

CONCEPTION ET OPTIMISATION DES REMBLAIS LÉGERS DU PONT D'ÉTAGEMENT «HENRI-FABRE» - AUTOROUTE 50, MIRABEL

Denis Lessard¹ ing., M.Sc., Gilles Grondin¹, ing., M.Sc.A., Martial Létourneau¹, ing., et Jean-Hugues Deschênes², ing., Ph.D.

¹ Ministère des Transports du Québec, ² Qualitas Géoconseil

RÉSUMÉ

Le pont d'étagement « Henri-Fabre » qui enjambe l'autoroute 50 à Mirabel a été construit au cours de l'été et l'automne 2003 et sa mise en service a débuté en décembre de cette même année. Une étude géotechnique contenant quelques scénarios a permis d'optimiser les travaux de construction de ce pont d'étagement construit sur un dépôt d'argile de 12 m d'épaisseur. La solution retenue a été l'allègement des remblais d'approche au moyen de noyaux légers en polystyrène. Les noyaux ont été dimensionnés de façon à annuler le tassement près des culées et permettre un tassement progressif contrôlé au fur et à mesure qu'on s'éloigne de ces dernières.

ABSTRACT

The overpass « Henri-Fabre » which passes over Highway 50, in Mirabel, was built during the summer and fall of 2003 and was opened to traffic in December of that same year. A geotechnical study covering several scenarios allowed optimization of the construction works of this bridge, which was built on a 12-meter thick clay deposit. The chosen solution was the lightening of the approach embankments using light cores of polystyrene. The cores were designed to allow no settlements near the abutments and to progressively allow increasing settlements with increasing distance to the abutments.

INTRODUCTION

Au Québec, en raison du contexte géologique et des conditions de développement de la population, de nombreux ouvrages d'art sont ou seront construits sur des dépôts de sols compressibles. Le réseau routier québécois n'y échappe pas avec ses nombreux tronçons d'autoroutes ou de routes nationales qui parcourent des zones d'argile ou de tourbières.

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) conçoit et utilise depuis plusieurs décennies la technique d'allègement des remblais pour contrer les tassements excessifs et les problèmes de stabilité anticipés dans les remblais d'approche pour les ponts d'étagement situés sur des sols compressibles de faible résistance. Cette méthode est privilégiée dans ces cas, particulièrement lorsque les délais de construction sont courts et lorsque la configuration du site ne permet pas la construction de contrepoids pour assurer la stabilité des remblais.

L'allègement des remblais est réalisé à l'aide de noyaux légers qui peuvent être constitués de polystyrène, de résidus de bois ou de pneus usagés déchetés. La construction de tels remblais est cependant onéreuse, plus particulièrement lorsqu'il s'agit de noyaux de polystyrène volumineux. Les coûts de construction de ces noyaux peuvent atteindre 100 à 120 dollars par mètre cube, dépendamment de l'endroit où sera construit le remblai léger. Il devient alors important pour le MTQ d'optimiser ce type de construction tout en conservant des conditions de sécurité et de confort pour les usagers du réseau routier.

Le présent article passe en revue la conception et la construction des remblais d'approche allégés du pont d'étagement « Henri-Fabre » qui enjambe l'autoroute 50 au voisinage de l'aéroport de Mirabel. Les noyaux légers ont été dimensionnés pour éliminer les tassements près des culées, tout en acceptant un tassement graduel au fur et à mesure de l'éloignement des structures.

DESCRIPTION DU SITE ET RÉSULTATS DES ESSAIS

Le site est localisé tout juste au nord de l'aéroport de Mirabel, à 4 km à l'ouest de la croisée de l'autoroute 15 et de l'autoroute 50 (figure 1), à environ 30 km au nord de Montréal. Cette région fait partie des basses terres du St-Laurent caractérisées par des dépôts argileux.

L'investigation géotechnique a nécessité 4 forages réalisés au droit des culées et du pilier central. Trois profils de mesure de résistance au cisaillement ont été réalisés et un forage avec prélèvement d'échantillons non remaniés a été fait. L'installation de 7 piézomètres hydrauliques complète les travaux de terrain. Au laboratoire, des mesures de la sensibilité au cône suédois, de la teneur en eau, des limites d'Atterberg et des essais de consolidation ont été exécutés.

La figure 2 illustre une coupe type des sols interceptés par un des sondages. La stratigraphie au site comprend un mince couvert végétal suivi d'un dépôt argileux et ensuite d'un till glaciaire reposant sur le socle rocheux. La couche de terre végétale de surface a une épaisseur moyenne de 0,1 m. Sous ce couvert végétal, un dépôt d'argile silteuse a été repéré, dont l'épaisseur varie de 10,0 à 15,0 m. Le dépôt argileux comprend une couche d'argile altérée

brune jusqu'à 2 m de profondeur. Il renferme par la suite une argile grise.

L'argile silteuse est de plasticité élevée au sommet du dépôt et elle devient de plasticité moyenne près de la base. La limite de liquidité varie de 40 à 65 % et les indices de plasticité varient de 25 à 45 %. La teneur en eau naturelle est inférieure à la limite de liquidité au sommet du dépôt seulement. L'indice de liquidité est donc inférieur à l'unité au sommet du dépôt, mais lui devient supérieur en profondeur avec une valeur de 1,4.

La résistance au cisaillement non drainé de l'argile silteuse varie de 25 à 70 kPa avec la profondeur. Par contre, cette augmentation n'est pas graduelle. En effet, le profil de cette résistance indique une valeur élevée dans la couche brune de surface atteignant un point minimal (soit 25 kPa) sous cette dernière pour ensuite se maintenir à 40 kPa sur une épaisseur d'environ 8 à 10 m. Une augmentation jusqu'à 70 kPa se fait sentir subitement à la base du dépôt. La sensibilité déterminée en laboratoire varie de 8 à 29, ce qui indique que la sensibilité de l'argile silteuse est classifiée comme étant élevée.

Le profil de la pression de préconsolidation suit l'allure générale du profil de la résistance au cisaillement non drainé. Par contre, l'écart de préconsolidation se trouve influencé directement de la présence du gradient hydraulique descendant qui a tendance à réduire cet écart avec la profondeur. En effet, cet écart est de 100 kPa près du sommet du dépôt, tandis qu'il n'est que de 20 kPa à la base. Le coefficient de consolidation atteint 3,1 en profondeur.

Sous le dépôt d'argile, on rencontre une couche de till glaciaire constitué d'un silt sableux graveleux de couleur grise. On y note la présence de cailloux à certains endroits. Cette couche est de compacité moyenne à dense. L'épaisseur de la couche varie de 0,5 à 2,0 m. Cette couche repose sur le socle rocheux.

Le socle rocheux est constitué d'une roche sédimentaire, soit une dolomie. La roche est très fracturée sur les premiers 2 mètres. Le réseau de fractures renferme un aquifère. Au niveau hydrogéologique, les différentes couches de sols subissent l'influence d'un gradient hydraulique descendant de l'ordre de 0,3-0,4 vers le roc contenant l'aquifère.

CONCEPTION DES REMBLAIS LÉGERS

Compte tenu de la faible surconsolidation du dépôt argileux, les structures du pont d'étagement ont dû prendre appui sur des fondations profondes, soit des pieux d'acier battus jusqu'au refus.

La hauteur maximale prévue des remblais d'approche était de 8,5 m, ce qui engendre une pression de l'ordre de 170 kPa dans la partie supérieure du dépôt d'argile. La conception des remblais d'approche devait tenir compte à la fois des conditions de sécurité contre une rupture et des

tassements qu'ils génèrent à court et à long terme. Les résultats d'analyse de stabilité ont montré que si les remblais d'approches non-allégés ne sont pas munis de contrepoids, il faudrait adoucir la pente de ceux-ci à plus de 6H:1V pour obtenir des conditions de sécurité acceptables (F.S. > 1.5). D'autre part, si des contrepoids sont construits, la largeur de ces derniers devrait être d'au moins 24 m pour obtenir un F.S. > 1,5 avec des pentes de 2H:1V. L'une ou l'autre de ces solutions entraînerait des tassements importants dans la couche d'argile silteuse sous-jacente, dans le voisinage des culées. Ces tassements peuvent être très dommageables pour les culées du pont d'étagement et provoquer des dommages importants à la structure de béton.

Les tassements pourraient atteindre 100 mm dans le domaine surconsolidé et 1900 mm dans le domaine normalement consolidé, soit un total de 2 m. Afin de contrôler ces tassements excessifs et obtenir des conditions de sécurité acceptables contre une rupture des sols porteurs, les remblais d'approche ont été allégés à l'aide de noyaux légers constitués de blocs de polystyrène.

Les critères de design utilisés pour dimensionner les remblais légers furent les suivants :

- Pentes de 2H :1V
- Poids volumique des remblais d'approche : 20 kN/m³
- Poids volumique du polystyrène : 1 kN/m³

Dans un premier temps, les calculs conventionnels de tassement ont été réalisés sans tenir compte de la forme des noyaux. Les tassements calculés pour le domaine normalement consolidé étaient de l'ordre de 70 mm à l'arrière des culées, avec des noyaux légers constitués de 4,5 à 4,7 m d'épaisseur de polystyrène. Le volume total des deux noyaux légers atteignait 14 000 m³. La construction de ces noyaux auraient atteint environ 1,5 M\$.

Dans un deuxième temps, d'autres simulations avec un noyau léger de 4,7 m de polystyrène ont été réalisées à l'aide d'un logiciel développé par le MTQ et spécialement conçu pour le dimensionnement et l'optimisation des remblais légers. Ce logiciel (SOL-DESIGN) tient compte, entre autres, de la géométrie complexe des noyaux et de l'interaction des divers éléments de charge qui agissent sur les couches de sols compressibles. Les tassements calculés dans le domaine normalement consolidé sont nuls dans le voisinage des culées et débutent à une distance d'environ 7 m à l'arrière des fondations pour augmenter graduellement vers la fin des noyaux légers.

Le dimensionnement final des noyaux légers a été conditionné par les principales contraintes suivantes :

- Pas de tassement dans le domaine normalement consolidé, à proximité des culées,
- Conservation dans le temps d'un profil vertical acceptable pour les usagers compte tenu de la vitesse affichée de 50 km/h.

- Optimisation des coûts associés à la construction des noyaux légers ; design pour un tassement théorique maximal d'environ 500 mm vis-à-vis la fin des noyaux légers, soit à 68 m à l'arrière des culées (intervention du MTQ pour corriger le profil au-delà d'un tassement critique),
- Conservation des conditions de sécurité contre une rupture en profondeur,
- Annuler ou minimiser la friction négative et le fluage latéral sur les pieux,

Le volume final de chacun des noyaux légers est 4155 m³. Les coûts de construction de ces noyaux sont évalués à 0,9M\$, ce qui représente une économie d'environ 0,6 M\$ par rapport au premier design. Par contre, il faut soustraire les coûts de réparation des chaussées dus aux tassements à long terme. Les travaux de correction peuvent varier considérablement en fonction de l'ampleur des tassements. Il peut s'agir de simples travaux de pose d'asphalte, de rehaussement de la chaussée avec un granulats concassé MG-20, de reconstruction du terre-plein central, du rehaussement des lampadaires et des glissières, de la construction des bordures de ciment... Les coûts de tels travaux sont estimés entre 0,1 et 0,3 M\$ répartis sur deux interventions, au cours des vingt prochaines années.

CONSTRUCTION

Au cours des mois d'août et septembre 2003, le MTQ a fait construire les deux remblais d'accès pour le pont d'étagement « Henri-Fabre » qui enjambe l'autoroute 50 et permet d'accéder directement aux terrains de la compagnie Bombardier.

Selon les exigences actuelles du MTQ, la partie supérieure des noyaux légers est constituée de 2 couches de polystyrène de 610 mm chacune ayant une résistance minimale à la compression de 140 kPa et une masse volumique de 25 kg/m³. Pour les couches sous-jacentes, les exigences sont une résistance minimale à la compression de 100 kPa et une masse volumique de 20 kg/m³.

La figure 3 montre une coupe longitudinale et une vue en plan des remblais d'accès contenant chacun un noyau léger formé de 7 couches de blocs de polystyrène. Les figures 4 et 5 illustrent la mise en place des blocs de polystyrène dont les dimensions sont typiquement de l'ordre 2,44 m x 1,22 m x 0,61 m (8' x 4' x 2'). Les tolérances sur ces blocs et leur mise en place sont :

- Longueur et largeur : +/- 0,5 %,
- Épaisseur : - 2 mm et + 4 mm pour une épaisseur d'au plus 100 mm et +/- 5 mm pour une épaisseur à 100 mm,
- Équerrage : 5 mm,
- Planéité : 5 %.

SUIVI DES TASSEMENTS

Dès la mise en service du pont d'étagement « Henri-Fabre », des mesures d'élévation sur le centre des 4 chaussées ont été réalisées à 6 reprises entre décembre 2003 et juillet 2004. Les points mesurés sont espacés aux 10 m et débutent immédiatement à l'arrière des culées. Les chaussées localisées du côté nord du pont d'étagement montrent des tassements entre 60 et 90 mm vis-à-vis le noyau de polystyrène, alors que celles localisées du côté sud affichent des tassements situés entre 40 et 110 mm. Les tassements observés au dessus des 2 noyaux légers, près des culées, sont du même ordre de grandeur que ceux prédits et associés au domaine surconsolidé, soit de l'ordre de 70 à 80 mm..

Les tassements observés sur les chaussées localisées du côté sud augmentent graduellement tout en s'éloignant de la culée sud, ce qui reflète bien la diminution de l'influence du noyau léger qui voit son épaisseur devenir nulle, à 68 m de la culée. Par contre, les tassements observés du côté nord montrent un comportement différent où les tassements atteignent un maximum de 90 mm à environ 40 m à l'arrière de la culée. Les étapes de construction sont révisées en détail et d'autres mesures de tassement seront prises au cours des prochains mois afin de mieux comprendre ce comportement inattendu.

CONCLUSION

La conception des remblais d'accès au pont d'étagement « Henri-Fabre » a nécessité l'apport de noyaux légers afin de préserver l'intégrité des structures du pont d'étagement. L'usage de tels noyaux a permis également d'optimiser les coûts de construction des fondations et d'éviter la construction de contrepoids volumineux qui auraient accentué les tassements dans l'horizon d'argile sous-jacent.

La forme et les dimensions des noyaux légers ont été déterminées de façon à obtenir un tassement nul près des culées et un tassement progressif vers l'arrière de ces dernières, jusqu'à un maximum théorique vis-à-vis la fin de chacun des noyaux.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le ministère des Transports du Québec ainsi que Qualitas Géoconseil pour leur support dans la rédaction de cet article.

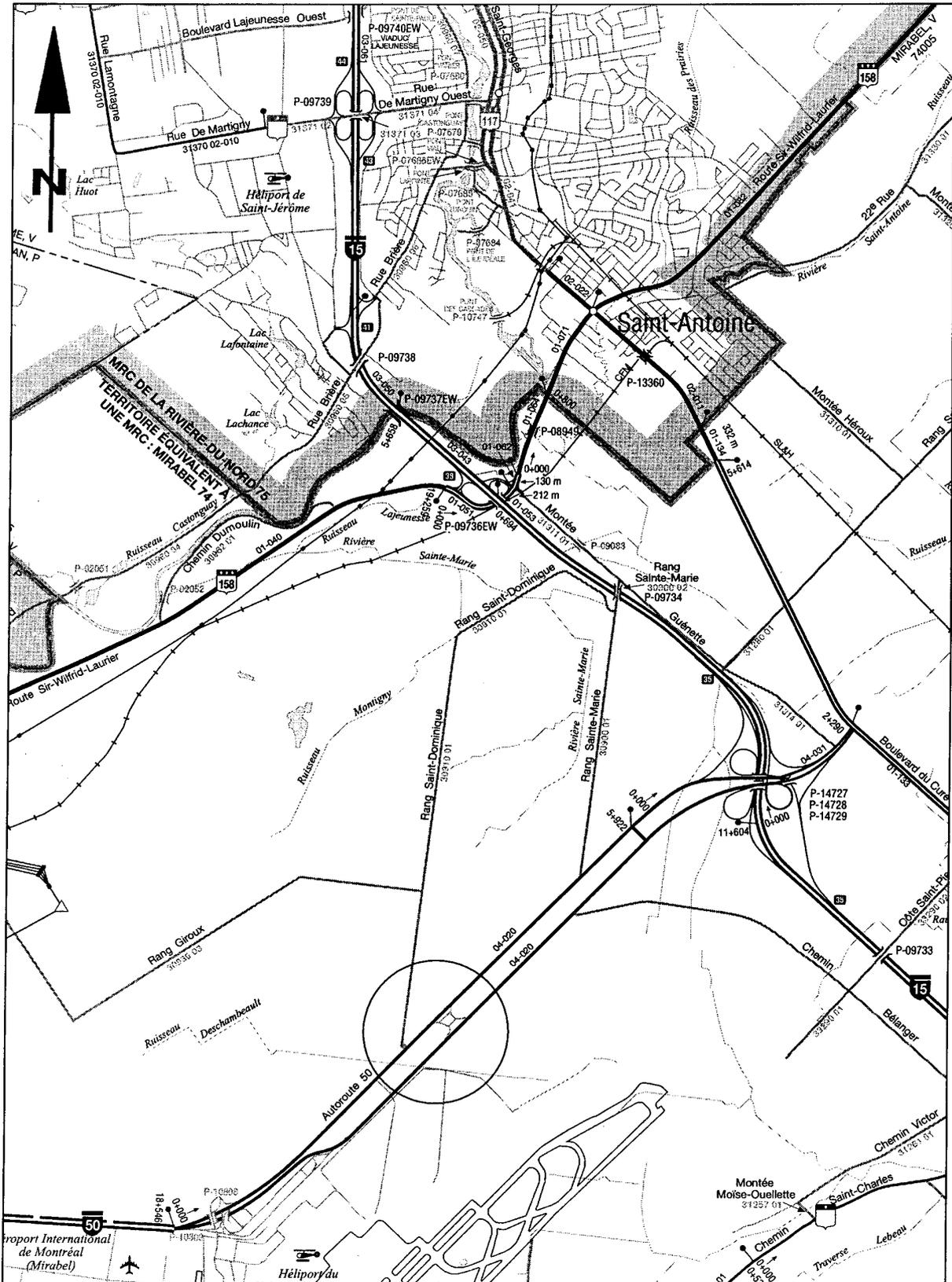


Figure 1. Localisation du site

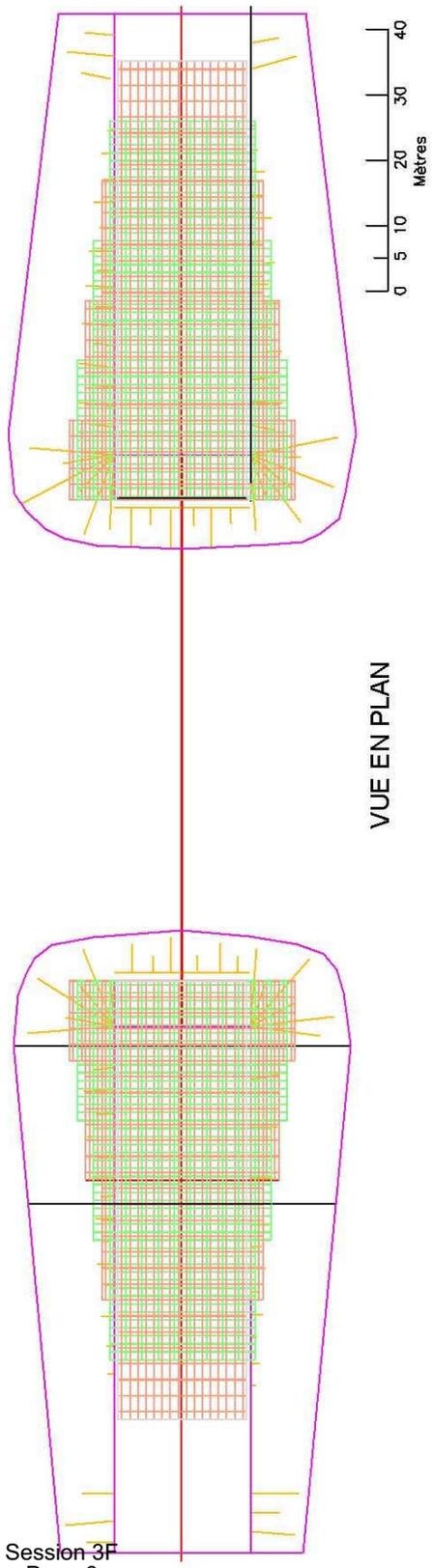
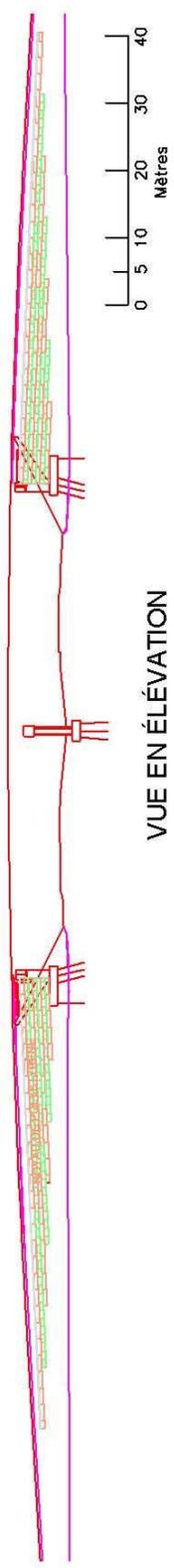


Figure 3. Remblais légers - Mirabel - Noyaux de polystyrène



Figure 4 : Mise en place des blocs de polystyrène



Figure 5 : Vue rapprochée d'une couche de polystyrène