



Place du Centre, 4^e étage
200, promenade du Portage
Gatineau (Québec) K1A 1K8

Le 3 février 2023

Wendy Stephanson
Interim City Manager
110, avenue Laurier Ouest
Ottawa (Ontario) K1P 1J1

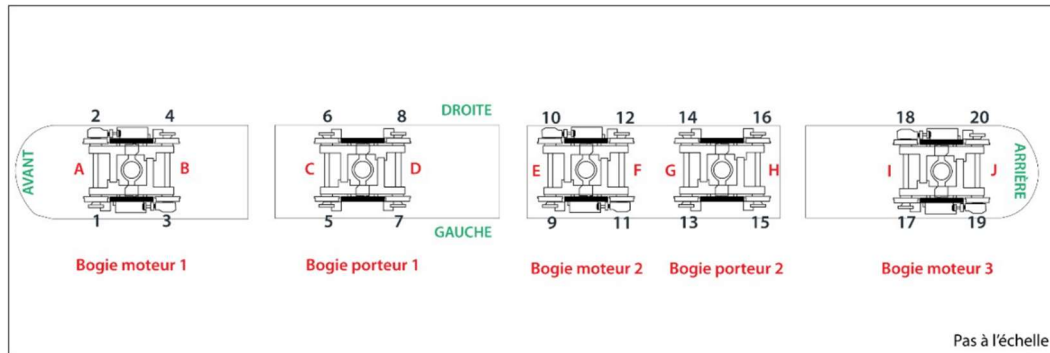
**Objet : Lettre d'avis sur la sécurité du transport ferroviaire 01/23
(événement R22H0037)
Défaillances continues des ensembles de roulement cartouches à rouleaux
sur les véhicules du train léger sur rail d'Ottawa**

Le 14 septembre 2019, dans le cadre de l'étape 1 du projet de train léger sur rail d'Ottawa (TLRO), on a commencé l'exploitation de la ligne de la Confédération comptant 13 stations et de 12,5 km de long à Ottawa (Ontario), à des vitesses pouvant atteindre 90 km/h. Le véhicule choisi pour l'exploitation du TLRO était le véhicule léger sur rail (VLR) Citadis Spirit¹, monté sur des bogies Iponam² (figure 1). Le VLR et les bogies ont été spécialement conçus et fabriqués par Alstom pour le projet de TLRO. Les responsables du TLRO ont acheté 34 de ces véhicules (numérotés de 1101 à 1134) pour l'étape 1; habituellement, 2 VLR sont exploités ensemble et constituent une rame de train de banlieue.

¹ « VLR » est un sigle utilisé en Amérique du Nord pour désigner un tram. Les VLR sont généralement exploités dans des réseaux qui transportent entre 3000 et 10 000 passagers par heure et par direction. À titre de comparaison, un métro est un réseau ferroviaire plus lourd qui transporte entre 10 000 et 50 000 passagers (ou plus) par heure et par direction.

² Le terme « bogie » est couramment utilisé dans l'industrie afin de décrire un chariot situé sous un véhicule ferroviaire, y compris les VLR destinés au transport de navetteurs, sur lequel sont fixés les essieux et les roues. Le bogie Citadis Spirit nommé « Iponam » (Ixège POur North AMERICA) représente une évolution du bogie classique Ixège d'Alstom utilisé pour les systèmes de VLR à Paris, en France, et à Istanbul, en Turquie.

Figure 1. Schéma du VLR illustrant les bogies, les emplacements des essieux A à J et les positions des roues 1 à 20 (Source : BST)

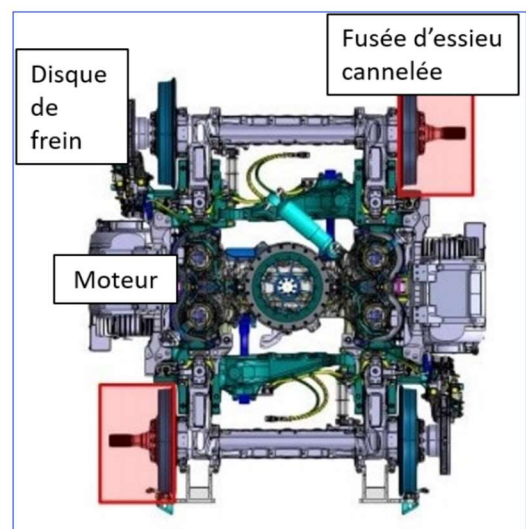


Entre autres, chaque bogie est muni de 4 ensembles de roues résilientes et de 2 ensembles d'essieux. Chaque ensemble d'essieux comprend 2 moyeux à roues et 2 sous-ensembles de roulements cartouches à rouleaux (ensembles de cartouches) reliés par un essieu cannelé.

Les ensembles de cartouches sont situés sur l'intérieur des roues, et les roues sont fixées à l'extérieur de chaque moyeu à roue par des boulons pour former l'ensemble de bogies. Chaque ensemble de cartouche relie l'essieu cannelé au train de roues, ce qui permet aux roues de tourner. L'ensemble de cartouche a été conçu et fabriqué par Texelis à Limoges, en France, d'après les caractéristiques d'Alstom pour l'ensemble d'essieux complet. Puis, elle a été expédiée au Canada pour l'installation. Les composants de la cartouche sont empilés et maintenus par un gros écrou de blocage (écrou de butée). Un ensemble de cartouche est installé à chaque extrémité d'un essieu cannelé à l'aide de boulons. Chaque cartouche comprend 2 ensembles de roulements à rouleaux coniques, une entretoise et un moyeu d'essieu, parmi d'autres composants. La durée de vie prévue d'une cartouche est de 1,2 million de km.

Les bogies moteurs sont équipés de 1 moteur de traction monté sur chaque côté du bogie (2 moteurs au total par bogie). Chaque moteur de traction est lié à un système d'entraînement du train de transmission qui s'adapte à la fusée d'essieu cannelée, ce qui complète la transmission. Chaque train de roues contient un système d'entraînement avec essieu cannelé et train de transmission d'un côté et un disque de frein de l'autre côté (figure 2).

Figure 2. Schéma d'un bogie (Source : Alstom, avec annotations du BST)



Déraillement en voie principale du véhicule léger sur rail 1119 du réseau de train léger sur rail d'Ottawa survenu le 8 août 2021

Le 8 août 2021, un train de banlieue du TLRO qui circulait en direction est a déraillé à environ 90 m à l'est de la station Tunney's Pasture, à Ottawa. Il a été déterminé que la roue n° 3 du VLR 1119 s'était détachée de l'essieu en raison de la défaillance catastrophique d'un roulement à rouleaux, qui n'avait pas été détectée auparavant, ainsi que de la rupture par surchauffe subséquente de la fusée d'essieu. Il n'y avait aucun passager à bord au moment de l'événement (événement R21H0099 du BST).

À la suite du déraillement, toute la flotte de VLR du TLRO a été retirée du service afin de procéder à des mesures du jeu axial (jeu) des ensembles de cartouches (20 par VLR). Les ensembles de cartouches dont le jeu mesuré présente un excédent de 0,1 mm ont nécessité le remplacement de l'ensemble de cartouche par un nouvel ensemble, et une nouvelle inspection périodique a été mise en place pour mesurer le jeu de la cartouche sur tous les VLR aux 7500 km, de façon continue.

Cette première inspection du parc a permis d'identifier 1 cartouche détruite sur le VLR 1119 et 17 autres ensembles de cartouches desserrés sur 9 autres VLR avec des jeux libres entre 0,12 mm et 0,89 mm.

Pendant l'inspection du parc, on a repéré 3 cartouches desserrées sur le VLR 1121, à la position de la roue n° 11 du bogie moteur 2 (BM2) et aux positions des roues n° 17 et n° 19 du bogie moteur 3 (BM3). Le VLR 1121 a été retenu à l'installation d'entretien et de remisage du triage Belfast du TLRO pour effectuer des réparations, où les 3 cartouches desserrées ont été remplacées entre le 8 et le 11 septembre 2021. Le VLR 1121 a été libéré de l'installation d'entretien et de remisage le 13 septembre 2021 et a repris le service de transport de passagers le 14 septembre 2021.

Le 27 septembre 2021, le BST a émis l'Avis de sécurité ferroviaire (ASF) 617-02/21³ concernant la défaillance d'ensembles de roulements cartouches à rouleaux qui a causé le déraillement. L'ASF indiquait qu'il pourrait être souhaitable que les responsables du TLRO s'assurent que des systèmes de détection de surchauffe sont en place pour surveiller la température des ensembles de roulements cartouches à rouleaux de VLR, afin de détecter tout roulement à rouleau qui surchauffe et d'intervenir avant qu'une défaillance catastrophique de roulement à rouleaux en service ne survienne.

À ce jour, outre la surveillance continue du jeu de l'ensemble de cartouche, aucune mesure concrète n'a été prise pour remédier à la lacune de sécurité relevée dans l'ASF.

³ Avis de sécurité ferroviaire 617-02/21 du BST, « Défaillance d'un roulement à rouleaux ayant mené au déraillement d'un véhicule du réseau de train léger sur rail d'Ottawa » (émis le 27 septembre 2021).

Déraillement en voie principale du véhicule léger sur rail 1121 du réseau de train léger sur rail d'Ottawa survenu le 19 septembre 2021

Le 19 septembre 2021, le train de banlieue 1121-1138 du TLRO circulait en direction ouest sur la voie 1 lorsque le BM2 du VLR 1121 qui était en queue de train a déraillé près du milieu de la plateforme nord de la station Tremblay lorsqu'il quittait la station. Le train a continué à dérailler sur environ 1400 pieds, sur le pont au-dessus de la promenade Riverside, après quoi il a entrepris un freinage d'urgence et s'est immobilisé juste à l'ouest du pont ferroviaire. Les 12 passagers et 1 conducteur au moment des faits ont été évacués dès qu'il a été possible de le faire de manière sécuritaire. Il n'y a eu aucun blessé (événement R21H0121 du BST).

Le 2 novembre 2021, le BST a émis l'ASF 617-03/21⁴, qui indiquait que les boulons servant à fixer la fusée d'essieu cannelée au moyeu de la roue à la position de roue n° 11 du BM2 du VLR 1121 n'avaient pas été serrés au couple approprié pendant la remise à neuf. On a ensuite autorisé la remise en service du VLR 1121 sans un ensemble complet de données sur le serrage ni une vérification que le travail avait été fait. Puisqu'ils n'ont pas été serrés au couple approprié, les 12 boulons de fixation ont cédé après seulement 800 km de service. La défaillance des boulons a causé une déconnexion du système d'entraînement du train de transmission de la position de roue n° 11. Le système d'entraînement est tombé du VLR et a heurté l'infrastructure de la voie, ce qui a causé le déraillement.

Dans ce cas, le VLR 1121 a été réparé et autorisé à quitter l'atelier, mais une composante essentielle à la sécurité a cédé et a causé un grave accident dans les 5 jours suivant la remise en service du VLR. L'accident a démontré qu'il peut y avoir des conséquences graves lorsque la maintenance des composantes essentielles à la sécurité d'un VLR est incomplète et effectuée de manière non systématique. L'ASF indiquait que le TLRO pourrait souhaiter mener un examen approfondi du travail effectué sur les composantes essentielles à la sécurité pour vérifier que les procédures sont suivies et que la surveillance effectuée est adéquate pour empêcher qu'un événement similaire ne survienne. Depuis la diffusion de l'ASR, des mesures ont été prises pour améliorer les procédures d'entretien et la surveillance des travaux effectués à l'installation d'entretien et de remisage sur les VLR du TLRO.

⁴ Avis de sécurité ferroviaire 617-03/21 du BST, « Procédures de travail relatives à la maintenance des véhicules du Train léger sur rail d'Ottawa » (émis le 2 novembre 2021).

Défaillance du véhicule léger sur rail 1127 du réseau de train léger sur rail d'Ottawa survenue le 21 juillet 2022

Le 21 juillet 2022, un conducteur du TLRO a signalé que le VLR 1127 avait connu une vibration inhabituelle pendant le service. Le VLR 1127 a par la suite été retiré du service et amené à l'installation d'entretien et de remisage pour inspection (événement R22H0037 du BST).

Le 23 juillet 2022, lors de l'inspection du jeu des 20 ensembles de cartouches des VLR, l'ensemble du disque de frein de l'essieu 1 du BM1 (position de roue 1) a affiché un jeu 10 fois supérieur à la limite maximale. L'ensemble a été retiré, et un examen plus poussé a permis de constater que le moyeu d'essieu était si gravement endommagé qu'une défaillance catastrophique aurait été probable s'il était resté en service (figure 3).

Par la suite, 3 ensembles de cartouches ont été envoyés au Laboratoire d'ingénierie du BST aux fins d'examen approfondi (tableau 1).

Figure 3. Moyeu d'essieu rompu du véhicule léger sur rail 1127 (Source : BST)



Tableau 1. Liste des 3 ensembles de cartouches soumis à l'examen du BST

VLR	Essieu	Position de roue	Côté	Kilométrage cumulé (km)	Date de la dernière inspection	Kilométrage depuis la dernière inspection (km)
1127	A	1	Disque de frein (rompu)	197 967	8 juillet 2022	4493
1127	A	2	Moteur	197 967	8 juillet 2022	4493
1131	B	3	Moteur	240 597	3 août 2022	3201

Examen de 3 ensembles de cartouches par le BST

Le moyeu d'essieu rompu du VLR 1127 a été examiné au Laboratoire d'ingénierie du BST aux microscopes optique et électronique à balayage (MEB). À l'examen aux MEB, les surfaces de rupture présentaient des indications de marques dentelées, étroitement associées à des ruptures par fatigue classiques. Le point d'origine de la rupture a été trouvé à l'extrémité chanfreinée du moyeu d'essieu.

Le chemin de roulement intérieur du cône de l'ensemble du grand cône s'était rompu. Il s'agissait d'une rupture en surcharge instantanée, et non d'une rupture par fatigue. Les

surfaces de rupture du chemin de roulement montraient la présence d'oxydation, ce qui donne à penser que la rupture du chemin de roulement était présente depuis un certain temps avant la défaillance du moyeu d'essieu. Le chemin de roulement du cône présentait un certain écaillage, qui s'est fort probablement produit à la suite de la rupture.

Lors des examens des ensembles de cartouches, des zones de décoloration attribuables à la chaleur ont été observées sur plusieurs composants, et l'état de certains échantillons de graisse donnait à penser que les ensembles avaient été soumis à un événement thermique supérieur à la moyenne, probablement lié à la détérioration des ensembles de cartouches.

En résumé, les 3 ensembles de cartouches examinés par le BST présentaient de nombreux modes de rupture. Ces modes comprenaient des ruptures par fatigue, la fatigue de contact de roulement, l'usure de surface, l'usure d'impact, l'érosion environnementale et l'usure par frottement. Les dommages observés étaient largement répandus dans les ensembles de cartouches et ne se limitaient pas à un composant en particulier. Par conséquent, il n'a pas été possible de déterminer celui des mécanismes de défaillance observés qui s'était produit en premier. Toutefois, d'après les observations effectuées, il est possible d'affirmer ce qui suit.

1. Les matériaux utilisés dans la fabrication des composants étaient conformes aux dessins techniques ou aux spécifications du fabricant.
2. Il y avait des preuves évidentes de rupture par fatigue dans le moyeu, de rupture fragile par contrainte excessive dans le chemin de roulement interne et l'entretoise du grand roulement, et d'écaillage sur le chemin de roulement de l'ensemble de cartouche rompu de l'essieu A du VLR 1127, position de roue 1.
3. Lorsqu'il y a du jeu se développe dans les ensembles de cartouches Texelis, des dommages importants aux pièces internes peuvent entraîner la surchauffe des roulements à rouleaux et le déraillement.
4. Les défaillances des ensembles de cartouches sont plus fréquentes dans les ensembles de bogies moteurs.
5. Le kilométrage cumulé au moment de la mise hors service est nettement inférieur aux normes de l'industrie pour les ensembles de cartouches.

Le 29 juillet 2022, étant donné que le moyeu d'essieu de l'ensemble de cartouche du côté du disque de frein de l'essieu 1127 du VLR s'était rompu dans un intervalle inférieur à 7500 km (4393 km) depuis l'inspection précédente, Alstom a révisé les intervalles d'inspection du jeu des ensembles de cartouches des VLR, comme suit :

- l'intervalle d'inspection de 7500 km doit être maintenu sur tous les essieux dont le kilométrage cumulé est inférieur à 175 000 km;
- les essieux des 3 bogies intermédiaires des VLR doivent être inspectés tous les 3750 km lorsque le kilométrage est supérieur à 175 000 km;

- les essieux du bogie moteur à chaque extrémité du VLR doivent être remplacés lorsque le kilométrage cumulé dépasse 175 000 km.

Étant donné que les VLR du TLRO n'ont pas de système automatisé de détection de la chaleur des ensembles de cartouches à bord, les inspections du jeu continuent d'être nécessaires. Toutefois, cette tâche d'entretien supplémentaire exige beaucoup de travail et de temps pour un composant qui devrait durer plus de 1,2 million de kilomètres.

Analyse des résultats de l'inspection périodique de l'ensemble de cartouche

À la suite du déraillement du VLR 1119 survenu le 8 août 2021, Alstom a mis en œuvre une nouvelle inspection périodique visant à mesurer et à enregistrer le jeu de l'ensemble de cartouche sur tous les VLR tous les 7500 km, de façon continue. Le BST a examiné les données enregistrées lors de ces inspections pour la période du 8 août 2021 au 11 août 2022. Au total, plus de 11 000 mesures individuelles du jeu ont été effectuées, et les observations suivantes ont été faites.

- En tout, 68 ensembles de cartouches avaient un jeu supérieur à la limite critique de 0,004 pouce (0,1 mm), les mesures allant de 0,005 pouce (0,12 mm) à 0,035 pouce (0,89 mm). Cela a entraîné le remplacement de 68 essieux et de 136 ensembles de cartouches.
- Des 68 ensembles de cartouches rompus, 63 provenaient de bogies moteurs, tandis que 5 seulement provenaient de bogies porteurs.
 - Des 63 défaillances d'ensembles de cartouches de bogies moteurs, 57 % (36 sur 63) se sont produites du côté du moteur du train de transmission, et 43 % (27 sur 63), du côté du disque de frein.
- Au moment du remplacement, les ensembles de cartouches avaient accumulé entre 64 140 km et 233 042 km de service; le kilométrage moyen au moment du remplacement était égal à 140 219 km.

Développement du véhicule léger sur rail Citadis Spirit d'Alstom pour le réseau de train léger sur rail d'Ottawa

Alstom est l'un des principaux fabricants de VLR de banlieue et a mis en œuvre avec succès des conceptions pour d'autres projets de VLR de banlieue dans le monde entier, notamment à Istanbul, en Turquie (Citadis X01), et à Paris, en France (Citadis Dualis), pour n'en nommer que quelques-uns. Il s'agit de 2 plateformes de VLR bien établies qui ont connu peu de problèmes de fiabilité signalés. En revanche, le VLR Citadis Spirit d'Alstom construit pour le TLRO a connu de nombreux problèmes de fiabilité et 2 déraillements graves sur la voie principale depuis sa mise en service. Les 3 modèles de VLR d'Alstom sont équipés du même ensemble de cartouche. Le tableau 2 présente une brève comparaison de certaines des différences entre les 3 modèles de VLR d'Alstom.

Tableau 2. Différences entre les 3 modèles de véhicules légers sur rail d'Alstom

Élément	Istanbul (Citadis X01)	Paris (Citadis Dualis)	Ottawa (Citadis Spirit)
Nombre d'essieux	6	10	10
Nombre de bogies moteurs	2	3	3
Nombre de bogies porteurs	1	2	2
Longueur du VLR	28 m	42 m	48 m
Masse à vide du VLR	42 tonnes	77 tonnes	81 tonnes
Masse en charge du VLR	57 tonnes	99 tonnes	113 tonnes
Type de bogie	Ixège	Ixège	Iponam
Châssis de bogie	Rigide	Rigide	Articulé
Suspension	Caoutchouc	Caoutchouc	Ressort en acier et coussin d'air
Moteur	Moteur à aimant permanent (PMM)*	PMM	Induction**

* Un PMM est un moteur électrique à vitesse synchrone qui tourne à une vitesse constante (tours par minute) et a un couple uniforme.

** Un moteur à induction est un moteur électrique asynchrone qui peut produire plus de puissance et un couple plus élevé à des vitesses plus faibles qu'un PMM. Les arrêts-démarrages multiples utilisant des moteurs à induction peuvent introduire des contraintes et des fluctuations de couple plus importantes sur les éléments du train de transmission.

En janvier 2012, Alstom a présenté pour le projet de TLRO une proposition qui correspondait à la spécification technique initiale de la Ville d'Ottawa. Le concept proposé était un VLR de 29 m de long qui s'inspirait étroitement du Citadis Dualis de Paris. La soumission initiale d'Alstom ne répondait pas aux exigences de la Ville d'Ottawa, et Alstom a été disqualifiée du processus.

Peu après, la Ville d'Ottawa a modifié les exigences et demande désormais des VLR pouvant transporter jusqu'à 24 000 passagers par heure et par direction à des vitesses allant jusqu'à 100 km/h. Il s'agissait d'une exigence de service plus typique d'un système de métro de plus grande capacité. Par la suite, le Groupe de transport Rideau (GTR) a demandé à Alstom de fournir des VLR pour le projet. Alstom a indiqué au GTR que les trains souhaités par la Ville d'Ottawa n'existaient pas encore, mais qu'ils pouvaient être développés. Cela a conduit au développement de la plateforme VLR Citadis Spirit, plus longue, plus lourde et plus rapide, ainsi qu'au développement des nouveaux bogies de moteur Iponam alimentés par des moteurs à induction, similaires à ceux utilisés pour le métro de New York.

Le moteur à induction utilisé pour le Citadis Spirit produit plus de couples et entraîne une accélération plus rapide que les PMM utilisés pour les VLR d'Istanbul et de Paris. Avec une vitesse d'exploitation initiale de 90 km/h et 13 stations sur la ligne de la

Confédération du TLRO, longue de 12,5 km, les démarrages et arrêts fréquents pourraient potentiellement introduire une usure accélérée des composants d'entraînement et de freinage des bogies moteurs. Cette observation est conforme à l'analyse par le BST des inspections d'ensembles de cartouches, qui a révélé que la plupart des 68 défaillances d'ensembles de cartouches s'étaient produites dans des bogies moteurs (63) : 57 % (36 sur 63) du côté du moteur du train de transmission et 43 % (27 sur 63) du côté du disque de frein.

À ce jour, il y a eu 2 déraillements graves en voie principale et 1 défaillance presque catastrophique d'un composant, tous mettant en cause des ensembles de cartouches de VLR du réseau de TLRO. Bien que les matériaux utilisés pour fabriquer les ensembles de cartouches soient conformes aux spécifications du fabricant, les 3 ensembles de cartouches examinés par le BST présentaient de nombreux modes de défaillance. Les dommages observés étaient largement répandus dans les ensembles et ne se limitaient pas à un composant en particulier. De plus, des zones de décoloration attribuable à la chaleur ont été observées sur plusieurs composants, et l'état de certains échantillons de graisse donnait à penser que les ensembles avaient été soumis à un événement thermique supérieur à la moyenne, probablement lié à la détérioration des ensembles de cartouches qui est passée inaperçue.

Dans les cas cités, la cause fondamentale des défaillances de l'ensemble de cartouche ne peut être attribuée à un seul composant. Il est probable que la combinaison des VLR de nouvelle conception, des nouveaux bogies Iponam et d'un train de transmission plus puissant joue un rôle dans la défaillance des ensembles de cartouches.

Ces défaillances d'ensembles de cartouches continuent de poser un risque pour la sécurité jusqu'à ce que les problèmes soient résolus. Par conséquent, la Ville d'Ottawa pourrait souhaiter s'assurer que toutes les parties concernées par le projet de TLRO travaillent ensemble pour résoudre les problèmes de conception, d'exploitation et d'entretien qui menacent la sécurité, au fur et à mesure qu'ils se présentent. De plus, les parties concernées devraient s'assurer que des systèmes efficaces de surveillance à bord des composants critiques pour la sécurité des VLR, comme les ensembles de roulements cartouches à rouleaux, sont mis en place pour protéger le public voyageur.

Le BST souhaiterait être informé des mesures qui seront prises, le cas échéant, à cet égard.

Veuillez agréer, mes salutations distinguées.

Vincenzo De Angelis

Vincenzo De Angelis
Directeur, Enquêtes - Rail/Pipeline

C.C.

Renée Amilcar
Directrice générale, Services de transport en commun
Ville d'Ottawa

Duane D. Duquette
Chef adjoint de la sécurité, Services de transport en commun
Ville d'Ottawa

Nicolas Truchon
Chef de la direction
Groupe de transport Rideau (partenariat général)

James Messel
Directeur, Services techniques
Rideau Transit Maintenance

Jean-François Plante
Chef, Services de qualité, Amérique du Nord
Alstom

Thomas Nguyen Quoc
Ingénieur de maintenance
Texelis

Stephen Scott
Directeur général, Sécurité ferroviaire
Transports Canada

Personnes-ressources du BST

Rob Johnston
Gestionnaire, Opérations de l'administration centrale et de la Région du centre
613-371-9195
Rob.Johnston@bst-tsb.gc.ca

Ken Miller
Enquêteur principal régional, Région du centre
613-371-9197
Ken.Miller@bst-tsb.gc.ca