



INTÉGRATION D'UN SLR AU NOUVEAU PONT SUR LE SAINT-LAURENT

Étude de configuration et avis techniques -
Rapport synthèse

20 juin 2013

Ministère des Transports du Québec

INTÉGRATION D'UN SLR AU NOUVEAU PONT SUR LE SAINT-LAURENT

Étude de configuration et avis techniques -
Rapport synthèse

20 juin 2013

Ministère des Transports du Québec

**Ministère
des Transports**

Québec 

Avec la collaboration de :
Infrastructure Québec
Agence métropolitaine de transport

Infrastructure

Québec 





Révision

Revision	Date	Rédigé par	Révisé par	Approuvé par	Description	Secure
A	14 juin 2013	J. Fisher / T. Abbott / L. Sokou	E. Pilé / J.C. Bélisle / J. Habimana	L. Sokou	Version de travail	
B	17 juin 2013	J. Fisher / T. Abbott / L. Sokou	E. Pilé / J.C. Bélisle / J. Habimana	L. Sokou	Version pour commentaires	
C	20 juin 2013	J. Fisher / T. Abbott / L. Sokou	E. Pilé / J.C. Bélisle / J. Habimana	L. Sokou	Version finale	

Ce document, ses annexes ainsi que les informations qu'ils contiennent sont confidentiels et secrets, protégés à ce titre par les dispositions des codes de la propriété intellectuelle et industrielle. Ils ne doivent pas être diffusés à d'autres parties sans le consentement de Hatch Mott MacDonald et de la partie qui l'a commandé.

Hatch Mott MacDonald ne peut être tenue responsable pour les conséquences de l'utilisation de ce document par une autre partie, ou à d'autres fins, ou pour une erreur ou une omission due à une erreur ou omission dans les données fournies à Hatch Mott MacDonald par d'autres parties.



Table des matières

Chapitre	Titre	Page
	Sommaire	i
1	Mise en contexte	3
1.1	Contexte et objectifs _____	3
1.2	Équipe de réalisation _____	4
2	Évaluation des contraintes	6
2.1	Pont existant _____	6
2.2	La Voie maritime du Saint-Laurent _____	7
2.3	Contraintes environnementales _____	7
2.4	Gestion de la circulation pendant la construction _____	7
2.5	Identification préliminaire des risques (annexe A) _____	7
3	Étude des configurations	8
3.1	Amélioration de la capacité actuelle _____	8
3.2	Configurations développées pour Transports Canada _____	9
3.3	Nouvelles configurations proposées _____	9
3.4	Principales différences entre ponts à 1 et à 2 niveaux _____	14
3.5	Synthèse comparative des configurations retenues (annexe B) _____	15
4	Estimation des coûts	24
4.1	Étalonnage _____	24
4.2	Analyse financière (modèle et hypothèses) _____	25
5	Critères de conception	33
5.1	Matériel roulant SLR _____	33
5.2	Normes de conception _____	34
5.3	Exploitation et entretien du SLR _____	38
6	Considérations contractuelles (PPP)	41
Annexes		
Annexe A	Grille des risques identifiés _____	43
Annexe B	Comparaison des configurations (tab 4.1, rapp.3) _____	47
Annexe C	Représentation visuelle, options A, F and F1 _____	48



Tableaux

Tableau 3.1	Comparaison entre les configurations à 1 et 2 niveaux	23
Tableau 4.1	Coûts en immobilisation, extrapolés à partir du pont d'Incheon	25
Tableau 4.2	Estimation de la répartition des déboursés durant la période de construction	27
Tableau 4.3	Coûts du cycle de vie - Options A, F et F1	28
Tableau 4.4	Coûts de construction, exploitation, maintenance estimés – Option A	30
Tableau 4.5	Coûts de construction, exploitation, entretien estimés – Option F	31
Tableau 4.6	Coûts de construction, exploitation, entretien estimés – Option F1	32
Tableau 5.1	Comparaison de systèmes SLR automatisés	40

Figures

Figure 3.A.	Planche de configurations (4) développée pour TC – Option A à D	10
Figure 3.B.	Option de configuration (E) de tablier à 2 niveaux	11
Figure 3.C.	Option de configuration (F) de tablier à 2 niveaux	12
Figure 3.E.	Option de configuration (F1) de tablier à 2 niveaux	13
Figure 6.A:	Représentation visuelle - Option A	48
Figure 6.B:	Représentation visuelle - Option F	49
Figure 6.C:	Représentation visuelle - Option F1	50



Sommaire

Dans le but de « renforcer sur le plan technique la proposition d'un système de transport collectif que le Québec souhaite soumettre au gouvernement du Canada dans le cadre du projet du nouveau pont sur le Saint-Laurent. », le ministère des Transports du Québec (MTQ) a octroyé à Hatch Mott MacDonald (HMM) un mandat d'expertise d'une durée de cinq semaines.

L'objectif principal du mandat est énoncé comme suit dans les documents d'appel d'offres : « Le développement des options préliminaires qui sont les plus représentatives d'un pont à un (1) ou à deux (2) étages, avec possibilité d'un tablier à six (6) voies et d'un espace pour recevoir un futur SLR¹ quelques années après la mise en service du nouveau pont. Ces options préliminaires devront prendre en compte que, dans l'éventualité où le mode de réalisation retenu pour le projet du nouveau pont serait en partenariat public-privé, la construction ultérieure des voies réservées aux moyens de transport en commun (autobus et SLR) ne devront nuire en aucune façon à l'exploitation par le partenaire privé des six (6) voies réservées aux véhicules »²

Le mandat a globalement pris la forme de propositions de modèles et d'options de configuration, propositions qui reposent sur l'expérience accumulée par HMM (et ses sociétés affiliées Hatch et Mott MacDonald) dans le cadre de projets de ponts similaires, à travers le monde.

Le nouveau pont sur le Saint-Laurent remplacera l'actuel pont Champlain (en fin de durée de vie). Ce remplacement a déjà fait l'objet d'une étude de pré faisabilité conduite par un consortium de firmes d'ingénieurs (BPR, CIMA, DESSAU et EGIS, sous l'appellation Consortium BCDE) en 2011.

Actuellement Transports Canada (TC), mandaté par le gouvernement du Canada, poursuit les études et travaux préparatoires dans l'optique que la construction du nouveau pont débutera à l'horizon 2017.

Les différents travaux déjà réalisés ou en cours sur le sujet, avaient déjà permis à TC d'identifier quatre options de configuration pour le nouveau pont : trois options de pont à 1 seul niveau de tablier (A, B et C), ainsi qu'une option à 2 niveaux (D). La présente étude propose deux nouvelles

¹ SLR : Système Léger sur Rail. Système de transport en commun ferroviaire rapide, circulant principalement en site propre.

² Voir page 12 du document d'appel d'offres.



options de pont à 2 niveaux (options E et F), ainsi qu'une variante de l'option F, appelée F1.

Il ressort de l'analyse de l'ensemble de ces six configurations, qu'une des configurations à 2 niveaux proposées (option F / F1), comportant un tablier supérieur dédié à la circulation autoroutière et un tablier inférieur accueillant un corridor ferroviaire ainsi que deux voies adjacentes réservées, est la seule à répondre la vision exprimée par le gouvernement du Québec : « *Le gouvernement du Québec entend proposer une configuration optimale qui favorisera la meilleure transition technique et commerciale pour l'implantation future du SLR.* »³.

Au-delà de ces considérations de « *transfert technique et commercial, et de nuisance-zéro du transport collectif* », une analyse considérant plus de critères (sécurité, coûts, facilité d'exploitation, etc.) indique que les options A et F (ou F1) s'imposent comme options de référence dans leurs catégories respectives : pont à 1 niveau et pont à 2 niveaux. Cependant le niveau de profondeur et de précision de l'analyse effectuée durant les cinq semaines du mandat nous paraît insuffisant pour les départager clairement. Par conséquent, il est recommandé de poursuivre le projet par une analyse plus en détail de ces deux options.

En outre, une estimation des coûts et des analyses financières sommaires de ces deux options ont ensuite été effectuées, révélant, à ce niveau de précision de l'étude, de faibles différences (de l'ordre de 10 %⁴) de coûts de construction, d'exploitation et d'entretien entre les deux options.

³ Voir page 14 du document d'appel d'offres

⁴ En valeurs actualisées



1 Mise en contexte

1.1 Contexte et objectifs

Fruit d'un appel d'offres lancé par le ministère des Transports du Québec (MTQ) le 18 avril 2013, l'actuel mandat de consultation en ingénierie des ponts vise à « *renforcer sur le plan technique la proposition d'un système de transport collectif que le Québec souhaite soumettre au gouvernement du Canada dans le cadre du projet du nouveau pont sur le Saint-Laurent.* ».

Le 19 avril 2013, le gouvernement du Québec annonçait qu'il préconisera un SLR comme mode de transport collectif sur le nouveau pont. Le mandat a donc débuté le 3 mai, en ayant comme point de départ l'incorporation d'un système SLR au nouveau pont.

Au vu du temps très court imparti au mandat (5 semaines), l'essentiel des sources du mandat proviennent des données immédiatement disponibles et facilement accessibles, à savoir :

- L'étude effectuée pour le compte de la société des Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée (PJCCI), qui s'était penché sur l'opportunité de construire un nouvel ouvrage de remplacement et partant de là, a collecté les données requises pour statuer sur l'opportunité de poursuivre le projet au-delà de ce stade préliminaire : différentes variantes envisageables, aspects environnements et bien sûr, coûts en immobilisation et exploitation. Les neuf rapports produits dans le cadre de l'étude de faisabilité du consortium BCDE constituent une partie importante de la bibliographie de la présente étude. Ces rapports ont été versés dans le domaine public par la société PJCCI, qui les rend disponible en libre téléchargement sur son site internet.
- Juste avant le début des travaux de la présente étude, la division « Transports » du groupe AECOM a finalisé le rapport « Études préparatoires d'un système de transport collectif pour le corridor A10/Centre-ville de Montréal (rapport intermédiaire phase IV – Mise à jour des solutions) » pour le compte de l'Agence métropolitaine de transport (AMT). C'est cette étude, qui a aussi été utilisée comme référence pour la présente étude, qui a permis au gouvernement de fixer le SLR comme solution de système de transport collectif privilégiée dans ce corridor, et donc également sur le nouveau pont.



Parallèlement à ces différentes études, le gouvernement du Canada, qui poursuit de son côté les analyses préliminaires du nouveau pont à travers Transports Canada (TC), est en processus de validation quant au mode de réalisation en partenariat-public-privé (PPP) du nouveau pont. Un dossier d'affaires est attendu d'ici à l'automne 2013.

Dans ce contexte de PPP, l'objectif principal du MTQ et de ses partenaires, Infrastructures Québec (IQ) et l'AMT, est de recueillir des compléments d'avis techniques :

- Sur la faisabilité d'ajouter un SLR au nouveau pont, et;
- Sur les configurations de pont pouvant soutenir adéquatement ce mode de réalisation et le partage des responsabilités (entre le partenaire privé du pont et l'opérateur/partenaire privé du SLR) qui l'accompagne.

Pour y parvenir, le document d'appel d'offres prévoyait une série d'étapes, toutes s'achevant par un rapport dont les titres sont les suivants :

- Revue des conditions et contraintes du site (rapport d'étape 2);
- Étude préliminaire de la configuration et géométrie du pont (rapport d'étape 3);
- Développement préliminaire d'options de configurations (rapport d'étape 4);
- Recherche de la configuration optimale du pont et les avis sur l'intégration d'un SLR sur le nouveau pont (rapport d'étape 5).

Le présent rapport fait la synthèse de ces différents rapports d'étapes. Les chapitres 2, 3 et 4 reprennent l'essentiel des analyses autour de la recherche de la configuration optimale, qui constitue le cœur du mandat. Les chapitres 5 et 6 présentent quelques-uns des avis techniques, figurant principalement dans le rapport d'étape 5.

1.2 Équipe de réalisation

Le présent projet a été réalisé par une équipe de professionnels issus de différents champs d'activités, tous membres de Hatch Mott MacDonald, ou de ses sociétés affiliées Hatch et Mott MacDonald.

Le tableau suivant présente les principales ressources ayant contribué à l'étude :



GESTION DE PROJET / INTÉGRATION FINALE

Jeffrey Fisher, C.Eng., PhD.	Directeur technique (expert international) Metro & Civil / Ponts	Croydon / UK
Lévi Sokou, ing., M.Sc.A.	Chef de projet	Montréal / CAN

STRUCTURE / PONTS

Tim Abbott, Chart.Eng.	Directeur de projets Metro & Civil / Ponts	Croydon / UK
Daisuke Saito C.Eng., PhD.	Ingénieur de projet Metro & Civil / Special Services	Croydon / UK
Biljana Rajlic, P.Eng.	Chef de discipline adjoint Ponts et Autoroutes	Mississauga / CAN

RAIL / SLR

David Hand, C.Eng.	Directeur Buildings and Infrastructure	Manchester / UK
Russel Delmar, P.Eng.	Ingénieur principal Ferroviaire	Calgary / CAN
Gary Farmer, P.Eng.	Ingénieur de projet - Senior Ferroviaire	Vancouver / CAN
Nathan Higgins, P.Eng.	Vice-président Ferroviaire	Calgary / CAN

COÛTS / FINANCE

Pybus Ella	Analyste financier Finance & Regulation	Brighton, Victory / UK
Melvyn Jones	Estimateur principal Programme & Commercial Mgmt	Birmingham / UK
Ian Johnston	Directeur de projet Transportation, Integrated Transport	Southampton- Stoneham / UK
James Yarnall	Estimateur Programme & Commercial Mgmt	Birmingham / UK
Robert Walker	Estimateur principal Programme & Commercial Mgmt	Birmingham / UK

CONTRATS / PPP

Forbes Johnston, C.Eng.	Directeur Highways / Transport Management Consult.	Southampton- Stoneham / UK
Gareth Davies, C.Eng.,	Directeur de projets Highways / Transport Management Consult.	Southampton- Stoneham / UK
Phillip Brown, C.Eng.,	Ingénieur principal Railways London & North	Manchester / UK



2 Évaluation des contraintes

Une évaluation des conditions du projet (contraintes et risques) a été effectuée durant la toute première phase de l'étude. Les sections ci-dessous présentent sommairement les principales conclusions de cette première phase.

2.1 Pont existant

Ouvert à la circulation en 1962, le pont Champlain s'étend sur plus de 3,4 km au-dessus du Saint-Laurent. Avec une largeur de 24,1 m, le pont actuel, dépourvu d'accotement, comporte trois voies de circulation par direction, séparées par une bande médiane. À chaque période de pointe (le matin en direction de Montréal, et le soir en direction de la Rive-Sud), une voie de circulation est retranchée à la direction opposée au trafic principal, et dédiée au transport collectif (réseau d'autobus). Cette réservation de voie à contre sens a débuté en 1978 et est devenu depuis lors, un aspect important du système de transport collectif reliant Montréal à la banlieue.

En termes de circulation, le pont Champlain est emprunté par environ 26 000 véhicules à chaque période de pointe, et en moyenne 60 millions de véhicules par an. Le système de voies réservées en contre sens pour le transport collectif permet d'acheminer en moyenne 20 000 passagers à chaque période de pointe.

Le pont actuel est habituellement divisé en trois tronçons :

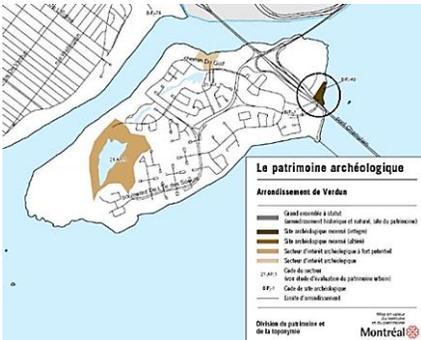
- L'approche nord, de l'Île-des-Sœurs à la digue nord de la Voie maritime, longue d'environ 2,3 km, est constituée de quarante travées de 53,7 m en moyenne, faites principalement de poutres en béton précontraint; pente 0,85 %;
- La traversée de la Voie maritime, longue d'environ 450 m, comporte trois travées. La travée centrale est supportée par des bras en console (porte à faux) d'une longueur de 215 m, offrant un dégagement vertical de 36,6 m; pente 3 %;
- L'approche sud, qui s'étend approximativement sur 680 m à partir de la digue sud de la Voie maritime, comporte dix travées de longueurs différentes. La structure de ce tronçon est similaire à celle de l'approche nord; pente 3 %.



2.2 La Voie maritime du Saint-Laurent

Les exigences en matière de navigation maritime requièrent un gabarit libre de 37,5 m de dégagement vertical et de 117,5 m de dégagement horizontal. La travée centrale existante, avec une portée d'environ 200 m répond donc à l'exigence de dégagement horizontal.

2.3 Contraintes environnementales



L'ajout d'un SLR au nouveau pont augmentera très probablement les niveaux sonores actuellement générés par cette traversée, ce qui pourrait générer ou augmenter les nuisances sonores pour les riverains. Une attention particulière devra être accordée à la forme de la structure et à la forme du tracé, les deux ayant une influence sur les niveaux de bruit et de vibrations émis à partir de l'ouvrage. Il serait aussi nécessaire d'envisager d'autres mesures d'atténuation des bruits.

Deux sites archéologiques protégés se trouvent dans l'emprise du pont proposé, sur l'Île-des-Sœurs. La gestion de ces deux sites sera une des composantes de la phase de planification du projet.

2.4 Gestion de la circulation pendant la construction

Il est prévu que l'alignement du nouveau pont soit parallèle à celui du pont actuel. Le nouveau pont sera implanté à 10 m au nord de l'actuel. Cette exigence est portée par la volonté de minimiser les effets d'intégration du nouveau pont au réseau routier existant, aux deux extrémités de la traversée.

2.5 Identification préliminaire des risques (annexe A)

Un atelier d'identification préliminaire des risques a été réalisé durant la deuxième semaine de l'étude. Les risques identifiés par les participants à cet atelier (HMM, MTQ, AMT, IQ) sont présentés à l'Annexe A.



3 Étude des configurations

La longueur totale du nouveau pont est estimée à environ 3,5 km avec trois tronçons similaires au pont existant :

- l'approche nord, de l'Île-des-Sœurs à la digue nord de la Voie maritime, environ 2300 m;
- la traversée de la Voie maritime, environ 450 m;
- l'approche sud, de la digue sud de la Voie maritime à la Rive-Sud, environ 530 m.

Les caractéristiques générales du pont qui suivent, proviennent du rapport du consortium BCDE :

- un dégagement minimum de 5 m au-dessus de toutes les chaussées existantes et prévues;
- des pentes comprises entre 3,0-3,5 % en fonction de l'épaisseur du tablier du pont afin disposer d'une hauteur suffisante pour dégager la Voie maritime tout en atténuant les pentes pour la circulation des véhicules lourds;
- l'épaisseur du tablier du pont devrait être comprise entre 4 et 8 m (selon qu'il s'agit d'un pont à 1 niveau ou d'un pont à 2 niveaux).

3.1 Amélioration de la capacité actuelle

Dans le cadre du remplacement du pont, la nouvelle configuration prévoit une amélioration globale de la capacité actuelle :

- un tronçon autoroutier à deux fois trois voies, de 3,7 m de largeur;
- deux accotements de 3,0 m;
- un corridor ferroviaire de 10,86 m (dans un premier temps, l'enveloppe ferroviaire sera utilisée comme voie réservée d'autobus⁵);
- une voie piétonne/piste cyclable.

⁵ L'enveloppe du SLR sera utilisée dans un premier temps comme voie réservée aux autobus, avant la construction du système SLR. Il faudra alors réfléchir à la phase de transition (séquençement des travaux, voies de contournement temporaires, etc.), principalement la période des essais et la mise en service du système SLR pendant laquelle l'enveloppe du SLR ne sera plus disponible, alors que le service d'autobus sera toujours nécessaire.



3.2 Configurations développées pour Transports Canada

Les études réalisées pour le compte de TC avaient déjà permis de proposer quatre configurations de tablier, à 1 ou 2 niveaux, avec 1, 2 ou 3 tabliers distincts.

La Figure 3.A reproduit la planche représentant ces quatre configurations, numérotées A, B, C et D pour les fins de l'étude.

3.3 Nouvelles configurations proposées

Les trois (3) options de configurations A, B, C développées pour TC résument bien l'ensemble des configurations envisageables en tablier à un niveau de circulation.

Le travail effectué ici a donc été de se concentrer sur la proposition d'alternatives de configurations de manière à disposer d'une même variété d'options à 2 niveaux. Deux nouvelles configurations de tablier à 2 niveaux (E et F) ont donc été proposées durant l'étude, lesquelles sont présentées aux Figure 3.B et Figure 3.C.

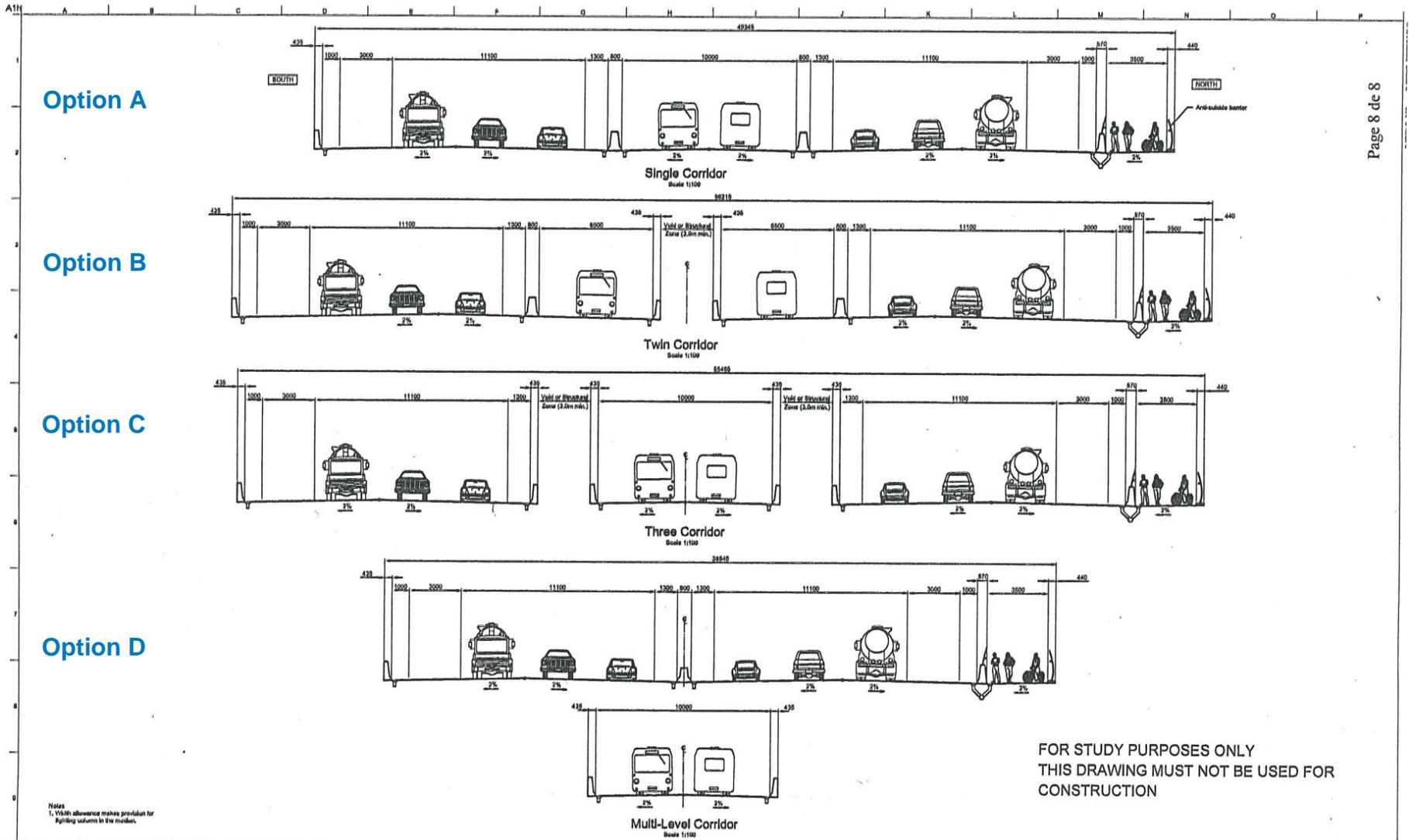
La représentation en perspective d'une structure en béton de l'option F a fait naître des interrogations sur l'effet « *tunnel* » du tablier inférieur, et des inquiétudes quant à toutes les normes de lutte-incendie qui pourraient alors compliquer la conception de l'ouvrage. Une représentation d'une structure mixte (acier/béton) de l'option F a alors été développée, et a reçu l'appellation F1 (Figure 3.D). Le développement de cette option F1 témoigne uniquement du déroulement de l'étude et de l'impact visuel de la représentation des tabliers à 2 niveaux en structures de béton. En termes de configuration de voies, F et F1 sont absolument identiques. Le véritable sens de la proposition de la représentation F1 était d'éviter d'alourdir l'analyse avec des considérations secondaires à ce stade, afin de se recentrer sur la question principale, celle de la configuration des voies.

INTÉGRATION D'UN SLR AU NOUVEAU PONT SUR LE SAINT-LAURENT

Étude de configuration et avis techniques - Rapport synthèse



Figure 3.A. Planche de configurations (4) développée pour TC – Option A à D



Page 8 de 8

Option A

Option B

Option C

Option D

Notes
1. Vehicle allowances makes provision for lighting columns in the numbers.

FOR STUDY PURPOSES ONLY
THIS DRAWING MUST NOT BE USED FOR
CONSTRUCTION



A	26/03/12	MB	DB	DB
Draft Issue				
Issue	Date	By	Check	Appr

Job Title
BUSINESS CASE FOR THE NEW BRIDGE FOR THE ST. LAWRENCE

Working Title
Functional Cross Section Options

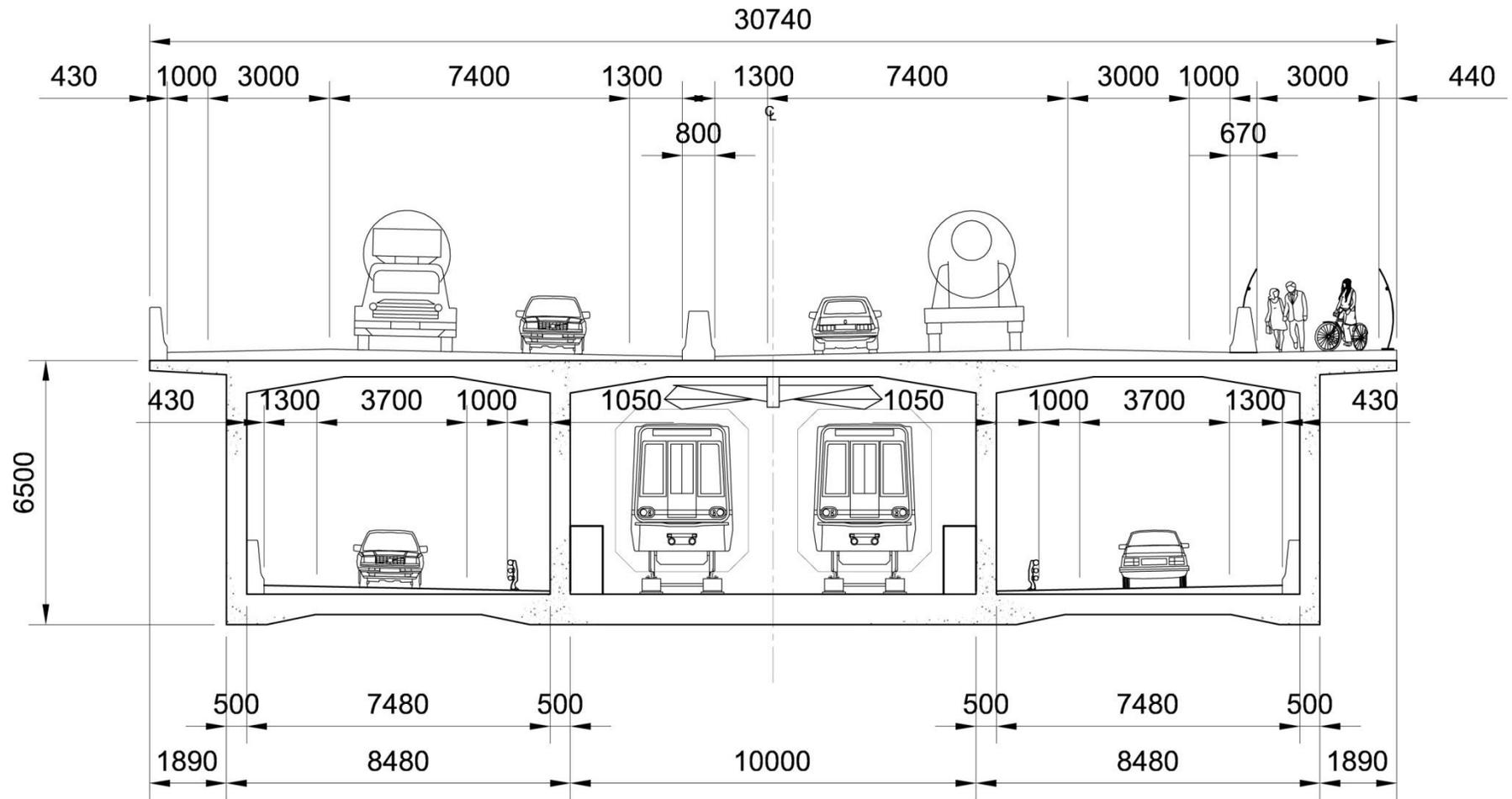
Client	Transport Canada / Transport Canada
Scale	As shown @ A1
File Name	BK-001.DWG
Working Status	Draft
Job No	228418-00
Working No	BK-001
Sheet	A

INTÉGRATION D'UN SLR AU NOUVEAU PONT SUR LE SAINT-LAURENT

Étude de configuration et avis techniques - Rapport synthèse



Figure 3.B. Option de configuration (E) de tablier à 2 niveaux



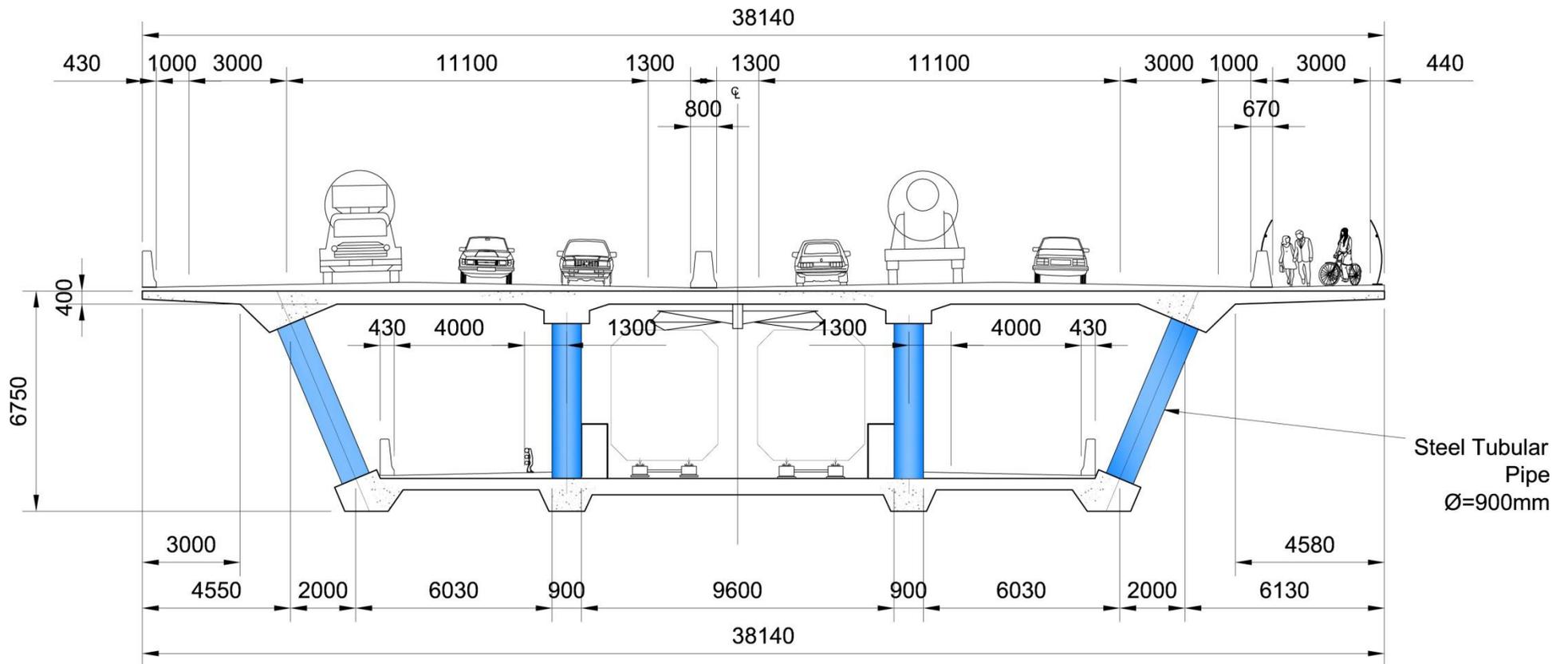
Dessin produit uniquement à titre d'illustration. Les dimensions sont données à titre indicatif et ne devraient pas être considérées comme définitives.

INTÉGRATION D'UN SLR AU NOUVEAU PONT SUR LE SAINT-LAURENT

Étude de configuration et avis techniques - Rapport synthèse



Figure 3.D. Option de configuration (F1) de tablier à 2 niveaux



Dessin produit uniquement à titre d'illustration. Les dimensions sont données à titre indicatif et ne devraient pas être considérées comme définitives.



3.4 Principales différences entre ponts à 1 et à 2 niveaux

Globalement, les tabliers à 2 niveaux permettent une séparation des chaussées entre les deux modes de transport (ferroviaire et routier). En ce sens, ce type de tablier propose un principe de fonctionnement semblable à l'option C (à 1 niveau). À la différence près que pour y parvenir, l'option C requiert trois ponts distincts, alors que le tablier à 2 niveaux y arrive à partir d'un seul pont.

Dans les configurations de ponts à 2 niveaux, le niveau supérieur sert les deux sens de la circulation autoroutière, avec un total de six voies et de deux accotements. La partie inférieure est destinée au réseau ferroviaire, en position centrale, avec (option F) ou sans voies adjacentes (option D)⁶.

Raccordement des mouvements aux extrémités

Chacun des deux types de pont comportent ces complexités propres quant à l'intégration des mouvements aux réseaux existants. Ces complexités se présentent principalement au nord du pont où le réseau est plus dense. Dans les deux cas, le réseau SLR est situé au milieu du pont et subi assez peu l'effet des changements de configuration.

Le réseau autoroutier par contre varie de manière significative d'une configuration à l'autre :

- Dans les cas de tablier à simple niveau, la complexité réside dans l'intégration d'un corridor étalé dans le plan horizontal. Cet étalement est d'autant plus grand que la structure est large. L'option C, avec trois tabliers espacés, présenterait donc la plus grande complexité;
- Les ponts à 2 niveaux ont un corridor plus resserré. Leur tablier supérieur (routier) présente par contre une dénivellation importante, 4 à 5 mètres au-dessus du tablier d'un pont à 1 niveau. La complexité ici est de pouvoir récupérer cette dénivellation sur la

⁶ L'Option E en tablier à deux niveaux déroge à ce principe de séparation des différents modes de transport, en proposant deux voies de circulation autoroutières au niveau inférieur. Cette configuration présente l'avantage de proposer la plus petite largeur de pont de l'ensemble des options. Les deux voies autoroutières en tablier inférieur ne bénéficient toutefois pas d'accotement, ce qui pourrait être considéré comme un non respect des exigences initiales.



distance séparant les culées du pont, des premières bretelles de sortie/entrée (dans le respect des normes en vigueur).

Pour ce qui est de l'intégration aux extrémités, les tabliers qu'ils soient à 1 ou à 2 niveaux possèdent leur complexité propre qu'il faudra analyser plus en détail durant les phases de développement du projet. Toutefois, l'analyse sommaire concernant la récupération de la sur-hauteur de 4 ou 5 mètres (différentiel d'élévation dans le plan vertical entre les chaussées autoroutières des tabliers à 1 et à 2 niveaux) s'absorbe sur la distance séparant la culée du pont de la bretelle la plus proche.

3.5 Synthèse comparative des configurations retenues (annexe B)

À cette étape conceptuelle, la préoccupation principale consiste à trouver le moyen de pouvoir effectuer un premier tri sélectif permettant de recentrer l'analyse sur un jeu de solutions restreint. L'objectif est alors de faire ressortir de cet ensemble d'options de configuration, celles qui, *a priori*, semblent plus convenables pour porter les demandes simultanées de transport collectif et de transport autoroutier. Avec l'ensemble des paramètres à prendre en considération, la question du tri des options peut être considérée sous l'angle de l'analyse multicritères. La première étape d'une telle analyse consiste à décliner en critères l'ensemble des paramètres sur lesquels il est prévu de fonder la décision, afin de pouvoir juger de leur importance relative par l'attribution de priorités ou de poids. Aux fins de l'analyse, les critères suivants ont été utilisés.

3.5.1 Critères de comparaison

3.5.1.1 Positionnement des voies ferrées

Il est question ici de l'impact du positionnement des voies au niveau de la section transversale de la structure. Positionner les voies près du centre de rotation de la section du tablier minimisera le mouvement vertical du SLR provoqué par les rotations longitudinales du tablier. Avec comme bénéfices, davantage de confort pour les passagers et des risques de déraillement atténués. Certaines sections transversales sont aussi plus appropriées que d'autres d'un point de vue du fonctionnement mécanique des structures. Par exemple, les différences de chargement entre les corridors routiers et ferroviaire occasionneront des torsions locales et



globales susceptibles d'être plus efficacement absorbées par certaines formes de sections que d'autres :

- Dans le cas de l'option B, les voies ferrées sont excentrées par rapport à l'axe de rotation de la structure et éloignées du centre du tablier;
- L'option A consacre une amélioration de l'option B par l'introduction d'une continuité dans la structure, mais le nouveau tablier devenu très large et relativement flexible, n'apportera que de petites améliorations;
- Pour toutes les autres options (C, D, E et F), les voies ferrées se situent près du centre de chacune des sections transversales. Du point de vue du fonctionnement mécanique des structures, ces formes sont plus stables. L'évaluation du positionnement des voies pour toutes ces options est la même.

3.5.1.2 Facilité de construction

Quoiqu'à cette étape du projet, la structure porteuse et les matériaux ne soient pas encore définis, certaines formes de sections transversales seront plus faciles à construire que d'autres. Il est important que la section transversale choisie soit adaptable aux différentes longueurs de travée, notamment la travée au-dessus de la Voie maritime dont la portée est relativement plus longue que celle des approches. Pour la construction du tablier, toutes les options de configuration pourraient être lancées ou érigées travée par travée; la travée principale au-dessus de la Voie maritime pourrait aussi être construite par encorbellements successifs (applicable à une solution en béton). Les options A et B sont très semblables car elles ont le même nombre de caissons qui pourraient être lancés individuellement, puis relier ensuite par les dalles du tablier. L'installation des rails est un peu compliquée du fait de l'écart entre les tabliers dans l'option B. L'option C comprend un caisson supplémentaire à lancer et donc des travaux temporaires supplémentaires au niveau de la zone de lancement, l'accès étant davantage limité du fait de l'éloignement du caisson central par rapport aux caissons des deux autres ponts. Les options D, E et F présentent les mêmes difficultés de construction mais du fait de leur épaisseur, ces structures devraient pouvoir être lancées, ce qui réduira le nombre de fondations requises et donc la nécessité de travailler dans l'eau.



3.5.1.3 Conception du système SLR

Le corridor du SLR comprendra des éléments tels que la signalisation, l'alimentation de traction, une source auxiliaire pour l'éclairage en cas d'urgence, des systèmes de télécommunication, de contrôle, de protection et de suivi. Les sections transversales des options B et C occasionneront des complications lors de l'installation et de l'entretien de ces systèmes. La séparation en deux de l'enveloppe ferroviaire pour l'option B pourrait entraîner de doubler ces infrastructures. Dans le cas des options à 1 seul niveau, l'accès à ces équipements pourrait nécessiter de pénétrer à l'intérieur des caissons, ce qui amène des risques liés au travail en espace clos. Dans le cas des options D à F, le système peut être mis en œuvre et entretenu à partir de l'intérieur de l'enveloppe de la voie ferroviaire.

3.5.1.4 Intégration aux extrémités

Après examen des options à 1 et 2 niveaux, il ressort à notre niveau d'analyse que les différences sont faibles. Il reste que la plupart des tabliers à 1 seul niveau (A et B) ne proposent pas les difficultés reliées à l'absorption d'une dénivellation dans le plan vertical, qui peut être considéré plus complexe à absorber que les décalages d'alignement dans le plan horizontal. Toutefois au fur et à mesure que le tablier s'élargit, comme dans l'option C, il peut finir par être aussi complexe d'absorber ce décalage horizontal que le décalage vertical. Mais dans un cas comme dans l'autre, il s'agit à première vue que de considérations techniques, qui ne devraient en rien, remettre en cause la faisabilité de l'une ou l'autre des options.

3.5.1.5 Exploitation et entretien

Il est préférable que la responsabilité de l'intégrité de la structure du pont soit confiée à une seule partie qui sera chargée de l'inspection, de l'évaluation et de l'entretien des éléments de la structure. L'opérateur du SLR sera chargé de l'entretien des unités, équipements et systèmes ferroviaires, situés au niveau du pont. Certaines sections transversales sont plus appropriées que d'autres en ce qui concerne le respect de ces obligations, sans impact sur le fonctionnement des voies autoroutières. Les options à 2 niveaux D et F, permettent un libre accès à l'enveloppe ferroviaire. L'option E, tout comme les options A et C, souffre de la proximité de voies autoroutières ouvertes à la circulation, lesquelles réduisent les libertés de mouvement autour de l'enveloppe ferroviaire.



L'option B nécessite des opérations dédoublées, demandant de passer d'un tablier à l'autre.

3.5.1.6 Impact sur le partenaire privé (PPP)

La phase de construction et d'installation du SLR pourrait perturber le fonctionnement du pont et de ce fait affecter les revenus du péage. Les sections transversales A, B et E sont plus exposées à ce risque que d'autres. La séparation entre la circulation et le système SLR permettra à chacun de maximiser les potentialités de son fonctionnement et réduire les incertitudes et complications contractuelles. L'option F a le classement le plus élevé car il y a, et la séparation complète entre le réseau autoroutier et le SLR, et la mise à disposition de voies de desserte pour la construction, la mise en service et l'entretien du système SLR. Les options A à C et E nécessiteront que l'entrepreneur PPP du pont et l'opérateur du SLR travaillent dans les mêmes zones du pont.

3.5.1.7 Protection contre les incursions

Les sections transversales ont été examinées par rapport à la possibilité d'incursion d'un véhicule routier dans l'enveloppe du SLR, ou vice-versa.

L'option C, avec des ponts séparés qui éliminent complètement le risque d'incursion du train vers la route ou des véhicules vers le train, jouit du pointage le plus élevé pour ce paramètre. Les options D et F sont les suivantes dans le classement car la section autoroutière et le SLR sont séparés. Mais le risque de déraillement du SLR qui pourrait affecter les éléments porteurs du pont demeure; risque faible et facile à mitiger surtout dans le cas de tronçons rectilignes comme sur le pont. Les options A et B obtiennent le classement le plus bas car les risques d'incursions sont considérées comme élevées et peuvent nécessiter des ouvrages de protection.

3.5.1.8 Adaptabilité

Les options A à C n'offrent aucune possibilité d'inversion du sens du trafic, ou leur déviation d'une chaussée à l'autre et il serait même difficile d'ériger des installations de franchissement aux extrémités du tronçon, étant donné la présence du SLR. Cela limitera donc les scénarios de circulation envisageables sur le pont en cas d'incident et au moment des activités d'entretien.



Les options à 2 niveaux (D, E et F) mettront à la disposition de l'opérateur des installations réversibles et interchangeables, telles que cela est actuellement jugé approprié pour des sections autoroutières normales.

3.5.1.9 Coûts (construction et durée de vie)

À ce niveau d'analyse, les évaluations de coûts réalisées (voir chapitre 4) consacrent des différences de coûts peu marquées entre les options à 1 et 2 niveaux de tablier. Quoique les tabliers des options à 2 niveaux sont plus coûteux, il est possible de réaliser des économies notables sur leurs fondations, non seulement en raison de la largeur plus faible des tabliers, mais également parce que les sections plus épaisses des tabliers permettent de projeter des travées plus longues.

3.5.1.10 Fiabilité du fonctionnement (intempéries)

Un des facteurs clé dans la conception du SLR sera la fiabilité dans son fonctionnement face à la plupart des conditions météorologiques c'est-à-dire périodes de grand vent ou de neige. Une option avec un tablier à 2 niveaux sera plus fiable qu'une option à 1 seul niveau. Les options D, E et F ont donc le classement le plus élevé.

3.5.1.11 Secours et évacuation

La facilité et les faisabilités pour évacuer et secourir les passagers en cas d'urgence ont été prises en compte pour chacune des sections transversales. L'option F qui intègre un service routier de part et d'autre de l'enveloppe ferroviaire permet clairement l'essentiel des options disponibles pour évacuer et secourir tandis que la configuration indépendante de l'option C propose des options limitées.

3.5.2 Pondération des critères

La pondération permet d'accentuer la contribution de certains éléments de l'ensemble de critères ci-dessus, au résultat recherché, en donnant un poids plus élevé à ces éléments. Le résultat recherché ici est libellé comme suit dans les documents contractuels du mandat:

« Le développement des options préliminaires qui sont les plus représentatives d'un pont à un (1) ou à deux (2) étages, avec possibilité



d'un tablier à six (6) voies et d'un espace pour recevoir un futur SLR quelques années après la mise en service du nouveau pont. Ces options préliminaires devront prendre en compte que, dans l'éventualité où le mode de réalisation retenu pour le projet du nouveau pont serait en partenariat public-privé, la construction ultérieure des voies réservées aux moyens de transport en commun (autobus et SLR) ne devront nuire en aucune façon à l'exploitation par le partenaire privé des six (6) voies réservées aux véhicules »⁷

« Le gouvernement du Québec entend proposer une configuration optimale qui favorisera la meilleure transition technique et commerciale pour l'implantation future du SLR. »⁷

Le poids à attribuer à chaque critère est toujours difficile à déterminer. Notre approche a consisté à subdiviser les paramètres en trois groupes à savoir:

- Grande influence (50 et 25 %) – Coûts (construction, durée de vie);
- Influence moyenne (10 %) – Intégration aux extrémités et Impact sur le partenaire privé;
- Influence faible (5 %) – Emplacement des voies, Facilité de construction, Conception du système SLR, Exploitation et entretien, Protection contre les incursions, Adaptabilité, Fiabilité du fonctionnement (intempéries) et Secours et Évacuation.

3.5.3 Résultats de l'analyse et identification de la configuration optimale

La grille d'analyse obtenue à partir de ces différents critères, de leur pondération et de la note attribuée à chaque configuration est reproduite à l'annexe B. Étant donné la nature très préliminaire de cette analyse, le sens qui a été donné aux résultats est davantage celui de dresser un premier portrait global de la situation, soit une évaluation relative des options les unes par rapport aux autres. Dans chacune des deux catégories de pont (1 seul ou 2 niveaux), une option ressort clairement du lot :

- tablier à 1 niveau Option A;
- tablier à 2 niveaux Option F/F1.

⁷ Pages 12 et 14 du document d'appel d'offres



Pour le nouveau pont, les deux options présentent des avantages. En première analyse, nous estimons l'option A moins onéreuse que l'option F. Toutefois, prise sous l'angle des objectifs poursuivis par le gouvernement, ceux de rechercher une configuration « *optimale qui favorisera la meilleure transition technique et commerciale pour l'implantation future du SLR* », qui « *ne devra nuire en aucune façon à l'exploitation par le partenaire privé des six (6) voies réservées aux véhicules* », l'option F est de toute évidence celle qui donne les meilleurs gages de stabilité :

- La phase de transition est définie comme celle qui couvre l'installation et les essais de mise en service du SLR. Durant cette phase, le service collectif d'autobus, qui occupait le corridor dédié au SLR devra continuer de fonctionner. Le réseau d'autobus devra donc alors dans le cas de toutes les autres options (A à E) réintégrer la circulation autoroutière, sous gestion du partenaire privé. Pour se recréer une voie réservée durant cette phase transitoire, le service redirigé devra donc supprimer une voie de circulation ou mobiliser l'accotement de l'autoroute, ce qui dans les deux cas de figure représente une forme de nuisance aux activités du partenaire privé. La configuration F, en réservant deux voies de part et d'autre du corridor ferroviaire en tablier inférieur, est la seule qui permet de viser l'absence de nuisance de ce point de vue pour le partenaire privé, durant la phase de transition;
- Il est fort probable que certaines des activités d'installation et de mise en service du SLR durant la transition, nécessiteront la mobilisation de voies adjacentes. Quelle que soit la planification qui en sera faite, ces mobilisations de voies représenteront des formes de nuisance dans les cas des configurations A, B, E et probablement même C.

L'analyse étant encore sommaire, la différence de pointage (de l'ordre de 4 %) obtenue entre les deux premières options (A et F) paraît assez faible pour établir une hiérarchisation définitive entre ces deux options. Du strict point de vue d'un critère unique, celle de « zéro nuisance », l'option F ne fait certes pas de doute. Mais il semble prématuré à ce stade, d'un point de vue d'une analyse multicritères, de conclure définitivement entre A et F (ou F1). Nous pensons que la présente analyse peut être considérée comme un assez bon indicateur des différences entre options à l'intérieur d'une même catégorie de pont. L'option A peut être considérée comme la référence au sein des options de pont à 1 niveau, au même titre que l'option F peut être considéré comme la référence pour les options de pont



à 2 niveaux. Au-delà de ce point, les approximations et le niveau de précision de l'analyse ne permettent pas de poser une hiérarchie claire entre ces deux options, si évidemment il est question de retenir plutôt un faisceau de critères comme cela a été fait ici.

Nous sommes donc arrivés à la conclusion que le choix d'une configuration optimale unique, pourrait être trop restrictive à ce stade, en particulier dans le contexte d'un PPP. Nous recommandons donc que l'analyse des deux options identifiées (A et F) soit poursuivie au cours de la ou des prochaine(s) étape(s) du projet.

DES SIX (6) OPTIONS ANALYSÉES, L'OPTION F EST CELLE QUI FOURNIT LA RÉPONSE LA PLUS ADAPTÉE À LA PRÉOCCUPATION DE MINIMISATION DES IMPACTS DU SLR SUR LE PARTENAIRE PRIVÉ, FORMULÉE PAR LE GOUVERNEMENT DU QUÉBEC.

OPTION F = PONT À DEUX NIVEAUX OÙ LE NIVEAU SUPÉRIEUR EST EXCLUSIVEMENT DÉDIÉ À LA CIRCULATION ROUTIÈRE, ET LE NIVEAU INFÉRIEUR EXCLUSIVEMENT DÉDIÉ AUX TRANSPORTS COLLECTIFS (AUTOBUS, SLR)



Tableau 3.1 Comparaison entre les configurations à 1 et 2 niveaux

	Description	Exemples
1 niveau	Coûts de construction moins élevés	Pas de surdimensionnement de la plate-forme du pont en vue de la réception d'un tablier supérieur
	Méthode de construction plus facile	existe une variété de méthode de construction pour un pont à 1 niveau, incluant la méthode par encorbellement successifs
2 niveaux	Séparation SLR / Route	Pas d'éblouissement provoqué par les phares
	Facilité de reconfiguration des voies pour les déviations	Présence du corridor SLR au centre des ponts à 1 niveau empêche les déviations sur le pont
	Sections plus massives pour l'absorption des efforts (torsion)	Un pont à 2 niveaux permet de rapprocher les voies ferrées du centre de rotation de la section transversale
	Équipements du système SLR localisés en un seul endroit	Facilité d'entretien
	Les économies sur les coûts d'exploitation et d'entretien de l'autoroute et du SLR abaisseront le coût du cycle de vie de l'ouvrage (par rapport à pont à 1 niveau)	Par exemple : plus besoin de fermer des voies de l'autoroute pour réaliser l'entretien des systèmes du SLR
	La séparation des modes de transport limite les intrusions accidentelles	Plus besoin d'écran de protection entre l'autoroute et l'enveloppe du SLR puisque les deux moyens de transport sont à des niveaux différents
	Impact limité du climat sur le SLR	Pas d'interruption du service du SLR à cause d'une chute de neige abondante. Voies de circulation pour l'entretien du pont inférieur libre par mauvais temps (pompiers, ambulances, etc.)
L'évacuation du train sera plus facile avec un pont inférieur spécialement dédiée au SLR et aux voies de maintenance	Système adopté par le pont <i>Tsing Ma</i>	



4 Estimation des coûts

4.1 Étalonnage

L'estimation a été réalisée avec une approche comparative ayant pour référence les coûts d'investissement de 19 ponts-signature comparables (à 1 et à 2 niveaux) à travers le monde.

Pour chaque pont choisi, le coût en dollars américains, par mètre carré de tablier a été déterminé, et actualisé, en prenant en considération un facteur de localisation géographique. Un tableau récapitulatif des structures considérées (regroupant à la dernière colonne les coûts au m² par pont) figure dans le rapport d'étape 5.

L'analyse comparative met en évidence une grande disparité de coûts entre les différents types de ponts choisis. Dans le cadre de cette étude, le niveau de coûts du pont d'Incheon en Corée du Sud nous semble être celui qu'il faut retenir en raison, entre autres, des similarités entre les portées des travées d'approches.

La portée de cette analyse reste toutefois à relativiser en raison des éléments suivants :

- la structure porteuse de la travée principale n'a pas encore été déterminée;
- les coûts des travaux de terrassement sont exclus;
- les coûts présentés ne comprennent pas les coûts indirects tels que les coûts des études préliminaires ou les coûts de conception, etc.;
- le coût de l'installation du système léger sur rail est exclu;
- le coût d'achat de terrains est exclu;
- le coût du démantèlement du pont existant est exclu;
- toute modification nécessaire pour les voies d'accès au nouveau pont est exclue;
- le transfert de tous les réseaux techniques urbains (câbles d'alimentation, fibres optiques, eau, téléphones, etc.) est exclu;
- les coûts environnementaux sont exclus;
- la gestion du trafic de la Voie maritime est exclue;
- les coûts associés à l'octroi des permis sont exclus.

En dehors des points précités, les hypothèses d'étude suivantes ont été également retenues :



- une longueur de 3 400m pour la traversée;
- un taux de conversion en \$0,66 (\$ US) à 1,00 livre sterling, et de 1,00 £ Livre sterling = 1,56 \$ CA;
- tous les coûts sont basés sur les prix du 2^{ème} trimestre 2013;
- toutes les taxes américaines et les prélèvements sont exclus;
- tous les paiements compensatoires des tierces parties sont exclus;
- une contingence de 40 % pour l'option A, et de 30 % pour les options F et F1; cette dernière est similaire aux estimations de projets de la même taille et de la même ampleur et au même stade d'étude.

Le niveau de coût le plus approprié étant celui du pont Incheon, le montant de 4 450 \$ CA / m² de surface de tablier qui y correspond a été retenu et appliqué aux trois options proposées pour déterminer les niveaux respectifs d'investissements requis, tel que présenté ci-dessous :

Tableau 4.1 Coûts en immobilisation, extrapolés à partir du pont d'Incheon

	Option A	Option F	Option F1
Coût de construction (\$ CA)	749 278 700	920 139 900	926 708 096
Coût total de construction incluant les contingences (\$ CA)	1 048 990 100	1 196 181 900	1 204 720 525

4.2 Analyse financière (modèle et hypothèses)

Notre expérience nous a permis de juger pertinent un certain nombre d'éléments du rapport BCDE, dont mention sera faite le long de cette analyse. Par exemple, le taux de 2 % d'inflation annuel issu de ce rapport, sera aussi retenu pour l'ensemble de notre analyse.

4.2.1 Produits

L'analyse ne tient pas compte de l'impact :

- des revenus de péages;
- des revenus auxiliaires générés par l'exploitation d'éventuelles annexes (panneaux publicitaires, expositions, etc.).



Cependant, nous notons que la capacité disponible pour le trafic autoroutier est la même pour toutes les options envisagées. Par conséquent, les recettes devraient raisonnablement être les mêmes pour toutes les options. Toutefois, des différences mineures pourraient intervenir en fonction de la durée des périodes de construction (globalement +/- 6 mois selon l'option), et dans le cadre spécifique de l'option A, en raison de la perturbation provoquée par l'installation et les essais de mise en service du SLR.

Tous les événements pouvant impacter les recettes (par exemple les éventuels changements de comportement des usagers en réaction à la mise en service d'une ligne de SLR) ne peuvent être entièrement identifiés à ce stade de l'étude.

4.2.2 Charges

Les coûts pris en compte dans la présente analyse intègrent :

- la construction du nouveau pont⁸;
- la démolition du pont existant;
- les différentes charges d'exploitation, d'entretien;
- et la remise en état de l'ouvrage au terme du PPP (35 ans).

Le coût du financement du projet, qui dépasse le cadre de cette étude, n'est pas intégré.

4.2.2.1 Investissement

Construction d'un nouveau pont - coût et échéancier

Les coûts de construction déterminés à partir de l'exercice d'analyse comparative ont été étalés sur une période de construction de 5 ans pour l'option A et de 4,5 ans pour les options F et F1. La construction est supposée commencer en 2017, sur la base du calendrier préliminaire inclus dans le mandat. Aux fins de cet exercice de modélisation, nous avons supposé la répartition indicative suivante des coûts de construction, au cours de la période de réalisation de l'ouvrage.

⁸ Pour l'option A (à 1 niveau), les coûts associés à la perturbation potentielle du trafic lors de l'intégration du SLR ont également été considérés.



Tableau 4.2 Estimation de la répartition des déboursés durant la période de construction

	2017 M \$ CA (%)	2018 M \$ CA (%)	2019 M \$ CA (%)	2020 M \$ CA (%)	2021 M \$ CA (%)	TOTAL M \$ CA
Option A (1 niveau)	104,9 (10%)	157,3 (15%)	262,2 (25%)	314,7 (30%)	209,8 (20%)	1,049,0
Option F (2 niveaux)	119,6 (10%)	299,0 (25%)	299,0 (25%)	358,9 (30%)	119,6 (10%)	1 196,2
Option F1 (2 niveaux)	120,5 (10%)	301,2 (25%)	301,2 (25%)	361,4 (30%)	120,5 (10%)	1 204,7

Coût de démolition du pont existant

Ce coût de démolition du pont existant, estimé à 155 M \$ CA 2010, (cf rapport BCDE), et supposé être engagé sur une période de trois ans, est actualisée à la date présumée du démarrage de la démolition, suivant les options : 2021 pour les options F et F1, 2022 pour l'option A.

4.2.2.2 Exploitation

Les estimations actuelles portent essentiellement sur les charges de personnel (effectifs de contrôle et du centre de service). Sur la base de notre expérience avec le pont de la rivière Severn au Royaume-Uni, les coûts d'exploitation annuels (supposés) dans le rapport BCDE, s'élevant à environ 4,0 M \$ CA (prix 2013), ont servi de base pour notre étude et ont été inclus dans le modèle. Les remarques précédentes sur la méconnaissance de la méthodologie d'exploitation du péage s'appliquent également dans cette rubrique, quant au personnel du péage et du centre de contrôle.

4.2.2.3 Entretien

Les coûts d'entretien du nouveau pont varieront selon le type de structure, les matériaux utilisés et les niveaux d'entretien qui seront imposés dans le contrat de partenariat (voir section 4.2 du rapport d'étape 5 pour plus de détails).

Des opérations d'inspections, d'entretien et de rénovation plus importantes nécessiteraient probablement le concours de consultants et d'entrepreneurs spécialisés à des périodes généralement pré-établies.



Aux fins du modèle financier, nous avons réalisé une estimation des coûts annuels d'entretien mineurs à 0,4 M \$ CAN (\$ 2013) sur la base de notre expérience avec la rivière Severn au Royaume-Uni. Sur la base de cette même expérience, nous considérons que les principaux coûts d'entretien et de rénovation présentés dans le rapport BCDE sont raisonnables pour un projet de cette nature. Ces coûts ont donc été intégrés dans le modèle financier. Le poste « Entretien majeur » d'un montant de 70,8 M \$ CA (valeur nominale) présente l'ensemble des dépenses relatives à la remise en état du pont avant sa rétrocession au gouvernement, au terme du PPP.

4.2.3 Comparaison des coûts

À défaut de connaître le taux de remise retenu par le Gouvernement Fédéral dans l'évaluation du présent projet, nous avons opté pour le taux d'actualisation de 3,3 % issu du rapport du consortium BCDE. Il est cependant noté que le site Web du Conseil du Trésor du Canada suggère un autre taux de remise sociale de 3 % pour l'analyse des projets publics.

Tableau 4.3 Coûts du cycle de vie⁹ - Options A, F et F1

	Coût du cycle de vie estimé (nominal) (M \$ CA)	Coût du cycle de vie estimé actualisé (M \$ CA - 2013)
Option A (1 niveau)	1 819,3	1 294,3
Option F (2 niveaux)	1 993,0	1 421,5
Option F1 (2 niveaux)	2 002,6	1 429,4

En termes de valeur actuelle, on notera les différences suivantes :

- 127,2 et 135,1 M \$ CA entre l'option A (1 niveau) et respectivement les options F et F1 (2 niveaux);
- 7,9 M \$ CA entre les deux options à 2 niveaux (F et F1).

Il convient toutefois de noter qu'à ce stade précoce, ces différences se situent dans la marge d'erreur de l'estimation (de l'ordre de 50%). Étant donné qu'une baisse de l'ordre de 10 % du coût des options F, F1 annulerait purement et simplement la différence d'avec l'option A, il n'apparaît pas pertinent d'évaluer les options uniquement sur cette base.

⁹ Pour la durée de l'entente de partenariat, 35 ans



4.2.4 Analyse de sensibilité

Toutes les variables endogènes de coûts (coûts de construction, coûts d'exploitation / entretien, taux d'actualisation et coûts de fermeture des voies) ont été fait l'objet de tests de sensibilité, à l'exception de l'inflation. Seule la variable testée est ajustée, les autres étant maintenues constantes par ailleurs.

4.2.4.1 Coûts de construction

Il faudrait une diminution de 11,5 % des coûts de construction de l'option F (contingences incluses) pour arriver à une égalité avec le coût actualisé de l'option A. La différence d'avec l'option F1 est sensiblement la même, à savoir une diminution de 12 % pour atteindre l'option A.

4.2.4.2 Coûts d'exploitation / entretien

Il a été noté que les coûts d'exploitation et d'entretien pourraient être légèrement inférieures pour les options F et F1, en raison de la protection contre les conditions météorologiques de l'enveloppe SLR. Pour que le coût actualisé de l'option F devienne égale à celui de l'option A, les coûts d'exploitation / entretien de l'option F A devront diminuer de 67 % par rapport aux coûts de l'option A. Pour l'option F1, cette diminution devra être de 71 %.

4.2.4.3 Taux d'actualisation

Des taux d'actualisation de 1 à 10 % ont été testés, sans qu'il y ait une quelconque incidence sur le classement des options.

4.2.4.4 Coûts de fermeture des voies

Tel qu'indiqué plus haut, les coûts de fermeture d'une voie résultant de l'intégration de la SLR sous l'option du pont à simple niveau (option A) dépendront en définitive du calendrier réel et de la durée des fermetures, ainsi que des dispositions du contrat de PPP.

Les coûts de fermeture de voies pour l'option A devraient être de l'ordre de 158 M \$ CA (2013), ce qui représenterait une augmentation significative de l'estimation indicative présentée ici (7,7 M \$ CA).

INTÉGRATION D'UN SLR AU NOUVEAU PONT SUR LE SAINT-LAURENT

Étude de configuration et avis techniques - Rapport synthèse



Tableau 4.4 Coûts de construction, exploitation, maintenance estimés – Option A

OPTION A (1 NIVEAU) - COÛTS DE CONSTRUCTION, EXPLOITATION & ENTRETIEN - M \$ CA										
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Construction + contingence (40%)	(113.5)	(173.7)	(295.3)	(361.5)	(245.8)					
Démolition du pont existant						(65.5)	(66.8)	(68.2)		
Exploitation						(4.8)	(4.9)	(5.0)	(5.1)	(5.2)
Entretien mineur						(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)
Entretien majeur										
Retards dus à l'intégration du SLR										(10.0)
Différence de recettes de péage										
Coûts totaux (nominaux)	(113.5)	(173.7)	(295.3)	(361.5)	(245.8)	(70.8)	(72.2)	(73.6)	(5.6)	(15.6)
Coûts totax (actualisés)	(99.7)	(147.7)	(243.1)	(288.0)	(189.6)	(52.8)	(52.2)	(51.5)	(3.8)	(10.3)
	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Construction + contingence (40%)										
Démolition du pont existant										
Exploitation	(5.3)	(5.4)	(5.5)	(5.6)	(5.7)	(5.8)	(5.9)	(6.1)	(6.2)	(6.3)
Entretien mineur	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.6)	(0.6)	(0.6)	(0.6)	(0.6)	(0.6)	(0.6)
Entretien majeur				(21.4)						
Retards dus à l'intégration du SLR										
Différence de recettes de péage										
Coûts totaux (nominaux)	(5.8)	(5.9)	(6.0)	(27.6)	(6.3)	(6.4)	(6.5)	(6.7)	(6.8)	(6.9)
Coûts totax (actualisés)	(3.7)	(3.6)	(3.6)	(15.9)	(3.5)	(3.5)	(3.4)	(3.4)	(3.3)	(3.3)
	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046
Construction + contingence (40%)										
Démolition du pont existant										
Exploitation	(6.4)	(6.6)	(6.7)	(6.8)	(7.0)	(7.1)	(7.2)	(7.4)	(7.5)	(7.7)
Entretien mineur	(0.6)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.8)	(0.8)
Entretien majeur		(51.6)								(29.4)
Retards dus à l'intégration du SLR										
Différence de recettes de péage										
Coûts totaux (nominaux)	(7.1)	(58.8)	(7.4)	(7.5)	(7.6)	(7.8)	(8.0)	(8.1)	(8.3)	(37.9)
Coûts totax (actualisés)	(3.2)	(26.1)	(3.2)	(3.1)	(3.1)	(3.0)	(3.0)	(3.0)	(2.9)	(13.0)
	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056
Construction + contingence (40%)										
Démolition du pont existant										
Exploitation	(7.8)	(8.0)	(8.1)	(8.3)	(8.5)	(8.6)	(8.8)	(9.0)	(9.2)	(9.4)
Entretien mineur	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.9)	(0.9)	(0.9)	(0.9)	(0.9)
Entretien majeur	(41.7)							(70.8)		
Retards dus à l'intégration du SLR										
Différence de recettes de péage										58.6
Coûts totaux (nominaux)	(50.3)	(8.8)	(9.0)	(9.1)	(9.3)	(9.5)	(9.7)	(80.7)	(10.1)	48.3
Coûts totax (actualisés)	(16.7)	(2.8)	(2.8)	(2.7)	(2.7)	(2.7)	(2.6)	(21.3)	(2.6)	12.0
Coûts totaux (nominaux)	(1,819.3)									
Coûts totax (actualisés)	(1,294.4)									

INTÉGRATION D'UN SLR AU NOUVEAU PONT SUR LE SAINT-LAURENT

Étude de configuration et avis techniques - Rapport synthèse



Tableau 4.5 Coûts de construction, exploitation, entretien estimés – Option F

OPTION F (2 NIVEAUX) - COÛTS DE CONSTRUCTION, EXPLOITATION & ENTRETIEN - M \$ CA										
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Construction + contingence (30%)	(129.5)	(330.2)	(336.8)	(412.2)	(140.2)					
Démolition du pont existant					(32.1)	(65.5)	(66.8)	(34.1)		
Exploitation					(2.3)	(4.8)	(4.9)	(5.0)	(5.1)	(5.2)
Entretien mineur					(0.2)	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)
Entretien majeur										
Retards dus à l'intégration du SLR					29.3					
Coûts totaux (nominaux)	(129.5)	(330.2)	(336.8)	(412.2)	(145.6)	(70.8)	(72.2)	(39.5)	(5.6)	(5.7)
Coûts totax (actualisés)	(113.7)	(280.7)	(277.2)	(328.4)	(112.3)	(52.8)	(52.2)	(27.7)	(3.8)	(3.7)
	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Construction + contingence (30%)										
Démolition du pont existant										
Exploitation	(5.3)	(5.4)	(5.5)	(5.6)	(5.7)	(5.8)	(5.9)	(6.1)	(6.2)	(6.3)
Entretien mineur	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.6)	(0.6)	(0.6)	(0.6)	(0.6)	(0.6)	(0.6)
Entretien majeur				(21.4)						
Retards dus à l'intégration du SLR										
Coûts totaux (nominaux)	(5.8)	(5.9)	(6.0)	(27.6)	(6.3)	(6.4)	(6.5)	(6.7)	(6.8)	(6.9)
Coûts totax (actualisés)	(3.7)	(3.6)	(3.6)	(15.9)	(3.5)	(3.5)	(3.4)	(3.4)	(3.3)	(3.3)
	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046
Construction + contingence (30%)										
Démolition du pont existant										
Exploitation	(6.4)	(6.6)	(6.7)	(6.8)	(7.0)	(7.1)	(7.2)	(7.4)	(7.5)	(7.7)
Entretien mineur	(0.6)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.8)	(0.8)
Entretien majeur		(51.6)								(29.4)
Retards dus à l'intégration du SLR										
Coûts totaux (nominaux)	(7.1)	(58.8)	(7.4)	(7.5)	(7.6)	(7.8)	(8.0)	(8.1)	(8.3)	(37.9)
Coûts totax (actualisés)	(3.2)	(26.1)	(3.2)	(3.1)	(3.1)	(3.0)	(3.0)	(3.0)	(2.9)	(13.0)
	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056
Construction + contingence (30%)										
Démolition du pont existant										
Exploitation	(7.8)	(8.0)	(8.1)	(8.3)	(8.5)	(8.6)	(8.8)	(9.0)	(9.2)	(4.7)
Entretien mineur	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.9)	(0.9)	(0.9)	(0.9)	(0.5)
Entretien majeur	(41.7)							(70.8)		
Retards dus à l'intégration du SLR										
Coûts totaux (nominaux)	(50.3)	(8.8)	(9.0)	(9.1)	(9.3)	(9.5)	(9.7)	(80.7)	(10.1)	(5.1)
Coûts totax (actualisés)	(16.7)	(2.8)	(2.8)	(2.7)	(2.7)	(2.7)	(2.6)	(21.3)	(2.6)	(1.3)
Coûts totaux (nominaux)	(1,993.0)									
Coûts totax (actualisés)	(1,421.5)									

INTÉGRATION D'UN SLR AU NOUVEAU PONT SUR LE SAINT-LAURENT

Étude de configuration et avis techniques - Rapport synthèse



Tableau 4.6 Coûts de construction, exploitation, entretien estimés – Option F1

OPTION F1 (2 NIVEAUX) - COÛTS DE CONSTRUCTION, EXPLOITATION & ENTRETIEN - M \$ CA										
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Construction + contingence (30%)	(130.4)	(332.5)	(339.2)	(415.2)	(141.2)					
Démolition du pont existant					(32.1)	(65.5)	(66.8)	(34.1)		
Exploitation					(2.3)	(4.8)	(4.9)	(5.0)	(5.1)	(5.2)
Entretien mineur					(0.2)	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.5)
Entretien majeur										
Retards dus à l'intégration du SLR					29.3					
Coûts totaux (nominaux)	(130.4)	(332.5)	(339.2)	(415.2)	(146.6)	(70.8)	(72.2)	(39.5)	(5.6)	(5.7)
Coûts totax (actualisés)	(114.5)	(282.7)	(279.1)	(330.8)	(113.0)	(52.8)	(52.2)	(27.7)	(3.8)	(3.7)
	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Construction + contingence (30%)										
Démolition du pont existant										
Exploitation	(5.3)	(5.4)	(5.5)	(5.6)	(5.7)	(5.8)	(5.9)	(6.1)	(6.2)	(6.3)
Entretien mineur	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.6)	(0.6)	(0.6)	(0.6)	(0.6)	(0.6)	(0.6)
Entretien majeur				(21.4)						
Retards dus à l'intégration du SLR										
Coûts totaux (nominaux)	(5.8)	(5.9)	(6.0)	(27.6)	(6.3)	(6.4)	(6.5)	(6.7)	(6.8)	(6.9)
Coûts totax (actualisés)	(3.7)	(3.6)	(3.6)	(15.9)	(3.5)	(3.5)	(3.4)	(3.4)	(3.3)	(3.3)
	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046
Construction + contingence (30%)										
Démolition du pont existant										
Exploitation	(6.4)	(6.6)	(6.7)	(6.8)	(7.0)	(7.1)	(7.2)	(7.4)	(7.5)	(7.7)
Entretien mineur	(0.6)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.7)	(0.8)	(0.8)
Entretien majeur		(51.6)								(29.4)
Retards dus à l'intégration du SLR										
Coûts totaux (nominaux)	(7.1)	(58.8)	(7.4)	(7.5)	(7.6)	(7.8)	(8.0)	(8.1)	(8.3)	(37.9)
Coûts totax (actualisés)	(3.2)	(26.1)	(3.2)	(3.1)	(3.1)	(3.0)	(3.0)	(3.0)	(2.9)	(13.0)
	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056
Construction + contingence (30%)										
Démolition du pont existant										
Exploitation	(7.8)	(8.0)	(8.1)	(8.3)	(8.5)	(8.6)	(8.8)	(9.0)	(9.2)	(4.7)
Entretien mineur	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.8)	(0.9)	(0.9)	(0.9)	(0.9)	(0.5)
Entretien majeur	(41.7)							(70.8)		
Retards dus à l'intégration du SLR										
Coûts totaux (nominaux)	(50.3)	(8.8)	(9.0)	(9.1)	(9.3)	(9.5)	(9.7)	(80.7)	(10.1)	(5.1)
Coûts totax (actualisés)	(16.7)	(2.8)	(2.8)	(2.7)	(2.7)	(2.7)	(2.6)	(21.3)	(2.6)	(1.3)
Coûts totaux (nominaux)	(2,002.6)									
Coûts totax (actualisés)	(1,429.4)									



5 Critères de conception

5.1 Matériel roulant SLR

Les véhicules de type métro automatisé sont plus souvent capables d'atteindre des vitesses de 90km/h. Toutefois, il est probable que la vitesse de 100 km/h souhaitée puisse être atteinte en consultant les fabricants de ces systèmes ou par le biais de commandes spéciales. L'atteinte de ces vitesses exigera des compromis dans la géométrie des voies avec des pentes plus faibles et des rayons minimum supérieurs à ceux des systèmes classiques de métro léger.

Les caractéristiques de performance d'une sélection de ces véhicules de type métro ainsi que celles de plusieurs systèmes de métro automatisé à travers le monde sont présentées dans le Tableau 5.1.

L'analyse montre que pour atteindre la capacité recherchée (de 16 000 passagers par heure et par direction (pphpd) en 2021 à 25 000 pphpd en 2061), l'utilisation de trains-blocs de deux ou trois unités (ou une combinaison des deux) sera nécessaire avec une fréquence de 1,5 et 2,5 min.

En absence de normes fédérales ou provinciales spécifiques, les paramètres de conception du système pour le train léger sur le nouveau pont devront être fixés à partir d'autres sources d'information. Il est recommandé de procéder à une étude visant à identifier et à compiler ces sources, cette étude devant couvrir :

- les directives et codes de sécurité et de sûreté;
- des guides et des études nord-américaines telles que le TCRP (Programme Collectif de Recherche sur les Transports Publics), l'APTA (Association Américaine du Transport Public), la NFPA (*National Fire Protection Association*), l'AREMA¹⁰ (*American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association*)
- les directives de conception provenant de systèmes comparables en Europe, aux États-Unis et dans le monde entier;
- des informations provenant d'études de marché des capacités de véhicules.

¹⁰ Le comité technique 12 de l'AREMA (rail transit) est responsable de l'élaboration et de la publication d'informations sur les systèmes de transport collectif sur rail légers et lourds, que ce soit leur conception, construction et réhabilitation.



Pour les systèmes canadiens de métro léger, les exigences d'évacuation d'urgence, d'incendie et de sécurité des personnes se rapportent normalement au NFPA 130 (*Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems*).

Afin d'orienter la conception de la géométrie des voies, les caractéristiques de performance des véhicules à utiliser, les vitesses à atteindre, ainsi que le maintien d'un haut niveau de confort des passagers, dicteront les paramètres limitatifs. TCRP Report 155 (*Track Design Handbook for Light Rail Transit, Second Edition*) fournit des lignes directrices et des descriptions pour la conception de plusieurs types assez courants de métro léger (SLR). Les systèmes *Canada Line* et *Skytrain* à Vancouver sont similaires au système projeté et il est peut-être intéressant de consulter leurs normes de conception afin d'orienter le projet. Les propriétaires et exploitants d'autres systèmes à travers le monde pourraient également être contactés afin de disposer d'une plus grande plateforme d'information.

Les spécifications pour les composants de voie sont susceptibles de découler de l'AREMA, bien qu'il ne soit pas rare que les normes européennes de l'UIC (Union Internationale des Chemins de fer) soient également incorporées.

5.2 Normes de conception

5.2.1 Chargement combiné routier / ferroviaire

Le *Canadian Highway Bridge Design Code* (le code canadien de conception de ponts routiers) CAN/CSA-S6-06 qui indique le chargement sur les ponts routiers et les combinaisons et les facteurs de modification des charges, ne comprend aucune section sur le chargement ferroviaire, lequel est couvert par l'AREMA. La combinaison des chargements routiers et ferroviaires sur le pont doit être considérée, tout en prenant en compte le phénomène de fatigue, en particulier sur la plus longue travée de la Voie maritime.

La combinaison de charges la plus contraignante est susceptible de se produire lors de l'installation et de la mise en service du SLR, où il y aura simultanément sur le pont, des autobus (utilisant les accotements ou les voies réservées), des trains, et de la machinerie lourde de construction. En plus de la circulation autoroutière bien entendu.



5.2.2 Exigences en matière de calcul parasismique

La sismicité autour de Montréal est statistiquement influencée par un seul événement M8 + qui s'est produit dans les années 1600 au Québec et qui a été enregistré par les premiers colons. Montréal a une classification sismique de zone 3 (sur 4), ce qui signifie une sismicité importante correspondant à la zone de rendement sismique d'un pont de secours.

L'actuel code de conception de pont, S6-06 utilise les données de 1995 relatives aux risques sismiques pour les mouvements pour une récurrence de 1/475 (10 % en 50 ans), avec un spectre de conception empirique d'abord développé en 1981 pour ATC-6 (*Seismic Design Guidelines for Highway bridges, by Applied Technology Council, Berkeley, California*). Ce code a été récemment mis à jour et devrait être officiellement disponible pour une consultation publique en septembre 2013. Les principaux changements prévus dans le nouveau code sont les suivants :

- l'utilisation de mouvements de sol pour une récurrence de 1/2475 (2 % en 50 ans), en plus des 1/475 annuels – conception à 2 niveaux;
- l'utilisation des spectres UHS (*Uniform Hazard Spectra*);
- la modification de la conception basée sur la performance, c'est-à-dire des objectifs de performance explicites, au lieu d'un facteur d'importance pour atteindre les objectifs implicites;
- un facteur de résistance des matériaux de 1,0 (ce qui permettra de compenser le passage à 1/2475).

Depuis 2005, des modifications similaires ont été mises en œuvre en Colombie-Britannique, projet par projet, alors que le code du bâtiment a été modifié pour une récurrence 1/2475. Cependant, les projets dans l'Est du Canada se sont limités jusqu'ici à l'application du S6-06. La conception du nouveau pont devrait adopter les exigences à venir qui devraient être publiées en 2014, bien avant le début de la conception détaillée.

5.2.3 Fondations

En l'absence de données géologiques et géotechniques appropriées, il n'a pas été possible de déterminer la forme de fondation la plus appropriée. Il est probable que l'argile de Champlain sera présente dans l'emprise du projet. L'argile de Champlain est bien connue pour sa vulnérabilité à la



liquéfaction. Avec les exigences sismiques actuelles évoquées, l'utilisation de fondations superficielles ne sera pas possible en présence de ce type d'argile; et probablement pas l'utilisation de pieux battus non plus. La forme la plus probable de fondation, si les sondages décèlent de l'argile, serait par conséquent des pieux forés (vissés). Les dessins d'archives historiques semblent toutefois indiquer que le socle rocheux est assez proche de la surface, et si tel était le cas, des semelles conventionnelles au roc seraient plus économiques.

5.2.4 Charge de glace et collision de navires

Il sera nécessaire de décider si le pont de glace aura une quelconque influence sur les exigences de conception pour le nouveau pont. S'il est prévu de démolir l'estacade entre-temps, alors la pleine conformité aux exigences relatives à la charge de glace de la conception des ponts routiers du *Canadian Highway Bridge Design Code* devrait être précisée dans les exigences contractuelles. La charge de collision de navire devra également être prise en compte.

5.2.5 Accumulation de glace

Il sera nécessaire d'appliquer la charge d'accumulation de glace. Plus important encore des restrictions peuvent être dictées au sujet des détails et des formes dans le but d'éviter le risque de chutes de glace sur l'autoroute, la piste cyclable et, éventuellement, les voies ferrées. L'histoire récente a par exemple mis en évidence la vulnérabilité des haubans à l'accumulation et aux chutes de glace.

5.2.6 Durabilité

Le Code canadien sur le calcul des ponts routiers (CHBDC CAN/CSA S6-06) exige que, sauf avis contraire, la durée de vie des nouveaux ouvrages soit de 75 ans. L'adoption d'une durée de vie de 125 ans est réaliste, mais il faudra en évaluer l'impact, autant sur la conception, que sur la stratégie d'entretien à adopter.

Un examen initial l'environnement agressif auquel est soumis le pont ne provient pas du fleuve qu'il traverse mais de l'usage intensif de sel de déglacage sur les chaussées du pont, comme sur le reste du réseau routier. Cet usage intensif de sel semble avoir été la cause principale de la



détérioration. Le mécanisme de dégradation bien connu étant la pénétration des ions chlorures, provenant des sels, dans le béton jusqu'à la profondeur de l'armature, entraînant une dépassivation ainsi que le développement de macro-cellules de corrosion. Cette corrosion a conduit à une perte de capacité dans l'acier de précontrainte et de post-tension, ainsi qu'à la fissuration et à l'effritement du béton d'enrobage.

Pour faire face à cette dégradation, une réhabilitation majeure a été nécessaire dans les années 1990, après seulement 30 ans de service. Les détails de la réhabilitation indiquent que la conception du pont l'a rendu fondamentalement susceptible de se détériorer en particulier en raison de l'absence de drainage approprié du pont qui a abouti à l'exposition des détails de la structure sensibles à l'eau chargée de sel. Les défaillances de la conception semblent avoir été aggravées par un certain nombre d'autres facteurs, notamment le contrôle de qualité insuffisant durant la construction, la présence de fissure thermique (sans doute pas suffisamment pris en compte dans la conception), ainsi que l'utilisation de matériaux en béton qui ont souffert d'une expansive réaction d'alcali-granat (qui n'était pas connue et comprise comme représentant un risque au moment de la construction).

Le niveau actuel de compréhension des causes, de la prévention et de la dégradation des structures en béton armé est très différent de celui de l'époque à laquelle le pont Champlain a été construit.

Il est désormais courant pour la conception de grands projets d'infrastructure dans le monde entier d'exiger une étude de durabilité, à effectuer au cours des premiers stades de développement de la conception, afin de veiller à ce que les exigences de durée de service soient atteintes. Ce type d'étude évalue les options de réponse à ces exigences dans l'environnement de service, et fournit des informations sur la faisabilité technique, les exigences de construction et d'exploitation et les besoins en entretien, informations qui permettent d'évaluer avec plus de précision le coût du cycle de vie.

Pour atteindre les exigences de durée de vie relatives à la conception du nouveau pont, une approche similaire devrait être adoptée. L'étude spécifique de durabilité précisera les moyens «primaires» à mettre en œuvre pour atteindre la durabilité requise (c'est-à-dire les types de matériaux et les détails de conception et de contrôle de qualité appropriés durant la construction). Compte tenu de l'importance de cette nouvelle



traversée au sein du réseau autoroutier, le recours à des mesures supplémentaires "secondaires" pour le suivi de l'état et le renforcement de la durabilité (par exemple, les systèmes de prévention et de suivi de la corrosion) peut être justifié. Ces mesures constitueraient une forme de «police d'assurance» contre les éventuelles insuffisances des mesures principales de durabilité. Les connaissances disponibles sur le pont existant constitueront une aide précieuse dans la réalisation de l'étude de durabilité car elles viendront renforcer l'indice de confiance dans l'évaluation des facteurs environnementaux et des taux potentiels de processus de détérioration.

Pour les ponts situés dans les zones de fortes neiges, l'utilisation massive de sel de voirie est l'une des principales causes contributrices à la détérioration du béton armé, et cela semble avoir été le cas pour l'actuel pont Champlain. Ceci, ainsi que d'autres conditions environnementales, devront être considérées comme faisant partie de l'étude de durabilité. Cependant, il peut être bénéfique d'explorer la possibilité d'utiliser d'autres systèmes de déglacage, en comparant leurs avantages possibles en termes de réduction des exigences de durabilité par rapport à l'utilisation continue de sel gemme. Il existe plusieurs matériaux qui méritent d'être étudiés comme alternatives potentielles, y compris les CMA (acétate de calcium et de magnésium), le chlorure de calcium, le protecteur de surface CG-90, Verglimit, CMS-B. Si nécessaire, une étude de faisabilité pourrait être incluse dans l'étude de durabilité.

5.3 Exploitation et entretien du SLR

L'installation ultérieure du SLR peut être facilitée par l'installation d'une dalle d'assise appropriée durant la construction du pont. Une couche d'usure temporaire sera nécessaire pour permettre le passage des autobus. Toutefois, cette installation temporaire devra être conçue de façon à s'enlever facilement et rapidement pour permettre l'installation du système de support du SLR. Un système de dalle préfabriquée a été utilisé pour la construction du métro MTR sur le pont *Tsing Ma* à Hong Kong et cette installation fonctionne avec succès depuis 1997. Plusieurs fournisseurs offrent maintenant des systèmes de voies préfabriqués et semi-préfabriqués pour ce type d'installation. Une analyse de marché sur ce type de système est recommandée pour fins d'intégration dans le devis technique du nouveau pont.



Pour permettre l'installation de l'infrastructure du SLR (équipements fixes, les trottoirs d'évacuation d'urgence, équipements de traction aérien [LTA], équipements et systèmes de contrôle), les autobus empruntant le corridor central devront transiter par l'autoroute, pour les options de pont à 1 seul niveau de tablier. Il sera important de minimiser les délais de construction et de mise en service du SLR de façon à ce que le flux de circulation ne soit pas perturbé plus longtemps que nécessaire. Afin de minimiser le temps d'installation de l'infrastructure dans les options de pont à 1 seul niveau de tablier, les supports des équipements de la ligne aérienne peuvent être coulés à même le tablier du pont durant sa construction.

INTÉGRATION D'UN SLR AU NOUVEAU PONT SUR LE SAINT-LAURENT

Étude de configuration et avis techniques - Rapport synthèse



Tableau 5.1 Comparaison de systèmes SLR automatisés

Fabricant	Modèle	Plancher	Larg.	Vit. max	Longueur courante	Pente max.	Courbe horizontale min.	Courbe verticale (hog & sag)	Axle wt	Centre bogie	Centre roues	Nombre de places - assises / max
		(mm)	(m)	(km/h)	(m)	(%)	(m)	(m)	(tonnes)	(m)	(m)	at (4p/m/m)
Bombardier	ART Mk II Vancouver ¹¹	750	2,65	90	34,7	6	80	n/a	9,9	12	1,9	80 / 340
Hyundai Rotem	Canada Line	1150	3,0	90	40	6,5	n/a	n/a	14,05	13,8	2,2	88 / 400
Ansaldo Breda	Driverless Metro	850	2,65	90	39	n/a	50	n/a	n/a	n/a	n/a	96 / 300
Kinki Sharyo	Dubai	x	2,88	90	85.5	4	n/a	n/a	12	11 / 5,8	2,0	136 / 643
Alstom	Metropolis	1100	2,65 -3,2	100	Jusqu'à 186	n/a	n/a	n/a	14,5 - 17	n/a		3500 (186 m long)
Siemens	Inspiro	n/a	2,63 - 3	90	122	n/a	n/a	n/a	13	n/a		256 / 1450
Ansaldo Breda	Driverless	X	2,65	90	50,5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	96 / 536

Source: Diverses

¹¹ Il convient de noter que le modèle ART MK II est le prédécesseur de l'actuelle série de véhicules Bombardier INNOVIA Metro 300 et à ce titre est susceptible d'avoir des performances similaires. Selon le site Web de Bombardier, le véhicule INNOVIA peut être offert en one-to-six trains de voiture avec trois largeurs différentes de voitures, selon la capacité voulue. Il peut fonctionner à des fréquences de passage aussi courts que 75 secondes, fréquence impossible à atteindre avec des pilotés par des opérateurs.



6 Considérations contractuelles (PPP)

Une des particularités du présent projet vient du fait qu'il est prévu d'effectuer la mise en service du réseau SLR après la construction et la mise en service du pont sous un régime de partenariat public privé.

Une fois en service (en 2021), le partenaire privé pont, sera responsable de toute l'infrastructure, y compris son exploitation et son entretien. Plusieurs questions relatives au partage des responsabilités et des risques surgiront alors au moment de la construction et de la mise en service des infrastructures du SLR.

Lors de l'installation et mise en service du SLR, l'entrepreneur SLR devra avoir accès et autorité sur une partie du pont. Dans le même temps le partenaire privé pont voudra s'assurer que les activités du partenaire privé SLR ne compromettent pas l'intégrité de la structure, n'augmenteront pas ses dépenses en entretien ou n'impacteront pas ses revenus.

Il n'y a aucune difficulté à l'intérieur d'un accord PPP, à prévoir l'obligation pour le partenaire privé du pont, de le concevoir de façon à permettre l'intégration et la mise en service future d'un SLR.

La complexité de cet accord réside dans le fait que les conseillers juridiques du partenaire privé du pont ne souscriront à ce concept qu'à la condition qu'il y ait une protection suffisante dans le contrat PPP, des pénalités, etc. advenant une non-conformité avec le cahier des charges, au cours de la période de construction et mise en service de l'infrastructure du SLR. Notre expérience de ce genre de projet a démontré que la manière la plus pratique et la solution la plus rentable est de soustraire temporairement la partie du pont directement affectée par la construction et la mise en service de l'infrastructure SLR, du PPP. Le gestionnaire des travaux du SLR devient alors responsable de cette partie jusqu'à la fin de ses essais de mise en service. Cette partie est alors ramenée sous l'autorité du PPP et le partenaire privé du pont reprend ses pleines responsabilités.

Plusieurs autres indications et informations sont émises au sujet des considérations contractuelles relatives aux PPP pour ce type de projet, lesquelles font l'objet de la section 7 du rapport 5



Annexes

Annexe A	Grille des risques identifiés _____	43
Annexe B	Comparaison des configurations (tab 4.1, rapp.3) _____	47
Annexe C	Représentation visuelle, options A, F and F1 _____	48



Annexe A Grille des risques identifiés

Mise à jour 16 mai 2013

#	Cat.	Risques/Opportunités	Description/Scenario	Mesures d'atténuation	Phase de prise en charge	Impacts sur les enjeux				
						Coût de l'investisment	Échéancier	Sécurité/Environment	Coût de l'entretien revenues /Fiabilité	Perception/réputation
1	NORMES ET CONCEPTION	Les règles et normes de conception ne s'appliquent pas dans le cas d'un pont routier et ferroviaire	Les exigences de tolérance excessivement restrictives conduisent à une surestimation des coûts	- Définir une norme spécifique au projet (expériences de Vancouver et Toronto).	Concept	X	X			
2		Les spécifications du SLR ne sont pas compatibles avec un pont dans la mesure où la mise en service de la LRT arrivera après la construction du pont.	Les caractéristiques du SLR n'ont pas été structurellement intégrées, ou n'ont pas été complétées à temps.		Concept	X	X		X	X
3			La conception du pont est incompatible avec les équipements d'électrification		Concept	X	X	X	X	X
4		La structure du pont limite la constructibilité des infrastructures du SLR	Pas de flexibilité dans le choix de la conception une fois que le pont est construit		Concept				X	X
5		Incertitudes sur la mise en service du SLR	Contexte PPP et Prêteur de fonds		Concept	X				



Mise à jour 16 mai 2013

#	Cat.	Risques/Opportunités	Description/Scenarior	Mesures d'atténuation	Phase de prise en charge	Impacts sur les enjeux				
						Coût de l'investissmt	Échéancier	Sécurité/Environnement	Coût de l'entretien revenues /Fiabilité	Perception/réputation
6		Période de chevauchement pendant laquelle les Bus et les SLR sont exploités en même temps	Opportunités pour l'entretien		Concept	X			X	X
7		Recours à des matériaux jamais utilisés auparavant	Durée de vie plus longue Efficacité non-testée/Prouvée		Avant-projet, Plans et devis	X			X	
8	CONSTRUCTION	La forme de la superstructure permet une réduction du nombre de piliers (Opportunité)	Le surcoût lié à la construction d'un tablier à 2 niveaux sera amoindri par les économies liées à la réduction du nombre de fondations et piliers		Concept		-	-		-
9		La structure du tablier limite la marge de temps allouée pour le projet	L'échéancier de construction ne peut se faire dans les délais impartis par le gouvernement. (certains concepts sont plus longs que d'autres)		Concept		X		X (revenus)	
10		Phasage de construction et de gestion de la circulation raccordement entre le nouveau et l'existant			Concept	X	X			X
11		Proximité entre l'ancien et le nouveau pont	L'interférence de la construction avec démolition (SLR pourrait ne pas être touché)		Concept			X		X
12		Constructibilité du SLR devrait être impactée par la forme structurale de la section transversale			Concept	X	X			X

INTÉGRATION D'UN SLR AU NOUVEAU PONT SUR LE SAINT-LAURENT

Étude de configuration et avis techniques - Rapport synthèse



Mise à jour 16 mai 2013

#	Cat.	Risques/Opportunités	Description/Scenarior	Mesures d'atténuation	Phase de prise en charge	Impacts sur les enjeux				
						Coût de l'investissmt	Échéancier	Sécurité/Environnement	Coût de l'entretien revenues /Fiabilité	Perception/réputation
13	EXPLOITATION ET ENTRETIEN	Impacts environnementaux	Bruit et vibration du SLR excède les exigences légales		Concept			X		X
14		Déraillement du SLR	Impact sur la structure		Prendre en compte au moment du choix du concept	X			X	
15			Collision avec un véhicule provenant de l'autoroute			X			X	
16			Incendie			X			X	
17		Les conditions climatiques limitent le service SLR	Le dégagement de la neige sur les voies du SLR est une contrainte significative de l'exploitation.		Concept				X	X
18			Des vents de plus de 100 km/h interrompent l'exploitation du SLR		Concept				X	X
19		Évacuation d'urgence des passagers	Les normes du métro (NFPA 130) utilisés car aucune norme spécifique au SLR existe	À relier aux enjeux sur les normes (risque #1)	Concept (largeur)	X		X		X

INTÉGRATION D'UN SLR AU NOUVEAU PONT SUR LE SAINT-LAURENT

Étude de configuration et avis techniques - Rapport synthèse



Mise à jour 16 mai 2013

#	Cat.	Risques/Opportunités	Description/Scenario	Mesures d'atténuation	Phase de prise en charge	Impacts sur les enjeux				
						Coût de l'investissement	Échéancier	Sécurité/Environnement	Coût de l'entretien revenues /Fiabilité	Perception/réputation
20		Besoins d'équipements spéciaux pour la maintenance et l'inspection de la structure contenant le SLR.	La structure peut être impactée par le type d'équipement de maintenance.	À relier aux enjeux sur les normes (risque #1)	Prendre en compte au moment du choix du concept	X			X	
21	RÈGLEMENTATION	Régime réglementaire pour un SLR au Québec est basé sur les exigences des trains lourds	Pourrait être une opportunité si elle est jugée au début du projet	À relier aux enjeux sur les normes (risque #1)	Concept	X	X			
22		Relations entre les réglementations fédérales et provinciales		À relier aux enjeux sur les normes (risque #1)	Concept	X	X			
23	FINANCE ET RÈGLES CONTRACTUELLES	Risques d'interface entre les projets PPP, péage et plus tard la mise en service du SLR, dans toutes les phases (construction, exploitation)	La séparation de la gestion des opérations entre l'exploitant du pont et l'exploitant SLR rend la conception plus complexe		Entente de partenariat	X	X		X	
24			Les risques du projet peuvent dissuader les entrepreneurs pour investir dans le PPP		Entente de partenariat	X	X		X	
25			Les coûts de construction du SLR dépassent la capacité financière du gouvernement provincial et / ou fédéral		Entente de partenariat	X	X		X	
26			Une grande incertitude augmente le coût de l'assurance		Entente de partenariat	X	X		X	



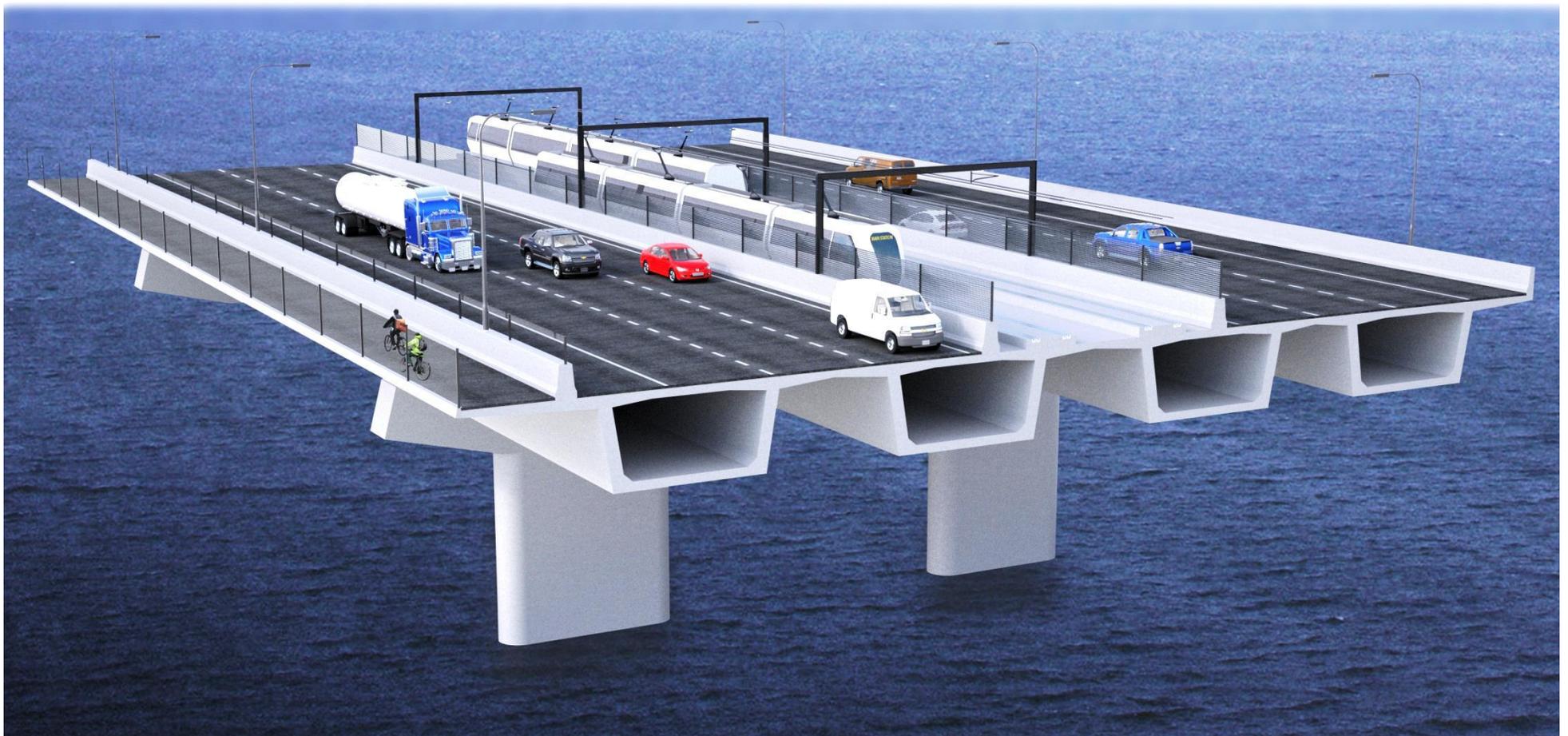
Annexe B Comparaison des configurations (tab 4.1, rapp.3)

Section transversale	Pondération	Position des voies	Facilité de Construction	Conception système SLR	Opération & Entretien	Protection contre incursion	Adaptabilité	Fiabilité de fonctionnement (intempéries)	Secours & Évacuation	Intégration aux extrémités	Impact sur partenaire privé	Coût (durée de vie)	Coût (Construction)	Total	Classement
		5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	10%	10%	25%	50%	135%	
Option A			★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★	★ ★	★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★	3,85	2 nd
Option B		★ ★	★ ★ ★	★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★	★	★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★	3,70	4 th
Option C		★ ★ ★ ★	★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★	★	★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★	3,44	6 th
Option D		★ ★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★	3,81	3 rd
Option E		★ ★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★	3,67	5 th
Option F / F1		★ ★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★	4,00	1 st



Annexe C Représentation visuelle, options A, F and F1

Figure 6.A: Représentation visuelle - Option A

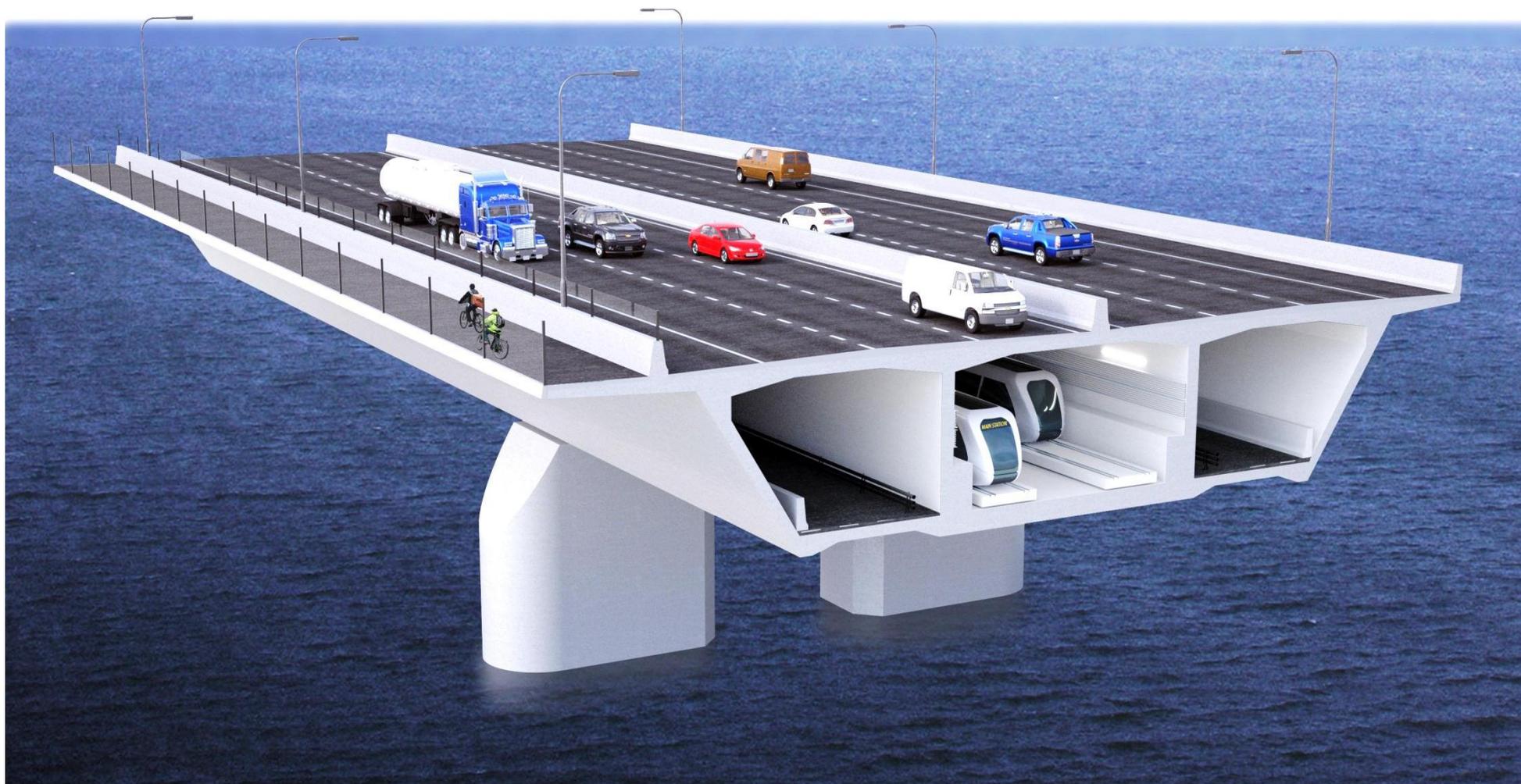


INTÉGRATION D'UN SLR AU NOUVEAU PONT SUR LE SAINT-LAURENT

Étude de configuration et avis techniques - Rapport synthèse



Figure 6.B: Représentation visuelle - Option F



INTÉGRATION D'UN SLR AU NOUVEAU PONT SUR LE SAINT-LAURENT

Étude de configuration et avis techniques - Rapport synthèse



Figure 6.C: Représentation visuelle - Option F1

