

Une technologie « bien fondée »

Des piliers en agrégat damé pour améliorer le projet de l'esplanade du tunnel Windsor

Le ministère des Transports de l'Ontario (MTO) a utilisé pour la première fois avec succès des piliers en agrégat damé sur le site du projet frontalier de Windsor. En juillet 2013, 226 piliers en agrégat damé ont été installés à l'esplanade du tunnel Windsor pour supporter les dalles de plancher et les semelles structurales sur toute la superficie de la fondation du nouvel édifice de l'Agence des services frontaliers du Canada.

Les piliers en agrégat damé constituent un système de renforcement innovant permettant d'améliorer les fondations construites dans de mauvais sols de fondation. Les piliers en agrégat damé utilisés pour le projet Windsor ont été conçus par Geosolv Design Build (Geopier Foundation Company), pour le compte de l'entrepreneur, Coco Paving / Rosati Construction.

Établissement participant au projet

Le tunnel Windsor-Detroit est l'un des trois passages frontaliers qui relient Windsor (Ontario) et Detroit (Michigan). Le tunnel a été ouvert à la circulation en 1930 et est constitué d'un seul tube passant sous la rivière Detroit. Il mesure 1,6 kilomètre et comporte une voie dans chaque sens, ainsi que des postes de péage et des centres d'inspection de part et d'autre de la frontière.

Les améliorations à l'esplanade canadienne du tunnel Windsor-Detroit ont été réalisées dans le cadre de la stratégie « Il faut que ça bouge à Windsor-Essex », financée conjointement par l'Ontario et le Canada au coût de 300 millions de dollars.

Le projet visait principalement à améliorer les opérations et la capacité de l'esplanade canadienne, tout en réglant les problèmes de circulation existants et en anticipant les besoins futurs en matière de circulation frontalière dans le corridor Windsor-Detroit.

Les travaux comprenaient la construction d'un nouvel édifice commercial pour l'Agence des services frontaliers du Canada et d'un nouvel édifice d'entretien pour le tunnel Detroit-Windsor.

À l'origine du projet, les édifices devaient avoir une fondation superficielle par semelles filantes sur un remblai stabilisé. Cependant, deux problèmes se révélèrent durant la phase de

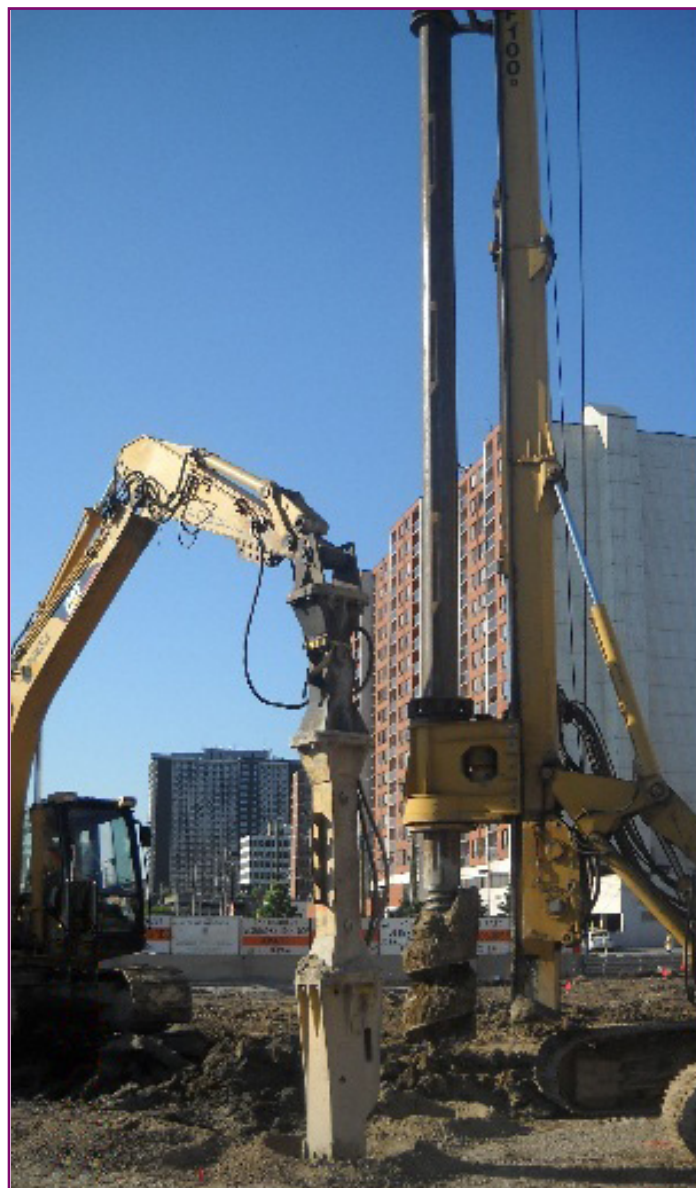


Figure 1 : Des piliers en agrégat damé sont placés sur toute la superficie de la fondation du nouvel édifice de l'Agence des services frontaliers du Canada à Windsor.

conception :

- Des enquêtes sur le sol de fondation indiquèrent que la stratigraphie de la subsurface du site consistait en une base d'asphalte et de matériaux granulaires recouverte de différentes couches de remblai, le tout reposant sur un

Des piliers en agrégat damé pour améliorer le projet de l'esplanade du tunnel Windsor, suite

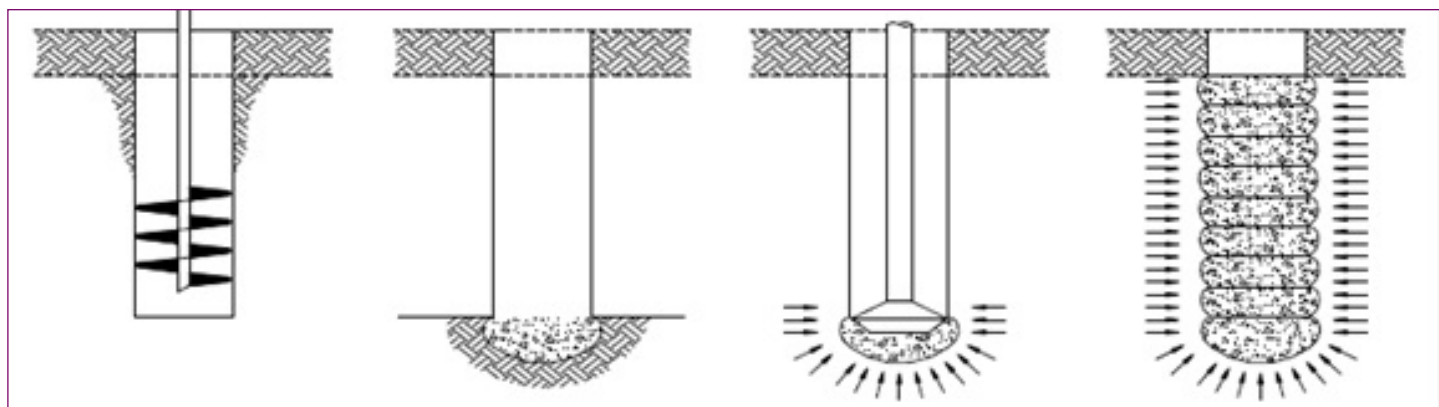


Figure 2 : Processus de construction de piliers en agrégat damé – 1) forcer le trou, 2) placer la pierre à granulométrie ouverte, 3) damer l'ampoule formée au fond du trou, 4) damer la pierre à granulométrie continue en couches minces.

dépôt profond de silt argileux. Une étude de contamination a révélé que le remblai était contaminé à certains endroits. Par conséquent, il faudrait excaver le remblai, le transporter et l'enfouir dans un site d'enfouissement approuvé, puis le remplacer par un remblai stabilisé.

- Il serait nécessaire de procéder à l'installation d'une paroi de palplanches ou à l'éclayage en vue de l'excavation puisque la fondation du nouvel édifice de l'Agence des services frontaliers du Canada se trouve à seulement 2,2 m (7,2 pieds) de la bordure de la chaussée.

La conception d'origine prévoyait l'excavation du sol existant dans les limites de la fondation de l'édifice, l'approvisionnement, l'installation et le compactage du remblai stabilisé au-dessous de la base granulaire de la dalle du plancher, et l'installation de semelles superficielles avec coffrages de murs et le remblayage.

Les piliers en agrégat damé ont été choisis comme solution de rechange à l'excavation de la couche de remblai. Cette option permet de faciliter la construction tout en réduisant les coûts, et réduit la circulation de camions au centre-ville de Windsor.

Piliers en agrégat damé

Les piliers en agrégat damé sont installés en perçant des trous de 760 mm (30 po) de diamètre, puis en damant en couches minces un agrégat à granulométrie continue dans les trous, formant des piliers en agrégat très rigides ayant une densité très élevée. Les trous percés s'étendent habituellement de 3 m à 7,5 m (de 10 à 25 pieds) sous le niveau du sol et de

2 m à 6 m (de 7 à 20 pieds) sous les semelles. La première couche d'agrégat damé forme une ampoule sous le bas des piliers, assurant la précontrainte et le prébridage du sol à une profondeur équivalant au moins à un diamètre d'un pilier sous le niveau de forage. Les couches subséquentes atteignent habituellement entre 300 mm et 600 mm (12 et 24 pouces) d'épaisseur.

Le damage s'effectue à l'aide d'une dameuse biseautée de grande puissance qui accroît la densité de l'agrégat et le force à s'infiltrer latéralement dans les parois du trou. Cette action occasionne une augmentation de la contrainte latérale dans le sol environnant, rendant encore plus rigide la masse de terre composite stabilisée. L'installation de piliers en agrégat damé entraîne un renforcement et un durcissement significatifs du sol de la subsurface, qui peut ensuite soutenir des semelles à résistance élevée.

Le système limite le tassement de la fondation. Il est conçu pour limiter le tassement après la construction à moins de 25 mm (1 pouce), avec un tassement différentiel maximal de 20 mm (3/4 pouce).

Conception

Le système de piliers en agrégat damé est conçu pour supporter les semelles de fondation et des semelles filantes selon les critères suivants énumérés dans le contrat :

- Résistance géotechnique prévue à l'état-limite ultime de 225 kPa.

Des piliers en agrégat damé pour améliorer le projet de l'esplanade du tunnel Windsor, suite

- Réaction géotechnique à l'état-limite de service de 150 kPa.
- Tassement total à long terme estimé à ≤ 25 mm au point de réaction géotechnique à l'état-limite de service.
- Tassement différentiel à long terme de ≤ 20 mm au point de réaction géotechnique à l'état-limite de service.
- Conception pour une pression uniforme à long terme sur la dalle du plancher à 25 kPa.
- Conception pour une durée de vie nominale de la structure de l'édifice de 50 ans.

Les charges des semelles pour les fondations superficielles supportées par des piliers en agrégat damé varient entre 50 kN et 270 kN à l'état-limite de service. Les piliers en agrégat damé supportant la dalle de plancher sont conçus pour supporter jusqu'à 25 kPa.

La conception de ce projet prévoyait un système de piliers en agrégat damé qui était à l'origine plus espacés sous la dalle du plancher que sous les semelles, variant généralement entre 1,5 m et 3,5 m.

Construction

À la suite de l'excavation de la terre végétale et de la chaussée, les piliers en agrégat damé ont été installés. Les excavations réalisées pour les piliers en agrégat ont traversé le remblai existant de même qu'environ 1 m de la couche d'argile limoneuse grise indigène, formant une croûte de terre sur laquelle sont déposées les semelles. L'entrepreneur a ensuite excavé pour exposer le dessus des piliers et a damé la base de la semelle à l'aide d'une dameuse sauteuse. La semelle a ensuite été placée sur le sol amélioré. Plus de 200 piliers en agrégat damé ont été placés dans la superficie de la fondation de l'édifice.

Pour les excavations sous l'eau, une ou deux couches de pierre de décantation (19 mm ou 3/4 po) ont été placées, puis damées à l'aide d'un compacteur hydraulique. L'installation s'est ensuite poursuivie par l'installation et le compactage de couches de matériaux granulaires A de 350 mm à 400 mm. Le compactage de chaque couche était considéré comme adéquat après 20 secondes. Après 20 secondes, il n'y a habituellement plus de déplacement vertical du compacteur.

L'entrepreneur a effectué plusieurs essais dynamiques de pénétromètre à cône à l'aide d'équipement manuel, sur la surface finie de matériaux granulaires A compactés. Les



Figure 3 : Une dameuse biseautée augmente la pression latérale.

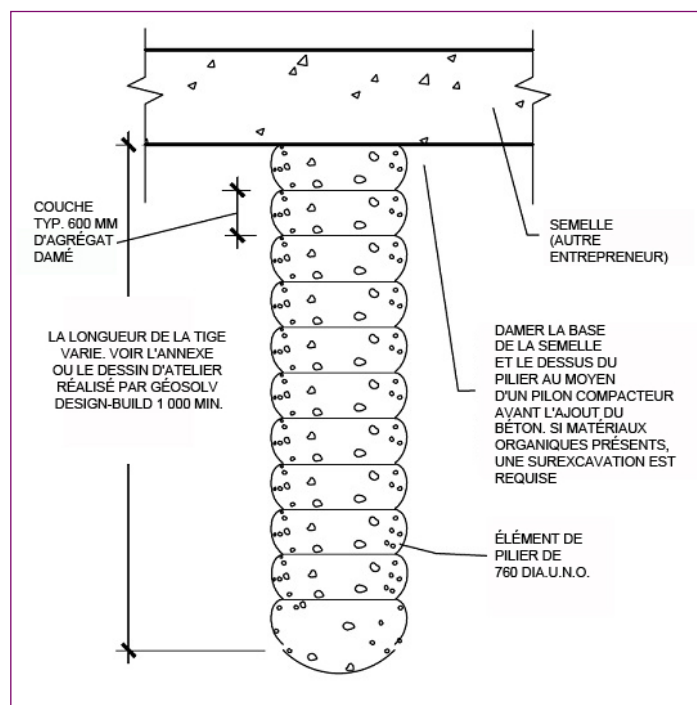


Figure 4 : Pilier en agrégat damé typique pour supporter une semelle.

Des piliers en agrégat damé pour améliorer le projet de l'esplanade du tunnel Windsor, suite

résultats des essais étaient conformes au critère établi à un minimum de 15 coups par pénétration de 45 mm, considéré comme un indicateur acceptable de la densité.

Un essai de charge de module complet a été réalisé sur un pilier non destiné à la production installé sur le site pour vérifier les valeurs des paramètres choisis pour la conception. Les résultats ont été jugés acceptables.

Économies de coûts

L'utilisation de piliers en agrégat damé à ce site s'est traduite par des économies de coûts substantielles. Cette méthode innovatrice a éliminé le besoin de parois de palplanches ou d'éclayage pour protéger la chaussée – une économie de 375 000 \$, d'excavation de matériaux de remblai contaminés et d'envoi à un site d'enfouissement approuvé – une économie de 280 000 \$, et l'utilisation d'un remblai stabilisé en remplacement – une économie de 145 000 \$ de plus.

Avantages environnementaux

La mise en place de piliers en agrégat damé a réduit les répercussions environnementales, comme les émissions d'échappement, le bruit et le trafic routier occasionné par environ 1 100 chargements de camions qui auraient autrement dû circuler au centre-ville pour transporter le remblai contaminé et le remblai de remplacement.

Applications futures pour le MTO

Le ministère prévoit intégrer les piliers en agrégat damé dans plusieurs autres applications, notamment l'amélioration des fondations dans les remblais, les murs de soutènement et les systèmes de renforcement de sol, les édifices d'inspection de véhicules commerciaux, les terminaux de traversier et la stabilisation des pentes. De plus, le béton recyclé peut être utilisé comme agrégat pour les piliers en agrégat damé. ●

Pour obtenir de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec :

David Staseff, ing., ingénieur principal en fondations,
Section des revêtements et des fondations,
Bureau de la recherche et du génie en matière de matériaux
au 416 235-4073 ou David.Staseff@ontario.ca

Les photos sont une gracieuseté de Tulloch Engineering et Thurber Engineering.



Figure 5 : L'essai dynamique du pénétromètre à cône à l'aide d'équipement manuel.



Figure 6 : Mise en place d'un essai de charge de module.

Remplacement d'un ponceau à l'aide d'un tunnelier

Remplacement d'un ponceau sur la route 11 à l'aide d'un nouveau modèle d'exécution de contrats et d'une méthode d'installation novatrice

Le ministère des Transports de l'Ontario (MTO) remplace ou remet en état de nombreux ponceaux chaque année. Durant une inspection d'entretien régulier des ponceaux en 2010, le MTO a déterminé qu'un ponceau en tôle d'acier ondulé existant situé sous la route 11, un important couloir nord-sud, s'était détérioré, laissant paraître des déformations excessives. En 2012, le ministère a remplacé le ponceau à l'aide d'un nouveau modèle d'exécution de contrats novateur et d'une méthode d'installation de pointe.

Le ministère a étudié de nombreuses différentes méthodes pour l'installation du ponceau et de multiples modèles d'exécution pour acquérir les services de conception et de construction dans le cadre de ce projet. Le MTO a déterminé le projet de remplacement du ponceau central de la route 11 comme étant admissible à la méthode de conception-construction pour la réalisation de projets de construction. Le ministère a mis en œuvre le modèle de conception-construction de type B mineur en raison de la complexité du projet, de la possibilité d'innover et de la nécessité de réduire le délai d'achèvement du projet.

Site du projet de la route 11 et enquêtes préliminaires sur le terrain

Installé en 1975, le ponceau d'origine fait d'un tuyau d'acier ondulé d'une longueur de 215 m et d'un diamètre de 1,8 m traversait les deux remblais routiers de la voie direction sud et de la voie direction nord. Les remblais sont d'une hauteur de 17 m; les pentes sont recouvertes de végétation éparse, de galets et de gros blocs rocheux.

La profondeur des remblais le long du tracé du ponceau existant variait de 1,4 m le long de l'extrémité est du remblai de la voie direction nord à 16,8 m sur la voie direction sud. Le nouveau ponceau devait être installé entre le remblai et les dépôts d'origine sous-jacents.

En mai 2011 et en février 2012, deux enquêtes distinctes sur le sol de fondation menées sur le site ont révélé des couches inférieures du sol constituées d'une couche superficielle de

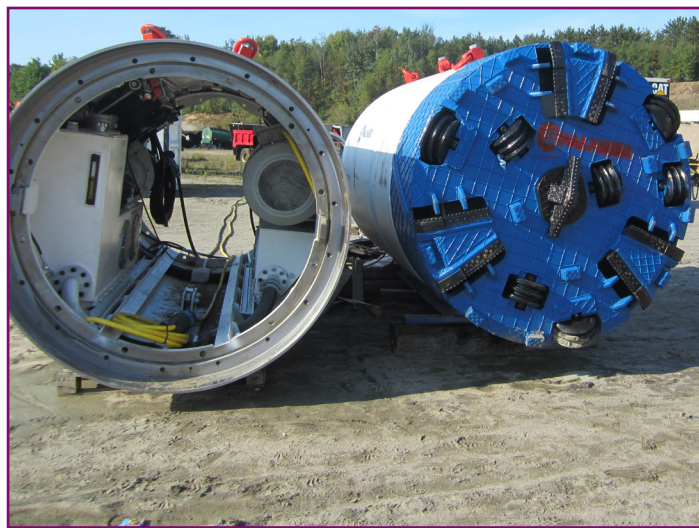


Figure 1 : Tunnelier de 1 800 mm



Figure 2 : Une doline se développant dans le remblai menace l'intégrité de la voie direction nord adjacente sur la route 11.

remblais de sable et de gravier composés de sable silteux. Des carottes prélevées sur la crête du remblai ont révélé des niveaux d'eaux souterraines environ 1,0 m à 2,0 m au-dessus du radier du ponceau existant. L'état de la sous-surface du

Remplacement d'un ponceau sur la route 11 à l'aide d'un nouveau modèle d'exécution de contrats et d'une méthode d'installation novatrice, suite

site exigerait l'exécution d'une opération de creusement en dessous du niveau des eaux souterraines afin de remplacer le ponceau.

Accès au site de lancement

Afin de permettre l'accès au tunnelier, les voies d'accès ont été encastrées dans la pente sud-est de la vallée du ruisseau adjacente ayant une inclinaison de 25 à 30 pour cent vers le fond de vallée.

En septembre 2012, l'équipe de conception-construction a commencé la construction du puits d'entrée avec l'installation de parois en palplanches pour retenir le sol dans l'excavation. Les dimensions nécessaires pour le puits d'entrée étaient une longueur de 8 m par une largeur de 4,9 m et une profondeur de 485 mm en dessous du niveau du radier du tuyau en béton. Une fois la route d'accès terminée et toutes les palplanches installées, la zone d'adossement du tunnelier a été construite. Du béton a été coulé entre les composants d'acier et dans les huit pieux à tube battu à friction installés, créant ainsi un système de soutien massif pour le bras de levage du vérin.

Une dalle de béton de 250 mm a été placée sur le sol de fondation d'origine. Afin de fournir du soutien supplémentaire aux parois en palplanches situées sur le côté sud du puits d'entrée, des palplanches en H d'une longueur de 5 m ont été installées dans une rangée, à une distance de trois mètres du puits et ancrées à l'aide de câbles d'acier passant à travers les parois contreventées. Le système installé combinait des palplanches d'acier en H et des câbles d'acier afin de réduire au minimum les déformations sur les parois en palplanches contreventées.

Tunnelier

Forage Marathon Cie Ltée, des entrepreneurs en creusement, un membre de l'équipe de conception-construction et des experts en technologie d'installation sans tranchée ont installé un ponceau de catégorie 140-D en béton non armé d'un diamètre de 1,5 m à l'aide d'un tunnelier de 1 800 mm.

Le tunnelier à pression de terre, exploité par Forage Marathon Cie Ltée et lui appartenant, est une machine à la fine pointe de la technologie fabriquée par le Palmieri Group en Italie et est la seule en Ontario.



Figure 3 : Deux sections du tuyau d'acier ondulé ont été contreventées en 2009 afin de prévenir tout déplacement



Figure 4 : Voie d'accès pour le puits de sortie située à l'ouest de la voie direction sud

Le tunnelier est doté d'une tête de forage reliée à une chambre de pression close où les déblais passent dans le tunnelier par un transporteur à vis. La tête de forage de 1 800 mm est munie de dérocteurs. Ce tunnelier mécanisé à pression de terre permet de creuser différents dépôts de façon sécuritaire, notamment des dépôts mous et humides ainsi que des terrains instables.

Remplacement d'un ponceau sur la route 11 à l'aide d'un nouveau modèle d'exécution de contrats et d'une méthode d'installation novatrice, suite

Puisque le site de creusement est constitué d'un sol pulvérulent fin en présence d'une surface hydrostatique élevée, l'utilisation du tunnelier à pression de terre a permis de maintenir un équilibre entre les pressions du tunnelier et les poussées des terres, et d'éliminer la nécessité d'assécher le long du tracé du tunnel. De la boue bentonitique a été utilisée comme lubrifiant pour la tête de forage et pour remplir les espaces possibles et tout vide restant à l'extérieur des tuyaux.

Surveillance

En se fondant sur les exigences minimales relatives aux spécifications fondées sur le rendement pour un système de surveillance d'instrumentation et sur les critères de surveillance de tassement, l'équipe de conception-construction a installé plus de 40 points de surveillance de mouvements de terrain qui comprennent des points de surface, des points sur le terrain et des points sur le terrain profond. De plus, cinq points de contrôle pour les levés résistants ont été installés comme points de référence à l'extérieur de la zone d'influence du tunnel. Le ministère continuera de surveiller les mouvements de terrain sur le site d'installation du ponceau.

Leçons retenues

De nombreux aspects de cette expérience ont été fructueux. Le ministère a retenu de précieuses leçons relativement à la réduction des difficultés liées à la construction. De nombreux problèmes se sont présentés durant la mise en place et l'installation des composants du puits d'entrée, menant à des révisions de la conception, des méthodes d'installation et des techniques de construction.

Depuis la mise en œuvre de ce projet, le ministère a commencé à mener des enquêtes préliminaires plus détaillées sur le sol de fondation afin de détecter des dépôts de matières organiques en dessous des remblais existants.

Le ministère envisagera le recours à des technologies sans tranchée pour le remplacement des ponceaux situés dans des remblais profonds et encouragera leur utilisation dans les cas où elles sont techniquement applicables aux éléments des sols de fondation. Puisque les barrages en enrochement sont



Figure 5 : Installation de tous les tronçons de tuyaux en béton dans le tunnel

courants le long des nouveaux alignements et prolongements dans l'ensemble de la province, il est nécessaire de recourir à des moyens novateurs pour remplacer les structures sous les remblais profonds. •

Pour obtenir de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec :

Márcia Mora, ing., responsable de la gestion des couloirs routiers,
au 705 497-5530 ou à l'adresse Marcia.Mora@ontario.ca