

# Routes et transports

PUBLICATION DE L'ASSOCIATION QUÉBÉCOISE DES TRANSPORTS

VOLUME 51, NO 2, AUTOMNE-HIVER 2022-2023

## DÉCARBONATION

Transformation des transports,  
propulsion verte

+

## CAHIER SPÉCIAL FERROVIAIRE

Une industrie stratégique  
au cœur de l'économie  
québécoise

**AQTr**

*L'expertise en transport*



# 57<sup>e</sup> CONGRÈS

**DU 27 AU 29 MARS 2023**  
Centre des congrès de Québec

**À METTRE À VOTRE AGENDA**

# Routes et transports

PUBLICATION DE L'ASSOCIATION QUÉBÉCOISE DES TRANSPORTS

VOLUME 51, NO 2, AUTOMNE-HIVER 2022-2023

## Décarbonation du secteur ferroviaire - Édition spéciale ferroviaire

Mot du président p. 6 | Mot de la directrice générale p. 7 | Des nouvelles de l'AQTr p. 9 | TransForm p. 12 | Les experts de ce numéro p. 16  
Cahier spécial ferroviaire p. 22 | Section Pensons à l'avenir p. 72 | Bulletin PIARC-Québec p. 82 | Calendrier associatif p. 89

### GESTION DES ENTRAVES SUR LES AXES ROUTIERS

François Paradis

*CIMA+*

**Page 20**

### LA PLACE DES MATÉRIAUX DE CHAUSSEE DANS LE FERROVIAIRE

Diego Ramirez-Cardona

*ÉTS Montréal | Université du Québec*

**Page 32**



### Cahier spécial ferroviaire

#### ENJEUX DE MAIN-D'ŒUVRE ET DE FORMATION DANS LE DOMAINE FERROVIAIRE: LE MILIEU SE MOBILISE

Luc Faucher

*Centre d'expertise ferroviaire*

**Page 24**

#### L'INGÉNIERIE FERROVIAIRE AU MINISTÈRE

Simon Paquette, Samuel Morin

*Ministère des Transports et de la Mobilité durable*

**Page 28**

#### TRACER UNE FEUILLE DE ROUTE VERS LA DÉCARBONATION DU FERROVIAIRE AU QUÉBEC ET AU CANADA

Caroline Healey

*Association des chemins de fer du Canada*

**Page 37**

#### CYBERSÉCURITÉ : COMMENT SÉCURISER UN ÉCOSYSTÈME FERROVIAIRE DE PLUS EN PLUS INTERCONNECTÉ

Louis-Philippe Desjardins et Grégory Lemaire

*Deloitte*

**Page 42**

## LA PROPULSION VERTE, L'ALTERNATIVE FERROVIAIRE POUR LUTTER CONTRE LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Adrien Vernhes

*Alstom*

**Page 47**

## CONCEPTION DE TABLES TOURNANTES FERROVIAIRES : COMMENT INNOVER ?

Faouzi Méribout et Patrice Pagé

*Norda Stelo*

**Page 52**

## TROIS GARES EN PLEIN CŒUR D'UN QUARTIER D'AFFAIRES EN EFFERVESCENCE

Ianik Marcil

*District Central*

**Page 56**

## ÉTAGEMENT FERROVIAIRE CASAVANT À SAINT-HYACINTHE, UNE RÉALISATION INNOVANTE ET UNIQUE DANS LE MONDE FERROVIAIRE AU CANADA

RomiAnne Beaudoin, Raffi Guiragossian  
et Youssef Maalouf, *AECOM*

*Véronique Lapalme, CN*

**Page 60**

## QUATRE FAÇONS DONT EXO RÉDUIT L'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DE SES OPÉRATIONS FERROVIAIRES

Daniel Koudolo et Paul Dorval

*Exo*

**Page 65**

## THE ROLE OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS AND ADVANCED INTELLIGENT COMPUTING FOR RAIL TRANSPORT OPTIMIZATION

Ilham Benyahia

*Université du Québec en Outaouais*

Omar Abdul Wahab

*École Polytechnique de Montréal*

**Page 68**



## Pensons à l'avenir

### UNE CHAIRE QUÉBÉCOISE DÉDIÉE À LA TRANSFORMATION DES TRANSPORTS

Catherine Morency, Danielle Maia de Souza,  
Emma Frejinger, Martin Trépanier, Normand Mousseau  
et Radhwane Boukelouha

*CIRRELT-ÉTS – Université de Montréal –*

*Polytechnique Montréal*

**Page 73**

### COMMENT ACCORDER SANS FAUTE ÉLECTRIFICATION DES TRANSPORTS ET MOBILITÉ DURABLE

Benjamin Docquière

*Vivre en ville*

**Page 78**

## Bulletin PIARC-Québec

### UN NOUVEAU GROUPE D'ÉTUDE A RÉCEMMENT LANCÉ SES TRAVAUX AU SEIN DE PIARC

Jean-François Rioux et Frédéric Champagne

*Ministère des Transports et de la Mobilité durable*

**Page 86**

#### RÉDACTRICE EN CHEF

Josée Rainville

Contribution à la rédaction : Alexandre Lampron

#### AUTEURS

Adrien Vernhes

Benjamin Docquière

Caroline Healey

Catherine Morency

Danielle Maia de Souza

Daniel Koudolo

Diego Ramirez-Cardonas

Emma Frejinger

Faouzi Méribout

François Paradis

Frédéric Champagne

Grégory Lemaire

Jean-François Rioux

Ianik Marcil

Ilham Benyahia

Louis-Philippe Desjardins

Luc Faucher

Martin Trépanier

Normand Mousseau

Omar Abdul Wahab

Patrice Pagé

Paul Dorval

Radhwane Boukelouha

Raffi Guiragossian

RomiAnne Beaudoin

Samuel Morin

Simon Paquette

Thomas Bélanger

Véronique Lapalme

Youssef Maalouf

#### RECHERCHE DE COLLABORATEURS ET D'AUTEURS

Direction des partenariats stratégiques et des Tables d'expertise

#### COORDINATION

Maryse Vinet

#### DIRECTION ARTISTIQUE

France Vachon

#### MONTAGE GRAPHIQUE

France Vachon

#### RÉVISION LINGUISTIQUE

Aycha Fleury

#### ORIENTATION

La revue Routes et transports s'adresse à tous ceux et celles qu'intéresse le domaine du transport. Sa liste de distribution comprend des représentants des autorités gouvernementales, paragouvernementales 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. Pour reproduire les articles, veuillez communiquer avec [communication@aqtr.com](mailto:communication@aqtr.com).

#### ÉDITEUR

Association québécoise des transports

#### IMPRESSION

Productions Klone

#### MEMBERSHIP ET VENTES

Lynda Frenière : 514 523-6444

#### INDEXÉE PAR REPÈRE

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

#### ENVOI DE PUBLICATION

Poste-publications

Convention n°: 40038871

Port de retour garanti

## PARUTIONS 2022

	Thèmes	Parution
<b>VOL. 51 N°1</b>	Routes et transports – En route vers le congrès	Printemps 2022
<b>VOL. 51 N°2</b>	Routes et transports – Décarbonation du secteur ferroviaire	Automne 2022

#### Articles et suggestions

Vous aimeriez nous faire connaître vos dernières réalisations et derniers projets innovants ? Envoyez-nous vos propositions d'articles et vos suggestions à [communication@aqtr.com](mailto:communication@aqtr.com)

#### Publicité

Maximisez votre visibilité auprès de votre clientèle cible ! Réservez votre espace publicitaire ou votre contenu commandité à [communication@aqtr.com](mailto:communication@aqtr.com).

#### Bureau de Montréal (AQTr)

6666, rue Saint-Urbain, bureau 450, Montréal (Québec) H2S 3H1

## PARTENAIRE PRINCIPAL

Québec



## Mot du président

**Nicolas Théberge**

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

# Les rails du changement

Les rails du changement ont été posés. La décarbonation est sur toutes les lèvres et le moment est venu de passer à l'action, ensemble et maintenant. Nous sommes plus que jamais à la croisée des chemins et nous pouvons enfin choisir de prendre des moyens concrets et significatifs pour lutter contre la dévastation de nos écosystèmes. Mais la réussite d'un tel projet dépend de la mise en place d'actions concertées et d'une collaboration multimodale, multidimensionnelle et multidisciplinaire.

L'AQTr est fière d'offrir un espace privilégié qui permet de réunir à une même table les différentes parties prenantes du transport au Québec. Notre prochain colloque ferroviaire nous permettra, nous espérons, de poser les bases d'une collaboration à long terme entre les acteurs des différents modes de transport — de personnes et de marchandises — pour encourager le dialogue et les échanges.

Du train au camion au bateau : ensemble, nous pouvons développer la connaissance, innover et contribuer à ce grand chantier qu'est la décarbonation des transports.

Cher lecteur, chère lectrice, je vous souhaite une très bonne lecture et j'espère que nous aurons la chance de nous voir et de discuter de notre contribution au monde de demain. En cette fin d'année 2022, prenons ensemble les rails du changement et engageons le transport ferroviaire dans la voie de la décarbonation des transports.

**Nicolas Théberge**

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



## Mot de la directrice générale

**Susanne Proulx**

Directrice générale AQTr

# L'AQTr, à fond de train vers le changement

Chaque jour, notre Terre est sillonnée d'est en ouest, du nord au sud, parcourue par des routes, des chemins de fer et des couloirs aériens qui traversent les montagnes, les rivières et les frontières. Nous devons faire face à des défis ici alors que les solutions sont là-bas. Nous devons ouvrir la porte à l'inconnu et reconnaître toutes ces possibilités insoupçonnées. Nous devons faire face, ensemble, à la décarbonation. Nous devons accepter de monter dans un train en marche.

Avec ses partenaires, l'AQTR est au cœur de l'enrichissement et de la diffusion de l'expertise québécoise en transport, une source continue de solutions salutaires à nos sociétés. Nous profitons donc de ce numéro pour vous présenter des articles techniques de haut niveau et un cahier spécial sur l'industrie ferroviaire. Ces derniers sont des compléments au Colloque ferroviaire sur la décarbonation organisé par l'AQTr, pendant lequel vous pourrez partager votre point de vue, vos projets, vos préoccupations et vos pistes de solutions avec plusieurs acteurs clés de l'industrie.

Avant de vous laisser à votre lecture, je voulais simplement vous dire : merci. Merci à tous nos collaborateurs, experts et partenaires, tant privés que gouvernementaux. Chaque année, vous contribuez au succès de nos activités. Vous contribuez à ce que nos efforts apportent un changement concret.

Sur ce, je vous souhaite une agréable lecture et un bon colloque ferroviaire !

**Suzanne Proulx, MBA, ADM.A.**

Directrice générale, AQTr

# AQTr

L'expertise en transport



## L'AQTr, c'est vous! ADHÉREZ MAINTENANT

### Profitez des avantages membres

aqtr.com

- Intégration à une large communauté d'experts
- Rabais sur les formations et aux événements
- Abonnement à la revue Routes et transports
- Accès exclusif aux outils techniques

## L'humain et la mobilité au cœur de nos projets

Experts en mobilité  
Des solutions qui s'adaptent  
aux besoins en transport

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

## Tables d'expertise

LE PLUS GRAND  
RÉSEAU D'EXPERTS  
EN TRANSPORT

DES PROJETS CONCRETS  
POUR L'INDUSTRIE

Joignez une Table  
[aqtr.com/association/tables-dexpertise](http://aqtr.com/association/tables-dexpertise)

AQTr  
L'expertise en transport



DES NOUVELLES DE L'

# AOTR



## Mot des Tables d'expertise et des partenariats stratégiques

**Josée Rainville**

Directrice des partenariats stratégiques et des Tables d'expertise

## Un colloque ferroviaire organisé par la Table d'expertise ferroviaire !

L'édition automnale de la revue Routes et Transports met l'accent sur le secteur des rails et la nécessité de décarboner ce secteur dans une perspective de mobilité durable! Cette publication est coordonnée avec la réalisation du colloque de cette industrie. Merci à tous nos partenaires pour votre précieuse contribution.

Avec ses membres, experts et partenaires, la direction des partenariats stratégiques et des Tables d'expertise ouvre le bal automnal de ses événements techniques en proposant le premier colloque sur la décarbonation de l'industrie ferroviaire, dûment travaillé avec son comité organisateur de la Table d'expertise ferroviaire, qui propose une programmation axée sur les efforts à mettre de l'avant et les grands projets roulants au Québec qui changeront le visage de demain!

Au nombre des prochains livrables qui seront annoncés sous peu par la Table mobilité intelligente et la Table sécurité routière, voici la question qui nous préoccupe : Avec l'idée de répondre à notre mission d'être la référence dans tous les secteurs, à quand la prochaine Table d'expertise sur la décarbonation ? À vous les lecteurs, nos membres, qu'en pensez-vous ?

Le changement est dans l'air et c'est sur cette lancée que le thème du 57e Congrès sera sous la thématique du changement. Véhiculons le changement ! L'appel de conférences est en cours.



## Mot du Centre de formation TransForm

**Francesca Chantoiseau**  
Directrice, Centre de formation TransForm

### On travaille pour vous !

Comme chaque année, TransForm mettra à jour en 2023 ses formations selon les nouvelles normes exigées par le ministère des Transports du Québec. Nous travaillerons aussi à actualiser notre catalogue de formation pour répondre aux besoins constants de l'industrie. La priorité de TransForm étant de s'assurer de la qualité de ses formations afin de maintenir le développement de la main-d'œuvre.

Nous développons également des formations personnalisées selon vos besoins et adaptées à la réalité de votre organisation.

# TransForm

Centre de formation de **L'AQTR**

**Forme plus de 6 500 personnes  
par année**

**Subventionné pour développer,  
mettre à jour et diffuser**

**Création de formations  
sur mesure**

**Diffusion en ligne, en présentiel  
et en format hybride**

**Formations privées**

## Planifiez vos formations 2023

Pour plus d'informations  
**Francesca Chantoiseau**  
Directrice, Centre de formations  
TransForm

T | 514 523-6444 no320  
C | [fchantoiseau@aqtr.com](mailto:fchantoiseau@aqtr.com)

Pour une formation privée  
en entreprise  
**Marie-France Coutu**  
Responsable, gestion des opérations  
Centre de formation TransForm  
[transform@aqtr.com](mailto:transform@aqtr.com)

Consultez notre catalogue  
complet de formations au  
[aqtr.com/formations](https://aqtr.com/formations)



**REJOIGNEZ NOTRE  
ÉQUIPE DE FORMATEURS**

# CALENDRIER DE FORMATION

## 2023



### INFRASTRUCTURES ET ENVIRONNEMENT

**GESTION DE LA MISE EN ŒUVRE DES TRAVAUX D'INFRASTRUCTURES MUNICIPALES**  
Classe virtuelle | *Durée 11 h*



### GESTION DES CHAUSSÉES

Transports  
Québec

**APPRENTISSAGE DU LOGICIEL ANALYSEUR THERMO**  
Classe virtuelle | *Durée 3 h*

**CHAUSSÉE 2: Logiciel de dimensionnement structural des chaussées souples**  
Classe virtuelle | *Durée : 7 heures*

**EXPERTISE EN CHAUSSÉES SOUPLES**  
Classe virtuelle | *Durée : 7 heures*

**INTERVENTION D'ENTRETIEN ET DE RÉFECTION DES CHAUSSÉES SOUPLES**  
Classe virtuelle | *Durée : 7 heures*

**UTILISATION DE LA THERMOGRAPHIE pour le contrôle qualitatif de la mise en place des enrobés bitumineux**  
Classe virtuelle | *Durée : 7 heures*

# Transform

Centre de formation de **L'AQTr**



### SIGNALISATION DE CHANTIERS ROUTIERS

**SIGNALEUR ROUTIER**  
Formation en ligne | *Durée 3 h*

**SIGNALEUR DE CHANTIER**  
Formation en ligne – En continu | *Durée 1 h*

**INSTALLATION DE LA SIGNALISATION DE CHANTIERS ROUTIERS**  
Volets 1 et 2 : formation en ligne | *Durée 3 h 30*  
Volet 3 : classe virtuelle | *Durée : 7 heures*

**SUPERVISION ET SURVEILLANCE DE LA SIGNALISATION DE CHANTIERS DE TRAVAUX ROUTIERS**  
Classe virtuelle | *Durée : 8 heures*

**GESTION DES IMPACTS DES TRAVAUX ROUTIERS**  
Classe virtuelle | *Durée 13 h*

**PETITES ENTRAVES EN MILIEU URBAIN**  
En présentielle | *Durée 7 h*

Inscrivez-vous au [aqtr.com/formations](https://aqtr.com/formations)

# Routes et transports

VOLUME 51, NO 2, AUTOMNE-HIVER 2022-2023

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.

## Les experts de ce numéro

### Les experts de ce numéro



**CAROLINE HEALEY**  
Association des chemins de fer du Canada (ACFC)  
Vice-présidente exécutive et avocate générale

Caroline Healey apporte quinze années d'expérience en transport à son rôle à la direction des opérations et des affaires juridiques et réglementaires de l'ACFC, ainsi que de ses activités de relations gouvernementales. Elle est titulaire d'un Juris Doctor (J.D.) en common law nord-américaine, d'un certificat d'études supérieures en droit chinois, ainsi que d'un MBA et d'un baccalauréat en droit civil (LL.B.). Avant de se joindre à l'ACFC, elle a occupé un poste exécutif chez la filiale canadienne de Genesee & Wyoming et a travaillé dans divers grands cabinets d'avocats nationaux dans les domaines du droit corporatif, commercial et du transport.



**CTT-CHAIRE EN TRANSFORMATION DU TRANSPORT**

**Catherine Morency** professeure titulaire de l'École Polytechnique de Montréal. **Danielle Maia de Souza** est la coordinatrice principale de la Chaire en transformation du transport. **Emma Frejinger** est professeure titulaire à l'Université de Montréal. **Martin Trépanier** est ingénieur civil et professeur titulaire à Polytechnique Montréal. **Normand Mousseau** est professeur de physique à l'Université de Montréal et directeur scientifique de l'Institut de l'énergie Trottier. **Radhwane Boukelouha** est stagiaire postdoctoral, Polytechnique Montréal.



**DANIEL KOUIDOLO**  
Exo  
Gestionnaire de projet, Acquisition de matériel roulant

Daniel Kouidolo est gestionnaire de projet, Acquisition de matériel roulant chez Exo. Il supervise le projet d'« Exo » d'acquies 10 nouvelles locomotives et a contribué à l'achat récent de 44 nouvelles voitures. Grâce à son expertise dans les structures ferroviaires, Daniel a également participé à la création de deux nouveaux brevets au cours des dernières années.



**ADRIEN VERNHES**  
Alstom Amériques  
Responsable de communication

Passionné par le secteur des transports et les enjeux de mobilité durable, il met au service d'Alstom son expertise à 360° des métiers de la communication, mais aussi sa connaissance de l'industrie ferroviaire où il compte plus de dix ans d'expérience. Au Canada depuis trois ans, il mène plusieurs projets au sein d'Alstom et dirige la communication du consortium Groupe PMM qui fournit actuellement au Réseau express métropolitain de Montréal un système de métro léger 100% automatique et 100% électrique.



**AECOM**

**Youssef Maalouf**, ingénieur, DESS, directeur de projet majeur – équipe ferroviaire. **Raffi Guiragossian**, ingénieur, chargé de projet – conception et surveillance des travaux durant la phase de construction. **RomiAnne Beaudoin**, ingénieure, chargée de projet – conception et surveillance en ouvrages d'art ferroviaires.

**CN**

**Véronique Lapalme**, ingénieure, GDBA, directrice Conception et Construction



**BENJAMIN DOCQUIERE**  
Vivre en Ville  
Conseiller nouvelles mobilités et électrification

Récipiendaire d'une maîtrise en études urbaines obtenu à l'Université du Québec à Montréal, Benjamin Docquiere s'intéresse aux enjeux urbains. Il a développé une compréhension élargie des enjeux d'accessibilité, de mobilité urbaine et de planification territoriale. Au sein de Vivre en Ville, il contribue à la transition vers des modes de déplacements plus respectueux de l'environnement en développant une approche dans laquelle l'électrification des transports participe au développement de la mobilité durable.



**DIEGO RAMIREZ CARDONA, PH.D.**  
École de technologie supérieure (ÉTS)  
Professeur en génie de la construction

Diego Ramirez Cardona est ingénieur civil, docteur en sciences des matériaux de l'ENTPE, France. Entre 2013 et 2018, il a travaillé à la Direction de l'ingénierie de la SNCF, où il a développé une expertise dans les domaines des matériaux et du dimensionnement des structures ferroviaires et routières. Par la suite, il a intégré la direction technique d'Effage Infrastructures, 4e constructeur européen, où il a mené la politique d'innovation de la branche ferroviaire. Aujourd'hui, il est professeur au département de génie de la construction à l'ÉTS, où il travaille sur les matériaux et technologies innovants pour les infrastructures routières et ferroviaires.



**FAOUZI MÉRIBOUT, ING., PH.D.**  
Norda Stelo  
Expert en ponts et ouvrages d'art

Faouzi Méribout est un ingénieur civil spécialisé en structures. Il est également détenteur d'une maîtrise en structure et d'un doctorat. Il possède plus de 30 années d'expérience diversifiées couvrant plusieurs aspects du génie civil en études, conception, surveillance et gestion de projets. Depuis 2012, M. Méribout est l'ingénieur senior principal en structures ferroviaires pour les services rendus aux divers clients de Norda Stelo dans ce domaine.



**FRANÇOIS PARADIS, ING., M.SC., PH.D.**  
CIMA+  
Directeur de projet, Transport

Diplômé en génie civil, monsieur François Paradis a perfectionné sa scolarité par une maîtrise et un doctorat avec spécialité en « Modélisation des composites minces en béton » ainsi qu'en « Durabilité des structures - corrosion des aciers d'armature dans le béton ». Directeur et chargé de projet, il est reconnu pour ses compétences techniques approfondies qui l'amène à mettre de l'avant des solutions novatrices et de promouvoir le développement durable dans ces projets hors du commun en réfection, démolition ou construction de ponts d'envergure.

## Les experts de ce numéro



### FRÉDÉRIC CHAMPAGNE, ING.

Ministère des Transports  
et de la Mobilité durable  
Ingénieur en systèmes de transports  
intelligents

Frédéric Champagne a participé comme ingénieur à plusieurs projets de systèmes d'information en météorologie routière et de systèmes de transports intelligents au cours des 13 dernières années. Ses principaux intérêts sont les nouvelles technologies permettant l'amélioration de la sécurité routière et appuyant la prise de décision pour les opérations.



### GRÉGORY LEMAIRE

Deloitte  
Associé au sein de la pratique,  
Conseil en gestion des cyberrisques

Grégory Lemaire possède une expertise en conception d'architectures de sécurité et en systèmes d'information sécurisés d'envergure pour des comptes internationaux dans les domaines de l'aérospatiale ainsi que du transport aérien et ferroviaire.



### JEAN-FRANÇOIS RIOUX

Ministère des Transports  
et de la Mobilité durable  
Coordonnateur en systèmes de  
transport intelligents

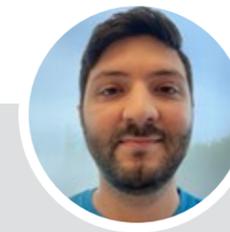
Spécialiste en systèmes d'information formé à l'Université Laval, Jean-François Rioux travaille au ministère des Transports depuis 2018 à titre de Coordonnateur en systèmes de transport intelligents à la Direction du développement durable et des mobilités innovantes. Il œuvre dans le domaine des technologies d'informations au gouvernement du Québec depuis 17 ans.



### LUC FAUCHER

Centre d'Expertise Ferroviaire Rail  
Directeur

Diplômé d'un doctorat en génie des matériaux et de la métallurgie, Luc Faucher a débuté sa carrière en devenant titulaire d'une chaire de recherche industrielle dans les collèges du CRSNG en exploitation et maintenance ferroviaire. En 2020, il a lancé le Centre d'expertise ferroviaire RAIL au Cégep de Sept-Îles. Il préside également la table d'expertise sur la pérennité des infrastructures de Transports Québec.



### OMAR ABDUL WAHAB

Polytechnique de Montréal  
Professeur

Omar Abdel Wahab received his Ph.D. degree in information and systems engineering from Concordia University, Montreal, QC, Canada. He is Assistant Professor with Polytechnique Montréal, Canada. His research activities include cybersecurity, Internet of Things and artificial intelligence. He is a recipient of many grants from prestigious agencies, such as NSERC.



### PATRICE PAGÉ, ING.

Norda Stelo  
Expert, Gestion intégrité et  
fiabilité des actifs

Patrice Pagé est diplômé en génie mécanique de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC, 2001) et détient également un certificat d'études supérieures en génie civil des structures de bois et d'acier (UQAC, 2011). Au cours de sa carrière, M. Pagé a acquis une solide expérience dans les industries de l'aluminium et des mines, ayant géré et réalisé plus de 60 projets majeurs pour de nouvelles conception ou pour le prolongement d'actif.



### IANIK MARCIL

District DC  
Auteur-économiste

Ianik Marcil est un économiste indépendant spécialisé en développement économique régional, innovations et technologiques, justice économique et économie de la culture. Auteur de centaines d'études et analyses au cours des vingt-cinq dernières années, il a travaillé auprès de ministères, organismes publics, entreprises privées et organismes communautaires. Régulièrement sollicité par les médias, il est outre auteur de plusieurs livres, chroniqueur et conférencier.



### ILHAM BENYAHIA

Université du Québec en Outaouais  
Professeure

Ilham Benyahia is a professor at the Université du Québec en Outaouais from 1997. She obtained her doctorate in computing at the Université Pierre et Marie Curie in Paris, France (1993). She is Director at ITS Canada from 2017. Her research interests include artificial intelligence and ITS (Safety and Mobility).



### LOUIS-PHILIPPE DESJARDINS, ING.

Deloitte  
Ingénieur logiciel et Directeur Principal au  
sein du groupe conseils en cybersécurité

Louis-Philippe Desjardins aide les entreprises évoluant dans différents secteurs à développer et implanter des stratégies afin de gérer efficacement les risques liés à la cybersécurité, incluant ceux en lien avec la continuité des affaires.



### PAUL DORVAL

Exo  
Chercheur principal

Paul Dorval possède une expérience impressionnante de 37 ans dans le secteur ferroviaire. De 1986 à 1996, Paul a contribué à la modernisation des lignes de trains de banlieue Deux-Montagnes et Vaudreuil-Hudson. Il a également contribué à l'expansion du réseau de trains de banlieue en développant quatre nouvelles lignes qui ont été progressivement mises en service de 1996 à 2014.



### SAMUEL MORIN

Ministère des Transports  
et de la Mobilité durable  
Conseiller expert en gestion  
des ressources humaines

Véritable passionné du secteur des ressources humaines, Samuel Morin est conseiller expert en stratégies d'attraction de la main-d'œuvre au ministère des Transports et de la Mobilité durable. Il adore mettre en valeur l'expertise des membres de son équipe et veille constamment à recruter les meilleurs talents pour faire rayonner son organisation.



### SIMON PAQUETTE

Ministère des Transports  
et de la Mobilité durable  
Ingénieur

Détenteur d'un Baccalauréat en génie de la construction de l'École de technologie supérieure (ÉTS), Simon Paquette cumule plusieurs années d'expérience dans le domaine ferroviaire à titre d'ingénieur stagiaire, d'inspecteur, de superviseur et de directeur. Il évolue maintenant au sein du ministère des Transports et de la Mobilité durable à titre d'ingénieur et occupe les fonctions d'inspecteur-enquêteur en sécurité ferroviaire.



## Gestion des entraves sur un axe routier stratégique

François Paradis, CIMA+

Durant l'été 2021, le ministère des Transports et de la Mobilité durable a entamé des travaux accélérés pour la réfection complète de la chaussée sur le pont Pierre-Laporte. La superstructure qui assure la principale liaison entre les villes de Québec et Lévis, avec plus de 125 000 déplacements interrives par jour, nécessitait des travaux de remplacement de la membrane d'étanchéité et de l'enrobé sur le pont. CIMA+ a assuré la surveillance de ce chantier couvrant plus de 1,5 km et en activité 24 heures sur 24, innovant à la fois par la rapidité d'exécution et les solutions techniques déployées.

En raison de l'importance stratégique de l'axe routier et de l'intérêt du grand public pour ces travaux, ce projet devait être exemplaire à tous les niveaux. Exigence absolue du ministère, l'échéancier à respecter était immuable.

Tous les travaux dans une direction devaient être réalisés dans un délai maximum de sept jours, de la fermeture des voies de circulation à leur réouverture. Dans la mesure où plusieurs étapes étaient dépendantes des conditions météorologiques, le défi à relever était de taille. L'échéancier critique était intimement lié à plusieurs impondérables, incluant entre autres le point de rosée, les conditions de vent, la température ambiante et l'humidité relative.

Pour CIMA+, la mise en œuvre de solutions novatrices allait de soi. En raison des immenses répercussions que ces entraves à la circulation avaient sur le réseau routier, l'échéancier était réglé au quart de tour. Ce projet a nécessité la mobilisation de plus d'une trentaine de ressources spécialisées pour la surveillance et le contrôle de la qualité, et de 14 entrepreneurs spécialisés (200 travailleurs). Tous ont prêté main forte afin de relever ce défi.

Plusieurs plans de contingence et mesures de mitigations (équipements en double, équipe mécanique à temps plein, équipements lourds d'assèchement) ont été élaborés et suivis de près par CIMA+ en collaboration avec l'entrepreneur Stellaire Construction inc. de manière à

**Pour CIMA+, la mise en œuvre de solutions novatrices allait de soi. En raison des immenses répercussions que ces entraves à la circulation avaient sur le réseau routier, l'échéancier était réglé au quart de tour.**



Figure 1

SOURCE:  
CIMA+

atténuer au maximum les risques inhérents à toutes les étapes. La gestion et le maintien de la circulation sur un trajet où circulent plus de 125 000 véhicules par jour, dont environ 7 500 poids lourds, ne sont pas une mince affaire. La fermeture de quatre des six voies de circulation étant nécessaire, CIMA+ a été proactive en adaptant localement la signalisation en cours de travaux selon les exigences du ministère afin de minimiser les impacts sur les usagers.

Plusieurs mesures de mitigation ont également été mises en place par les différentes instances publiques, afin de limiter les embouteillages lors des travaux et leurs effets néfastes sur l'environnement. Par exemple, la réduction des tarifs du transport en commun, l'augmentation de la fréquence des navettes d'autobus et la modification des horaires pour la traverse Québec-Lévis, seul lien par bateau entre les deux rives, afin d'offrir plus de départs. Les efforts déployés plusieurs semaines avant le début

des travaux pour bien informer la population des mesures extraordinaires adoptées ont contribué à faire du projet un franc succès sur le plan de la gestion de la circulation. Une réduction de 60 % du nombre habituel de véhicules en circulation sur le tronçon a été observée à divers moments en cours de projet.

Ce projet d'une grande complexité a nécessité l'intervention et la collaboration de plusieurs acteurs clés, notamment le ministère des Transports et de la Mobilité durable, le surveillant, les entrepreneurs, les municipalités, la sûreté du Québec, la sécurité publique, les services d'incendies, policiers et ambulatoires, les CISSS et CIUSSS de Chaudière-Appalaches et Québec et les services publics concernés. Dès le début du projet, une étroite collaboration s'est installée entre les parties prenantes, ce qui a permis d'atténuer les risques au fur et à mesure qu'ils se présentaient, ce qui fut déterminant pour la réussite du projet. |



# CAHIER SPÉCIAL FERROVIAIRE

Une industrie stratégique au cœur de l'économie québécoise



## Mot du directeur de la Table ferroviaire

**Thomas Bélanger**  
Directeur de la table ferroviaire

## Notre expertise au service de l'action !

Nous évoluons dans un monde en perpétuel changement. À l'heure où l'urgence climatique nous envoie un appel à l'action, notre rôle au sein des Tables d'expertise devient primordial dans la mise en place de solutions mobilisatrices permettant de capter, d'enrichir, de diffuser et de faire rayonner l'expertise québécoise en transport.

En tant que directeur de la Table d'expertise Ferroviaire, je suis particulièrement fier du travail accompli à ce jour par nos experts. Au cours des derniers mois, nous avons concentré nos énergies, entre autres, dans la réalisation d'un colloque sur la décarbonation du secteur ferroviaire qui aura lieu les 23 et 24 novembre 2022, à Québec.

Dès le départ, les membres de la Table d'expertise ont été unanimes sur le fait que le Québec doit passer dès maintenant à la vitesse supérieure vers des transports plus verts pour atteindre nos objectifs de réduction de gaz à effet de serre (GES). La décarbonation des transports passe, entre autres, par le rail.

### Le rail, un vecteur de prospérité propre

Les trains transportent quotidiennement des biens et des gens de manière écologique, les chemins de fer étant parmi les plus faibles émetteurs de gaz à effet de serre (GES) du secteur des transports. Pilier fondamental de notre économie, le secteur des transports par rail a néanmoins besoin d'un appui fort et continu afin de demeurer un des vecteurs de croissance et de prospérité propre au Québec.

Notre colloque sur la décarbonation du secteur ferroviaire permettra d'ailleurs d'explorer la thématique importante de la décarbonation dans sa globalité, avec la vision d'acteurs nationaux d'envergure, jusqu'aux solutions techniques et technologiques, sans oublier la mise en œuvre et l'intégration sur notre territoire.

Au nom des membres de la Table d'expertise Ferroviaire, je demeure convaincu que les joueurs de notre industrie jouent et joueront dans l'avenir un rôle de premier plan dans cette lutte aux changements climatiques et dans la transition énergétique de notre économie.



# Enjeux de main-d'oeuvre et de formation dans le domaine ferroviaire : le milieu se mobilise

Luc Faucher  
Centre d'expertise ferroviaire RAIL

Historiquement, le maintien du savoir et le transfert des connaissances ont majoritairement relevé des entreprises ferroviaires elles-mêmes. À l'exception d'une attestation d'étude collégiale pour les chefs de train, aucun programme ministériel ne forme actuellement la relève de cette industrie. En y ajoutant l'absence de structure publique ou d'un comité sectoriel, la formation de la relève est encore plus ardue, surtout en ces temps de pénurie de main-d'oeuvre.

La mobilisation autour de cet enjeu a débuté à l'été 2019. Dès juin, Transports Québec lançait une série de consultations sectorielles et régionales à travers le Québec afin de réviser son plan stratégique ferroviaire pour les prochaines années. Cette consultation élargie a mené au Sommet sur le transport ferroviaire du 9 décembre 2019. Plus de 400 personnes ont pris part aux consultations, et plus de 60 mémoires ont été

## À l'exception d'une attestation d'étude collégiale pour les chefs de train, aucun programme ministériel ne forme actuellement la relève de cette industrie.

déposés. L'événement de décembre, tenu devant plus de 250 personnes, « avait pour but de susciter des réflexions sur l'avenir du transport ferroviaire au Québec et de dégager des pistes de solutions concrètes, durables et viables afin de favoriser le développement du transport ferroviaire des personnes et des marchandises ». Du Sommet, un Forum sur le transport ferroviaire a été lancé en 2020, duquel deux tables d'expertises, regroupant divers acteurs du milieu, ont été créées pour mener des travaux.

### Enjeux de main-d'oeuvre et de formation dans le domaine ferroviaire : le milieu se mobilise

Initialement, Transports Québec avait identifié quatre (4) enjeux pour ses consultations, mais en a rapidement ajouté un cinquième dès les premières rencontres. Ce nouvel enjeu, constamment rapporté par les participants, était la formation et la disponibilité de la main-d'oeuvre. Pour les entreprises du domaine, cette difficulté était bel et bien présente, même avant la pandémie et l'accélération récente de la pénurie de main-d'oeuvre. Le défi est d'autant plus grand pour les petits chemins de fer. En effet, les chemins de fer de classe I (CN et CP) forment leurs employés à l'interne et ont un centre de formation dédié. En revanche,

les exploitants miniers et les sociétés publiques forment des gens à l'interne, avec l'aide du Cégep de Sept-Îles ou des consultants. De leur côté, les chemins de fer d'intérêt local (CFIL) et les cours industrielles font majoritairement affaire avec des consultants. Tel que discuté lors du Sommet sur le transport ferroviaire, ce modèle est de moins en moins viable. Les consultants sont habituellement des retraités du monde ferroviaire. Ces retraités ont déjà beaucoup donné et se retirent réellement du domaine à court terme. Les compagnies ont donc de plus en plus de difficulté à trouver des formateurs.

Pourtant, l'industrie ferroviaire représente une part importante du secteur des transports au Québec et au Canada. Cette branche emploie entre 7 250 et 8 755 personnes. Le Québec est la province ayant le plus de salariés dans ce domaine, ce qui représente 22 % de tous les emplois au Canada (figure 1). Ce nombre d'emplois est élevé, malgré le fait que le Québec n'opère que 5 887 des 42 780 km de voie ferrée en activité au Canada, soit 13,8 %. Le nombre élevé de salariés s'explique par la quantité de wagons complets à l'origine (1,15 M sur 6,1 M au pays, soit 18,8 % du total, figure 2). Également, l'importance des trains de banlieue dans la région de Montréal est un facteur important, tout comme la présence de différents sièges sociaux établis au Québec.

Lorsque comparé aux autres domaines du transport, le secteur ferroviaire se démarque. Au Canada, 39 700 des 554 800 emplois en transport se situent dans le domaine ferroviaire, soit 7,2 % (figure 3). Malgré cela, le secteur ferroviaire contribue à 19,9 % du produit intérieur brut (PIB) lié au domaine des transports. Chaque emploi a donc une contribution plus importante au PIB canadien. En moyenne, la contribution est de 212,8 k\$/emploi. Les autres

Figure 1  
Répartition des emplois ferroviaires au Canada par province en 2018

SOURCE:  
Centre d'expertise ferroviaire Rail  
Luc Faucher.

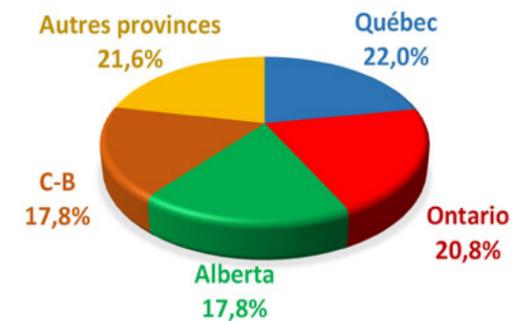


Figure 2  
Répartition des wagons complets à l'origine au Canada par province en 2018

SOURCE:  
Centre d'expertise ferroviaire Rail  
Luc Faucher.

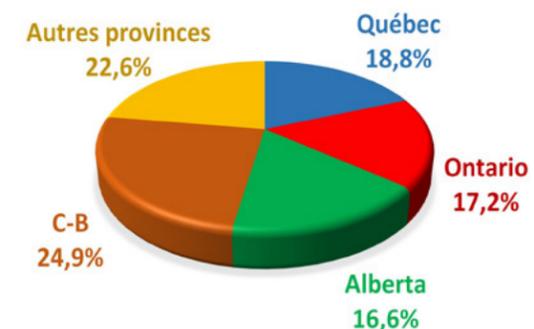
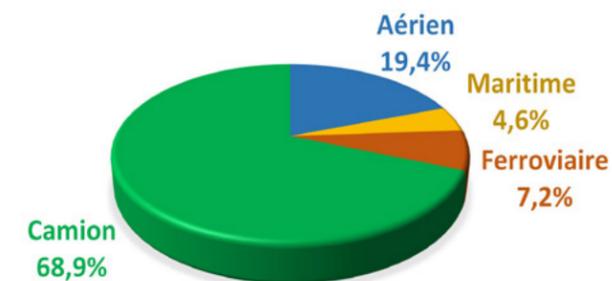


Figure 3  
Répartition des emplois dans le domaine du transport au Canada en 2019

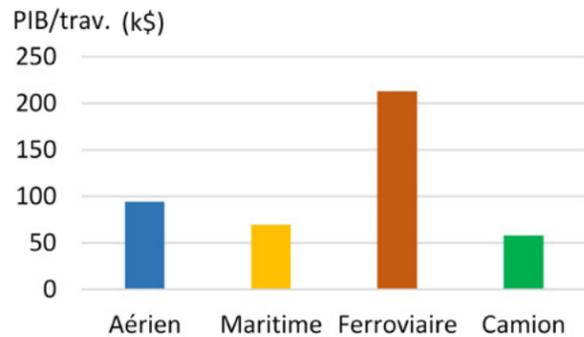
SOURCE:  
Centre d'expertise ferroviaire Rail  
Luc Faucher.



## Enjeux de main-d'oeuvre et de formation dans le domaine ferroviaire : le milieu se mobilise

secteurs présentent des statistiques plus de 2x inférieures, soit 94,2 k\$/emploi dans l'aviation, 69,6 k\$/emploi dans le maritime et 58,2 k\$/emploi dans le camionnage (figure 4). Cela s'explique en grande partie par les économies d'échelle liées au domaine ferroviaire. En effet, chaque wagon a une capacité de transport qui équivaut à 3 camions-remorques. Un train de 100 wagons, opéré par deux personnes, peut donc transporter autant de marchandise que 300 camions-remorques opérés par 300 chauffeurs. Il en est de même dans le transport de passagers, où une équipe de trains transporte plus de personnes que deux chauffeurs dans deux autobus. Il est cependant important de noter que la vocation n'est pas totalement interchangeable, et que ces domaines sont complémentaires. Finalement, une autre particularité du secteur ferroviaire réside dans les salaires. Le salaire

septembre 2020, le Cégep regroupait ses activités ferroviaires en créant le Centre d'expertise ferroviaire RAIL. La vision du



Centre est de devenir un pôle national d'excellence en formation, aide technique et recherche ferroviaire. Son objectif est de rendre la formation accessible aux individus et aux entreprises par la création d'une école publique. Au moment où le Centre a été lancé, le Cégep offrait déjà une attestation

**Figure 4**  
Contribution au PIB par travailleur dans les industries liées au transport en 2019

SOURCE:  
Centre d'expertise ferroviaire Rail :  
Luc Faucher.

## En septembre 2020, le Cégep regroupait ses activités ferroviaires en créant le Centre d'expertise ferroviaire RAIL.

moyen d'un employé est de 94 k\$, alors qu'il est de 88,4 k\$ dans le maritime, 66,2 k\$ dans l'aviation, et 56,0 k\$ dans le camionnage. En ces temps de pénurie de main-d'oeuvre et de transition vers les économies vertes, le domaine ferroviaire peut apporter plusieurs solutions : son rendement est plus élevé, et cela, en consommant 3,7 fois moins d'hydrocarbures que le camionnage pour transporter la même quantité de matériel sur la même distance. De plus, la bande de terrain nécessaire pour construire une voie ferrée est plus étroite qu'une autoroute à plusieurs voies.

Depuis 2020, plusieurs initiatives ont été lancées au Cégep de Sept-Îles pour combler le vide de formation. En

d'étude collégiale pour former les chefs de train depuis 2007 et une douzaine de formations ferroviaires sur mesure. Il était également l'hôte d'une Chaire de recherche industrielle dans les collèges sur l'exploitation et la maintenance ferroviaire depuis 2013. Cette Chaire existe toujours et est financée par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) et différentes entreprises partenaires. D'autres activités de recherche sont également financées par Transports Canada et l'industrie.

Le travail accompli dans les deux dernières années s'est d'ailleurs traduit par des résultats tangibles. En mai 2022, le Cégep annonçait l'obtention

## Enjeux de main-d'oeuvre et de formation dans le domaine ferroviaire : le milieu se mobilise

de près de 16,9 M\$ pour construire un nouveau pavillon dont plus de 40 % des espaces laboratoires seront dédiés au secteur ferroviaire. Sa construction devrait commencer en 2023 (figure 5). Les simulateurs de conduite ferroviaire y seront déménagés, alors qu'une petite voie ferrée extérieure sera construite. Cette voie cheminera à l'intérieur du pavillon où un wagon sera présent pour la formation et la recherche.



**Figure 5**  
Plan du futur pavillon au Cégep de Sept-Îles

SOURCE:  
Centre d'expertise ferroviaire Rail :  
Luc Faucher.

Le camion d'inspection 3D des voies ferrées y sera également entreposé, tout comme les bureaux des employés et les salles de cours. En parallèle à cela, le Centre d'expertise ferroviaire annonçait que le ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur finançait les activités de base du Centre afin de l'appuyer dans son développement en formation. Ces sommes serviront entre autres à faire un état des lieux des emplois et des formations nécessaires dans le domaine. Pour ce faire, le Centre d'expertise a développé un partenariat avec l'Association québécoise des transports (AQTr), qui est également l'hôte d'une table d'expertise ferroviaire. Les différents acteurs se rassembleront

pour écrire un mémoire conjoint sur les métiers ferroviaires. Les besoins de formation pour les prochaines années seront également abordés. Cet état des lieux servira de base pour établir l'offre de formations nécessaire dans les années à venir.

En conclusion, même si le ferroviaire est un domaine très pointu, il n'a jamais vraiment eu sa place dans les maisons d'enseignement. L'accès à des experts formateurs et à une main-d'oeuvre qualifiée étant ardu, la mobilisation du milieu est nécessaire pour contrer les effets de la pénurie. L'importance de ce secteur et la nécessité de maintenir les connaissances à long terme justifient cette vision. De plus, l'implication financière du gouvernement créerait une équité envers tous les domaines du transport. Cette implication est plus que souhaitable dans une perspective où le gouvernement désire prioriser le transport sur rail pour ses vertus environnementales. En effet, ce domaine est voué à une forte croissance (REM, Train grande fréquence de VIA Rail, Tramway de Québec, EXO, Métro de Montréal, agrandissement des chemins de fer actuels, etc.). Il est facile d'imaginer à quel point ce secteur serait encore plus compétitif s'il avait accès aux mêmes avantages que les autres domaines du transport. ■

RÉFÉRENCES  
1— Site web consulté le 20 octobre 2022 : [https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/ministere/role\\_ministere/colloques-congres-conferences/sommet-transport-ferroviaire/](https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/ministere/role_ministere/colloques-congres-conferences/sommet-transport-ferroviaire/)  
2— Pages/sommet-transport-ferroviaire.aspx  
Profils provinciaux/régionaux 2018, Infographic, 2018, Association des chemins de fer du Canada  
3— Addenda statistiques 2019, 2019, Transports Canada  
4— Les chemins de fer au Canada : guide du parlementaire, janvier 2016, Association des chemins de fer du Canada  
5— Site web consulté le 20 octobre 2022 : <https://lenord-cotier.com/2022/05/18/les-gouvernements-donnent-17m-pour-un-nouveau-pavillon-au-cegep-de-sept-iles/>  
6— Site web consulté le 20 octobre 2022 : <https://www.ledevoir.com/politique/quebec/572044/legault-ecole>  
7— Site web consulté le 20 octobre 2022 : <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1512801/quebec-premiers-ministres-canada-etats-unis-echanges-commerciaux?fromApp=applInfoIos&partageApp=applInfoIos&accVia=partage>



## L'ingénierie ferroviaire au Ministère

Simon Paquette, Samuel Morin  
Ministère des Transports et de la Mobilité durable

**Saviez-vous que le ministère des Transports et de la Mobilité durable (MTMD) est responsable de l'encadrement législatif et de la surveillance d'environ 30 % du réseau ferroviaire au Québec? Cela inclut les équipements ferroviaires utilisés par les sites industriels connectés au réseau. Le MTMD assure aussi l'entretien et la réhabilitation du chemin de fer Québec Central et de celui de la Gaspésie, dont il détient la propriété. Et ce n'est pas tout : le Ministère joue un rôle clé dans l'élaboration et le respect de la réglementation de sécurité liée aux grands projets de transport collectif. C'est le cas du Réseau express métropolitain dans la région de Montréal et des projets de tramway dans la province, notamment celui de la Ville de Québec.**

### Les responsabilités du MTMD dans le domaine ferroviaire au Québec

Les responsabilités du Ministère dans le secteur ferroviaire se révèlent multiples. Voici les façons dont elles se déclinent.

#### Sur le plan de la sécurité

En vertu de la loi, la responsabilité première en matière de sécurité ferroviaire appartient aux compagnies de chemins de fer, et ce, tant pour les chemins de fer de compétence fédérale que pour ceux de compétence provinciale. Il incombe donc à ces compagnies de démontrer qu'elles gèrent leurs réseaux ferroviaires de manière sécuritaire en éliminant ou en minimisant les risques d'incidents dans leurs pratiques et opérations. Le MTMD, quant à lui, veille à ce que ces compagnies prennent tous les moyens à leur disposition pour assurer une exploitation sécuritaire de leurs équipements. De plus, une équipe du MTMD spécialisée et composée d'ingénieurs avec des profils de compétences différents (civil, électrique, mécanique, géologique) inspecte les installations de chacune des compagnies sous compétence québécoise. L'équipe enquête, au besoin, sur les accidents ou événements qui se produisent sur le réseau relevant de la compétence du Québec.

En fait, chaque inspecteur de l'équipe de sécurité du Ministère développe une expertise bien précise (exploitation, voies ferrées, ouvrages d'art, matériels roulants, équipements et passages à niveau) pour permettre au MTMD de mettre en œuvre son Programme de surveillance de la sécurité. Ce programme repose sur une analyse de risques rigoureuse des opérations ferroviaires.

Au total, une dizaine de compagnies de chemin de fer et près de 150 sites industriels sont visés par ce programme. Lorsqu'une inspection révèle un facteur de risque dans la circulation sur le réseau ferroviaire ou les activités sur un site industriel, le Ministère se déplace sur les lieux et peut exiger l'application immédiate de mesures par l'entreprise concernée. C'est le cas notamment si des lacunes ou des défauts sont observés sur une voie, un ouvrage d'art, un système de signalisation ou du matériel roulant. Aux mesures déployées peut s'ajouter un plan d'action pour enrayer le problème et réduire les risques identifiés.

Par ailleurs, l'équipe d'inspecteurs-enquêteurs assure une disponibilité 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 pour le volet enquête sur les accidents et incidents ferroviaires. En cas de situation majeure, peu importe l'endroit au Québec, l'équipe peut être dépêchée sur les lieux de l'événement afin de collecter

des données, d'interroger les intervenants concernés et de recueillir les renseignements permettant une compréhension complète des circonstances de l'incident. Ces informations permettent ensuite de déterminer les causes de l'accident ainsi que les facteurs de risques connexes et enfin de rédiger un rapport d'enquête.

Ultimement, selon le rapport, le MTMD peut formuler des recommandations aux compagnies de chemin de fer ou aux sites industriels pour réduire ou éliminer les lacunes de sécurité découvertes au cours d'une enquête.

Enfin, l'équipe d'inspecteurs-enquêteurs maintient des collaborations étroites avec les différents partenaires de l'industrie du transport ferroviaire au Québec. Ce travail de concertation est fort profitable pour permettre aux membres de l'équipe de demeurer à l'affût des bonnes pratiques

# Concevoir le réseau ferroviaire de demain Plus qu'une carrière!

[Quebec.ca/emplois-transport](http://Quebec.ca/emplois-transport)



dans le domaine de la sécurité ferroviaire et de contribuer à la conformité réglementaire des entreprises qui exploitent des engins ferroviaires au Québec.

### En matière d'entretien et de réhabilitation

En tant que propriétaire des chemins de fer Québec Central et de la Gaspésie, le Ministère en assure l'entretien, le maintien d'actif ainsi que la réhabilitation. Il permet leur développement en collaboration avec ses nombreux partenaires.

Ces deux chemins de fer font l'objet de projets de réhabilitation qui impliquent la réalisation d'importants travaux. Le chemin de fer Québec Central est actuellement en service sur le tronçon de Lévis à Sainte-Marie, alors que celui de la Gaspésie est exploité entre Matapédia et Caplan. Le MTMD est à l'œuvre pour étendre l'exploitation de ces deux tronçons qui a cessé il y a quelques années.

Sur le terrain, les travaux se traduisent entre autres par la reconstruction de structures, le changement de ponceaux et de rails, le remplacement de traverses de bois et la réfection de passages à niveau. Tous ces travaux se doivent de respecter les plus hauts standards de conception et de sécurité

## L'expertise ferroviaire de pointe du MTMD

Les interventions du Ministère en matière de transport ferroviaire ont permis le développement d'une expertise de pointe au sein de plusieurs unités dotées de mandats à la fois différents et complémentaires. Cette expertise ne fait pas l'objet d'un programme proposé dans les universités du Québec ou d'ailleurs. Les employés du secteur ont, pour la plupart, acquis leur propre savoir-faire sur le terrain, au fil de leur pratique.

De façon générale, ces parcours s'appuient sur les programmes de génie civil, mécanique, électrique et géologique. Ces formations et bien d'autres procurent les bases requises pour la gestion de projets d'infrastructures ferroviaires et la surveillance de voies ferrées, d'ouvrages d'art, de systèmes de signalisation aux passages à niveau, de locomotives et de wagons, ainsi que pour leur protection lors d'aléas naturels. Pour maintenir ce niveau de savoir-faire, les équipes suivent de la formation en continu autant à l'interne qu'à l'externe. De plus, plusieurs outils et procédures ont été élaborés par les ressources du MTMD dans une perspective de consolidation et de développement des compétences.

À titre d'exemple, l'équipe d'inspecteurs-enquêteurs ne se limite pas strictement à son champ de responsabilité. La multitude des mandats qui lui sont confiés en témoigne. En effet, ses tâches s'étendent du soutien aux entreprises jusqu'à l'analyse de demandes formulées dans le cadre de programmes d'aide financière en passant par l'émission d'avis pour des projets d'innovation technologique.

## Pour maintenir ce niveau de savoir-faire, les équipes suivent de la formation en continu autant à l'interne qu'à l'externe.

de l'industrie ainsi qu'un ensemble de réglementations. Il peut s'agir par exemple des périodes de nidification, de celles de la reproduction des espèces aquatiques ou encore des règles environnementales tant fédérales que provinciales. L'expertise du Ministère permet d'intégrer les meilleures pratiques de sécurité, de favoriser le déploiement de technologies de pointe et d'optimiser le transport ferroviaire sur ces réseaux.



Ce contexte de diversité des mandats et d'intégration de connaissances en milieu de travail nécessite une synergie, un travail d'équipe continu et un accompagnement des nouvelles ressources.

## Un ingénieur ferroviaire nous expose son parcours et son expérience personnelle

Monsieur Simon Paquette a étudié en génie de la construction à l'École de technologie supérieure (ÉTS) à Montréal. Pendant son parcours universitaire, il a fait un stage pratique au sein d'une grande compagnie de chemin de fer canadienne. Concrètement, il a contribué à l'inspection et à l'analyse de près de 15 000 km de voies ferrées dans le but de détecter les défauts pouvant compromettre la sécurité des opérations ferroviaires.

À la fin de ses études universitaires, Simon a gravi les échelons du métier et a su conjuguer son expérience théorique avec la réalité du terrain. Il poursuivait alors son rêve de devenir superviseur d'une voie ferrée au Canada.

Pour y parvenir, Simon a d'abord occupé un poste d'agent de la voie et d'inspecteur au sein d'une compagnie de chemin de fer. Il a commencé par se familiariser avec l'environnement en accomplissant diverses tâches reliées à la construction et à l'entretien

des voies ferrées. Ce tremplin a offert à Simon l'occasion de s'approprier les normes applicables en matière de sécurité des infrastructures.

Son expérience acquise sur le terrain pendant près de trois ans lui a permis par la suite d'accroître son niveau de responsabilité au sein de la même entreprise. Pendant quatre ans, Simon a occupé un poste de superviseur, où il a eu l'occasion de diriger une dizaine d'employés agents de la voie.

Alors que la progression de sa carrière allait bon train, un déclic s'est opéré dans l'esprit de Simon au moment où il collaborait avec des ingénieurs du MTQMD lors d'une inspection de conformité réglementaire. De nouvelles perspectives insoupçonnées se sont ouvertes alors à lui et son rêve est devenu réalité.

Aujourd'hui, Simon travaille en tant qu'inspecteur-enquêteur en sécurité ferroviaire au sein même de l'unité responsable de la surveillance du réseau ferroviaire québécois, laquelle relève de l'autorité législative du gouvernement du Québec. En transmettant son expérience acquise tout au long de sa carrière, il contribue à l'expertise de son équipe multidisciplinaire.

Les défis demeurent grands dans le transport ferroviaire des personnes et des marchandises. L'avenir de Simon est donc prometteur. Si le parcours de Simon vous inspire, le Ministère vous invite à visiter son site carrière au [Quebec.ca/emplois-transport](http://Quebec.ca/emplois-transport) pour obtenir plus d'information. ¶



# La place des matériaux de chaussée dans le ferroviaire

Diego Ramirez Cardona  
École de technologie supérieure - ÉTS

L'utilisation d'enrobés bitumineux dans les assises ferroviaires est une technique courante depuis plus de 40 ans dans plusieurs pays. Ils sont utilisés dans tout type de projet ferroviaire : voies ballastées classiques, voies industrielles, voies sans ballast, passages à niveau, zones d'appareils de voie, zones de transition avec ouvrages d'art, détecteurs de défauts de roues, etc.

L'intérêt croissant pour cette technique émane des nombreux avantages apportés par les enrobés, par rapport aux matériaux granulaires non liés. Les enrobés sous ballast (en sous-couche) apportent, notamment, une réduction considérable des besoins d'entretien de la voie, diminuant ainsi le temps de fermeture pour effectuer des travaux. Ceci contribue à l'augmentation de la capacité du réseau ferroviaire, et aide à surmonter l'un des principaux inconvénients du transport ferroviaire par rapport au transport routier : l'indisponibilité de la voie. En effet, les routes sont rarement complètement fermées pour travaux. D'autres avantages des sous-couches bitumineuses incluent l'atténuation des vibrations, la réduction des efforts transmis au sol, l'imperméabilisation des sols d'infrastructure, la prévention du colmatage du ballast et le contrôle de la végétation sans l'utilisation de produits phytosanitaires. Par ailleurs, servant de voie d'accès au chantier, la sous-couche bitumineuse facilite la mise en place de la voie et d'autres équipements ferroviaires durant la phase travaux [1]-[6].



Figure 1  
Coupe de principe d'une voie ballastée avec sous-couche en enrobé bitumineux

SOURCE:  
ÉTS



Figure 2  
Travaux de rénovation d'un aiguillage avec sous-couche en enrobé bitumineux

SOURCE:  
ÉTS

## Les enrobés sur le réseau classique

Depuis les années 1980, aux États-Unis, l'utilisation d'enrobés sous ballast a augmenté substantiellement dans les voies dédiées au fret et dans les lignes de banlieue. L'enrobé est souvent mis en oeuvre pour améliorer durablement la portance de la plateforme lors des projets de rétablissement de voie ou d'augmentation de capacité. La technique est aussi couramment utilisée dans des travaux spéciaux tels que les branchements, aiguillages et « voies au milieu de la route », ainsi que sur des linéaires précis où les solutions conventionnelles n'ont pas été efficaces [5],[7].

Étant donnée leur mise en oeuvre très rapide, les enrobés sont particulièrement adaptés aux fenêtres de temps très restreintes allouées aux travaux de rénovation d'aiguillages. Cette pratique est courante chez plusieurs compagnies américaines, dont NS, CSX, Caltrain et Metrolink. Par exemple, en 2019, une sous-couche bitumineuse a été mise en place sur 60 m de long en seulement 50 minutes pour un aiguillage de la voie NS près de Crandall (IN) [5].

Les enrobés sont aussi couramment utilisés dans les zones de transition avec les radiers en béton des ouvrages d'art. En effet, la présence d'enrobé de part et d'autre de l'ouvrage mène à une amélioration substantielle de la qualité de la géométrie de

la voie. Par exemple, en 1998, de l'enrobé a été placé sur 425 m de part et d'autre du pont sur le Tennessee à Bridgeport (AL) de la voie à fret lourd de la compagnie CSX. Malgré un trafic cumulé annuel de 70 millions de tonnes brutes, peu d'entretien a été nécessaire sur cette section de voie depuis les travaux [5].

En tunnel, l'enrobé facilite le drainage de l'eau vers l'extérieur, ce qui est particulièrement avantageux dans des tunnels présentant des sols humides et déformables. Depuis leur réhabilitation dans les années 1990 avec une sous-couche bitumineuse, plusieurs tunnels sur les réseaux NS et CSX ont performé correctement en termes de maintenance [5].

Une sous-couche bitumineuse, associée à un entretien adéquat du système de drainage, peut suffire à réduire drastiquement les problèmes d'instabilité de la voie au droit et aux abords de passages à niveau ou de voies au milieu de la route. Par exemple, en 2011, 1 km de voie au milieu de la route de la ligne de fret du réseau NS à West Brownsville (PA) a été rénové avec une sous-couche en enrobé. Auparavant très coûteuse en entretien, cette section n'a plus présenté de signes de détérioration depuis ces travaux. De même, une section de voie de 400 m de long avec 3 passages à niveau consécutifs à Cynthia (KY), sur le réseau CSX, n'a plus eu besoin de travaux de rectification de géométrie depuis l'installation d'une sous-couche en enrobé en 1985. En effet, l'enrobé réduit les tassements au droit des passages à niveau d'environ 60 %, par rapport aux sous-couches conventionnelles [7].

En général, l'expérience américaine met en évidence le rôle des enrobés dans la réduction des efforts de maintenance des voies par l'augmentation et la préservation de la portance du support de la superstructure (ensemble conformé par le ballast, les traverses et le rail). On peut citer comme exemples le Central Corridor Railroad à Wichita (KS) et la 3e voie de la ligne BNSF Transcon à Kansas City (MO), deux projets où aucune opération de reprise de la géométrie de voie n'a été nécessaire pendant plus de 10 ans d'exploitation sous trafic fret, après la mise en place d'une sous-couche bitumineuse, malgré leur situation sur des terrains argileux peu portants [5].

En matière de durabilité, des essais ont été réalisés en 2008 sur des échantillons extraits de sous-couches bitumineuses âgées de 12 à 29 ans, dans 5 états américains différents. Aucun signe de vieillissement du bitume ou

## Les enrobés en ligne à grande vitesse

Le développement du réseau ferroviaire à grande vitesse (> 300km/h) en Europe a favorisé l'intégration des enrobés dans les infrastructures ferroviaires. Parmi les facteurs qui ont motivé l'adoption de la technique on retrouve leur disponibilité à proximité du chantier sur toute sa longueur, ce qui les rend économiquement compétitifs face aux matériaux conventionnels, et leur mise en service rapide, qui contraste avec les longs délais nécessaires avant utilisation des sols stabilisés aux liants hydrauliques. De plus, les enrobés sont moins sensibles au gel, protègent les sols d'infrastructure en attendant la pose de la voie et permettent une réduction de l'épaisseur de la voie pouvant mener à

une importante économie en matériaux granulaires.

En outre, pendant l'exploitation de la voie, les sections bitumineuses ont demandé considérablement moins d'entretien que les sections conventionnelles. Ceci a été attribué majoritairement à la réduction des vibrations dans la couche de ballast, qui se traduit par une plus longue durée de vie utile de celui-ci [6], [10]-[12]. Concernant les voies sans ballast, des systèmes mixtes ont été développés où le radier en béton repose sur une assise en enrobés. Ce type de structure est très courant au Japon [8], [9].

# Enfin, la pression verticale appliquée sur l'enrobé sous ballast est de l'ordre de 8 fois plus faible que la pression typique exercée par les pneus d'un camion sur une chaussée.

de fatigue des enrobés n'a été repéré. De plus, il a été constaté que la teneur en eau des sols sous l'enrobé était très proche de l'optimum Proctor [5]. Ces mêmes conclusions ont été établies en Italie sur leur 1e ligne à grande vitesse (LGV), qui date des années 1970 [8].

L'utilisation d'enrobés sous ballast en voies classiques n'est pas unique aux États-Unis. L'exemple le plus ancien en Europe date de 1963 en Autriche. En Italie, les sous-couches bitumineuses sont considérées comme le standard pour tout type de voie ferrée. Au Japon, l'enrobé sous ballast est une obligation pour les voies du réseau structurant. En France, les enrobés bitumineux font partie du référentiel technique pour voies classiques depuis 2018 [8], [9].

## Discussion

Les expériences internationales démontrent largement l'adéquation des enrobés au milieu ferroviaire.

Concernant leur durabilité, l'apparition de défauts (déformation permanente, fatigue, etc.) est très rare dans les enrobés sous ballast, avec à ce jour des sous-couches bitumineuses âgées de plus de 50 ans en parfait état. En contraste avec les routes, le ballast protège l'enrobé des variations de température et du rayonnement solaire, ce qui limite le vieillissement du bitume. Le risque de déenrobage est aussi limité grâce à l'absence des phénomènes de succion et usure par le contact direct avec des pneus. Enfin, la pression verticale appliquée sur l'enrobé sous ballast est de l'ordre de 8 fois plus faible que la pression typique exercée par les pneus d'un camion sur une chaussée [5].

Quant aux champs d'application, la diversité d'exemples de réussite dans le monde met en lumière la polyvalence des enrobés dans les infrastructures ferroviaires. Outre leur caractère avantageux pour la construction de nouvelles voies, l'intégration des sous-couches bitumineuses dans les travaux de régénération des voies anciennes semble être une solution possible pour l'abaissement des coûts d'exploitation du réseau classique, en réduisant l'entretien et en augmentant la capacité de la voie.

Du fait que les conditions de mise en œuvre des enrobés restent identiques à celles des travaux routiers, il est toutefois nécessaire d'avoir une portance minimale du terrain pour permettre le compactage. Au moment des travaux, il est donc préférable d'avoir un sol dans un état hydrique proche de l'optimum, qui sera pérennisé par l'action imperméabilisante de l'enrobé.

Néanmoins, il faut évaluer l'intérêt économique de l'utilisation d'enrobés dans les structures ferroviaires en fonction du contexte particulier de chaque projet et des performances attendues de la voie en service. |

RÉFÉRENCES  
 1 — EAPA, « Asphalt in Railway Tracks », European Asphalt Pavement Association, Technical Review, 2021.  
 2 — M. Fang, T. Hu, et J. G. Rose, « Geometric composition, structural behavior and material design for asphalt trackbed: A review », Constr. Build. Mater., vol. 262, p. 120755, nov. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120755.  
 3 — Y. H. Huang, C. Lin, et J. G. Rose, « Asphalt Pavement Design: Highway versus Railroad », J. Transp. Eng., vol. 110, no 2, p. 276-282, mars 1984, doi: 10.1061/(ASCE)0733-947X(1984)110:2(276).  
 4 — IDRRIM, « Réalisation d'assises de voie ferrée en grave bitume : Retour d'expérience de chantiers LGV », Institut de Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité, France, Note d'information n°36, 2019.  
 5 — J. G. Rose, « Designs, applications, and performances of asphalt trackbeds in the United States », présenté à Railway Engineering 2019, Édimbourg, Écosse, 2019.  
 6 — A. Buonanno et R. Mele, « The use of bituminous mix sub-ballast in the Italian State Railways », présenté au 2e Congrès EURASPHALT & EUROBITUME, Barcelona, Spain, 2000.  
 7 — J. G. Rose, « Asphalt underlayment railway trackbeds: Designs, applications, and long-term performance evaluations », University of Kentucky, Final report for NURail Project- Pressure distributions and magnitudes at tie/ballast interface, sept. 2017.  
 8 — D. Ramirez Cardona, H. D. Benedetto, C. Sauzéat, N. Calon, et J. G. Rose, « Designs, Application and Performances of Asphalt/Bituminous Trackbeds in European, Asian, and African Countries », Transp. Res. Rec., vol. 2674, no 11, nov. 2020, doi: 10.1177/0361198120945314.  
 9 — Y. Momoya, « New Railway Roadbed Design », Railway Technology Avalanche, Newsletter from the Railway Technical Research Institute, no 20, 2007.  
 10 — P. F. Teixeira, A. López Pita, et P. A. Ferreira, « New possibilities to reduce track costs on high-speed lines using a bituminous sub-ballast layer », Int. J. Pavement Eng., vol. 11, no 4, p. 301-307, août 2010, doi: 10.1080/10298431003749733.  
 11 — J. M. Fernández de Puelles de Torres Solanot, « Experiencia italiana en empleo de subballasto bituminoso », Technol. Desarro., vol. 15, no 0, Art. no 0, déc. 2017.  
 12 — J. Blanc et coll., « Monitoring of railway structures with bituminous and granular sub-layers: Assessment after four years of use », Constr. Build. Mater., vol. 336, juin 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127515.

+

## Des solutions ingénieuses qui propulsent votre vision

Nous adoptons votre vision comme si elle était la nôtre. Nous fournissons des solutions personnalisées, novatrices et optimisées grâce auxquelles vos actifs atteindront un niveau de performance de classe mondiale en répondant aux exigences en matière de sécurité, de fiabilité, de performance et de productivité.

Ensemble, relevons les défis les plus complexes !

hatch.com



HATCH

CHEZ RAIL CANTECH NOUS  
CONSTRUISONS ET  
ENTRETONONS DES  
CHEMINS DE FER



Notre expertise couvre la construction et l'entretien de lignes principales de classe 1, de transits urbains, de lignes et d'installations LRT, de mines et de liaisons ferroviaires industrielles.

Au fil des ans, Rail Cantech a exporté son savoir-faire pour soutenir les propriétaires et les exploitants de chemins de fer dans tout l'est du Canada.

## RIGUEUR / RESPECT / RESPONSABILITÉ / RÉSULTATS

### Bureau principal

650 boulevard Lionel Boulet

Varenes, QC, J3X 1P7

(450) 652-3010

info@railcantech.com



## Tracer une feuille de route vers la décarbonation du secteur ferroviaire au Canada

Caroline Healey  
Association des chemins de fer du Canada

Dans l'ensemble des secteurs et des régions, la décarbonation est bien plus qu'un slogan à la mode. C'est aujourd'hui une attente.

La firme de sondage montréalaise Léger a récemment constaté que malgré les pressions liées au coût de la vie, plus de Canadiens considèrent le changement climatique comme une priorité supérieure au fardeau fiscal ou aux prix de l'énergie. Ce même sondage indique qu'une grande majorité de Canadiens (70 %) estiment que l'économie et l'environnement vont de pair. De plus, 59 % des Québécois disent qu'ils ne voteraient pas pour un parti fédéral qui n'a pas de solide plan climatique – 5 % de plus que l'électorat canadien.

Il n'est donc pas étonnant que le gouvernement fédéral actuel bénéficie d'un important soutien public avec son engagement international envers une transition à la carboneutralité d'ici 2050 et un régime réglementaire qui dirige de grands segments de l'économie vers cet objectif.

Le transport ferroviaire est déjà la façon la plus économe de carburant de transporter les gens et les marchandises par voie terrestre. Alors, comment passer au niveau supérieur, celui de la décarbonation ? Différentes mesures en cours et prévues tracent une feuille de route pour les chemins de fer au cours des décennies à venir. Nous allons voir cela en détail aux pages suivantes en étudiant les défis et les possibilités et en expliquant comment les obstacles potentiels peuvent être surmontés.

### Changements récents

Le secteur ferroviaire transporte environ 320 milliards de dollars de biens par année sur près de 43 000 kilomètres de voies ferrées, partout au pays. Malgré cet impact économique important, les chemins de fer sont parmi les plus faibles émetteurs de gaz à effet de serre (GES). En 2020, le Groupe d'experts intergouvernemental sur

l'évolution du climat a indiqué que le secteur ferroviaire du Canada ne représente que 3,8 % des émissions totales découlant du transport.

Les chemins de fer reconnaissent depuis toujours le rôle qu'ils jouent pour faire progresser le Canada, notamment dans le domaine de la responsabilité environnementale. Le secteur ferroviaire fait le suivi annuel de ses progrès dans le cadre d'un Protocole d'entente (PE) entre l'Association des chemins de fer du Canada et Transports Canada.

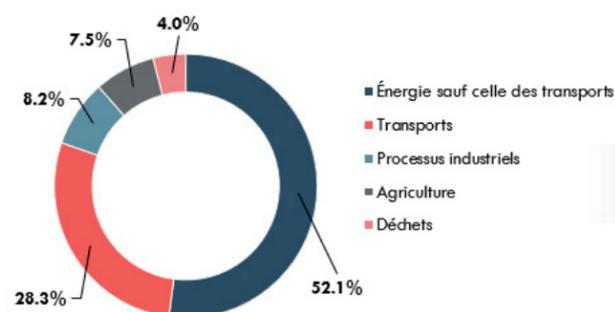
Le plus récent rapport produit dans le cadre de ce PE indique que les investissements innovateurs des chemins de fer dans le renouvellement de leur flotte, les innovations opérationnelles, les technologies d'économie de carburant, la formation des employés et les combustibles faibles en carbone entraînent une réduction des émissions dans le secteur.

Le rapport annuel du Programme de surveillance des émissions des locomotives donne un aperçu de la performance du secteur, notamment :

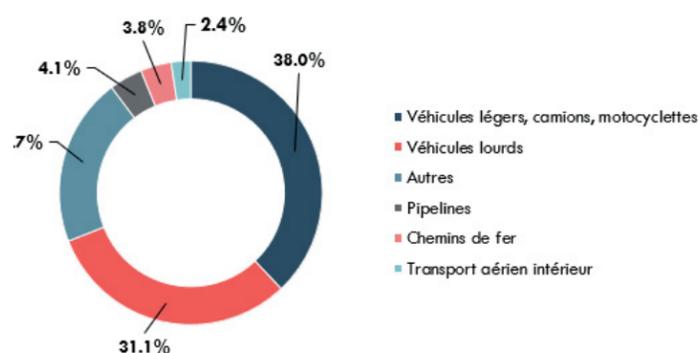
- Transport ferroviaire de marchandises et de voyageurs.
- Consommation de carburant.
- Inventaire de la flotte de locomotives.
- Données sur les émissions de GES et des principaux contaminants atmosphériques (PCA).

En 2020, malgré les différents défis posés par la pandémie de COVID-19, les chemins de fer canadiens ont investi 2,6 milliards de dollars dans de nouvelles technologies et des améliorations à leur réseau. Le secteur du transport ferroviaire de marchandises a affiché sa résilience, gérant efficacement l'incertitude et la volatilité créées par la pandémie.

Émissions de GES au Canada par secteur - 2020



Émissions de GES par secteur du GIEC - 2020



Note : « Autre » comprend les véhicules au propane et au naturel, le transport hors route, maritime, et transport aérien

Figure 1 Émission de GES par secteur du GIEC-2020.

SOURCE: Association des chemins de fer du Canada

Autres points saillants du dernier rapport sur les émissions des locomotives :

- Au cours des trois premières années (2018-2020) du PE quinquennal avec le gouvernement fédéral, les chemins de fer de classe 1 ont atteint 80,6 % de leur objectif de réduction de l'intensité des émissions pour la période visée.
- Depuis 2005, l'intensité des émissions des chemins de fer s'est améliorée de 25,1 %.
- Depuis 2005, malgré une augmentation du trafic ferroviaire de 28 % (mesuré en tonnes-kilomètres commerciales), les émissions de PCA des chemins de fer canadiens ont considérablement diminué : monoxyde de carbone (-5,2 %), oxydes d'azote (-44,1 %), hydrocarbures (-51,1 %), particules (-58,3 %) et dioxyde de soufre (-99,0 %).

de transport terrestre des biens et des personnes le plus économe de carburant – investissent des milliards de dollars dans de nouvelles technologies, des locomotives et des wagons, et des améliorations opérationnelles pour être encore plus respectueux de l'environnement. Et c'est loin d'être terminé.

### À court terme : gains d'efficacité

Les chemins de fer canadiens travaillent avec des organismes sans but lucratif et d'autres partenaires pour élaborer une feuille de route sur la décarbonation du secteur ferroviaire fondée sur les technologies faibles en carbone émergentes. Ces activités reposent sur la compréhension que la trajectoire vers le net zéro se fera en trois « vagues » imbriquées : améliorations de l'efficacité, carburants faibles en carbone et propulsion alternative. L'efficacité est et

## En investissant constamment dans l'efficacité et la durabilité, les chemins de fer marchandises du Canada ont réduit l'intensité de leurs émissions de GES de plus de 45 %.

- En 2020, les chemins de fer canadiens ont modernisé leur flotte en y ajoutant 46 locomotives de niveau 4 et en retirant 149 locomotives principalement de niveau inférieur et non supérieur (les locomotives plus efficaces respectent les exigences sur les émissions les plus sévères).
- 3 109 locomotives (82,8 % de la flotte totale) sont dotées de dispositifs anti-ralentis.

Depuis quelques années, les chemins de fer du Canada – qui sont déjà le mode

doit rester un objectif continu des activités de décarbonation du secteur ferroviaire.

En investissant constamment dans l'efficacité et la durabilité, les chemins de fer marchandises du Canada ont réduit l'intensité de leurs émissions de GES de plus de 45 % depuis 1990. Ces gains sont principalement dus à l'amélioration des moteurs des locomotives et à l'efficacité opérationnelle, ce qui comprend l'exploitation ferroviaire précise.

Il existe de nombreuses façons de continuer à augmenter l'efficacité du secteur ferroviaire, notamment par l'amélioration

de l'aérodynamique des locomotives et des wagons, l'automatisation et les solutions fondées sur des données. L'utilisation de carburants faibles en carbone et les améliorations de l'infrastructure permettent d'augmenter considérablement la capacité et la fluidité du réseau. Ensemble, ces éléments continueront à jouer un rôle essentiel dans la réduction de l'intensité carbone.

Comme ils l'ont toujours fait, les chemins de fer vont continuer à investir dans des mesures d'efficacité qui sont avantageuses dans leur contexte précis : des mesures qui ont un rendement raisonnable et qui permettent de faire des économies à long terme. Les mesures varieront entre les différents chemins de fer en fonction de ces facteurs principalement.

Alors que les améliorations de l'efficacité doivent être et demeurent une priorité pour les chemins de fer (car elles permettent de réduire le fardeau de la décarbonation sur les carburants et la propulsion), des nouveaux outils et des technologies émergentes ont aussi un potentiel de réduire les GES et sont utilisés en parallèle.

La voie vers la décarbonation profonde – selon les délais nationaux de décarbonation et tout en tenant compte des autres modes de transport de marchandises terrestre – nécessite une approche multidimensionnelle et multidirectionnelle.

### En aval : carburants et systèmes de propulsion alternatifs

Les chemins de fer évaluent diverses technologies pouvant contribuer à la décarbonation profonde du secteur, mais la plupart sont nouvelles et peuvent

faire face à des défis de valorisation. Par exemple, le Canadien Pacifique (CP) évalue les piles à hydrogène et la technologie des batteries dans le cadre de son programme innovant de locomotives à hydrogène. Bien qu'il n'existe pas une seule option menant vers la décarbonation profonde, l'industrie ferroviaire canadienne relève le défi de tracer une voie à suivre.

Les deux chemins de fer marchandises, le CP et le Canadien National (CN), et un chemin de fer d'intérêt local, le Southern Railway, en Colombie-Britannique, ont récemment annoncé des projets pilotes visant à tester des technologies de propulsion alternative, et le principal chemin de fer voyageurs du Canada, dont le siège social se trouve à Montréal, a annoncé des plans pour électrifier la majeure partie de ses opérations.

Les carburants alternatifs (faibles en carbone), qui ne permettront probablement pas d'atteindre une décarbonation complète à eux seuls, sont une solution attrayante à court ou moyen terme, surtout s'ils sont combinés à de nouvelles technologies de propulsion alternative. Celles-ci devraient être la solution définitive de la décarbonation, mais il faudra des années, voire des décennies, pour qu'elles soient commercialement viables.

Compte tenu de l'importance de prendre les bonnes décisions en matière d'investissements et de ressources, l'ACFC et ses partenaires ont fait un travail de fond essentiel pour élaborer le Cadre d'évaluation analytique. (Figure 2)

Devant être lancé officiellement à Québec à la fin novembre 2022, il permet de suivre l'évolution du potentiel des carburants et des technologies de propulsion alternatifs pour les chemins de fer du Québec et du Canada. |

NOTE	COÛT				POTENTIEL DE RÉDUCTION DU CARBONE		DÉFIS		
	Développement	Mise en œuvre – Coût en capital	Mise en œuvre – Infrastructure	Exploitation	Potentiel de réduction	Adoption/ Applicabilité	Exploitation	Ravitaillement	Sécurité et conformité réglementaire
SELON	Coût total pour développer, tester et certifier	Coût en capital additionnel par locomotive	Infrastructure de ravitaillement/charge additionnelle requise	Coût d'exploitation additionnel	Potentiel de réduction des GES	Proportion du parc	Complexité, performance, mécanique	Disponibilité (complexité de la chaîne d'approvisionnement comprise), temps	Préoccupations de sécurité, conformité réglementaire
5	Disponible sur le marché : pas de coût de développement	Pas de coût additionnel	Aucune infrastructure additionnelle requise	Économies de >20 %	>80 %	Bien approprié pour le transport de marchandises de grande ligne	Égal au diesel ou meilleur	Égal au diesel ou meilleur	Égal au diesel ou meilleur
4	Presque disponible sur le marché : coût de développement <10 M \$	Jusqu'à 1 million \$	Utilisation de l'infrastructure existante avec modifications	Économies de jusqu'à 20 %	50-80 %	Partiellement approprié pour le transport de marchandises de grande ligne	Faible complexité pour maintenir la fiabilité du système et l'infrastructure existante et/ou entretenir le matériel.	Complexité modérée pour la chaîne d'approvisionnement et/ou les exigences de ravitaillement	Formation et/ou règlements additionnels requis
3	10-50M \$	1-3 millions \$	Nouvelle infrastructure significative requise aux gares de triage seulement	Égal au diesel	30-50 %	Bien approprié pour le matériel de triage	Complexité modérée pour maintenir la fiabilité du système et l'infrastructure existante et/ou entretenir le matériel	Chaîne d'approvisionnement complexe, >2x la durée/ fréquence de ravitaillement/charge	Formation et certification et/ou règlements additionnels requis
2	50-75M \$	3-5 millions \$	Nouvelle infrastructure significative requise aux gares de triage et à d'autres endroits	Jusqu'à deux fois le coût du diesel	10-30 %	Bien approprié pour le transport de passagers	Complexité élevée pour maintenir la fiabilité du système et l'infrastructure existante et/ou entretenir le matériel	Problèmes de disponibilité intermittents, jusqu'à 2x la durée/ fréquence de ravitaillement/charge	Préoccupations de sécurité et/ou règlements additionnels considérables requis
1	Développement significatif requis avec défis complexes : >75M \$	>5 millions \$	Nouvelle infrastructure significative requise sur l'ensemble du réseau	>2x	<10 %	Non approprié pour le transport de marchandises de grande ligne, et partiellement approprié pour le transport de passagers	Risque considérable pour la fiabilité. Risque considérable de perdre un bien.	Problèmes de disponibilité fréquents, jusqu'à 2x la durée/ fréquence de ravitaillement/charge	Graves préoccupations de sécurité, notamment pour le public, et/ou règlements additionnels complets requis
PONDÉRATION	6,7 %	6,7 %	6,7 %	13,3 %	16,7 %	16,7 %	11,1 %	11,1 %	11,1 %
	33,3 %				33,3 %		33,3 %		

Figure 2  
Cadre d'évaluation analytique ve

SOURCE: Association des chemins de fer du Canada

RÉFÉRENCES  
 1 — <https://cleanprosperity.ca/new-poll-shows-voters-still-expect-a-credible-climate-plan>  
 2 — Sondage (en anglais) : [https://cleanprosperity.ca/wp-content/uploads/2022/07/Results\\_of\\_June\\_2022\\_Poll\\_from\\_Leger.pdf](https://cleanprosperity.ca/wp-content/uploads/2022/07/Results_of_June_2022_Poll_from_Leger.pdf)  
 3 — ACFC, Rapport annuel du Programme de surveillance des émissions des locomotives 2020.  
 4 — <https://www.railcan.ca/wp-content/uploads/2022/04/RAC-Environment-White-Paper-FR.pdf>



# Cybersécurité : Comment sécuriser un écosystème ferroviaire de plus en plus connecté

Grégory Lemaire, Louis-Philippe Desjardins  
Deloitte

**Avec une croissance pré-pandémique à des niveaux records, le transport ferroviaire des passagers et des marchandises au Canada est à un point d'inflexion en matière d'investissements financiers et technologiques. Les trains à haute fréquence, la modernisation du transport des marchandises et l'expansion rapide du transport urbain offrent aux consommateurs et aux entreprises des chemins de fer plus sûrs, plus écologiques, plus sécuritaires et plus efficaces. En même temps, la convergence des technologies opérationnelles (TO) avec les technologies informatiques (TI) et l'Internet des objets (IoT) ouvrent la voie à un nombre accru de cyberattaques. Ces attaques demandent un rehaussement de la vigilance et des investissements en cybersécurité de la part des opérateurs ferroviaires afin d'atténuer la menace croissante.**

## Explorer les cyberrisques : sur les rails du numérique

Les Canadiens choisissent le transport ferroviaire en raison de l'évitement du trafic, des préoccupations environnementales, de la fiabilité et de la rentabilité, qui le rendent essentiel pour notre économie. Cependant, en tant que passagers, nous ne réalisons pas toujours les cyberdéfis auxquels nos transporteurs sont confrontés.

Pour illustrer ces défis, prenons l'exemple d'un voyage typique entre Montréal et Toronto.



## Cybersécurité : Comment sécuriser un écosystème ferroviaire de plus en plus interconnecté

Aujourd'hui, les passagers peuvent acheter un billet et sélectionner un siège via une application web ou mobile. Le jour du départ, lorsqu'ils entrent dans la Gare Centrale, ils peuvent utiliser le Wifi, consulter les horaires d'arrivée et de départ des trains grâce à leurs applications et à la signalisation numérique, et accéder au train de leur choix grâce à leur billet numérique. Une fois dans le train, ils peuvent utiliser le Wifi à bord, vérifier l'heure des correspondances, se divertir avec leurs services préférés de musique ou de films en diffusion en continu et réserver leur Uber du dernier kilomètre à temps pour leur arrivée à la station Union à Toronto. À l'avenir, des options sans contact encore plus perfectionnées pour les paiements en gare et à bord seront monnaie courante.



Le voyage invisible qui les a conduits à destination est soutenu non seulement par la technologie opérationnelle (TO), mais aussi par une dépendance croissante et convergente à l'informatique traditionnelle (TI) et à l'Internet des objets (IoT). Cette nouvelle infrastructure TO-TI-IoT doit être conçue, mise en œuvre et réalisée avec la sécurité physique et cybernétique comme impératif non négociable.

## Principaux incidents cybernétiques ferroviaires

La numérisation et l'hyperconnectivité augmentent à la fois la surface d'attaque et le paysage de cybermenace. Récemment, en Amérique du Nord, il a été constaté une augmentation des cyberattaques perpétrées par des nations étrangères. En janvier 2018, une importante agence régionale de transport public au Canada a subi une cyberattaque au cours de laquelle un virus a infecté des ordinateurs. En octobre 2021, un important fournisseur de transport public canadien a subi une attaque par rançongiciel, mais cette cyberattaque n'a

pas entraîné de violation de la vie privée ni compromis les systèmes de sécurité. Par le passé, des cas d'interférence à distance avec les systèmes opérationnels (TO) de transport ferroviaire ont provoqué des perturbations majeures. Plus récemment, dans le cadre du conflit entre l'Ukraine et la Russie, des cyberactivistes ont piraté les opérations ferroviaires afin de ralentir considérablement la circulation des trains. Cela démontre clairement que les attaques directes et indirectes peuvent compromettre les opérations et la sécurité des principaux chemins de fer au Canada.

## Construire un écosystème ferroviaire plus sûr : investissements et priorités

Pour améliorer la sécurité des passagers, l'adoption de lignes directrices telles que la *Stratégie* sur la cybersécurité des véhicules de Transports Canada et la *Loi* sur la sécurité ferroviaire est essentielle à mesure que l'infrastructure continue d'évoluer.

D'un point de vue économique, le Forum économique mondial indique que, grâce à la numérisation et à la convergence des technologies, l'industrie de la logistique pourrait réaliser une valeur potentielle estimée à 4 000 milliards de dollars US d'ici 2025. En conséquence, les dépenses et les investissements du marché de la cybersécurité ferroviaire (tant pour les passagers que pour le fret) devraient passer de 6,7 milliards de dollars américains en 2022 à 12,6 milliards de dollars US en 2028, avec un TCAC estimé à 11,1 % entre 2022 et 2028, démontrant l'intention de l'industrie ferroviaire de sécuriser correctement ses infrastructures critiques.

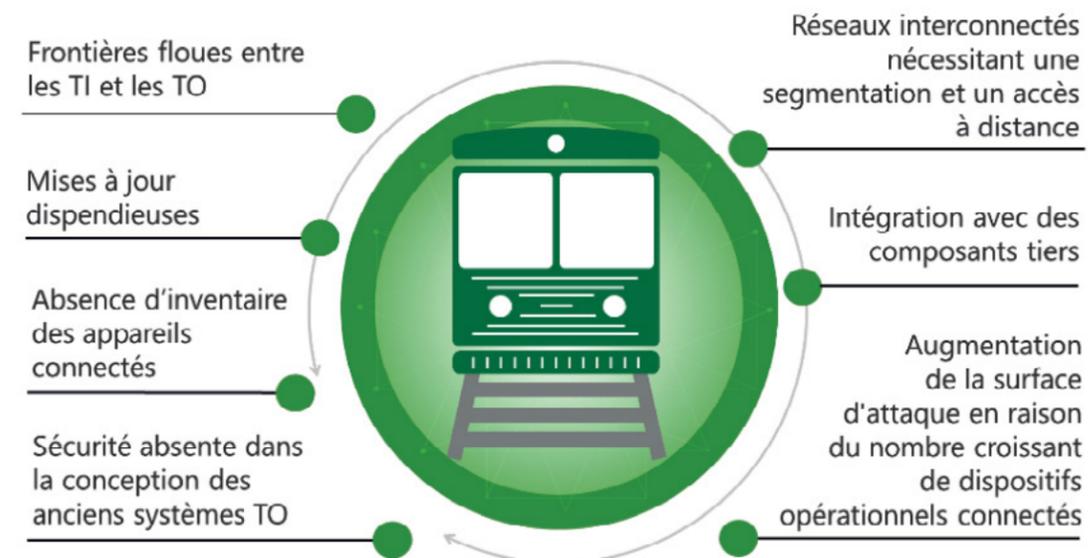
## Cybersécurité : Comment sécuriser un écosystème ferroviaire de plus en plus interconnecté

Nous entrons donc dans une période charnière, faite d'opportunités et de menaces. Les nouveaux systèmes convergents To-TI-IoT en cours d'élaboration ouvriront la porte à de nombreuses améliorations, mais pourront également présenter des vulnérabilités s'ils ne sont pas élaborés de manière sécurisée dès la conception.

Traditionnellement, les systèmes opérationnels, qui font référence au matériel et aux logiciels qui facilitent le contrôle et la surveillance de l'infrastructure ferroviaire (tels que les limiteurs de vitesse et le freinage, les outils du conducteur, la gestion du contrôle des trains, les systèmes de contrôle automatiques des trains, la signalisation, le contrôleur embarqué des véhicules, les systèmes d'exploitation automatique des trains), sont segmentés du réseau informatique et utilisent des protocoles industriels et des logiciels personnalisés, les rendant plus difficiles à attaquer. Aujourd'hui, à mesure qu'ils évoluent, les environnements TO sont de plus en plus interconnectés et une mauvaise segmentation du réseau pourrait permettre à des acteurs malveillants de s'introduire dans les systèmes vulnérables et de se déplacer latéralement vers des infrastructures critiques.

Pour que l'industrie ferroviaire canadienne soit compétitive, nous devons donc entrer prudemment dans l'ère de l'Internet des objets orientée vers le consommateur, du rail autonome, de l'intelligence artificielle (IA) et de la technologie 5G. Le remplacement de la technologie actuelle GSM-R et 4G jouera un rôle crucial pour fournir une surveillance précise des trains et des infrastructures en temps réel. Pour les passagers, cela signifie des informations rapides et fiables en temps réel sur les fermetures de trains, les retards, les achats de billets sans papier, etc. Pour le personnel du transport ferroviaire, les informations acheminées par la 5G, telles que les données de capteurs de systèmes critiques, faciliteront la prise de décision et amélioreront la sécurité et la fiabilité du réseau.

L'évolution et la mise en œuvre des changements susmentionnés nécessiteront de la prévoyance et un engagement envers la sécurité des infrastructures et des passagers. La vision d'un système sûr et cybersécurisé doit être au premier plan de la stratégie de conception des infrastructures ferroviaires de demain.



**Figure 1**  
Défis de la sécurisation des infrastructures ferroviaires

SOURCE:  
DELOITTE

## Cybersécurité : Comment sécuriser un écosystème ferroviaire de plus en plus interconnecté

**Figure 2**  
Cadre de gouvernance, sûreté, vigilance et résilience

SOURCE:  
DELOITTE

	<b>Gouvernance</b> Renforcer vos politiques, normes, gouvernance, stratégies et mesures de sécurité.	<b>Sûreté</b> Être sûr signifie disposer de contrôles priorités en fonction des risques pour se défendre contre les menaces connues et émergentes.	<b>Vigilance</b> Être vigilant signifie disposer de renseignements sur les menaces et d'une connaissance de la situation pour identifier les comportements nuisibles.	<b>Résilience</b> Être résilient signifie avoir la capacité de se rétablir et de minimiser l'impact des cyberincidents.
<b>STRATÉGIE &amp; GOUVERNANCE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Évaluation de la posture et de la maturité en matière de cybersécurité</li> <li>Stratégie et feuille de route en matière de cybersécurité</li> <li>Évaluation des sites industriels</li> <li>Architecture de sécurité de l'entreprise et des opérations</li> <li>Évaluation des risques liés aux tiers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestion des identités et des accès</li> <li>Protection des données</li> <li>Sécurité et intégrité des applications d'entreprise</li> <li>Sécurité de l'infrastructure TI</li> <li>Sécurité de l'infrastructure TO</li> <li>Gestion de la configuration de la sécurité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimisation des opérations de sécurité</li> <li>Gestion et surveillance des actifs</li> <li>Renseignements sur les menaces et analyse</li> <li>Gestion des vulnérabilités</li> <li>Évaluations des compromis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exercice d'équipe rouge (Red Team)</li> <li>Gestion de crise</li> <li>Réponse aux cyberincidents</li> <li>Jeux de rôle cybernétiques</li> <li>Résilience technique</li> <li>Continuité de la gestion des affaires</li> <li>Reprise après attaque</li> </ul>
<b>GESTION &amp; SERVICES</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestion des opérations de sécurité</li> <li>Gestion des identités</li> <li>Gestion de la configuration</li> <li>Prévention des pertes de données</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse et renseignement sur les menaces</li> <li>Surveillance de la sécurité</li> <li>Gestion des vulnérabilités</li> <li>Surveillance de la conformité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Surveillance et gestion de crise en tant que service</li> <li>Réponse aux cyberincidents</li> <li>Résilience en tant que service</li> </ul>

## Construire un écosystème robuste : L'avenir des chemins de fer

Les consommateurs s'attendent à de plus en plus de commodités et de rapidité dans leur vie quotidienne. Pour le transport public et les chemins de fer de passagers, cela signifie que les entreprises devront évoluer et s'adapter pour rester en tête dans cette nouvelle ère d'innovation passionnante. Pour les voyageurs individuels, la transformation numérique impliquera des paiements sans contact, la disponibilité du Wifi, la réduction des retards des trains, des informations en temps réel et des systèmes de divertissement à bord.

Les entreprises et les consommateurs pourront aussi bénéficier de l'amélioration de la sécurité par un contrôle ferroviaire de plus en plus surveillé et automatisé. L'intelligence

artificielle (IA) permettra d'analyser d'énormes quantités de données provenant de capteurs embarqués et de sources externes afin de réduire les erreurs humaines. Ce sera aussi l'un des facteurs qui contribueront à réduire les coûts d'exploitation et à améliorer la planification et la maintenance. Dans ce nouvel environnement, les régulateurs devront également s'adapter afin d'utiliser pleinement les nouvelles capacités technologiques. Les réglementations actuelles qui exigent une inspection manuelle devront être ajustées, car la technologie peut offrir des solutions d'inspection plus rapides, plus sûres et plus précises. Toutes ces avancées dans les années à venir permettront d'apporter des changements positifs et de rester compétitif dans le secteur des transports ferroviaires, qui évolue rapidement et en permanence.

Dans ce contexte, la sécurisation des réseaux ferroviaires doit être une priorité. Les considérations doivent inclure :

## Cybersécurité : Comment sécuriser un écosystème ferroviaire de plus en plus interconnecté

- Établir un modèle de gouvernance clair en matière de cybersécurité.
- Réaliser l'inventaire des actifs technologiques actuels, ainsi que les profils de risque associés.
- Comblent les écarts traditionnels entre l'écosystème TI et TO.
- Adopter des nouvelles stratégies de sécurité telles que la Confiance Zéro.

protéger cette infrastructure nationale essentielle.



Dans un contexte de cybermenaces accrues, les organisations doivent rehausser leur vigilance et faire des investissements importants en matière de cybersécurité pour combattre le nombre croissant d'attaques sur les infrastructures critiques. Ceci permettra au voyageur d'aujourd'hui et de demain de se déplacer en toute confiance, sachant que sa sécurité sera assurée et que ses données personnelles seront protégées. |

#### RÉFÉRENCES

- 1 — <https://www.publicsafety.gc.ca/cnt/rsrscs/pblctns/rsinc-gnst-trrrsm/index-en.aspx>
- 2 — <https://www.publicsafety.gc.ca/cnt/rsrscs/pblctns/rsinc-gnst-trrrsm/index-en.aspx>
- 3 — <https://www.cyberscoop.com/belarusian-hacktivists-launch-another-attack-russia-cyber-hackivism/>
- 4 — [https://www.reportlinker.com/p06321069/Railway-Cybersecurity-Market-Forecast-to-COVID-19-Impact-and-Global-Analysis-By-Offering-Solution-and-Services-Security-Type-Type-Operational-Technology-and-Information-Technology-and-Application.html?utm\\_source=GNW](https://www.reportlinker.com/p06321069/Railway-Cybersecurity-Market-Forecast-to-COVID-19-Impact-and-Global-Analysis-By-Offering-Solution-and-Services-Security-Type-Type-Operational-Technology-and-Information-Technology-and-Application.html?utm_source=GNW)

## En conclusion

Historiquement, alors que de nombreuses industries et secteurs étaient la cible de cyberattaques, les infrastructures ferroviaires n'étaient pas considérées comme une cible de choix, principalement en raison de l'isolement entre les systèmes informatiques (TI) et les systèmes opérationnels (TO) dans son écosystème. À mesure que les chemins de fer évoluent vers un écosystème interconnecté, la cybersécurité devient une considération primordiale pour



SOURCE:  
Alstom



## La propulsion verte, l'alternative ferroviaire pour lutter contre le réchauffement climatique

Adrien Vernhes  
Alstom

La situation est sans appel : le monde vit une urgence climatique étayée par les autorités scientifiques et réduire les émissions de gaz à effet de serre est critique pour respecter les objectifs de l'Accord de Paris de 2015. L'Amérique du Nord ne fait pas exception et cherche de nouvelles manières de consommer, travailler, se nourrir ou se déplacer. À travers les États, provinces et pays, le transport moyen et de longue distance de marchandises et de passagers, principalement tributaires de la route et d'énergies fossiles, cherche un second souffle. Dans les villes, la dégradation de la qualité de l'air doublée de la congestion automobile obligent à repenser la mobilité urbaine et périurbaine pour rendre les métropoles plus belles, mieux connectées, plus vertes et *in fine* plus vivables.

L'industrie ferroviaire a un rôle prépondérant à jouer dans cette transition. Le train est social ; il regroupe quand la voiture individuelle sépare. Il est un outil d'aménagement du territoire efficace et sécuritaire. Et il est respectueux de l'environnement : en moyenne, un voyageur d'un train à grande vitesse émet 50 fois moins de CO<sub>2</sub>/km qu'en empruntant un vol moyen-courrier, un train de marchandises 14 fois moins de CO<sub>2</sub>/km

Revue Routes et

transports DÉMARQUEZ-VOUS

RÉSERVEZ  
VOTRE PUBLICITÉ !

POUR CONNAITRE NOS TARIFS  
communication@aqtr.com

AQTr  
L'expertise en transport