entre les durées de vie observées et pour chiffrer les coûts monétaires des carences importantes en durabilité, nous avons réalisé une étude de coûts de cycle de vie pour l'ensemble des 12 cas. L'année de référence considérée pour le calcul des coûts est 2016.

Le coût de cycle de vie (CCV) est calculé comme la valeur actualisée des coûts de construction initiaux et des coûts de réparation de la structure.

Des données réelles des coûts de

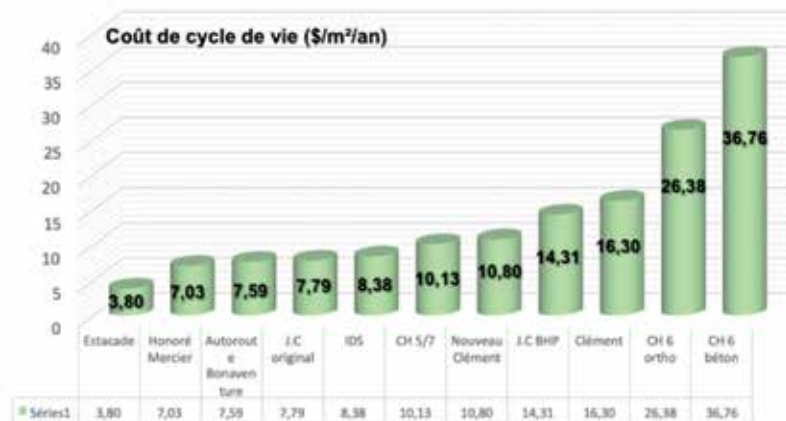
construction et d'entretien de ces tabliers sont utilisées. Pour les tabliers toujours en service, le calcul des coûts futurs d'entretien a été basé sur la planification des travaux projetés et sur les résultats des inspections.

construction présentent des valeurs de CCV de l'ordre de 10 à 15. Par contre, le pourcentage du coût d'entretien est beaucoup plus faible que celui du coût de construction

## L'impact de l'usage des sels est mis en évidence par le calcul de coût du cycle de vie, où la valeur du CCV par mètre carré est multipliée par 3 à 6 fois pour les structures soumises aux sels de déglacage.

Pour obtenir une meilleure comparaison des CCV, la superficie des tabliers a été prise en compte et la valeur des CCV a

avec moins d'interventions sur les voies de circulation. Le niveau de service de ces tabliers est le plus



été annualisée; ainsi, celle-ci est exprimée en dollars par mètre carré annualisé. Les graphiques de la Figure 1 présentent l'ensemble des résultats de calcul de CCV réalisés pour les 12 cas de l'étude. Le constat global sur les résultats des valeurs de CCV peut être résumé comme suit :

- Les écarts de valeurs de CCV sont très importants entre les différents types et configurations de tabliers;
- Les tabliers plus récents qui intègrent des techniques plus avancées de

élévé de l'ensemble des cas considérés;

- Le tablier orthotrope présente un coût de cycle de vie sensiblement plus élevé par rapport au tablier en béton armé. Par contre, il offre aussi un niveau de service exceptionnel étant donné son coût d'entretien quasiment nul;
- Le tablier actuel du pont Jacques-Cartier en dalles préfabriquées présente une valeur de CCV très appréciable par rapport au niveau de

Figure 5  
SOURCE  
PJCCI

service qu'il offre. Il constitue également sur l'ensemble des tabliers, objet de l'étude, le choix le plus judicieux en termes de durabilité et de niveau de service aux usagers;

L'étude de cycle de vie a permis de mettre en évidence des écarts importants en termes de durabilité entre les différents types et les différentes configurations de tabliers. Une carence en durabilité qui se traduit par un manque à gagner important en investissement. L'impact de l'usage des sels est mis en évidence par le calcul de coût du cycle de vie, où la valeur du CCV par mètre carré est multipliée par 3 à 6 fois pour les structures soumises aux sels de déglçage. Le cas de la Section 6 du pont Champlain démontre que la valeur du CCV a atteint un niveau extrême, soit trois fois supérieur à la valeur moyenne observée sur la majeure partie des tabliers étudiés.

Le revêtement en béton bitumineux d'une épaisseur de 50 mm permet de

Il existe aujourd'hui des moyens pour prolonger la vie d'un tablier en béton tels que l'utilisation de l'acier galvanisé ou l'acier inoxydable, l'utilisation du béton à haute performance, la membrane d'étanchéité ainsi que l'application de la précontrainte.

Les coûts initiaux additionnels relatifs à l'usage des systèmes de protection des armatures, de l'intégration des nouveaux bétons et de la précontrainte sont totalement justifiés par des coûts de cycle de vie plus adéquats et par le niveau de service observé sur les tabliers, tels que l'actuel tablier du pont Jacques-Cartier et le tablier orthotrope du pont Champlain en section 6.

L'introduction et le développement de nouvelles façons de faire en termes de conception durable sont nécessaires pour optimiser les coûts et améliorer le niveau de service aux usagers. À cet effet, il est important de mentionner que cette

## **Il existe aujourd'hui des moyens pour prolonger la vie d'un tablier en béton tels que l'utilisation de l'acier galvanisé ou l'acier inoxydable, l'utilisation du béton à haute performance, la membrane d'étanchéité ainsi que l'application de la précontrainte.**

prolonger la durée de vie d'environ 20 ans et l'intégration de la précontrainte dans un tablier est bénéfique pour limiter la fissuration du béton et prolonger de 15 ans la durée de vie d'un tablier.

Un tablier orthotrope en acier peut s'avérer une solution intéressante pour alléger une structure, fournir une durée de vie prolongée et offrir un niveau de service élevé aux usagers de la route.

tendance est bien reflétée dans la version 2019 du Code des ponts CSA-S6.

Les opportunités d'amélioration offertes par la nouvelle approche de conception pour la durée de vie (SLD : Service Life Design) sont réelles et les retombées économiques de l'innovation dans le domaine de la conception pour la durabilité sont prometteuses. ■

# Les panneaux DEL d'Orange Traffic normés selon le Tome V du MTQ

Le Tome V du MTQ (Ministère des Transports du Québec) permet de définir les panneaux de prescription installés sur les routes. Ces normes sont parfois modifiées lorsqu'un produit innovant fait son entrée dans le marché.

Depuis l'été 2019, Orange Traffic est fier de voir les panneaux DEL normés selon le Tome V du MTQ. Dorénavant, certains panneaux dynamiques ont les mêmes droits d'utilisation que les panneaux statiques, tout en permettant une plus grande fluidité sur les routes et en augmentant la vigilance des automobilistes et la sécurité de tous les usagers de la route.

Dans la section 8.18.1 du Tome V du MTQ, il est inscrit que « les panneaux de limite de vitesse variable (PLVV) sont des panneaux de prescription lumineux permettant d'indiquer aux usagers de la route la limite de vitesse prescrite. Ils ne peuvent être utilisés que lorsque cette limite de vitesse peut varier de façon dynamique dans le temps, en fonction notamment des conditions de circulation, des conditions climatiques, de l'état de la chaussée ou des périodes d'activités scolaires. » Cette solution permettant d'accroître la sécurité et la fluidité sur les routes est déjà installée dans plusieurs endroits au Québec.

Permettant de prioriser les transports en commun sur les routes, la section 8.18.3 norme les panneaux lumineux pour voies réservées semblables à ceux présentement installés à la ville de Québec. Faciliter la circulation pour les autobus est primordial afin augmenter le nombre d'usagers des transports en commun.

Les détails sur le Tome V du MTQ sont disponibles en ligne.

## Les avantages des panneaux DEL Orange Traffic

Orange Traffic manufacture des panneaux DEL depuis plus de vingt ans en améliorant

constamment sa conception. En plus de voir certains produits normés par le MTQ, l'entreprise offre des solutions de panneaux lumineux sur mesure pour des projets spéciaux ou selon les besoins des utilisateurs. Augmenter la visibilité pour les usagers de la route ou encore permettre une plus grande vigilance des conducteurs envers les usagers plus vulnérables, tels que les cyclistes et les piétons font partie des priorités de l'équipe Orange Traffic. L'utilisation de la technologie Orange Traffic pour les panneaux DEL représente plusieurs avantages:

1. Des panneaux lumineux s'ajustant à la lumière ambiante automatiquement, possédant 1000 degrés d'intensité lumineuse différent;
2. Peu ou pas de maintenance nécessaire;
3. Une conception permettant de faire l'entretien ou l'intervention sans fermeture de voies coûteuse;
4. Une possibilité d'afficher jusqu'à 4 messages prédéterminés;
5. Une garantie de ces produits pouvant aller jusqu'à 10 ans.



L'équipe d'experts chez Orange Traffic est disponible pour discuter avec vous de projets possibles et de nos solutions innovantes.

## Plusieurs projets majeurs en partenariat avec Orange Traffic à travers le Québec

Orange Traffic offre des solutions pour augmenter la fluidité et la sécurité sur les routes. Ces solutions sont souvent bâties sur mesure pour des projets d'envergure qui ont des besoins spécifiques. Dans les dernières années, Orange Traffic a su se démarquer par sa présence sur plusieurs réalisations majeures au travers le Québec.

### Tunnel Melocheville

L'état de la circulation dans un tunnel se doit d'être connu en tout temps pour intervenir en cas d'urgence. Orange Traffic a implanté son système de détection d'incidents automatique dans le tunnel Melocheville permettant une sécurité accrue et une fluidité optimale.



### Pont Jacques-Cartier

L'illumination du Pont Jacques-Cartier est une innovation incroyable et emblématique pour la ville de Montréal. Orange Traffic est fier d'y participer avec des solutions de STI, tels que le

### Pont Samuel-De Champlain

Le nouveau Pont Samuel-De Champlain, inauguré en juin 2019, s'est doté de coffrets STI (systèmes de transport intelligent) permettant la classification, la détection et le comptage de véhicules grâce à diverses solutions signées Orange Traffic.



### Pont de Québec

Permettant une fluidité optimale, le Pont de Québec a un système de voies réversibles contrôlé à distance qui peut intervenir aux heures de pointe et en cas d'incidents grâce au système signé Orange Traffic.

comptage et la détection véhiculaire en temps réel, qui font varier la couleur du pont en temps réel dépendant notamment de l'état de la circulation sur le pont.

L'équipe d'experts chez Orange Traffic est disponible pour discuter avec vous de projets possibles et de nos solutions innovantes.



# CANADA

Population 36,71 millions



Toronto, Canada

## Toronto's Cycle Tracks and Safety Benefits

Marie-Soleil Cloutier, **Institut National de la Recherche Scientifique**  
 Andrew Howard, Rebecca Ling, and Colin Macarthur, **Hospital for Sick Children**  
 Linda Rothman, **Ryerson University**

Cycling accounts for 2% of mode share in Canada, compared to 27% in the Netherlands. Despite a low cycling mode share, a cyclist in Canada is two times more likely to die from a motor vehicle collision (per kilometer cycled) compared to a cyclist in the Netherlands.<sup>1</sup> In Toronto, cyclist-motor vehicle collisions (CMVC) rose from 1063 incidents in 2000 to 1196 incidents in 2016, representing an average annual increase of 1% (Figure 3).<sup>2</sup> Between 2003 and 2016, 539 cyclists were killed or seriously injured on Toronto roads.<sup>3</sup> To respond to the rising road traffic injuries and fatalities, the municipal government implemented Toronto's first Vision Zero Road Safety Initiative in 2017 and Vision Zero 2.0 later in 2019 with the goal of reducing traffic-related deaths and serious injuries to zero for cyclists, who represent one of the five priority areas. In addition to Vision Zero, the Cycling Network Plan was established to build a connected and accessible cycling network across the city by constructing new cycling infrastructure, providing more cycling routes, and improving existing cycling infrastructure. Amongst the various types of cycling infrastructure, cycle tracks, also called protected separated bike lanes, are cycling infrastructure that provides a physical separation or barrier between the cyclist and the traffic. In contrast, cycle lanes, or painted bike lanes, are separated from the traffic with a painted line and do not have a physical separation or barrier.<sup>4</sup> In Toronto, cycle tracks accounted for 25% of new cycling infrastructure that was built from 2016 to 2018 (15 out of 60 km of the total infrastructure) and now make up the fourth most common cycling infrastructure in the city.<sup>4</sup>

Current literature on cycle track safety is limited in North America and no studies have investigated area-wide effects of cycle tracks. Researchers at The Hospital for Sick Children in Toronto and the *Institut National de la Recherche Scientifique* in Montreal sought to examine the effects of cycle track safety in Toronto, Canada. The group conducted a before and after study examining CMVC on cycle tracks that were implemented in



2013 and 2014. The full details of the study are published in Accident Analysis and Prevention.<sup>2</sup> In this article, a brief summary of this study is presented.

The objectives of the study were to:

- Examine the rates of CMVC (per km of road) on streets with cycle tracks before and after cycle track implementation.
- Examine area-wide effects on CMVC rates on streets surrounding cycle tracks before and after cycle track implementation by using buffer areas around cycle.

## Study Area: Six Cycle Tracks in Toronto

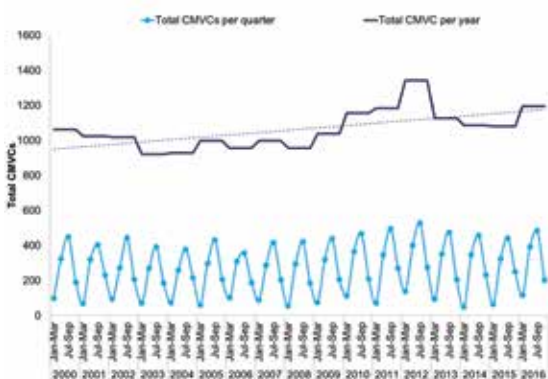
The cycle tracks were implemented in 2013 and 2014 and used a combination of bollards, planters, raised curbs and raised tracks (Figure 3) to physically separate cyclists from the cars. The locations of these six cycle tracks are shown in Figure 1-2-4-5. Three cycle tracks were previously cycle lanes and were upgraded to cycle tracks: Sherbourne St. (2.54 km), Wellesley St. East (1.28 km) and Wellesley St. West-Queen’s Park (1.30 km). The remaining three cycle tracks were installed on roads with no prior cycling infrastructure: Adelaide St. West (1.61 km), Richmond St. West (1.39 km), and Simcoe St. (0.69 km).

**Figure 1**  
Example of cycle track with bollards on Wellesley St. East

SOURCE  
Google Maps, 2020

**Figure 2**  
Example of cycle track with planters on Richmond St. West

SOURCE  
City of Toronto, 2020



## Study Methods

Police-reported collisions occurring between 2011 and 2016 from the City of Toronto were mapped onto Toronto’s road network using ArcGIS. In objective 1, a 25m buffer was used to identify CMVC occurring on street segments with cycle tracks. CMVC rates were calculated as the number of CMVC per cycle track kilometre per month. In objective 2, we created five incremental buffer zones surrounding the cycle tracks at distances of 26m-150m, 151m-250m, 251m-350m, 351m-450m, and

**Figure 3**  
Trends in Cycling-Motor Vehicle Collisions in Toronto

SOURCE  
Ling et al., (2020)





**Figure 4**  
Example of cycle track with raised curb on Wellesley St. West

SOURCE  
City of Toronto, 2020

**Figure 5**  
Example of raised cycle track on Wellesley St. West

SOURCE  
Google Maps, 2020

451m-550m. CMVC rates in each buffer area were calculated as the number of CMVC per kilometre per month.

Single-measure cyclist counts – before and after cycle track implementation – were obtained for five of the six streets. The counts were conducted at a single intersection in dry conditions during the summer by the City of Toronto.<sup>5</sup> With cycling volumes, CMVC rates were calculated as the number of CMVC per 1000 cyclists per month.

Effects on CMVC rates were examined by



**Figure 6**  
Map of cycle tracks in Toronto

SOURCE  
Ling et al., (2019)

comparing the 2 years before and 2 years after cycle track installation. Regression methods involved zero-inflated Poisson models and adjusted for variation between summer months (April to September) and winter months (October to May). Only significant incidence

rate ratios (IRR) are presented here. An IRR of 1 represents no change, a value above 1 represents an increase in CMVC rate, and a value below 1 represents a decrease in CMVC.

## Findings for CMVC before and after Cycle Tracks (Objective 1)

**D**uring the study period, there was a total of 194 CMVC on streets with cycle tracks. Most CMVC involved adults between 16 to 59 years old (80%), led to minor and minimal injuries (79%), and occurred at intersections (66%).

On all six cycle tracks, the overall CMVC rate was 3.0 CMVC per 10 km-months before track implementation and 6.1 CMVC per 10 km-months after track implementation. Cycle tracks on Adelaide St. West experienced the largest increase in CMVC rate following track implementation (1.3 CMVC to 7.5 CMVC per 10 km-months). From the regression, the installation of cycle tracks was associated with 2.1 times higher CMVC rates. There was a larger increase in CMVC rates on streets that did not have any prior cycling infrastructure (IRR=2.2) compared to streets that were upgraded from painted bike lanes (IRR=1.9).

Results were reversed when cycling volumes were taken into account. The average

number of weekday cyclists before was 2,317. This number rose to 8,262 cyclists after cycle tracks were put in, an overall 257% increase in cyclist volume. When considering this rise in cyclist volume, the overall CMVC rate decreased from 23.7 per 1,000 cyclists-months before to 14.6 per 1,000 cyclists-months after track implementation (Figure 5). From the regression analysis, cycle track implementation was associated with a 38% reduction in CMVC rates, adjusting for the season (IRR=0.6).

## Findings for CMVC in Surrounding Areas and Safety Halos (Objective 2)

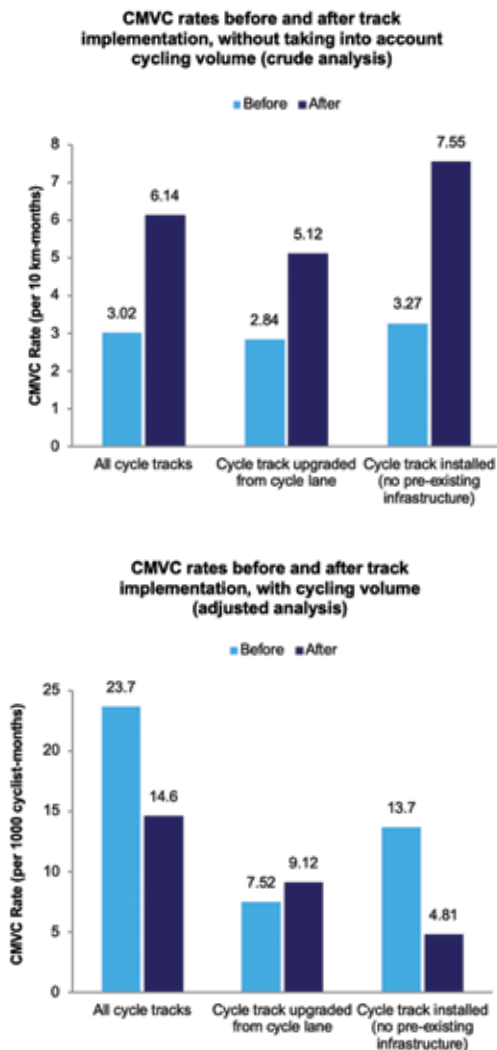
A total of 793 CMVC occurred on surrounding streets at 26m-550m from the cycle tracks. There were 461 CMVC before and 332 CMVC after track implementation. Most CMVC involved adults aged 16 to 59 years (94%), led to minimal and minor injuries (66%), and happened at intersections (68%).

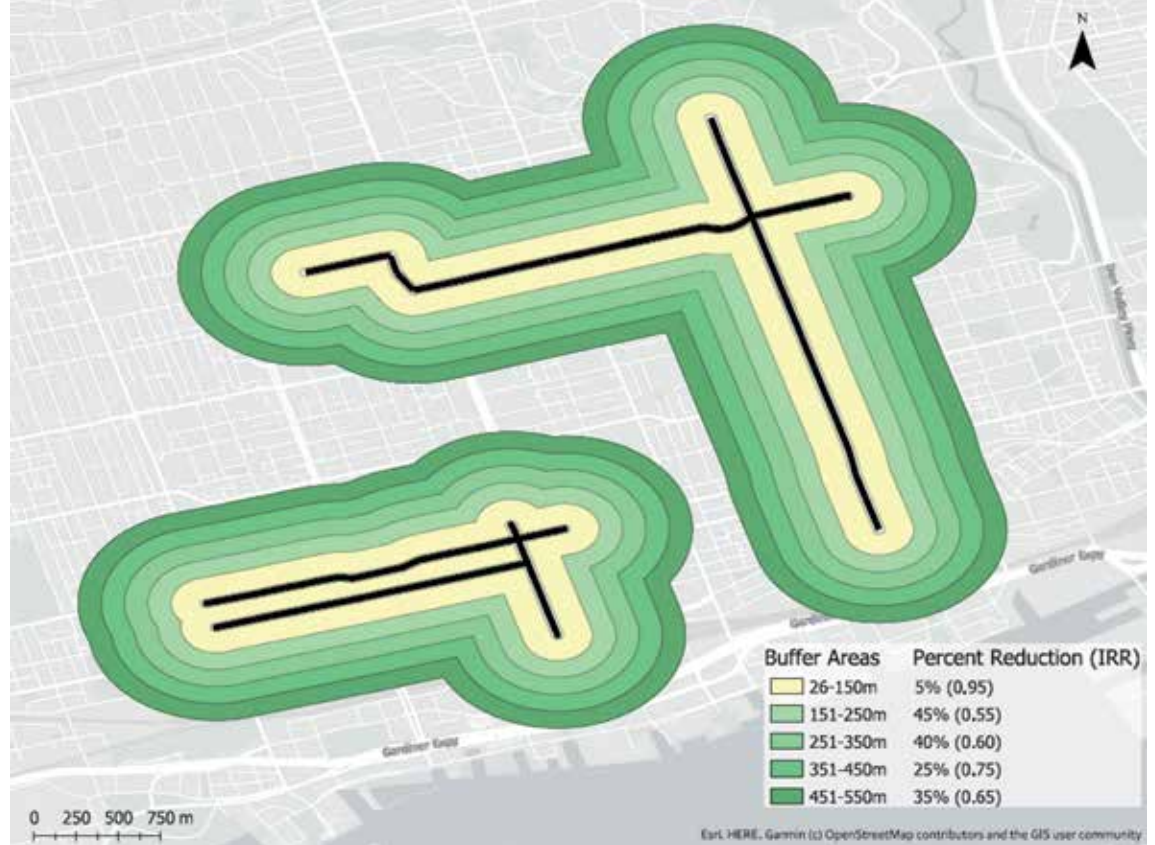
Cycle track effects in surrounding areas differed by their distance away from the cycle tracks. On streets 26m-150m from cycle tracks (the nearest area examined), we observed no change in CMVC rates before and after cycle track installation. On streets further away from the cycle tracks, we found reductions in CMVC rates following cycle track implementation, ranging between 25% and 45% (Figure 7). Reductions were significant for areas within 151m-250m, 251m-350m and 450m-550m. Additionally, a secondary analysis that combined data on streets 151m-550m from the cycle tracks demonstrates an overall 35% reduction in CMVC rates after cycle track implementation in these areas (IRR=0.6). This result may suggest a "Safety Halo" effect given the reduction in CMVC rates following the installation of cycle tracks.

In our study, cycle track implementation was attributed to a reduction in CMVC rates in Toronto. The physical separation and increased distance between cyclists and motor vehicles on cycle tracks seems to lead to increased safety for cyclists. Furthermore, the implementation of cycle tracks also led to higher cycling volumes, generating a "safety in numbers" effect on cycle tracks. "Safety in numbers" occurs with increased numbers of cyclists on the roads, which in turn decreases the risk of

**Figure 7**  
CMVC rates before and after cycle tracks by analysis

SOURCE  
Ling et al.,  
(2019)





**Figure 8**  
Percent Reductions in CMVC Rates in Buffer Areas after Cycle Track Installation

SOURCE  
Ling et al.,  
(2019)

collision per individual because drivers are made more aware and cautious of other cyclists on the roads.<sup>6,7</sup>

The reduction in CMVC and observed in the areas 151m-550m surrounding cycle tracks means there is an additional safety effect of cycle tracks on adjacent streets. This may be due to shifting cyclists from roads with no cycling infrastructure to those with safer cycling infrastructure. The implementation of cycle tracks can lead to a redistribution of cyclists in those areas, in line with studies showing that cyclists are more likely to ride along new cycle tracks than streets without a cycling infrastructure.<sup>8,9</sup>

Therefore, cycle tracks can be an effective built environment intervention to reduce cyclist-motor vehicle collisions, in addition to supporting and promoting cycling in the city. ■

- 1 Pucher J, Buehler R. Cycling for everyone: Lessons from Europe. *Transp Res Rec.* 2008;2074(1):58-65. doi:10.3141/2074-08
- 2 Ling R, Rothman L, Cloutier MS, Howard A. Cyclist-motor vehicle collisions before and after implementation of cycle tracks in Toronto, Canada. *Accid Anal Prev.* In submiss.

- 3 Bhatia D, Richmond SA, Loo CKJ, Rothman L, Macarthur C, Howard A. Examining the impact of cycle lanes on cyclist-motor vehicle collisions in the city of Toronto. *J Transp Heal.* 2016;3(4):523-528. doi:10.1016/j.jth.2016.04.002
- 4 City of Toronto. *Cycling Network 10 Year Plan.* City of Toronto. <https://www.toronto.ca/services-payments/streets-parking-transportation/cycling-in-toronto/cycle-track-projects/cycling-network-10-year-plan/>. Published 2018. Accessed January 22, 2019.
- 5 City of Toronto. *Open Data Catalogue.* <https://www.toronto.ca/city-government/data-research-maps/open-data/open-data-catalogue/#3763d352-5f0a-4385-4cec-f255d4860ea5>. Published 2018. Accessed January 22, 2019.
- 6 Jacobsen PL. Safety in numbers: More walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Inj Prev.* 2015;21(4):271-275. doi:10.1136/ip.9.3.205rep
- 7 Teschke K, Harris MA, Reynolds CCO, et al. Route infrastructure and the risk of injuries to bicyclists: A case-crossover study. *Am J Public Health.* 2012;102(12):2336-2343. doi:10.2105/AJPH.2012.300762
- 8 Rissel C, Greaves S, Wen LM, Crane M, Standen C. Use of and short-term impacts of new cycling infrastructure in inner-Sydney, Australia: A quasi-experimental design. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2015;12(1):1. doi:10.1186/s12966-015-0294-1
- 9 Winters M, Teschke K. Route preferences among adults in the near market for bicycling: findings of the cycling in cities study. *Am J Health Promot.* 2010;25(1):40-47. doi:10.4278/ajhp.081006-QUAN-236

A blue-tinted photograph of a busy Parisian street. In the foreground, several ornate, multi-tiered street lamps line the sidewalk. In the background, a large, classical-style statue of a winged figure stands on a tall, ornate pedestal. People are walking along the street, some in motion, creating a sense of activity. The overall scene is captured in a monochromatic blue color scheme.

# FRANCE

Population 67,12 millions



France

# De l'importance de la représentation des espaces de traversée de rue par les piétons

Marie-Axelle Granié  
IFSTTAR-TS2-LESCOT

**La littérature scientifique et les statistiques internationales montrent bien que le comportement des usagers ne respecte pas toujours les règles du Code de la route. Un des objectifs de la recherche en psychologie des déplacements est de mieux comprendre les situations dans lesquelles cette non-conformité se produit et les raisons qui l'expliquent. Les recherches que nous avons menées à l'Ifsttar confirment qu'il y a un écart plus ou moins large entre la connaissance des règles et leur application, et ce dès l'enfance<sup>i</sup>. Ces études montrent également que la conformité aux règles routières varie en particulier en fonction de l'environnement autour du lieu de traversée<sup>ii</sup>. Plus particulièrement, celle-ci semble reposer sur les déductions que les piétons font sur leur visibilité symbolique, à partir d'indices prélevés dans l'environnement. Ainsi, les espaces où la présence du piéton a été « pensée » par l'aménageur pourraient aussi être ceux dans lesquels les piétons manifestent les comportements les plus téméraires.**

Dans une étude qualitative, nous avons analysé comment la façon dont les piétons perçoivent la situation de traversée est affectée par leur représentation de l'environnement, incluant l'aménagement de la voie, mais aussi l'environnement bâti<sup>iii</sup>. Nous avons présenté 20 environnements photographiés à des piétons réunis en groupe de discussion, en les interrogeant sur l'agrément et la facilité de traverser. Les résultats ont permis de dégager deux types d'environnement qui étaient perçus positivement par les piétons interrogés. Une partie des piétons trouvait plus faciles et agréables des environnements organisant et simplifiant leur utilisation par les piétons (présence de passages pour piétons, trottoirs bien délimités, visibilité dégagée, dans un contexte plutôt calme, et avec une circulation modérée). Dans ces environnements, la lisibilité de l'espace et la prévisibilité des comportements étaient importantes, tant pour le conducteur que pour le piéton. Au contraire, une autre partie des piétons trouvait plus faciles et agréables à traverser les rues situées dans des environnements qu'ils percevaient comme complexes pour le conducteur (trottoirs larges, absence de stationnement, de marquages et de passages pour piétons, contexte animé par la présence de cafés et de boutiques),

## De l'importance de la représentation des espaces de traversée de rue par les piétons

c'est-à-dire des environnements ambigus et incertains exigeant une attention accrue des conducteurs envers les piétons. La présence d'un espace très structuré ou au contraire très peu structuré semble ainsi faciliter la prise de décision de traversée de rue.

Dans une autre étude, nous avons analysé plus en détail la décision de traversée de rue en fonction de l'environnement<sup>iv</sup>, en

de cinq types d'environnements différents<sup>v</sup> ont été présentées à 77 piétons. Les éléments dont ils ont tenu compte pour prendre la décision de traverser ou non ont été recueillis par entretien pour chaque environnement présenté. Les résultats ont montré que les piétons décidaient beaucoup plus fréquemment de traverser la rue en centre-ville que dans les autres sites présentés. L'analyse des entretiens a montré que plusieurs indices

**Ainsi, les espaces où la présence du piéton a été « pensée » par l'aménageur pourraient aussi être ceux dans lesquels les piétons manifestent les comportements les plus téméraires.**

cherchant à identifier les caractéristiques environnementales que les piétons prennent en compte et les inférences qu'ils développent et utilisent dans leur décision de traverser une route. Les photographies

étaient prélevés dans l'environnement : en particulier la présence, la diversité et la fonction des bâtiments, la qualité des trottoirs et la présence d'espaces de stationnement. Ils étaient notamment



Vue gauche



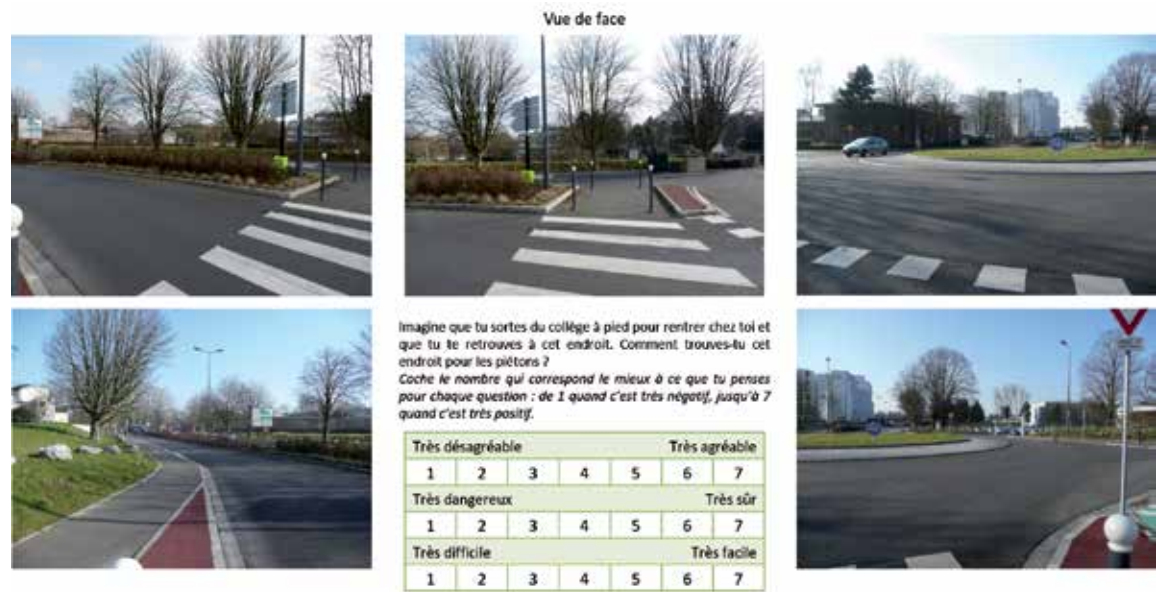
Vue droite



Vue centrale

**Figure 1**  
Un environnement complexe qui oblige une attention soutenue

SOURCE  
Université  
Gustave  
Eiffel



**Figure 2**  
La qualité des marquages renforce la visibilité symbolique des piétons

SOURCE  
Université  
Gustave  
Eiffel

utilisés par les participants pour produire des inférences sur la densité de piétons et de circulation, permettant de prédire l'attention du conducteur envers les piétons et finalement de déduire la vitesse des véhicules.

Ces indices prélevés dans l'environnement sont également perceptibles chez les adolescents. Dans une autre étude, nous avons interrogé trois cent quarante-deux élèves du secondaire sur leur perception de cinq sites de traversées à proximité des écoles secondaires, présentés sous format photographique<sup>vi</sup>. L'analyse des commentaires libres laissés par les

piétons. Les environnements perçus positivement par les préadolescents ont en commun la forte présence de marquages routiers récents qui, comme la largeur des trottoirs, non seulement marquent et différencient les espaces de chacun, mais renforcent aussi la visibilité réelle tout autant que symbolique des piétons. Au contraire, le stationnement non régulé des véhicules donne aux préadolescents le sentiment que les piétons ne sont pas pris en compte et respectés par les conducteurs. L'absence de trottoirs et la dégradation des marquages au sol, y compris les passages pour piétons, étaient interprétés comme le symbole que les piétons ne sont pas pris en

## La présence d'un espace très structuré ou au contraire très peu structuré semble ainsi faciliter la prise de décision de traversée de rue.

adolescents sur chaque environnement a montré que les aspects les plus positifs des environnements présentés concernaient l'attrait esthétique des logements résidentiels, l'impression d'espace émergeant de la largeur des voies, ainsi que le grand nombre de passages pour

compte dans l'environnement. De même, la présence de feux de circulation est perçue soit négativement – comme un indicateur de la densité de la circulation et donc de traversées plus complexes et dangereuses –, soit comme un élément facilitant la traversée – en permettant une délégation

## De l'importance de la représentation des espaces de traversée de rue par les piétons



**Figure 3**  
 L'environnement le moins positivement perçu par les collégiens

SOURCE  
 Université  
 Gustave  
 Eiffel

à l'environnement de la prise de décision, réduisant ainsi le sentiment de danger –, notamment chez les préadolescents qui ne sont pas très confiants dans les déplacements indépendants<sup>vii</sup>. Les observations semblent montrer également chez les piétons âgés que la régulation des interactions piéton-conducteur par l'infrastructure est recherchée lorsque les capacités perceptives et cognitives diminuent<sup>viii</sup>.

Une étude plus qualitative permet de compléter ce tableau, en analysant les perceptions de la totalité du trajet à pied. Pour cela, nous avons proposé à 344 élèves de l'enseignement secondaire une question ouverte sur les caractéristiques qu'ils associent spontanément aux trajets pédestres qu'ils perçoivent positivement ou négativement, en utilisant la méthode de l'association libre<sup>ix</sup>. Les analyses montrent tout d'abord que la catégorie la plus fréquemment utilisée pour caractériser les trajets concerne son ambiance générale, liée aux émotions positives ou négatives que procure le déplacement, en relation en premier lieu avec le contexte temporel ou spatial du trajet. Les sensations ressenties au cours du trajet sont aussi fréquemment citées : les couleurs et les bruits s'ajoutent aux mouvements physiques de la marche. Apparaissent ensuite les éléments relatifs à l'infrastructure, à l'aménagement

des voies et à la circulation. La présence et la fréquence des éléments de l'espace routier symbolisant la prise en compte des piétons (trottoirs, feux, passages piétons) sont perçues positivement, tandis que leur mauvaise qualité (rues étroites, mal éclairées, mal entretenues, sentant mauvais) apparaît fréquemment pour décrire les trajets peu appréciés. Deux représentations, proches de celles observées chez les adultes, sont ainsi construites en opposition chez les collégiens : le trajet préféré peut ainsi être résumé comme le déplacement dans un espace dans lequel le piéton est attendu, accueilli et qui procure, notamment par la présence d'éléments naturels, des émotions et des sensations positives, dans un contexte d'absence de contraintes spatiales et temporelles. Au contraire, le trajet le moins aimé évoque le piéton contraint par sa destination, le temps disponible et les obstacles humains et physiques, mettant l'accent sur les aspects sécuritaires plutôt que sur les aspects liés à l'agrément.

Ces résultats révèlent comment le piéton, membre d'un groupe vulnérable et pas toujours « pensé » par les aménageurs, se trouve dans le besoin d'inférer des informations sur les conducteurs, dominants en termes de densité et potentiellement nuisibles



pour le piéton. Ainsi, les piétons accordent une grande importance à l'environnement dans lequel ils se déplacent. Les indices qu'ils prélèvent dans l'environnement – notamment le stationnement des véhicules, le type d'environnement bâti, la présence d'aménagements dédiés et de marquages visibles – sont alors des facteurs clés pour expliquer leur décision de traverser et leur représentation des espaces traversés. Ils sont perçus par les piétons comme des indicateurs permettant de déduire leur place symbolique dans l'espace routier et le comportement actuel et futur des conducteurs. Ils leur permettent notamment d'estimer le rapport de force entre le groupe des piétons et celui des conducteurs et d'inférer l'attention des conducteurs à leur égard. Deux types d'espaces sont ainsi perçus favorablement par les piétons : ceux fortement structurés et rendant visible symboliquement le piéton au travers des marquages et espaces qui lui sont dédiés, et ceux peu structurés, mais dans lesquels la forte densité des piétons et leurs mouvements anarchiques obligent les conducteurs à être attentifs.

Ces perceptions des espaces par les piétons sont importantes à prendre en compte, à la fois car elles peuvent affecter les choix de modes de déplacement – quand l'usager peut choisir son mode de déplacement – mais aussi parce qu'elles influencent les comportements des piétons pendant le déplacement, notamment au moment de la traversée. Les environnements composés de trottoirs larges et de marquages récents à l'intention des piétons sont évidemment perçus comme des environnements de marche agréables à fréquenter lorsqu'on se déplace à pied. Toutefois, il faut également prendre en compte le fait que ces aménagements sont également perçus par les usagers à un niveau plus symbolique, comme des espaces qui ont été pensés pour le piéton, dans lesquels celui-ci est attendu et dans lesquels les marcheurs sont pris en compte, équilibrant ainsi le rapport de force avec le conducteur. En cela, ces aménagements peuvent

également engendrer des comportements potentiellement plus téméraires des piétons. ■

- i Granié, M.-A. (2007). Gender differences in preschool children's declared and behavioral compliance with pedestrian rules. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(5), 371-382.
- ii Tom, A., & Granié, M. A. (2011). Gender Differences in Pedestrian Rule Compliance and Visual Search at Signalized and Unsignalized Crossroads. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1794-1801.
- iii Granié, M.A., Brenac, T., Montel, M.C., Coquelet, C., Millot, M., Monti, F., & Pannetier, M. (2013). Qualitative analysis of pedestrians' perception of the urban environment. *Advances in Transportation Studies*, XXXI, 17-34.
- iv Granié, M. A., Montel, M. C., Brenac, T., Millot, M., & Coquelet, C. (2014). Influence of built environment on pedestrian's crossing decision. *Accident Analysis & Prevention*, 67, 75-85.
- v Centre-ville, espace résidentiel, grands ensembles d'habitation en périphérie, zone commerciale en périphérie et zone rurale
- vi Granié, M.-A. (2019). Perceptions des environnements de marche connus et inconnus chez des collégiens piétons en France. In: Huguenin-Richard, F. (ed.) *Place aux piétons*, 89-108. L'Harmattan, Paris
- vii Granié, M.-A., Espiau, G. (2010). Etude qualitative du comportement piéton de collégiens par la méthode de l'autoconfrontation. *Territoires en Mouvement. Revue de Géographie et d'Aménagement* 2008, 39-57
- viii Granié, M.-A., Dommes, A., Cloutier, M.-S., Coquelet, C., Huguenin-Richard, F. (2014). Etude des effets de l'âge et du contexte de traversée de rue sur les comportements observés sur passages piétons régulés. In: Cloutier, M.S. (ed.) *La ville sous nos pieds : connaissances et pratiques favorables aux mobilités piétonnes*, pp. 275-284. Institut National de la Recherche Scientifique - Centre Urbanisation et Société, Montréal (Canada)
- ix Granié, M.-A., Varet, F., & Torres, J. (2018). Les trajets à pied comme temps et objets de socialisation chez les collégiens français. *Le Sujet dans la Cité. Numéro spécial Actuels « Les activités de socialisation : expériences plurielles et biographies singulières »*, 1(7), 73-86.



# NOUVELLE- ZÉLANDE

Population 4.794 millions



Nouvelle-Zélande

# Automated Clash Detection: A Significant Step Forward for Rail Infrastructure Projects

Josh Symonds  
Arup

For most people, the labyrinth of utilities beneath our city streets remains invisible and inconsequential. But those of us involved in implementing rail infrastructure projects in urban areas understand that these hidden underground systems frequently present expensive obstacles to development. It is no small task to shoehorn the track slab, construction envelope and associated infrastructure needed to support a light rail project into a site already bristling with major utilities that feed into a central business district. Avoiding or relocating layers of utilities (i.e. gas, water and electricity) constructed over many decades by many different sets of hands is typically a costly and tedious process, made harder by inadequate or out-of-date documentation.

Traditionally, the ‘utilities clash process’ has been used to mitigate these risks—enlisting the services of a team of engineers to compare the proposed alignment with horizontal and vertical vertices and reconcile their findings with any datasets made available by utility owners. Completing a utilities clash analysis for a single, static alignment in this manner is about as straightforward as getting toddlers to eat their greens, and the effort involved increases exponentially with an alignment change, depending on the magnitude.

The fact is that the standard utilities clash process is often cumbersome and costly. It is also in high demand, with an increasing number of proposed light rail routes running through brownfield sites inside heavily congested corridors. Spurred to find a better way, companies began looking into ways to leverage engineering best practices and GIS technology to fast-track the clash detection process. The result is an automated clash detection method that dramatically reduces the amount of time required and reduces the risk of human error.

**Innovation:** An entirely new automated clash detection process has been developed and replaces the standard, costly manual process. Leveraging GIS-based technology, all of the existing utilities’ asset information available in various file formats and data structures was consolidated into a federated asset information model. With this model, spatial interactions can be analyzed and any potential clashes between utilities and designs can be identified



and evaluated, thus allowing these issues to be resolved more quickly.

## Opportunity Rings

In 2015, New Zealand's Auckland Transport was investigating various alignment options for a new light rail route to meet growing demand. They commissioned local companies to create the reference design for the route. The proposed route alignment's impact on the location of underground utilities was critical as it lay within a heavily-congested corridor containing several major utilities essential to the continuous operation of Auckland's central business district. The project presented an excellent opportunity to reform the clash process. Auckland Transport was quite open to innovation, so they started looking into how technology and best practices could be leveraged to make the process more straightforward and efficient.

## How it Works

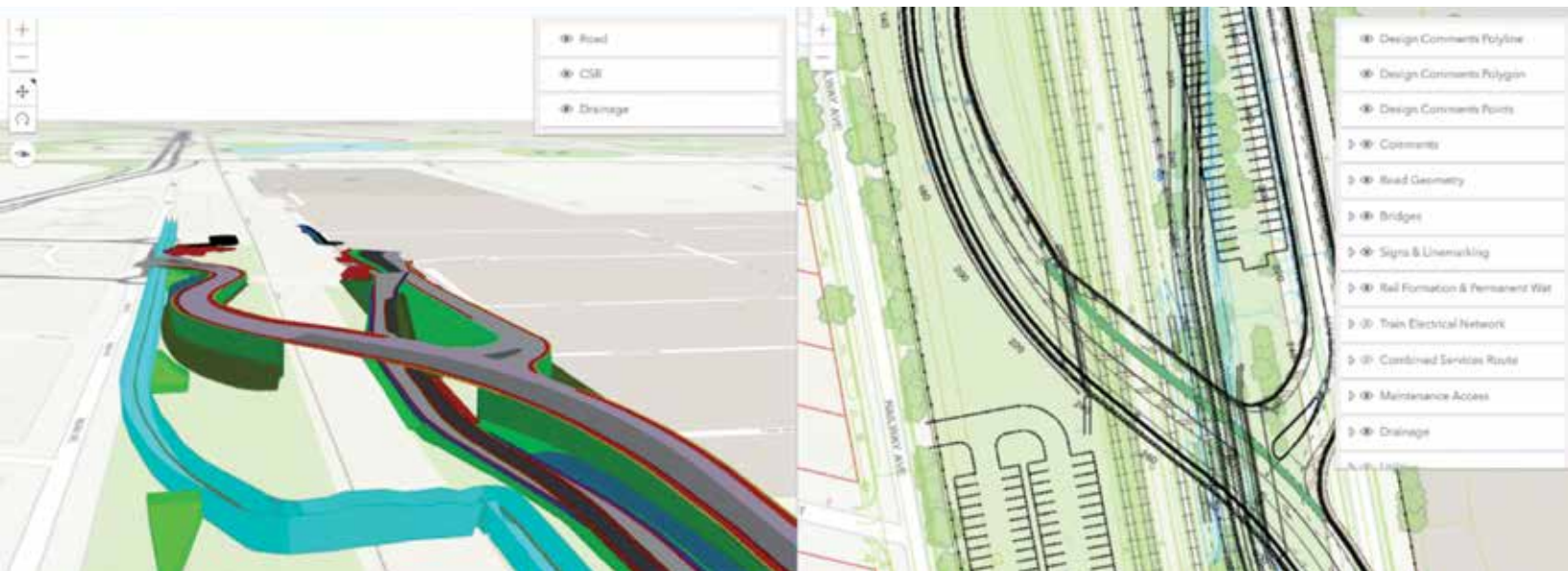
Further research was done on "off the shelf" clash detection solutions, but it was quickly discovered that no single solution had the functionality to ingest multiple, disparate datasets and use them to continually update alignment. Failing to find an out-of-the-box product meeting the criteria, a new product was developed.

Unable to find a concise "almanac" standard or schema for storing all the required information, a data schema was built to borrow heavily from the Australian Standard 5488:2013. [The assessment criterion used to rate 'locational confidence' runs from A (best quality) to D (worst quality).] Network Utility Owners (NUOs) collaborated to provide access to their existing asset data, the majority of which was stored on proprietary asset management databases. Once collected, the asset information was consolidated into one federated asset information model.

By merging the data streams provided in a variety of formats and structures under one umbrella, the federated model supports a streamlined clash detection process. Using a two-tier approach, a 7 "hard" clash

**Figure 1**  
Congested  
Underground  
Tunnels

SOURCE  
Arup



**Figure 2**  
2D/3D Web GIS interface - The use of 3D web GIS to supplement the model collaboration platform of Autodesk's Navisworks. The 3D web GIS platform allows for the 3D viewing of BIM models without requiring proprietary software

SOURCE  
Arup

detection analysis is completed first to identify any assets that physically clash with design elements, then a supporting “soft” clash detection analysis is completed to identify assets with a confidence score that falls within AS5488 tolerances. The NUOs’ requested safety buffers are also factored in. That way, critical spatial interactions can be identified with far greater efficiency (i.e. is the clash longitudinal or diagonal?). Then functional logic is used (i.e. if, and, or, else) to determine how the clash should be rated, based on a range of parameters:

this type of work, 4) reputational impacts of downtime to the network, 4) the number of stakeholders who rely on this asset, etc.

**Risk Score:** Probability Score (X) Consequence Score

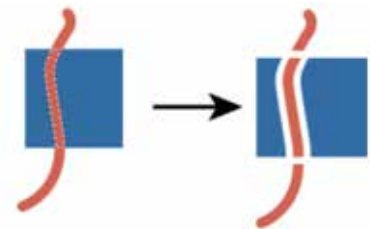


Figure 3 – 2D Clip - The clash detection process involves computing a standard 2D clip process (with no elevation values considered) that discards any utility inputs that do not fall within the horizontal plane of any of the design inputs.

**Figure 3**  
2D Clip

SOURCE  
Arup

**Probability Score:** Score is determined based on—1) how likely the asset is to be impacted, 2) how critical the asset is, 3) how the clash is oriented in relation to the design, 4) the age of the asset, 5) the asset’s material fragility and condition, 6) data quality, according to the AS5488, etc.

**Consequence Score:** Score is determined based on—1) the impacts of clashing with this asset, 2) the cost of remediation, 3) time delays associated with

Each clash is classified with a risk level of red, amber or green, based on its specific risk weighting and remediation/treatment values. Those assets that cannot be classified during the functional logic phase and require manual assessment are then processed through a neural network. This

machine-learning algorithm, or artificial intelligence, mimics engineering thought processes and decision-making and can be trained to understand the risks associated with each clash and specify any NUO treatment requirements related to it.

### A More Complete Picture

To enable project teams to view clash results spatially, a 2D/3D synchronized web map interface was created. This universally accessible platform allows the results of the utility clash detection process to be represented visually in both 2D and 3D, providing users with a more complete picture of the complex interactions between the design and existing assets.

The automated clash detection process relies on a central database that uses

sections and average risk scores were assigned to each to allow design teams to more quickly identify and prioritize the most risk-laden areas of the project and divert project resources accordingly.

### Elegance of the Solution

This new automated clash detection process has provided enormous value to the Auckland Transport project. By using this method, the number of clashes that required manual assessment decreased from more than 5,000 clashes to just over 400, resulting in a savings of 700 engineering hours – a staggering cost savings on any infrastructure project. By then applying machine learning to score the assessments, the remaining 400+ assets requiring manual assessment decreased

**By using this method, the number of clashes that required manual assessment decreased from more than 5,000 clashes to just over 400, resulting in a savings of 700 engineering hours – a staggering cost savings on any infrastructure project.**

Application Programming Interfaces (API), enabling every asset to be assigned a Globally Unique Identifier (GUID) [a 128-bit integer number used to identify assets uniquely without duplication]. This unique identifier allows for easy searching and supports seamless communication between team members.

To further streamline the process, the alignment was broken into 100m

by an additional 60%, improving the already significant time savings and allowing for these resources to be put to better use on other elements of the project.

The automated clash detection process identified the clash impact of any proposed design change to the route alignment within 3 hours. This greatly improved the overall design optioneering, accelerating the program

and greatly reducing the risk of human error.

Moreover, this innovative approach enabled rapid sharing of information

If widely adopted and deployed, this automated clash detection process could be a major step forward in the design and delivery of rail infrastructure projects and other infrastructure

**If widely adopted and deployed, this automated clash detection process could be a major step forward in the design and delivery of rail infrastructure projects and other infrastructure projects with subsurface interactions, such as tunneling.**

among team members and offered a far greater level of detail than previously available. By improving communication and transparency, the process will also likely improve safety, enabling contractors to adequately plan out their construction work and reduce the chances of encountering unforeseen or dangerous utility clashes in the field.

## A Step Forward

**T**he automated clash detection process has the power to significantly expedite the analysis of a large quantum of clashes, making the design optioneering process faster and far more cost effective. The platform's inherent potential has already been demonstrated with the Auckland Transport project and it is now being shared within the Australian and global networks. It is sure to deliver similar value to other infrastructure projects.

projects with subsurface interactions, such as tunneling. Resources previously dedicated to the slow work of identification could be freed up to focus on remediation options, reducing costs and shrinking schedules while delivering a host of ancillary benefits, like minimizing disruptions to public transit and the people who rely on it, and eliminating unnecessary construction work that could harm the environment.

Furthermore, the platform's ability to streamline communication and promote transparency between teams has the potential to substantially improve both project outcomes and safety during all phases of construction and operations by vastly reducing the surprises contractors encounter in the field. ■

# Focus

Découvrez ce qui fait bouger la communauté des transports

## Une voiture solaire québécoise traverse 3 000 kilomètres dans le désert australien

Mathieu Jacques  
École de technologie supérieure

Pour la première fois de l'histoire, Éclipse, un club universitaire regroupant plusieurs étudiants de l'École de technologie supérieure de Montréal (ÉTS), figure parmi les équipes à avoir complété la *World Solar Challenge*, une compétition universitaire consistant à traverser l'île australienne du Nord au Sud en moins d'une semaine à bord d'un véhicule alimenté uniquement par l'énergie solaire.

Avec l'Éclipse X, dixième prototype de l'ÉTS, l'équipe a d'abord participé, en 2018, à l'*American Solar Challenge* (ASC), compétition comportant plusieurs épreuves, telles que des tests électriques, mécaniques, statiques et dynamiques afin de tester les performances de la voiture, son design, sa sécurité ainsi que le respect des règlements de la compétition. Après avoir passé toutes les inspections, Éclipse X a traversé le continent américain, périple menant du Nebraska à l'Oregon. L'ASC consiste également à parcourir une distance d'environ 3 000 kilomètres avec l'énergie provenant du soleil uniquement. L'équipe y a obtenu une 3<sup>e</sup> place sur le podium, il s'agit de la meilleure performance pour une équipe québécoise depuis le début des véhicules solaires. Cette performance lui a permis de se démarquer et de prendre part à la compétition internationale en Australie.

Quant à cette épreuve, l'équipe montréalaise a atteint une 9<sup>e</sup> position au

classement mondial et une 1<sup>re</sup> position au Canada; un exploit à l'issue de l'éprouvante traversée du territoire australien.

### Quelques chiffres

La voiture, entièrement conçue et construite par les étudiants, peut atteindre 120 km/h pour une durée d'environ 3 à 4 heures avec une batterie pleine. En ayant une source énergétique constante, c'est-à-dire sans nuages, la voiture pourrait rouler presque indéfiniment à une vitesse de 60 km/h. La carrosserie et le châssis dont elle est munie sont entièrement faits de fibre de carbone. Le poids total de la voiture est de 400 livres. Les panneaux solaires au silicium utilisés ont une efficacité de 24,3 %, ce qui est très performant pour la technologie disponible actuellement.

Pour les années à venir, le Club travaille sur d'autres prototypes afin de dépasser les limites atteintes par le modèle 10. De meilleurs matériaux, des panneaux au gallium et la passion des étudiants ouvriront le chemin pour plusieurs percées technologiques dans ce domaine. ■



# Focus

*Découvrez ce qui fait bouger la communauté des transports*

## Aides financières pour augmenter l'efficacité des transports et bénéficier de retombées économiques

Barbara Pouliot  
Ministère des Transports du Québec

**Saviez-vous que 44 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) au Québec proviennent du secteur des transports, tous modes confondus? C'est pourquoi le gouvernement du Québec a ouvert, entre autres, deux programmes d'aide financière visant à réduire ces GES par l'intermodalité et l'amélioration de l'efficacité énergétique du transport maritime, aérien et ferroviaire.**

60 millions de dollars sont disponibles jusqu'en décembre 2020 pour soutenir les entreprises et organismes par l'entremise du :

- Programme visant la réduction ou l'évitement des émissions de GES par le développement du transport intermodal (PREGTI);
- Programme d'aide à l'amélioration de l'efficacité du transport maritime, aérien et ferroviaire en matière de réduction ou d'évitement des émissions de gaz à effet de serre (PETMAF).

Ces programmes proviennent du Plan d'action 2013 2020 sur les changements climatiques.

Avec le PREGTI, Québec investit dans l'amélioration des infrastructures, des équipements et des centres intermodaux afin qu'il soit possible d'utiliser un mode de transport de marchandises qui émet moins de GES, comme le navire ou le train. La réfection de quais, l'installation d'embranchements ferroviaires, l'acquisition d'équipements de transbordement ainsi que les surcoûts

provenant de l'utilisation du transport maritime ou ferroviaire sont des exemples de dépenses admissibles au PREGTI.

Avec le PETMAF, les entreprises et organismes peuvent réduire considérablement leurs émissions en diminuant leur consommation de carburant par l'utilisation d'équipements de transport plus performants ou en ayant recours à des énergies émettant moins de GES, comme l'électricité ou le biocarburant. Le branchement à quai des navires, l'audit énergétique, l'acquisition de systèmes motorisés électriques ou liés à l'industrie 4.0 sont des exemples de projets admissibles au PETMAF.

Différents projets ont déjà été réalisés grâce à ces aides financières et ont apporté de réels avantages opérationnels et concurrentiels aux promoteurs.

*Vous pourriez bénéficier de ces programmes : renseignez-vous! Pour ce faire, veuillez contacter Mme Barbara Pouliot, coordonnatrice de ces programmes, par courriel au [barbara.pouliot@transport.gouv.qc.ca](mailto:barbara.pouliot@transport.gouv.qc.ca) ou rendez-vous au [www.transport.gouv.qc.ca](http://www.transport.gouv.qc.ca). ■*



# Focus

*Découvrez ce qui fait bouger la communauté des transports*

## Investir dans l'avenir de la mobilité collective : une mission pour PROMPT

Frédéric Bove  
Prompt

**En 2019, le taux moyen de congestion a augmenté de 2 % et les automobilistes montréalais auraient perdu jusqu'à 131 heures dans les embouteillages, soit l'équivalent de 5 jours et 11 heures selon la dixième étude de Tom Tom traffic. La congestion a des impacts négatifs tant sur le plan économique que sur la qualité de vie des habitants. Est-ce qu'ajouter des routes et du transport en commun est vraiment la solution?**

Les efforts déployés dans le développement des transports publics et de mobilité durable vont dans le bon sens, mais ne solutionneront pas à court terme la problématique. L'idée n'est pas de supprimer l'auto, mais qu'elle ne soit plus dominante. C'est dans cette optique que Prompt\* a soutenu financièrement un projet collaboratif représentant un investissement total de 3 M\$ pour la R & D en mobilité durable avec Netlift. Ce projet vise à réduire les GES et la congestion à travers le programme InnovR en collaboration avec l'Institut de valorisation des données (IVADO), Polytechnique Montréal et l'Université de Montréal.

Netlift dispose d'une technologie et d'un modèle d'affaires qui se concentre sur deux cas d'usage : le covoiturage domicile-travail pour les lieux mal desservis par les transports en commun et là où les stationnements sont saturés, et, un service de micronavettes opérées

par des flottes de taxis ou de minibus. L'application et l'algorithme de Netlift permettent de fournir du transport à la demande et du paiement pour des zones rurales, hors pointe ou sur territoires moins denses.

Le Québec est un vaste laboratoire de la mobilité pour comprendre et modéliser de nouvelles propositions, qui prendront en compte toutes les offres de mobilités existantes et à venir et dont pourra émerger un modèle cohérent où chaque solution aura sa place et facilitera les déplacements tout en portant une attention primordiale sur les questions environnementales, sociales et humaines. Le Québec a tout ce qu'il faut pour créer un écosystème des mobilités qui créera une dynamique. ■

\* Prompt est un regroupement sectoriel de recherche industrielle appuyé par le ministère de l'Économie et de l'Innovation pour déployer des partenariats et du financement de recherche et développement, en intelligence artificielle, cybersécurité et autres TIC.

# Devenez membre de l'AQTr



## Forfait AVANTAGE

## Forfait OPTIMUM

Forfait exclusif aux maisons d'enseignement, aux centres de recherche, aux municipalités de moins de 50 000 habitants et aux associations ou à tout autre organisme à but non lucratif.

Forfait pour les entreprises, municipalités de plus de 50 000 habitants ou toute autre organisation.

		Option de base	Option tout inclus
<b>Tarif (taxes applicables en sus)</b>	<b>150 \$</b> Taxes incluses : 172,46 \$	<b>220 \$</b> Taxes incluses : 252,95 \$	<b>465 \$</b> Taxes incluses : 534,64 \$
<b>AVANTAGES</b>			
Abonnement à l'infolettre	Illimité	Illimité	Illimité
Abonnements à la revue <i>routes et transports</i> - 2 parutions papier annuelles	1	1	3
Rabais PRÉFÉRENTIEL sur le tarif de base du Congrès et Salon : PROCHAIN ARRÊT!	50 %	15 %	15 %
Rabais PRÉFÉRENTIEL sur le tarif de base des activités (colloques, déjeuners-causeries, etc.)	30 %	0 %	15 %
Rabais sur le tarif de base des formations pour tous les employés*	30 %	0 %	15 %
Accès aux formations en entreprise (minimum d'inscriptions de 12 membres) *			●
Droit de vote à l'assemblée annuelle des membres	●	●	●
Mention dans la page des membres sur le site internet	●	●	●
Mention dans le rapport annuel	●	●	●

\* Des exceptions peuvent s'appliquer pour des formations particulières.

## Pour toute question

Sheila Pentiah, Coordonnatrice Ventes et partenariats, 514 523 6444, poste 426, [spentiah@AQTr.com](mailto:spentiah@AQTr.com)



## Le cahier START-UP

# Eva

Dardan Isufi

Eva est une application coopérative de covoiturage basée sur la chaîne de blocs. Opérant dans le cadre du projet pilote d'Uber, Eva est la solution locale et sociale pour une mobilité durable, mais surtout équitable. À l'aide d'une application mobile, quiconque peut se déplacer avec les agréments technologiques que cela confère, et ce, toujours avec un prix fixe estimé à l'avance. Les membres passagers paient moins, mais les membres conducteurs gagnent plus.

Eva se distingue sur la route de deux manières. D'abord, sa structure coopérative permet de démocratiser la redistribution des ressources et la gouvernance stratégique. La technologie décentralisée assure quant à elle une sécurité complète des données personnelles. Alors que l'application complète ses quelques premiers milliers de kilomètres, plusieurs nouveautés seront annoncées au cours des prochains mois.

Après le lancement à l'aéroport international Pierre-Elliott-Trudeau de Montréal, l'objectif est de lancer Eva à Québec puis à Gatineau avec la même philosophie : faire de la mobilité un vecteur d'enrichissement urbain! Embarquez-vous ?

[eva.coop](http://eva.coop)



## Le cahier START-UP

# Vélo-Transit

Mélissa Plante

### La révolution active s'amorce

Voir le transport d'une façon différente et responsabiliser les différents acteurs à adopter des modes de transport actifs et écologiques : voilà la révolution que propose Vélo-Transit.

Vélo-Transit loue des vélos à assistance électrique à différentes organisations, qui les rendent disponibles à leurs employés. Ces derniers peuvent les emprunter, sur une base quotidienne, hebdomadaire ou mensuelle, pour effectuer leurs déplacements entre leur domicile et leur travail.

Pour faciliter les déplacements des utilisateurs et la gestion du programme, Vélo-Transit a mis sur pied un imposant écosystème : il s'agit du développement d'une application mobile; de l'installation de stationnements sécurisés; de l'offre d'une assurance pour les entreprises inscrites au programme et les utilisateurs ainsi que de l'instauration d'un service de mécaniciens mobiles pour dépanner les utilisateurs.

En deux ans, 800 employés d'entreprises participantes ont testé l'utilisation des vélos à assistance électrique de Vélo-Transit pour leurs déplacements entre leur domicile et leur lieu de travail. En moyenne, les participants ont parcouru 13 km et arrivent au travail en seulement une trentaine de minutes. Actuellement, douze entreprises proposent les VAÉ à leurs employés alors que la demande atteint 120 organisations.

Utilisés à plus grande échelle, les vélos à assistance électrique permettraient d'enrayer la présence de 50 000 véhicules sur les routes de l'île de Montréal et des municipalités environnantes. En ce sens, plusieurs partenariats avec des villes et des sociétés de transports sont en cours de préparation afin d'élargir la disponibilité des VAÉ et de diminuer considérablement la circulation automobile dans la région métropolitaine.



*Le cahier START-UP*

## Parallèle 54 expert conseil

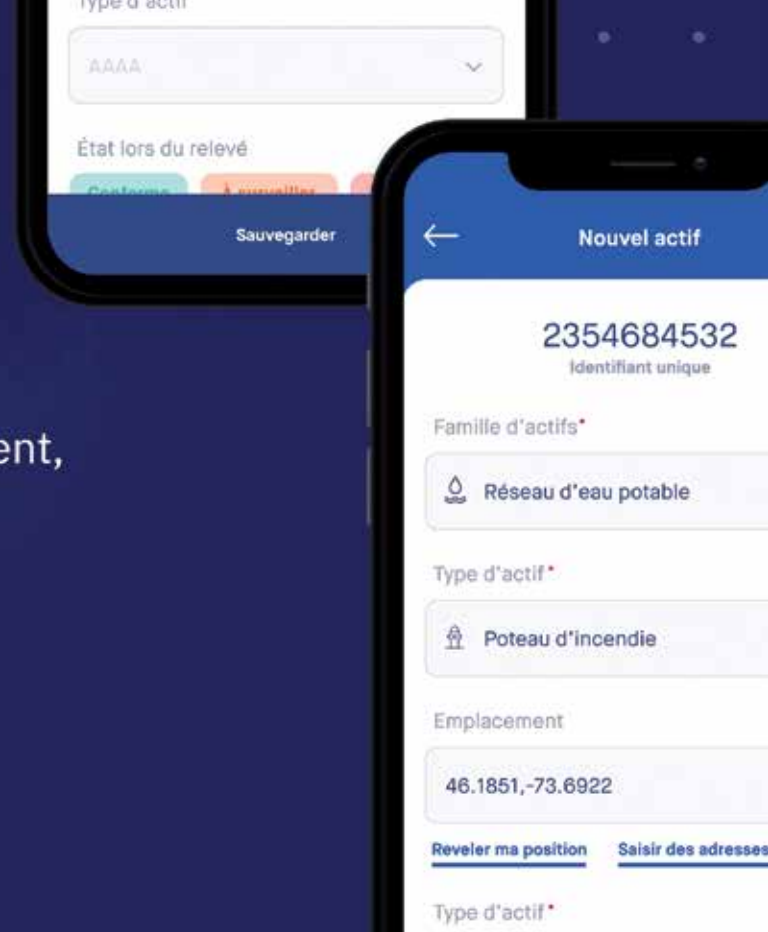
Marie-France Tessier

Cette année encore, P54 s'est distinguée en appliquant de hauts standards environnementaux et techniques à un projet d'envergure consistant, entre autres, à mettre en place une nouvelle conduite d'égout pluvial à très grand diamètre à environ dix mètres de profondeur. Par la même occasion, la géométrie routière d'une importante intersection jugée dangereuse a été entièrement revue. Auparavant, le bassin versant en question était principalement desservi par un réseau d'égout unitaire comportant, par endroits, la présence d'un réseau pluvial. Le nouveau collecteur pluvial servira à recevoir le futur réseau pluvial à la suite de la séparation, au fil des ans, de l'ensemble des rues du bassin versant. Avec la collaboration de la firme JFSA, la conception préliminaire du projet a tenu compte de l'augmentation de l'intensité des précipitations causées par les changements climatiques. Faisant les choses différemment, Parallèle 54 s'est démarquée en concevant un ouvrage d'envergure de dissipation de l'énergie visant à diminuer la vitesse de l'eau à l'exutoire et ainsi minimiser les risques d'érosion des berges. Cependant, à la suite de discussions avec le MELCC, la construction de ce dernier a été reportée. Parallèle 54 a aussi innové en ouvrant le marché aux matériaux concurrentiels et durables. Conséquemment, la concurrence entre matériaux conventionnels et matériaux novateurs a démontré que ces derniers sont efficaces et durables et ainsi favorisé une baisse du prix global du projet. La réussite de ce projet est grandement due à l'ingéniosité et au savoir-faire de tous les intervenants au dossier qui peuvent se dire « Mission accomplie »!

[p54.ca](http://p54.ca)

# Citadel.

Maîtriser le présent,  
prévoir le futur.



*Le cahier START-UP*

## Citadel

David Beauséjour et Mathieu Fournier

### **Citadel réinvente la manière dont les organisations publiques gèrent et entretiennent leurs actifs.**

Par le biais de la télémétrie, de l'intelligence artificielle et d'applications puissantes, Citadel permet aux gestionnaires de collecter, de traiter et d'analyser de l'information décentralisée. Réseau d'infrastructures, flotte de véhicules, équipements, bâtiments, accessoires et installations; tous les types d'actifs bénéficient dorénavant de leur propre historique de données. En un coup d'œil, l'administrateur est en mesure de diagnostiquer la situation actuelle, d'émettre des prévisions de la dépréciation et de dresser des scénarios d'investissements précis et fiables.

Citadel simplifie ainsi le quotidien des gestionnaires tout en permettant d'assurer le niveau de service visé en tout temps.

Découvrez une application conviviale et intuitive qui vous offre un accès sans précédent à vos données, et ainsi qu'à de puissants algorithmes d'intelligence d'affaires.

Maîtriser le présent, prévoir le futur.

[appcitadel.com](http://appcitadel.com)



L'AIPCR-Québec est une Table d'expertise de l'AOTr et le Comité national représentant le Québec auprès de PIARC (Association mondiale de la Route). PIARC vise à être la première source du monde pour l'échange des connaissances sur la route, le transport routier et leurs pratiques dans le contexte d'un transport durable et intégré.





## Mot du président

**Claude Carette**

Président du Comité national AIPCR-Québec

**Cette année 2020 voit le lancement du nouveau Plan stratégique 2020-2023 de PIARC. De nouveaux Comités techniques et Groupes d'étude ont été mis en place autour de quatre thèmes stratégiques qui vont structurer les travaux de PIARC pour les quatre années à venir. Nos experts du Québec contribueront activement à ces groupes de travail, et déjà, des membres ont été désignés au sein de ceux-ci. Les premières réunions de lancement ont d'ailleurs eu lieu au début de cette année.**

### L'évolution des Comités nationaux de PIARC

Les Comités nationaux Canada-Québec et Canada travaillent depuis la fin de l'année 2018 avec M. Saverio Palchetti, le représentant des Comités nationaux au sein de PIARC, afin d'explorer des actions concrètes destinées à améliorer le fonctionnement des Comités nationaux, en bonifier l'efficacité et en accroître les retombées. À la suite de rencontres et d'un sondage en 2019, un plan d'action a été mis sur pied et approuvé par le Comité exécutif de PIARC.

Une rencontre des dirigeants des Comités nationaux de PIARC a été organisée le 5 octobre 2019 dans le cadre du Congrès mondial de la route d'Abou Dhabi.

En tant que président du Comité national AIPCR-Québec, j'ai présenté le fruit des réflexions menées depuis le début de l'année 2019 sur la réforme du fonctionnement des Comités nationaux, notamment les cinq pistes d'amélioration qui ont été identifiées : la bonification de la structure et de la gouvernance des Comités nationaux, les avantages et plus-values à créer et animer des Comités nationaux, les outils de soutien aux Comités nationaux, le développement des échanges entre les Comités nationaux, et les moyens d'augmenter la notoriété des Comités nationaux.

Les discussions qui ont ensuite suivi ont fait ressortir l'importance de mettre en place des jumelages entre des Comités nationaux ayant de l'expérience et des Comités nationaux nouvellement formés ou ayant encore des difficultés à gérer leurs actions. Elles ont également souligné le besoin de créer de nouveaux instruments pour faciliter le travail des Comités nationaux, dont une « boîte à outils » des bonnes pratiques. En ce début d'année 2020, les discussions ont repris en ce sens entre les Comités nationaux Canada-Québec et Canada, M. Palchetti et d'autres Comités nationaux.

## Assemblée générale annuelle 2019 du comité national AIPCR-Québec

Le 29 novembre dernier, à Québec, 41 personnes ont assisté à l'Assemblée générale annuelle 2019 des membres de l'AIPCR-Québec. Le départ à la retraite de M. Richard Charpentier, second délégué du Canada-Québec auprès de l'Association mondiale de la Route, a été annoncé : son rôle et ses nombreux apports au travail de PIARC ont été rappelés et soulignés.



Mme Anne-Marie Leclerc, sous-ministre première déléguée du Canada-Québec auprès de l'Association mondiale de la Route, et Mme Claudine Tremblay, représentante du Canada-Québec au sein de la Commission du Plan stratégique et du Comité exécutif à PIARC, ont fait état de l'actualité de l'Association (notamment du point de vue du nouveau cycle stratégique 2020-2023). Le point culminant de cette rencontre annuelle est demeuré la présentation de l'état d'avancement des travaux des Comités techniques de l'AIPCR-Québec orchestré par la coordonnatrice technique et les coordonnateurs de thèmes stratégiques.

Le sujet de la présentation du midi-conférence a été « Créer de la biodiversité et améliorer le paysage en construisant un échangeur autoroutier au cœur de la ville de Québec », par MM. Martin Lafrance et Jérôme Guay, biologistes au MTO. Il est à noter que dans le cadre du Congrès mondial de la route d'Abou Dhabi d'octobre 2019, MM. Lafrance et Guay ont reçu, grâce

à cette conférence, un prix récompensant la communication la plus remarquable dans la catégorie « Développement durable ».

## 55<sup>e</sup> congrès annuel et salon des transports de l'AQTr

En tant que Table d'expertise internationale de l'AQTr, le Comité AIPCR-Québec sera présent au 55<sup>e</sup> Congrès annuel et Salon des transports de l'AQTr qui se tiendra du 6 au 8 avril 2020 au Centre des congrès de Québec. Cet événement permettra à plusieurs de nos représentants de participer aux conférences du Congrès et de présenter les avancées dans leur domaine de compétence. Ce sera aussi l'occasion de récompenser une étudiante ou un étudiant lauréat d'une bourse à l'occasion du 20<sup>e</sup> Concours de mémoires de l'AIPCR-Québec.

Vous lirez également dans nos pages des articles portant sur les résultats du Congrès mondial de la route d'Abou Dhabi d'octobre dernier et sur les détails de l'implication québécoise dans le cycle stratégique 2020-2023 de PIARC.



Bonne lecture de ce bulletin et au plaisir de poursuivre les discussions lors du Congrès de l'AQTr! ■

**Claude Carette**  
Président du Comité AIPCR-Québec

# Devenez membre du Comité AIPCR-Québec



## Forfait MEMBRE COLLECTIF

## Forfait MEMBRE PERSONNEL

Est reconnu membre collectif toute association, entreprise privée, institution d'enseignement ainsi que tout centre de recherche ou autre, qui, intéressé(e) par les questions liées à la route et au transport routier, s'inscrit à ce titre.

Est reconnu membre personnel tout individu qui, sur une base individuelle et en son nom propre, s'inscrit à ce titre.

Tarif (taxes applicables en sus)	950 \$ Plus les taxes applicables	120 \$ Plus les taxes applicables
<b>AVANTAGES</b>		
Recevoir l'exemplaire de chaque numéro de la revue de l'Association	4	•
Avoir accès, à un tarif réduit, aux autres publications et productions de l'Association	•	•
Avoir accès à l'espace <i>membres</i> du site internet et recevoir la lettre électronique de l'Association	•	•
Bénéficier d'un droit d'inscription au taux réduit au congrès mondial de la route, à condition que sa cotisation ait été payée pendant les trois dernières années	2	•
Bénéficier d'un droit d'inscription au taux réduit au Congrès international de la viabilité hivernale, à condition que sa cotisation ait été payée pendant les trois dernières années	1	•
Recevoir un exemplaire des actes de chaque congrès	•	• à condition que la cotisation ait été payée pendant les quatre dernières années
Assister à l'Assemblée générale annuelle des membres de l'AIPCR-Québec	•	•

## Pour toute question

Sheila Pentiah, Coordonnatrice Ventes et partenariats, 514 523 6444, poste 426, [spentiah@AQTr.com](mailto:spentiah@AQTr.com)



Les cotisations de l'AIPCR-Québec sont gérées par l'Association québécoise des transports (AQTr). Veuillez faire parvenir votre paiement à l'ordre de l'AQTr, accompagné du formulaire rempli, à l'adresse suivante :

Comité AIPCR-QUÉBEC - 6666, rue St-Urbain, bureau 450, Montréal (Québec) H2S 3H1  
Téléphone : (514) 523-6444 Télécopieur : (514) 523-2666  
Courriel : [info@aqtr.com](mailto:info@aqtr.com)

**AQTr.com**

# 2016-2019 - Un cycle de travail bouclé!

Lise Fournier, ing., ministère des Transports, coordonnatrice technique AIPCR-Québec

**Le XXVI<sup>e</sup> Congrès mondial de la route s'est tenu en octobre dernier à Abou Dhabi, aux Émirats arabes unis, concluant le cycle de travail 2016-2019. L'heure est maintenant à la diffusion du bilan des travaux réalisés par les experts des comités techniques (CT), qui ont accompli avec professionnalisme leur mandat.**

**R**egroupant plus de 1000 experts issus d'une variété de domaines et désignés par les 124 pays membres de l'Association, les CT constituent le mécanisme principal de production et de diffusion du savoir. Au cours du cycle, les experts des 21 CT et groupes d'étude (GE), regroupés en 5 thèmes stratégiques, ont travaillé sur des enjeux de transports actuels, bonifiés par la contribution de 39 représentants issus de la communauté routière québécoise, provenant du public, du privé et du milieu académique.

## **Thème stratégique A – Gestion et finances**

**O**rienté sur le développement de politiques et de stratégies aptes à assurer le bon fonctionnement des administrations en transport, ce thème regroupait aussi des enjeux de mesure des performances et l'adoption de mécanismes de financement qui répondent aux besoins en constante évolution de la communauté des transports.

Plusieurs thématiques ont été d'un grand intérêt. Mentionnons à ce titre l'analyse des retours sur l'investissement et les analyses ex post, ou encore les travaux menés par le CT A.2 responsable des aspects économiques des réseaux de transport routier

et du développement social. Au regard de la gestion des risques, les travaux réalisés par le CT A.3 contribueront à l'évaluation des approches organisationnelles et permettront d'offrir une base de comparaison. Le GE A.1 a attiré l'attention sur les défis liés aux modes innovants, un sujet d'importance pour le Québec, où actuellement des instances considèrent de nouvelles pistes de financement pérenne de la mobilité.

Par ailleurs, la coordination entre les autorités nationales et infranationales, traitée par le GE A.2, a permis d'en apprendre davantage sur les modes de fonctionnement dans les autres pays et de s'en inspirer.

## **Thème stratégique B – Accès et mobilité**

**C**e thème stratégique couvrait les enjeux d'accès à la mobilité, concept complémentaire à la mobilité durable. Les travaux menés dans le cadre de ces comités techniques s'avèrent pertinents pour le Québec, notamment pour la viabilité hivernale et le transport multimodal en milieu urbain. Les travaux du CT B.2 Viabilité hivernale sont particulièrement importants. Dans une perspective d'amélioration de l'entretien hivernal, notamment à l'égard des techniques de préhumidification des matériaux, le comité

a produit un rapport couvrant le traitement au sel de déglacage et à la saumure. Il a également procédé à la mise à jour de la « Base de données sur la neige et le verglas ».

Pour sa part, le CT B.4 Transport de marchandises et intermodalité a traité d'enjeux relatifs au transport multimodal, au transport routier des marchandises et aux pratiques de transport économes en énergie. Ces enjeux ont donné lieu à la publication de rapports concernant les politiques nationales de transport multimodal des marchandises et de logistique ainsi que les pratiques écoénergétiques en matière de transport routier des marchandises. Pour le Québec, ces rapports alimenteront les réflexions autour d'une diminution des GES dans le secteur du transport des marchandises dans le cadre des travaux du Plan d'électrification en changements climatiques.

## Thème stratégique C – Sécurité

**L**e thème stratégique C s'inscrivait dans l'amélioration de la sécurité et de l'efficacité du transport routier, notamment en ce qui a trait au déplacement des personnes et des marchandises.

Produit phare de l'Association, le *Manuel de sécurité routière* est mis à jour en continu depuis sa publication en 2015, contribuant ainsi à mieux déterminer les enjeux émergents. Coordonnée par le CT C.1 Politique et programme nationaux de sécurité routière, la version actualisée du Manuel a été présentée au Congrès mondial de la route d'octobre 2019.

Le CT C.2 Conception et exploitation d'infrastructures routières plus sûres a produit de nombreux rapports au cours du cycle, allant du Catalogue d'études de cas pour l'amélioration de la sécurité routière applicable aux usagers vulnérables de la route, aux facteurs

humains et aux pays à revenu faible et intermédiaire, aux différents rapports techniques concernant notamment l'évaluation de la sécurité routière basée sur la méthode des facteurs humains, l'établissement de limites de vitesse crédibles et les directives d'audit de sécurité routière.

L'amélioration de la sécurité routière constitue un enjeu constant. Une participation aux réalisations de ce comité contribue au développement de stratégies et à la mise en place de pratiques innovantes au Québec. Par exemple, la réponse positive à l'appel à propositions lancé au printemps 2017 par le CT pour recueillir des études de cas a permis de présenter des aménagements du Québec.

La sûreté des infrastructures constitue également un sujet d'intérêt. De fait, les travaux du GE C.1 Sûreté des infrastructures ont traité de la vulnérabilité des infrastructures ainsi que de la place de la sûreté dans la gestion des réseaux routiers.

## Thème stratégique D – Infrastructures

**C**e thème stratégique regroupait tous les éléments d'infrastructures reliés à la gestion d'un réseau routier durable, où les interventions sont guidées non seulement par l'état des infrastructures, mais aussi par les attentes des usagers et surtout, par les capacités des gouvernements. La gestion du patrimoine s'inscrit donc au cœur de ce thème stratégique. Une attention particulière était portée aux enjeux des effets des changements climatiques sur les terrassements et les réseaux non revêtus, qui subissent des dommages souvent importants.



La mise en ligne du *Manuel de gestion du patrimoine routier* réalisé par le CT D.1 Gestion du patrimoine routier a pour but d'aider les pays, quel que soit leur stade de développement, à entretenir leurs infrastructures et à mettre en œuvre des stratégies de gestion de leurs actifs. Ces défis sont pleinement applicables au contexte québécois quant à l'entretien et à la gestion efficiente du réseau routier.

Le CT D.2 Chaussées s'est intéressé aux solutions écologiques pour les revêtements et les matériaux de chaussées durables ainsi qu'aux techniques non destructives pour le suivi et les essais de chaussées. Au regard des nouvelles technologies, les travaux devraient amener des propositions susceptibles d'améliorer des pratiques établies dans le domaine des chaussées, potentiellement adaptables au contexte environnemental du Québec.

Dans le domaine des ponts, le CT D.3 a couvert les aspects techniques et économiques relatifs à leur conception, inspection et entretien. Sujets d'intérêt pour le Québec, les différentes méthodes d'inspection et de détermination de la gravité des dommages liés aux accidents ou aux dégradations de matériaux font partie des thématiques développées dans les travaux de ce comité.

Le CT D.4 Réseaux de routes rurales et accessibilité des zones rurales avait pour objectif de documenter et diffuser les pratiques et les techniques locales utilisées pour la construction et l'entretien des remblais et/ou des routes non revêtues, un sujet d'intérêt pour le Québec, particulièrement en ce qui concerne les axes routiers en régions éloignées, dont l'accès est essentiel pour les collectivités locales.

Très productif, le CT D.5 Exploitation des tunnels routiers a mis à jour les guides et manuels tout en développant des

stratégies qui ciblent les besoins des personnes à mobilité réduite face à un environnement de tunnel. Les travaux de ce comité s'inscrivent dans un contexte de réfection majeure des tunnels au Québec.

## **Thème stratégique E – Changements climatiques, environnement et catastrophes**

Le maintien en service d'un réseau routier efficace et fiable est menacé par les effets inattendus et imprévisibles des changements climatiques. De fait, il importe d'augmenter la résilience et de protéger les investissements en infrastructures tout en réduisant l'impact du transport routier sur l'environnement. La participation du Québec aux travaux de ce thème stratégique a permis d'en apprendre davantage sur l'élaboration de stratégies, de plans et de politiques d'adaptation pour le secteur des transports. L'expertise québécoise a également été mise à profit dans la production d'études de cas et d'un exercice de comparaison des cadres d'adaptation en changements climatiques adoptés par différentes organisations. Cet exercice a permis de raffiner le cadre d'adaptation de PIARC dans la rédaction d'un rapport final sur l'adaptation des infrastructures routières aux changements climatiques pour la conférence COP 22 à Marrakech. Enfin, la prise en compte de l'environnement dans les projets au regard de la qualité de l'air et de la réduction du bruit a donné lieu à l'implication des membres du Québec, plus particulièrement pour la préparation des guides à ce sujet.

Nos plus sincères remerciements aux représentants du Québec au sein de tous les comités techniques! ■

# Retour sur le XXVI Congrès mondial de la route

Jessica Vibert, ministère des Transports du Québec

Le XXVI Congrès mondial de la route de l'Association mondiale de la Route s'est tenu à Abou Dhabi, aux Émirats arabes unis, du 6 au 10 octobre 2019. Sur le thème *Rapprocher les cultures, renforcer les économies*, cet événement est venu officialiser la fin du cycle de travail 2016-2019. Ce congrès a rassemblé plus de 3000 experts de partout dans le monde. Plusieurs d'entre eux ont présenté leurs travaux, ayant investi leurs efforts dans la production notamment de rapports techniques de grande qualité tout au long du cycle. À ce titre, le Québec s'est encore une fois distingué et a démontré que son implication s'inscrit directement dans une culture d'innovation en transport.

À l'occasion du Congrès, un concours international a été lancé. Des prix ont été attribués dans huit catégories parmi les meilleures communications reçues. Dans la catégorie du développement durable, M. Martin Lafrance et M. Jérôme Guay, tous deux biologistes à la Direction générale de la Capitale-Nationale du ministère des Transports, ont été récompensés pour l'article *Générer la diversité écologique et marquer le paysage en construisant un échangeur autoroutier au cœur de la ville de Québec*. Les conclusions de cette recherche ont été partagées lors d'une présentation au Congrès par M. Lafrance.

La mobilité a aussi été un thème de prédilection lors de cet événement, notamment avec la présentation de la *Politique de mobilité durable-2030 : transporter le Québec vers la modernité*. À travers cette politique, ce sont des solutions innovantes d'optimisation de la mobilité durable qui ont été mises de l'avant. Par ailleurs, le

Cadre d'intervention en sécurité routière associé à la Politique de mobilité durable a aussi fait l'objet d'une introduction lors d'une séance d'affiches.

Le Québec s'est également beaucoup investi dans les projets spéciaux, lesquels, par leur structure, permettent de traiter de sujets émergents en dehors des enjeux traités par les Comités techniques et Groupes d'étude. De ce fait, les projets spéciaux favorisent également la diffusion d'information utile aux pays membres dans un court laps de temps, soit généralement à l'intérieur d'une année.

Deux projets ont fait l'objet d'une collaboration québécoise, le premier piloté par le Québec et le Royaume-Uni portant sur les défaillances imprévues des infrastructures, et le second sur les routes à énergie positive, et mené par le Québec. Enfin, d'autres thématiques d'importance ont aussi mobilisé les



discussions, incluant la résilience dans la planification routière, la conception, l'exploitation et la gestion de catastrophes.

## **Le prochain cycle de travail 2020-2023**

**A**vec le Congrès s'amorce un nouveau cycle de travail. Quatre thèmes stratégiques viennent orienter les travaux des experts pour les prochaines années, soit : l'administration des routes, la mobilité, la sécurité et la durabilité et les infrastructures résilientes.

Le Plan stratégique 2020-2023 explique les principes stratégiques qui guideront les changements structurels au cours du présent cycle, lesquels permettront de mieux refléter l'expertise particulière de PIARC, notamment dans la diversité des sujets traités, et ce, à tous les niveaux de développement économique et toutes les régions du monde. Or, la participation du Québec s'inscrit directement dans cette culture du savoir et du partage des connaissances. Chacun de ces thèmes regroupe plusieurs Comités techniques et Groupes d'étude sur lesquels l'expertise québécoise est représentée par la participation de membres actifs et de membres correspondants. Issus des domaines publics, privés et académiques, ces membres contribueront à enrichir ce forum d'échange mondial de premier plan pour toutes les questions liées à l'infrastructure routière et au transport.

À cet égard, plusieurs activités et rencontres viendront ponctuer ce cycle de travail. En effet, deux fois par année, des réunions de comités et de groupes se tiendront dans un des pays membres afin de faire avancer les travaux. En addition à ces rencontres, PIARC organise aussi des séminaires internationaux

afin de mieux intégrer les besoins des pays en développement et des pays en transition et pour favoriser les échanges et le transfert de connaissances en impliquant un plus grand nombre de participants de ces pays.

Des événements d'envergure internationale sont également à prévoir. Depuis 1969, PIARC organise tous les quatre ans un Congrès international de la viabilité hivernale, rassemblant des experts du monde entier et facilitant le partage des connaissances sur les services hivernaux entre les pays qui traitent de ces enjeux. Le prochain Congrès se tiendra en 2022, à Calgary, en Alberta. En 2010, c'est la ville de Québec qui avait accueilli ce congrès, lequel avait connu un grand succès.

Enfin, le présent cycle culminera avec le Congrès mondial de la route, dont la prochaine édition se tiendra en 2023, à Prague, en République tchèque. Ce congrès sera l'occasion de présenter tous les travaux des Comités et Groupes d'étude qui se sont attelés à la production des rapports techniques et de manuels en ligne au cours du dernier cycle de quatre ans. ■



# Des solutions novatrices pour les collectivités



Grâce à leur **expertise multidisciplinaire**, les 2 300 employés de CIMA+ contribuent au développement du Québec. Avec 2 500 projets en transport, totalisant plus de 10 milliards d'investissements en infrastructures, nos professionnels mettent ainsi à profit leurs compétences dans une variété de secteurs :

- > Ponts et ouvrages d'art
- > Génie routier et voirie
- > Génie ferroviaire
- > Génie maritime et installations portuaires
- > Génie aéroportuaire
- > Systèmes de transport intelligents
- > Génie de la mobilité
- > Gestion de projets
- > Gestion de la construction et surveillance de travaux

La passion que nos employés mettent à livrer des solutions durables qui répondent aux besoins des collectivités n'a d'égale que leur engagement au travail. Mobilisés et passionnés, ils classent CIMA+ parmi les **Employeurs de choix** au Canada depuis une vingtaine d'années.





SÉMINAIRE AIMQ 2020

Hôtel Delta Saguenay

Du 13 au 16 septembre 2020

S'ingénieur à valoriser  
**NOS RICHESSES**

Se rassembler. S'inspirer. Évoluer.

55<sup>e</sup> Congrès de l'AQTr

LE  
**TRANSPORT**  
AU  
CŒUR  
DES



6-7-8 AVRIL 2020  
CENTRE DES CONGRÈS DE QUÉBEC



**UN ÉVÉNEMENT INCONTOURNABLE POUR LA COMMUNAUTÉ DES TRANSPORTS !**

110 CONFÉRENCES  
(MOBILITÉ, AMÉNAGEMENT,  
INFRASTRUCTURES, GOUVERNANCE  
ET TECHNOLOGIES)  
UNE DÉLÉGATION INTERNATIONALE

PRÈS DE 800 PARTICIPANTS  
UNE DÉLÉGATION D'ÉTUDIANTS  
UN SALON DES TRANSPORTS,  
DES EXPOSANTS ET DES  
INNOVATIONS À DÉCOUVRIR

DE NOMBREUSES ACTIVITÉS  
DE RÉSEAUTAGE  
DES ÉVÉNEMENTS SPÉCIAUX  
DES INVITÉS PRESTIGIEUX

ASYMPTOTE  
**PHLIP**

L'aparté avec

www.simonbanville.com



www.simonbanville.com 3362019

13<sup>e</sup> édition

# GALA

des Grands Prix d'excellence  
le 18 juin 2020  
Casino de Montréal

**POUR PLUS D'INFORMATIONS**

Service aux membres 514-523-6444  
[serviceauxmembres@aqtr.com](mailto:serviceauxmembres@aqtr.com)



Ponts  
JACQUES CARTIER +  
CHAMPLAIN  
Bridges  
Canada

# Pont Champlain

## Déconstruire à l'ère du développement durable

### 287 000 tonnes de matériaux à réutiliser

Contribuez à l'économie circulaire en offrant une 2<sup>e</sup> vie aux matériaux du pont. Partagez notre vision !

### 10 projets de recherche et développement

Découvrez le programme de recherche et développement qui fera évoluer la connaissance en lien avec les infrastructures !

### 7 hectares de terrains à aménager

À la suite de la déconstruction du pont Champlain, sept hectares de terrains seront libérés et aménagés par PJCCI.

Pour tout savoir sur le projet, visitez :  
[deconstructionchamplain.ca](http://deconstructionchamplain.ca)

