

DÉFIS LIÉS À L'EXPLOITATION HIVERNALE DE TUNNELS AUTOROUTIERS URBAINS

Alexandre Debs, ing., M.Sc.A., MBA
Ministère des transports du Québec, Montréal, Canada
alexandre.debs@mtq.gouv.qc.ca

SOMMAIRE

À Montréal, quelque 10 km d'autoroutes urbaines traversent des tunnels dont le tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine, sous la voie maritime du fleuve St-Laurent et l'échangeur souterrain Ville-Marie Viger, au cœur même de la métropole. Construits dans les années 60 et 70, ces tunnels constituent des axes routiers qui permettent aux usagers de la route de se déplacer en toute sécurité et confort, dans un environnement bien éclairé et scrupuleusement surveillé, à l'abri des intempéries telles que tempêtes de neige, pluie verglaçante, vents violents et poudrierie. Cependant, l'exploitation de ces tunnels urbains en milieu nordique, en présence d'une nappe phréatique imposante, et dans des températures très sévères (variabilité importante et froid intense), comporte plusieurs défis d'exploitation et exige différents équipements supplémentaires qu'on ne retrouve pas dans d'autres tunnels routiers. Ces équipements doivent être entretenus périodiquement et maintenus de manière à rester fonctionnels.

Les cas des tunnels Louis-Hippolyte-La Fontaine et Ville-Marie Viger seront utilisés pour décrire les enjeux et problèmes reliés à la gestion hivernale d'un tunnel et de ses divers systèmes. Dans un premier temps, on propose un exposé des équipements et dispositions nécessaires afin de maintenir optimale la sécurité d'exploitation des tunnels et de leurs systèmes durant la saison hivernale. La gestion hivernale d'un tunnel y sera décrite. Seront ensuite présentées les activités d'entretien hivernales courantes, l'inspection des systèmes et toutes les questions relatives à la logistique des interventions d'enlèvement des glaçons. Dans un deuxième temps, certains problèmes reliés à l'exploitation hivernale des tunnels seront exposés, et les mesures correctives mises en place seront discutées. La présence d'une nappe phréatique imposante fait en sorte qu'il y a beaucoup d'infiltrations d'eau qui créent un problème d'exploitation relié à la formation de plaques de glace sur la chaussée, de glaçons au-dessus des voies de circulation et sur les parois du tunnel, particulièrement au niveau des joints de dilatation. Des techniques d'alésage, de nettoyage et de réparation des raccordements sous les chasse-roues ont constitué une des solutions mises en place et ayant donné des résultats encourageants.

MOTS CLEFS

TUNNEL ROUTIER / EXPLOITATION / ENTRETIEN / HIVER / INFILTRATION /
DRAINAGE / FORMATION DE GLAÇONS / JOINTS DE CONSTRUCTION

1. MISE EN CONTEXTE

Les tunnels Ville-Marie et Louis-Hippolyte-La Fontaine constituent sans nul doute les plus importantes réalisations québécoises dans le domaine de la construction d'ouvrages d'art en béton. Elles permettent aujourd'hui, d'assurer la mobilité de centaines de milliers d'automobilistes de la région métropolitaine de Montréal. D'aussi imposantes infrastructures requièrent des efforts soutenus pour assurer la sécurité des usagers, l'efficacité d'exploitation, et l'entretien périodique. Deux postes de contrôle, dédiés à ces tunnels, assurent en continu la télésurveillance des voies de circulation et l'exploitation

des différents systèmes électromécaniques comme la ventilation, le pompage, l'éclairage, l'alimentation électrique, la détection d'incidents, et le suivi des alarmes d'état des équipements et des extrêmes de température.

Chaque année, dès les premières neiges, Montréal plonge dans l'hiver avec des températures normales mensuelles variant de - 6,3 °C à - 10,2 °C (tableau 1) et des extrêmes atteignant fréquemment les - 25 °C en janvier et février. De plus, durant les six (6) dernières années, nous observons de plus grandes variabilités entre les maxima et minima quotidiens, maxima qui atteignent fréquemment le point de congélation favorisant le phénomène de gel-dégel et donc la formation de glaçons en tunnel.

Tableau 1. Températures normales et extrêmes records (Montréal 1971-2000)

| | Déc. | Jan. | Fév. | Mars |
|---|-------|-------|-------|------|
| Température normale maximum (°C) | -2,2 | -5,7 | -3,9 | 2,2 |
| Température normale minimum (°C) | -10,4 | -14,7 | -12,9 | -6,7 |
| Température normale moyenne (°C) | -6,3 | -10,2 | -8,4 | -2,3 |
| Jours avec maximum ≤ -15 °C | 8 | 14 | 11 | 2 |
| Jours consécutifs avec maximum ≤ -15 °C | 5 | 6 | 10 | 2 |
| Jours avec minimum ≤ -20 °C (record) | 15 | 19 | 14 | 6 |
| Jours consécutifs avec minimum ≤ -20 °C | 7 | 11 | 11 | 6 |

Source : Centre de ressources en impacts et adaptation au climat et à ses changements

Ces conditions, conjuguées avec des accumulations moyennes annuelles d'environ 200 cm de neige (tableau 2), constituent un défi constant sur l'exploitation des routes, et plus particulièrement sur la gestion hivernale d'un tunnel et de ses divers systèmes et équipements, dans un contexte plus proche d'une usine de production industrielle devant opérer en conditions climatiques extrêmes que d'un tronçon de route à déneiger.

Tableau 2. Précipitations normales et extrêmes records (Montréal 1971-2000)

| | Déc. | Jan. | Fév. | Mars |
|---|------|------|------|------|
| Précipitation normale de pluie (mm) | 35,1 | 27,2 | 19,8 | 35,8 |
| Précipitation normale de neige (cm) | 48,3 | 52,5 | 43,3 | 36 |
| Précipitation normale totale (mm) | 81,3 | 78,3 | 61,5 | 73,6 |
| Quantité de neige maximale sur 24 heures (cm) | 30,5 | 37,8 | 35,8 | 39,4 |
| Quantité de neige maximale sur 48 heures (cm) | 41,9 | 52,8 | 39,4 | 57,9 |
| Quantité de neige maximale sur 72 heures (cm) | 1,9 | 58,9 | 45 | 57,9 |

Source : Centre de ressources en impacts et adaptation au climat et à ses changements

Le tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine, sous le fleuve St-Laurent, est le plus vieux des deux tunnels. Il a été inauguré en mars 1967. Il s'agit d'une galerie sous-marine de 1,8 km de long, composée de 7 éléments de béton, construite en cales sèche, halées, immergées, et assemblées au fond du fleuve. Le tunnel consiste en deux (2) tubes à trois voies et d'une section centrale pour les services et les secours.

Le complexe des tunnels Ville-Marie Viger est plus récent. C'est un ouvrage en béton construit en tranché dans le lit d'une ancienne rivière et recouvert ensuite. Il a été mis en exploitation en plusieurs étapes, soit en 1974 avec le tunnel Ville-Marie, en 1986 avec le tunnel Viger, et plus récemment, en 2002 et 2003 avec la construction de trois édifices constituant le Quartier internationale de Montréal. Aujourd'hui, le complexe constitue un échangeur souterrain qui totalise 6,8 km de tubes de circulation, variant de une à cinq

voies de circulation, auxquelles s'ajoutent plusieurs kilomètres de couloirs de secours qui sillonnent le Montréal souterrain.



(a) Câble sèche au tunnel La Fontaine



(b) Tranchée au tunnel Ville-Marie

Figure 1. Chantier de construction des tunnels La Fontaine et Ville-Marie

Durant les dernières années, nous observons que les vagues de froid intense deviennent moins nombreuses, que les périodes de redoux hivernaux sont plus fréquentes, et que les tempêtes hivernales, bien que moins fréquentes, sont plus intenses. Ces observations concordent avec les principes énoncés par les prévisions de changements climatiques. Ces nouvelles conditions météorologiques, rendent plus difficile la gestion hivernale d'un tunnel routier et contribuent à accélérer l'usure de ses systèmes. La multiplication des cycles gel-dégel mène à l'augmentation des phénomènes d'infiltration d'eau par la déformation des joints de construction et la formation de glaçons et de plaques de glace. De plus, en raison de l'augmentation anticipée des précipitations, l'utilisation accrue de sels de voirie devient nécessaire, avec les impacts environnementaux que cela comporte.

2. ÉQUIPEMENTS D'UN TUNNEL ROUTIER (DURABILITÉ ET ENTRETIEN)

En plus d'être des infrastructures routières composées d'une chaussée d'asphalte, d'éléments structuraux et d'éléments de drainage; les tunnels sont des installations industrielles complexes, avec des centaines de systèmes et sous-systèmes qui doivent opérer sous des conditions météorologiques extrêmes. C'est le cas notamment des systèmes mécaniques et hydrauliques (ventilateurs, volets motorisés, pompes, vannes motorisées, compresseurs, ascenseurs, palans, treuils, etc.), des systèmes électriques et électroniques (disjoncteurs, sectionneurs, câbles, génératrices, batteries, UPS, moteurs, transformateurs), des systèmes d'éclairage et de signalisation dynamique (feux de circulation, panneau à messages variables, panneaux lumineux), des systèmes de chauffage (câbles chauffants, serpentins, calorifères, thermostats), ainsi que des systèmes de surveillance et de sécurité (caméras, protection incendie, détecteurs de gaz, téléphones).

Plusieurs systèmes, particulièrement les équipements électroniques, sont très sensibles à l'environnement agressif et corrosif et requièrent une attention particulière. D'autres sont propres aux tunnels en milieu nordique, exposés à des températures hivernales extrêmes.

Pour la prévention du gel, les lignes de distribution de l'eau pour la protection incendie, les joints de dilatation des gouttières, les drains muraux, les drains de voies sous la chaussée ainsi que de nombreuses rigoles et dalots, sont chauffés par des câbles électriques pour

prévenir l'obturation par la glace et favorisant ainsi l'écoulement. Au tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine, des câbles de cuivre rigide couverts d'un matériel plastique sont utilisés. Au tunnel Ville-Marie Viger, les câbles chauffants sont en néoprène couverts d'un matériel caoutchouc. Il s'est avéré que ces derniers sont moins résistants que prévu et dans certains cas, ils ont été remplacés par le même type que ceux du tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine. Les câbles chauffants constituent une mesure de mitigation partielle, aux problèmes de formation de glaçons, dont les causes principales sont les infiltrations par les joints de construction et particulièrement à certains joints bien connus depuis l'inauguration des tunnels. De plus, on retrouve dans tous les cabinets d'incendie des chaufferettes pour prévenir le gel des équipements de protection incendie, notamment les robinets, les conduits, les extincteurs et autres équipements comme la mousse d'extinction des hydrocarbures. Ces équipements sont constamment surveillés par des sondes de température qui génèrent le cas échéant des alarmes.

Pour permettre la télésurveillance et le monitoring, plusieurs équipements sont installés en tunnel. Outre les équipements de détection, comme les analyseurs de gaz par échantillonnage, on retrouve les caméras de surveillance. Ces équipements sont installés dans des boîtiers environnementaux et pressurisés pour prévenir la contamination par les embruns salins. Les caméras les plus récentes, sont même équipées de lave-glace et d'essuie-glace.

Concernant la signalisation lumineuse fixe et dynamique, tels que feux de voies, panneaux lumineux et panneaux à messages variables, l'utilisation graduelle de la technologie DEL (diode électroluminescente), nous a permis d'améliorer la visibilité de la signalisation en conditions hivernales. Cette même technologie pourrait aussi servir pour l'éclairage des voies de circulation et des couloirs de secours des tunnels, en remplacement des lampadaires à sodium utilisés jusqu'ici. Tout en apportant une réduction des dépenses, l'éclairage par DEL permet de moduler l'éclairage aux portails des tunnels que se soit en période nocturne, ou lors de tempêtes avec une visibilité réduite. Enfin l'atout majeur de l'éclairage par DEL vient de la durée de vie du matériel (quatre fois plus longue que pour les lampadaires conventionnels), avec, à la clé, des coûts de maintenance réduits et une diminution du nombre de pannes.

3. LES ACTIVITÉS D'ENTRETIEN EN HIVER

Au Québec, il est d'usage de faire référence à deux types d'entretien des routes : l'entretien d'été et l'entretien d'hiver. Outre cette séparation saisonnière, dans le premier cas, on fait référence à l'entretien courant et périodique de type préventif, alors que dans le deuxième cas, on fait référence à toutes les activités de viabilité hivernale. Ces activités sont requises pour maintenir une chaussée dégagée et sécuritaire suite à des événements météorologiques perturbateurs, qu'il s'agisse d'une tempête de neige ou d'extrêmes de température contribuant à réduire l'adhérence des pneus sur la chaussée. Bien qu'il soit principalement de nature préventive, l'entretien courant peut aussi inclure un volet curatif lors d'activités de réparations mineures ou de remplacement d'équipement.

En tunnel, l'entretien dit d'été, est réalisé tout le long de l'année. Une bonne partie de ces travaux est cyclique et répétitive. Seuls les moyens, outils et fréquences d'intervention varient en fonction de différents facteurs dont les activités de viabilité hivernale et les conditions météorologiques.

Le but du programme d'entretien préventif est d'assurer la sécurité des usagers en maintenant les tunnels et leurs systèmes au niveau de sécurité prévu et à leurs standards de conception. Parmi les diverses activités, on retrouve entre autres :

- Le nettoyage (murs, signalisation, lampadaires, drainage, caméras etc.);
- Les remplacements de pièces (lampes, filtres, et autres quincailleries);
- La vidange et le remplacement des fluides (moteurs, pompes, ventilateurs);
- Le graissage et resserrage des connexions (moteurs, volets, événements, etc.);
- La calibration des senseurs et des niveaux d'alarme (détection, sondes, etc.)

Les défis à relever dans le contexte d'un tunnel urbain en milieu nordique sont nombreux et plus complexes puisque ces tunnels sont très sollicités et sont exposés à des conditions très difficiles tel qu'un environnement routier agressif, et des températures extrêmes dans un environnement humide propre à tout espace souterrain.

Compte tenu que nos tunnels sont urbains, toute intervention crée un impact important sur la fluidité. Comme mesure d'atténuation, les travaux sont planifiés en dehors des heures de grands achalandages. De plus, compte tenu du contexte particulier de visibilité en tunnel, les travaux ne peuvent se faire qu'en entrave complète ou partielle sur toute la longueur d'un tube de circulation, puisqu'aucun changement de voies n'est autorisé à l'intérieur d'un tube de circulation.

En hiver, ces activités d'entretien sont requises à des fréquences très variables. Elles requièrent une logistique, et des méthodes d'intervention bien différentes, que lorsque réalisées en été. Le nettoyage des murs, par exemple, ne peut être effectué par le camion-brosse qui est remisé entre décembre et mars. Lorsqu'il y a un redoux, les murs, la signalisation, et les feux de circulation sont nettoyés au jet d'eau chaude (figure 2) ou encore manuellement.



(a) Nettoyage de la signalisation



(b) Nettoyage des feux de voies

Figure 2. Nettoyage au jet d'eau dans le tunnel Ville-Marie

En tunnel, la viabilité hivernale, vise principalement à rétablir le niveau de sécurité routière du tunnel et de ses approches suite à un événement météorologique particulier (temps doux ou froid intense) ou suite à une tempête majeure. Les contraintes liées aux impacts sur la circulation sont importantes. Toutefois, compte tenu que ces interventions revêtent un caractère urgent, elles doivent être réalisées rapidement. C'est le cas entre autres :

- Du déneigement et déglçage des entrées du tunnel;
- De l'enlèvement et du transport de la neige aux portails; et
- De l'enlèvement des glaçons et des plaques de glace dus aux infiltrations.

Le déneigement et déglçage, sont des opérations qui sont déclenchées par la surveillance des conditions et prévisions météorologiques. Durant les précipitations, les critères de performance prévoient une tolérance maximale de 5 à 7 cm de neige. Après la fin des précipitations, les voies de circulation doivent être complètement dégagées après 3 à 5 heures. Les entrées et sorties des tunnels constituent des endroits critiques qui demandent une attention particulière (figure 3). Lors de précipitations importantes, ces zones constituent des lieux où il y a un changement brusque, tant au niveau de la visibilité, qu'au niveau de la surface de roulement (accumulation de neige). Ces endroits font donc l'objet d'un effort particulier, en termes de déneigement et d'épandage de sel. L'utilisation d'abrasif comme le sable n'est plus toléré en tunnel. L'expérience vécue démontre que le sable bloque le système de drainage, et affecte la visibilité dans les tunnels et par les caméras, affectant ainsi la sécurité des usagers.



(a) Accumulation de neige au portail



(b) Déneigement et déglçage en tunnel

Figure 3. Viabilité hivernale au tunnel Ville-Marie



(a) Accumulation de neige à l'entrée



(b) Enlèvement de la neige à la sortie

Figure 4. Viabilité hivernale au tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine

L'enlèvement et le transport de la neige au portail est une opération réalisée après la tempête et exige la fermeture complète des tunnels, ce qui affecte la circulation dans la région métropolitaine. Cette intervention est effectuée durant la nuit, au lendemain d'une tempête (Figure 4). Elle consiste au ramassage de la neige accumulée aux entrées,

puisque les tunnels ne disposent pas d'espace pour contenir l'accumulation nivale aux portails. Dans ce sens, il serait très avantageux, à l'étape de la conception, de prévoir un tel espace aux entrées des tunnels en milieu nordique.

Finalement, le monitoring et l'enlèvement des glaçons et des plaques de glaces dus aux infiltrations constituent une opération réalisée en continu et encadrée par des critères d'intervention bien définis. Quotidiennement, le tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine est inspecté à 1 h du matin et à 13 h de l'après midi. Pour ce faire, une ou deux voies sont entravées en mode travaux mobiles, pour permettre de s'assurer de l'absence de glaçons. Au tunnel Ville-Marie Viger, une seule inspection est prévue quotidiennement à 1 h du matin. S'il y a détection de glaçons ou de plaques de glace sur la chaussée, une équipe est mobilisée pour intervenir dans les plus brefs délais et idéalement avant l'heure de pointe du matin qui commence vers 5 h, et celle du soir, qui commence vers 15h30. L'impact sur la circulation de cette intervention urgente, est souvent très important. Cependant, « l'opération glaçons » est aujourd'hui bien diffusée et comprise par les médias et le public.



(a) Plaques de glace sur la chaussée



(b) Enlèvement de glaçons

Figure 5. Formation et enlèvement de glace dans les tunnels

4. RÉHABILITATION ET ENTRETIEN CURATIF

Les contraintes thermiques combinées à une pression hydraulique imposante entraînent des infiltrations d'eau et la formation de glaçons au niveau des joints de construction et au niveau des tours de ventilation qui sont des lieux propices à la condensation. Dès les premières années d'exploitation, des efforts ont été déployés pour contrer ces infiltrations.

a. Campagnes d'injection aux joints

Au tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine, moins d'une année après la mise en service, une lettre des concepteurs faisait état d'infiltrations d'eau aux joints perpendiculaires à l'axe du tunnel, particulièrement aux deux derniers joints spéciaux. Ces joints ont été bétonnés au printemps plutôt qu'en hiver ce qui a entraîné une modification dans les conditions de contraintes dans le tunnel, et génère une tension dans les joints pendant les périodes froides de l'hiver. À l'origine, ces joints ont été calculés pour permettre un mouvement sans pour cela amener des infiltrations d'eau. Afin de parer à ces venues d'eau, une campagne d'injection avec une matière chimique qui gonfle au contact de l'eau est réalisée, alors que le joint est sous tension maximum, c'est-à-dire au cours de l'hiver. Des résultats encourageant ont été observés durant les trois dernières années, par une nette diminution des eaux d'infiltration au niveau des joints. Le reste des eaux sont drainé dans des

dalots chauffés par un câblage électrique. Les problèmes d'accumulation de glace et de formation de glaçons, bien qu'ils demeurent, ont été ainsi considérablement réduits.

Au tunnel Ville-Marie, des problèmes similaires sont rencontrés. La moindre imperfection dans le béton ou dans l'installation des coupe-eau permet un suintement et de légères infiltrations. Dans les premières années après la mise en service, plusieurs campagnes d'injection au coulis de ciment puis plus tard au polyuréthane ont été réalisées. Ces méthodes d'injection n'ont donné que des résultats partiels et temporaires. C'est ainsi qu'une autre solution a été privilégiée. La porosité du béton ne permettant pas d'empêcher l'eau de s'infiltrer, il fallait la recueillir et la diriger vers le système de drainage, à condition qu'il retrouve sa pleine capacité hydraulique de conception.

b. Campagnes de réhabilitation du drainage

Suite à une inspection effectuée en 2005 sur le système de drainage du tunnel Ville-Marie, il apparaît que plusieurs conduites sont obstruées. Dans les conduites de 150 mm, les obstructions variaient de 15 à 97% (figure 6). Les eaux d'infiltration stagnantes qui se mélangent aux sédiments accumulés, forment une boue, qui durcit et finit par obstruer les drains.



(a) Conduite obstruée à 55%



(b) Conduite obstruée à 97%

Figure 6. Sédiments fixés aux parois des conduites de drainage

L'analyse d'un échantillon de ces dépôts, démontre que ces obstructions sont principalement composées à 64% de carbonate de calcium et à 19% de silice. Ces dépôts sont le résultat d'une réaction chimique qui, catalysée par la chaleur générée par les câbles chauffants, libère les minéraux contenus dans l'eau. La présence de silice explique la dureté des dépôts sur les parois, d'où la difficulté à les déloger par les méthodes conventionnelles.

Avec le vieillissement des tunnels, l'entretien annuel à l'aide de camions à pression d'eau, (jusqu'à 20 000 kPa), n'était plus suffisant pour le maintien fonctionnel du système de drainage puisqu'il ne permet pas de déloger ces dépôts. Or, l'ampleur des obstructions laissait supposer qu'en trouvant une méthode permettant de redonner au système de drainage sa capacité hydraulique de conception, une partie importante des infiltrations d'eau se résorberait, et par conséquent la formation de glaçons. Suite à des essais sur quelques conduites ayant donné des résultats concluants, une réhabilitation non-structurale par alésage fut retenue et réalisée au tunnel Ville-Marie (figure 7).



(a) Buse d'alésage avec tête à chaîne



(b) Buse d'alésage avec tête à fraise

Figure 7. Technique d'alésage retenue

La technique d'alésage retenue utilise des buses propulsées à l'eau longitudinalement et transversalement. Le jet d'eau longitudinal propulse la buse vers l'avant alors que le jet d'eau transversal en angle donnent une rotation qui permet aux dents à la tête de déloger les dépôts et aux chaînes (figure 7a) de se déployer radialement afin de redonner à la conduite son diamètre initial. Pour des dépôts plus durs, comme par exemple des restants de béton durcis, une buse avec tête à fraise (figure 7b) pour forer un passage dans la conduite à été utilisé. Une fois le passage foré, la buse avec tête à chaîne permet de terminer de déloger les dépôts sur les parois. La durée de l'alésage varie considérablement d'une conduite à l'autre, selon leur longueur, leur pourcentage d'obstruction et la dureté des dépôts. Une caméra d'inspection constitue un outil indispensable pour déterminer le type d'obstruction et choisir la buse approprié.

Dans l'ensemble, les résultats sont concluants. Ces travaux d'alésage et de forage des conduits, combinés à certaines interventions de réparation des raccordements sous le chasse-roues ont permis de redonner au système de drainage du tunnel Ville-Marie, sa capacité hydraulique. Au tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine, les campagnes d'injection se poursuivent aux joints problématiques. Dans les deux dernières années, nous avons commencé à voir des résultats encourageant par une nette diminution des eaux d'infiltration au niveau des joints. Le reste des eaux sont drainé dans des dalots chauffés par un câblage électrique. Les problèmes d'accumulation de glace et de formation de glaçons, bien qu'ils demeurent, ont été ainsi considérablement réduits.

5. CONCLUSION ET RECOMMANDATION

Cet article présente la complexité des activités de viabilité hivernale dans un tunnel routier urbain. Ces activités sont stratégiques et critiques afin d'assurer la sécurité routière et comportent plusieurs problèmes et défis :

- systèmes électroniques sensibles à l'environnement corrosif de la route;
- équipements plus résistants requis et un nettoyage fréquent en hiver;
- interventions de maintenance requièrent souvent l'interruption de la circulation;
- nettoyage hivernal et méthodes utilisées dépendent de la température;
- l'utilisation d'abrasif, détériore les systèmes et obstrue les conduits;
- l'enlèvement des glaçons et transport de neige constitue des activités cruciales;

Les systèmes et sous-systèmes installés en tunnel ont été décrits. Plusieurs sont affectés par les conditions hivernales agressives, ce qui réduit leur durée de vie et nécessite des installations plus robustes et offrant une certaine résistance aux conditions environnementales.

Les activités de surveillance des alarmes de basse température ont été présentées. Elles sont critiques au maintien fonctionnel du drainage et des systèmes de protection incendie. L'article décrit aussi les contraintes liées à la réalisation des activités d'entretien d'hiver, qu'il s'agisse de déneigement, déglçage, ou encore des opérations d'enlèvement de la neige ou des glaçons, qui requièrent des entraves à la circulation, avec parfois, d'importants impacts à la fluidité du trafic. Ont aussi été présentées, les méthodes utilisées pour effectuer le nettoyage des murs du tunnel et des équipements de signalisation à des températures inférieures au point de congélation.

Des méthodes préventives d'injection des joints de construction au coulis de ciment et au polyuréthane, pour empêcher ou diminuer les infiltrations d'eau à la source, ont été présentées. Des résultats intéressants ont été obtenus au tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine.

Finalement, bien que les systèmes de drainage des tunnels aient été conçus pour capter les eaux de ruissellement et d'infiltration, le vieillissement de la structure et l'obstruction de certaines conduites par la glace et les dépôts causent des problèmes récurrents. L'entretien annuel, à l'aide de camions avec lances à pression, n'est plus suffisant pour le maintien fonctionnel du système de drainage. Des techniques d'alésage, de nettoyage et de réparation des raccordements sous les chasse-roues, et ayant donné des résultats encourageants, ont été présentées.

Pour éviter d'autres problèmes dans le futur, il est nécessaire de changer notre philosophie de conception d'ouvrage souterrain. Celle-ci doit prévoir le contrôle et le drainage de l'eau à l'extérieur du tunnel. Les joints de construction doivent être plus hermétiques et les matériaux utilisés doivent être plus étanches et résistants aux fluctuations de température. L'utilisation d'une membrane d'étanchéité plus robuste ou l'injection dans le remblai de matériaux d'étanchéisation devrait être explorée. Pour les nouveaux tunnels en milieu nordique urbain, il serait important de prévoir un espace suffisant, en volume, afin de contenir la neige déblayée aux portails du tunnel.

En termes d'entretien hivernal, il y a lieu d'explorer l'utilisation d'autres matériaux de déglçage et prioriser les interventions de nettoyage des conduits et drains; et le pompage des sédiments et boues dans la structure.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUES

DEBS, A., 2009. « Tunnel Management in Quebec - Inspection, Maintenance, Operation and Safety Management in the Ville-Marie and La Fontaine Tunnels », Conférence Transport Research Board (TRB), Washington DC (États-Unis), janvier 2009.

DEBS, A. et al., 2008. « Infiltration d'eau et formation de glaçons en tunnels routiers », Symposium de l'AIPCR-Québec, Atelier 3, Montréal (Québec), octobre 2008.

FREIHOLTZ, B., 2008. « Water Infiltration and Ice Formation from the Swedish and Nordic Countries Perspective », Symposium de l'AIPCR-Québec, Atelier 3, Montréal (Québec), octobre 2008.

NORSTRÖM, E., 2008. « Water Infiltration and Ice Problems in Tunnels, the Norwegian Way of Ice and Frost Insulation », Symposium de l'AIPCR-Québec, Atelier 3, Montréal (Québec), octobre 2008.

VIGER, G., 2007, « Infiltration d'eau et formation de glaçons dans le tunnel Ville-Marie », Projet de fin d'étude, École des technologies supérieures, novembre 2007.

LINTEAU, R., 2006. « Réhabilitation du système de drainage du tunnel Ville-Marie », Ministère des transports du Québec, Montréal (Québec), novembre 2006.

PALARDY, D., 2004. « Investigation des joints 6/7 et 7/8 du tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine », Rapport client, SNC-Lavalin, Montréal (Québec), 2002.

BALLIVY G. et al., 2002. «Évaluation de l'état des joints du pont-tunnel Louis-Hippolyte-Lafontaine à l'aide d'essais non-destructifs », Groupe de Recherche sur l'Auscultation des Infrastructures (GRSAI), Université de Sherbrooke, Québec, septembre 2002.

DEBS, A., 2002. « Gestion et exploitation des tunnels Ville-Marie et Louis-Hippolyte-La Fontaine », Routes et Transports, vol. 31, no 1, AQTR, Montréal (Québec), hiver 2002.