

REAMENAGEMENT
DU ROND-POINT DE L'ACADIE

Olivier Joly, ing.
Ingénieur de projet
SNC-Lavalin inc.

Exposé préparé pour
la séance sur les « Innovations en matière de génie des ponts »
du congrès annuel de 2004 de
l'Association des Transports du Canada
À Québec (Québec)

RÉSUMÉ

Situé dans un milieu fortement urbanisé, au carrefour du boulevard de l'Acadie et de l'autoroute Métropolitaine (40), le rond-point de l'Acadie dans sa configuration actuelle ne répond plus aux attentes d'aujourd'hui. Son réaménagement en un véritable échangeur améliore la fluidité de la circulation, ajoute des voies de service sans croisement et améliore la sécurité des piétons et des usagers du transport en commun. La conception et la réalisation des ouvrages d'art requis pour la nouvelle géométrie sont influencées par de nombreuses contraintes de maintien des déplacements, d'emprise restreinte, de services publics enfouis, de proximité d'habitations, de durabilité des ouvrages et d'intégration architecturale globale du milieu. Les ouvrages d'art comprennent plus de 2 kilomètres de murs de soutènement en plus de 4 ponts d'étagement dont les charpentes d'acier sont les éléments vedettes du projet. Avec un rayon de courbure minimal de 37,1 mètres, ces charpentes constituées de poutres en acier courbes repoussent les limites des géométries réalisables jusqu'alors avec ce matériau.

INTRODUCTION

Dans le cadre d'un processus d'amélioration de la fluidité de l'autoroute Métropolitaine, le ministère des Transports du Québec, de concert avec la Ville de Montréal, a identifié le réaménagement complet du rond-point de l'Acadie comme un élément prioritaire. Le mandat de procéder aux études d'avant-projet, à la préparation des plans et devis et à la surveillance des travaux pour ce réaménagement a ainsi été octroyé à un consortium composé des firmes Dessau-Soprin et SNC-Lavalin.

Cet article se veut une présentation du projet, de son historique, des solutions d'aménagement avancées et des contraintes de réalisation rencontrées, avec une attention particulière aux ouvrages d'art et plus spécialement à la charpente d'acier des ponts d'étagement.

LOCALISATION

Le rond-point de l'Acadie est situé à l'intersection du boulevard de l'Acadie et de l'autoroute 40, aussi appelée autoroute Métropolitaine ou boulevard Métropolitain. L'axe nord-sud du boulevard de l'Acadie et l'axe est-ouest de l'autoroute 40 séparent ce secteur en 4 quadrants (figure 1).

Dans le quadrant nord-est se trouve le Marché Central, autrefois point de chute des grossistes maraîchers de la région et maintenant espace commercial en pleine expansion. Le quadrant nord-ouest est principalement une zone industrielle alors que le quadrant opposé, au sud-est, est le quartier résidentiel de Parc Extension. Finalement, le Centre Rockland, centre commercial important, occupe le quadrant sud-ouest.

Le rond-point de l'Acadie forme également une partie de l'échangeur entre l'autoroute 15 et l'autoroute 40 pour tous les mouvements depuis la 40 direction Ouest vers la 15 Nord et les mouvements depuis la 15 Sud vers la 40 Est.



Figure 1 : Vue aérienne du rond-point avant les travaux

PROBLÉMATIQUE

Construit dans la fin des années 50, le rond-point de l'Acadie ne comportait à l'origine aucun feu de circulation et permettait une libre circulation des véhicules au-dessus de l'autoroute 40 par ses deux ponts d'étagement (figure 2). Les lieux environnants n'avaient pas encore subi le développement actuel et les débits de circulation étaient plus faibles qu'aujourd'hui.



Figure 2 : Rond-point en 1960



Figure 3 : Rond-point en 2000

Dans les années 80, la forte croissance industrielle et commerciale des quartiers adjacents amena l'augmentation des flots de circulation, autant automobiles que piétons. Des feux de circulation durent être ajoutés à chaque carrefour (figure 3). Les débits de circulation élevés rendaient néanmoins périlleuses les traversées piétonnes du secteur et on pouvait assister à la formation de bouchons de circulation. Ces bouchons allaient jusqu'à perturber la circulation sur l'autoroute 40 sous-jacente puisque la congestion se produisait également dans les entrées et sorties du secteur.

CONTRAINTES

De nombreuses contraintes doivent être prises en compte dans l'élaboration des scénarios visant à améliorer le fonctionnement du rond-point de l'Acadie. La principale contrainte concerne évidemment l'espace physique disponible (milieu urbain bâti, centres commerciaux, milieu résidentiel, etc.) ; toute expropriation importante a des répercussions majeures sur les coûts et l'acceptabilité du projet.

Les autres contraintes importantes définissant le projet sont le maintien des déplacements (circulation routière, piétons, transport en commun), la présence d'activités urbaines mixtes (résidentielles et commerciales) et la présence d'importants services publics enfouis.

CONCEPT RETENU

Les objectifs visés par le nouveau concept sont :

- l'augmentation de la fluidité et l'élimination de la congestion sur l'autoroute Métropolitaine et ses voies de services adjacentes ainsi que sur le boulevard de l'Acadie;
- l'augmentation de la convivialité du carrefour entre les différents usagers.

Le concept retenu ressemble, à première vue, au rond-point original. Le fonctionnement de cette nouvelle configuration est toutefois entièrement différent et élimine, entre autre, la possibilité de faire le tour du rond-point. La géométrie proposée est celle d'un échangeur « en turbine » (figure 4). Dans cet échangeur, des bretelles permettent de décrocher pratiquement tous les mouvements de virage à gauche, incluant un mouvement de demi-tour de l'ouest vers l'ouest. Une nouvelle bretelle permet également l'accès direct au boulevard de l'Acadie direction sud par les automobilistes en provenance de l'autoroute 15. De plus, l'échangeur comporte l'aménagement de deux voies de service continues de part et d'autre de l'autoroute 40 et qui passent sous le boulevard de l'Acadie.

Le concept géométrique nécessite également la relocalisation de la sortie St-Laurent de même que le déplacement de l'axe de l'autoroute 40 d'environ 6 mètres vers le nord. Au niveau du boulevard de l'Acadie, des bretelles réservées au transport en commun permettent d'intégrer les circuits d'autobus à la nouvelle configuration. Finalement, des carrefours avec feux de circulation permettent une traversée sécuritaire des piétons.

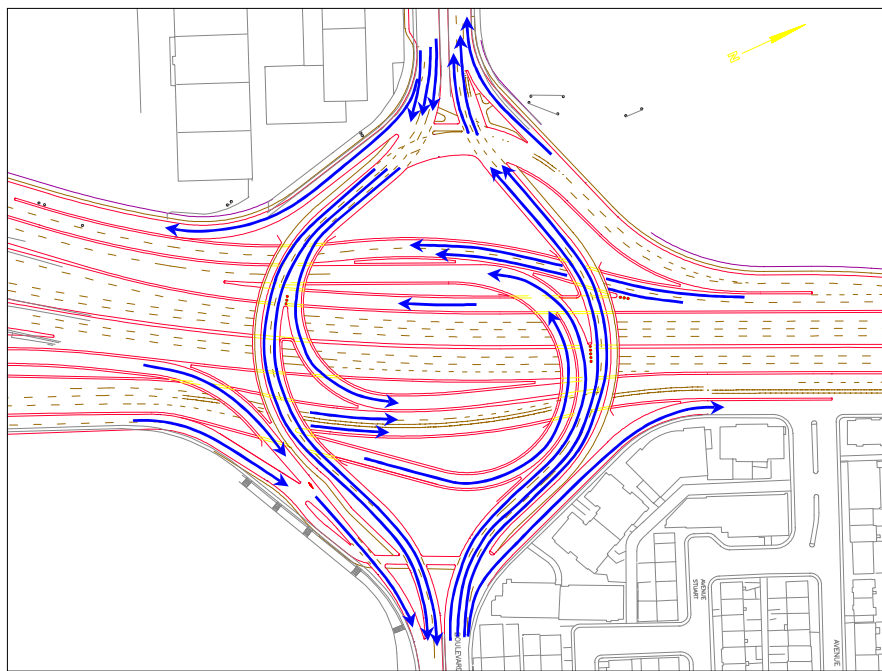


Figure 4 : Géométrie retenue

Ce réaménagement du rond-point de l'Acadie implique des travaux majeurs, dont entre autres :

- le déplacement de nombreux services publics enfouis, incluant une conduite de gaz majeure et des lignes électriques;
- la démolition des deux ponts d'étagement existants;
- la construction de 4 nouveaux ponts d'étagement;
- la construction de plus de 2 kilomètres de murs de soutènement;
- la construction de nouvelles voies de service entre le pont d'étagement Querbes et le chemin Rockland, passant sous le boulevard de l'Acadie;

- la construction de bretelles permettant de décrocher les mouvements (du nord vers l'est, du sud vers l'ouest et de l'ouest vers l'ouest) en éliminant les feux de circulation;
- la réfection de la chaussée des voies rapides de l'autoroute 40;
- le réaménagement des approches.

MESURES DE MITIGATION

Afin de diminuer l'impact des travaux sur les usagers de la route et sur les riverains, d'importantes mesures de mitigation sont mises en place. Pour les usagers de la route, ces mesures consistent en :

- la construction d'un pont d'étagement temporaire enjambant l'autoroute 40 et permettant de maintenir 90% de la capacité des voies. Ce pont temporaire, construit dans la première phase des travaux, sera démoli 2 ans plus tard;
- la construction d'une bretelle temporaire d'entrée à partir de la rue Beauharnois vers l'autoroute 15 nord.

Pour les riverains, ces mesures de mitigation concernent :

- le bruit;
- la poussière;
- les mouvements piétonniers;
- les trajets des autobus ;
- l'accès aux commerces.

Également, sans être une mesure de mitigation à proprement parler, un éclairage temporaire composé de quatre tours d'éclairage de type haut-mat est installé au début des travaux afin d'assurer un éclairage adéquat entre les périodes d'enlèvement des équipements d'éclairage existant et leur remplacement.

STRATÉGIE DE RÉALISATION

Les travaux de réaménagement du rond-point de l'Acadie sont divisés en 5 lots de construction qui s'échelonnent sur 5 ans.

Le premier lot, réalisé de mars à décembre 2001, comprend la construction du pont d'étagement temporaire et la mise en place de la bretelle d'entrée de la rue Beauharnois vers l'autoroute 15. À la fin de ces travaux, les automobilistes en direction nord empruntent le pont temporaire et les automobilistes en direction sud continuent d'emprunter le pont d'étagement existant ouest.

Le deuxième lot, réalisé de mars 2002 à janvier 2003, comprend la démolition et la reconstruction du pont d'étagement est ainsi que la démolition du pont d'étagement ouest. Les murs de soutènement à l'est du pont temporaire sont également construits. À la fin des travaux, la direction du trafic sur le pont temporaire est inversée. Les automobilistes en direction sud empruntent le pont temporaire alors que les automobilistes en direction nord empruntent le nouveau pont d'étagement est.

Le troisième lot, de mars 2003 à mai 2004 comprend la construction des 3 nouvelles structures formant le pont d'étagement ouest, la démolition du pont temporaire, la construction de divers

murs de soutènement restants ainsi que la complétion des bretelles et des voies de service. À la fin de ces travaux, tous les mouvements de circulation s'effectuent selon la configuration finale et l'ensemble des structures sont construites.

Le quatrième lot, actuellement en cours, comprend la réfection de la chaussée des voies rapides de l'autoroute 40 dans ce secteur de même que la mise en place des écrans métalliques sur les ponts d'étagement.

Finalement, le cinquième et dernier lot, prévu en à l'automne 2004 et à l'été 2005, finalise le projet avec l'aménagement paysager.

MURS DE SOUTÈNEMENT

L'ajout de nouvelles voies de service et de bretelles dédiées requière un espace au sol supplémentaire par rapport au rond-point original. Cet espace est restreint par le développement restreint adjacent et par une volonté de minimiser les acquisitions de terrain qui se traduisent par des coûts très élevés et des délais incontrôlables. Le gain d'espace au sol requis s'est donc fait en remplaçant des talus par des murs de soutènement qui « absorbent » les différences d'élévations entre les voies.



Figure 5 : État du chantier en mars 2004

Le projet compte ainsi plus de 2 kilomètres de murs de soutènement (figure 5). La hauteur maximale de ces murs est de 12,6 mètres, du sommet du mur au dessous de la semelle. À leur base, les murs ont une épaisseur variant de 0,45 à 1,60 mètres et l'épaisseur des semelles varie de 0,45 à 1,60 mètres

Tous les murs de soutènement permanents du projet sont de type porte-à-faux en béton armé. Ils sont tous coulés en place à l'exception de quelques murs de faible hauteur préfabriqués en usine et pour lesquels une mise en place rapide est dictée par des obligations de maintien de circulation.

Pour un certain nombre de murs, l'espace disponible à l'arrière pour construire la semelle est limitée soit par des contraintes de maintien de circulation ou par la présence d'utilités publiques. Dans ces cas, la semelle est déplacée vers l'avant, c'est-à-dire vers la face en déblai, et est dite inversée. Comme le poids des terres stabilise les murs en porte-à-faux et que les semelles inversées sont moins longues à l'arrière, un système d'ancrage est utilisé pour compenser cette perte de poids. Des barres Dywidag pré-tensionnées sont disposées en 2 rangées et espacées de 1,0 à 2,0 mètres, selon la hauteur du mur. Des ancrages passifs, sous la forme de barres d'armature 30M sont également forcés et ancrés au roc (figure 6).

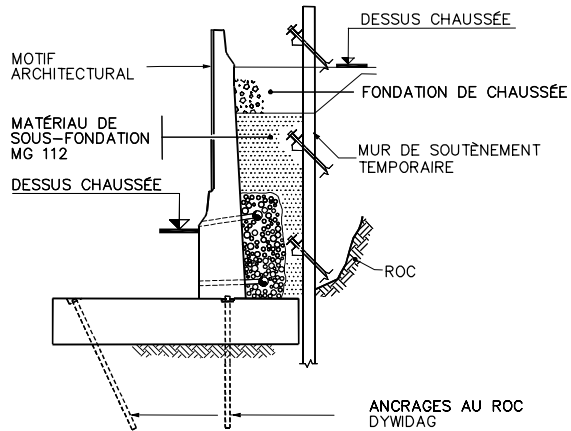


Figure 6 : Murs à semelle inversée

La plupart des murs de soutènement du projet incorporent une glissière en béton à leur sommet et parfois également une glissière de béton à leur base. Plusieurs bases de lampadaire et de super-signalisation sont également incorporées aux ouvrages. Tous ces murs sont conçus pour reprendre non seulement la poussée des terres mais également les charges sismiques et les charges d'éventuelles collisions de véhicules.

PONTS D'ÉTAGEMENT

Les ponts d'étagement sont au nombre de 4 : deux ponts d'étagements « principaux » au-dessus des voies rapides et deux ponts d'étagement « secondaires » au-dessus de la voie de service sud (figure 7).



Figure 7 : Charpente des ponts principaux

Géométrie en plan

Les deux ponts « principaux » sont ceux qui nous intéressent : d'apparence symétrique l'un par rapport à l'autre, ils sont caractérisés par leur géométrie en plan toute en courbes. Puisque les bretelles qu'ils supportent permettent un décrochement des mouvements, ces ponts sont en forme de « Y » et possèdent non pas deux mais trois culées. La branche extérieure du « Y » est formée par les voies du boulevard de l'Acadie et est définie par un arc de cercle. La bretelle intérieure du « Y » est générée par la surlargeur de visibilité requise pour les bretelles de virage à gauche. Cette surlargeur de visibilité est composée de trois arcs de cercle tangents. La charpente métallique suit cette géométrie de façon à conserver des porte-à-faux extérieurs constants. Il en résulte un rayon de courbure en plan variant de 37,2 mètres pour la portion la plus courbe de la poutre interne à un rayon maximal de 87.1 mètres pour la poutre externe (figure 8).

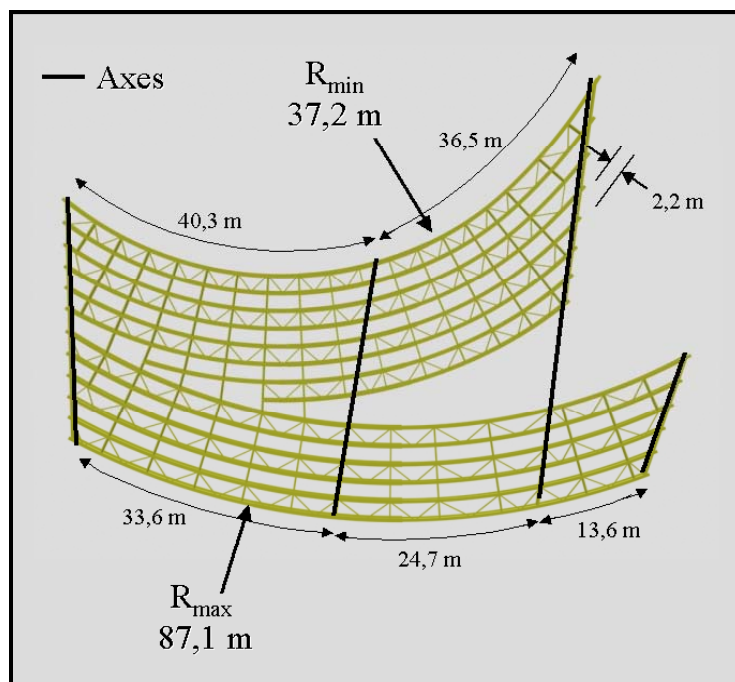


Figure 8 : Géométrie en plan du pont Est

Bien que semblables, les ponts Est et Ouest diffèrent tant par la largeur de leur tablier que par les portées et les biais que forment les axes. Du point de vue structural, le pont Est, plus large et comportant des portées plus grandes, est le plus difficile.

La position des axes est dictée par la position des voies de circulation sous-jacentes. Il en résulte que ceux-ci ne sont pas parallèles entre eux. Un biais considérable (de plus de 45 degrés) en est un autre résultat.

Géométrie en profil

Outre la géométrie en plan, la géométrie en profil présente plusieurs difficultés. La géométrie est définie non par une seule mais bien par trois lignes d'application ayant chacune son profil longitudinal associé (figure 9). Mentionnons que ces profils longitudinaux sont particulièrement

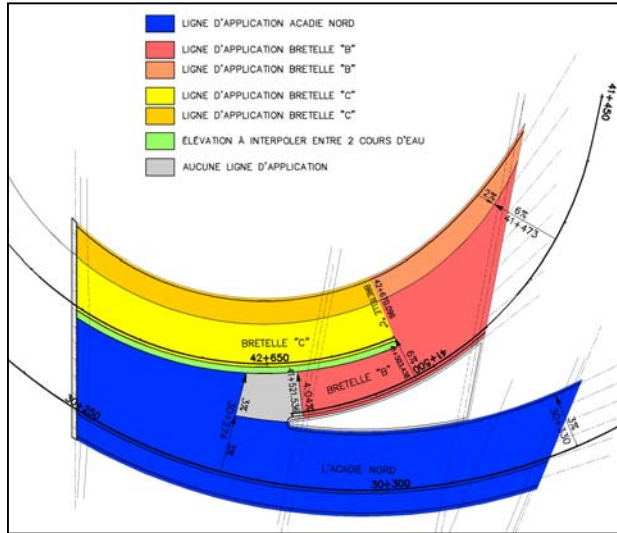


Figure 9 : Lignes d'application des profils

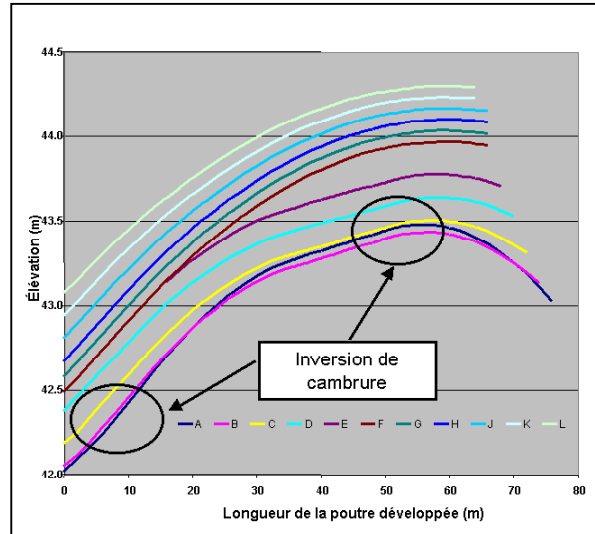


Figure 10 : Profils des poutres

prononcés avec des pentes maximales de 6%. Les dévers depuis les lignes d'application sont variables de par leur pente et également de par la largeur sur laquelle ils s'appliquent. Ils varient de 3% à 6% avec un dévers inverse de 2% dans la surlargeur de visibilité. Pour compliquer le tout, les poutres ne sont pas parallèles aux lignes d'application. Les profils des poutres sont dérivés des profils longitudinaux selon la distance par rapport à la ligne d'application et au dévers applicable. Le croisement de la surlargeur de visibilité par certaines poutres ont même amenés des inversions de cambrures dans le profil recherché (figure 10).

Contraintes de conception

Outre cette géométrie complexe en plan et en profil, les contraintes de conception de ces ponts d'étagement comprennent un dégagement vertical restreint qui nécessite une structure relativement élancée. Également, la fermeture des voies rapides uniquement la nuit amène une mise en place qui doit pouvoir s'effectuer rapidement et par morceaux.

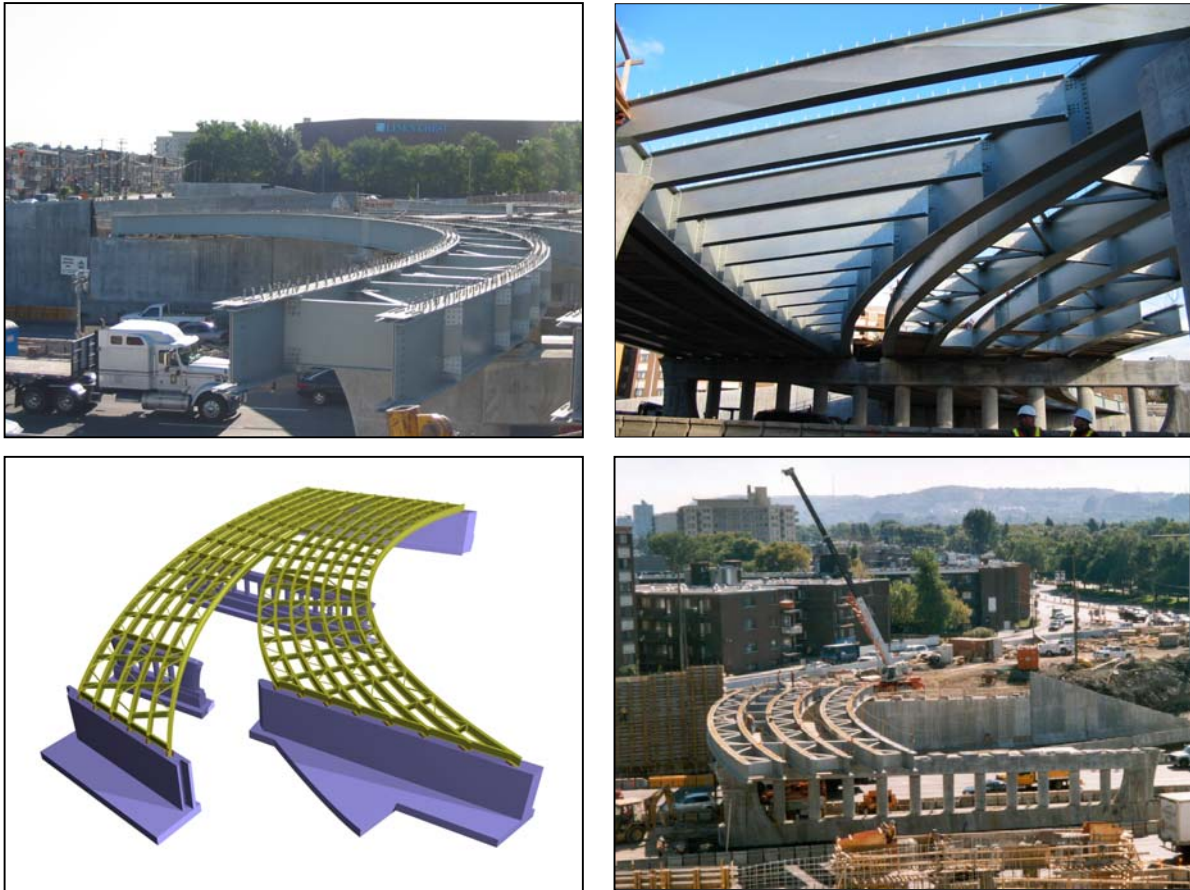


Figure 11 : Vues de la charpente métallique

Le système structural choisi, en considérant toutes ces contraintes consiste en une charpente métallique composite avec une dalle de béton armé, le tout reposant sur des piles et des culées en béton armé (figures 11 et 12). Cette charpente métallique est composée de poutres en « I » d'une profondeur de 1100 millimètres, ce qui donne un rapport portée/profondeur très élancé de 35. Ces poutres, disposées de façon parallèle et espacées de 2200 millimètres, sont reliées entre elles par des entretoises disposées radialement. Certaines poutres doivent être interrompues avant un appui pour éviter l'effet éventail. Ces poutres donnent ainsi l'impression de « s'arrêter dans le vide ». Vue la faible profondeur des poutres principales, les entretoises sont également des poutres en « I » à âme pleine dont la profondeur est dictée par le décalage vertical entre deux poutres adjacentes. En effet, les entretoises ont été conservées horizontales pour faciliter la fabrication. Des goujons relient les poutres à la dalle de béton qui a une épaisseur de 200 millimètres.

Les emplacements des épissures des poutres principales ont été déterminés au niveau des plans et devis en fonction d'une séquence de montage définie selon les critères de fenêtres de travail permises pour l'érection des poutres. Des sections de poutres d'une longueur variant entre 13 et 27 mètres ont été choisies. Un des facteurs déterminant dans le choix de l'emplacement des

épissures est le transport des sections de poutres. Afin de faciliter ce transport, la flèche en plan des sections de poutres a été limitée à 2 mètres.

ANALYSE STRUCTURALE

Les ouvrages d'art, dont les charpentes métalliques, répondent aux critères de la norme CSA S6-00 « Code Canadien de Conception des Ponts Routiers ». Cette norme traite spécifiquement des ouvrages constitués de poutre courbes.

Afin d'obtenir les efforts dans les éléments de la charpente et dans la dalle de béton, un modèle 3D d'éléments finis a été établi avec le logiciel VisualDesign. Pour la charpente métallique, les semelles des poutres ont été modélisées avec des éléments linéaires à 2 nœuds tandis que les âmes ont été modélisées par des éléments de plaques à 4 nœuds. Cette disposition permet d'obtenir et de dissocier les efforts de flexion des efforts de torsion et des efforts de gauchissement. Les entretoises sont incluses dans le modèle par des éléments linéaires dont les connexions semi-rigides reproduisent le comportement des assemblages boulonnés. Ces entretoises sont connectées aux poutres principales uniquement par leurs âmes, encore une fois pour simplifier la fabrication des pièces.



Figure 12 : Détails d'assemblage des entretoises

La dalle de béton fait également partie du modèle de même que les culées et les appareils d'appui. La dalle et les culées sont générées par des éléments de plaque triangulaires. Le modèle des appareils d'appui permet par ailleurs de reproduire la direction exacte du mouvement permis aux appareils d'appui. L'orientation finale de ces appareils d'appui est d'ailleurs telle qu'ils ne sont ni parallèles aux poutres ni même parallèles entre eux sur une même ligne d'axe (figure 13).

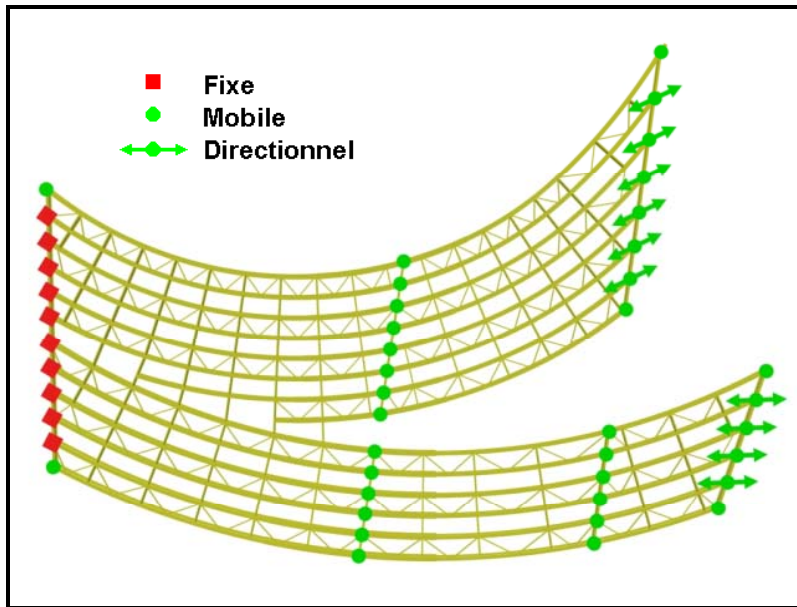


Figure 13 : Appareils d'appui

Ce modèle a servi à obtenir les efforts dans les membrures, les flèches des divers éléments et les efforts dans la dalle. Il a de plus permis la détermination de l'orientation des appareils d'appui et a permis l'étude des séquences de coulée de la dalle, séquences qui se sont avérées critiques pour la conception de la charpente métallique.

DÉMOLITION DES PONTS EXISTANTS

Le projet inclut également la démolition des ponts existants. Bien que cette étape semble banale, la situation de ces ponts, au-dessus d'une des autoroutes les plus achalandées de la province, rend l'opération digne de mention. Les documents contractuels prévoyaient la démolition du tablier du pont en 10 bandes latérales au rythme d'une bande par nuit. Cela impliquait une sécurisation des lieux chaque nuit avant d'ouvrir les voies de circulation sous-jacentes.

L'entrepreneur proposa plutôt la démolition complète du pont en une seule nuit, soit sur une fenêtre de travail d'environ 6 heures lorsque l'on tient compte du délai nécessaire à la fermeture des voies rapides.



Figure 14 : Démolition du pont Est

La méthode proposée était de broyer directement l'ouvrage en place pour le faire tomber en petits morceaux sur les voies sous-jacentes, préalablement recouvertes d'un tapis protecteur de remblai granulaire. De puissantes pelles mécaniques, équipées de mâchoires hydrauliques, furent utilisées (figure 14). Jusqu'à 6 de ces mâchoires furent utilisées simultanément en plus des bulldozers et des camions nécessaires au nettoyage des lieux. Cette façon radicale de procéder a éliminé tout risque de chute de matériau de démolition sur les voies et a aussi éliminé la nécessité de sécuriser un ouvrage à moitié démoli en plus de gagner du temps sur l'échéancier des travaux.

MURS DE SOUTÈNEMENT TEMPORAIRES

Le rond-point de l'Acadie est situé dans un environnement fortement urbanisé où tout l'espace disponible est déjà utilisé. Dans un contexte de chantier, l'espace disponible est d'autant plus restreint que le maintien de la circulation vient occuper une bonne partie de cet espace. Afin d'être en mesure de construire les ouvrages permanents, des murs de soutènement temporaires sont ainsi requis à plusieurs endroits. Au total, environ 5000 m² de soutènement temporaire sont requis pour l'ensemble des lots de construction.

Ces murs de soutènement sont réalisés selon la technique du « mur berlinois », adaptée aux conditions du sol en place. Des pieux tubulaires sont forés et encastrés au roc. Par la suite, des madriers de bois sont insérés entre les pieux au fur et à mesure de l'avancement de l'excavation. Dans la plupart des cas, la hauteur des murs nécessite l'ajout d'ancrages au roc reliés au mur par la mise en place de moises horizontales.

À la fin des travaux, le démantèlement de ces murs suit le chemin inverse et les madriers, ainsi que les ancres, sont retirés du mur au fur et à mesure du remplissage des excavations. Il ne reste alors qu'à retirer ou à araser les pieux.

ÉLÉMENTS ARCHITECTURAUX

Le nouveau rond-point de l'Acadie étant appelé à devenir un point de mire du réseau routier, une attention particulière est portée au traitement visuel des ouvrages d'art construits. Pour ce faire, la firme d'architecte Lemay et associés eut pour mission de développer l'aspect esthétique des lieux sans interférer avec la fonctionnalité des ouvrages et ce, dès l'étape de l'avant-projet.

L'élément dont l'envergure est la plus marquée est sans contredit les murs de soutènement. Leur surface visible (incluant celle des culées) totalise plus de 7000 m² et présente un jeu de bandes verticales alternées selon un rythme irrégulier. Une alternance de zones lisses finies au jet de sable séparées par des zones ondulées au fini brillant permet de créer un effet cinétique intéressant. Ces zones ondulées sont obtenues par l'ajout d'une doublure de coffrage rigide à l'intérieur des coffrages des murs. Au lot 2, l'entrepreneur a utilisé des doublures de coffrage faites en minces panneaux de fibre de verre alors que, pour le lot 3, des panneaux plus épais (d'environ 4 mm) en ABS ont été préférés.

Les piles des ponts ont également droit à un traitement spécial qui se développe dans la forme



Figure 16 : Culée et pile centrale lors de l'érection de la charpente

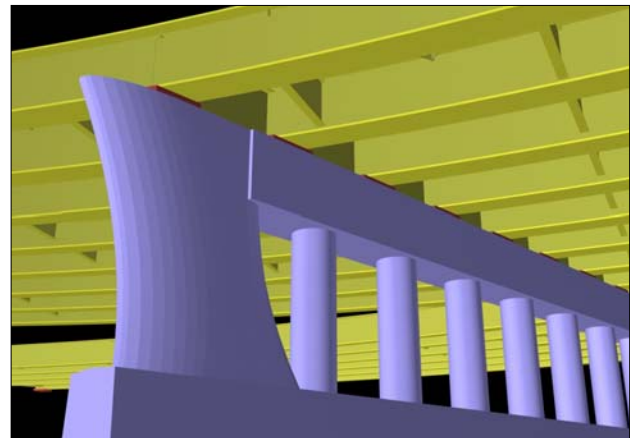


Figure 15 : Pile centrale

même des colonnes des piles, dont la silhouette rappelle celle de la proue d'un navire (figures 15 et 16). Afin de recréer la forme voulue, des coffrages en bois plié ont été fabriqués en usine puis mis en place au chantier. Le fini de surface des piles est par la suite obtenu par un passage au jet de sable.

Ce même traitement de surface est également appliqué à la glissière extérieure des ponts d'étagement, dont la forme arrondie vient répondre à la forme des piles.

Finalement, l'élément le plus frappant sera l'ajout (en 2004) d'un écran métallique qui viendra surplomber la glissière extérieure des ponts d'étagement. Cet écran métallique, d'une hauteur variable culminant à 5,2 mètres au-dessus du niveau du trottoir, incorporera des éléments d'éclairage piétonnier.

CONCLUSION

Une fois complété, le réaménagement du rond-point de l'Acadie en un véritable échangeur urbain permettra de désengorger ce secteur, tant au niveau autoroutier qu'urbain. Les piétons et

les usagers du transport en commun pourront également traverser sans danger ce carrefour tout en profitant de l'aspect visuel grandement amélioré des lieux. En effet, le concept architectural intégré au projet permet de conserver une dimension humaine à ce secteur dominé par l'automobile (figure 17).

Réaliser ces travaux majeurs dans un environnement fortement urbanisé pose toutes sortes de contraintes qui ont largement influencées à la fois la conception et la réalisation. Ces contraintes de maintien de circulation, d'espace restreint, de multiples conduites souterraines et de débits de circulation élevés ont présenté de beaux défis à tous ceux qui ont participé à ce projet, tant lors de la conception que lors de la réalisation, afin de construire des ouvrages durables, fonctionnels et esthétiques.



Figure 17 : Vue aérienne du chantier en mars 2004