



# Étude de pré faisabilité portant sur le remplacement de l'actuel pont Champlain

## Rapport sectoriel no 5 Les solutions «Tunnel»

---

Contrat PJCCI No 61100

Février 2011



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated

Canada

Transports  
Québec 





Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada



# Étude de pré faisabilité portant sur le remplacement de l'actuel pont Champlain

**Contrat PJCCI no 61100**

**Rapport sectoriel no 5**

**Les solutions « tunnel »**

**Partie A**

Date : Février 2011

CONSORTIUM BCDE





# CONSORTIUM BCDE



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

## Rapport sectoriel préparé par Egis

Bernard Falconnat Expert – Olivier Martinetto Expert Sécurité & Équipements d'exploitation.

**Bernard Falconnat**

**Guy Richard, ing. M.Sc.A.**

**Jean-Claude Therrien, ing. M.S.E.**

## Consortium BCDE

1060, rue University, bureau 600  
Montréal (Québec) Canada H3B 4V3  
Téléphone : 514.281.1010  
Télécopieur : 514.281.1060



## TABLE DES MATIÈRES

FIGURES .....	III
TABLEAUX .....	III
LISTE DES PLANS ANNEXÉS .....	I
LISTE DES AUTRES DOCUMENTS ANNEXÉS .....	I
GLOSSAIRE.....	I
SOMMAIRE EXÉCUTIF .....	1
EXECUTIVE SUMMARY .....	5
INTRODUCTION .....	9
<b>1 DISPOSITIONS GÉNÉRALES DE L'AMÉNAGEMENT .....</b>	<b>11</b>
1.1 Dispositions actuelles .....	11
1.2 Trafic – conditions d'exploitation.....	11
1.3 Dispositions envisagées .....	13
1.3.1 <i>Le programme défini par le client comporte :</i> .....	13
1.3.1.1 Programme de base .....	13
1.3.1.2 Scénarios alternatifs de sections transversales .....	14
1.3.2 <i>Axes d'optimisation</i> .....	14
1.3.2.1 Largeur des voies .....	14
1.3.2.2 Bande d'arrêt d'urgence.....	14
1.3.2.3 Hauteur libre .....	14
1.4 Dispositions générales relatives à la ventilation et à la sécurité.....	15
1.4.1 <i>Ventilation</i> .....	15
1.4.2 <i>Sécurité – évacuation – accès des secours</i> .....	15
1.4.3 <i>Protection des structures contre l'incendie et les conséquences d'une explosion</i> .....	15
<b>2 TUNNEL A FAIBLE PROFONDEUR.....</b>	<b>16</b>
2.1 Dispositions constructives de principe .....	16
2.2 Profil en travers avec TCSP.....	17
2.2.1 <i>Espace de circulation pour les véhicules privés</i> .....	17
2.2.2 <i>Galeries d'évacuation</i> .....	18
2.2.3 <i>Gaine d'extraction des fumées</i> .....	18
2.2.4 <i>Espace TCSP</i> .....	18
2.3 Profil en travers en absence de TCSP.....	19
2.3.1 <i>Espace de circulation pour les véhicules privés</i> .....	19

## TABLE DES MATIÈRES

2.3.2	<i>Galerie d'évacuation</i> .....	19
2.3.3	<i>Gaine d'extraction des fumées</i> .....	19
2.4	Profil en long .....	19
2.5	Tracé en plan .....	20
2.6	Méthodes de construction .....	21
2.6.1	<i>Construction « à sec » à l'intérieur de batardeaux</i> .....	21
2.6.1.1	Traversée du Saint Laurent entre l'île des Sœurs et la digue délimitant la voie maritime	21
2.6.1.2	Traversée de la voie maritime.....	22
2.6.2	<i>Méthode de construction par « tunnel immergé »</i> .....	23
2.6.2.1	Traversée de la voie maritime et du lit connexe en rive droite .....	23
2.6.2.2	Traversée du Saint Laurent .....	23
2.7	Synthèse de cette alternative.....	24
2.7.1	<i>Synthèse préliminaire</i> .....	24
2.7.2	<i>Synthèse complémentaire</i> .....	25
<b>3</b>	<b>TUNNEL FORÉ</b> .....	<b>26</b>
3.1	Dispositions constructives de principe .....	26
3.2	Profil en travers – solution A .....	27
3.2.1	<i>Niveau supérieur – espace de circulation</i> .....	27
3.2.2	<i>Niveau inférieur</i> .....	28
3.2.2.1	Galerie d'évacuation .....	28
3.2.2.2	TCSP .....	28
3.2.2.3	Autres fonctions .....	29
3.3	Profil en travers – solution B .....	29
3.3.1	<i>Tube dédié aux véhicules légers</i> .....	29
3.3.2	<i>Tube poids lourds et TCSP</i> .....	30
3.4	Profil en long .....	30
3.4.1	<i>Calage du profil en long</i> .....	31
3.4.2	<i>Échanges – dessertes locales</i> .....	32
3.4.3	<i>Caractéristiques principales</i> .....	33
3.5	Tracé en plan .....	33
3.5.1	<i>Tracé en plan de la solution A</i> .....	33
3.5.2	<i>Dispositions particulières relatives à la solution B</i> .....	34
3.6	Méthodes de construction .....	34
3.7	Synthèse de cette alternative.....	34
<b>4</b>	<b>DELAIS DE CONSTRUCTION</b> .....	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>ESTIMATIONS PRELIMINAIRES</b> .....	<b>37</b>

## TABLE DES MATIÈRES

5.1	base des estimations .....	37
5.1.1	<i>Base des ratios et prix unitaires</i> .....	37
5.1.2	<i>Contenu des estimations</i> .....	37
5.2	synthèse des estimations.....	38
<b>6</b>	<b>SYNTHÈSE ET PROPOSITION .....</b>	<b>40</b>
6.1	solutions de tunnel foré .....	40
6.2	solution de tunnel sous-fluvial.....	41
6.3	tableau comparatif des solutions tunnels.....	42
6.4	proposition.....	45

## FIGURES

Figure 1:	répartition du trafic dans la journée sur le pont Champlain .....	12
Figure 2:	Répartition des véhicules sur le pont Champlain en fonction de leur classe.....	13
Figure 3:	Graphe comparatif des estimations préliminaires .....	38
Figure 4 -	tableau comparatif multicritère entre les différentes solutions de tunnel.....	44

## TABLEAUX

Tableau 1 :	Coefficient d'équivalence UVP .....	12
Tableau 2:	tableau de synthèse des estimations .....	39
Tableau 3:	estimation comparative des postes principaux.....	40
Tableau 4 -	estimation détaillée du coût de construction de la solution tunnel « sous-fluvial » immergé – montant HT valeur 2010 en k€ et k\$ - hors SAV .....	49
Tableau 5 :	estimation détaillée des coûts de construction du tunnel « sous-fluvial » construit entre batardeaux en valeur 2010 – montants en k€ et k\$ hors SAV .....	53
Tableau 6 -	estimation détaillée des coûts de construction du tunnel foré comportant 2 tubes en valeur 2010 – montants en k€ et k\$ - hors SAV .....	57
Tableau 7 :	estimation détaillée des coûts de construction du tunnel foré comportant 4 tubes en valeur 2010 – montants en k€ et k\$ - hors SAV .....	61
Tableau 8 :	estimation détaillée des coûts de construction du tunnel « sous-fluvial » sans TCSP construit entre batardeaux – montants en k€ et k\$ valeur 2010 - hors SAV.....	65

### Propriété et confidentialité

« Ce document d'ingénierie est l'œuvre du consortium BCDE et est protégé par la loi. Ce rapport est destiné exclusivement aux fins qui y sont mentionnées. Toute reproduction ou adaptation, partielle ou totale, est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite de Les Ponts Jacques-Cartier et Champlain incorporée et du ministère des transports du Québec. »

REGISTRE DES RÉVISIONS ET ÉMISSIONS		
No de révision	Date	Description de la modification et/ou de l'émission
00	17 février 2011	Version finale

## LISTE DES PLANS ANNEXÉS

NUMÉRO	DÉSIGNATION
61100-05A-01	Tunnel immergé – tracé en plan – profil en long
61100-05A-02	Tunnel immergé – profil en travers types
61100-05A-03	Tunnel immergé – principes de construction
61100-05A-04	Tunnel foré – tracé en plan - profil en long
61100-05A-05	Tunnel foré – profil en travers types variante A (2 tubes) –et variante B (4 tubes)

## LISTE DES AUTRES DOCUMENTS ANNEXÉS

NUMÉRO	DÉSIGNATION
Annexe 1	Estimation tunnel « sous-fluvial » immergé
Annexe 2	Estimation tunnel « sous-fluvial » construit avec des batardeaux
Annexe 3	Estimation tunnel foré 2 tubes
Annexe 4	Estimation tunnel foré 4 tubes
Annexe 5	Estimation tunnel « sous-fluvial » sans TCSP construit avec des batardeaux
Annexe 6	Transports des Matières Dangereuses – note de synthèse concernant la réglementation

## GLOSSAIRE

ABRÉVIATIONS	SIGNIFICATIONS
AIPCR	Association Mondiale de la Route
BAU	Bande d'Arrêt d'Urgence
BT	Basse Tension
CE	Communauté Européenne
CIE	Comité International de l'Éclairage
CN	Courbe Normalisée
Courbe HCM	Courbe Hydrocarbure Majorée
DAI	Détection Automatique d'Incident
DJMA	Débit Journalier Moyen Annuel
GTC	Gestion Technique Centralisée
HT	Haute Tension
IHM	Interface homme / machine
MT	Moyenne Tension
MW	Méga Watt
NFPA	National Fire Protection Association
PAU	Poste d'Appel d'Urgence
PC	Poste de Commande – Poste de Contrôle
PIS	Plan d'Intervention des Secours
PL	Poids Lourds
PM	Point Métrique
RAU	Réseau d'Appel d'Urgence
SAV	Somme à Valoir (provision financière)
TBT	Très Basse Tension
TCSP	Transport en Commun en Site Propre
TMD	Transport de Matières Dangereuses
TMJA	Trafic Moyen Journalier Annuel
UVP	Unité de Véhicule Particulier
VL	Véhicules Légers
1D/ 2D / 3D	1 dimension / 2 dimensions / 3 dimensions

## SOMMAIRE EXÉCUTIF

Le présent rapport sectoriel 05 « tunnel » comporte deux parties :

- ▶ La partie A, relative au recensement et à la comparaison entre les différentes alternatives de reconstruction du pont Champlain, avec une infrastructure en tunnel. Quatre solutions ont été examinées de tunnels forés et de tunnels sous-fluviaux à faible profondeur. Il en ressort que la solution la mieux adaptée aux conditions d'aménagement urbain, et qui occasionne le moins d'impact environnemental, est celle d'un tunnel sous-fluvial réalisé in situ dans une enceinte délimitée par des batardeaux,
- ▶ La partie B, qui a trait à une analyse plus détaillée de cette solution, précise les enjeux en matière de sécurité, de grandes options techniques, de méthodes et délais de construction, ainsi que de coûts de construction, d'exploitation et de maintenance.

## DISPOSITIONS PRINCIPALES D'AMÉNAGEMENT RELATIVES AUX SOLUTIONS TUNNELS

Le tunnel proposé est situé en aval du pont Champlain. La longueur du tunnel est de 3610 m. Il est prolongé par une trémie de 120 ml en rive droite, et une trémie de 100 ml sur l'île des Sœurs.

Le tunnel, fondé dans les schistes, est situé à une profondeur variant de trois à cinq mètres entre l'extrados de la dalle supérieure et le fond du lit du Saint Laurent ou de la voie maritime.

Tous les mouvements et échanges routiers existants sur les deux rives sont conservés dans l'aménagement définitif, et sont maintenus en exploitation pendant toute la durée des travaux.

La section fonctionnelle comporte cinq sous-espaces : deux pour le trafic routier avec trois voies de circulation dans chaque direction – un pour le passage de deux voies de TCSP (Transport en Commun en Site Propre) – deux pour les galeries d'évacuation et les accès des secours.

La structure, du type multi-caissons en béton de 60 m de largeur, est précontrainte longitudinalement, transversalement et verticalement.

Les installations de ventilation ont été pré-dimensionnées pour les conditions de ventilation sanitaire, ainsi que pour un incendie d'une puissance de 50 MW. Le scénario d'un incendie de 200 MW a également été examiné. La ventilation est du type longitudinal avec des accélérateurs en plafond. Elle comporte deux gaines de désenfumage pour assurer la sécurité incendie, et des installations aux deux têtes de tunnel.

## APPROCHE PRÉLIMINAIRE DES DISPOSITIONS RELATIVES À LA SÉCURITÉ ET AUX TMD

Les dispositions relatives aux équipements de sécurité, aux évacuations et à l'accès des services d'intervention et de secours ont été analysées en tenant compte des normes les plus récentes et les plus exigeantes canadiennes ou européennes. Un poste de contrôle et de supervision, ainsi qu'un centre d'entretien de maintenance et d'intervention, sont prévus sur l'île des Sœurs en tête de tunnel.

La problématique du transit des TMD en tunnel (Transports de Matières Dangereuses) a été approfondie sur la base des informations contenues dans le rapport sur la circulation des TMD dans la Montérégie. Le trafic des TMD est assez faible et déjà réparti à l'heure actuelle entre les différents franchissements, en fonction des produits transportés, leurs origines et leurs destinations.

Cette analyse laisse entrevoir des solutions possibles, compatibles avec le transit des TMD en tunnel, et le niveau de sécurité requis.

Ces solutions sont basées sur :

- ▶ une meilleure répartition des flux selon les produits transportés,
- ▶ des restrictions de trafic,
- ▶ une réglementation du transit des TMD à travers le tunnel, associée au flux horaire du trafic.

Un scénario d'incendie de 200 MW a été analysé, et laisse apparaître des risques limités et maîtrisables, dans la mesure où cet incendie intervient en dehors des périodes de fort trafic.

Cette analyse de transit des TMD nécessite d'être approfondie, pour la solution « tunnel » comme pour la solution « pont » qui n'est pas exempte de risques. Ceci requiert la réalisation d'une enquête plus élargie sur le transport des TMD, des modélisations 3D de l'incendie de 200 MW, l'analyse des origines et destinations par nature de produits transportés, le recensement des itinéraires alternatifs potentiels et des risques auxquels ces itinéraires pourraient être soumis en cas de transfert d'une partie du trafic.

## MÉTHODES DE CONSTRUCTION – DÉLAIS DE CONSTRUCTION

Trois modes de construction sont mis en œuvre pour la réalisation de l'ouvrage:

- ▶ un mode traditionnel pour les ouvrages à terre ferme,
- ▶ une construction à sec à l'intérieur d'une enceinte protégée par des batardeaux pour la traversée fluviale sous le Saint Laurent. Ces batardeaux sont constitués par des caissons métalliques flottables, immergés en place par lestage sur leur lieu de mise en œuvre. La flexibilité de la méthode proposée et de sa mise en œuvre, l'absence de terrassements en rivière, permettent de satisfaire à la majorité des contraintes environnementales,

- un mode de construction par caissons préfabriqués immergés pour la traversée de la voie maritime. Ces caissons sont préfabriqués à l'intérieur de l'enceinte délimitée par des batardeaux, utilisée pour les travaux fluviaux en rive droite, puis transformée en cale sèche.

Le planning prévisionnel des travaux fait ressortir un délai de 59 mois à compter du début de la période de préparation des travaux. Ce planning prend en compte les interruptions hivernales, les contraintes environnementales de suspension des travaux en rivière, ainsi que la période d'interdiction de travaux dans l'emprise de la voie maritime.

## COÛTS DE CONSTRUCTION ET D'EXPLOITATION

Le montant prévisionnel des travaux de construction s'élève à 1.907 M\$ hors taxes valeur 2010. Ce montant comporte une provision financière de 25%, les frais d'acquisitions foncières et de déplacement des réseaux, ainsi que les frais de maîtrise d'ouvrage et de maîtrise d'œuvre, les prestations de suivi des travaux, et les indemnités environnementales.

Les frais d'exploitation, de maintenance annuelle et de travaux de gros entretien ont été analysés pour une période de 35 années à compter de la mise en service de l'ouvrage.

# CONSORTIUM BCDE



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

## EXECUTIVE SUMMARY

Sector report 5 "Tunnel" is in two parts:

- ▶ Part A, which provides an enumeration and comparison of various alternatives for reconstructing the Champlain Bridge using a tunnel infrastructure. Four solutions were examined, consisting of both bored tunnels and shallow under-river tunnels. The results suggest that the solution best adapted to urban development conditions and creating the least environmental impact is an under-river tunnel built within an enclosure created by cofferdams;
- ▶ Part B, which provides a more detailed analysis of this solution, clarifies safety issues, the main technical options, methods and construction timeframes as well as construction, operating and maintenance costs.

## PRINCIPAL DESIGN ARRANGEMENTS FOR THE TUNNEL SOLUTIONS

The proposed tunnel is located downstream from the Champlain Bridge. The tunnel is 3,610 m long. It is extended by a 120 m «trémie» on the right shore and a 100 m «trémie» on Île des Sœurs.

The tunnel, founded in schist formation, is located at a depth varying from three to five metres between the upper surface of the upper slab and the bottom of the bed of the St. Lawrence or the Seaway.

All road traffic and interchanges on both shores are preserved in the final design and remain in operation throughout the work.

The functional section contains five sub-spaces: two for road traffic with three lanes in each direction – one for passage in two lanes of Reserved Lane Public Transport – two for escape galleries and emergency access.

The structure, of 60 m wide concrete multi-blocks, is pre-stressed longitudinally, transversally and vertically.

The ventilation installations have been pre-sized for sanitary ventilation conditions as well as for a 50 MW fire. The scenario of a 200 MW fire was also studied. Ventilation is longitudinal with ceiling accelerators. It includes two smoke exhaust ducts for fire safety as well as plants at the two tunnel portals.

## PRELIMINARY APPROACH TO SAFETY AND DMT PROVISIONS

The arrangements for safety equipment, escape and access by fire fighters, emergency and first aid services were analyzed using the most recent and most demanding Canadian or European standards. A monitoring and supervision room as well as a maintenance and emergency centre are planned for Île des Sœurs at the tunnel portal.

The problem of DMT (dangerous materials transport) was analyzed on the basis of information contained in the DMT traffic report for the Montérégie region. DMT traffic is rather light and currently is already distributed among various crossings, as a function of the products transported, their origins and their destinations.

This analysis suggests possible solutions that are compatible with DMT tunnel use and meet the required safety level.

These solutions are based on:

- ▶ a better distribution of flows according to the product transported,
- ▶ traffic restrictions,
- ▶ regulation of DMT travel through the tunnel, associated with hourly traffic flow.

Analysis of a 200 MW fire scenario revealed that the risks are limited and controllable, to the extent that such a fire occurs outside periods with heavy traffic.

This DMT traffic analysis should be more extensive, for both the tunnel and bridge solutions, neither of which is risk-free. Doing so would require execution of a broader DMT study, 3D modelling of the 200 MW fire, analysis of the origins and destinations by product type transported, enumeration of potential alternative routes and the risks these routes would be exposed to if a portion of the traffic were transferred to them.

## CONSTRUCTION METHODS – CONSTRUCTION TIMEFRAME

Three construction methods are used to execute the structure:

- ▶ traditional mode for structures on land,
- ▶ dry-bed construction within an enclosure protected by cofferdams for crossing under the St. Lawrence. These cofferdams consist of floatable metallic caissons, submerged by ballast at the site they are used. The flexibility of the proposed method and its implementation and the absence of earthworks in the riverbed accommodate most of the environmental constraints,
- ▶ construction using submerged prefabricated caissons for the Seaway crossing. These caissons are prefabricated within the enclosure created by cofferdams, used for the river work on the south shore, then transformed in a dry dock.

The provisional construction schedule suggests a period of 59 months from the start of the work preparation period. This planning takes into account winter interruptions, environmental work suspension constraints and work prohibition periods within the Seaway right-of-way.

## CONSTRUCTION AND OPERATING COSTS

The estimated cost of construction is \$1.907 billion (2010 dollars) before taxes. This amount includes a financial provision of 25%, the cost of property acquisition and networks relocation, as well as contracting authority and supervisory expenses, monitoring services and environmental compensation costs.

The operating, annual maintenance and major maintenance expenses were analyzed for a period of 35 years, starting from when the structure is commissioned.

# CONSORTIUM BCDE



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

## INTRODUCTION

L'étude de pré faisabilité du remplacement du pont Champlain par un tunnel est réalisée en deux parties :

- ▶ **Partie A** : analyse de la problématique d'une solution tunnel - recensement des solutions potentielles – choix de la solution qui sera développée dans la seconde partie de l'étude de pré faisabilité,
- ▶ **Partie B** : études de pré faisabilité de la solution tunnel retenue.

Le présent rapport d'étape concerne la partie A. Il a pour objet le recensement de l'ensemble de la problématique relative aux solutions tunnels, en vue de mieux cibler les problèmes, les enjeux et les différentes interfaces qui devront faire l'objet d'analyses complémentaires dans le cadre de cette étude de pré faisabilité.

Les schémas ou esquisses présentées dans ce rapport d'étape sont préliminaires et sont susceptibles d'être adaptés lors des analyses complémentaires. Ceci concerne en particulier :

- ▶ Le dimensionnement des structures, qui seront définies après que le projet aura été calé,
- ▶ Les sections des gaines de ventilation qui ne pourront être fixées qu'après étude préliminaire de la ventilation,
- ▶ Les raccordements aux voiries existantes, et plus particulièrement l'aménagement des échanges. Seule leur faisabilité a été vérifiée à ce niveau d'études. Les raccordements feront l'objet d'une analyse géométrique plus approfondie dans les étapes ultérieures de l'étude,
- ▶ L'implantation et le niveau altimétrique de la ligne verte du métro de Montréal entre les stations Charlevoix et La Salle, dont les informations sont à vérifier.

Les autres informations liminaires concernent les points suivants :

- ▶ Informations topographiques et bathymétriques

Les esquisses ont été basées sur les documents topographiques disponibles (zones à l'air libre), les informations recueillies sur Google Earth (bâti et occupation des sols). Les éléments relatifs à la bathymétrie du fond du Saint Laurent ont été déduits de l'analyse des informations topographiques disponibles concernant la réalisation des fondations du Pont Champlain et de l'estacade. Ces informations ne sont pas forcément homogènes avec celles relatives aux niveaux altimétriques à l'air libre (référence du niveau zéro). De même, les niveaux de fond du lit du Saint Laurent sont susceptibles d'avoir évolué par rapport aux informations utilisées. Ces modifications potentielles, de portée limitée (vraisemblablement moins d'un mètre d'incertitude) ne remettent pas en cause

les analyses et leurs conclusions, les adaptations susceptibles d'être apportées demeurant mineures.

► Éléments de trafic

Les volumes de trafic pris en compte sont issus des données disponibles, ainsi que de l'analyse d'un enregistrement vidéo en date du 22 octobre 2008 pour ce qui concerne la répartition par classes de véhicules, ainsi que la répartition horaire au cours de la journée.

► Informations relatives à la géologie et la géotechnique

Ces informations sont essentiellement issues des documents d'études et de construction du pont Champlain et de l'estacade, ainsi que des informations relatives à la géologie générale de la zone d'étude concernée. Ces informations sont suffisantes à ce niveau d'études de pré faisabilité, et ne sont pas susceptibles de remettre en cause la faisabilité des différentes solutions examinées. Ces études nécessiteront d'être complétées dans le cas où il serait décidé d'engager des études plus détaillées pour les solutions tunnels, notamment tunnel foré.

Aucune information n'a pu être recueillie concernant la rive droite et la rive gauche (sauf au droit de l'intersection avec la ligne verte du métro) ainsi que dans les zones de raccordements. Ceci nous a conduits à prendre un certain nombre d'hypothèses pour les solutions de tunnels forés, qui sont explicitées dans le présent rapport.

► Réseaux majeurs – fondations – ouvrages enterrés

Aucune information détaillée exhaustive n'a pu être recueillie à cette étape d'études. Deux réseaux majeurs susceptibles de présenter un impact important sur le projet ont toutefois été identifiés :

- La « ligne verte » du métro de Montréal traverse l'autoroute A15 entre les stations de métro Charlevoix et La Salle. Le tunnel est foré dans les schistes et situé dans la zone de croisement à une altitude comprise entre -6,0m (génératrice inférieure) et +1,5m (génératrice supérieure).
- L'égout-collecteur de Saint Pierre, (dimensions approximatives 6m x 13m) est situé longitudinalement sous l'emprise d'A 15 en rive gauche. Son déplacement est nécessaire sur 600ml à 700 ml. Il s'agit d'une contrainte importante concernant les coûts et les délais, mais qui ne rend pas impossible la réalisation des accès de rive gauche au tunnel foré.

► Environnement - hydraulique

L'impact de l'ouvrage et notamment ceux de la réalisation des travaux sont soulevés dans le présent rapport d'étape en vue de la réalisation d'une analyse attentive par les experts de notre groupement BCDE. Les principaux résultats de ces analyses ont été pris en compte dans notre proposition finale de cette partie d'études.

# 1 DISPOSITIONS GÉNÉRALES DE L'AMÉNAGEMENT

## 1.1 DISPOSITIONS ACTUELLES

Le pont Champlain relie à l'heure actuelle l'Île des Sœurs à la rive droite du Saint Laurent. Il franchit le bras sud du Saint Laurent ainsi que la voie maritime. Le bras nord du Saint Laurent est franchi par le pont donnant accès à l'Île des Sœurs.

Le pont Champlain se prolonge à l'Est par l'autoroute A10 des Cantons de l'Est, et à l'Ouest par l'autoroute A15. Les raccordements sont assurés dans les conditions suivantes sur les accès au pont Champlain :

- ▶ En rive droite :
  - Échangeur avec l'autoroute A 132 Jean Lesage qui suit la berge rive droite du Saint Laurent,
  - Échangeur avec le Boulevard Taschereau (R-134),
- ▶ Sur l'île des Sœurs :
  - Desserte locale de l'île des Sœurs,
  - Échangeur avec l'Autoroute Bonaventure,
- ▶ En rive gauche du Saint Laurent :
  - Échangeur avec l'Autoroute Bonaventure et le boulevard Gaétan-Laberge,
  - Diffuseur sur l'avenue Atwater.

## 1.2 TRAFIC – CONDITIONS D'EXPLOITATION

Le tablier du Pont Champlain comporte 3 voies dans chaque direction, sans bande d'arrêt d'urgence. A certaines heures de la journée (de 5h30 à 9h30 le matin, et de 15h00 à 19h30 le soir) une voie est réservée aux bus de transport en commun, à contresens de la circulation de la direction la moins chargée. Le nombre de voies ouvertes au public dans le sens le moins chargé est alors réduit de 3 voies à 2 voies.

La vitesse est actuellement limitée à 70 km/h ce qui correspond approximativement à la vitesse permettant d'absorber le trafic maximum.

La répartition du trafic dans la journée est représentée figure n°2 ci-dessous. Elle laisse apparaître les pointes du matin et du soir ainsi que le caractère pendulaire marqué du trafic.

La décomposition du trafic par classes de véhicules est représentée figure n°3 ci-dessous. Elle laisse apparaître un trafic composé essentiellement de véhicules légers.

L'analyse du trafic en u.v.p. (unité de véhicule particulier) en tenant compte des coefficients d'équivalence (voir figure n°1) conduit à une fourchette de trafic compris entre 5850 et 6180 u.v.p./h en heure de pointe pour les trois voies, soit de 1950 à 2060 u.v.p./h par voie. Ces valeurs sont très voisines des limites couramment admises pour la capacité d'une voie de tunnel en zone urbaine (de 2000 à 2100 u.v.p./h). Le pont Champlain est à saturation en heure de pointe, ce qui se traduit par une rétention du trafic et des bouchons en heure de pointe :

Tableau 1 : Coefficient d'équivalence UVP

TYPE DE VÉHICULE	COEFFICIENT D'ÉQUIVALENCE
Véhicule léger	1,00
Véhicule léger avec remorque	1,15
1 unité (poids lourd ou bus)	2,10
2 unités (semi-remorque)	2,60
Train routier	3,00

Figure 1: répartition du trafic dans la journée sur le pont Champlain

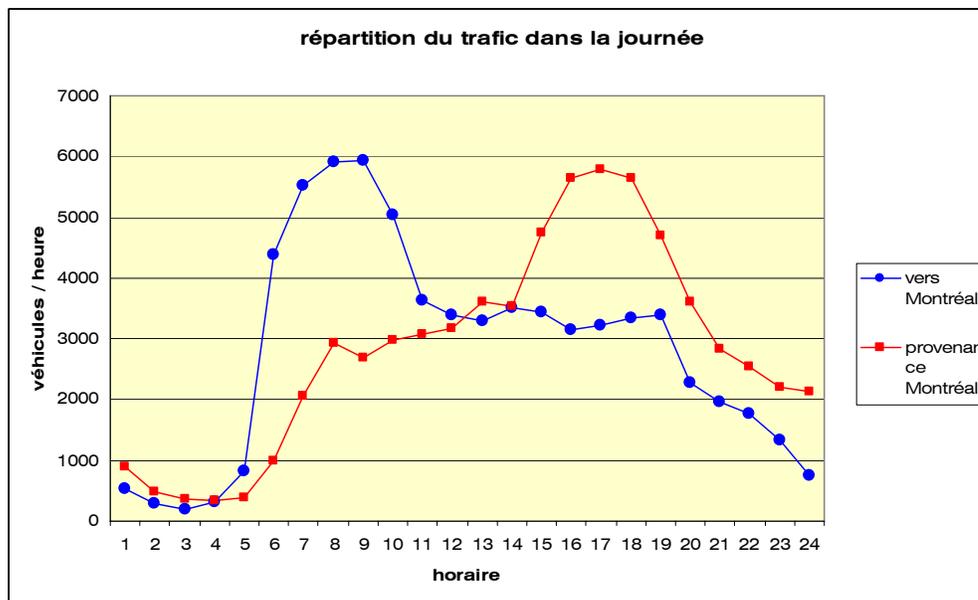
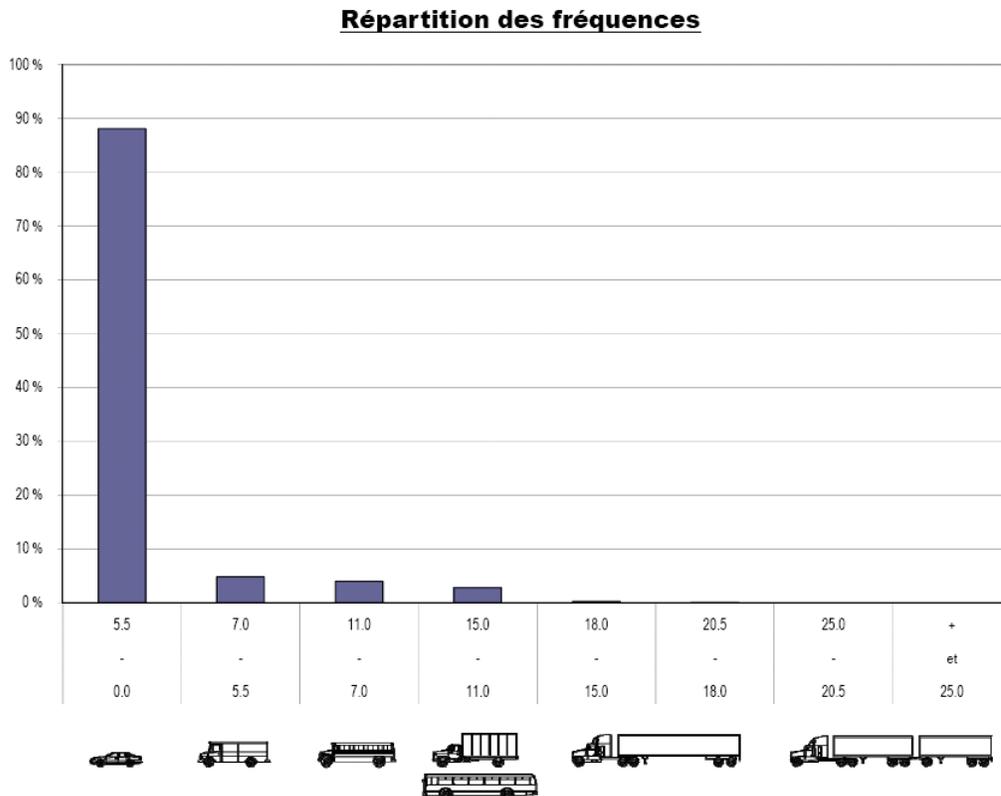


Figure 2: Répartition des véhicules sur le pont Champlain en fonction de leur classe



- ▶ Aucune information n'a pu être recueillie à ce jour sur le trafic des véhicules transportant des matières dangereuses, ni sur la nature de ces matières, leur dangerosité, ainsi que leurs origines et destinations. Ces éléments seront indispensables dans la seconde partie de l'étude,
- ▶ La problématique du passage de véhicules transportant des matières dangereuses fait l'objet d'un rapport séparé.

### 1.3 DISPOSITIONS ENVISAGÉES

#### 1.3.1 Le programme défini par le client comporte :

##### 1.3.1.1 Programme de base

Le programme de base a été pris en compte pour cette première étape d'esquisse d'une solution tunnel en tenant compte d'adaptations liées aux conditions d'un ouvrage souterrain :

- ▶ Trois voies et une bande d'urgence dans chaque sens de circulation pour les transports privés. Voie de 3,70 m de largeur – BAU de 2,50 m de largeur – hauteur libre de 5,00 m au dessus des voies de circulation.

- ▶ Deux voies (une dans chaque sens) pour un TCSP (Transports en Commun en Site Propre) soit par bus, soit par tram ou par train léger ou similaire.

### 1.3.1.2 Scénarios alternatifs de sections transversales

Ces scénarios concernent essentiellement les coûts et seront analysés dans la seconde étape. Ils sont recensés ci-après parmi les axes d'optimisation.

## 1.3.2 Axes d'optimisation

### 1.3.2.1 Largeur des voies

Compte tenu de la faible proportion cumulée (inférieure à 10% du trafic moyen journalier) de poids lourds, semi-remorques et trains routiers, il pourrait être envisagé de moduler la largeur des voies pour permettre une optimisation des coûts de construction, et de réduire à 3,25 m la largeur des voies utilisées par les véhicules légers, la largeur de la voie poids lourds demeurant inchangée et égale à 3,70 m.

### 1.3.2.2 Bande d'arrêt d'urgence

La réalisation d'une bande d'arrêt d'urgence (BAU) en tunnel présente un impact financier important et doit faire l'objet d'une analyse particulière.

Une BAU est pleinement justifiée dans le cas présent compte tenu d'une part de l'utilisation des voies à leur capacité maximale plusieurs heures par jour, et d'autre part du nombre probable de plusieurs pannes par jour (avec une concentration aux heures de pointe) si l'on tient compte des statistiques de pannes, de la conception du tunnel en point bas sous le niveau d'une rivière, du volume de trafic et de la longueur du tunnel.

### 1.3.2.3 Hauteur libre

La hauteur libre de 5,00 m est supérieure à celle requise par la réglementation. A noter par ailleurs que cette hauteur libre est de 4,30 m pour le tunnel Louis-Hippolyte La Fontaine.

La hauteur libre en tunnel est également un facteur important du dimensionnement de la géométrie fonctionnelle de l'ouvrage et de son coût de construction. Si la solution tunnel devait être retenue, il conviendrait de moduler cette valeur en vue d'optimiser le coût de l'ouvrage.

## 1.4 DISPOSITIONS GÉNÉRALES RELATIVES À LA VENTILATION ET À LA SÉCURITÉ

Les dispositions propres à chacune de solutions techniques seront examinées dans la suite du rapport. Les dispositions générales sont les suivantes :

### 1.4.1 Ventilation

Compte tenu de la longueur du tunnel et des tranchées couvertes d'accès (de 3,73 km à 6,95 km selon solution), il est nécessaire d'installer une ventilation mécanique pour assurer la ventilation sanitaire à l'intérieur de l'ouvrage. Cette ventilation pourra être assurée pour l'essentiel par des accélérateurs placés en voûte du tunnel (tunnel sous-fluvial et espace TCSP pour les tunnels forés). Pour les solutions les plus longues un ou plusieurs puits, placés en bordure du Saint Laurent permettront d'assurer un meilleur renouvellement de l'air en tunnel. Une gaine d'amenée d'air frais sera également nécessaire pour les espaces routiers des longs tunnels forés.

Le tunnel de franchissement du Saint Laurent est un ouvrage urbain soumis à des bouchons récurrents. Une gaine d'extraction des fumées est indispensable pour extraire les fumées en cas d'incendie, et assurer la sécurité des usagers. Cette gaine sera dotée de bouches motorisées et télécommandées permettant d'assurer une extraction des fumées au plus près de la zone d'incendie. Ces fumées seront extraites à partir d'installations de ventilation situées soit aux extrémités de la gaine, soit au droit des puits de ventilation.

### 1.4.2 Sécurité – évacuation – accès des secours

En cas d'incident grave en tunnel, ou d'incendie, environ 500 personnes se trouvent boquées en tunnel par kilomètre de tube pour ce qui concerne le trafic routier (selon taux d'occupation des véhicules et pour trois voies de circulation). Il est nécessaire de pouvoir évacuer très rapidement ces personnes (notamment en cas d'incendie, évènement pour lequel on dispose tout au plus de dix minutes). L'évacuation est en général réalisée d'un tube vers l'autre dans le cas d'un tunnel à deux tubes, ou vers une galerie d'évacuation. Ces dispositions, propres aux différentes solutions envisagées, seront présentées dans la suite du rapport.

### 1.4.3 Protection des structures contre l'incendie et les conséquences d'une explosion

Ces dispositions sont indispensables pour les ouvrages dont une dégradation partielle de la structure serait de nature à entraîner soit une ruine complète de l'ouvrage (cas du tunnel immergé – cas d'un tunnel foré dans des matériaux meubles), soit des désordres importants qui ne permettraient pas une remise en service rapide de l'ouvrage (cas des structures internes de tunnels à deux niveaux – cas des cloisons et dalles des gaines de ventilation).

Les technologies existent et sont mises en œuvre couramment pour les ouvrages de cette nature. Elles consistent en général :

- ▶ soit à des dispositions constructives concernant le béton lui-même,
- ▶ soit à des éléments rapportés sur les parements béton et mis en œuvre à l'intérieur des espaces circulés (panneaux préfabriqués isolants – revêtement isolant mis en œuvre in situ par application sur la surface à protéger),
- ▶ soit d'une combinaison des deux méthodes selon la puissance d'incendie concernée, et les conditions particulières de propagation.

## 2 TUNNEL A FAIBLE PROFONDEUR

### 2.1 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES DE PRINCIPE

Ce type d'ouvrage est implanté à faible profondeur dans une fouille creusée sous le niveau du fond du lit de la rivière. L'ouvrage est ensuite recouvert d'un remblai de protection d'une épaisseur de l'ordre de deux mètres (tout dépend de la nature de la protection à assurer) dont la surface supérieure est située au niveau du fond du lit de la rivière. Cette couche de remblai participe également au lestage de l'ouvrage après son immersion.

Trois méthodes de construction peuvent être employées :

- ▶ Préfabrication à sec dans une darse (cale sèche), transport et immersion. C'est la méthode la plus couramment utilisée. Les éléments sont préfabriqués à sec dans une darse. Cette darse est ensuite mise en eau, et les tronçons sont transportés par flottage vers leur lieu de mise en place où ils sont immergés. Les tronçons sont assemblés après leur immersion. L'eau est ensuite pompée, et les travaux de second œuvre de génie civil, d'assainissement et de chaussées sont achevés sur place de même qu'est réalisée in situ la totalité des équipements d'exploitation et de sécurité. Il s'agit de la méthode de construction employée à l'époque pour le tunnel de Louis-Hippolyte La Fontaine.
- ▶ Éléments préfabriqués à sec sur berge puis mis en œuvre par poussage. L'ouvrage est réalisé avec des éléments préfabriqués construits et assemblés sur berge, ou sur une rampe de mise à l'eau, puis poussés dans des conditions similaires à celles d'un pont poussé. Cette méthode nécessite une géométrie régulière du tunnel, ce qui est assez rarement le cas.
- ▶ Construction à sec dans une enceinte. Les fouilles et l'ouvrage sont construits par tronçons en place à sec à l'intérieur d'une enceinte protégée par un batardeau. L'enceinte est déplacée dès qu'un tronçon est construit, remblayé et remis sous l'eau.

Seules la première et la dernière méthode peuvent être mises en œuvre pour la solution tunnel à faible profondeur pour le remplacement du pont Champlain. La seconde solution pourrait

vraisemblablement être utilisée pour une section en rive droite. Les dispositions et contraintes particulières sont exposées en § 2.5 ci-dessous.

Ce type d'ouvrage peut être réalisé en béton armé et / ou précontraint. Il peut être également réalisé en charpente métallique, monocoque protégée par du béton, ou double coque remplie de béton. La solution mixte « béton armé et précontraint » est la plus couramment employée à l'heure actuelle.

## 2.2 PROFIL EN TRAVERS AVEC TCSP

Le profil en travers type fait l'objet du plan n° 61100-05A-02. La section transversale comporte cinq espaces :

- ▶ Deux espaces de circulation pour les véhicules privés,
- ▶ Deux galeries d'évacuation,
- ▶ Un espace de circulation pour les transports en commun.

La largeur totale externe est de l'ordre de 58 m.

### 2.2.1 Espace de circulation pour les véhicules privés

Un espace est dédié à chaque sens de circulation. Chaque espace circulé comporte 3 voies de 3,70 m de largeur, une bande dérasée de gauche de 0,50 m, une BAU à droite de 2,50 m, ainsi que d'un trottoir de 0,90 m à droite et d'un trottoir de 1,00 m à gauche permettant le cheminement des piétons vers les sorties de secours.

La hauteur libre est de 5,00 m au dessus des voies circulées, et comporte une protection de 20 cm des équipements et une réservation de 60 cm pour les équipements d'exploitation accrochés au plafond : éclairage – câbles de radio communication – câble de détection incendie – signalisation variable – feux d'affectation de voies.

Les accélérateurs nécessaires à la ventilation sanitaire constituée d'un système de ventilation longitudinale, ainsi qu'au management du déplacement des fumées en cas d'incendie (extraction réalisée par des gaines spécifiques) sont placés dans des niches implantées de part en part en plafond du caisson formant ainsi un bossage.

Le système d'assainissement (caniveau à fente et siphon) est placé en pied de dévers. Les réseaux de relevage des eaux sont placés sous chaussée et assurent le pompage à partir des bâches de stockage situées aux points bas du profil en long.

Les autres équipements de sécurité sont placés en piédroit (signalisation – télésurveillance – détecteurs ou capteurs – extincteurs – réseau d'appels d'urgence).

Tous les cheminements des réseaux sensibles sont assurés à l'intérieur de la galerie d'évacuation.

## 2.2.2 Galeries d'évacuation

Compte tenu de la présence de l'espace réservé aux transports en commun en partie centrale de la section, deux galeries d'évacuation ont été projetées de façon à éviter aux usagers de traverser les voies de circulation du TCSP.

Ces galeries d'évacuation sont communes aux usagers routiers du tunnel ainsi qu'aux usagers des transports publics. Elles sont reliées à l'espace TCSP et à l'espace circulation routière par des portes coupe-feu espacées de l'ordre de 150 m. Cet espacement, ainsi que la largeur de la galerie seront précisés ultérieurement après analyse des risques et des conditions d'évacuation (en fonction du nombre de personnes à évacuer, du temps pour les piétons pour rejoindre les issues de secours, et du seuil critique de délai de 8 à 10 minutes).

L'évacuation des usagers est normalement assurée en cheminant le long de la galerie jusqu'à son extrémité la plus proche. Elle pourrait également être assurée en utilisant un moyen de transport d'évacuation utilisant l'espace de transport en commun, la galerie servant alors de refuge temporaire.

En cas d'incident dans l'espace TCSP, les usagers peuvent être évacués soit par la galerie d'évacuation, soit par un moyen de transport utilisant l'espace de circulation.

## 2.2.3 Gaine d'extraction des fumées

Ces gaines sont situées au dessus des galeries d'évacuation. Les fumées sont extraites par l'intermédiaire de registres motorisés et télécommandés.

L'extraction des fumées est assurée par des ventilateurs d'aspiration situés en extrémité de gaine (et le cas échéant en pied de puits), qui assurent de plus le rejet vers l'extérieur par l'intermédiaire d'une cheminée de rejet et de dispersion.

Les gaines d'extraction sont communes aux espaces circulation et à l'espace TCSP.

## 2.2.4 Espace TCSP

Cet espace a été placé au centre de la section. Il a été défini pour un TCSP par bus en trafic bidirectionnel. La largeur totale est de 11,00 m en tenant compte de deux trottoirs d'évacuation.

Un système de transport TCSP sur rail permet de réduire la largeur nécessaire.

La ventilation de cet espace dépend beaucoup de la nature des véhicules, de leur mode de combustion et du trafic.

Dans le cas d'un système par bus à moteur thermique, la ventilation sanitaire peut être assurée par des accélérateurs en plafond (sans nécessité de bossage en voûte). Dans le cas d'un système ferroviaire, la ventilation sanitaire pourrait être assurée en utilisant les gaines d'extraction.

L'extraction des fumées en cas d'incendie sera assurée par les gaines d'extraction comme il en est pour l'espace circulation routière.

La place disponible dans la section TCSP est largement suffisante pour mettre en œuvre tous les équipements d'exploitation, de sécurité et de gestion du trafic dont la nature dépendra du mode de transport retenu : route ou rail.

## 2.3 PROFIL EN TRAVERS EN ABSENCE DE TCSP

Le profil en travers type fait l'objet du plan n° 61100-05A-02. La section transversale comporte trois espaces :

- ▶ Deux espaces de circulation pour les véhicules privés,
- ▶ Une galerie d'évacuation,

La largeur totale externe est de l'ordre de 42 m.

### 2.3.1 Espace de circulation pour les véhicules privés

Les deux espaces sont identiques à ceux décrits ci-dessus en § 2.2.1 pour le profil en travers avec TCSP.

### 2.3.2 Galerie d'évacuation

Une seule galerie est nécessaire. Sa largeur a été portée à 6 m. Les autres dispositions sont identiques à celles décrites en § 2.2.2 ci-dessus.

### 2.3.3 Gaine d'extraction des fumées

Une seule gaine est nécessaire, utilisée selon les besoins pour le sens de l'Est vers l'Ouest ou de l'Ouest vers l'Est. Cette gaine est située au-dessus de la galerie d'évacuation. Ses équipements et son mode de fonctionnement sont identiques à ceux décrits ci-dessus en § 2.2.3.

## 2.4 PROFIL EN LONG

Le profil en long est représenté par le plan n° 61100-05A-01. La « ligne rouge » du projet est calée environ 8 à 9 m sous le niveau du fond de lit du Saint Laurent. Afin de limiter le volume des fouilles sous le niveau du lit de la rivière le profil en long a été conçu sous la forme d'un W. Cette disposition permet de coller au plus près au niveau du fond du lit, et de réserver deux points bas en pied de pentes à 0,5% pour recueillir et stocker les eaux dans une bêche avant de procéder à leur

relevage. Ces eaux concernent les eaux de lavage, les eaux entraînées par les véhicules, ainsi que l'eau provenant de l'extinction d'un incendie.

Le niveau des berges (rive droite du Saint Laurent – île des Sœurs) est rejoint par des rampes de 2,5%. Une analyse succincte des raccordements sur les berges (qui sera approfondie dans la suite du projet) montre qu'il est possible de rétablir les échanges avec :

- ▶ L'autoroute Bonaventure et la desserte locale sur l'île des Sœurs,
- ▶ L'autoroute Jean Lesage en rive droite.

Ces raccordements nécessiteront un certain nombre de phasages successifs des travaux et des déviations temporaires des circulations actuelles dont les fonctions pourront toutefois être maintenues en l'état.

La longueur du tunnel immergé est de l'ordre de 3375 m. Il est prolongé par des tranchées couvertes d'accès de l'ordre de 220 m sur l'île des Sœurs et de 135 m en rive gauche et des trémies d'accès réalisées entre parois moulées. La longueur totale couverte est de 3,73 km.

## 2.5 TRACÉ EN PLAN

Le tracé en plan est représenté par le plan n° 61100-05A-01. L'axe du tunnel est situé à une centaine de mètres en aval du pont Champlain. Cette implantation a été retenue en tenant compte de l'occupation au sol existante.

Le TCSP est situé au centre de la section transversale. En rive droite, le TCSP pourra demeurer en position centrale qui correspond aux dispositions envisagées en partie centrale de l'Autoroute des Cantons de l'Est. Au droit de l'île des Sœurs, il est prévu que le TCSP puisse bifurquer pour rejoindre le centre de Montréal selon un tracé voisin de celui de l'Autoroute Bonaventure. Le franchissement dénivelé de la demi-plateforme autoroutière de l'Est vers l'Ouest par le tracé du TCSP peut être aménagé en bénéficiant de la rampe permettant de rejoindre le niveau de l'autoroute existante.

Les longueurs de trémie d'accès à ciel ouvert, ou le cas échéant en tranchée couverte, dépendront des conditions géométriques de raccordement aux voiries existantes, et des dispositions envisagées pour les aménagements paysagers, ainsi que les protections phoniques.

Un bâtiment d'exploitation comportant les locaux techniques, les installations d'extraction et de rejet des fumées sera implanté sur chacune des rives à l'interface entre le tunnel immergé et la structure construite entre parois moulées. Les galeries d'évacuation déboucheront également dans ces bâtiments à l'intérieur desquels seront assurés les accès vers l'extérieur.

## 2.6 MÉTHODES DE CONSTRUCTION

Les méthodes de construction constituent l'un des points sensibles du projet de tunnel à faible profondeur, notamment au franchissement de la voie maritime. Deux méthodes de construction peuvent être envisagées dont les dispositions et contraintes principales sont exposées ci-dessous.

### 2.6.1 Construction « à sec » à l'intérieur de batardeaux

Voir les esquisses des principes de réalisation au plan n° 61100-05A-03.

#### 2.6.1.1 Traversée du Saint Laurent entre l'île des Sœurs et la digue délimitant la voie maritime

Cette méthode consiste :

- ▶ à réaliser des batardeaux successifs à travers le Saint Laurent selon l'axe du tunnel,
- ▶ à mettre à sec par pompage la partie située à l'intérieur de l'enceinte,
- ▶ à excaver la fouille du tunnel à sec en fond d'enceinte,
- ▶ à construire sur place à l'air libre un tronçon de tunnel, puis à le remblayer.
- ▶ Le batardeau est alors déconstruit et déplacé en conservant un recouvrement par rapport à la section de tunnel qui vient d'être réalisée. Pour faciliter le transfert des batardeaux, il est envisagé d'utiliser des pontons étanches en acier immergés par ballastage à l'eau (niveau d'eau de l'ordre de 2 à 3 m supérieur à celui des plus hautes du Saint Laurent).

La construction progresse de l'île des Sœurs en direction de la voie maritime. Cette disposition permet d'assurer en permanence un accès terrestre à la zone en construction en utilisant le tronçon de tunnel sous fluvial déjà réalisé. Les terrassements de la fouille sous le niveau du lit du Saint Laurent sont réalisés à sec, ce qui permet :

- ▶ L'extraction des schistes à l'explosif, et augmentant les cadences, et en réduisant ainsi les coûts et les délais de construction,
- ▶ L'obtention de matériaux secs et facilement transportables par la route dans des dépôts extérieurs.

La longueur de chaque élément de batardeau est à déterminer en fonction des conditions hydrauliques du Saint Laurent de façon à limiter l'effet de barrage, et les risques de surélévation des eaux pendant la durée des travaux. Nous avons considéré dans une première analyse une longueur de 250 m (soit environ 10% de la largeur du lit entre l'île des Sœurs et la voie maritime). Cette longueur peut vraisemblablement être augmentée, afin de réduire les délais de construction et de mieux maîtriser la minoration des impacts environnementaux en période sensible.

Cette méthode de construction nécessite peu d'installations terrestres sur les berges :

- ▶ appontements pour la mise à l'eau des éléments de batardeaux, et matériel maritime léger pour le déplacement des éléments de batardeaux,
- ▶ des installations de chantier réduites : bureaux, stock granulats et centrale à béton.

## 2.6.1.2 Traversée de la voie maritime

La traversée de la voie maritime proprement dite et du lit connexe représente une longueur d'environ 750 m, dont environ 300 m pour la voie maritime (y compris traversée de la digue la séparant du Saint Laurent) et 450 m pour le lit connexe situé entre la voie maritime et la berge rive droite.

La construction du tunnel dans le lit connexe à la rive droite peut être réalisée à sec à l'intérieur d'un batardeau comme exposé ci-dessus en 2.6.1.1. Afin d'éviter la construction d'une darse en rive droite, et également de réduire l'impact environnemental d'une telle installation, l'enceinte nécessaire à la construction in situ du tronçon de tunnel sous le lit connexe, sera utilisée dans un premier temps comme darse pour la construction des éléments préfabriqués destinés à être immergés sous la voie maritime.

Pour la traversée de la voie maritime, la mise en œuvre par la méthode des caissons immergés est nécessaire compte tenu de la période hivernale très limitée de mise de cette voie hors trafic. La méthode de réalisation comporte alors les étapes suivantes :

- ▶ Réalisation d'un batardeau s'appuyant sur la digue et intégrant le dernier tronçon de tunnel réalisé in situ à la traversée du Saint Laurent. Ce batardeau sert essentiellement de digue provisoire,
- ▶ Déconstruction temporaire de la digue au droit du tunnel,
- ▶ Réalisation des fouilles sous l'eau par des moyens maritimes,
- ▶ Mis à flot et transport par flottage des tronçons préfabriqués réalisés à sec dans l'enceinte du batardeau de rive droite,
- ▶ Immersion, assemblage et remblaiement des caissons situés sous la voie maritime. Le raccordement avec le dernier élément construit à sec à la traversée du Saint Laurent ne pose pas de problème particulier et sera réalisé sous l'eau.
- ▶ Tous les autres travaux de second œuvre de génie civil, chaussée, équipements d'exploitation et de sécurité sont réalisés ensuite sans aucune interférence avec la navigation maritime.

Le scénario décrit ci-dessus pour le franchissement de la voie maritime ne peut pas être réalisé en une seule saison d'interruption hivernale. Il s'étalera sur trois saisons hivernales comprises dans les délais d'exécution de l'ensemble des travaux.

Si cette solution de tunnel immergé est retenue pour la suite de l'étude de pré faisabilité, nous analyserons la possibilité de réaliser tout ou partie des travaux en berge rive droite et sous la voie maritime par la méthode de pré fabrication puis poussage sous l'eau évoquée en §2.1 ci-dessus.

## 2.6.2 Méthode de construction par « tunnel immergé »

Voir les esquisses des principes de réalisation au plan n° 61100-05A-03 en annexe.

La principale difficulté de cette solution provient :

- ▶ du faible tirant d'eau du Saint Laurent qui ne permet pas le transport des éléments qui nécessitent un tirant d'eau de l'ordre de 8,00 m,
- ▶ de l'absence d'espace disponible de surface suffisante sur les rives du Saint Laurent pour permettre la réalisation à sec des caissons préfabriqués dans une darse,
- ▶ de la nécessité de disposer de capacité de stockage de matériaux au voisinage du site, soit en stockage définitif, soit en stockage provisoire permettant aux matériaux extraits sous l'eau de s'essorer avant d'être repris et transportés par la route en dépôts extérieurs.

Cette méthode peut toutefois être mise en œuvre selon les dispositions suivantes :

### 2.6.2.1 Traversée de la voie maritime et du lit connexe en rive droite

Les dispositions décrites au § 2.6.1.2 ci-dessus sont reconduites.

### 2.6.2.2 Traversée du Saint Laurent

- ▶ Données de base

La traversée du Saint Laurent entre l'île des Sœurs et la digue de délimitation de la voie maritime a une longueur d'environ 2,3 km à construire par la méthode des caissons immergés. Pour réaliser la totalité des caissons préfabriqués avant le lancement d'une campagne de mise en œuvre, il faudrait pouvoir disposer en berge au sud du pont Champlain d'une surface de l'ordre de 20 ha, dont 2 ha hors d'eau (ateliers de ferrailage – centrale à béton – bureaux – dépôts – etc.) et 18 ha de darse inondable permettant soit le travail à sec, soit la mise à flot des caissons pour leur transport.

En tenant compte d'une rotation des ateliers de pré fabrication et d'une mise en œuvre réalisée sans attendre la pré fabrication de tous les éléments, une surface d'une douzaine d'hectares serait suffisante.

La pointe nord de l'île des Sœurs est en cours d'urbanisation avec des programmes de construction lancés, et il est peu probable de pouvoir disposer de plus de deux hectares.

- ▶ La réalisation d'un tunnel immergé est possible dans les conditions expresses suivantes :

- Création d'une darse gagnée sur le lit du Saint Laurent dans la pointe nord de l'île des Sœurs. La surface totale pourrait être de l'ordre de 15 ha. La zone concerne essentiellement des hauts fonds, et ne devrait a priori pas constituer un problème du point de vue hydraulique. Cette condition est toutefois à confirmer. La zone utilisée en darse inondable sera approfondie afin de rendre possible la mise à flot et le transport des caissons par flottage. A la fin des travaux cette zone pourrait être soit arasée afin de retrouver les conditions hydrauliques initiales, soit maintenue et transformée en parc mi aquatique mi terrestre, soit enfin être remblayée en vue de son urbanisation.
- Création de la fouille d'enfouissement du tunnel avec des terrassements par moyens maritimes. Des barrages flottants ou semi-immergés peuvent être mis en œuvre dans la zone de réalisation des terrassements en vue de limiter la pollution de l'eau. Toutefois compte tenu des volumes concernés et des délais nécessaires, les risques de pollution de l'eau sont élevés,
- Le transport des caissons préfabriqués est réalisé en utilisant le chenal qui a été creusé précédemment à l'aplomb de leur lieu d'enfouissement (le tirant d'eau du Saint Laurent est insuffisante en dehors de ce chenal),
- La pose des caissons par immersion et leur assemblage est réalisée en reculant depuis la digue de la voie maritime vers l'île des Sœurs, de façon à maintenir disponible le chenal de transport des caissons.
- Les travaux relatifs aux trémies d'accès ainsi que les ouvrages à terre sont réalisés dans des conditions courantes d'exécution.
- Cette solution nécessite sur l'île des Sœurs des installations fixes relativement importantes en dehors de celles situées dans le périmètre de la darse : appontement pour tout le matériel de travaux maritimes – transbordement des matériaux - emplacements de stockage provisoire pour essorage avant reprise des matériaux.

## 2.7 SYNTHÈSE DE CETTE ALTERNATIVE

### 2.7.1 Synthèse préliminaire

L'aménagement d'un tunnel à faible profondeur enfoui sous le niveau du lit du Saint Laurent pour remplacer le pont Champlain est réalisable sous réserve de contrôler au préalable que les conditions suivantes peuvent être remplies :

- ▶ Pour la méthode de construction avec des batardeaux : l'impact hydraulique des batardeaux et la longueur unitaire de batardeau compte tenu de leur impact sur les délais de construction,
- ▶ Pour la méthode de construction par caissons préfabriqués immergés : la possibilité de créer une darse provisoire en extension de la partie nord de l'île des Sœurs,
- ▶ Pour les deux solutions, les impacts environnementaux concernant notamment : les risques de pollution de l'eau du Saint Laurent – des zones humides éventuellement sensibles pour la faune

ou la flore au droit de la darse de l'île des Sœurs, et du batardeau du lit connexe à la voie maritime,

- ▶ La traversée de la voie maritime est réalisable mais demeure complexe. Elle nécessite une réalisation phasée sur plusieurs périodes hivernales, et une organisation très rigoureuse du chantier.

Une solution de tunnel à faible profondeur maintient la totalité des échanges existants sur les berges et sur l'île des Sœurs. Les travaux des zones de raccordement à réaliser sous circulation sont complexes et nécessiteront de nombreux phasages.

Il convient si cette solution devait être retenue :

- ▶ D'examiner les optimisations potentielles du projet pour en diminuer les coûts d'investissement sans que cela n'apporte pour les usagers un niveau de sécurité dégradé ou un moindre confort : hauteur libre – largeur des voies pour les véhicules légers – largeur de l'espace réservé au TCSP et choix du mode de transport routier ou sur rail,
- ▶ D'analyser plus en détail la question du nombre de voies, en fonction de la politique concernant les déplacements urbains,

Les esquisses présentées dans le présent rapport d'étape seront adaptées dans une seconde étape pour tenir compte des axes d'optimisations proposés, des pré-études de dimensionnement de la ventilation, de la pré-analyse des conditions d'évacuation des usagers, des études des raccordements aux voiries existantes, ainsi que de l'itinéraire pour le TCSP.

## 2.7.2 Synthèse complémentaire

A la suite du résultat des études d'impact sur l'environnement qui ont été produites le 09 avril 2010, il est nécessaire de compléter la synthèse préliminaire comme suit :

- ▶ La construction d'un tunnel sous-fluvial par la méthode des caissons immergés est très pénalisante pour l'écosystème terrestre et aquatique de la partie nord de l'île des Sœurs. La construction d'une darse conduit à sa destruction. Cette méthode de construction sera très difficile à faire accepter pour autant qu'elle puisse l'être,
- ▶ La construction d'un tunnel sous-fluvial dans des enceintes successives protégées par des batardeaux est acceptable du point de vue environnemental. Des dispositions particulières sont à prendre à des périodes plus sensibles de l'année. Toutefois l'organisation assez flexible du chantier, et son indépendance par rapport au milieu naturel (hormis des périodes limitées à trois semaines tous les 2,5 à trois mois lors des travaux de déplacement des batardeaux) permet de trouver et de mettre en œuvre ce type de solutions conservatoires.

### 3 TUNNEL FORÉ

#### 3.1 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES DE PRINCIPE

Compte tenu de la longueur forée, qui avoisine 5 km, de la nécessité de pouvoir disposer d'une contre-voute, et des conditions économiques, ce type d'ouvrage sera réalisé au tunnelier.

La traversée de la voie maritime, celle du Saint Laurent, de l'île des Sœurs (impossible d'aménager une sortie sur cette île compte tenu du niveau du tunnel), ainsi que du bras du Saint Laurent situé à l'Ouest de l'île des Sœurs ne posent pas de problèmes particuliers. Le tunnel sera situé dans les formations de schistes, avec une couverture minimale de l'ordre de 30 m à 35 m sous le lit du Saint Laurent.

La situation est beaucoup plus complexe dans les zones de raccordement en berge rive droite et en berge rive gauche compte tenu notamment de :

- ▶ L'absence d'éléments géotechniques (sauf ponctuellement) permettant d'apprécier de façon précise l'interface entre substratum et les matériaux de couverture, provenant soit des débordements du fleuve soit de l'activité humaine,
- ▶ L'absence d'informations concernant les réseaux, les fondations des ouvrages ou des bâtiments,
- ▶ Des informations à affiner en rive gauche sur le tracé de la ligne de métro entre les stations Charlevoix et La Salle, et son profil en long notamment à la traversée de l'autoroute A 15.

Nous avons été conduits à faire des hypothèses sur la position des tympans provisoires du tunnel foré et leur interface avec les trémies d'accès (qui seront ensuite partiellement couvertes) La profondeur maximale au droit des tympans a été calée de façon à pouvoir disposer au droit du tympan provisoire d'une couverture minimale de l'ordre d'un diamètre au-dessus de l'extrados du tunnel. Ces trémies ont une longueur de l'ordre de 1,3 km et constituent des ouvrages importants, qui nécessiteront la maîtrise d'emprises foncières complémentaires dans des zones bâties, ce qui entraînera de façon inéluctable des destructions de bâtiments. L'impact foncier est aggravé par la nécessité de pouvoir disposer d'installations de chantier à proximité immédiate de l'extrémité de la trémie d'attaque du tunnel (montage du tunnelier - bureaux - centrale énergie - traitement des produits d'excavations et des boues - etc.), ainsi que l'importance des déviations de réseaux majeurs qui seront à réaliser avant le début des travaux.

Les conditions de raccordement sont différentes en rive droite et en rive gauche. Elles diffèrent également en fonction du profil en travers retenu. Ces dispositions particulières seront esquissées dans les chapitres suivants.

Deux types de profils en travers ont été examinés et sont présentés ci-après.

## 3.2 PROFIL EN TRAVERS – SOLUTION A

Ce profil en travers fait l'objet du plan n° 61100-05A-05.

Le tunnel est constitué de deux tubes indépendants. Chaque tube est dédié à un sens de circulation et comporte deux niveaux :

- ▶ Niveau supérieur réservé pour la circulation routière,
- ▶ Niveau inférieur réservé au TCSP et à la galerie d'évacuation.

Le diamètre intérieur de chaque tube est de 15,5 m environ. Compte tenu d'une épaisseur de l'ordre de 75 cm à 80 cm pour la structure annulaire composée de voussoirs préfabriqués, de la tolérance d'exécution et du vide annulaire, le diamètre d'excavation est de l'ordre de 17,40 m. Il s'agit d'une machine de très grande dimension, et en tout état de cause plus importante que les plus grandes sections réalisées à ce jour au tunnelier dans le monde.

Si l'étude plus détaillée de cette solution devait être retenue, une « analyse de la valeur » doit être réalisée avant de fixer de façon définitive la largeur des voies (notamment voies véhicules légers), la hauteur libre, ainsi que le type et le gabarit du système de TCSP.

### 3.2.1 Niveau supérieur – espace de circulation

Ce niveau comporte 3 voies de 3,70 m (la voie la plus à gauche réservée aux véhicules légers intègre une bande dérasée de 0,50 m), une BAU de 2,50 m et deux trottoirs de 0,90 m de largeur.

La BAU est supprimée localement (sur environ 15 m de longueur tous les 150m environ) pour permettre la construction des cabines donnant accès au toboggan d'évacuation.

La hauteur libre est de 5,00 m au-dessus des voies circulées. Une revanche de 30 cm permet la protection des équipements d'exploitation situés au droit des voies de circulation.

La ventilation sanitaire (du type ventilation longitudinale) est assurée par des accélérateurs placés en voûte. L'extraction des fumées produites lors d'un incendie est assurée par une gaine suspendue en voûte et dotée de bouches motorisées et télécommandées de façon à pouvoir concentrer l'extraction dans la zone de l'incendie et les zones connexes.

Le système de ventilation est complété par une usine de ventilation (apport d'air frais – rejet d'air vicié – rejet des fumées incendie) sur l'île des Sœurs et une usine de ventilation sur chacune des têtes de tunnel. Ces usines sont situées au droit du tympan provisoire du tunnel foré.

Ces dispositions sont à préciser après étude de ventilation si l'analyse détaillée de cette solution est lancée.

## 3.2.2 Niveau inférieur

Le niveau inférieur comporte plusieurs fonctions :

### 3.2.2.1 Galerie d'évacuation

L'évacuation des usagers en cas d'incident grave, ou d'incendie, est assurée par des toboggans reliant le niveau supérieur au niveau inférieur. L'accès à la partie haute de chaque toboggan est assuré par l'intermédiaire d'une cabine fermée et dotée d'une porte de secours.

La galerie d'évacuation placée sous chaussée est protégée de l'incendie par la dalle de chaussée. Elle est mise sous pression d'air de façon à empêcher l'entrée des fumées lors de l'ouverture des portes. Les usagers cheminent ensuite dans la galerie jusqu'à la sortie la plus proche (tête de tunnel – sorties de secours associées aux usines de ventilation - puits d'évacuation sur l'île des Sœurs associé à l'usine de ventilation et aux locaux techniques). Les usagers peuvent le cas échéant être évacués par un engin d'évacuation utilisant la ligne du TCSP. L'inter distance entre les toboggans sera précisée lors de l'analyse plus détaillée de l'évacuation. Elle est de 125m à 150m selon les conditions de trafic et le taux moyen de passagers par véhicule.

Cette disposition d'évacuation, mise au point par Egis pour le tunnel routier d'El Azhar au Caire, puis introduite en Russie pour un tunnel à Moscou, est devenue un standard dans certains pays.

L'accès des secours est également assuré par la galerie d'évacuation (ou par des engins dédiés utilisant la plateforme du TCSP) puis par des échelles d'accès au niveau de la circulation routière, placées au voisinage des toboggans.

Ce dispositif peut le cas échéant être complété par des galeries de jonction entre les deux tubes moyennant un espacement à définir en fonction de l'étude préliminaire de sécurité (600 m par exemple).

### 3.2.2.2 TCSP

La place disponible au niveau inférieur permet l'intégration d'un TCSP pour chaque sens de circulation. Le profil en travers a été conçu dans l'hypothèse d'une solution sur rail, mais une solution routière peut être envisagée, même si de notre point de vue elle est moins favorable dans un ouvrage de cette nature, et de cette longueur. Elle nécessiterait vraisemblablement une augmentation de la section du tunnel.

L'évacuation des usagers du TCSP est assurée par un trottoir longeant la voie, puis par la galerie d'évacuation commune à la circulation routière et au TCSP. La ventilation incendie peut être assurée soit par des accélérateurs soit par l'intermédiaire de carneaux de jonction à la gaine d'extraction des fumées de l'espace de circulation routière (question à analyser en fonction du trafic de TCSP et de la position définitive des puits de ventilation).

### 3.2.2.3 *Autres fonctions*

Les réseaux et chemins de câbles peuvent être placés en piédroit de l'espace TCSP ou le cas échéant de la galerie d'évacuation.

Le passage des eaux vers le point bas du tunnel, ainsi que les réseaux de refoulement sont assurés sous le niveau de la galerie d'évacuation. En point bas du tunnel, un réservoir et une bêche de reprise par pompage sont aménagés sous la galerie d'évacuation dont le niveau peut être surélevé.

Des galeries de connexion relient les deux tubes. L'espacement de ces galeries ne peut être fixé qu'après une analyse détaillée des conditions de sécurité, d'évacuation et d'exploitation.

## 3.3 PROFIL EN TRAVERS – SOLUTION B

Le tunnel comporte quatre tubes, deux pour chaque direction. Le profil en travers est figuré au plan n° 61100-05A-05.

Les deux tubes de chaque direction correspondent aux fonctions suivantes :

- ▶ Un tube dédié au passage des véhicules légers sur deux niveaux,
- ▶ Un tube dédié au passage des poids lourds et à celui du TCSP.

### 3.3.1 Tube dédié aux véhicules légers

Trois voies sont nécessaires compte tenu du trafic des véhicules légers. La hauteur libre et la largeur des voies sont adaptées à la nature des véhicules. Nous avons pris en compte des voies de 3,50 m et une hauteur libre de 3,50 m.

Le tube comporte quatre voies qui résultent de l'optimisation de la section : deux voies au niveau supérieur et deux voies au niveau inférieur.

La ventilation sanitaire est assurée par des accélérateurs placés soit en piédroit, soit en plafond. L'extraction des fumées en cas d'incendie est assurée par une gaine de désenfumage située en voûte de la section supérieure. Les fumées de l'espace de trafic inférieur sont extraites par des carneaux et remontées vers la gaine de désenfumage de la section supérieure.

L'évacuation des usagers de l'espace de circulation supérieur vers l'espace de circulation inférieur est assurée par des toboggans comme pour la solution A (ou le cas échéant par une cage d'escalier située en dehors de la section et excavée en méthode traditionnelle dans les schistes). L'évacuation des usagers depuis l'espace inférieur est assurée en direction du tube dédié aux poids lourds et au TCSP par des galeries de connexion espacées de l'ordre de 300 m.

Le diamètre intérieur de cette solution est de 13,10 m environ (soit un tunnelier de l'ordre de 14,60 m de diamètre pour l'excavation), ce qui correspond à des dimensions de tunnelier de plus en plus fréquentes pour des ouvrages routiers.

Cette solution pourrait être optimisée en réduisant la largeur des voies et la hauteur libre, sans toutefois atteindre les dispositions d'A 86 en France qui seraient vraisemblablement difficilement acceptables au Canada. Le tunnel de l'autoroute A 86 à l'Ouest de Paris, mis en service en juin 2009 est réservé à la circulation des seuls véhicules légers. Il comporte deux niveaux de circulation. La section présente un diamètre extérieur de 10,40 m d'excavation au tunnelier. La largeur des voies est de 2,80 m, et la hauteur totale sous plafond est de 2,60 m environ.

### 3.3.2 Tube poids lourds et TCSP

Ce tube est réservé aux poids lourds et au TCSP. Il comporte une voie de 3,70 m de largeur pour chacun des deux modes de transport. Le trafic des poids lourds, ainsi que celui des TCSP est faible (510 véh. /h en pointe pour les poids lourds – 250 véh. / h pour les bus à l'heure actuelle, mais destiné à croître).

Les deux voies sont isolées par un séparateur qui peut toutefois être franchissable de façon exceptionnelle dans le cas d'un poids lourd en panne. La section a été esquissée pour un TCSP par autobus, et pourrait être optimisée dans le cas du choix d'un TCSP sur rail (l'évitement d'un poids lourd en panne reste possible mais plus complexe notamment du fait des caténaires).

La ventilation sanitaire est assurée par un système de ventilation longitudinale avec des accélérateurs. L'extraction des fumées en cas d'incendie est assurée en voûte par des bouches d'aspiration. Les fumées sont ensuite conduites par des carneaux en piédroit jusqu'à la gaine d'extraction des fumées située sous chaussée. Le second espace situé sous chaussée constitue une galerie technique permettant le passage de tous les réseaux.

L'évacuation des usagers est assurée par des galeries de jonction avec le tube véhicules légers adjacent, ainsi qu'avec l'autre tube poids lourds et TCSP.

Le diamètre intérieur de ce tube est de l'ordre de 11,00 m soit un diamètre d'excavation au tunnelier de l'ordre 12,70 m.

## 3.4 PROFIL EN LONG

Le profil en long qui fait l'objet du plan n° 61100-05A-04 a été esquissé pour la solution A à deux tubes.

Celui de la solution B est similaire à l'exception des extrémités. Le niveau des tympans provisoires de construction peut en effet être relevé de l'ordre de 3 m, compte tenu du diamètre du tunnel, ce

qui permet de réduire la profondeur des tranchées d'accès et ainsi d'optimiser soit leurs longueurs, soit les pentes.

### 3.4.1 Calage du profil en long

Le profil en long est calé essentiellement par les contraintes suivantes :

- ▶ Sous le Saint Laurent et la voie maritime. Le toit des formations de schistes est situé à faible profondeur sous le niveau du fond du lit du fleuve (de l'ordre de 3 à 5 m). Compte tenu du diamètre important d'excavation, d'une zone vraisemblable de schistes altérés nous avons retenu en première analyse (à confirmer ultérieurement selon informations géologiques) une couverture minimale de l'ordre de 20 m d'épaisseur de schistes au-dessus de l'extrados du tunnel, qui est donc calé au minimum à 25 m au dessous du fond du lit du Saint Laurent. La « ligne rouge » est ainsi située au minimum à 34 m sous le niveau du lit du Saint Laurent.
- ▶ Sur les deux rives, le calage en profil en long résulte des conditions géologiques supposées, ainsi que des conditions de rampe et de raccordement aux infrastructures existantes.
  - A défaut de connaître l'existence et la position des réseaux majeurs, ceux-ci n'ont pas pu être pris en compte à ce niveau d'analyse. En tout état de cause des travaux conséquents sont à provisionner pour les déplacements de réseaux.
  - La position de la « ligne verte » du métro de Montréal entre la station Charlevoix et la station La Salle constitue un élément essentiel du calage du profil en long et des raccordements en berge rive droite. La « ligne rouge » de la chaussée est située à environ 3,0 à 4,0 m au-dessus de la génératrice supérieure du tunnel du métro, qui a été foré dans les schistes. Le croisement dénivelé de ces deux infrastructures est réalisable sans difficulté majeure (d'autant qu'il se situe dans les schistes), même si des mesures strictes doivent être prises pour réaliser les travaux en maintenant la circulation du métro en toute sécurité, et sans restriction majeure d'exploitation.
  - Concernant les conditions géologiques, nous avons fait l'hypothèse dans cette première approche d'une continuité par rapport aux informations disponibles sous le Saint Laurent. Les formations situées au-dessus du toit des schistes proviennent pour partie de dépôts fluviaux et pour partie de l'activité humaine (remblaiement). A défaut d'informations concernant les caractéristiques de ces matériaux, leur tenue, et la possibilité de les renforcer pour permettre de les traverser au tunnelier, nous avons retenu une hypothèse de couverture minimale de 10 m de schistes non altérés. La « ligne rouge » du profil en long au droit du tympan du tunnel foré est ainsi calée en première approche entre 28 et 30 m sous le niveau de la surface libre du Saint Laurent. Ces hypothèses sont bien évidemment à confirmer. Elles conduisent en rive droite à une trémie de l'ordre de 40 m de profondeur au droit du tympan provisoire, et de l'ordre de 45 m en rive gauche.

- ▶ L'intérêt d'aménager un éventuel puits en berge Est de l'Île des Sœurs reste à analyser de façon plus détaillée dans une seconde étape à la suite des pré-études de la ventilation sanitaire et de désenfumage, ainsi que des conditions d'évacuation des usagers et d'accès des secours. Ce puits pourrait être également utilisé pour accéder au TCSP et à une gare souterraine à aménager entre les deux tubes, permettant d'améliorer la desserte de l'île des Sœurs par les transports en commun.
- ▶ Limitation des rampes à 3% pour réduire la perte de capacité en débit résultant de la présence des poids lourds.

### 3.4.2 Échanges – dessertes locales

Le calage du profil en long d'un tunnel foré et les conditions nécessaires pour rejoindre le niveau du terrain naturel conduisent à un raccordement en rive droite situé à mi-chemin entre l'échangeur avec l'autoroute Jean Lesage et l'échangeur avec le boulevard Taschereau, et à un raccordement en rive gauche à l'Est du diffuseur de l'avenue Atwater. Il en résulte :

- ▶ L'impossibilité en rive droite d'assurer un raccordement avec l'autoroute Jean Lesage, sauf à aménager un demi-tour dénivelé à l'Ouest de l'échangeur Taschereau. Par contre, les échanges entre l'autoroute Jean Lesage et la partie Est de l'autoroute des Cantons Est sont maintenues, par des bretelles latérales à la trémie d'accès au tunnel,
- ▶ L'impossibilité d'assurer un raccordement sur l'île des Sœurs, tant pour la desserte locale que pour le raccordement à l'autoroute Bonaventure. L'absence d'une desserte directe de l'île des Sœurs à partir de la rive droite du Saint Laurent constitue un handicap important. Il pourrait être compensé par l'aménagement d'un demi-tour dénivelé à l'Est du diffuseur avec l'avenue Atwater. Une desserte peut être assurée pour le TCSP par l'intermédiaire d'un puits (commun à la ventilation, à l'évacuation des usagers et à l'accès des secours) et d'une station souterraine.
- ▶ L'impossibilité en rive gauche d'assurer un raccordement avec l'autoroute Bonaventure et le boulevard Gaétan-Laberge. Ceci ne constitue peut être pas une contrainte majeure pour les circulations routières compte tenu de la décision prise pour le réaménagement de l'autoroute Bonaventure en boulevard urbain. Ceci peut par contre constituer une contrainte importante pour le tracé du TCSP et sa pénétration vers le centre de Montréal,

Les raccordements du TCSP sont réalisés dans les conditions suivantes :

- ▶ En rive droite, les voies du TCSP sont ramenées dans la partie centrale de la plateforme en utilisant la zone de la trémie d'accès,
- ▶ En rive gauche les conditions de raccordement sont à analyser en fonction de la nature du TCSP et de son tracé en direction du centre de Montréal. Pour une solution rail un raccordement sur la « ligne verte » du métro pourrait éventuellement être imaginé, compte tenu du calage altimétrique des deux infrastructures.

Une solution tunnel foré, de par son calage en profondeur sous le lit du Saint Laurent et les difficultés de raccordement qui en résultent sur les berges, favorise le trafic de transit.

### 3.4.3 Caractéristiques principales

La longueur du tunnel foré est de l'ordre de 4985 ml pour la traversée de la voie maritime, du Saint Laurent, de l'Île des Sœurs et du bras du Saint Laurent situé en rive gauche.

Le tunnel est prolongé en rive droite par une trémie d'accès construite à ciel ouvert de l'ordre de 1280 ml de longueur. Cette trémie peut ensuite être fermée sur une longueur d'environ 940 ml.

Le tunnel est prolongé en rive gauche par une trémie d'accès construite à ciel ouvert de l'ordre de 1670 ml de longueur. Cette trémie peut ensuite être fermée sur une longueur d'environ 1030ml. La longueur totale couverte est alors de l'ordre de 7 km.

## 3.5 TRACÉ EN PLAN

Le tracé en plan a essentiellement été examiné pour la solution A. Celui de la solution B est similaire, et diffère essentiellement dans les zones de raccordement, du fait des contraintes apportées par la transition entre les voies VL superposées et les voies à même niveau.

### 3.5.1 Tracé en plan de la solution A

Les conditions de raccordement, notamment en rive gauche, ainsi que les conditions d'occupation des sols en surface sur l'Île des Sœurs conduisent à un calage du tracé en amont du pont de l'Île des Sœurs et en amont du pont Champlain comme figuré sur le plan n° 61100-05A-04.

Dans les zones de raccordement en rive droite et en rive gauche les plateformes des autoroutes devront être déviées de façon provisoire pour favoriser l'implantation du nouvel aménagement dans le prolongement naturel du tracé des infrastructures. Ces déviations nécessiteront la maîtrise d'emprises foncières complémentaires et la démolition de nombreux bâtiments.

Le tracé au droit de l'Île des Sœurs passe en partie sous des bâtiments à plus de quarante mètres de profondeur par rapport au niveau du terrain naturel. Il est peu probable que cela puisse concerner des parkings souterrains ou les fondations, mais l'acquisition du tréfonds sera nécessaire.

En rive droite le TCSP débouche dans l'axe de l'Autoroute des Cantons Est. Le réalignement de tracé du TCSP est assuré dans la trémie d'accès.

En rive gauche, la trémie d'accès sera mise à profit pour faire traverser le tracé du TCSP sous les voies routières de façon à le faire déboucher à l'air libre au nord de celles –ci.

### 3.5.2 Dispositions particulières relatives à la solution B

Le tracé de la solution B ne diffère pas fondamentalement de celui de la solution A. Le positionnement relatif des tubes doit être envisagé en fonction des échanges aux extrémités, du positionnement en général privilégié à droite des poids lourds, et du tracé du TCSP aux extrémités.

Les conditions de raccordement sont plus complexes sur les deux rives compte tenu du nombre de tubes et de la circulation des véhicules légers sur deux niveaux en tunnel. Les profils en long des tubes véhicules légers et poids lourds & TCSP peuvent toutefois être adaptés (4% à 5% pour les véhicules légers – 3% pour les poids lourds) pour limiter les emprises nécessaires au sol des trémies d'accès. Cette solution nécessitera toutefois et de façon indubitable des travaux à l'air libre plus complexes, des emprises plus importantes, des acquisitions foncières et démolitions de bâtiments plus conséquentes.

### 3.6 MÉTHODES DE CONSTRUCTION

Les méthodes de réalisation des travaux sont simples au niveau des principes. La plus grosse difficulté réside dans la réalisation des raccordements et des trémies d'accès et dans la place disponible au voisinage de la trémie pour la réalisation d'installations de chantier rapprochées.

Les voussoirs préfabriqués nécessaires au soutènement du tunnel seront produits en dehors du chantier et approvisionnés au fur à mesure des besoins.

La trémie d'attaque de l'excavation doit être réalisée en premier entre parois moulées pendant la construction du tunnelier (solution A) ou des deux tunneliers (solution B). La principale contrainte proviendra de la maîtrise foncière, du temps de libération des bâtiments, des déplacements des réseaux majeurs et des déviations temporaires des voies autoroutières existantes. En rive gauche, certaines voies transversales devront vraisemblablement être temporairement transformées en cul de sac, et le trafic de desserte locale devra être dévié. .

Le tunnelier est ensuite assemblé dans la trémie, puis l'excavation est réalisée d'une rive vers l'autre. Après son arrivée sur la rive opposée, le tunnelier est soit « retourné », mis en place au droit de l'autre tube, puis il attaque sa progression en sens inverse, soit partiellement démonté, ramené dans sa trémie de départ au droit du second tube à construire, puis mis en œuvre pour réaliser son excavation.

Le puits éventuel sur l'île des Sœurs est réalisé après excavation au tunnelier.

### 3.7 SYNTHÈSE DE CETTE ALTERNATIVE

L'aménagement d'un tunnel foré sous la voie maritime et sous le lit du Saint Laurent pour remplacer le pont Champlain est techniquement réalisable, mais présente un certain nombre d'inconvénients majeurs :

- ▶ Cette alternative, compte tenu du niveau de calage sous le lit du Saint Laurent ne permet pas d'assurer les raccordements à l'autoroute Jean Lesage, à l'autoroute Bonaventure ainsi qu'au boulevard Gaëtan-Laberge. Le raccordement sur l'autoroute A 15 à situé à l'est du diffuseur de l'avenue Atwater. Cette alternative ne permet pas non plus d'assurer la desserte routière directe de l'île des Sœurs à partir de la rive droite du Saint Laurent. Cette desserte peut toutefois être assurée par le TCSP au moyen d'une gare souterraine. Des aménagements complémentaires palliatifs peuvent être envisagés pour rétablir ces échanges en créant des demi-tours dénivelés,
- ▶ Cette solution privilégiée de façon assez manifeste le trafic de transit,
- ▶ Les raccordements en rive droite comme en rive gauche sont très complexes et nécessitent des acquisitions complémentaires, la démolition de nombreux bâtiments et de très nombreux déplacements de réseaux. Ils auront un impact important sur les délais de réalisation, les coûts et comportent des risques a priori importants de maîtrise foncière.
- ▶ A contrario les impacts environnementaux sont faibles, et la traversée de la voie maritime peut être réalisée en toute indépendance des conditions de trafic.
- ▶ Deux esquisses de solution ont été présentées, l'une avec deux tubes de très grand diamètre (17,40 m) qui correspondent aux limites actuelles d'emploi des tunneliers, l'autre avec quatre tubes de dimension plus courante.
- ▶ Dans l'état actuel de l'analyse un certain nombre d'hypothèses ont dû être faites concernant le contexte géologique et géotechnique, qu'il est nécessaire de mieux cerner.

Si cette solution devait être retenue, il conviendrait :

- ▶ D'examiner les optimisations potentielles du projet pour en diminuer les coûts d'investissement sans que cela n'apporte pour les usagers un niveau de sécurité dégradé ou un moindre confort : hauteur libre – largeur des voies pour les véhicules légers – largeur de l'espace réservé au TCSP et choix du mode de transport routier ou sur rail,
- ▶ D'analyser plus en détail la question du nombre de voies, en fonction de la politique concernant les déplacements urbains,
- ▶ De procéder à des reconnaissances géologiques et géotechniques détaillées pour arrêter de façon définitive la position altimétrique du tunnel sous le lit du Saint Laurent, ainsi que la position des tympans provisoires de la partie forée de l'ouvrage,
- ▶ De recenser de façon détaillée les réseaux majeurs, constructions dans les zones de raccordement ainsi que leurs conditions de fondations notamment en cas de fondations profondes pour analyser leurs interactions sur le projet.
- ▶ De procéder à une analyse détaillée des phasages de réalisation dans les zones de raccordement afin de pouvoir préciser les besoins fonciers complémentaires.
- ▶ De mieux préciser les objectifs et tracé du TCSP au delà des têtes de tunnel en fonction des stratégies générales d'aménagement,

- ▶ De procéder à une analyse des risques de maîtrise foncières et de leurs conséquences diverses : coûts – délais – politiques.

Les esquisses présentées seront le cas échéant adaptées pour tenir compte des axes d'optimisation proposés, des pré-études de dimensionnement de la ventilation, de la pré-analyse des conditions d'évacuation des usagers, des études des raccordements aux voiries existantes, ainsi que de l'itinéraire pour le TCSP.

## 4 DELAIS DE CONSTRUCTION

A ce niveau d'analyse préliminaire il n'a pas été procédé à une étude des délais de construction des différentes solutions.

Il est toutefois possible de préciser un classement des solutions dans l'ordre croissant des délais de construction :

- ▶ Tunnel sou-fluvial à faible profondeur construit à sec à l'intérieur d'enceintes protégées par des batardeaux,
- ▶ Tunnel sous-fluvial à faible profondeur construit par la méthode des caissons préfabriqués immergés : création de la darse – cadence réduite des travaux maritimes et notamment extraction des schistes sous l'eau.
- ▶ Tunnel foré type A : durée de construction plus importante liée à la longueur de l'ouvrage, et à l'importance des ouvrages d'accès – aléas importants de maîtrise et de libération foncière – déviations lourdes de réseaux majeurs en rive gauche.
- ▶ Tunnel foré type B : plus grande complexité d'organisation du chantier compte tenu des quatre tubes et des raccordements complexes aux extrémités compte tenu des niveaux superposés de circulation dans les tubes dédiés aux véhicules légers.

## 5 ESTIMATIONS PRELIMINAIRES

### 5.1 BASE DES ESTIMATIONS

Des estimations préliminaires ont été réalisées pour chacune des solutions afin d'en permettre une comparaison financière.

#### 5.1.1 Base des ratios et prix unitaires

Ces estimations ont été établies en euros avec des ratios et des prix de travaux européens. Elles ont été transposées en dollars canadiens en tenant compte d'un taux de change de 1,3408 dollars canadiens pour un euro. Les prix ainsi transposés ont été vérifiés par rapport aux conditions économiques canadiennes pour la plupart d'entre eux (notamment béton – aciers – coffrage – terrassements à l'air libre). La corrélation est bonne, et il n'a pas été nécessaire d'apporter des coefficients correctifs.

Cet exercice n'a pas pu être fait pour un certain nombre de prix pour lesquels nous n'avons pas trouvé de valeurs correspondantes canadiennes. Ceci concerne :

- ▶ Les prix des travaux au tunnelier. Mais l'expérience des marchés internationaux montre qu'il y a très peu de fluctuations entre les pays, On peut donc considérer que les estimations faites sur la base de ratios européens sont fiables, et applicables au Canada,
- ▶ Les prix des travaux maritimes. Ils concernent essentiellement le tunnel sous-fluvial réalisé par la méthode du «tunnel immergé». Il est possible que les prix canadiens soient un peu plus élevés. Ceci ne porte que sur une part de l'ordre à 22 % des travaux de la solution concernée. L'impact d'un différentiel de prix (même de 20%) entre les conditions européennes et les conditions canadiennes est donc relativement secondaire (5% sur le montant total), et n'entache pas la validité des comparaisons.

#### 5.1.2 Contenu des estimations

Les estimations préliminaires ont été établies dans les conditions suivantes :

- ▶ en valeur hors taxe,
- ▶ sans « somme à valoir ». A ce niveau d'analyse la somme à valoir à prendre en compte est couramment de 20 à 25%,
- ▶ les travaux de déconstruction du pont Champlain ne sont pas pris en compte dans ces estimations. Ils sont identiques pour toutes les solutions y compris les solutions viaduc,
- ▶ les estimations prennent en compte les éléments suivants :

- frais de maîtrise d’ouvrage, de maîtrise d’œuvre, études et sondages divers,
- acquisitions foncières – provisions pour déplacements de réseaux,
- travaux de raccordements aux voiries existantes, y compris provisions financières pour les travaux successifs de phasage,
- mise en dépôts extérieurs des matériaux de déblais, à l’exception de ceux relatifs à la solution tunnel immergé pour laquelle les matériaux de déblais sont réputés être mis en dépôts dans la partie nord de l’île des Sœurs,
- provisions pour mise en œuvre de dispositions préventives de protection de l’environnement.

Les estimations ont été faites en tenant compte de la présence d’un TCSP à l’intérieur du tunnel. Pour le tunnel sous-fluvial construit avec des batardeaux l’estimation a été également faite pour la solution variante qui ne comprend pas de TCSP.

## 5.2 SYNTHÈSE DES ESTIMATIONS

La synthèse des estimations est représentée par le graphe et le tableau ci-dessous. Elles sont exprimées en millions de dollars canadiens.

Figure 3: Graphe comparatif des estimations préliminaires

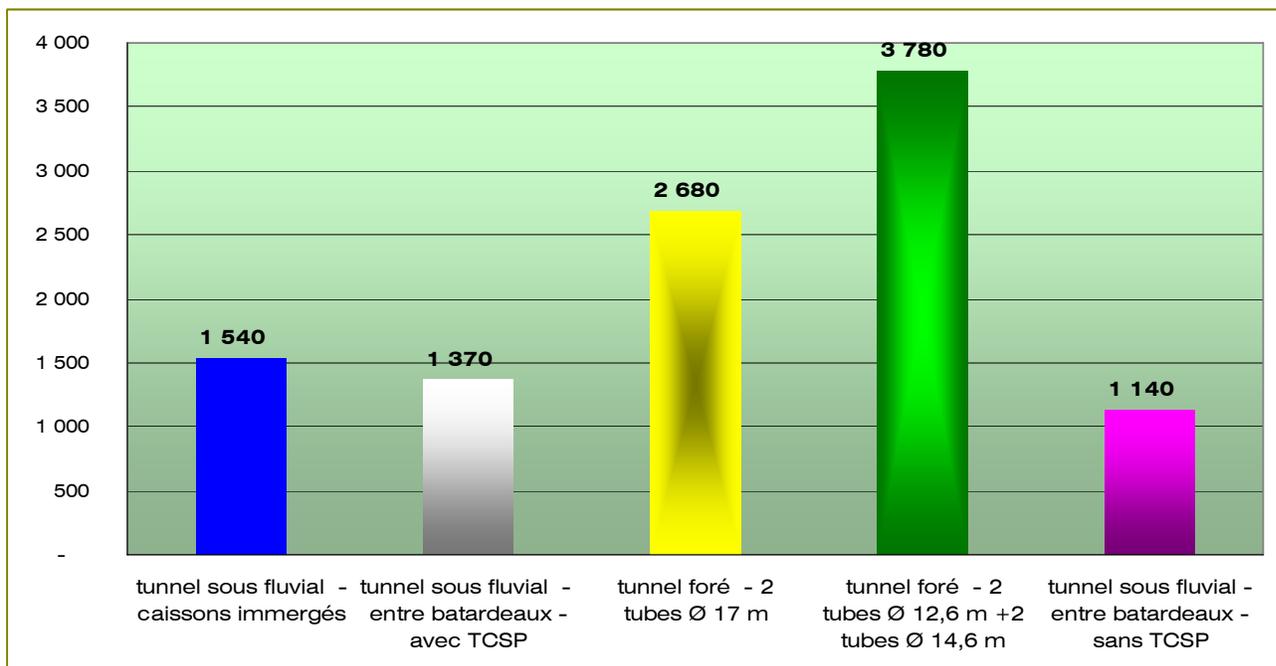


Tableau 2: tableau de synthèse des estimations

SOLUTION CONCERNÉE	MILLIONS DE DOLLARS CANADIENS 2010
tunnel sous fluvial - caissons immergés	1 540
tunnel sous fluvial - entre batardeaux - avec TCSP	1 370
tunnel foré - 2 tubes Ø 17 m	2 680
tunnel foré - 2 tubes Ø 12,6 m +2 tubes Ø 14,6 m	3 780
tunnel sous fluvial - entre batardeaux - sans TCSP	1 140

Cette synthèse laisse apparaître :

- Le manque de compétitivité des solutions tunnels forés, handicapées par la longueur des ouvrages, l'importance des travaux des tranchées d'accès, des déplacements des réseaux et des acquisitions foncières,
- La solution « tunnel immergé » moins compétitive compte tenu des travaux de la darse de l'île des Sœurs, ainsi que des travaux maritimes,
- Un très bon classement de la solution tunnel sous-fluvial construit entre batardeaux déplaçables,
- L'économie de l'ordre de 230 millions de dollars canadiens apportée par la suppression du passage du TCSP dans le tunnel sous-fluvial

Le tableau ci-dessous représente les postes principaux des estimations préliminaires pour chacune des solutions analysées. Les montants sont exprimés en kilo dollars canadiens.

Tableau 3: estimation comparative des postes principaux

libellé des prestations	tunnel immergé	tunnel construit avec des batardeaux	2 tubes Ø17 m	2 tubes Ø12,6 m + 2 tubes Ø14,6 m	tunnel construit avec des batardeaux - sans TCSP
	montants k \$	montants k \$	montants k \$	montants k \$	montants k \$
MOA - études - acquisitions foncières	88 106	79 082	182 978	253 235	67 155
travaux ouvrages de franchissement					
Maitrise d'Ouvrage	-	-	1 271 326	1 533 510	-
digue	616 912	83 632	-	-	64 778
tunnel construit avec des batardeaux	-	428 904	-	-	314 979
terrassements fluviaux St Laurent et darses	352 925	86 536	-	-	76 875
terrassements à sec dans le St Laurent	-	228 825	-	-	205 785
travaux rive droite					
génie civil structures internes	-	-	35 801	43 872	-
tranchée couverte et trémie rive droite	174 979	174 979	462 256	740 521	145 992
travaux sur l'île des Sœurs					
tranchée couverte et trémie île des Sœurs	134 313	134 313	-	-	111 927
bâtiment technique	-	-	32 045	58 647	-
travaux rive gauche					
génie civil puits	-	-	36 827	45 142	-
tranchée couverte et trémie rive gauche	-	-	401 741	746 163	-
bâtiment technique	109 487	109 487	188 304	287 345	109 487
PC de supervision - informatique - équipements	67 040	44 917	69 722	76 426	44 917
<b>montants hors taxes en kilo dollars 2010</b>	<b>1 543 762</b>	<b>1 370 674</b>	<b>2 681 000</b>	<b>3 784 861</b>	<b>1 141 895</b>

Les tableaux plus détaillés des estimations préliminaires sont joints en annexes 1 à 5

## 6 SYNTHÈSE ET PROPOSITION

La présente analyse relative à la partie A de l'étude de préféabilité est destinée à mieux cerner la problématique d'un remplacement du pont Champlain par un tunnel.

Quatre solutions ont été examinées :

- ▶ Deux solutions de tunnels forés,
- ▶ Une solution de tunnel sous-fluvial à faible profondeur comportant deux méthodes possibles de construction.

### 6.1 SOLUTIONS DE TUNNEL FORÉ

Les solutions du tunnel foré ne permettent pas de rétablir tous les échanges sur les berges ainsi que l'accès routier direct à l'île des Sœurs à partir et à destination de la rive droite du Saint Laurent. Des palliatifs peuvent être trouvés mais dans des conditions peu favorables.

Ces solutions privilégient le trafic de transit. Les raccordements en extrémité de tunnel sont très complexes et ont un impact très important sur le foncier et de nombreux bâtiments devront être

acquis et démolis. La maîtrise foncière constitue un risque important de coût et de délai. Elle comporte également un impact politique.

Du point de vue financier ces solutions ne sont pas compétitives : de 2 à 2,8 fois le coût de la solution de tunnel sous-fluvial.

## 6.2 SOLUTION DE TUNNEL SOUS-FLUVIAL

La solution de tunnel à faible profondeur construit soit par immersion de caissons préfabriqués soit par des méthodes traditionnelles à sec dans une enceinte protégée par un batardeau, permet de maintenir la totalité des échanges et dessertes existants sur les berges ainsi que sur l'île des Sœurs.

La méthode de construction par caissons préfabriqués dans une darse, puis immergés après transport par flottage nécessite la création d'une darse importante (d'une douzaine à une vingtaine d'hectares selon les délais de construction). Cette darse ne peut être réalisée que dans le prolongement de la pointe nord de l'île des Sœurs en empiétant dans le lit du Saint Laurent.

Cette zone est très sensible du point de vue écologique, et la construction d'une telle darse conduirait à la destruction de cet écosystème terrestre et aquatique.

La méthode de construction « à sec » in situ à l'intérieur d'une enceinte protégée par des batardeaux présente beaucoup moins d'impact sur l'environnement. Cet impact peut être de plus minimisé de par la flexibilité du chantier par rapport aux périodes annuelles sensibles, ainsi que par les durées très réduites des travaux maritimes, l'ensemble des accès au site des travaux pouvant se faire par voie terrestre en utilisant le tronçon de tunnel déjà construit. Cette solution a un impact assez faible sur l'écoulement du Saint Laurent. Les dispositions envisagées à l'heure actuelle conduisent à construire de batardeaux d'une longueur égale à 10% de la largeur du lit entre l'île des Sœurs et la digue de la voie maritime.

La méthode de construction avec des batardeaux est plus économique que la méthode du tunnel immergé. Cela provient essentiellement de la suppression de la darse de l'île des Sœurs, de la réduction très importante des travaux maritimes et de l'optimisation potentielle des structures construites in situ. Les matériaux sont extraits à sec dans des conditions d'exploitation industrielle. L'excédent de matériaux de déblais est de l'ordre de 1,7 millions de mètres cube. Ces matériaux, en général de bonne qualité, seront soit mis en dépôt externe, soit destinée à une réutilisation externe. Malgré le volume total concerné, le transport externe aura un impact raisonnable compte tenu de son étalement sur environ 42 mois de travaux.

Le franchissement de la voie maritime et de la partie sous-fluviale en rive droite peut être réalisé en trois périodes hivernales sans contrainte à la navigation.

### 6.3 TABLEAU COMPARATIF DES SOLUTIONS TUNNELS

Le tableau de la page suivante récapitule les principaux critères comparatifs des quatre solutions analysées. Ces critères ne sont pas exhaustifs.

La notation de chacune des solutions est représentée par un « code couleurs » dont la définition est la suivante :

	favorable
	peu favorable
	défavorable
	très défavorable

Ce tableau fait ressortir l'avantage de la solution du tunnel à faible profondeur construit entre batardeaux.

critères	Sous fluvial caissons immergés	Sous fluvial entre batardeaux	Tunnel foré 2 tubes	Tunnel foré 4 tubes
<b>Longueur</b>	3730 m tunnel + tranchées couvertes	3730 m tunnel + tranchées couvertes	6960 m tunnel + tranchées couvertes	6960 m tunnel + tranchées couvertes
<b>Nombre de voies</b>	2 x 3 voies + 2 voies TCSP bus ou SLR – aménagement possible 4 <sup>ème</sup> voie	2 x 3 voies + 2 voies TCSP bus ou SLR - aménagement possible 4 <sup>ème</sup> voie	2 x 3 voies + 2 x 1 voies SLR – aménagement d'une quatrième voie impossible	2 x 4 voies VL + 2 x 1 voies PL + 2 x 1 voies bus ou SLR
<b>Fonctions – échanges - raccordements</b>	Tous les raccordements et échanges existants sont assurés	Tous les raccordements et échanges existants sont assurés	Pas de raccordement Jean- Lesage, Île des Sœurs - Bonaventure	Pas de raccordement Jean- Lesage, Îles des Sœurs - Bonaventure
<b>Impact foncier et habitat</b>	Pas d'impact par rapport à la situation actuelle	Pas d'impact par rapport à la situation actuelle	Fort impact aux habitations dans les zones de raccordement	Très fort impact aux habitations dans les zones de raccordement
<b>Impact hydraulique</b>	Impact faible – travaux sous l'eau	Impact modéré dû aux batardeaux	aucun	aucun
<b>Impact milieu aquatique</b>	Impact très fort : pollution de l'eau – frayères au droit de la darse	Impact modéré lors de la réalisation des batardeaux et de leurs fondations	aucun	aucun
<b>Impact visuel</b>	Suppression pont actuel	Suppression pont actuel	Suppression pont actuel	Suppression pont actuel
<b>Coût de construction hors provisions financières</b>	1 540 M CAD	1 370 M CAD	2 680 M CAD	3 780 CAD
<b>Délais de construction</b>	Méthode éprouvée et déjà utilisée pour Louis Hyppolite Lafontaine – concurrence limitée	Batardeaux en rivière	2 tubes de grande longueur – diamètre à la limite de la technologie TBM	4 tubes + Complexité des raccordements

critères	Sous fluvial caissons immergés	Sous fluvial entre batardeaux	Tunnel foré 2 tubes	Tunnel foré 4 tubes
<b>Coûts d'exploitation</b>	Ensemble monobloc de longueur moyenne	Ensemble monobloc de longueur moyenne	2 tubes indépendants de grande dimension + longueur	4 tubes indépendants à exploiter + longueur
<b>Impact et déviations pendant les travaux</b>	Déviations locales limitées de faible durée	Déviations locales limitées de faible durée	Impact important de longue durée dans les zones de raccordement	Impact très important de longue durée dans les zones de raccordement
<b>Déplacements de réseaux</b>	Pas de réseaux majeurs recensés	Pas de réseaux majeurs recensés	Réseaux majeurs en rive gauche	Réseaux majeurs en rive gauche
<b>Acceptabilité - aspect politique</b>	Impact de la darse et des terrassements en rivière	Pas d'impact majeur	nombreuses maisons à démolir – mauvaises dessertes notamment Île des Sœurs	nombreuses maisons à démolir – mauvaises dessertes notamment Île des Sœurs

Figure 4 - tableau comparatif multicritère entre les différentes solutions de tunnel

## 6.4 PROPOSITION

A l'échéance de cette première partie de l'étude de préféabilité il est proposé :

- ▶ D'abandonner les solutions de tunnel foré, qui sont très coûteuses, ne permettent pas de rétablir les dessertes et échanges routiers actuels, et présentent des impacts et des aléas importants compte tenu des difficultés de maîtrise foncière,
- ▶ D'abandonner la solution de tunnel sous-fluvial construit par la méthode de caissons préfabriqués immergés. Cette solution conduit à la destruction d'écosystèmes terrestres et fluviaux dans la pointe nord de l'île des Sœurs, et les risques de pollution des eaux du Saint Laurent ne peuvent pas être écartés. De plus cette solution est financièrement moins favorable que la solution proposée ci-après.
- ▶ De retenir pour la seconde partie de l'étude de préféabilité, la solution de tunnel sous-fluvial construit à sec à l'intérieur de batardeaux. Cette solution permet de rétablir l'ensemble des dessertes et échanges routiers actuels. Elle est financièrement la plus compétitive. Son empreinte écologique est raisonnable et peut être atténuée par des dispositions constructives et d'organisation du chantier.

Cette analyse préliminaire a permis d'évaluer l'économie susceptible d'être obtenue pour la construction du tunnel en cas de suppression du TCSP en tunnel. Cette économie est de l'ordre de 230 millions de dollars canadiens.

Le passage des véhicules transportant des matières dangereuses constitue un aspect important pour la solution « tunnel », compte tenu de l'impact de cette nature de transport vis-à-vis des conditions de sécurité. Il est donc essentiel de recenser, dès ce niveau d'études, le volume de véhicules concernés, la nature des produits transportés, leur dangerosité, les principales origines et destinations, de façon à pouvoir analyser les dispositions particulières à mettre en œuvre pour la régulation de ces transports, et / ou, le cas échéant, leur interdiction partielle ou complète et les itinéraires alternatifs. Il est proposé à cet effet de réaliser une analyse préliminaire concernant le transport des matières dangereuses.

# CONSORTIUM BCDE



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

CONSORTIUM BCDE



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

## Annexe 1 Estimation tunnel « sous- fluvial » immergé

# CONSORTIUM BCDE



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

Tableau 4 - estimation détaillée du coût de construction de la solution tunnel « sous-fluvial » immergé – montant HT valeur 2010 en k€ et k\$ - hors SAV

	unité	quantité	prix unitaire	montant (k€)	sous-totaux (k€)	prix unitaire arrondis	montants k\$	sous-totaux k\$
<b>Divers</b>					<b>65 714,90</b>			<b>88 105,86</b>
Maitrise d'Ouvrage	%		1,5%	16 285,88		1,5%	21 834,83	
études - contrôle des travaux	%		4,0%	43 429,02		4,0%	58 226,23	
sondages de reconnaissance	forfait	1	4 000 k€	4 000,00		5 363 k\$	5 363,20	
acquisitions foncières	forfait	1	2 000 k€	2 000,00		2 682 k\$	2 681,60	
<b>terrassements St Laurent et darses</b>					<b>263 225,40</b>			<b>352 925,38</b>
débais schistes en rivière	m3	2 059 000	40,0 €	82 360,00		53,63 \$	110 424,17	
débais terrains meubles en rivière	m3	774 300	28,0 €	21 680,40		37,54 \$	29 067,22	
débais schistes darses	m3	876 000	20,0 €	17 520,00		26,82 \$	23 494,32	
débais terrains meubles darses	m3	876 000	15,0 €	13 140,00		20,11 \$	17 616,36	
barrages anti pollution	forfait	1	30 000 k€	30 000,00		40 224 k\$	40 224,00	
remblais	m3	2 412 000	10,0 €	24 120,00		13,41 \$	32 344,92	
enrochements	m3	592 100	50,0 €	29 605,00		67,04 \$	39 694,38	
batardeau	ml	1 750	4,000 k€	7 000,00		5,36 \$	9 380,00	
digue	ml	1 400	2,000 k€	2 800,00		2,68 \$	3 752,00	
pompape	forfait	1	10 000 k€	10 000,00		13 408 k\$	13 408,00	
forfait de chantier terrassements maritimes	forfait	1	15 000 k€	15 000,00		20 112 k\$	20 112,00	
forfait mise en dépôt	forfait	1	10 000 k€	10 000,00		13 408 k\$	13 408,00	
<b>caissons immergés</b>					<b>460 161,00</b>			<b>616 911,81</b>
béton	m3	495 900	280 €	138 852,00		375,42 \$	186 170,78	
aciers HA	t	59 508	2,3 k€	136 868,40		3,08 k\$	183 522,67	
aciers précontrainte	t	9 918	7,2 k€	71 409,60		9,65 k\$	95 708,70	
coffrages outils	unité	20	800 k€	16 000,00		1 072,60 k\$	21 452,00	
étanchéité	m2	220 400	50 €	11 020,00		67,00 k\$	14 766,80	
mise en œuvre	forfait	1	15 000 k€	15 000,00		20 112,00 k\$	20 112,00	
génie civil second œuvre	ml	2 900	5,6 k€	16 240,00		7,50 k\$	21 750,00	
lit de pose	m3	197 200	80 €	15 776,00		107,30 k\$	21 159,56	
remblaiement	m3	759 800	25 €	18 995,00		33,50 k\$	25 453,30	
forfait chantier génie civil maritime	forfait	1	20 000 k€	20 000,00		26 816 k\$	26 816,00	
<b>travaux rive droite</b>					<b>130 501,80</b>			<b>174 979,05</b>
parois moulées ancrées	m2	21 650	900 €	19 485,00		1 206,72 \$	26 125,49	
débais	m3	432 000	8,0 €	3 456,00		10,73 \$	4 633,80	
remblais	m3	32 900	6,0 €	197,40		8,04 \$	264,67	
béton	m3	103 650	280 €	29 022,00		375,42 \$	38 912,70	
aciers HA	t	12 534	2,3 k€	28 828,20		3,08 \$	38 654,86	
aciers précontrainte	t	1 881	7,2 k€	13 543,20		9,65 \$	18 159,17	
étanchéité	m2	41 800	50 €	2 090,00		67,04 \$	2 802,27	
coffrages outils	unité	5	800 k€	4 000,00		1 072,60 \$	5 363,00	
coffrage	m2	13 200	150 €	1 980,00		201,12 \$	2 654,78	
bâtiment technique	forfait	1	6 000 k€	6 000,00		8 045 k\$	8 044,80	
ponts et structures provisoires	forfait	1	14 000 k€	14 000,00		18 771 k\$	18 771,20	
déviations routières provisoires	forfait	1	4 900 k€	4 900,00		6 570 k\$	6 569,90	
forfait de chantier rive droite	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022 k\$	4 022,40	
<b>travaux rive gauche (île des Sœurs)</b>					<b>100 177,20</b>			<b>134 312,77</b>
parois moulées ancrées	m2	20 700	900 €	18 630,00		1 206,72 \$	24 979,10	
débais	m3	502 400	8,0 €	4 019,20		10,73 \$	5 390,75	
remblais	m3	200 400	6,0 €	1 202,40		8,04 \$	1 611,22	
béton	m3	74 800	280 €	20 944,00		375,42 \$	28 081,42	
aciers HA	t	9 040	2,3 k€	20 792,00		3,08 \$	27 877,91	
aciers précontrainte	t	1 368	7,2 k€	9 849,60		9,65 \$	13 201,20	
étanchéité	m2	30 400	50 €	1 520,00		67,04 \$	2 038,02	
coffrages outils	unité	5	800 k€	4 000,00		1 072,60 \$	5 363,00	
coffrage	m2	8 800	150 €	1 320,00		201,12 \$	1 769,86	
bâtiment technique	forfait	1	6 000 k€	6 000,00		8 045 k\$	8 044,80	
ponts et structures provisoires	forfait	1	3 600 k€	3 600,00		4 827 k\$	4 826,90	
déviations routières provisoires	forfait	1	5 300 k€	5 300,00		7 106 k\$	7 106,20	
forfait de chantier rive gauche	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022 k\$	4 022,40	
<b>équipements d'exploitation</b>					<b>81 660,00</b>			<b>109 486,65</b>
équipements tubes routiers	ml	8 100	4,800 k€	38 880,00		6,436 k\$	52 131,60	
équipements tube TCSP	ml	4 050	4,000 k€	16 200,00		5,363 k\$	21 720,15	
équipements galeries de secours	ml	8 100	1,800 k€	14 580,00		2,413 k\$	19 545,30	
PC de supervision - bâtiment	forfait	1	2 000 k€	2 000,00		2 682 k\$	2 681,60	
PC de supervision - informatique - équipement	forfait	1	10 000 k€	10 000,00		13 408 k\$	13 408,00	
<b>démolition du Pont Champlain</b>					-			-
pour mémoire - commun à toutes les solutions				-				-
<b>provisions diverses</b>					<b>50 000,00</b>			<b>67 040,00</b>
réaménagement des raccordements	forfait	1	12 000 k€	12 000,00		16 090 k\$	16 089,60	
remise en état darse île des sœurs	forfait	1	15 000 k€	15 000,00		20 112 k\$	20 112,00	
protections impact environnemental	forfait	1	18 000 k€	18 000,00		24 134 k\$	24 134,40	
déplacements de réseaux	forfait	1	5 000 k€	5 000,00		6 704 k\$	6 704,00	
<b>montant total</b>					<b>1 151 440,30</b>			<b>1 543 761,52</b>





## **Annexe 2 Estimation tunnel « sous- fluvial » construit avec des batardeaux**



Tableau 5 : estimation détaillée des coûts de construction du tunnel « sous-fluvial » construit entre batardeaux en valeur 2010 – montants en k€ et k\$ hors SAV

	unité	quantité	prix unitaire	montant (k€)	sous-totaux (k€)	prix unitaire arrondis	montants k\$	sous-totaux k\$
<b>Divers</b>					<b>58 984,49</b>			<b>79 082,34</b>
Maitrise d'Ouvrage	%		1,5%	14 450,32		1,5%	19 373,87	
études - contrôle des travaux	%		4,0%	38 534,18		4,0%	51 663,66	
sondages de reconnaissance	forfait	1	4 000 k€	4 000,00		5 363 k\$	5 363,20	
acquisitions foncières	forfait	1	2 000 k€	2 000,00		2 682 k\$	2 681,60	
<b>terrassements à sec St Laurent</b>					<b>170 664,82</b>			<b>228 824,65</b>
déblais schistes	m3	1 810 500	25,0 €	45 262,50		33,52 \$	60 687,96	
déblais terrains meubles	m3	680 850	18,0 €	12 255,30		24,13 \$	16 428,91	
déblais sous l'eau fondations batardeaux m	m3	288 990	28,0 €	8 091,72		37,54 \$	10 848,68	
fondation pour pose batardeaux	m3	37 050	100,0 €	3 705,00		134,08 \$	4 967,66	
barrages anti pollution	forfait	1	20 000 k€	20 000,00		26 816 k\$	26 816,00	
remblais	m3	668 100	7,0 €	4 676,70		9,39 \$	6 273,46	
enrochements	m3	469 200	40,0 €	18 768,00		53,63 \$	25 163,20	
batardeaux mobiles fourniture	t	2 631	8,0 k€	21 045,60		10,73 k\$	28 216,89	
batardeaux mobiles déplacements	unité	486	10,0 k€	4 860,00		13,41 k\$	6 516,29	
pompasse	forfait	1	10 000 k€	10 000,00		13 408 k\$	13 408,00	
forfait de chantier terrassements	forfait	1	2 000 k€	2 000,00		2 682 k\$	2 681,60	
forfait mise en dépôt	forfait	1	20 000 k€	20 000,00		26 816 k\$	26 816,00	
<b>terrassements fluviaux St Laurent</b>					<b>64 536,60</b>			<b>86 535,82</b>
déblais schistes en rivière	m3	248 500	40,0 €	9 940,00		53,63 \$	13 327,06	
déblais terrains meubles en rivière	m3	93 450	28,0 €	2 616,60		37,54 \$	3 508,11	
déblais schistes darses	m3	216 000	20,0 €	4 320,00		26,82 \$	5 793,12	
déblais terrains meubles darses	m3	216 000	15,0 €	3 240,00		20,11 \$	4 343,76	
barrages anti pollution	forfait	1	10 000 k€	10 000,00		13 408 k\$	13 408,00	
remblais	m3	2 400 000	9,0 €	21 600,00		12,07 \$	28 968,00	
enrochements	m3	64 400	50,0 €	3 220,00		67,04 \$	4 317,38	
batardeau	ml	250	4,000 k€	1 000,00		5,36 \$	1 340,00	
digue	ml	300	2,000 k€	600,00		2,68 \$	804,00	
pompasse	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022 k\$	4 022,40	
forfait de chantier terrassements fluviaux	forfait	1	5 000 k€	5 000,00		6 704 k\$	6 704,00	
<b>caissons immergés voie maritime</b>					<b>62 381,50</b>			<b>83 632,32</b>
béton	m3	59 850	280 €	16 758,00		375,42 \$	22 468,89	
aciers HA	t	7 182	2,3 k€	16 518,60		3,08 k\$	22 149,29	
aciers précontrainte	t	1 197	7,2 k€	8 618,40		9,65 k\$	11 551,05	
coffrages outils	unité	5	800 k€	4 000,00		1 072,60 k\$	5 363,00	
étanchéité	m2	26 600	50 €	1 330,00		67,00 k\$	1 782,20	
mise en œuvre	forfait	1	5 000 k€	5 000,00		6 704,00 k\$	6 704,00	
génie civil second œuvre	ml	350	5,6 k€	1 960,00		7,50 k\$	2 625,00	
lit de pose	m3	23 800	80 €	1 904,00		107,30 k\$	2 553,74	
remblaiement	m3	91 700	25 €	2 292,50		33,50 k\$	3 071,95	
forfait chantier génie civil maritime	forfait	1	4 000 k€	4 000,00		5 363 k\$	5 363,20	
<b>caissons construits à l'air libre</b>					<b>319 932,46</b>			<b>428 903,50</b>
béton	m3	414 248	280 €	115 989,30		375,42 \$	155 516,80	
aciers HA	t	41 425	2,3 k€	95 276,93		3,08 k\$	127 753,93	
aciers précontrainte	t	6 214	7,2 k€	44 738,73		9,65 k\$	59 962,33	
coffrages outils	unité	15	800 k€	12 000,00		1 072,60 k\$	16 089,00	
étanchéité	m2	193 800	50 €	9 690,00		67,00 k\$	12 984,60	
forfait de chantier	forfait	1	5 000 k€	5 000,00		6 704,00 k\$	6 704,00	
génie civil second œuvre	ml	2 550	5,6 k€	14 280,00		7,50 k\$	19 125,00	
lit de réglage	m3	173 400	40 €	6 936,00		53,60 k\$	9 294,24	
remblaiement	m3	668 100	15 €	10 021,50		20,10 k\$	13 428,81	
forfait chantier génie civil maritime	forfait	1	6 000 k€	6 000,00		8 045 k\$	8 044,80	
<b>travaux rive droite</b>					<b>130 501,80</b>			<b>174 979,05</b>
parois moulées ancrées	m2	21 650	900 €	19 485,00		1 206,72 \$	26 125,49	
déblais	m3	432 000	8,0 €	3 456,00		10,73 \$	4 633,80	
remblais	m3	32 900	6,0 €	197,40		8,04 \$	264,67	
béton	m3	103 650	280 €	29 022,00		375,42 \$	38 912,70	
aciers HA	t	12 534	2,3 k€	28 828,20		3,08 \$	38 654,86	
aciers précontrainte	t	1 881	7,2 k€	13 543,20		9,65 \$	18 159,17	
étanchéité	m2	41 800	50 €	2 090,00		67,04 \$	2 802,27	
coffrages outils	unité	5	800 k€	4 000,00		1 072,60 \$	5 363,00	
coffrage	m2	13 200	150 €	1 980,00		201,12 \$	2 654,78	
bâtiment technique	forfait	1	6 000 k€	6 000,00		8 045 k\$	8 044,80	
ponts et structures provisoires	forfait	1	14 000 k€	14 000,00		18 771 k\$	18 771,20	
déviations routières provisoires	forfait	1	4 900 k€	4 900,00		6 570 k\$	6 569,90	
forfait de chantier rive droite	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022 k\$	4 022,40	
<b>travaux rive gauche (île des Sœurs)</b>					<b>100 177,20</b>			<b>134 312,77</b>
parois moulées ancrées	m2	20 700	900 €	18 630,00		1 206,72 \$	24 979,10	
déblais	m3	502 400	8,0 €	4 019,20		10,73 \$	5 390,75	
remblais	m3	200 400	6,0 €	1 202,40		8,04 \$	1 611,22	
béton	m3	74 800	280 €	20 944,00		375,42 \$	28 081,42	
aciers HA	t	9 040	2,3 k€	20 792,00		3,08 \$	27 877,91	
aciers précontrainte	t	1 368	7,2 k€	9 849,60		9,65 \$	13 201,20	
étanchéité	m2	30 400	50 €	1 520,00		67,04 \$	2 038,02	
coffrages outils	unité	5	800 k€	4 000,00		1 072,60 \$	5 363,00	
coffrage	m2	8 800	150 €	1 320,00		201,12 \$	1 769,86	
bâtiment technique	forfait	1	6 000 k€	6 000,00		8 045 k\$	8 044,80	
ponts et structures provisoires	forfait	1	3 600 k€	3 600,00		4 827 k\$	4 826,90	
déviations routières provisoires	forfait	1	5 300 k€	5 300,00		7 106 k\$	7 106,20	
forfait de chantier rive gauche	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022 k\$	4 022,40	
<b>équipements d'exploitation</b>					<b>81 660,00</b>			<b>109 486,65</b>
équipements tubes routiers	ml	8 100	4,800 k€	38 880,00		6,436 k\$	52 131,60	
équipements tube TCSP	ml	4 050	4,000 k€	16 200,00		5,363 k\$	21 720,15	
équipements galeries de secours	ml	8 100	1,800 k€	14 580,00		2,413 k\$	19 545,30	
PC de supervision - bâtiment	forfait	1	2 000 k€	2 000,00		2 682 k\$	2 681,60	
PC de supervision - informatique - équipement	forfait	1	10 000 k€	10 000,00		13 408 k\$	13 408,00	
<b>démolition du Pont Champlain</b>					<b>-</b>			<b>-</b>
pour mémoire - commun à toutes les solutions				-			-	
				-			-	
<b>provisions diverses</b>					<b>33 500,00</b>			<b>44 916,80</b>
réaménagement des raccordements	forfait	1	12 000 k€	12 000,00		16 090 k\$	16 089,60	
remise en état darse île des sœurs	forfait	1	7 500 k€	7 500,00		10 056 k\$	10 056,00	
protections impact environnemental	forfait	1	9 000 k€	9 000,00		12 067 k\$	12 067,20	
déplacements de réseaux	forfait	1	5 000 k€	5 000,00		6 704 k\$	6 704,00	
<b>montant total</b>					<b>1 022 338,87</b>			<b>1 370 673,90</b>



CONSORTIUM BCDE



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

## Annexe 3 Estimation tunnel foré 2 tubes

# CONSORTIUM BCDE



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

Tableau 6 - estimation détaillée des coûts de construction du tunnel foré comportant 2 tubes en valeur 2010 – montants en k€ et k\$ - hors SAV

	unité	quantité	prix unitaire	montant (k€)	sous-totaux (k€)	prix unitaire arrondis	montants k\$	sous-totaux k\$
<b>Divers</b>					<b>136 473,46</b>			<b>182 978,40</b>
Maitrise d'Ouvrage	%		1,5%	27 947,31		1,5%	37 470,33	
études - contrôle des travaux	%		4,0%	74 526,15		4,0%	99 920,87	
sondages de reconnaissance	forfait	1	4 000 k€	4 000,00		5 363 k\$	5 363,20	
acquisitions foncières	unité	60	500 k€	30 000,00		670 k\$	40 224,00	
<b>tunnel foré</b>					<b>948 253,95</b>			<b>1 271 326,06</b>
génie civil - excavation - soutènement	ml	9 970	69,2 k€	689 924,00		92,78 k\$	925 016,60	
génie civil structures internes	ml	9 970	18,0 k€	179 460,00		24,13 k\$	240 576,10	
galeries inter tubes	ml	250	80,0 k€	20 000,00		107,30 k\$	26 825,00	
génie civil second œuvre - chaussées	ml	9 970	2,5 k€	24 925,00		3,35 k\$	33 399,50	
forfait mise en dépôt	m3	2 262 997	15,0 k€	33 944,95		20,11 k\$	45 508,86	
<b>puits rive droite</b>					<b>26 709,50</b>			<b>35 801,13</b>
béton	m3	14 940	280 €	4 183,20		375,42 k\$	5 608,83	
aciers HA	t	2 241	2,3 k€	5 154,30		3,08 k\$	6 902,28	
coffrages	m2	14 940	50 €	747,00		67,00 k\$	1 000,98	
coffrages outils	unité	4	200 k€	800,00		268,20 k\$	1 072,80	
étanchéité	m2	9 540	50 €	477,00		67,00 k\$	639,18	
parois moulées	m2	8 460	1 100 €	9 306,00		1 474,90 k\$	12 477,65	
excavation	m3	77 400	30 €	2 322,00		40,20 k\$	3 111,48	
injections	m3	7 200	100 €	720,00		134,10 k\$	965,52	
forfait de chantier puits	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022,40 k\$	4 022,40	
<b>travaux rive droite</b>					<b>344 756,50</b>			<b>462 255,76</b>
parois moulées ancrées >15m	m2	120 120	1 200 €	144 144,00		1 608,96 \$	193 268,28	
parois moulées ancrées <15m	m2	18 900	900 €	17 010,00		1 206,72 \$	22 807,01	
débais	m3	1 309 660	8,0 €	10 477,28		10,73 \$	14 047,94	
injections	m3	88 000	100 €	8 800,00		134,10 \$	11 800,80	
remblais	m3	804 258	8,0 €	6 434,06		10,73 \$	8 626,79	
béton	m3	171 706	280 €	48 077,57		375,42 \$	64 462,40	
aciers HA	t	25 756	2,3 k€	59 238,43		3,08 \$	79 431,01	
étanchéité	m2	102 596	50 €	5 129,80		67,04 \$	6 878,04	
coffrages outils	unité	8	200 k€	1 600,00		268,20 \$	2 145,60	
coffrage	m2	136 628	120 €	16 395,36		160,90 \$	21 982,90	
bâtiment technique	forfait	1	2 000 k€	2 000,00		2 681,60 \$	2 681,60	
ponts et structures provisoires	forfait	1	15 000 k€	15 000,00		20 112 k\$	20 112,00	
déviations routières provisoires	forfait	1	7 450 k€	7 450,00		9 989 k\$	9 989,00	
forfait de chantier rive droite	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022 k\$	4 022,40	
<b>puits sur l'île des sœurs</b>					<b>23 900,00</b>			<b>32 045,12</b>
excavation du puits	forfait	1	4 000 k€	4 000,00		5 363 \$	5 363,20	
génie civil puits	forfait	1	1 900 k€	1 900,00		2 548 \$	2 547,52	
ouvrages souterrains	forfait	1	9 000 k€	9 000,00		12 067 \$	12 067,20	
second œuvre	forfait	1	4 000 k€	4 000,00		5 363 \$	5 363,20	
forfait de chantier	forfait	1	5 000 k€	5 000,00		6 704 k\$	6 704,00	
<b>puits rive gauche</b>					<b>27 474,50</b>			<b>36 826,53</b>
béton	m3	15 300	280 €	4 284,00		375,42 \$	5 743,99	
aciers HA	t	2 295	2,3 k€	5 278,50		3,08 \$	7 068,60	
coffrages	m2	15 300	50 €	765,00		67,00 \$	1 025,10	
coffrages outils	unité	4	200 k€	800,00		268,20 \$	1 072,80	
étanchéité	m2	9 900	50 €	495,00		67,00 \$	663,30	
parois moulées	m2	8 820	1 100 €	9 702,00		1 474,90 \$	13 008,62	
excavation	m3	81 000	30 €	2 430,00		40,20 \$	3 256,20	
injections	m3	7 200	100 €	720,00		134,10 \$	965,52	
forfait de chantier puits	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022 k\$	4 022,40	
<b>travaux rive gauche</b>					<b>299 623,87</b>			<b>401 741,14</b>
parois moulées ancrées >15m	m2	103 360	1 200 €	124 032,00		1 608,96 \$	166 302,11	
parois moulées ancrées <15m	m2	21 000	900 €	18 900,00		1 206,72 \$	25 341,12	
débais	m3	1 155 000	8,0 €	9 240,00		10,73 \$	12 388,99	
injections	m3	88 000	100 €	8 800,00		134,10 \$	11 800,80	
remblais	m3	691 928	8,0 €	5 535,42		10,73 \$	7 421,90	
béton	m3	138 582	280 €	38 802,96		375,42 \$	52 027,01	
aciers HA	t	20 787	2,3 k€	47 810,79		3,08 \$	64 108,03	
étanchéité	m2	113 678	50 €	5 683,90		67,04 \$	7 620,97	
coffrages outils	unité	8	200 k€	1 600,00		268,20 \$	2 145,60	
coffrage	m2	95 990	120 €	11 518,80		160,90 \$	15 444,41	
bâtiment technique	forfait	1	2 000 k€	2 000,00		2 682 k\$	2 681,60	
ponts et structures provisoires	forfait	1	15 000 k€	15 000,00		20 112 k\$	20 112,00	
déviations routières provisoires	forfait	1	7 700 k€	7 700,00		10 324 k\$	10 324,20	
forfait de chantier rive droite	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022 k\$	4 022,40	
<b>équipements d'exploitation</b>					<b>140 435,50</b>			<b>188 304,45</b>
équipements tubes routiers	ml	13 910	4,800 k€	66 768,00		6,440 k\$	89 580,40	
équipements tube TCSP	ml	14 510	3,500 k€	50 785,00		4,690 k\$	68 051,90	
équipements galeries de secours	ml	7 255	1,500 k€	10 882,50		2,010 k\$	14 582,55	
PC de supervision - bâtiment	forfait	1	2 000 k€	2 000,00		2 682 k\$	2 681,60	
PC de supervision - informatique - équipement	forfait	1	10 000 k€	10 000,00		13 408 k\$	13 408,00	
<b>démolition du Pont Champlain</b>					<b>-</b>			<b>-</b>
pour mémoire - commun à toutes les solutions								
<b>provisions diverses</b>					<b>52 000,00</b>			<b>69 721,60</b>
réaménagement des raccordements	forfait	1	12 000 k€	12 000,00		16 090 k\$	16 089,60	
protections impact environnemental	forfait	1	10 000 k€	10 000,00		13 408 k\$	13 408,00	
déplacements de réseaux rive droite	forfait	1	5 000 k€	5 000,00		6 704 k\$	6 704,00	
déplacements de réseaux rive gauche	forfait	1	25 000 k€	25 000,00		33 520 k\$	33 520,00	
<b>montant total</b>					<b>1 999 627,29</b>			<b>2 681 000,18</b>





## Annexe 4 Estimation tunnel foré 4 tubes



Tableau 7 : estimation détaillée des coûts de construction du tunnel foré comportant 4 tubes en valeur 2010 – montants en k€ et k\$ - hors SAV

	unité	quantité	prix unitaire	montant (k€)	sous-totaux (k€)	prix unitaire arrondis	montants k\$	sous-totaux k\$
<b>Divers</b>					<b>188 864,98</b>			<b>253 234,63</b>
Maitrise d'Ouvrage	%		1,5%	39 508,63		1,5%	52 974,39	
études - contrôle des travaux	%		4,0%	105 356,35		4,0%	141 265,04	
sondages de reconnaissance	forfait	1	4 000 k€	4 000,00		5 363 k\$	5 363,20	
acquisitions foncières	unité	80	500 k€	40 000,00		670 k\$	53 632,00	
<b>tunnel foré</b>					<b>1 143 758,45</b>			<b>1 533 509,73</b>
Ø 14,6 génie civil - excavation - soutènement	ml	9 970	48,3 k€	481 052,50		64,694 k\$	644 999,18	
Ø 12,6 génie civil - excavation - soutènement	ml	9 970	32,4 k€	322 529,50		43,375 k\$	432 448,75	
Ø 14,6 génie civil structures internes	ml	9 970	14,0 k€	139 580,00		18,770 k\$	187 136,90	
Ø 12,6 génie civil structures internes	ml	9 970	7,1 k€	70 787,00		9,520 k\$	94 914,40	
galeries inter tubes	ml	765	80,0 k€	61 200,00		107,260 k\$	82 053,90	
génie civil second œuvre - chaussées	ml	9 970	2,5 k€	24 925,00		3,352 k\$	33 419,44	
forfait mise en dépôt	m3	2 912 297	15,0 k€	43 684,45		20,100 k\$	58 537,16	
<b>puits rive droite</b>					<b>32 688,50</b>			<b>43 871,79</b>
béton	m3	19 060	280 €	5 336,80		375,42 \$	7 155,58	
aciers HA	t	2 859	2,3 k€	6 575,70		3,10 \$	8 862,90	
coffrages	m2	19 060	50 €	953,00		67,00 \$	1 277,02	
coffrages outils	unité	4	200 k€	800,00		268,20 \$	1 072,80	
étanchéité	m2	11 860	50 €	593,00		67,00 \$	794,62	
parois moulées	m2	10 340	1 100 €	11 374,00		1 474,90 \$	15 250,47	
excavation	m3	103 200	30 €	3 096,00		40,20 \$	4 148,64	
injections	m3	9 600	100 €	960,00		134,10 \$	1 287,36	
forfait de chantier puits	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022 k\$	4 022,40	
<b>travaux rive droite</b>					<b>552 287,70</b>			<b>740 521,46</b>
parois moulées ancrées >15m	m2	120 120	1 200 €	144 144,00		1 608,96 \$	193 268,28	
parois moulées ancrées <15m	m2	18 900	900 €	17 010,00		1 206,72 \$	22 807,01	
débais	m3	2 619 320	8,0 €	20 954,56		10,73 \$	28 095,87	
injections	m3	176 000	100 €	17 600,00		134,10 \$	23 601,60	
remblais	m3	2 025 660	8,0 €	16 205,28		10,73 \$	21 728,04	
béton	m3	428 100	280 €	119 868,00		375,42 \$	160 719,01	
aciers HA	t	64 215	2,3 k€	147 694,50		3,08 \$	198 039,06	
étanchéité	m2	194 600	50 €	9 730,00		67,04 \$	13 045,98	
coffrages outils	unité	8	200 k€	1 600,00		268,20 \$	2 145,60	
coffrage	m2	176 928	120 €	21 231,36		160,90 \$	28 467,01	
bâtiment technique	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022 k\$	4 022,40	
ponts et structures provisoires	forfait	1	19 500 k€	19 500,00		26 146 k\$	26 145,60	
déviations routières provisoires	forfait	1	9 750 k€	9 750,00		13 073 k\$	13 072,80	
forfait de chantier rive droite	forfait	1	4 000 k€	4 000,00		5 363 k\$	5 363,20	
<b>puits sur l'île des sœurs</b>					<b>43 740,00</b>			<b>58 646,59</b>
excavation du puits	forfait	1	7 960 k€	7 960,00		10 673 \$	10 672,77	
génie civil puits	forfait	1	3 780 k€	3 780,00		5 068 \$	5 068,22	
ouvrages souterrains	forfait	1	18 000 k€	18 000,00		24 134 \$	24 134,40	
second œuvre	forfait	1	8 000 k€	8 000,00		10 726 \$	10 726,40	
forfait de chantier	forfait	1	6 000 k€	6 000,00		8 045 k\$	8 044,80	
<b>puits rive gauche</b>					<b>33 635,50</b>			<b>45 142,45</b>
béton	m3	19 500	280 €	5 460,00		375,4 \$	7 320,77	
aciers HA	t	2 925	2,3 k€	6 727,50		3,1 \$	9 067,50	
coffrages	m2	19 500	50 €	975,00		67,0 \$	1 306,50	
coffrages outils	unité	4	200 k€	800,00		268,2 \$	1 072,80	
étanchéité	m2	12 300	50 €	615,00		67,0 \$	824,10	
parois moulées	m2	10 780	1 100 €	11 858,00		1 474,9 \$	15 899,42	
excavation	m3	108 000	30 €	3 240,00		40,2 \$	4 341,60	
injections	m3	9 600	100 €	960,00		134,1 \$	1 287,36	
forfait de chantier puits	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022 k\$	4 022,40	
<b>travaux rive gauche</b>					<b>556 494,49</b>			<b>746 162,89</b>
parois moulées ancrées >15m	m2	103 360	1 200 €	124 032,00		1 609,0 \$	166 302,11	
parois moulées ancrées <15m	m2	21 000	900 €	18 900,00		1 206,7 \$	25 341,12	
débais	m3	2 310 000	8,0 €	18 480,00		10,7 \$	24 777,98	
injections	m3	176 000	100 €	17 600,00		134,1 \$	23 601,60	
remblais	m3	1 732 240	8,0 €	13 857,92		10,7 \$	18 580,70	
béton	m3	468 330	280 €	131 132,40		375,4 \$	175 822,32	
aciers HA	t	70 250	2,3 k€	161 573,85		3,1 \$	216 649,46	
étanchéité	m2	212 600	50 €	10 630,00		67,0 \$	14 252,70	
coffrages outils	unité	8	200 k€	1 600,00		268,2 \$	2 145,60	
coffrage	m2	193 236	120 €	23 188,32		160,9 \$	31 090,90	
bâtiment technique	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022,4 \$	4 022,40	
ponts et structures provisoires	forfait	1	19 500 k€	19 500,00		26 146 k\$	26 145,60	
déviations routières provisoires	forfait	1	9 000 k€	9 000,00		12 067 k\$	12 067,20	
forfait de chantier rive droite	forfait	1	4 000 k€	4 000,00		5 363 k\$	5 363,20	
<b>équipements d'exploitation</b>					<b>214 304,00</b>			<b>287 345,48</b>
équipements d'exploitation	ml	41 730	4,800 k€	200 304,00		6,436 k\$	268 574,28	
PC de supervision - bâtiment	forfait	1	2 000 k€	2 000,00		2 682 k\$	2 681,60	
PC de supervision - informatique - équipements	forfait	1	12 000 k€	12 000,00		16 090 k\$	16 089,60	
<b>démolition du Pont Champlain</b>					<b>-</b>			<b>-</b>
pour mémoire - commun à toutes les solutions								
<b>provisions diverses</b>					<b>57 000,00</b>			<b>76 425,60</b>
réaménagement des raccordements	forfait	1	12 000 k€	12 000,00		16 090 k\$	16 089,60	
protections impact environnemental	forfait	1	10 000 k€	10 000,00		13 408 k\$	13 408,00	
déplacements de réseaux rive droite	forfait	1	7 000 k€	7 000,00		9 386 k\$	9 385,60	
déplacements de réseaux rive gauche	forfait	1	28 000 k€	28 000,00		37 542 k\$	37 542,40	
<b>montant total</b>					<b>2 822 773,61</b>			<b>3 784 860,62</b>



## Annexe 5 Estimation tunnel « sous- fluvial » sans TCSP construit entre batardeaux



Tableau 8 : estimation détaillée des coûts de construction du tunnel « sous-fluvial » sans TCSP construit entre batardeaux – montants en k€ et k\$ valeur 2010 - hors SAV

	unité	quantité	prix unitaire	montant (k€)	sous-totaux (k€)	prix unitaire arrondis	montants k\$	sous-totaux k\$
<b>Divers</b>					<b>50 088,73</b>			<b>67 155,48</b>
Maitrise d'Ouvrage	%		1,5%	12 024,20		1,5%	16 121,09	
études - contrôle des travaux	%		4,0%	32 064,53		4,0%	42 989,58	
sondages de reconnaissance	forfait	1	4 000 k€	4 000,00		5 363 k\$	5 363,20	
acquisitions foncières	forfait	1	2 000 k€	2 000,00		2 682 k\$	2 681,60	
<b>terrassements à sec St Laurent</b>					<b>153 481,11</b>			<b>205 785,41</b>
débais schistes en rivière	m3	1 453 500	25,0 €	36 337,50		33,52 \$	48 721,32	
débais terrains meubles en rivière	m3	558 450	18,0 €	10 052,10		24,13 \$	13 475,40	
débais sous l'eau fondations batardeaux mc	m3	275 886	28,0 €	7 724,81		37,54 \$	10 356,76	
fondation pour pose batardeaux	m3	35 370	100,0 €	3 537,00		134,08 \$	4 742,41	
barrages anti pollution	forfait	1	20 000 k€	20 000,00		26 816 k\$	26 816,00	
remblais	m3	637 500	7,0 €	4 462,50		9,39 \$	5 986,13	
enrochements	m3	387 600	40,0 €	15 504,00		53,63 \$	20 786,99	
batardeaux mobiles fourniture	t	2 417	8,0 k€	19 339,20		10,73 k\$	25 929,03	
batardeaux mobiles déplacements	unité	452	10,0 k€	4 524,00		13,41 k\$	6 065,78	
pompape	forfait	1	10 000 k€	10 000,00		13 408 k\$	13 408,00	
forfait de chantier terrassements	forfait	1	2 000 k€	2 000,00		2 682 k\$	2 681,60	
forfait mise en dépôt	forfait	1	20 000 k€	20 000,00		26 816 k\$	26 816,00	
<b>terrassements fluviaux St Laurent et darses</b>					<b>57 332,40</b>			<b>76 875,26</b>
débais schistes en rivière	m3	199 500	40,0 €	7 980,00		53,63 \$	10 699,19	
débais terrains meubles en rivière	m3	76 650	28,0 €	2 146,20		37,54 \$	2 877,44	
débais schistes darses	m3	216 000	20,0 €	4 320,00		26,82 \$	5 793,12	
débais terrains meubles darses	m3	216 000	15,0 €	3 240,00		20,11 \$	4 343,76	
barrages anti pollution	forfait	1	10 000 k€	10 000,00		13 408 k\$	13 408,00	
remblais	m3	1 931 800	9,0 €	17 386,20		12,07 \$	23 316,83	
enrochements	m3	53 200	50,0 €	2 660,00		67,04 \$	3 566,53	
batardeau	ml	250	4,000 k€	1 000,00		5,36 \$	1 340,00	
digue	ml	300	2,000 k€	600,00		2,68 \$	804,00	
pompape	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022 k\$	4 022,40	
forfait de chantier terrassements fluviaux	forfait	1	5 000 k€	5 000,00		6 704 k\$	6 704,00	
<b>caissons immergés voie maritime</b>					<b>48 318,50</b>			<b>64 777,89</b>
béton	m3	40 950	280 €	11 466,00		375,42 \$	15 373,45	
aciers HA	t	4 914	2,3 k€	11 302,20		3,08 k\$	15 154,78	
aciers précontrainte	t	819	7,2 k€	5 896,80		9,65 k\$	7 903,35	
coffrages outils	unité	5	800 k€	4 000,00		1 072,60 k\$	5 363,00	
étanchéité	m2	21 000	50 €	1 050,00		67,00 k\$	1 407,00	
mise en œuvre	forfait	1	5 000 k€	5 000,00		6 704,00 k\$	6 704,00	
génie civil second œuvre	ml	350	5,6 k€	1 960,00		7,50 k\$	2 625,00	
lit de pose	m3	18 200	80 €	1 456,00		107,30 k\$	1 952,86	
remblaiement	m3	87 500	25 €	2 187,50		33,50 k\$	2 931,25	
forfait chantier génie civil maritime	forfait	1	4 000 k€	4 000,00		5 363 k\$	5 363,20	
<b>caissons construits à l'air libre</b>					<b>234 957,79</b>			<b>314 978,58</b>
béton	m3	283 433	280 €	79 361,10		375,42 \$	106 406,23	
aciers HA	t	28 343	2,3 k€	65 189,48		3,08 k\$	87 410,58	
aciers précontrainte	t	4 251	7,2 k€	30 610,71		9,65 k\$	41 026,85	
coffrages outils	unité	15	800 k€	12 000,00		1 072,60 k\$	16 089,00	
étanchéité	m2	153 000	50 €	7 650,00		67,00 k\$	10 251,00	
forfait de chantier	forfait	1	5 000 k€	5 000,00		6 704,00 k\$	6 704,00	
génie civil second œuvre	ml	2 550	5,6 k€	14 280,00		7,50 k\$	19 125,00	
lit de réglage	m3	132 600	40 €	5 304,00		53,60 k\$	7 107,36	
remblaiement	m3	637 500	15 €	9 562,50		20,10 k\$	12 813,75	
forfait chantier génie civil maritime	forfait	1	6 000 k€	6 000,00		8 045 k\$	8 044,80	
<b>travaux rive droite</b>					<b>108 883,00</b>			<b>145 991,85</b>
parois moulées ancrées	m2	21 650	900 €	19 485,00		1 206,72 \$	26 125,49	
débais	m3	324 000	8,0 €	2 592,00		10,73 \$	3 475,35	
remblais	m3	112 100	6,0 €	672,60		8,04 \$	901,82	
béton	m3	73 950	280 €	20 706,00		375,42 \$	27 762,60	
aciers HA	t	8 970	2,3 k€	20 631,00		3,08 \$	27 663,48	
aciers précontrainte	t	1 287	7,2 k€	9 266,40		9,65 \$	12 424,70	
étanchéité	m2	33 000	50 €	1 650,00		67,04 \$	2 212,32	
coffrages outils	unité	5	800 k€	4 000,00		1 072,60 \$	5 363,00	
coffrage	m2	13 200	150 €	1 980,00		201,12 \$	2 654,78	
bâtiment technique	forfait	1	6 000 k€	6 000,00		8 045 k\$	8 044,80	
ponts et structures provisoires	forfait	1	14 000 k€	14 000,00		18 771 k\$	18 771,20	
déviations routières provisoires	forfait	1	4 900 k€	4 900,00		6 570 k\$	6 569,90	
forfait de chantier rive droite	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022 k\$	4 022,40	
<b>travaux rive gauche (île des Sœurs)</b>					<b>83 480,40</b>			<b>111 927,16</b>
parois moulées ancrées	m2	20 700	900 €	18 630,00		1 206,72 \$	24 979,10	
débais	m3	376 800	8,0 €	3 014,40		10,73 \$	4 043,06	
remblais	m3	158 400	6,0 €	950,40		8,04 \$	1 273,54	
béton	m3	53 200	280 €	14 896,00		375,42 \$	19 972,34	
aciers HA	t	6 448	2,3 k€	14 830,40		3,08 \$	19 884,60	
aciers précontrainte	t	936	7,2 k€	6 739,20		9,65 \$	9 032,40	
étanchéité	m2	24 000	50 €	1 200,00		67,04 \$	1 608,96	
coffrages outils	unité	5	800 k€	4 000,00		1 072,60 \$	5 363,00	
coffrage	m2	8 800	150 €	1 320,00		201,12 \$	1 769,86	
bâtiment technique	forfait	1	6 000 k€	6 000,00		8 045 k\$	8 044,80	
ponts et structures provisoires	forfait	1	3 600 k€	3 600,00		4 827 k\$	4 826,90	
déviations routières provisoires	forfait	1	5 300 k€	5 300,00		7 106 k\$	7 106,20	
forfait de chantier rive gauche	forfait	1	3 000 k€	3 000,00		4 022 k\$	4 022,40	
<b>équipements d'exploitation</b>					<b>81 660,00</b>			<b>109 486,65</b>
équipements tubes routiers	ml	8 100	4,800 k€	38 880,00		6,436 k\$	52 131,60	
équipements tube TCSP	ml	4 050	4,000 k€	16 200,00		5,363 k\$	21 720,15	
équipements galeries de secours	ml	8 100	1,800 k€	14 580,00		2,413 k\$	19 545,30	
PC de supervision - bâtiment	forfait	1	2 000 k€	2 000,00		2 682 k\$	2 681,60	
PC de supervision - informatique - équipement	forfait	1	10 000 k€	10 000,00		13 408 k\$	13 408,00	
<b>démolition du Pont Champlain</b>					<b>-</b>			<b>-</b>
pour mémoire - commun à toutes les solutions				-			-	
<b>provisions diverses</b>					<b>33 500,00</b>			<b>44 916,80</b>
réaménagement des raccordements	forfait	1	12 000 k€	12 000,00		16 090 k\$	16 089,60	
remise en état darse île des sœurs	forfait	1	7 500 k€	7 500,00		10 056 k\$	10 056,00	
protections impact environnemental	forfait	1	9 000 k€	9 000,00		12 067 k\$	12 067,20	
déplacements de réseaux	forfait	1	5 000 k€	5 000,00		6 704 k\$	6 704,00	
<b>montant total</b>				<b>851 701,92</b>				<b>1 141 895,08</b>





## **Annexe 6 TMD - note de synthèse concernant la réglementation**



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>REGLEMENTATION EUROPEENNE .....</b>	<b>6</b>
1.1	<b>Le transport routier : L'ADR.....</b>	<b>6</b>
1.1.1	Définition .....	6
1.1.2	La nouvelle réglementation sur les marchandises dangereuses dans les tunnels routiers .....	8
1.2	<b>Sur le territoire français.....</b>	<b>11</b>
1.3	<b>Dans les autres pays .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REGLEMENTATION EN AMERIQUE DU NORD .....</b>	<b>12</b>
2.1	<b>La réglementation canadienne .....</b>	<b>12</b>
2.1.1	La loi.....	12
2.1.2	Le règlement TMD .....	13
2.1.3	L'arrêté « TMD » provisoire : « arrêté d'urgence concernant la perte ou le vol de marchandises dangereuses ou toute autre atteinte illicite à celles – ci ».....	14
2.1.4	Arrêté d'urgence relatif au transport de marchandises dangereuses – Vancouver 2010 (à destination ou à l'intérieur de zones d'accès contrôlé ou à travers celles –ci).....	15
2.1.5	La réglementation au Québec.....	15
2.1.6	La réglementation aux États-Unis.....	17
<b>3</b>	<b>SYNTHESE CONCERNANT LA RÉGLEMENTATION .....</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>DEMARCHE CONSEILLÉE .....</b>	<b>20</b>
4.1	<b>Propositions relatives au remplacement du pont Champlain .....</b>	<b>20</b>
4.2	<b>Exemple : les dispositions applicables en France .....</b>	<b>21</b>
4.2.1	Le Dossier de Sécurité des tunnels routiers français .....	21
4.2.2	Description de l'ouvrage.....	22
4.2.3	Étude de trafic .....	23
4.2.4	Étude des itinéraires alternatifs.....	23
4.2.5	Étude de Danger .....	25
4.2.6	Le règlement de circulation .....	29
4.2.7	La description de l'exploitation .....	29
4.2.8	Plan d'Intervention et de Sécurité (PIS).....	30
4.2.9	Retour d'expérience .....	30

<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>31</b>
<b>5.1</b>	<b>Règlementation européenne.....</b>	<b>31</b>
5.1.1	Règlementation internationale : .....	31
5.1.2	Règlementation nationale (France) : .....	31
<b>5.2</b>	<b>Règlementation en Amérique du Nord.....</b>	<b>31</b>
5.2.1	Sur le territoire canadien .....	31
5.2.2	Sur le territoire des États-Unis .....	32

## TABLEAUX

Tableau 1: exemple de plaques signalétiques .....	7
Tableau 2: définition des catégories de tunnels .....	8
Tableau 3: identification des véhicules.....	14
Tableau 4: règles de circulation dans les tunnels et ponts-tunnels .....	16
Tableau 5: caractéristiques des tunnels routiers de la province du Québec .....	17
Tableau 6: tableau des probabilités d'occurrence .....	26
Tableau 7: tableau des niveaux de gravité.....	27
Tableau 8: tableau d'identification des dangers .....	27
Tableau 9: classification des risques - choix des scénarios .....	28

## GLOSSAIRE

ACRONYME	SIGNIFICATION
ADR	Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route
ADN	Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par voie de Navigation intérieure
CETu	Centre d'études des tunnels du ministère français de l'Écologie, Énergie, Développement Durable et Aménagement du Territoire
EQR	Évaluation Quantitative des Risques
MD	Marchandises dangereuses
PIS	Plan d'Intervention des Secours
PIU	Plan d'Intervention d'Urgence
RI	Risque Intrinsèque
RID	Regulations concerning the International carriage of Dangerous goods by rail
TMD	Transport des Marchandises Dangereuses



## INTRODUCTION

La diversité des modes de transport (routier, ferroviaire, maritime, aérien), ainsi que la diversité des produits transportés et des dangers qu'ils présentent, ont conduit à la mise en place de dispositions réglementaires très précises. Le Transport de Marchandises Dangereuses (TMD) par route est régi par des accords internationaux mais aussi par des spécificités nationales fixant les règles de transport. Les réglementations concernant les TMD sont gérées en Europe, pour la route et la voie d'eau, par la Commission économique pour l'Europe des Nations unies, qui siège à Genève et, pour le fer, par l'Organisation des transports internationaux ferroviaires, qui siège à Berne. Ces organismes ont élaboré une réglementation internationale, harmonisée pour tous les modes de transports (air, terre, mer). Elles ont été adoptées par une quarantaine de pays. Depuis le 1er juillet 2001, ces réglementations ont été " restructurées " pour être mieux lisibles par tous les acteurs concernés.

La réglementation internationale est la suivante :

- ▶ Le transport routier est régi par l'**ADR** (Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route);
- ▶ Le transport ferroviaire est régi par le **RID** (Régulations concerning the International carriage of Dangerous goods by rail). Ce règlement est l'appendice C de la convention relative aux transports internationaux ferroviaires;
- ▶ Le transport aérien est régi par les règles **IATA** (International Air Transport Association) ainsi que les règles relatives au transport de matières dangereuses de l'**OACI** (Organisation de l'Aviation Civile Internationale);
- ▶ Le transport fluvial et maritime est règlementé par un texte intitulé **ADN** (Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par voie de Navigation intérieure).

## 1 REGLEMENTATION EUROPEENNE

Le transport des marchandises dangereuses par route en Europe est règlementé par l'ADR.

La directive européenne 2008/68/CE impose aux 27 États de l'Union européenne d'appliquer les règles contenues dans les annexes A et B de l'ADR aux trafics nationaux et intracommunautaires. Cette directive s'applique aussi à la Norvège, la Suisse, le Liechtenstein et l'Islande.

### 1.1 LE TRANSPORT ROUTIER : L'ADR

L'ADR est un accord international qui régit les transports internationaux entre États de l'Union européenne, de l'Europe de l'Est et le Maroc. Au total, 45 pays y adhèrent : Albanie, Allemagne, Andorre, Autriche, Azerbaïdjan, Belarus, Belgique, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Ex-République yougoslave de Macédoine, Fédération de Russie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Italie, Kazakhstan, Lettonie, Liechtenstein, Lituanie, Luxembourg, Malte, Maroc, Moldavie, Monténégro, Pays-Bas, Norvège, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Serbie, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse, Tunisie et Ukraine. L'ADR forme le socle de la réglementation du transport des marchandises dangereuses par route à l'intérieur des États membres et entre États membres. Entre 1994 et 2009, 8 directives européennes en ont précisé le contenu.

Il se compose de deux volumes contenant les deux annexes A et B de l'accord. Il est régulièrement modifié, en moyenne tous les deux ans.

La dernière version de l'ADR est entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2009.

#### 1.1.1 DÉFINITION

Cet accord concerne tout transport terrestre de marchandises dangereuses, ainsi que toute opération de chargement/déchargement inhérent d'un wagon en vue de ou après l'exécution d'un tel transport effectué en totalité ou en partie sur le territoire de l'Union Européenne. Cet accord donne des règles techniques sur :

- ▶ la classification en 9 classes des marchandises en fonction de leurs risques (inflammables, explosives...),
- ▶ les emballages (processus de fabrication, tests, procédure d'agrément...),
- ▶ les citernes (construction, agrément, épreuve de résistance et d'étanchéité),
- ▶ les véhicules (extincteurs, freinage, certificat d'agrément),

- ▶ l'étiquetage et la signalisation des véhicules comme des marchandises.

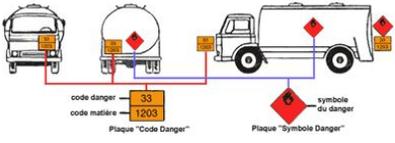
Cet accord impose également des formations et des documents nécessaires au TMD.

L'ADR est structuré de la façon suivante :

- ▶ l'annexe A comporte sept parties distinctes :
  - dispositions générales,
  - classification,
  - liste des marchandises dangereuses, dispositions spéciales et exemptions relatives aux marchandises dangereuses emballées en quantités limitées,
  - dispositions relatives à l'utilisation des emballages et des citernes,
  - procédure d'expédition,
  - dispositions relatives à la construction des emballages, grands récipients pour vrac et citernes et aux épreuves qu'ils doivent subir,
  - dispositions concernant les conditions de transport, le chargement, le déchargement et la manutention,
- ▶ l'annexe B comporte deux parties :
  - prescriptions relatives aux équipages, à l'équipement et à l'exploitation des véhicules et à la documentation,
  - prescriptions relatives à la construction et à l'agrément des véhicules.

L'emballage de la matière dangereuse transportée doit présenter différentes signalétiques dont les plaques code danger et les plaques symboles dangers.

Tableau 1: exemple de plaques signalétiques

PLAQUE CODE DANGER	PLAQUES ÉTIQUETTES	SIGNALISATION CAMIONS	SIGNALISATION COLIS
			

PLAQUE CODE DANGER	PLAQUES ÉTIQUETTES	SIGNALISATION CAMIONS	SIGNALISATION COLIS
Partie supérieure : n° identification du danger Partie inférieure : n° ONU (identifiant de la MD)	MD de classe 3 : liquide inflammable.	Plaque orange et plaque étiquettes	Colis remplis de MD inflammable et toxique.

### 1.1.2 LA NOUVELLE RÉGLEMENTATION SUR LES MARCHANDISES DANGEREUSES DANS LES TUNNELS ROUTIERS

La réglementation a été harmonisée au niveau européen et incorporée dans l'ADR, ce qui la rend obligatoire dans la plupart des pays européens. Si l'ADR comporte depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2007 des prescriptions particulières pour les tunnels, elles ont été modifiées le 1<sup>er</sup> janvier 2009 et sont entrées en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2010 : 5 catégories de tunnels ont été créées. À chacune d'elles correspond une restriction de passage de MD (Marchandises Dangereuses).

Tableau 2: définition des catégories de tunnels

CATÉGORIE	RESTRICTION
A	Pas de restriction.
B	Interdictions aux TMD susceptibles de provoquer une explosion importante.
C	Interdictions aux TMD susceptibles de provoquer une explosion importante, une fuite toxique importante ou un incendie important.
D	interdiction aux TMD susceptibles de provoquer une explosion très importante, une fuite toxique importante ou un incendie important.
E	interdiction à tous les TMD (sauf les numéros ONU 2919, 3291, 3331, 3359 et 3373).

Le choix de la catégorie, affectée au tunnel, fixe de manière précise quels sont les TMD autorisés dans le tunnel et quels sont ceux qui ne le sont pas. « Aucune dérogation ni aucune modification à la liste des TMD autorisés/interdits dans un tunnel d'une catégorie donnée, ne sont prévues » (*note d'information N°17, application de la nouvelle réglementation sur les marchandises dangereuses dans les tunnels routiers, CETU août 2009*). Chaque TMD reçoit un code de restriction en tunnel (une lettre de B à E, la lettre A autorisant toutes les MD car elle correspond à aucune restriction) et ne peut

circuler que dans les tunnels affectés d'un code se situant avant son code de restriction selon l'ordre alphabétique.

#### 1.1.2.1 EXEMPLE A :

- ▶ un TMD de code C peut seulement passer dans les tunnels de catégories A et B,
- ▶ un TMD de code E peut seulement passer dans les tunnels de catégories A, B, C et D.

Le code de restriction peut dépendre de la quantité et/ou de l'emballage :

- ▶ code suivi de « / » selon s'il s'agit d'un transport en citerne ou en vrac,
- ▶ code suivi de « 1000 » si la quantité est supérieure à 1000 Kg,
- ▶ code suivi de « 5000 » si la quantité est supérieure à 5000Kg.

#### 1.1.2.2 EXEMPLE B:

- ▶ B/D signifie que le transport est affecté du code de restriction :
  - B lorsque le TMD se fait en citerne, donc le TMD peut seulement passer dans les tunnels de catégorie A,
  - D dans tous les autres cas, donc le TMD peut seulement passer dans les tunnels de catégorie A, B et C,
- ▶ C5000E signifie que le transport est affecté du code de restriction :
  - C si la quantité transportée est supérieure à 5000Kg, donc le TMD peut seulement passer dans les tunnels de catégorie A et B,
  - E si la quantité transportée est inférieure ou égale à 5000Kg, donc le TMD peut passer dans les tunnels de catégories A, B, C et D.

Le choix de la catégorie peut nécessiter une analyse de risque basée sur le calcul de risque intrinsèque et, selon le résultat du calcul, d'un examen des différents itinéraires utilisables par les TMD (une note du CETU\*, le Centre d'Études des Tunnels, explique la méthodologie à suivre pour choisir la catégorie). « La notion de tunnel n'étant pas définie dans l'ADR, ses dispositions s'appliquent à tous les ouvrages routiers souterrains ouverts à la circulation publique, quelle que soit la longueur et quel

---

\* Le CETU est un organisme du réseau technique et scientifique du ministère français de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire. Il a pour champ de compétence l'ensemble des techniques et méthodes relatives à la conception, la construction, l'entretien, l'exploitation et la sécurité des tunnels routiers.

que soit le maître d'ouvrage, dès lors qu'on y applique des restrictions aux TMD. Ainsi une restriction aux TMD dans un tunnel routier de moins de 300m ne peut se faire qu'en l'affectant à l'une des cinq catégories, même s'il n'est pas soumis à la réglementation concernant la sécurité des tunnels routiers».

### 1.1.2.3 CODE DE RESTRICTION

Le code est déterminé par le transporteur et figure dans les documents de bords.

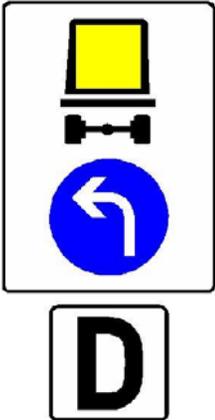
### 1.1.2.4 SIGNALISATION

La nouvelle réglementation exige une signalisation adaptée (arrêté du 24 novembre 1967 modifié, relatif à la signalisation des routes et des autoroutes, instruction interministérielle sur la signalisation routière du 13 août 1977 modifiée).

Les tunnels de catégorie A n'exigent aucune signalisation particulière.

Les autres tunnels exigent une pré signalisation et une signalisation dont la nature et l'emplacement sont spécifiés dans la réglementation :

- ▶ une pré signalisation assurée au moyen du nouveau panneau C117 et du panneau M4z,
- ▶ une signalisation assurée au moyen du panneau B18c et du panneau M4z.

	PANNEAU D'INDICATION C117 ACCOMPAGNÉ DU PANONCEAU M4Z PRÉCISANT LA CATÉGORIE DE TUNNEL	PANNEAU D'INTERDICTION B18C ACCOMPAGNÉ DU PANONCEAU M4Z PRÉCISANT LA CATÉGORIE DU TUNNEL
PANNEAUX	 <p>C117 + M4z</p>	 <p>B18c + M4z</p>

Les prescriptions contenues dans l'ADR visent à uniformiser les conditions de passage dans des tunnels, mais la catégorisation des tunnels reste du ressort des gérants d'infrastructure et autorités compétentes locales, régionales ou nationales.

## 1.2 SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS

En France, le TMD (routier, ferroviaire et fluvial) est également soumis aux prescriptions du texte réglementaire dit arrêté TMD 2009. Cet arrêté regroupe et remplace les anciens arrêtés ADR, RID et ADN. Les accords internationaux, comme l'ADR, sont transposés en droit français par les arrêtés ministériels et sont d'application obligatoire pour les transports nationaux et internationaux. L'arrêté « TMD » est modifié lors de chaque commission interministérielle du Transport des Matières Dangereuses. La réglementation française prévoit de nombreuses mesures supplémentaires pour prévenir les accidents telles que :

- ▶ L'homologation et les visites techniques régulières des véhicules,
- ▶ Le recours à des citernes ou des emballages particuliers en fonction des produits transportés,
- ▶ La désignation d'un conseiller à la sécurité au sein de toute entreprise qui charge, transporte, ou décharge des MD, conseiller devant posséder une qualification professionnelle,
- ▶ Les conditions de transport de réservoirs fixes de stockage de GPL, en cas de maintenance ou de réparation, de transfert de ces hydrocarbures vers une citerne,
- ▶ La durée de validité du certificat d'agrément des emballages pour les marchandises de classe 1,
- ▶ Les dispositions relatives aux formations « classe 1 » et « citerne » pour l'équipage du véhicule.

La réglementation exige de l'entreprise qu'elle forme ses personnels, fournisseurs, manutentionnaires, ou destinataires et qu'elle fournisse les équipements et documents nécessaires pour assurer en toute sécurité le TMD.

Si l'arrêté s'applique aux transports nationaux et internationaux de marchandises dangereuses effectués en France, il s'applique également aux opérations de chargement et déchargement, de transfert d'un mode de transport à un autre et aux arrêts nécessités par les circonstances du transport.

La réglementation ne prévoit pas **d'interdiction par défaut systématique mais plutôt une analyse comparative des risques**. Selon le cas, le TMD peut être autorisé sans restriction, autorisé avec mesures de protection supplémentaires ou interdit. L'interdiction concerne généralement les villes.

## 1.3 DANS LES AUTRES PAYS

Les autres pays de l'Union Européenne s'appuient sur la directive européenne et principalement sur l'ADR.

## 2 REGLEMENTATION EN AMERIQUE DU NORD

### 2.1 LA RÈGLEMENTATION CANADIENNE

Le TMD est régi par la loi sur le TMD, le règlement sur le TMD, des arrêtés provisoires ainsi que les règlements propres aux provinces.

#### 2.1.1 LA LOI

La loi de 1992 sur le transport de marchandises dangereuses a fait l'objet de modifications entrées en vigueur le 16 juin 2009. Outre la prévention d'incident au cours de la manutention, la demande de transport, le transport et l'importation de marchandises dangereuses, la nouvelle loi traite à présent la sécurité et la sûreté en cas d'incident de marchandises dangereuses.

En termes de sécurité les points suivants ont subi des modifications :

- ▶ la définition du rejet de MD,
- ▶ le programme de plan d'intervention d'urgence,
- ▶ le périmètre contrôlé par l'inspecteur,
- ▶ la notion d'importateur.

En terme de sûreté, la nouvelle loi établit des exigences lors de la manutention, du transport, de la demande de transport telles que :

- ▶ exiger des plans et des formations de sûreté,
- ▶ permettre l'utilisation de mesure de sûreté et d'arrêté d'urgence,
- ▶ permettre au Règlement d'exiger le suivi des MD et le signalement en cas de perte ou de vol,
- ▶ exiger des habilitations de sécurité pour les camionneurs qui transportent des MD.

Elle constitue l'élément législatif principal au Canada réglementant les expéditeurs et transporteurs de marchandises dangereuses, et s'applique aux modes de transports ferroviaires, routiers, maritimes et aériens. Des éléments de cette loi et du règlement cité ci-dessous sont incorporés par référence dans les règlements de contrôle routier par la majorité des gouvernements provinciaux.

Bien que la loi réglemente plusieurs aspects du TMD (identification, documentation, contenant), elle ne contient aucune exigence réglementant le TMD dans les tunnels, ou l'utilisation de parcours emprunté par les TMD. **Ceci est de la responsabilité des gouvernements provinciaux.**

Quelques provinces réglementent les itinéraires empruntés par les TMD. **Par exemple la Province du Québec interdit le TMD dans les tunnels (cf. 2.1.5).**

#### Remarque :

CT 61100 - 05 Les solutions « tunnel » - partie A - Annexe 6 Synthèse concernant la réglementation TMD

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

Les transporteurs commerciaux canadiens de marchandises dangereuses qui entrent ou traversent les États – Unis sont soumis à une vérification de leurs antécédents (comme celle requise d'un transporteur de marchandise dangereuse américain).

## 2.1.2 LE RÈGLEMENT TMD

Ce règlement traite les différents modes de transport (routier, ferroviaire, maritime et aérien). Organisé de façon similaire à l'ADR, le règlement classe les MD selon les mêmes 9 classes et liste les formations, documents, signalisations, contenants exigés pour le TMD.

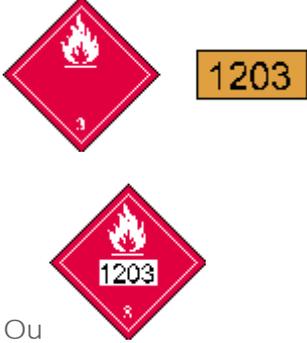
Le règlement est découpé en 16 parties et comprend 3 annexes qui sont les suivantes :

PARTIES	CONTENU
Partie 1	entrée en vigueur, abrogation, interprétation
Partie 2	classification
Partie 3	documentation
Partie 4	indications de danger - marchandises dangereuses
Partie 5	contenants
Partie 6	formation
Partie 7	plan d'intervention d'urgence
Partie 8	exigences relatives aux rapports de rejet accidentel et de rejet accidentel imminent
Partie 9	transport routier
Partie 10	transport ferroviaire
Partie 11	transport maritime
Partie 12	transport aérien
Partie 13	ordres
Partie 14	permis de niveau de sécurité équivalent
Partie 15	ordonnance du tribunal
Partie 16	inspecteurs
Annexe 1	classe 1 à 9
Annexe 2	dispositions particulières
Annexe 3	index alphabétique

L'identification du véhicule requise est donnée dans le tableau ci-dessous.

La réglementation canadienne exige la plaque (danger) et le numéro UN.

Tableau 3: identification des véhicules

<p><b>Plaques et étiquettes visibles apposées sur le véhicule</b></p>		 <p>Ou</p>
<p><b>Conditions d'étiquetage de véhicules</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MD ont des UN différents et aucun PIU (plan d'intervention d'urgence) n'est demandé pour au moins l'une de celles – ci</li> <li>- envoi de plus de 500Kg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gaz ou liquide transporté directement dans un grand contenant (citerne) et les MD ont le même UN</li> <li>- Envoi de plus de 4000 Kg dont le numéro UN est le même</li> <li>- La quantité dépasse l'indice PIU (Plan d'Intervention d'Urgence) et les MD ont le même UN</li> <li>- MD ont des UN différent et 1 PIU est exigé pour au moins l'une d'elle (UN de la ou des MD dont le PIU est exigée)</li> <li>-MD ont des UN différents et un PIU est exigé pour toutes les MD</li> </ul>

Ces plaques sont apposées sur chaque côté et à chaque extrémité d'un grand contenant. La plaque peut être apposée de façon permanente sur un châssis de camion par exemple.

### 2.1.3 L'ARRÊTÉ « TMD » PROVISOIRE : « ARRÊTÉ D'URGENCE CONCERNANT LA PERTE OU LE VOL DE MARCHANDISES DANGEREUSES OU TOUTE AUTRE ATTEINTE ILLICITE À CELLES – CI »

Un arrêté (gazette du Canada Partie I, vol.143, n°32 – le 8 août 2009) dénommé « arrêté d'urgence concernant la perte ou le vol de marchandises dangereuses ou toute autre atteinte illicite à celles-ci » a été mis en place de façon provisoire. Cet arrêté a pour objet de diminuer ou éliminer des potentielles menaces de sûreté. Il impose que tout vol ou perte de marchandises dangereuses fasse l'objet de rapport d'incident, exigence actuellement absente du règlement sur le transport de marchandises dangereuses. Cet arrêté a été mis en place de façon provisoire pour assurer la sécurité publique pendant les Jeux Olympiques de 2010 à Vancouver et au sommet du G8 qui se tiendra en juin 2010 à Huntsville (Ontario).

L'arrêté donne les renseignements (nom et adresse de la personne faisant le rapport, de l'expéditeur, du destinataire; la classification et quantité de la marchandise transportée et volée ou disparue) à inscrire dans le rapport d'incident à transmettre à CANUTEC (centre canadien d'urgence transport qui assure la sécurité aérienne, maritime, ferroviaire et routière ainsi que le transport sécuritaire des marchandises dangereuses).

#### 2.1.4 ARRÊTÉ D'URGENCE RELATIF AU TRANSPORT DE MARCHANDISES DANGEREUSES – VANCOUVER 2010 (À DESTINATION OÙ À L'INTÉRIEUR DE ZONES D'ACCÈS CONTRÔLÉ OU À TRAVERS CELLES – CI)

Cet arrêté d'urgence fait suite aux exigences définies par la gendarmerie royale du Canada et repose sur les travaux du groupe de travail technique pour la surface. Il établit 13 zones d'accès entourant les sites olympiques où se tiendront les compétitions et d'autres sites non olympiques à Vancouver, à Whistler et aux alentours de ces villes. Tout TMD à destination, à l'intérieur ou au travers de l'une de ces zones fera l'objet d'un contrôle. Les heures pendant lesquelles il est permis de se livrer à la manutention, à la présentation au transport et au transport de marchandises dangereuses y sont également consignées. Il cessera d'avoir effet le 3 mars 2010 à minuit.

#### 2.1.5 LA RÉGLEMENTATION AU QUÉBEC

Le code de la sécurité routière du Québec qui s'applique sur l'ensemble des chemins publics du Québec, **traite des règles de circulation en tunnel (C-24.2, r.4.2.1, section XI)**. Ces règles spécifient qu'il est interdit de circuler dans le tunnel Louis – Hippolyte – Lafontaine, dans les tunnels Ville – Marie et Viger à Montréal, dans le tunnel Joseph – Samson à Québec ou dans la partie de la voie d'accès au tunnel de Melocheville qui est parallèle à la voie réservée aux véhicules transportant des MD :

- ▶ avec un véhicule routier sur lequel doivent apparaître des plaques conformément à la partie 4 du Règlement sur le transport des marchandises dangereuses à moins qu'il ne transporte que des MD de la classe 9,
- ▶ avec un véhicule routier transportant un liquide inflammable de la classe 3, à moins que la capacité totale des contenants n'excède pas 30 litres,
- ▶ avec un véhicule routier qui transporte ou utilise des bouteilles à gaz des classes numérotées 2.1, 2.3 (2.1), 2.2 (5.1) et 2.3 (5.1), sauf si ces matières sont dans au plus 2 bouteilles de 46 litres maximum chacune,
- ▶ avec un véhicule routier muni d'un équipement en fonction qui génère une flamme nue.

Ces restrictions s'appliquent en toute circonstance.

Le tableau ci – dessous résume ce qui est autorisé et ce qui ne l'est pas dans ces tunnels.

Tableau 4: règles de circulation dans les tunnels et ponts-tunnels

Marchandises transportées	Ce qui est autorisé	Ce qui est interdit
Gaz inflammable Gaz inflammable avec une classe subsidiaire comburante Gaz toxique avec une classe subsidiaire inflammable Gaz toxique avec une classe subsidiaire comburante	2 bouteilles d'une capacité de 46 litres chacune au maximum.	Une bouteille dont la capacité excède 46L Plus de 2 bouteilles peu importe la capacité.
Liquide inflammable de classe 3	Un contenant ou ensemble de contenant dont la capacité totale n'excède pas 30L	Un contenant ou ensemble de contenant dont la totalité excède 30L.
MD dont la quantité transportée exige l'apposition de plaques sur le véhicule.	TMD de classe 9 seulement	TMD des produits appartenant aux classes 1 à 8
Équipement produisant une flamme nue	Flamme éteinte	Flamme allumée
Une ou des bouteilles de gaz inflammable à l'intérieur ou extérieur de véhicules « récréatifs » (butane, propane).	2 bouteilles d'une capacité de 46 litres chacune au maximum.	Une bouteille dont la capacité excède 46L Plus de 2 bouteilles peu importe la capacité.

L'interdiction ou non du TMD dans le tunnel est sous la responsabilité du Ministère des Transports du Québec qui peut interdire les MD si l'étude de risque exigée par le ministère le recommande. La méthodologie de l'étude de risque est élaborée, convenue et validée en collaboration avec la firme d'ingénieurs mandatée à la réalisation de la construction d'un nouveau tunnel.

Toutefois, en se basant sur l'expertise déjà acquise auprès des tunnels actuellement réglementés, il faut préciser que tout nouveau tunnel peut être systématiquement interdit à la circulation des matières dangereuses sans une étude de risque si le ministère le juge nécessaire.

Seuls les tunnels cités dans la réglementation sont interdits au TMD. D'autres tunnels, localisés dans la même province du Québec et à Montréal même, ne font pas l'objet de cette restriction. L'interdiction vise les tunnels où l'évacuation de la fumée et des produits toxiques s'effectuent le plus difficilement.

Tableau 5: caractéristiques des tunnels routiers de la province du Québec

TUNNEL	LONGUEUR	PROVINCE	CARACTÉRISTIQUE	TMD DANS LES TUNNELS
Louis Hippolyte La Fontaine	1500m	Québec	Passe sous le Saint – Laurent et relie l'île de Montréal à la transcanadienne.	interdit
Ville Marie	1500m	Québec	Au cœur de Montréal	interdit
Viger	800m	Québec		interdit
Atwater	222m	Québec	Ville de Montréal	autorisé
Saint Marc	220m	Québec	Ville de Montréal	autorisé
Saint Rémi		Québec	Ville de Montréal	autorisé
Sainte Marguerite		Québec	Ville de Montréal	autorisé
Melocheville	227,6m	Québec	Sous la voie maritime du Saint Laurent	autorisé – mode de gestion spécifique

## 2.1.6 LA RÉGLEMENTATION AUX ÉTATS-UNIS

Le règlement relatif au transport de marchandises dangereuses est contenu dans le « Code of Federal Regulations, title 49, parts 100 to 185 ». Ce code s'applique à tous les modes de transport mais il ne contient pas de dispositions équivalentes à celle de l'ADR concernant les tunnels.

Cette partie du code se découpe ainsi :

- titre 49 concerne le transport
  - ▶ le chapitre 1 est relatif au pipeline et à l'administration de sécurité du matériel dangereux, et au département du transport subdivisé en 3 sous chapitres :
    - subchapter A – transport d'huile et de marchandises dangereuses
    - subchapter B - transport d'huile
    - subchapter C – règlement des marchandises dangereuses.

Le gouvernement fédéral des États-Unis n'impose pas directement des restrictions sur les TMD dans les tunnels. Cette décision est laissée aux gouvernements des différents États. Le département américain de la « Federal Motor Carrier Safety transports » travaille pour compiler un registre des exigences de l'État.

Le Colorado dispose d'un règlement de la circulation relatif à l'utilisation des tunnels sur les routes nationales. Ce règlement donne des lignes directrices pour les utilisateurs du tunnel et des règles spécifiques pour les TMD :

- les règles de conduite à suivre dans le tunnel (feux éclairés, interdiction de s'arrêter sauf en cas d'urgence..),
- les conditions de passage dans le tunnel selon la taille ou le poids des véhicules,
- les mesures supplémentaires propres aux tunnels Eisenhower/Johnson :
  - ▶ circulation possible sous certaines conditions, pour des marchandises d'ordinaire interdites mais ne pouvant emprunter les itinéraires alternatifs,
  - ▶ avertir l'équipe de maintenance à l'entrée du tunnel selon la quantité de la marchandise dangereuse transportée,
- les restrictions générales à l'utilisation de ce tunnel :
  - ▶ l'interdiction de violer les règles d'utilisation du tunnel,
  - ▶ appliquer les restrictions auxquelles sont sujets les TMD,
- le paragraphe 10 traite du TMD en précisant quelles sont les marchandises dangereuses et à quelles règles du règlement elles sont soumises.

### 3 SYNTHÈSE CONCERNANT LA RÉGLEMENTATION

La réglementation varie d'un pays à l'autre, et le cas échéant d'un état à l'autre au sein d'un même pays. Un certain nombre d'éléments sont toutefois récurrents

En général la réglementation précise :

- pour ce qui concerne les TMD eux-mêmes :
  - les formations requises du chauffeur en fonction de la nature de la MD transportée,
  - les obligations des intervenants (expéditeur, transporteur, chargeur...),
  - les documents de transports,
  - les contrôles et épreuves techniques des véhicules,
  - l'étiquetage des MD et l'identification des véhicules.
- pour ce qui concerne les infrastructures :
  - des exigences techniques,
  - des règles de circulation,
  - des contraintes d'exploitation.

Aucune règle n'autorise ou n'interdit le passage de MD dans les tunnels.

Cette autorisation, interdiction ou restriction, prend en compte le contexte, les caractéristiques de l'ouvrage et si besoin requiert une étude de risque.

En l'absence de principe/règle systématique, le transit des MD dans (ou sur) une infrastructure doit faire l'objet d'une étude spécifique.

Les paramètres à étudier sont :

- le trafic (volume, type, itinéraire),
- les caractéristiques des différentes infrastructures par rapport aux itinéraires possibles, afin d'évaluer les risques intrinsèques respectifs.

Les conclusions peuvent être :

- l'interdiction absolue,
- l'autorisation avec mesures de restriction et/ou compensation,
- l'autorisation.

Les conséquences d'une autorisation aux TMD sont en générales lourdes pour ce qui concerne la conception et l'exploitation d'une infrastructure souterraine (en particulier et par exemple le dimensionnement et les fonctionnalités de la ventilation).

En l'absence de démarche structurée et imposée règlementairement, on se propose dans cette note, à titre d'exemple, de vous exposer la démarche appliquée pour les Dossiers de Sécurité français.

## 4 DEMARCHE CONSEILLÉE

### 4.1 PROPOSITIONS RELATIVES AU REMPLACEMENT DU PONT CHAMPLAIN

L'analyse de la réglementation présentée ci-dessus montre que pour le Québec il n'y a pas d'interdiction à priori pour le passage des TMD en tunnel. La réglementation actuellement en vigueur montre toutefois que le régime de l'interdiction a été pris pour tous les principaux tunnels au Québec. Cette décision relève du Ministère des Transports du Québec après analyse du dossier d'études de risques.

A l'heure actuelle, les TMD transitent sur le pont Champlain. Toutefois aucun élément n'a pu être recueilli concernant le volume de trafic de TMD, la nature des produits transportés, ainsi que leurs origines et destinations.

Il est impossible de statuer au vu des éléments disponibles à l'heure actuelle, dont la teneur est insuffisante.

Il est indispensable:

- ▶ De mieux connaître le TMD à ce jour et ses capacités d'évolution : volume de trafic – nature des produits transportés – origines et destinations – conditions particulières de circulation,
- ▶ D'analyser l'impact d'une interdiction dans l'hypothèse du remplacement du Pont Champlain par un tunnel, et notamment d'évaluer les itinéraires alternatifs éventuels, et vraisemblablement procéder à la mise au point d'un plan de transport des TMD.
- ▶ De procéder à une analyse préliminaire des risques et de dangers, ainsi que du plan d'intervention des secours.
- ▶ De procéder, sur la base de ces informations complémentaires, à un premier dialogue avec le Ministère des Transports du Québec pour explorer la probabilité de l'application de la règles de l'interdiction, ou non.

A défaut d'existence de procédures et de méthodologies particulières au Québec, nous avons décrits ci-dessous, à titre d'exemple les dispositions qui seraient applicables en France dans des conditions similaires de développement du projet.

## 4.2 EXEMPLE : LES DISPOSITIONS APPLICABLES EN FRANCE

### 4.2.1 LE DOSSIER DE SÉCURITÉ DES TUNNELS ROUTIERS FRANÇAIS

La circulaire interministérielle n°2000-63 du 25 août 2000, relative à la sécurité dans les tunnels du réseau national, prescrit au maître d'ouvrage (en association avec l'exploitant pour les tunnels en service) l'établissement d'un dossier de sécurité pour tous les tunnels du réseau routier national d'une longueur supérieure à 300m.

Le dossier de sécurité est un ensemble de documents décrivant le fonctionnement de l'ouvrage, son environnement et les moyens mis en œuvre pour garantir la sécurité.

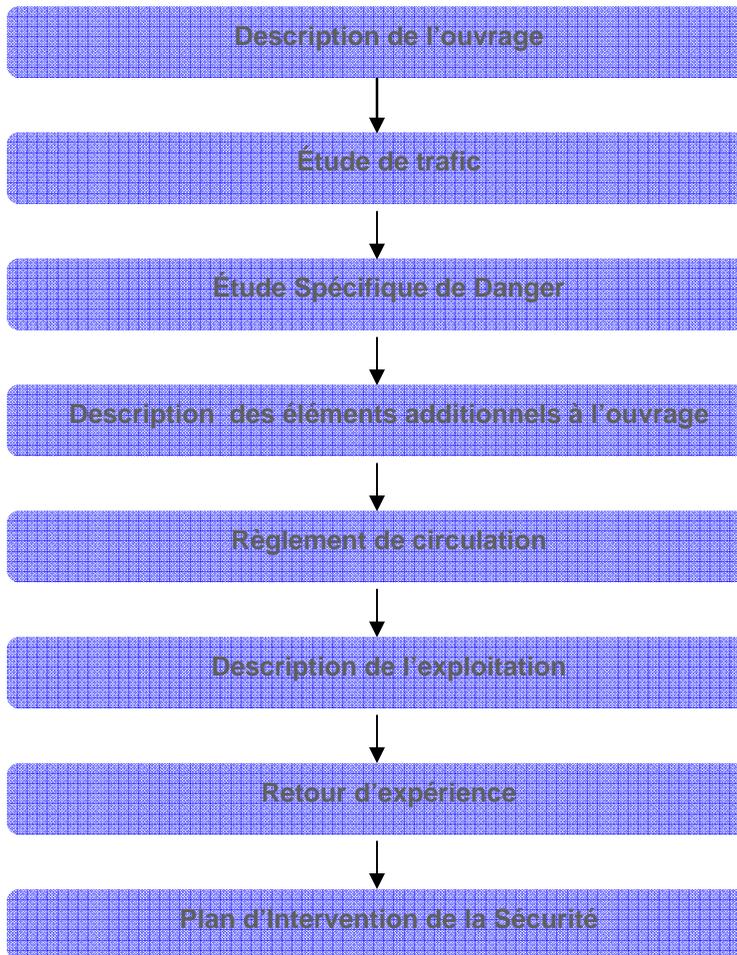
Ce dossier a pour objectif :

- d'élaborer une base de référence en matière de sécurité,
- de fournir les documents nécessaires à l'exploitation de l'ouvrage en toute circonstance,
- de réaliser des études permettant d'évaluer le niveau de sécurité de l'ouvrage.

Il permet au maître d'ouvrage et à l'exploitant :

- d'analyser avec les autres intervenants l'ensemble des facteurs ayant une incidence sur la sécurité des usagers,
- de prendre les dispositions les mieux adaptées.

Le dossier de Sécurité comporte les éléments ci – dessous :



Selon qu'il s'agit d'un tunnel en exploitation ou d'un ouvrage neuf la composition du dossier peut varier.

Le contenu requis pour chaque document du Dossier de Sécurité est détaillé ci après.

#### 4.2.2 DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Ce document décrit l'ouvrage projeté et est assorti d'un dossier de plans.

Il comprend :

- la description de l'ouvrage et de son environnement (caractéristiques principales, aménagement en surface, structure, profil en long et en travers, ....)
- sa classification (urbain, bidirectionnel....),
- sa localisation géographique,

- sa tenue au feu.

## 4.2.3 ÉTUDE DE TRAFIC

L'objectif de cette étude est de décrire et d'analyser le trafic actuel et prévisible. Il s'agit d'une part de quantifier le trafic, et d'autre part d'identifier la nature des véhicules.

### 4.2.3.1 VOLUME DU TRAFIC

Des données de comptage sont nécessaires à cette étude.

L'analyse des données de trafic apportent les informations suivantes :

- le taux moyen journalier annuel (TMJA) qui correspond au nombre de véhicules passant par jour sur l'axe considéré (calculé sur une année). Calculé sur plusieurs années, la comparaison des TMJA montre l'évolution du trafic sur l'axe,
- l'identification des heures de pointes ainsi que le pourcentage des différents types de véhicules pendant ces heures de pointes,
- la répartition en pourcentage des véhicules : bus, véhicule léger, poids lourd,
- l'évolution du trafic en journée afin, selon les heures, d'identifier l'état du trafic : fluide, dense, congestionné ou bloqué.

**Cette étude outre la connaissance du trafic de l'axe, donne également des informations quant aux conséquences prévisibles d'un incident.**

### 4.2.3.2 NATURE DES VÉHICULES

L'identification de la nature des véhicules répond à deux objectifs :

- la présence ou non de TMD,
- la nature des marchandises dangereuses donc leurs dangers (inflammables, explosives...).

L'identification de la nature des marchandises transportées est possible par l'observation et l'enregistrement des plaques d'identification du véhicule.

## 4.2.4 ÉTUDE DES ITINÉRAIRES ALTERNATIFS

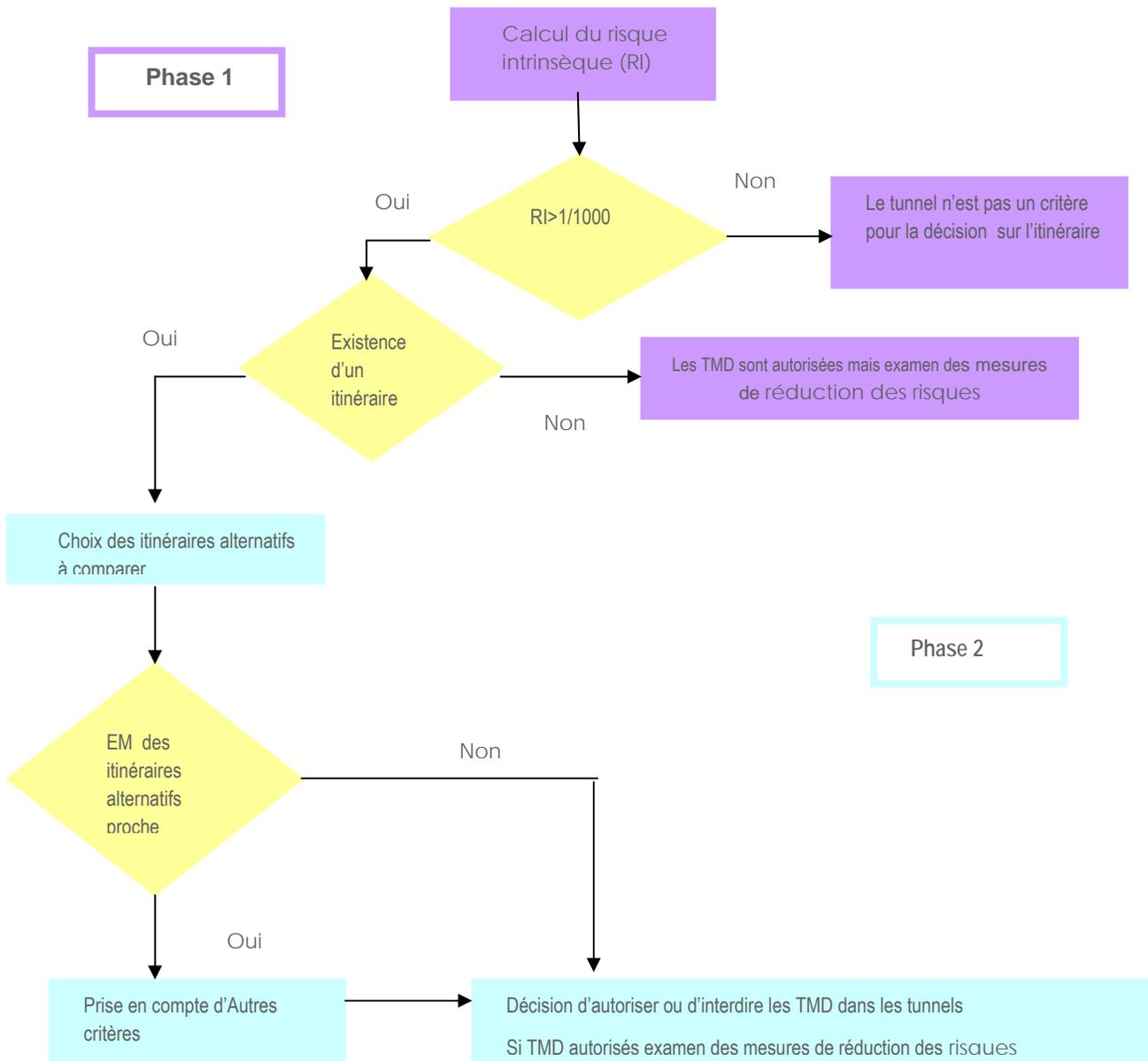
D'une manière plus générale on s'intéresse au réseau dans lequel s'insère l'infrastructure. La notion d'itinéraire alternatif a son intérêt à la fois dans l'hypothèse d'une interdiction mais aussi en exploitation courante en cas de congestion ou de blocage de trafic.

Il convient de recenser les itinéraires alternatifs en prenant en compte :

- l'environnement de ces itinéraires comme par exemple la présence des lieux publics environnants,

- le trafic.

Le logigramme ci – dessous résume les étapes à suivre dans le choix de l'autorisation ou non du passage de TMD dans le tunnel :



La prise de décision quant à l'autorisation ou pas des TMD dans les tunnels s'effectue en deux phases :

- **phase 1** : calcul du Risque Intrinsèque (RI) utilisé au moyen du modèle EQR, Évaluation Quantitative des Risques. Il s'agit d'un modèle permettant de déterminer quel est l'itinéraire qui présente le moins de risques. Ce modèle prend en compte les fréquences d'accident, les conséquences physiques des incidents dans le(s) tunnel(s) et le long des routes en plein air, les possibilités de s'échapper, les effets de danger. Si  $RI < 10^{-3}$  le tunnel ne constitue pas un critère pour le choix du régime TMD de l'itinéraire. Il est alors conseillé de « pousser plus en avant l'analyse des risques TMD en tunnel ». Si  $RI > 10^{-3}$  il faut rechercher l'existence d'un ou plusieurs itinéraires alternatifs pour les TMD. S'il n'existe aucun autre itinéraire (cas exceptionnel) alors l'itinéraire du tunnel s'impose, et des mesures pour limiter le risque sont à prendre. Si un seul autre itinéraire existe il faut passer à la phase 2.
- **Phase 2** : les résultats du modèle EQR ne sont plus analysés sous l'angle du RI mais de l'Espérance Mathématique (EM) qui correspond au nombre moyen de tués par an. Ce seul critère peut aider à trancher dans le choix des itinéraires. Trois itinéraires alternatifs maximum sont à comparer, et les itinéraires les plus proches sont à considérer. Ensuite il s'agit de comparer les EM de chaque itinéraire, 2 à 2, pour décider si l'écart est significatif ou pas :
  - Le rapport d' $EM > 10$  il existe une différence significative entre les itinéraires et le choix se base sur ce seul critère,
  - Le rapport d' $EM < 3$  la différence est non significative et d'autres critères<sup>†</sup> sont nécessaire à la prise de décision,
  - Le rapport est d' $EM$  est inférieur à 10 mais supérieur à 3 la différence est significative si l'étude de sensibilité<sup>‡</sup> met en évidence des situations jugées plausibles où l'écart est d' $EM > 10$  et jamais inférieur à 3.

## 4.2.5 ÉTUDE DE DANGER

Le danger en autorisant le passage des TMD dans le tunnel porte certes sur les usagers mais aussi sur l'ouvrage lui – même et son environnement immédiat (bâti en surface, terrain encaissant). C'est

---

<sup>†</sup> Les autres critères sont : la vulnérabilité des autres itinéraires, les accidents de TMD n'impliquant pas de MD, les implications économiques.

<sup>‡</sup> Étude de sensibilité : variation des valeurs des paramètres les plus importants.

pourquoi une étude de danger illustrant les conséquences d'un incident (accident) survenant en présence d'un TMD ou dû à ce transport semble nécessaire dans la prise de décision.

#### 4.2.5.1 L'ÉVALUATION DU RISQUE

L'étude de danger a pour but d'identifier et d'évaluer les risques de l'ouvrage afin de proposer des mesures permettant de les maîtriser à priori.

Pour rappel, le risque est la combinaison de la probabilité d'occurrence et des conséquences de la survenue d'un évènement dangereux spécifié.

Au préalable il est vivement conseillé de faire une analyse fonctionnelle, soit de préciser de quelle manière l'ouvrage et ses équipements assurent des fonctions de sécurité.

La démarche proposée est de :

- **Étape 1** : modéliser l'ouvrage par un découpage en sous – système comme par exemple les suivants
  - sous – système dit « sources de dangers externes » (usagers, piétons),
  - sous - système dit « dysfonctionnement du système tunnel » (équipements, procédures),
  - sous – système dit « facteurs d'influence » (environnement règlementaire, contrainte d'exploitation),
- **Étape 2** : identifier les dangers par sous système. Trois familles de dangers sont à distinguer : la situation dangereuse ou accidentogène, l'évènement déclenchant et l'élément aggravant. Chaque danger identifié est évalué à partir de sa probabilité d'occurrence et de son niveau de gravité :
  - la **probabilité d'occurrence** est évaluée pour la survenue d'une situation dangereuses ou accidentogène, d'un évènement déclenchant et pour la présence d'un élément aggravant. Cinq niveaux de **probabilité d'occurrence** sont retenus.

Tableau 6: tableau des probabilités d'occurrence

		Observation	
Classe	Probabilité	périodicité	Exemple
A	Très fréquent	< 1an	Panne, .....
...			
F	Extrêmement improbable	>10 000 ans	Explosion

- pour chaque évènement déclenchant, le niveau de **gravité** est déterminé sur la base d'une évaluation qualitative des conséquences les plus graves susceptibles de se produire, pour chaque élément aggravant, le niveau de gravité peut être incrémenté d'une ou plusieurs unités. Cinq

niveaux de **gravité** sont considérés en fonction des conséquences attendues sur les personnes et sur l'exploitation.

Tableau 7: tableau des niveaux de gravité

		Observation		
Classe	gravité	Conséquences humaines	défaillance	Exemple
1	Mineur	Blessures légères	Incident sans interruption de la circulation	Panne véhicule
...				
5	Catastrophique	Pertes humaines	Défaillance générale : perte de la maîtrise du système	Explosion, incendie non maîtrisé

À partir des définitions données dans les matrices ci – dessus, à chaque entité dangereuse est affecté sa probabilité d'occurrence et son niveau de gravité. Un tableau d'identification des dangers complétés à partir des matrices de probabilité et de gravité est donné en exemple ci – dessous.

Tableau 8: tableau d'identification des dangers

1 – Sous système « Usagers – Piétons – Animaux »							
Identification de la cause		Conséquences potentielles				Risques avant mesure	
Entité dangereuse	Situation dangereuse	Évènement redouté	Sur incident	Effets sur exploitation	Conséquences techniques	P	G
Usagers	Vitesse excessive	Choc véhicule	collision	Perturbation du trafic		A	2

Ce type de tableau est complété pour chaque sous – système énoncé en étape 1. Ces tableaux permettent de disposer d'une liste des risques, et de faire ressortir des points particuliers, complémentaires à l'analyse fonctionnelle. L'objet est de développer de ces tableaux des scénarios particuliers jugés à « haut risque ».

La synthèse de l'ensemble des évènements spécifiques à l'ouvrage étudié listés dans les tableaux des sous systèmes sont reportés dans la matrice de criticité de l'ouvrage.

- **Étape 3** : classification des risques et choix des scénarios. Les évènements sont grisés dans la matrice. Au vue de cette matrice plusieurs évènements retiennent l'attention, mais seul certains cas seront étudiés en détail (par exemple celui dont la fréquence et la gravité sont les plus élevées).

Tableau 9: classification des risques - choix des scénarios

Très fréquent	A	A1				A5
...						
Extrêmement Improbable	F	F1				F5
Probabilité		1				5
gravité		mineure	...			catastro phique

#### 4.2.5.2 LE RISQUE D'INCENDIE

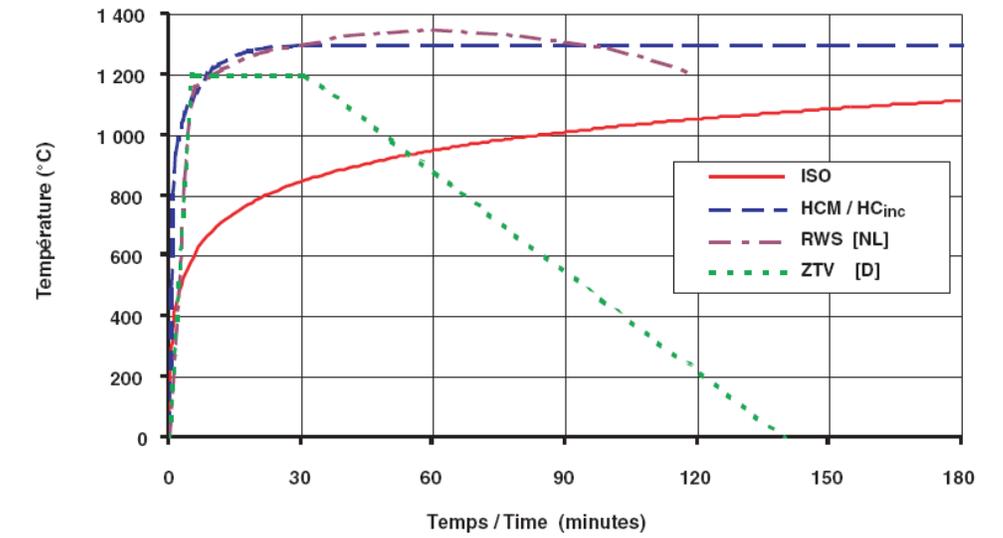
Avec les TMD on craint les incendies et les explosions. Si l'un de ces évènements survient, il est impératif de vérifier la stabilité au feu de l'ouvrage, l'absence de réaction en chaîne, l'intégrité de la structure.

Les recommandations pour la conception de la structure doivent prendre en compte la courbe température – temps en fonction des évènements qui peuvent se produire en tunnel. Plusieurs courbes température – temps ont été proposées et sont représentées sur le graphique ci -dessous:

- la courbe ISO834,
- la courbe RWS,
- la courbe HCM dites Hydrocarbures « majorée ».

Le graphique ci-dessous montre combien un feu HCM ou RWS est plus agressif et destructif qu'un feu ISO (montée en température très rapide et valeur maximale supérieure).

Figure 1: évolution de la température d'un incendie - modélisation par des courbes modèles



A partir de ces courbes il est possible de vérifier la stabilité au feu et d'adopter les mesures de protection de la structure et des équipements si besoin. Il faut tenir compte du temps d'évacuation des usagers et des sauveteurs et assurer qu'il ne se produise aucun effondrement local ou en chaîne qui pourrait avoir pour conséquences :

- - l'envahissement du tunnel par le terrain,
- - des usagers et sauveteurs pris dans les décombres,
- - sur le bâti en surface.

#### 4.2.5.3 LE RISQUE D'EXPLOSION

Avec une explosion les risques sont les mêmes que celui d'un incendie mais avec des conséquences plus graves, potentiellement catastrophiques et avec une probabilité d'occurrence plus réduite.

#### 4.2.6 LE RÈGLEMENT DE CIRCULATION

Il s'agit de recueillir la réglementation applicable à l'ouvrage.

#### 4.2.7 LA DESCRIPTION DE L'EXPLOITATION

Il s'agit de décrire l'exploitation en charge de l'ouvrage en apportant les informations relatives à :

- son implantation,

- son organisation,
- ses missions,
- ses moyens matériels et humains,
- ses modes de fonctionnement.

#### 4.2.8 PLAN D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ (PIS)

Le PIS a pour objet de définir les missions et les responsabilités des personnels de l'exploitant pour les différentes situations susceptibles de mettre en cause la sécurité des personnes, ainsi que les modalités d'alerte des services d'intervention extérieurs et de coordination avec ceux - ci.

Il décrit :

- l'organisation du commandement et la coordination des moyens de l'exploitant, avec la distinction des différents niveaux de responsabilité,
- les modalités de surveillance et d'alerte interne et externe (affichage de consignes, mode de transmission...),
- les cas d'indisponibilité des équipements ou du personnel d'exploitation dans lesquels le tunnel devra être fermé à la circulation parce que la sécurité des personnes n'est pas assurée de façon satisfaisante,
- les événements liés au trafic ou à l'environnement proche du tunnel nécessitant la fermeture de l'ouvrage à la circulation,
- la nature des moyens à engager dans chaque cas en prenant en compte les exigences liées à l'action des services d'intervention extérieurs,
- les dispositions à prendre en matière de gestion du trafic dans l'ouvrage ainsi que sur les voies d'accès et de dégagement,
- les dispositifs de main courante destinés à garder trace des événements, décisions et actions survenant dans l'exploitation.

C'est un document de base de l'exploitation de l'ouvrage.

#### 4.2.9 RETOUR D'EXPÉRIENCE

Le dossier de sécurité est mis à jour grâce à l'analyse des exercices de sécurité annuels et des incidents et accidents. Le retour d'expérience est basé sur l'observation des conditions réelles d'utilisation, de l'analyse des accidents et incidents, des enseignements des exercices annuels, de son exploitation, de son trafic, de son environnement.

## 5 BIBLIOGRAPHIE

### 5.1 RÈGLEMENTATION EUROPÉENNE

#### 5.1.1 RÈGLEMENTATION INTERNATIONALE :

- Directive 95/50/CE du Conseil, du 6 octobre 1995 concernant des procédures uniformes en matière de contrôle des transports de marchandises dangereuses par route (Journal Officiel n°L249 du 17/10/1995),
- Directive 2001/26/CE du parlement européen et du conseil du 7 mai 2001 modifiant la directive 95/50/CE du Conseil, du 6 octobre 1995 concernant des procédures uniformes en matière de contrôle des transports de marchandises dangereuses par route (Journal Officiel n°L168 du 23/06/2001),
- Directive 2004/112/CE de la commission du 13 décembre 2004 portant adaptation au progrès technique de la directive 95/50/CE concernant des procédures uniformes en matière de contrôle des transports de marchandises dangereuses,

#### 5.1.2 RÈGLEMENTATION NATIONALE (FRANCE) :

- Arrêté du 2 décembre 2009 modifiant l'arrêté du 29 mai 2009 (NOR : DEVP0928485A) relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (dit arrêté ADR),
- Arrêté du 5 août 2009 modifiant l'arrêté du 29 mai 2009 (NOR : DEVP0918184A) relatif au transport de marchandises dangereuses par voies terrestres, le texte corrige la durée de validité du Certificat d'agrément des emballages pour les marchandises dangereuses de la classe 1 (matières et objets explosibles),
- Arrêté du 29 mai 2009 relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres dit arrêté ADR (NOR : DEVP0911622A), texte consolidé de l'arrêté ADR du 1er juin 2001 modifié,
- La circulaire interministérielle N° 200-82 du 30 nov. 2000 qui remplace et annule la circulaire N° 76-44 du 12 mars 1976,
- Note d'information du CETU n°17.

### 5.2 RÈGLEMENTATION EN AMÉRIQUE DU NORD

#### 5.2.1 SUR LE TERRITOIRE CANADIEN

- textes codifiés : loi de 1992 sur le transport des marchandises dangereuses

- règlements et décrets en vertu de la loi : arrêté établissant le Comité consultatif sur le transport ferroviaire des marchandises dangereuses dans la région de Toronto (DORS/86-332), Comité consultatif sur la politique générale relative au transport des marchandises dangereuses (DORS/90-153), Règlement sur le transport des marchandises dangereuses (DORS/2001-186).
- Arrêté provisoire
  - Arrêté d'urgence concernant la perte ou le vol de marchandises dangereuses ou toute autre atteinte illicite à celles –ci,
  - Arrêté d'urgence relatif au transport de marchandises dangereuses Vancouver 2010 (à destination où à l'intérieur de zones d'accès contrôlé ou à travers celles –ci).
- Code de la sécurité routière du Québec (C-24.2, r4.2.1, section XI).

## 5.2.2 SUR LE TERRITOIRE DES ÉTATS-UNIS

- Code of Federal Regulations, title 49, parts 100 to 185



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada



# Étude de préféabilité portant sur le remplacement de l'actuel pont Champlain

**Contrat PJCCI no 61100**

**Rapport sectoriel no 5**

**Les solutions « tunnel »**

**Partie B**

Date : Février 2011

CONSORTIUM BCDE





## TABLE DES MATIÈRES

<b>FIGURES</b> .....	<b>VII</b>
<b>TABLEAUX</b> .....	<b>VIII</b>
<b>LISTE DES PLANS ANNEXÉS</b> .....	<b>I</b>
<b>LISTE DES AUTRES DOCUMENTS ANNEXÉS</b> .....	<b>II</b>
<b>GLOSSAIRE</b> .....	<b>III</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>1 DISPOSITIONS ACTUELLES</b> .....	<b>4</b>
1.1 échanges avec les voiries existantes.....	4
1.2 Le programme.....	4
1.2.1 Programme de base .....	4
1.2.2 Options de section transversale .....	4
<b>2 DESCRIPTION DE L'AMÉNAGEMENT</b> .....	<b>5</b>
2.1 tracé en plan .....	5
2.1.1 Caractéristiques.....	5
2.1.2 Coubes de raccordement et devers .....	5
2.2 profil en long.....	6
2.3 raccords aux voies existantes.....	7
2.3.1 Raccords sur l'île des Sœurs .....	7
2.3.1.1 Raccords routiers.....	7
2.3.1.2 Raccordement TCSP .....	7
2.3.2 Raccords en rive droite.....	7
2.3.2.1 Raccords routiers.....	7
2.3.2.2 Raccordement TCSP .....	7
2.4 aménagements associés .....	7
2.4.1 Locaux techniques.....	7
2.4.2 Poste de contrôle et supervision – Centre d'entretien.....	8
2.4.3 Réservoirs incendie – bassins.....	8
2.5 commentaires – informations complémentaires .....	8
<b>3 PROFILS EN TRAVERS FONCTIONNELS</b> .....	<b>9</b>
3.1 Profil en travers type fonctionnel.....	9
3.1.1 Espace de circulation pour les véhicules.....	9
3.1.1.1 Section courante .....	9
3.1.1.2 Élargissement au voisinage de la tête « île des Sœurs » .....	10

## TABLE DES MATIÈRES

3.1.1.3	Élargissement au voisinage de la tête « Rive Droite » .....	10
3.1.2	<i>Galeries d'évacuation</i> .....	10
3.1.3	<i>Gaine d'extraction des fumées</i> .....	11
3.1.4	<i>Espace TCSP</i> .....	11
3.2	Profils optionnels .....	11
3.2.1	<i>Profils en travers fonctionnel sans TCSP</i> .....	11
3.2.1.1	Espace de circulation pour les véhicules privés .....	11
3.2.1.2	Galerie d'évacuation .....	12
3.2.1.3	Gaine d'extraction des fumées .....	12
3.2.2	<i>Profil en travers fonctionnel à 2 x 4 voies</i> .....	12
<b>4</b>	<b>GÉNIE CIVIL ET STRUCTURES</b> .....	<b>13</b>
4.1	rappel des conditions géologiques et géotechniques .....	13
4.1.1	<i>Contexte géologique</i> .....	13
4.1.2	<i>Considérations géotechniques</i> .....	13
4.1.3	<i>Commentaires – reconnaissances complémentaires</i> .....	14
4.2	Dimensionnement des structures en béton .....	14
4.2.1	<i>Introduction et hypothèses générales</i> .....	14
4.2.2	<i>Calcul de la zone courante</i> .....	15
4.2.2.1	Hypothèses de calcul .....	15
4.2.2.2	Résultats .....	15
4.2.3	<i>Calcul de la zone renforcée</i> .....	16
4.2.3.1	Hypothèses de calcul .....	16
4.2.3.2	Résultats .....	16
4.2.4	<i>Précontrainte</i> .....	16
4.2.5	<i>Tenue au feu</i> .....	16
4.2.6	<i>Étanchéité</i> .....	17
4.2.7	<i>Flottaison des caissons</i> .....	17
4.2.8	<i>Commentaires - Autres cas de chargement</i> .....	18
4.3	autres structures .....	18
4.3.1	<i>Bâtiments d'exploitation</i> .....	18
4.3.2	<i>Trémies d'accès</i> .....	18
4.3.3	<i>Ouvrages de soutènement</i> .....	18
4.4	Dimensionnement des caissons pour batardeau .....	19
4.4.1	<i>Introduction</i> .....	19
4.4.2	<i>Hypothèses générales</i> .....	20
4.4.3	<i>Flottaison des caissons</i> .....	20
4.4.4	<i>Caissons en position batardeau</i> .....	20
4.4.4.1	Hypothèses .....	20
4.4.4.2	Vérification de la contrainte sous le radier .....	20

## TABLE DES MATIÈRES

4.4.4.3	Glissement.....	20
4.4.4.4	Renversement .....	21
4.5	autres ouvrages provisoires.....	21
4.5.1	<i>Parois moulées ou rideau de palplanches.....</i>	21
4.5.2	<i>Pont provisoire de l'A132.....</i>	21
<b>5</b>	<b>DISPOSITIONS GÉNÉRALES RELATIVES À LA SÉCURITÉ .....</b>	<b>23</b>
5.1	Sécurité fonctionnelle.....	23
5.1.1	<i>Dispositions générales.....</i>	23
5.1.1.1	Intégration des fonctions de sécurité .....	23
5.1.1.2	Références utilisées.....	23
5.1.2	<i>Problématique du remplacement du Pont Champlain.....</i>	24
5.1.2.1	Éléments actuellement pris en compte .....	24
5.1.2.2	Suites à donner.....	28
5.2	Dispositions à mettre en œuvre .....	28
5.2.1	<i>Espaces constitutifs de l'infrastructure .....</i>	28
5.2.2	<i>Dimensions et espace trafic .....</i>	29
5.2.2.1	Largeur roulable et trottoirs.....	29
5.2.2.2	Hauteur libre, gabarit autorisé.....	29
5.2.2.3	Pentes et profil en long, assainissement et système de drainage .....	29
5.2.2.4	Vue en plan : courbes et visibilité .....	29
5.2.2.5	Espaces annexes .....	29
5.2.3	<i>Tenue, résistance et comportement au feu.....</i>	29
5.2.4	<i>Équipements de sécurité .....</i>	30
<b>6</b>	<b>VENTILATION.....</b>	<b>31</b>
6.1	Description de l'ouvrage .....	31
6.1.1	<i>Géométrie .....</i>	31
6.1.2	<i>Trafic.....</i>	31
6.2	Stratégie de ventilation .....	32
6.2.1	<i>Ventilation sanitaire .....</i>	32
6.2.2	<i>Ventilation incendie.....</i>	32
6.2.2.1	Principe de la phase 1 .....	32
6.2.2.2	Principe de la phase 2 .....	33
6.3	Dimensionnement de la ventilation .....	33
6.3.1	<i>Hypothèses.....</i>	33
6.3.1.1	Aérauliques.....	33
6.3.1.2	Incendie de dimensionnement .....	34
6.3.1.3	Ventilation sanitaire .....	34
6.3.1.4	Débit d'extraction .....	35

## TABLE DES MATIÈRES

6.3.2	<i>Résultats de l'étude de ventilation</i> .....	35
6.3.2.1	Dimensionnement de la ventilation sanitaire.....	35
6.3.2.2	Dimensionnement des systèmes de ventilation.....	36
6.3.2.3	Résultats des simulations d'incendie faites avec le logiciel Camatt.....	38
6.3.3	<i>Mode anti recyclage</i> .....	39
6.3.4	<i>Ventilation de l'espace des transports en commun</i> .....	40
6.3.5	<i>Puissance électrique des scénarios</i> .....	40
6.3.6	<i>Contrôle des conditions atmosphériques</i> .....	40
6.3.7	<i>Contrôle de l'atmosphère</i> .....	40
6.3.8	<i>Ventilation de la galerie d'évacuation</i> .....	41
6.4	option 4 voies de circulation dans chaque sens.....	41
6.4.1	<i>Dimensionnement de la ventilation sanitaire</i> .....	41
6.4.2	<i>Dimensionnement du débit d'extraction</i> .....	41
6.4.3	<i>Dimensionnement des accélérateurs</i> .....	42
6.4.4	<i>Résultats des simulations d'incendie pour un espace de circulation à 4 voies</i> .....	42
6.4.4.1	Phase 1 : Maîtrise du courant d'air.....	42
6.4.4.2	Phase 2 : Désenfumage.....	42
6.4.5	<i>Puissance électrique des scénarios avec 4 voies de circulation</i> .....	43
<b>7</b>	<b>EQUIPEMENTS D'EXPLOITATION ET DE SÉCURITÉ</b> .....	<b>44</b>
7.1	Réseau et alimentation électrique.....	44
7.1.1	<i>Dispositions générales et objectifs</i> .....	44
7.1.2	<i>Principes constructifs – Conception – Description</i> .....	44
7.1.2.1	Livraison de l'énergie.....	44
7.1.2.2	Énergie Moyenne Tension.....	44
7.1.2.3	Distribution Basse Tension.....	44
7.1.2.4	Cheminement des câbles.....	45
7.1.2.5	Alimentation secourue sans coupure.....	45
7.1.3	<i>Bilan prévisionnel de puissance</i> .....	45
7.2	Éclairage.....	46
7.2.1	<i>Dispositions générales et objectifs</i> .....	46
7.2.2	<i>Principes constructifs – Conception – Description</i> .....	46
7.2.2.1	Éclairage de base (tubes VL+PL).....	47
7.2.2.2	Éclairage de sécurité (tubes VL+PL et tube TC).....	47
7.2.2.3	Éclairage de renforcement.....	47
7.2.2.4	Éclairage des galeries de sécurité.....	48
7.3	Ventilation.....	48
7.4	Équipements nécessaires à la supervision et à la surveillance.....	48
7.4.1	<i>Dispositions générales et objectifs</i> .....	48
7.4.2	<i>Principes constructifs – Conception – Description</i> .....	48

## TABLE DES MATIÈRES

7.5	Équipements utiles à la caractérisation et à la régulation du trafic : VL et PL.....	49
7.6	Signalisation et signalétique .....	49
7.7	Réseau d'appel d'urgence .....	49
7.7.1	<i>Dispositions générales et objectifs</i> .....	49
7.7.2	<i>Principes constructifs – Conception – Description</i> .....	50
7.8	Réseau incendie .....	50
7.8.1	<i>Dispositions générales et objectifs</i> .....	50
7.8.2	<i>Principes constructifs – Conception – Description</i> .....	50
7.8.2.1	Extincteurs .....	50
7.8.2.2	Alimentation en eau .....	50
7.9	Communication pour les services d'exploitation et d'intervention .....	50
7.10	Moyens de gestion .....	51
7.10.1	<i>Gestion technique centralisée (GTC)</i> .....	51
7.10.1.1	Dispositions générales et objectifs.....	51
7.10.1.2	Principes constructifs – Conception – Description .....	51
7.10.2	<i>PC – poste de supervision</i> .....	51
7.11	locaux techniques .....	52
7.12	installations d'exploitation .....	53
<b>8</b>	<b>TRANSPORTS DE MATIÈRES DANGEREUSES .....</b>	<b>54</b>
8.1	Éléments d'analyse concernant le transport des matières dangereuses .....	54
8.1.1	<i>Introduction</i> .....	54
8.1.2	<i>Les matières dangereuses et leurs risques spécifiques en tunnel</i> .....	55
8.1.2.1	Les différentes classes de marchandises dangereuses.....	55
8.1.2.2	.Le risque TMD en tunnel.....	55
8.1.3	<i>Les dispositions réglementaires en vigueur au Québec</i> .....	56
8.1.4	<i>Le risque TMD à prendre en compte</i> .....	57
8.1.4.1	Enquête « National Roadside Survey » .....	58
8.1.4.2	Rapport sur « le transport routier des matières dangereuses en Montérégie » .....	58
8.1.5	<i>Les mesures de couverture envisageables</i> .....	64
8.1.6	<i>Analyse préliminaire d'un incendie de 200 MW</i> .....	67
8.1.6.1	Conditions d'exploitation : .....	68
8.1.6.2	Lieu du sinistre : .....	68
8.1.6.3	Évolution de l'intervention : .....	68
8.1.7	<i>Recommandations</i> .....	70
8.2	impact sur la conception de l'ouvrage.....	71
8.2.1	<i>Génie civil</i> .....	71
8.2.2	<i>Ventilation pour un incendie de 200 MW</i> .....	71
8.2.2.1	Stratégie de ventilation .....	71
8.2.2.2	Dimensionnement de la ventilation .....	72

## TABLE DES MATIÈRES

8.2.3	<i>Équipements d'exploitation et de sécurité</i> .....	73
8.2.4	<i>Dispositions d'exploitation et d'intervention</i> .....	73
<b>9</b>	<b>METHODES DE CONSTRUCTION</b> .....	<b>74</b>
9.1	introduction .....	74
9.2	contexte hydraulique .....	74
9.3	méthodes de construction .....	75
9.3.1	<i>Travaux sur berge</i> .....	76
9.3.1.1	BLOC B0 sur l'île des Sœurs .....	76
9.3.1.2	BLOC B11 en rive droite .....	76
9.3.2	<i>Travaux de franchissement du Saint Laurent</i> .....	77
9.3.2.1	Objectifs et concept .....	77
9.3.2.2	Batardeau – constitution – mise en œuvre et déplacements .....	77
9.3.2.3	Particularités .....	79
9.3.3	<i>Traversée de la voie maritime et du plan d'eau jointif</i> .....	79
9.3.3.1	Objectifs et concept .....	79
9.3.3.2	Méthode de construction et phasage des travaux .....	80
9.3.3.3	Terrassements sous la voie maritime .....	81
9.4	principales quantités .....	81
<b>10</b>	<b>PLANNING DE CONSTRUCTION</b> .....	<b>83</b>
<b>11</b>	<b>ESTIMATIONS</b> .....	<b>84</b>
11.1	coûts de construction .....	84
11.1.1	<i>Base des ratios et prix unitaires</i> .....	84
11.1.2	<i>Contenu des estimations</i> .....	84
11.1.3	<i>Synthèse de l'estimation des coûts de construction</i> .....	85
11.1.3.1	Surcoût pour l'option 2 x 4 voies sans TCSP .....	85
11.1.3.2	Économie pour la suppression du TCSP .....	85
11.1.3.3	Surcoût pour le passage des TMD .....	86
11.1.3.4	Comparaison avec l'estimation initiale d'avril 2010 .....	86
11.1.3.5	Estimation de synthèse des coûts de construction .....	87
11.1.4	<i>Échéancier de coûts de construction</i> .....	88
11.2	coûts d'exploitation .....	89
11.2.1	<i>Contenu</i> .....	89
11.2.2	<i>Évaluation des coûts</i> .....	89
11.2.2.1	Grosses réparations .....	89
11.2.2.2	Estimations annuelles des coûts d'exploitation .....	90
<b>12</b>	<b>SYNTHÈSE</b> .....	<b>92</b>
12.1	introduction .....	92

## TABLE DES MATIÈRES

12.2	les éléments principaux .....	92
12.2.1	<i>Tracé en plan et profil en long</i> .....	92
12.2.2	<i>Ouvrages de raccordement et d'échanges</i> .....	93
12.2.3	<i>Section fonctionnelle</i> .....	93
12.2.4	<i>Structures de génie civil</i> .....	93
12.2.5	<i>Installations de ventilation</i> .....	93
12.2.6	<i>Equipements d'exploitation et de sécurité</i> .....	94
12.2.7	<i>Approche préliminaire des dispositions relatives à la sécurité et aux TMD</i> .....	94
12.2.8	<i>Méthodes de construction</i> .....	95
12.2.9	<i>planning prévisionnel des travaux</i> .....	95
12.2.10	<i>coûts de construction et d'exploitation</i> .....	96
12.3	options.....	96
12.4	preconisations .....	96

## FIGURES

Figure 1:	Les fonctions "sécurité" .....	23
Figure 2 :	Principe de la phase 1.....	33
Figure 3 :	Principe de la phase 2.....	33
Figure 4 :	Evolution de la puissance de l'incendie de dimensionnement au cours du temps .....	34
Figure 5 :	Objectif de la phase 1 (contrôle du courant d'air).....	35
Figure 6 :	TMD en Montérégie .....	59
Figure 7 :	TMD en Montérégie - Classe 2 .....	60
Figure 8 :	TMD en Montérégie - Classe 3 .....	60
Figure 9 :	TMD en Montérégie - Classe 8 .....	61
Figure 10 :	TMD en Montérégie - Classe 6 .....	62
Figure 11 :	TMD en Montérégie - répartition horaire du trafic .....	63
Figure 12 :	Pont Champlain - répartition horaire du trafic.....	63
Figure 13:	restrictions horaires de circulation envisageables pour les TMD .....	66
Figure 14:	évolution de la puissance de l'incendie de dimensionnement au cours du temps.....	67
Figure 15 :	diagramme espace / temps de l'évolution d'un incendie de 200 MW .....	69
Figure 16 :	Puissance de l'incendie de dimensionnement lorsque les TMD sont autorisés .....	72
Figure 17 :	graphe des coûts de construction .....	85
Figure 18 :	échancier financiers des travaux de construction .....	88
Figure 19 :	coûts annuels d'exploitation, maintenace et grosses réparations en k\$ HT valeur 2010 .....	91
Figure 20:	graphe cumulé des coûts d'exploitation en M\$ HT valeur 2010.....	91
Figure 21 :	géométrie du modèle et ses appuis élastiques .....	105
Figure 22 :	exemple d'un cas de charge - effets de l'eau sur la structure en zone courante.....	105

## TABLE DES MATIÈRES

Figure 23 : zone courante - moments fléchissants sous charges de service (en kN.m/ml).....	106
Figure 24 : zone courante - efforts normaux sous charges de service (en kN/ml) .....	106
Figure 25: zone courante - efforts tranchants sous charges de service (en kN/ml).....	106
Figure 26 : moments fléchissants sous charges de service (en kN.m/ml).....	107
Figure 27: zone courante - efforts normaux sous charges de service (en kN/ml) .....	107
Figure 28: efforts tranchants sous charges de service (en kN/ml) .....	107
Figure 29 : vue en plan et coupe d'un caisson de batardeau .....	111
Figure 30 : profils longitudinaux du fleuve Saint Laurent.....	121
Figure 31: niveaux d'eau sous le pont de l'estacade.....	122
Figure 32: courbe de tarage des débits du Saint Laurent à l'estacade .....	122
Figure 33 : graphe de l'échéancier financier des travaux de construction du tunnel – montant cumulé des travaux en M\$ valeur 2010 .....	151
Figure 34 - graphe des coûts annuels d'exploitation en k\$ HT valeur 2010 .....	156
Figure 35 : graphe des coûts cumulés d'exploitation en M\$ HT valeur 2010 .....	156

## TABLEAUX

Tableau 1 : Profil en long sens Montreal – Longueuil .....	31
Tableau 2 : Profil en long sens Longueuil - Montreal .....	31
Tableau 3: Hypothèses aérauliques.....	33
Tableau 4 : Seuils de pollution .....	34
Tableau 5 : Débit d'air frais nécessaire à la ventilation sanitaire .....	35
Tableau 6: Nombre d'accélérateurs à démarrer en fonction de la contre pression pour différentes vitesses .....	36
Tableau 7 : Répartition des accélérateurs (PM 0 correspond à l'entrée du tube) .....	38
Tableau 8 : Puissances électriques minimum requises pour le fonctionnement de la ventilation en tunnel .....	40
Tableau 9: Nombre d'accélérateurs en fonction de la contre pression pour différentes vitesses à 4 voies de circulation.....	41
Tableau 10 : Puissances électriques minimum requises pour le fonctionnement de la ventilation en tunnel pour 4 voies de circulation.....	43
Tableau 11 : bilan de puissance électrique .....	45
Tableau 12 : dimensionnement de l'éclairage .....	46
Tableau 13 - classification des matières dangereuses au Québec .....	55
Tableau 14 : Réglementation québécoise concernant les TMD en tunnel .....	57
Tableau 15 : trafic TMD franchissant le Saint Laurent .....	58
Tableau 16 : dispositions réglementaires envisageables pour couvrir les risques .....	65
Tableau 17 : méthodes de construction .....	75
Tableau 18 : phasage de construction des blocs 10, 9 et 8 .....	80

## TABLE DES MATIÈRES

Tableau 19 : Principales quantités à mettre en œuvre .....	81
Tableau 20 : Synthèse des coûts de construction en millions de dollars hors taxe – valeur 2010 .....	85
Tableau 21 : comparaison des estimations des coûts de construction .....	86
Tableau 22 : estimation de synthèse des coûts de construction de la solution 2x3 voies et TCSP .....	87
Tableau 23 : durée de vie des installations .....	90
Tableau 24 : synthèse des sondages de 1964 (estacade).....	101
Tableau 25 : poids d'un élément de batardeau .....	112
Tableau 26 : batardeaux - stabilité au renversement .....	113
Tableau 27: batardeaux - stabilité au glissement.....	113
Tableau 28 :conditions hydrauliques simulées actuelles avec un modèle 2D.....	121
Tableau 29 - estimation détaillée des coûts de construction du tunnel 2 x 3 voies avec TCSP - estimation en k\$ HT valeur 2010.....	137
Tableau 30 : estimation détaillée des coûts de construction du tunnel 2 x 3 voies sans TCSP - estimation en k\$ HT valeur 2010.....	141
Tableau 31 : estimation détaillée des coûts de construction du tunnel 2 x 4 voies avec TCSP - estimation en k\$ HT valeur 2010.....	145
Tableau 32 : estimation de synthèse des travaux de construction - définition des coûts de construction pris en compte dans l'échéancier financier – montants en k\$ HT valeur 2010 .....	149
Tableau 33 : échéancier financier des travaux de construction du tunnel – montants en M\$ HT valeur 2010.....	150
Tableau 34: coûts prévisionnels d'exploitation en k\$ HT valeur 2010.....	155

### Propriété et confidentialité

« Ce document d'ingénierie est l'œuvre du consortium BCDE et est protégé par la loi. Ce rapport est destiné exclusivement aux fins qui y sont mentionnées. Toute reproduction ou adaptation, partielle ou totale, est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite de Les Ponts Jacques-Cartier et Champlain incorporée et du ministère des transports du Québec. »

REGISTRE DES RÉVISIONS ET ÉMISSIONS		
No de révision	Date	Description de la modification et/ou de l'émission
00	17 février 2011	Version finale

## LISTE DES PLANS ANNEXÉS

NUMÉRO	DÉSIGNATION
Plans généraux	
61100-05B-01	Plan général - tracé et profil en long
61100-05B-02	Profils en travers types
61100-05B-03	Profils en travers particuliers et détails
61100-05B-04	Profils en travers – option 4 voies – option sans TCSP
Plans des échangeurs	
61100-05B-05	Echangeur de l'île des Sœurs – vue en plan – coupes transversales
61100-05B-06	Echangeur de l'île des Sœurs – profils en long
61100-05B-07	Echangeur Rive Droite – vue en plan – coupes transversales
61100-05B-08	Echangeur Rive Droite – profils en long
Equipements d'exploitation	
61100-05B-09	Plan synoptique des équipements de sécurité et d'exploitation
61100-05B-10	Profils en travers type avec les équipements d'exploitation
Bâtiments techniques	
61100-05B-11	Bâtiments sur l'île des Sœurs – schémas fonctionnels
61100-05B-12	Bâtiments en Rive Droite – schémas fonctionnels
Méthodes de construction - Phasage des travaux	
61100-05B-13	Plan général synthétique des méthodes et du phage des travaux
61100-05B-14	Méthode et phasage de la zone en rivière
61100-05B-15	Méthodes et phasage traversée voie maritime et rive droite : phases 1 & 2
61100-05B-16	Méthodes et phasage traversée voie maritime et rive droite : phases 3 & 4
Bâtiments techniques	
61100-05B-17	Planning de construction d'un tronçon en rivière
61100-05B-18	Planning général des travaux de construction

## LISTE DES AUTRES DOCUMENTS ANNEXÉS

NUMÉRO	DÉSIGNATION
Annexe 1	Tableau de résultats des sondages de 1964
Annexe 2	Calculs de structure des caissons béton précontraint du tunnel
Annexe 3	Flottaison des caissons constitutifs des batardeaux
Annexe 4	Extrait du règlement sur le transport des matières dangereuses au Québec
Annexe 5	Informations hydrauliques
Annexe 6	Planning de construction d'un tronçon de tunnel en rivière
Annexe 7	Planning général des travaux de construction
Annexe 8	Estimation détaillée – tunnel 2 x 3 voies avec TCSP
Annexe 9	Estimation détaillée – tunnel 2 x 3 voies sans TCSP
Annexe 10	Estimation détaillée – tunnel 2 x 4 voies avec TCSP
Annexe 11	Echéancier prévisionnel des coûts de construction
Annexe 12	Echéancier prévisionnel des coûts d'exploitation

## GLOSSAIRE

ABRÉVIATIONS	SIGNIFICATIONS
AIPCR	Association Mondiale de la Route
BAU	Bande d'Arrêt d'Urgence
BT	Basse Tension
CE	Communauté Européenne
CIE	Comité International de l'Eclairage
CN	Courbe Normalisée
Courbe HCM	Courbe Hydrocarbure Majorée
DAI	Détection Automatique d'Incident
DJMA	Débit Journalier Moyen Annuel
GTC	Gestion Technique Centralisée
HT	Haute Tension
IHM	Interface homme / machine
MT	Moyenne Tension
MW	Méga Watt
NFPA	National Fire Protection Association
PAU	Poste d'Appel d'Urgence
PC	Poste de Commande – Poste de Contrôle
PIS	Plan d'Intervention des Secours
PL	Poids Lourds
PM	Point Métrique
RAU	Réseau d'Appel d'Urgence
TBT	Très Basse Tension
TCSP	Transport en Commun en Site Propre
TMD	Transport de Matières Dangereuses
TMJA	Trafic Moyen Journalier Annuel
UVP	Unité de Véhicule Particulier
VL	Véhicules Légers
1D:/ 2D / 3D	1 dimension / 2 dimensions / 3 dimensions



## INTRODUCTION

L'étude de préfaisabilité du remplacement du pont Champlain par un tunnel est réalisée en deux parties :

- ▶ **Partie A** : analyse de la problématique d'une solution tunnel - recensement des solutions potentielles – choix de la solution qui sera développée dans la seconde partie de l'étude de préfaisabilité,
- ▶ **Partie B** : études de préfaisabilité de la solution tunnel retenue.

La partie A a proposé le choix d'une solution de tunnel à faible profondeur qui permet de maintenir tous les échanges routiers existants sur l'île de Sœurs comme en rive droite du Saint Laurent. L'ouvrage est construit essentiellement en place à l'abri de batardeaux, ce qui permet de minimiser son impact sur l'environnement fluvial. Seule la traversée de la voie maritime est réalisée à l'aide de caissons préfabriqués immergés compte tenu des délais très courts de fermeture annuelle de cette voie à la navigation commerciale. Les caissons sont fabriqués dans une cale sèche en rive droite aménagée sur l'emplacement de l'ouvrage.

Le présent rapport concerne la partie B. Il a pour objet d'analyser de façon plus précise :

- ▶ la préfaisabilité d'une solution en tunnel pour le remplacement du pont Champlain du point de vue technique et constructive,
- ▶ les dispositions relatives à la sécurité et à l'exploitation,
- ▶ les méthodes de construction ainsi que les délais de construction,
- ▶ les coûts de construction et d'exploitation.

La conception de base de l'ouvrage a été établie en considérant qu'il n'y avait pas de transport des matières dangereuses (TMD), à travers le tunnel, et en considérant une puissance d'incendie de 50 MW (justification au chapitre 6 ventilation).

De façon additionnelle, le transport des matières dangereuses et les impacts qui en résultent relatifs à la sécurité, aux structures et aux équipements d'exploitation du tunnel, ont fait l'objet d'une analyse spécifique présentée au chapitre 8 du présent rapport. Il est également préconisé les conditions dans lesquelles le passage des TMD pourrait être autorisé. Cette analyse est préliminaire, car basée sur les résultats d'une enquête existante relative aux TMD dans une partie de la zone concernée par le Pont Champlain. Une étude plus approfondie est indispensable de façon à mieux identifier :

- ▶ le volume des TMD, leur répartition journalière et hebdomadaire par sens de circulation et la nature des produits transportés,
- ▶ les origines et destinations de chaque classe de produit, et les itinéraires empruntés à l'heure actuelle,
- ▶ les itinéraires alternatifs potentiels et les risques susceptibles d'être encourus en cas de report d'une partie ou de la totalité des TMD,
- ▶ la situation géographique des casernes de pompiers par rapport au tunnel projeté et les matériels spécifiques dont elles sont dotées pour lutter contre un incendie de TMD en tunnel,

- ▶ les dispositions à prendre tant du point de vue réglementaire qu'organisationnel en vue d'une autorisation partielle et réglementée des TMD.

Les schémas ou esquisses présentées de la présente partie B sont basés sur les documents existants disponibles. Ces informations auront lieu d'être mises à jour avant une mise au point d'un avant projet. La faisabilité de l'ouvrage n'est toutefois pas sujette à être remise en cause par des informations plus précises, car seules des adaptations mineures sont attendues :

- ▶ Informations topographiques et bathymétriques

Les esquisses ont été basées sur les documents topographiques disponibles (zones à l'air libre), les informations recueillies sur Google Earth (bâti et occupation des sols), et des éléments topographiques de projets partiels sur les deux berges. Les éléments relatifs à la bathymétrie du fond du Saint Laurent ont été déduits de l'analyse des informations topographiques disponibles concernant la réalisation des fondations du Pont Champlain et de l'estacade. Ces informations ne sont pas forcément homogènes avec celles relatives aux niveaux altimétriques à l'air libre (référence du niveau zéro). De même, les niveaux de fond du lit du Saint Laurent sont susceptibles d'avoir évolué par rapport aux informations utilisées. Ces modifications potentielles, de portée limitée (vraisemblablement moins d'un mètre d'incertitude) ne remettent pas en cause les analyses et leurs conclusions, les adaptations susceptibles d'être apportées demeurant mineures.

- ▶ Éléments de trafic

Les volumes de trafic pris en compte sont issus des données disponibles, ainsi que de l'analyse d'un enregistrement vidéo en date du 22 octobre 2008 pour ce qui concerne la répartition par classes de véhicules, ainsi que la répartition horaire au cours de la journée. La ventilation du tunnel a été calculée en tenant compte d'une saturation du trafic. Une modification de la répartition du trafic (notamment augmentation de la proportion de bus ou de poids lourds) n'est pas déterminante vis-à-vis des coûts de construction. En effet l'installation de ventilation est essentiellement dimensionnée par les conditions résultant d'un incendie.

- ▶ Transports des matières dangereuses

L'analyse préliminaire est établie sur la base des informations existantes concernant les TMD dans la Montérégie. Une enquête et une étude plus approfondie centrée sur la globalité des TMD franchissant le pont Champlain est indispensable comme indiqué ci-dessus.

- ▶ Informations relatives à la géologie et la géotechnique

Ces informations sont essentiellement issues des documents d'études et de construction du pont Champlain et de l'estacade, ainsi que des informations relatives à la géologie générale de la zone d'étude concernée. Ces informations sont suffisantes à ce niveau d'études de pré-faisabilité, et ne sont pas susceptibles de remettre en cause la faisabilité des différentes solutions examinées. Ces études nécessiteront d'être complétées dans le cas où il serait décidé d'engager des études plus détaillées d'une solution tunnel.

- ▶ Réseaux majeurs – fondations – ouvrages enterrés

Aucune information détaillée exhaustive n'a pu être recueillie à cette étape d'études. Un réseau majeur susceptible de présenter un impact important sur le projet a toutefois été identifié. Il s'agit de la ligne HT franchissant le St Laurent dont plusieurs supports doivent être déplacés en rive droite avant le début des travaux.

- ▶ Environnement - hydraulique

L'impact de l'ouvrage et notamment ceux de la réalisation des travaux sont exposés dans le présent rapport. Une étude hydraulique plus détaillée concernant la méthode de construction avec des batardeaux est indispensable. A l'heure actuelle la longueur des batardeaux a été volontairement limitée afin de réduire les impacts hydrauliques potentiels. L'analyse détaillée permettra de mieux identifier et de moduler la longueur optimale des batardeaux selon les régimes hydrauliques des différentes périodes de l'année en vue :

- d'une optimisation des coûts de construction,
- d'une meilleure prise en compte des contraintes environnementales notamment pendant la durée de fraie de la faune aquatique : un batardeau de plus grande longueur permet d'éviter toute intervention en rivière pendant cette période de l'année sans pour autant conduire à un allongement de la durée de construction de l'ouvrage.

# 1 DISPOSITIONS ACTUELLES

## 1.1 ÉCHANGES AVEC LES VOIRIES EXISTANTES

Le pont Champlain relie à l'heure actuelle l'île des Sœurs à la rive droite du Saint Laurent. Il franchit le bras sud du Saint Laurent ainsi que la voie maritime. Le bras nord du Saint Laurent est franchi par le pont donnant accès à l'île des Sœurs.

Le pont Champlain se prolonge à l'Est par l'autoroute A10 des Cantons de l'Est, et à l'Ouest par l'autoroute A15. Les raccordements sont assurés dans les conditions suivantes sur les accès au pont Champlain :

- ▶ En rive droite :
  - Échangeur avec l'autoroute A 132 Jean Lesage qui suit la berge rive droite du Saint Laurent,
  - Échangeur avec le Boulevard Taschereau (A134),
- ▶ Sur l'île des Sœurs :
  - Desserte locale de l'île des Sœurs,
  - Échangeur avec l'Autoroute Bonaventure,
- ▶ En rive gauche du Saint Laurent :
  - Échangeur avec l'Autoroute Bonaventure et le boulevard Jean Laberge,
  - Diffuseur sur l'avenue Atwater.

## 1.2 LE PROGRAMME

### 1.2.1 Programme de base

Le programme de base établi par PJCCI est respecté en tenant compte d'adaptations liées aux conditions d'un ouvrage souterrain :

- ▶ Trois voies et une bande d'urgence dans chaque sens de circulation pour les transports privés. Voie de 3,70 m de largeur – BAU de 2,50 m de largeur – hauteur libre de 5,00 m au dessus des voies de circulation.
- ▶ Deux voies (une dans chaque sens) pour un TCSP (transports en commun en site propre) soit par bus, soit par tram ou par train léger ou similaire.

### 1.2.2 Options de section transversale

Deux options ont été examinées :

- ▶ Profil en travers type sans TCSP. Les TCSP sont traités dans un ouvrage indépendant. Cette option conduit à réduire de manière importante la largeur totale de la structure,
- ▶ Profil en travers type comportant quatre voies de circulation dans chaque sens.

Ces deux options sont esquissées dans le présent rapport, de même que leur incidence sur les coûts et délais de construction.

## 2 DESCRIPTION DE L'AMÉNAGEMENT

### 2.1 TRACÉ EN PLAN

#### 2.1.1 Caractéristiques

Le tracé en plan est représenté par le plan n° 61100-05B-01 joint en annexe.

Le tracé en plan est essentiellement conditionné par les contraintes suivantes :

- ▶ une implantation à l'aval du pont Champlain compte tenu des contraintes foncières sur l'Île des Sœurs, ainsi qu'en rive droite,
- ▶ le raccordement à l'Ouest sur l'île des Sœurs. L'axe du tracé est aligné avec l'axe du projet de remplacement du pont de l'Île des Sœurs,
- ▶ les échanges sur l'île des Sœurs (deux sorties et une entrée) en limitant les travaux nécessaires à leurs raccordements, afin de faciliter les différents phasages de réalisation et le maintien en service de ces échanges pendant toute la durée des travaux,
- ▶ une distance minimale de l'ordre de 120 m entre l'axe et le pont Champlain (pour la section de sous-fluviale) de façon à pouvoir implanter les fouilles, les batardeaux et conserver un espace de navigation de chantier entre le batardeau amont et le pont Champlain,
- ▶ un passage sensiblement dans l'axe de l'espace compris entre le pont Champlain et la boucle Nord-Ouest de la bifurcation avec l'A132 (autoroute Jean Lesage) en rive droite,
- ▶ le raccordement à l'Est sur l'axe de l'autoroute A 10 des Cantons de l'Est,
- ▶ le rétablissement des échanges avec l'autoroute Jean Lesage, et en particulier la limitation des travaux à apporter aux bretelles d'entrée et de sortie en direction du tunnel,
- ▶ un tracé rectiligne sur tout le franchissement de la voie maritime pour faciliter la construction par caissons préfabriqués immergés.

L'axe du tunnel se présente ainsi sous la forme de deux courbes en S séparées par un long alignement droit. Le rayon minimum est de 1500 m sur les approches du tunnel (zones de raccordements et trémies d'accès), ainsi qu'à l'entrée en tunnel sur l'île des Sœurs. Il est de 4000 m sur le reste du tunnel. La visibilité est assurée dans d'excellentes conditions.

#### 2.1.2 Coubes de raccordement et devers

Les normes canadiennes conduisent à appliquer des variations de devers et à la mise en place de courbes de raccordement. Toutefois les variations de devers sont en tunnel source d'une réduction des niveaux de sécurité lorsque les variations de devers sont associées à des faibles pentes en profil en long, ce qui est le cas pour le présent projet.

En effet un déversement de carburant lors d'un accident conduit à une zone mouillée de surface importante dans les zones de variation de devers et de faible pente en profil en long (pas de concentration ni de transfert rapide vers les ouvrages de collecte). La puissance d'un éventuel incendie et sa durée en sont ainsi accrus. De plus les conditions de drainage sont rendues plus complexes et les réseaux moins efficaces. Aussi dans les pays européens les variations de devers sont-elles évitées en tunnel tant que faire se peut, et la valeur des devers est réduite (impact sur le profil en travers et le coût de l'ouvrage).

Ce sont les raisons pour lesquelles il n'est pas prévu de variation de devers dans le tunnel, et que le devers est limité à 2%.

A titre purement informatif, le rayon minimum non déversé est en Europe de 1000 m pour une catégorie d'autoroute de vitesse maximale autorisée de 130 km/h, et de 650 m pour une catégorie d'autoroute de vitesse maximale autorisée de 110 km/h. Avec un rayon minimum de 1500 m et une vitesse maximale de 90 km/h ces conditions sont largement satisfaites.

## 2.2 PROFIL EN LONG

Le profil en long est représenté par le plan n° 61100-05B-01.

Le profil en long est essentiellement conditionné par les contraintes suivantes :

- ▶ le raccordement à la section courante d'autoroute à l'Ouest et à l'Est du franchissement en tunnel,
- ▶ minimiser les modifications à apporter aux bretelles de raccordements aux échanges situés de part et d'autre du tunnel, afin de faciliter le phasage des travaux et le maintien en exploitation des bretelles pendant toute la durée des travaux,
- ▶ le fond du lit du Saint Laurent en préservant une épaisseur minimum de deux mètres de remblai entre l'extrados de la structure et le fond du lit,
- ▶ le fond de la voie maritime en préservant une épaisseur minimum de deux mètres de remblai entre l'extrados de la structure et le fond de la voie maritime,
- ▶ un profil en long en W, avec deux points bas. Cette disposition permet de coller au plus près du niveau du fond du lit, et de réserver deux points bas en pied de pente minimale à 0,5% pour recueillir et stocker les eaux dans des réservoirs avant de procéder à leur relevage
- ▶ un profil en long rectiligne au droit de la voie maritime pour faciliter la construction par caissons préfabriqués immergés.

Le profil en long se présente sous la forme d'une succession de rampes et pentes raccordées par des rayons paraboliques.

Les pentes maxima sont de :

- ▶ 2,8% pour la remontée vers l'île des Sœurs sur une distance inférieure à 400 m précédée d'une rampe de 1,8% sur une distance similaire,
- ▶ 2,4% pour la remontée en rive droite sur une distance inférieure à 800 m.

La pente minimale est de 0,5% afin de permettre l'écoulement des eaux et liquides dans le système de drainage, de collecte et d'évacuation des eaux.

La longueur totale couverte est de 3,61 km y compris la traversée des usines de ventilation. Le tunnel est prolongé par des structures en trémie d'une longueur respectivement de 120 m en rive droite, et de 100 m sur l'île des Sœurs, dans les zones pour lesquelles le niveau de la chaussée est situé sous le niveau de la nappe phréatique.

La coordination plan / profil en long ne pose pas de problème particulier, y compris dans la zone d'approche de la double bretelle de sortie sur l'île des Sœurs.

## 2.3 RACCORDEMENTS AUX VOIES EXISTANTES

### 2.3.1 Raccordements sur l'île des Sœurs

#### 2.3.1.1 Raccordements routiers

Dans la zone de raccordement l'axe du tunnel est aligné sur l'axe de l'autoroute dans sa nouvelle configuration de reconstruction du pont de l'île des Sœurs.

Les deux bretelles de sortie vers l'île des Sœurs et l'autoroute Bonaventure sont rétablies. Elles sont toutefois conçues sous la forme d'une double bretelle de sortie qui prend naissance dans le tunnel. Le dédoublement des deux bretelles est assuré après leur séparation de l'autoroute.

La bretelle d'entrée en provenance de l'île des Sœurs est rétablie. Le biseau d'insertion se prolonge dans la zone d'entrée en tunnel. Les travaux de construction de cette bretelle ne pourront être toutefois achevés qu'après mise en service du tunnel (voir annexe n° 7 – planning général)

Les caractéristiques des bretelles existantes sont conservées.

#### 2.3.1.2 Raccordement TCSP

Le TCSP est situé au centre de la section transversale. Au droit de l'île des Sœurs, le TCSP est maintenu en position centrale à défaut d'information particulière concernant son tracé en direction de l'Ouest et / ou du centre ville, ainsi que la nature de TCSP : bus, tramway ou métro léger. Une dénivellation peut toutefois être envisagée en bénéficiant de la partie en rampe construite sur le territoire de l'île des Sœurs.

### 2.3.2 Raccordements en rive droite

#### 2.3.2.1 Raccordements routiers

Dans la zone de raccordement l'axe du tunnel est aligné sur l'axe de l'autoroute A 10 des Cantons de l'Est.

Tous les raccordements de l'échangeur existant avec l'autoroute A 132 sont maintenus sans modification majeure de tracé en plan et profile en long. Le rayon de la bretelle d'entrée de A 132 en direction du tunnel est réduit à 58 m de rayon minimum. A contrario le rayon de la bretelle de sortie du tunnel vers A 132 est porté à 109 m. Les travaux de cette dernière bretelle ne pourront être achevés qu'après la mise en service du tunnel.

Les caractéristiques des deux autres bretelles existantes sont maintenues.

#### 2.3.2.2 Raccordement TCSP

Le TCSP est situé au centre de la section transversale. En rive droite, le TCSP demeure en position centrale qui correspond aux dispositions envisagées en partie centrale de l'Autoroute des Cantons de l'Est.

## 2.4 AMÉNAGEMENTS ASSOCIÉS

### 2.4.1 Locaux techniques

Un bâtiment technique est prévu à chacune des têtes de tunnel. Ce bâtiment comporte :

- ▶ les installations de ventilation pour le désenfumage (en extrémité des gaines d'extraction) et pour l'apport d'air dans les galeries d'évacuation,
- ▶ les locaux techniques : arrivées d'énergie – transformateurs – courants faibles – groupes électrogènes – batteries onduleurs – terminaux des équipements divers en tunnel,
- ▶ stockage des pièces de rechange et locaux de maintenance, dans le cas où ces éléments ne sont pas implantés dans le centre d'intervention et d'exploitation.

Les galeries d'évacuation déboucheront également dans ces bâtiments à l'intérieur desquels seront assurés les accès vers l'extérieur.

Les plans 61100-05B-11 et 61100-05B-12 représentent des esquisses fonctionnelles de ces bâtiments. Leur intégration dans le site n'a pas été analysée au niveau de la présente étude de pré faisabilité. Elle ne pose toutefois pas de problème particulier.

## 2.4.2 Poste de contrôle et supervision – Centre d'entretien

Les bâtiments situés sur l'île des Sœurs comportent de plus :

- ▶ Un poste de contrôle et de supervision,
- ▶ Un centre d'entretien et d'intervention pour les services d'exploitation. Ce centre peut éventuellement être complété par un premier échelon d'intervention des pompiers dans le cas où les études de risques et de dangers ainsi que les procédures d'intervention en feraient ressortir la nécessité.

Ces installations sont proposées sur l'île des Sœurs aux motifs de la place disponible et des bonnes conditions d'accès. Les bâtiments sont en effet directement accessibles par le rond point du boulevard René Levesque dans la partie nord de l'île des Sœurs. Ceci n'est pas le cas pour les bâtiments en rive droite dont l'accès ne peut être assuré que par l'intermédiaire de la bretelle d'entrée de A 132 en direction du tunnel, ce qui nécessite des circuits longs. Ceci ne constitue pas une contrainte majeure compte tenu du nombre très réduit d'interventions dans ce bâtiment pour des raisons de maintenance.

## 2.4.3 Réservoirs incendie – bassins

Les bassins de décantation ou de rétention nécessaires sur chacune des têtes pour recevoir les eaux de relevage, ne sont pas représentés sur les plans joints. La place disponible est suffisante à l'implantation de tels bassins qui sont à positionner en fonction des aménagements paysagers des zones de raccordement aux têtes de tunnel.

Les éventuels réservoirs incendie ne sont pas représentés sur les documents joints. Ils peuvent être intégrés dans les bâtiments de tête de tunnel si le choix est fait de la création de réservoirs plutôt que d'un raccordement au réseau d'eau public.

## 2.5 COMMENTAIRES – INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

Le présent projet a été établi sur la base des documents topographiques existants. Ces éléments proviennent de plusieurs sources et de plusieurs époques. Leur cohérence n'a pas pu être vérifiée.

Les informations disponibles ne sont pas de nature à mettre en cause la faisabilité de l'ouvrage ni les grandes options constructives présentées dans le présent dossier. Des documents topographiques plus récents et homogènes devront être établis pour réaliser les études détaillées.

## 3 PROFILS EN TRAVERS FONCTIONNELS

### 3.1 PROFIL EN TRAVERS TYPE FONCTIONNEL

Le profil en travers type fait l'objet du plan n° 61100-05B-02 joint en annexe. La section transversale comporte cinq espaces :

- ▶ deux espaces de circulation pour les véhicules privés,
- ▶ deux galeries d'évacuation,
- ▶ un espace de circulation pour les transports en commun.

La largeur totale externe est de l'ordre de 59 m pour la section courante et de 60 m pour les sections à structure renforcée situées au droit des zones de plus fortes charges de service (voir chapitre 4.2 ci-dessous).

#### 3.1.1 Espace de circulation pour les véhicules

##### 3.1.1.1 Section courante

Un espace est dédié à chaque sens de circulation. Chaque espace circulé comporte 3 voies de 3,70 m de largeur, une bande dérasée de gauche de 0,50 m, une BAU à droite de 2,50 m, ainsi qu'un trottoir de 0,90 m à droite et un trottoir de 1,00 m à gauche permettant le cheminement des piétons vers les sorties de secours. La largeur roulable entre bordures de trottoirs est ainsi de 16 m.

La hauteur libre est de 5,00 m au dessus des voies circulées, et comporte une protection de 20 cm des équipements et une réservation de 70 cm (soit un total de 90 cm entre la hauteur libre et l'intrados de la structure) pour les équipements d'exploitation accrochés au plafond : éclairage – câbles de radio communication – câbles de détection incendie – signalisation variable – feux d'affectation de voies – signalisation de sortie.

Les accélérateurs nécessaires à la ventilation sanitaire (constituée d'un système de ventilation longitudinale), ainsi qu'au management du déplacement des fumées en cas d'incendie (extraction réalisée par des gaines spécifiques) sont placés dans des niches implantées de part en part en plafond du caisson formant ainsi un bossage (cf. détail plan 61100-05B-03).

La chaussée comporte un devers de 2% continu (pas de variation de devers) orienté vers l'extérieur. La traverse supérieure de la structure est parallèle à la chaussée.

Le système d'assainissement (caniveau à fente et siphon) est placé en pied de dévers. Les eaux sont collectées aux deux points bas dans un bassin de stockage et de relevage situé sous l'espace TCSP en excroissance sous le radier. Cette bêche recueille également les eaux en provenance de l'espace TCSP et des deux galeries d'évacuation. Les eaux sont évacuées vers les têtes de tunnel par relevage au moyen d'une conduite placée dans le radier de l'espace TCSP.

Les autres équipements de sécurité sont placés en piédroit (signalisation – télésurveillance – détecteurs ou capteurs – extincteurs – réseau d'appel d'urgence), ou le cas échéant dans les galeries d'évacuation au voisinage des portes de communication.

Tous les cheminements des réseaux sensibles sont assurés à l'intérieur de la galerie d'évacuation.

### 3.1.1.2 *Élargissement au voisinage de la tête « île des Sœurs »*

Les espaces circulation sont élargis au voisinage de la tête Ouest (voir détail plan 61100-05B-03), pour intégrer :

- ▶ la voie de sortie dans le sens Est-Ouest
- ▶ la voie d'entrée dans le sens Ouest-Est

La BAU est supprimée dans les zones d'élargissement, mais une bande dérasée de droite de 0,50 m de largeur est maintenue le long des voies de sortie ou d'entrée. L'élargissement maximum est donc de 1,70 m dans les zones de pleine largeur de bretelle.

### 3.1.1.3 *Élargissement au voisinage de la tête « Rive Droite »*

La bretelle de sortie du tunnel vers l'A132 prend naissance en tunnel. La section transversale est localement élargie dans des conditions identiques à celles décrites ci-dessus pour l'autre tête de tunnel.

## 3.1.2 **Galeries d'évacuation**

Compte tenu de la présence de l'espace réservé aux transports en commun situé en partie centrale de la section, deux galeries d'évacuation ont été projetées, de façon à éviter aux usagers (soumis au stress en cas d'évacuation pour cause d'accident ou d'incendie) de traverser les voies de circulation du TCSP, et de les exposer au danger.

Ces galeries d'évacuation sont communes aux usagers routiers du tunnel ainsi qu'aux usagers des transports publics. Elles sont reliées à l'espace TCSP et à l'espace circulation routière par des portes coupe-feu espacées de 100m. Cet espacement est justifié par les dispositions d'évacuation des usagers en cas d'incendie (voir chapitre 5 ci-dessous)

L'évacuation des usagers est normalement assurée en cheminant le long de la galerie jusqu'à son extrémité la plus proche. Elle pourrait également être assurée en utilisant un moyen de transport d'évacuation utilisant l'espace de transport en commun, la galerie servant alors de refuge temporaire.

En cas d'incident dans l'espace TCSP, les usagers peuvent être évacués, soit par la galerie d'évacuation, soit par un moyen de transport utilisant l'espace de circulation.

La largeur de la galerie a été portée à 5,25 m (au lieu de 4,50 m dans la partie A) pour tenir compte du dimensionnement de la section des gaines de désenfumage en cas d'incendie.

La hauteur sous plafond de la galerie est de 2.20 m au droit des portes d'accès (cf. plan 61100-05B-03 détail) de façon à éviter une dénivellation au droit des portes, qui serait préjudiciable à la sécurité des usagers. La hauteur sous plafond est portée à 2,60 m en section courante pour des raisons de confort et de sécurité (réduction de l'effet d'oppression – impact sur le comportement humain des usagers soumis au stress).

Les deux galeries débouchent dans les bâtiments situés aux têtes de tunnel, puis à l'air libre dans un espace sécurisé et accessible aux équipes d'intervention et de secours.

Les galeries sont alimentées en air frais à partir des usines de ventilation situées aux têtes de tunnel. Elles sont ainsi mises en pression par rapport à l'espace de circulation des véhicules, afin d'empêcher la pénétration des fumées en cas d'incendie lors de l'ouverture des portes d'accès.

### 3.1.3 Gaine d'extraction des fumées

Ces gaines sont situées au-dessus des galeries d'évacuation. Les fumées sont extraites par l'intermédiaire de registres motorisés et télécommandés.

L'extraction des fumées est assurée par des ventilateurs d'aspiration situés en extrémité de gaine. Ces ventilateurs assurent de plus le rejet vers l'extérieur par l'intermédiaire d'une cheminée de rejet et de dispersion.

Les gaines d'extraction sont communes aux espaces circulation et à l'espace TCSP. L'intrados des gaines d'extraction des fumées est revêtu d'une protection thermique en vue de protéger les structures contre la chaleur des fumées.

Les gaines de ventilation conduisent les fumées jusqu'aux installations de ventilation situées dans les bâtiments de tête de tunnel, à travers lesquelles les fumées sont aspirées puis rejetées à l'extérieur par l'intermédiaire de cheminées.

### 3.1.4 Espace TCSP

Cet espace a été placé au centre de la section. Il a été défini pour un TCSP par bus en trafic bidirectionnel. La largeur totale est de 10,50 m en tenant compte de deux trottoirs d'évacuation d'un mètre de largeur.

Un système de transport TCSP sur rail permet de réduire la largeur nécessaire.

La ventilation de cet espace dépend beaucoup de la nature des véhicules, de leur mode de combustion et du trafic.

Dans le cas d'un système par bus à moteur thermique, la ventilation sanitaire peut être assurée par des accélérateurs en plafond. Dans le cas d'un système ferroviaire, la ventilation sanitaire pourrait être assurée en utilisant uniquement les gaines d'extraction.

L'extraction des fumées en cas d'incendie est assurée par les gaines d'extraction comme il en est pour l'espace circulation routière.

La place disponible dans la section TCSP est largement suffisante pour mettre en œuvre tous les équipements d'exploitation, de sécurité et de gestion du trafic dont la nature dépendra du mode de transport retenu : route ou rail.

## 3.2 PROFILS OPTIONNELS

### 3.2.1 Profils en travers fonctionnel sans TCSP

Le profil en travers type fait l'objet du plan n° 61100-05B-04 (variante sans TCSP) joint en annexe. La section transversale comporte trois espaces :

- ▶ deux espaces de circulation pour les véhicules privés,
- ▶ une galerie d'évacuation,

La largeur totale externe est de 42 m pour la section courante (43 m pour la section renforcée).

#### 3.2.1.1 Espace de circulation pour les véhicules privés

Les deux espaces sont identiques à ceux décrits ci-dessus au chapitre 3.1.1 pour le profil en travers avec TCSP. Les dispositions d'élargissements de la section aux extrémités de l'ouvrage pour l'intégration des bretelles de sortie et d'entrée sont identiques

### 3.2.1.2 Galerie d'évacuation

Une seule galerie est nécessaire. Sa largeur a été portée à 6 m. Les autres dispositions sont identiques à celles décrites au chapitre 3.1.2 ci-dessus.

### 3.2.1.3 Gaine d'extraction des fumées

Une seule gaine est nécessaire, utilisée selon les besoins pour le sens de l'Est vers l'Ouest ou de l'Ouest vers l'Est. Cette gaine est située au-dessus de la galerie d'évacuation. Ses équipements et son mode de fonctionnement sont identiques à ceux décrits ci-dessus au chapitre 3.1.3.

## 3.2.2 Profil en travers fonctionnel à 2 x 4 voies

Le profil en travers type fait l'objet du plan n° 61100-05B-04 (variante à 4 voies) joint en annexe.

La section transversale est identique à celle du profil en travers à 2 x 3 voies décrit au chapitre 3.1 ci-dessus à l'exception de l'espace de circulation des véhicules pour lequel :

- ▶ la BAU de 2,50 m de largeur est supprimée. Cette BAU n'est plus nécessaire compte tenu de la largeur roulable totale de 15,80 m entre bordure de trottoirs. Cette largeur roulable permet de maintenir un trafic sur quatre voies à vitesse modérée au droit d'un véhicule en panne.
- ▶ une quatrième voie de 3,70 m de largeur est ajoutée. Cette voie est bordée d'une bande dérasée de 0,50 m de largeur.

La largeur totale externe de la structure est de 62,40 m pour la section courante (63,40 m pour la section en structure renforcée).

Les dispositions relatives à l'élargissement de la section pour l'intégration des bretelles d'entrée et de sortie sur l'île des Sœurs et en rive droite sont identiques à celles décrites ci-dessus pour la section à 2 x 3 voies.

Les dispositions relatives à l'espace TCSP, aux galeries d'évacuation, ainsi qu'aux gaines de ventilation demeurent inchangées.

## 4 GÉNIE CIVIL ET STRUCTURES

### 4.1 RAPPEL DES CONDITIONS GÉOLOGIQUES ET GÉOTECHNIQUES

#### 4.1.1 Contexte géologique

Les données géologiques disponibles pour réaliser cette phase d'étude sont celles des campagnes de reconnaissances réalisées en 1958, pour la construction du pont de Champlain, ainsi que de la campagne de reconnaissance réalisée en 1964, concernant la construction de l'estacade située en amont du pont Champlain.

Les forages de ces deux campagnes sont réalisés à partir de la surface d'eau de la rivière, et destinés à la reconnaissance des conditions de fondation des piles de ces deux structures. Les informations obtenues par ces forages sont de type qualitatif (description géologique succincte des matériaux traversés par les forages, ainsi que les profondeurs associés).

Les forages de 1964 de l'estacade (voir annexe 1) permettent d'observer une épaisseur de sédiments variant de 1,2 m à 3,5 m, avec une moyenne de 2,4 m. Ces sédiments sont composés de sables gris silteux, de sables fins, de graviers, de cailloux et de blocs. Le niveau du toit du rocher sain est variable. Il est au plus profond entre les piles 17 à 22.

Les données issues des forages réalisés pour la construction du pont Champlain présentent une épaisseur de sédiment maximale de 4.3 m, et une absence de sédiments sur le fond de la rivière pour les forages situés à proximité de la berge ouest de la rivière (rocher affleurant). L'épaisseur moyenne de sédiment sur tout le lit de la rivière est de l'ordre de 1.75 m. Elle est voisine de 3 m à proximité de la digue de la voie maritime. Les sédiments présentent la même composition que celle observée par les forages réalisés au droit des piliers de l'estacade. Le socle rocheux est composé par des schistes noirs.

Ces deux campagnes témoignent de la faible épaisseur des dépôts d'alluvions en fond du lit.

#### 4.1.2 Considérations géotechniques

Les dossiers disponibles pour l'étude ne présentent aucune donnée à caractère géotechnique. Toutefois, compte tenu des descriptions des matériaux et par référence à de matériaux de nature similaire :

- ▶ Les talus de terrassements dans les rochers compacts ou faiblement fissurés peuvent être réalisés avec des talus présentant une pente de 1 / 5 (horizontal / vertical). Des renforcements ponctuels peuvent être éventuellement nécessaires par boulonnage ou clouage, et le cas échéant béton projeté,
- ▶ Les talus dans les alluvions peuvent être réalisés avec une pente de 3 / 1 une fois ces matériaux mis à sec.

Aucune information n'est donnée concernant les caractéristique mécaniques des matériaux ni leur perméabilité. A défaut d'information le pré dimensionnement des ouvrages a été fait en tenant compte des hypothèses suivantes :

- ▶ Structure du tunnel :
  - Le tunnel est essentiellement fondé sur du rocher sain sur toute la traversés de la rivière et de la voie maritime,

- Il est fondé en partie en remblai dans les zones de raccordement. Compte tenu de la structure de l'ouvrage il n'y a à priori pas de problème particulier de fondation.
- ▶ Ouvrages provisoires et notamment batardeaux. Ces ouvrages sont fondés sur les alluvions de façon à éviter les terrassements sous l'eau et la pollution entraînée par leur réalisation.
- Une contrainte admissible d'environ 2 bars a été prise en compte sous la fondation des batardeaux,
- A défaut de connaître la perméabilité des matériaux et éviter tout risque de « renardage » sous les fondations des batardeaux, un rideau d'étanchéité a été prévu à titre préventif en amont des batardeaux avec un ancrage dans les schistes compacts.

#### 4.1.3 Commentaires – reconnaissances complémentaires

Les informations succinctes disponibles concernant tant la topographie des fonds que le niveau du toit du rocher et les caractéristiques mécaniques de matériaux ne mettent pas en cause la faisabilité de l'ouvrage. Des reconnaissances complémentaires sont toutefois indispensables dans le cadre de l'étude détaillée en vue de dimensionner les structures et rechercher les possibilités d'optimisation du projet, ainsi que des moyens d'exécution.

Ces informations complémentaires concernent notamment :

- ▶ Topographie des fonds sous fluviaux,
- ▶ Sondages carottés pour la reconnaissance du toit du rocher sain,
- ▶ Essais in situ et essais de laboratoire en vue de déterminer :
  - Les caractéristiques mécaniques des alluvions, du rocher fracturé et de la roche saine,
  - La perméabilité des différentes natures de matériaux,
  - La dureté, et l'abrasivité des roches saines en vue de déterminer les conditions d'extraction. En effet s'il ne fait aucun doute que les matériaux rocheux extraits à l'air libre le seront de manière la plus économique et performante avec l'emploi d'explosif, il est indispensable de pouvoir analyser les conditions d'extraction des matériaux rocheux sous l'eau à la traversée de la voie maritime. L'emploi d'explosif sous l'eau est fortement déconseillé pour la faune aquatique. L'extraction de ces matériaux à la haveuse (ou par fraisage) est en tout état de cause réalisable. Les essais permettront d'analyser les moyens de production les mieux adaptés (notamment type et puissance des machines – extraction en pleine masse ou extraction avec des saignées parallèles puis abattage mécanique), ainsi que les cadences de réalisation et une évaluation de l'usure des outils de coupe.

## 4.2 DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES EN BÉTON

### 4.2.1 Introduction et hypothèses générales

Ce chapitre présente les principales hypothèses et les résultats des dimensionnements des structures en béton du tunnel. Des détails de ces calculs sont fournis en Annexe 2.

Deux cas sont étudiés qui diffèrent par les charges appliquées :

- ▶ la zone courante couvrant la quasi-totalité de la longueur du tunnel,
- ▶ les zones situées sous la voie maritime, sous les digues, sous les secteurs d'épaisseur importante de remblai, ainsi que sous les batardeaux nécessaires à la construction (voir méthodes de construction (voir chap. 8).

Les structures du tunnel sont en béton précontraint. La précontrainte transversale est dimensionnée afin de n'avoir aucune contrainte de traction dans l'ouvrage sous l'effet des charges de service. Une précontrainte secondaire, dans le sens longitudinal du tunnel, permet d'assurer une contrainte moyenne de compression de 1 MPa sur toute la longueur du tunnel et au droit des joints entre plots.

Le calcul des sollicitations dans la structure est réalisé à l'aide du logiciel Robot (logiciel de calcul aux éléments finis). Le modèle de calcul utilisé est un modèle à barres qui représente la géométrie de la structure à l'axe des sections béton. Les propriétés géométriques (section et inertie) de chaque barre sont définies suivant la section béton correspondante. Les calculs sont effectués avec un module de déformation instantané correspondant à un béton C30/37 (30 MPa à 28 jours sur éprouvettes cylindriques) soit  $E_i = 34\ 000\ \text{MPa}$ .

Les appuis du radier sur le sol de fondation sont modélisés par des appuis élastiques de type ressorts. Un calcul par itération permet de négliger les ressorts tendus afin de ne pas considérer le sol comme pouvant s'opposer au soulèvement. La raideur de ces appuis élastiques est prise égale à  $140\ 000\ \text{kN/m}$ , ce qui est conservateur compte tenu du sol de fondation attendu (schistes).

La position maximale de l'axe des câbles de précontrainte est prise égale à 15 cm par rapport au nu du béton. Cette position correspond à :

- ▶ Un enrobage des aciers passifs de 6,0 cm ; (cette valeur, supérieure à celle requise par la normalisation, assure une meilleure durabilité, ainsi qu'une meilleure résistance au feu) ;
- ▶ Deux nappes d'armatures passives de diamètre 20 mm soit environ 5 cm d'encombrement;
- ▶ Une gaine de précontrainte de diamètre extérieure 8 cm correspondant à des unités 12T15.

D'où un axe du câble à  $6 + 5 + 8/2 = 15\ \text{cm}$  du nu du béton.

## 4.2.2 Calcul de la zone courante

La coupe type du tunnel dans cette zone est présentée les plans joints au présent dossier (plan T-B-2). Dans cette zone, le cadre du tunnel présente une épaisseur de 100 cm.

### 4.2.2.1 Hypothèses de calcul

Les hypothèses de calcul retenues pour le dimensionnement de la zone courante du tunnel sont les suivantes :

- ▶ Charges :
  - Remblai sur l'ouvrage  $H = 4,00\ \text{m}$   $\gamma = 21\ \text{kN/m}^3$   $\gamma' = 11\ \text{kN/m}^3$
  - Hauteur d'eau  $H = 10,00\ \text{m}$   $\gamma = 10\ \text{kN/m}^3$

La charge verticale sur la dalle est calculée en considérant un remblai déjaugé, soit une charge totale de  $184\ \text{kN/m}^2 = 4 \times 11 + (10 + 4) \times 10$ .

La poussée latérale des remblais sur l'ouvrage est calculée avec un coefficient de poussée des terres au repos  $k_0 = 0,50$ .

### 4.2.2.2 Résultats

La section qui dimensionne la force de précontrainte correspond à la section sur appui au droit du voile entre l'espace de circulation et la gaine de ventilation.

On obtient un moment de flexion sur appui de  $- 6\ 140\ \text{kN.m/ml}$ .

Avec une force de précontrainte de 6 000 kN/ml, ce qui correspond à la force utile d'une unité de précontrainte de 12T15 tous les 30 cm, on obtient une contrainte de compression minimale en fibre supérieure de 0,4 MPa. La section béton reste donc entièrement comprimée sous les charges de service.

## 4.2.3 Calcul de la zone renforcée

La coupe type du tunnel dans cette zone est présentée les plans joints (plan n° T-B-2) au présent dossier. Dans cette zone, le cadre du tunnel présente une épaisseur de 150 cm.

### 4.2.3.1 Hypothèses de calcul

Les hypothèses de calcul retenues pour le dimensionnement de la zone du tunnel située sous la digue sont les suivantes :

- ▶ Charges :
  - Remblai sur l'ouvrage  $H = 20,00 \text{ m}$   $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$

La charge verticale sur la dalle est de  $420 \text{ kN/m}^2 = 20 \times 21$

La poussée latérale des remblais sur l'ouvrage est calculée avec un coefficient de poussée des terres au repos  $k_0 = 0,50$ .

### 4.2.3.2 Résultats

La section qui dimensionne la force de précontrainte correspond à la section sur appui au droit du voile entre l'espace de circulation et la gaine de ventilation.

On obtient un moment de flexion sur appui de - 12 922 kN.m/ml.

Avec une force de précontrainte de 9 000 kN/ml, ce qui correspond à la force utile d'une unité de précontrainte de 12T15 tous les 20 cm, on obtient une contrainte de compression minimale en fibre supérieure de 0,1 MPa. La section béton reste donc entièrement comprimée sous les charges de service.

## 4.2.4 Précontrainte

Une précontrainte longitudinale est mise en place afin d'obtenir une contrainte de compression moyenne de 1 MPa sur toute la section transversale.

La précontrainte transversale à mettre en œuvre est la suivante :

- ▶ zone courante épaisseur du cadre = 1,00 m précontrainte : 1 unité 7T15 par mètre,
- ▶ zone sous digue épaisseur du cadre = 1,50 m précontrainte : 1 unité 7T15 tous les 70 cm.

La contrainte de compression moyenne de 1 MPa obtenue grâce à la précontrainte longitudinale garantit une bonne étanchéité des reprises de bétonnage et des joints entre plots.

## 4.2.5 Tenue au feu

La stabilité des tunnels routiers doit être vérifiée vis-à-vis du risque d'incendie dans le tunnel. L'ouvrage doit présenter une résistance au feu suffisante, d'une part afin de permettre l'évacuation des usagers, et d'autre part en vue d'éviter des dommages importants, voir sa destruction.

La stabilité au feu des structures n'a pas été étudiée dans le détail à ce niveau d'études, car il est nécessaire de définir précisément les scénarios d'incendie à prendre en compte :

- ▶ puissance de l'incendie et sa durée,
- ▶ les régimes de ventilation mise en œuvre, et la température à laquelle l'intrados de la structure sera exposé (simulation 3D nécessaire),
- ▶ les conditions d'intervention des pompiers.

Une protection au feu rapportée par plaques est prévue. Cette protection permet de garantir la stabilité de la structure vis-à-vis du risque d'incendie quelque soit la courbe température-temps retenue, courbe CN (ISO 834) ou courbe HCM, et sa durée. En effet, sous l'effet des incendies de référence, ces plaques de protection au feu garantissent une température de la structure n'engendrant aucun affaiblissement des matériaux acier et béton. L'ouvrage conserve ainsi une capacité de résistance intacte aux charges qui lui sont appliquées.

L'épaisseur des plaques n'a pas été déterminée à ce niveau d'études de pré faisabilité. Cela ne pose pas de problème vis-à-vis de la dimension géométrique de l'ouvrage compte tenu de l'épaisseur relativement faible de cette nature de structure (< 10 cm). Ces plaques de protection seront posées en intrados des espaces routiers et TCSP, ainsi que sur tout l'intrados de la gaine de désenfumage.

#### 4.2.6 Étanchéité

La structure ne comporte pas ni étanchéité ni protection des bétons. L'étanchéité est assurée par la mise en œuvre de béton étanche complété par la mise en œuvre d'une précontrainte dimensionnée pour éviter toute traction (et donc microfissuration) de la structure.

Une analyse plus détaillée devra être réalisée lors des études détaillées concernant les caractéristiques chimiques des eaux du Saint Laurent, et la définition des dispositions particulières éventuelles à mettre en œuvre concernant les bétons de l'ouvrage.

#### 4.2.7 Flottaison des caissons

La traversée de la voie maritime est réalisée à l'aide de caissons préfabriqués à sec dans une cale sèche, transportés par flottage (après obturation temporaire des deux extrémités), et mis en œuvre par immersion dans une fouille préalablement réalisée sous la voie maritime.

La flottabilité des caissons a été vérifiée :

- ▶ Structure courante. Le poids de la structure par mètre linéaire est de 438 tonnes, alors que le déplacement en eau correspondant à la totalité de la surface du caisson est de 546 tonnes. Sa flottabilité est assurée. Le caisson émergera de l'ordre de 1,85 m au dessus du niveau de l'eau lors de son transport.
- ▶ Structure renforcée. Le poids de la structure par mètre linéaire est de 610 tonnes, alors que le déplacement en eau correspondant est de 615 tonnes. Sa flottabilité, bien que limite est assurée. Le niveau supérieur du caisson affleure le niveau de l'eau lors de son transport. Il conviendra toutefois d'ajouter des ballasts latéraux permettant d'améliorer la flottabilité, et notamment de compenser les dispositifs dont est équipé le caisson pour son transport et le pilotage de son immersion.

Par ailleurs, et afin de réduire l'impact de la cale sèche en rive droite sur l'environnement, et notamment la faune aquatique, il a été prévu d'aménager ladite cale sèche de construction des caissons préfabriqués en réutilisant en grande partie l'enceinte de batardeau nécessaire à construire in situ l'ouvrage entre la voie maritime et la berge en rive droite (voir les plans de méthode et de phasage 61100-05B-15 et 61100-05B-16). La hauteur de tirant d'eau de la cale sèche est réduite à environ 8,50 m compte tenu de la présence du tronçon déjà construit en place.

Ceci conduit pour assurer la flottaison des caissons à ajouter de ballasts de part et d'autre de l'ordre de 45 m<sup>2</sup> / ml soit environ 9 m de hauteur par 5 m de largeur. Ces dispositions sont à affiner lors des études détaillées après dimensionnement de la structure située sous la voie maritime (cf. § 4.2.8).

#### 4.2.8 Commentaires - Autres cas de chargement

Dans la présente étude de préféabilité seulement deux cas de chargement ont été examinés pour le dimensionnement de la structure, à défaut d'avoir un relevé précis de la bathymétrie du lit du Saint Laurent. Le dimensionnement de la structure pourra faire l'objet d'optimisation lors des études détaillées pour tenir compte des différents cas de chargement (essentiellement) remblaiement de la structure.

Les caissons immergés situés sous la voie maritime ont été considérés avec une structure renforcée. Lors des études ultérieures il conviendra d'examiner le cas de charge résultant de l'échouage ou du coulage d'un bateau, même si la probabilité en est très faible. Cette analyse n'a pas été faite à ce niveau d'études de préféabilité. Elle nécessite une analyse des caractéristiques des bateaux empruntant la voie maritime. Ceci ne met toutefois pas en cause la faisabilité du projet.

### 4.3 AUTRES STRUCTURES

#### 4.3.1 Bâtiments d'exploitation

Les bâtiments d'exploitation n'ont fait l'objet que d'une analyse fonctionnelle à ce niveau d'études afin de pouvoir en déterminer les surfaces nécessaires, les emplacements, l'intégration avec les autres éléments du projet, ainsi que les coûts de construction.

Les structures des bâtiments n'ont pas été dimensionnées.

#### 4.3.2 Trémies d'accès

Le tunnel est prolongé en rive droite par une ternie d'accès d'une longueur de 120 m, et sur l'île des Sœurs par une trémie d'accès d'une longueur de 100 m. Ces deux trémies, qui comportent un radier béton et des voiles latéraux assurant le soutènement des terrains, sont destinées à franchir la partie des rampes d'accès situées sous le niveau de la nappe phréatique. Le niveau de cette nappe n'étant pas identifié. L'hypothèse pessimiste d'un calage au niveau des eaux du Saint Laurent ou de la voie maritime a été retenue.

#### 4.3.3 Ouvrages de soutènement

Le projet comporte quelques ouvrages de soutènement dans les zones de raccordement. Ces ouvrages définitifs sont très limités en surface et en volume et ne sont que d'un impact mineur sur le coût du projet.

Compte tenu de la précision assez limitée des documents topographiques disponibles, ces ouvrages ont été identifiés, leur nature et leur surface ont été définies, de façon à pouvoir évaluer le prix de construction. A contrario aucun dimensionnement détaillé n'a été réalisé.

## 4.4 DIMENSIONNEMENT DES CAISSONS POUR BATARDEAU

### 4.4.1 Introduction

Le parti retenu de réaliser l'ouvrage in situ, à sec à l'intérieur d'une enceinte protégée par des batardeaux constitue l'une des options fondamentales du projet. Cette option a été retenue compte tenu de son faible impact environnemental et de ses conditions économiques favorables.

Cette solution n'est toutefois viable que dans la mesure où les batardeaux sont résistants, stables, efficaces, fiables, facilement déplaçables d'un site de travaux à l'autre, et que leur empreinte écologique est faible lors de leur transport et de leur mise en œuvre dans le lit du Saint Laurent.

Ceci a conduit à développer un système de batardeaux réalisés avec des caissons préfabriqués déplacés par flottage et immergés sur le lieu de mise en œuvre. Les principes de la construction et du démontage d'un batardeau sont les suivants :

- ▶ Préparation du support en fond du lit du Saint Laurent afin de réaliser une plateforme réglée et horizontale sur laquelle seront posés les éléments constituant les batardeaux. Les éléments de batardeaux sont posés sur les alluvions du fond du lit, Ces travaux, d'une ampleur limitée, sont les seuls travaux dans le lit du Saint Laurent de nature à produire une pollution par mise en suspension des alluvions,
- ▶ Transport des éléments de batardeau par flottage,
- ▶ Immersion sur site par lestage des éléments avec du sable,
- ▶ Solidarisation des éléments entre eux par « brelage » ou à l'aide de câbles longitudinaux,
- ▶ Réalisation de l'étanchéité verticale entre éléments par deux boudins souples verticaux situés dans des engravures et remplis d'eau mise sous pression,
- ▶ Réalisation d'un rideau étanche le long de la face du batardeau qui restera du côté de l'eau. Ce rideau est construit avec la technique des parois moulées avec une machine légère du type hydro-fraise circulant sur la partie supérieure des éléments formant un « quai ». Cette paroi traverse la couche des alluvions, et est ancrée sur une profondeur de 4 à 6 m dans les schistes compacts (profondeur à préciser lors des études détaillées après analyse de la perméabilité des matériaux). Ce rideau est destiné à supprimer les circulations d'eau sous le batardeau et les risques de « renardage » et d'instabilité qui en découlent. Cette paroi est réalisée à l'abri d'un barrage souple destiné à éviter la propagation de la pollution lors de sa réalisation. Cette paroi est complétée dans sa partie supérieure par une membrane d'étanchéité et sa protection mécanique, raccordées à la face du batardeau,
- ▶ Lors du démontage des éléments de batardeau, le sable de lestage est enlevé par pompage jusqu'à atteindre la flottaison de l'élément, et permettre son transport par flottage vers son prochain site de mise en œuvre. Les sables pompés lors du délestage des éléments sont immédiatement réutilisés pour le lestage d'autres éléments sur leur site de mise en œuvre.

Deux types d'éléments de batardeau ont été considérés :

- ▶ Les éléments mis en œuvre sur les longs côtés du rectangle formant l'enceinte. Ces éléments sont uniquement transportés par flottage. Leur longueur est de 20 m.
- ▶ Les éléments mis en œuvre sur les petits côtés du rectangle. Ces éléments (voir plan de méthode 61100-05B-14) sont transportés tantôt par flottage tantôt par des moyens de manutention à sec à l'intérieur de l'enceinte. Leur longueur est de 10 m pour des motifs de levage et de manutention par voie routière.
- ▶ La hauteur des éléments est dimensionnée de façon à pouvoir former un écran pour des hauteurs d'eau pouvant atteindre 10 m.

#### 4.4.2 Hypothèses générales

Ce chapitre présente les principales hypothèses et les résultats des dimensionnements des caissons métalliques flottants utilisés pour la réalisation des batardeaux. Les détails des calculs se trouvent en Annexe 3.

Ces caissons, de dimensions  $\approx 20 \times 12 \times 12^{\text{ht}}$  m sont composés d'une peau en palplanches métalliques et d'une structure intérieure en charpente métallique à base de profilés du commerce de type I ou H.

Chaque caisson doit pouvoir être amené à sa position dans le batardeau par flottaison, le tirant d'eau du caisson en flottaison doit donc être inférieur à 3 m, qui est la hauteur d'eau minimale sur la largeur du Saint-Laurent. Une fois en position, le caisson est coulé en le remplissant de sable noyé (densité  $18 \text{ kN/m}^3$ ) par pompage.

Le caisson doit alors remplir son rôle de batardeau, c'est-à-dire être capable d'équilibrer la poussée de l'eau du fleuve pour permettre au chantier du tunnel de travailler au sec. La stabilité des caissons a été vérifiée en tenant compte d'une poussée des glaces en période hivernale.

Un plancher haut en structure mixte acier-béton est prévu afin de permettre à des engins de chantier de se déplacer sur le batardeau pour réaliser les parois moulées ou faciliter l'approvisionnement du chantier du tunnel.

#### 4.4.3 Flottaison des caissons

La structure des caissons : palplanches et structure métallique intérieure en profilés conduit à un poids relativement faible. Afin d'assurer la stabilité des caissons en flottaison, un lest en béton est réalisé. On obtient alors un tirant d'eau d'environ 2,50 m qui est compatible avec la hauteur d'eau minimale, et un centre de gravité relativement bas, qui conduit à un bras de levier de stabilité d'environ 2,40 m.

Les caissons possèdent donc une bonne stabilité en flottaison et un tirant d'eau compatible avec le lit du fleuve.

#### 4.4.4 Caissons en position batardeau

##### 4.4.4.1 Hypothèses

Les caissons sont coulés en position de batardeau en les remplissant de sable noyé par pompage.

La stabilité des caissons a été vérifiée sous l'effet de la poussée de l'eau maximale et en tenant compte d'une poussée des glaces à la surface de l'eau de l'ordre de 30 T/ml.

##### 4.4.4.2 Vérification de la contrainte sous le radier

La contrainte obtenue sous le radier du caisson est de l'ordre de 2 bars. Cette contrainte peut être réduite en augmentant la largeur des caissons, ne remettant pas en cause la faisabilité de cette solution.

##### 4.4.4.3 Glissement

Les coefficients de sécurité vis-à-vis du glissement du caisson sur un sol ayant un angle de frottement de  $30^\circ$  sont les suivants :

- ▶ poussée de l'eau  $\gamma = 1,7$

- ▶ poussée de l'eau + glaces  $\gamma = 1,2$

Ces coefficients de sécurité permettent de conclure à la stabilité du caisson vis-à-vis du glissement. De plus, les caissons peuvent être liés à la paroi moulée amont ou présenter une bèche afin d'augmenter la sécurité au glissement si nécessaire.

#### 4.4.4.4 Renversement

Les coefficients de sécurité vis-à-vis du renversement du caisson sont les suivants :

- ▶ poussée de l'eau  $\gamma = 4,9$
- ▶ poussée de l'eau + glaces  $\gamma = 2,0$

Ces coefficients de sécurité permettent de conclure à la stabilité du caisson vis-à-vis du renversement.

## 4.5 AUTRES OUVRAGES PROVISOIRES

La réalisation des travaux dans les zones de raccordements nécessite la construction d'autres ouvrages provisoires :

### 4.5.1 Parois moulées ou rideau de palplanches

Ces ouvrages sont nécessaires selon les dispositions suivantes :

- ▶ Sur l'île des Sœurs, afin de soutenir pendant les travaux la rampe d'accès au pont Champlain,
- ▶ En Rive Droite, afin de soutenir les pieds des remblais des voies existantes entre la berge et la traversée de l'A132.

A ce niveau d'études préliminaires, à défaut de disposer d'une topographie précise et de caractéristiques des sols, le choix n'a pas été fait entre parois moulées ou palplanches.

### 4.5.2 Pont provisoire de l'A132

Le tunnel construit à ciel ouvert franchit l'autoroute A 132 par en-dessous. Ce franchissement, situé en partie dans des terrains meubles et en partie dans des terrains rocheux, peut difficilement être réalisé par fonçage horizontal. Il n'est par ailleurs pas envisageable de couper le trafic sur l'A 132 pendant toute la durée de la construction de l'ouvrage.

Les dispositions suivantes ont été prévues au projet, schématisées par les plan 61100-05B-08).

- ▶ Réalisation d'une paroi moulée à l'ouest du franchissement actuel, de part et d'autre de la fouille afin de soutenir cette dernière,
- ▶ Construction à l'ouest de l'A132 d'un ouvrage destiné à assurer le franchissement provisoire. Cet ouvrage comportera deux tabliers indépendants (un pour chaque demi-plateforme d'autoroute) afin de faciliter les opérations de mise en œuvre.
- ▶ Réalisation de la paroi moulée traversant l'A 132 par plots successifs et des déviations très localisées de la circulation. Ces parois moulées sont dimensionnées de façon à servir de culées au pont provisoire,
- ▶ Coupure de la circulation sur l'A 132 en vue de la mise en place des deux tabliers du pont provisoire par ripage latéral. La mise en œuvre d'un tablier peut être réalisée en une seule nuit dans la mesure où les travaux ont été très bien préparés.
- ▶ Mise en service du pont provisoire, et construction de la structure du tunnel en dessous du pont.

- ▶ Le démontage du pont provisoire est assuré dans des conditions semblables à celles de sa mise en œuvre :
  - Remblaiement de la structure du tunnel à l'ouest de l'A 132,
  - Ripage des tabliers par déplacement latéral vers l'ouest,
  - Réalisation des remblais complémentaires et de la chaussée dans l'emprise de l'A132. Le démontage et la construction des remblais et des chaussées nécessiteront une déviation locale temporaire de l'A132 pendant plusieurs jours.

## 5 DISPOSITIONS GÉNÉRALES RELATIVES À LA SÉCURITÉ

### 5.1 SÉCURITÉ FONCTIONNELLE

#### 5.1.1 Dispositions générales

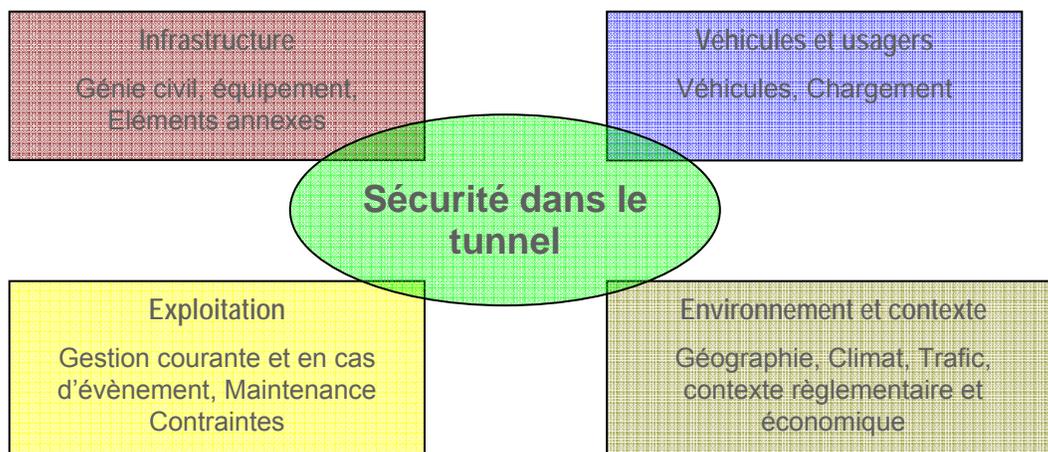
##### 5.1.1.1 Intégration des fonctions de sécurité

Le tunnel est un environnement particulier pour l'utilisateur. Ce type d'infrastructure ne représente pas un danger en soi, cependant les événements générateurs de risques tels que pannes, accrochages et incendies ont des conséquences aggravées en raison du caractère confiné du tunnel. Il est donc nécessaire d'analyser la problématique sécurité, de manière à maîtriser le risque spécifique a priori. Ainsi, de manière générale, une infrastructure souterraine doit permettre d'assurer les fonctions de sécurité indispensables à son exploitation, à savoir :

- ▶ Assurer une exploitation normale sécurisante, prévenir les incidents;
- ▶ Limiter les conséquences d'un événement accidentel;
- ▶ Permettre aux usagers de se mettre à l'abri et permettre leur évacuation;
- ▶ Permettre l'intervention des secours.

Pour ce faire, on considère l'ensemble des composantes de l'infrastructure, de son environnement, de son exploitation. On vérifie que l'ensemble des dispositions prévues permet de satisfaire les fonctions de sécurité données ci-dessus.

Figure 1: Les fonctions "sécurité"



##### 5.1.1.2 Références utilisées

La démarche globale s'appuie sur les textes réglementaires et méthodologiques habituellement pris en compte dans les études de conception d'ouvrages souterrains. Ce sont principalement, à défaut de textes canadiens :

- ▶ La directive européenne 2004/54/CE relative aux prescriptions minimales de sécurité dans les tunnels du réseau transeuropéen. Cette directive est très largement appliquée en dehors de l'espace européen,
- ▶ Les recommandations du Comité des Tunnels de l'AIPCR (Association Mondiale de la Route),
- ▶ L'Instruction Technique référencée dans la circulaire interministérielle française n°2006-63 relative à la sécurité des tunnels routiers d'une longueur supérieure à 300 m. Il s'agit d'un document très complet, qui fait référence dans de nombreux pays,
- ▶ Les guides méthodologiques édités par le Centre d'Études des Tunnels du Ministère français de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire).

De plus, pour les éléments techniques, les normes spécifiques sont prises en référence. Au stade actuel des études, seuls les concepts sont à retenir. Les solutions présentées s'inspirent cependant de normes applicables NFPA (notamment pour le réseau incendie) et CIE (éclairage).

## 5.1.2 Problématique du remplacement du Pont Champlain

### 5.1.2.1 *Éléments actuellement pris en compte*

Au stade actuel des études, il n'est pas nécessaire de définir de manière exhaustive et détaillée l'ensemble des dispositifs qui vont équiper le tunnel. En effet, le choix des dispositifs est susceptible d'évoluer (au travers des études de projet). Dans le cadre proposé, il ne résulte aucunement d'une étude particulière de sécurité au sens propre du terme. Il s'agit d'hypothèses destinées à valoriser les solutions constructives pressenties et permettant de s'assurer dès à présent que l'ouvrage projeté permettra de satisfaire les fonctions de sécurité mentionnées.

Les chapitres 5 et 7 explicitent les dispositions actuellement retenues pour le tunnel de remplacement du Pont Champlain. On rappelle ci-dessous les axes principaux.

Les dispositions ont été choisies en fonction des contraintes principales du projet. Le tunnel visant à remplacer le Pont Champlain, est situé sur un axe important, soumis à trafic « pendulaire » au volume conséquent incluant des véhicules de diverses natures (majoritairement véhicules légers, mais également poids lourds et autocars articulés). Il devra faire l'objet de mesures spécifiques d'exploitation en permanence, de manière à limiter le risque de survenue d'un incident, et à diminuer les conséquences d'un incident. Pour cela, il est nécessaire de :

- ▶ Prévoir un espace sécurisant pour la circulation normale des véhicules;
- ▶ Disposer des moyens de surveillance permanente;
- ▶ Prévoir des moyens de gestion de trafic en cohérence avec les itinéraires de la zone.

De même, si un incident de grande ampleur survient, il faudra veiller à ce que les usagers puissent rejoindre une zone sûre et que les services de secours puissent accéder au lieu du sinistre pour lutter contre celui-ci. Pour cela, il est nécessaire de :

- ▶ Fournir un itinéraire d'évacuation et d'accès des secours. Étant donné le nombre important de personnes potentiellement présentes, il faudra veiller au respect du principe de séparation des flux;
- ▶ Mettre en œuvre les moyens pour que les usagers adoptent le bon comportement;
- ▶ Garantir le fonctionnement des équipements utiles à la sécurité (ventilation, éclairage, communication)...

#### 5.1.2.1.1 Contributions des éléments retenus aux fonctions de sécurité

Les divers éléments constitutifs du « système tunnel » sont décrits dans le présent document. On explicite ici comment chacun d'entre eux peut être source de danger, facteur aggravant d'une situation accidentelle et comment, a contrario il contribue à satisfaire les fonctions de sécurité.

#### 5.1.2.1.2 Environnement physique extérieur

Le tunnel est situé dans une zone urbaine. L'agglomération de Montréal subit de fortes variations annuelles de température : les hivers sont froids et secs alors que les étés sont chauds et humides.

Ces éléments peuvent être de nature à créer des situations accidentogènes aux abords de l'ouvrage. La signalisation et l'information permettent la mise en garde des usagers.

#### 5.1.2.1.3 Véhicules et chargements, usagers

Les réactions des utilisateurs de l'ouvrage sont difficiles à prévoir. Cependant, elles sont à l'origine de la plupart des accidents. Il est donc important de prendre des mesures préventives (décrites dans les paragraphes concernés) pour baisser leur occurrence et réduire leurs conséquences. Les principales mesures concernent la configuration de l'ouvrage et l'information aux usagers.

Les utilisateurs sont répartis entre usagers fréquents, qui connaissent bien l'ouvrage et usagers en transit. Ces types d'usagers n'ont pas la même réaction aux instructions de sécurité. En cas d'évènement, leur réaction est un élément majeur du processus d'évacuation. La signalétique permet aux usagers d'adopter un comportement cohérent. Elle doit être adaptée lors de l'avancement du projet.

#### 5.1.2.1.4 Infrastructure et génie civil

##### **Configuration globale**

Les transports en commun circulent dans leur propre espace. En cas d'incident dans l'espace trafic VL PL, ceci est de nature à limiter le nombre d'usagers impliqués.

En cas d'incident majeur (incendie), la division en espaces distincts permet aux usagers de se mettre à l'abri et aux services d'intervention d'accéder à proximité du sinistre. Ceci permet l'organisation aisée d'opérations de secours ou d'évacuation.

Les usagers des espaces trafic peuvent rejoindre un espace sécurisé (galerie d'évacuation) via des liaisons disposées tous les 100 m. Ceci fournit un itinéraire d'évacuation dont la capacité permet de prendre en compte les nombreux usagers potentiels à évacuer.

Les galeries d'évacuation permettent également l'organisation aisée d'opérations de maintenance. Les galeries accueillent en effet des locaux techniques secondaires et des cheminements sécurisés de câbles.

##### **Espace trafic VL PL**

Le gabarit de l'ouvrage est cohérent avec les infrastructures de la région de Montréal. Il permet a priori, la circulation sans danger des véhicules susceptibles d'emprunter le tunnel (y compris les véhicules des services de secours).

La configuration de l'ouvrage et des espaces trafic assure une bonne visibilité et permet de limiter les risques de perte de contrôle du véhicule et l'occurrence d'un accident. Le nombre de voies et leur largeur permettent une circulation confortable du trafic attendu.

En cas d'arrêt d'un véhicule, le trafic peut continuer à s'écouler (présence d'une BAU). Les trottoirs permettent à un usager de rejoindre les équipements d'alerte ou de se mettre à l'abri en cheminant hors du trafic.

Les infrastructures utiles à l'évacuation sont situées du côté de la voie rapide, ce qui nécessite de traverser les voies de circulation pour les rejoindre.

On note également que la récupération des liquides répandus sur la chaussée ne concerne que les cas d'incident. Le système permet de limiter l'étendue d'une flaque (éventuellement enflammée) et de récupérer les eaux d'extinction.

#### 5.1.2.1.5 Équipements de sécurité

Le tunnel est pourvu d'équipements de sécurité. Certains ont une fonction en exploitation courante et doivent également être maintenus en fonctionnement en cas d'évènement dans le tunnel:

- ▶ Dans le tunnel et aux abords, la signalisation routière permet d'informer les usagers de la conduite à tenir (respect des inter distances, limitation de vitesse...);
- ▶ L'éclairage limite l'effet trou noir et permet de disposer d'un environnement sécurisant. En cas d'incident, il permet aux usagers et aux services d'intervention de se repérer;
- ▶ Les équipements utiles à la surveillance de l'ouvrage (vidéosurveillance, boucles de comptage de trafic) permettent d'adapter le niveau de vigilance et les informations transmises aux usagers et aux services en charge de la gestion de trafic. En cas d'incident, ils permettent de le détecter (associé aux systèmes de DAI – Détection Automatique d'Incidents) et de suivre les actions se déroulant en tunnel;
- ▶ Le système de ventilation sanitaire permet de maintenir des conditions d'atmosphère acceptables. En cas d'incendie, le système de désenfumage a pour objectif de maintenir une atmosphère compatible avec l'évacuation des usagers puis de permettre l'intervention des Sapeurs-Pompiers. La mise en surpression des galeries d'évacuation permet aux usagers de séjourner dans un espace sécurisé.

Certains équipements ne sont utilisés qu'en cas d'incident :

- ▶ Les dispositifs de gestion et d'arrêt du trafic (Feux d'Affectation de Voie, barrières...) permettent de limiter le nombre d'usagers bloqués en tunnel en cas d'évènement;
- ▶ Le RAU (réseau téléphonique d'appel d'urgence) est le lien entre le service en charge de l'exploitation et de la surveillance du tunnel et les usagers impliqués dans l'incident. Les postes sont disposés dans les galeries d'évacuation et permettent aux usagers de communiquer lorsqu'ils ont rejoint ces infrastructures. Des postes sont également disposés le long de chaque bande d'arrêt d'urgence de l'espace trafic VL PL, de manière à permettre à un usager ayant subi un incident mineur (panne ou petit accrochage) de se signaler sans traverser les voies de circulation;
- ▶ Le système de communication pour les radios des secours permet d'organiser l'intervention en cohérence avec les divers espaces à disposition;
- ▶ Les extincteurs, disposés régulièrement et facilement atteignables par les usagers permettent de lutter contre un incendie dans les premiers instants;
- ▶ Le réseau de lutte contre l'incendie est à disposition des Sapeurs-Pompiers en cas d'évènement majeur. Les éléments sont rarement utilisés mais doivent avoir une grande fiabilité et disponibilité.

Tous ces équipements sont alimentés par un réseau. L'alimentation électrique contribue donc à l'ensemble des fonctions de sécurité.

#### 5.1.2.1.6 Ressources externes

A ce stade des études, la fiabilité du réseau électrique HT du secteur et les possibilités de maillage ne sont pas connues. Dans tous les cas, un secours est prévu, de manière à assurer l'alimentation des équipements utiles, même en cas de défaillance de la ressource principale en énergie. Une alimentation secourue sans coupure est également prévue.

De même, la source d'alimentation en eau du réseau de lutte contre l'incendie n'est pas choisie. Par contre, dans tous les cas, la disponibilité du réseau de l'ouvrage est garantie.

#### 5.1.2.1.7 Exploitation et environnement interne

Le niveau de service attendu de l'ouvrage nécessite la surveillance permanente des espaces trafic.

En exploitation normale, le PC (Poste de Contrôle) surveille l'évolution du trafic et communique avec les services en charge de la gestion du trafic de la zone.

En cas d'incident :

- ▶ Les divers moyens à disposition (vidéosurveillance associée à la DAI « Détection Automatique d'Incidents », câble thermométrique, RAU) permettent d'alerter les opérateurs du PC qui caractérisent l'incident et déclenchent les actions adéquates.
- ▶ L'arrêt du trafic permet de limiter le nombre de personnes se trouvant bloquées par un sinistre, surtout lorsque le trafic est fluide. Ceci facilite d'autant les opérations liées à l'évacuation et à la lutte contre le sinistre;
- ▶ Les actions sur les équipements (mise en route du système de ventilation de désenfumage, mise en suppression des galeries d'évacuation, éclairage) permettent dans un premier temps d'assurer des conditions compatibles avec le cheminement des usagers vers les galeries d'évacuation.

Ceci implique la présence permanente au PC d'opérateurs formés et réactifs. Ils doivent disposer de procédures et de consignes claires à appliquer, utilisant un langage commun avec les services avec lesquels ils sont en interaction (services de secours).

#### 5.1.2.1.8 Entretien et maintenance

L'infrastructure et ses équipements doivent permettre d'assurer une exploitation normale sécurisante et de faire face en cas d'évènement à tout moment.

Pour cela, il est indispensable de maintenir l'ensemble des dispositifs en bon état grâce à un entretien et une maintenance préventive de qualité. En cas de défaillance, des actions correctives et des mesures compensatoires sont prévues, de manière à satisfaire les conditions minimales d'exploitation.

Certains équipements sont disposés dans les galeries d'évacuation, ce qui permet d'organiser leur maintenance de manière aisée.

#### 5.1.2.1.9 Intervention et services externes

Pour certaines actions particulières liées à l'entretien et la maintenance de dispositifs de l'infrastructure, l'appel à des entreprises spécialisées est indispensable. Celles-ci doivent être planifiées et organisées en respectant les règles de sécurité.

En cas d'évènement important, les services d'intervention et de secours de la région de Montréal sont appelés pour lutter contre l'incendie et apporter l'aide médicale d'urgence aux blessés. Leur action est encadrée par les modalités du plan établi en cohérence avec l'ensemble des services.

### 5.1.2.2 Suites à donner

Les étapes prochaines d'études de détail devront prendre en compte une analyse de sécurité spécifique et formalisée.

Avant la mise en service, des documents d'exploitation devront être rédigés. Ceux-ci comprendront un Plan d'Intervention et de Sécurité, qui décrit le cadre et les modalités d'intervention de l'ensemble des services concernés (en charge de l'exploitation courante, en cas d'intervention sur accident ou incendie...)

## 5.2 DISPOSITIONS À METTRE EN ŒUVRE

### 5.2.1 Espaces constitutifs de l'infrastructure

On rappelle que l'infrastructure souterraine est constituée de plusieurs espaces, distincts les uns des autres :

- ▶ Un espace « trafic TCSP » central : circulation pour les TCSP dans les 2 sens;
- ▶ De part et d'autre : un espace accessible aux personnes à pied depuis les espaces « trafic » (espaces appelés « galeries d'évacuation ») ;
- ▶ Et, dans chaque sens : un espace « trafic routier » : circulation pour les PL et VL (un espace par sens de circulation).

Des passages régulièrement répartis (tous les 100 m) permettent de passer d'un espace à un autre (espaces trafic vers galeries d'évacuations). De même, des équipements de sécurité sont répartis dans les espaces « trafic » et dans les « galeries d'évacuation ».

#### Remarque sur les inter distances

A noter que, le trafic attendu (VL et PL) dans l'ouvrage est important. Ce trafic, de type pendulaire est pris en compte selon 3 typologies :

- ▶ Trafic fluide, s'écoulant à une vitesse de 70 km/h, avec un débit de 3500 véh/h (10% de PL);
- ▶ Trafic saturé, s'écoulant à une vitesse de 10 km/h, avec un débit de 4500 véh/h (10% de PL);
- ▶ Trafic maximum, s'écoulant à une vitesse de 10 km/h, avec un débit de 6000 véh/h (10% de PL).
- ▶ Dans le cas du trafic saturé, on peut trouver jusqu'à 600 véhicules par voie dans le tunnel. Ce qui représente, jusqu'à 2500 personnes dans un tube. En cas d'incident, les véhicules sont arrêtés les uns à la suite des autres.
- ▶ En considérant une prise de conscience d'environ 1'30" pour déclencher l'évacuation, une vitesse de 0.5 m/s de déplacement à pied pour les usagers (dans une atmosphère claire ou légèrement enfumée) et une inter distance de 100 m entre les accès aux galeries, on considère que :
  - ▶ Une personne évacuant a besoin de 5 minutes pour atteindre la porte menant à la galerie;
  - ▶ Une centaine de personnes environ évacue par porte concernée;
  - ▶ L'évacuation n'est pas pénalisée par le débit des portes (environ 25 personnes par minute).

## 5.2.2 Dimensions et espace trafic

### 5.2.2.1 Largeur roulable et trottoirs

#### 5.2.2.1.1 Espace trafic VL PL

Dans chaque sens de circulation, l'espace de circulation est réparti sur 3 voies de 3.70 m chacune et une bande d'arrêt d'urgence de 2.50 m. Des trottoirs sont disposés de chaque côté.

Il n'y a ni garage ni de galerie de retournement, ce qui n'est pas nécessaire étant donnée la largeur roulable.

#### 5.2.2.1.2 Espace trafic TCSP

L'espace trafic TCSP est bidirectionnel, comprenant une voie de 3.75 m dans chaque sens. Trottoirs et bandes dérasées sont disposés de chaque côté.

### 5.2.2.2 Hauteur libre, gabarit autorisé

Le gabarit de 5 m (PL VL et TCSP) permet d'accepter les circulations attendues dans la zone.

### 5.2.2.3 Pentes et profil en long, assainissement et système de drainage

Les pentes sont peu importantes. Le profil en long intègre deux points bas et un dévers permettant de recueillir les eaux de chaussée (dont les eaux d'extinction en cas d'incendie).

Dans chaque tube de l'espace trafic VL PL et de chaque côté de l'espace trafic TCSP, se trouve un caniveau à fente intégrant des regards siphoniques régulièrement répartis. Ceci permet de recueillir les liquides se déversant sur la chaussée en limitant la propagation d'un éventuel feu de nappe. Des installations de relevage (pompes redondées) sont disposées aux points bas pour ramener les eaux dans des bassins de 200 m<sup>3</sup> environ, disposés à chacune des têtes.

### 5.2.2.4 Vue en plan : courbes et visibilité

L'ouvrage est quasi rectiligne et ne présente pas de courbes de rayon réduit.

### 5.2.2.5 Espaces annexes

Outre le tunnel en lui-même, l'exploitation de l'infrastructure nécessite de disposer de bassins, de locaux techniques et d'usines de ventilation à proximité des têtes d'ouvrage. Ces éléments sont décrits dans le chapitre 2.4 ci-dessus.

Un centre d'exploitation doit également prendre en charge la surveillance permanente de l'infrastructure et la gestion des équipements.

## 5.2.3 Tenue, résistance et comportement au feu

La structure du tunnel ainsi que les portes d'accès à la galerie sont prévues pour présenter une tenue au feu compatible avec les opérations d'évacuation et de lutte contre l'incendie.

Les différents réseaux utilisent les galeries d'évacuation pour cheminer. Pour les parties en tunnels, leur niveau de tenue au feu correspond au niveau de sécurité attendu.

## 5.2.4 Équipements de sécurité

Tous ces équipements sont décrits au chapitre 7 ci-dessous.

## 6 VENTILATION

### 6.1 DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

#### 6.1.1 Géométrie

Le tunnel de Champlain est constitué de caissons construits in situ ou immergés. Chaque caisson dispose d'un espace de circulation pour VL et PL par sens, de deux gaines de ventilation et d'un espace pour les transports en commun (voir plan 61100-05B-02).

L'orientation du tunnel est Est / Ouest.

La section moyenne de l'ouvrage pour la future configuration est de 94 m<sup>2</sup> pour l'espace de circulation VL et PL, avec un périmètre de 44 m et une hauteur sous voûte de 5,9 m.

Tableau 1 : Profil en long sens Montreal – Longueuil

SENS MONTRÉAL - LONGUEUIL		
Tronçon	Longueur (m)	Pente (%)
Tête d'entrée	370	- 2.8
Tronçon 2	480	- 1.8
Tronçon 3	730	0.5
Tronçon 4	900	- 0.5
Tronçon 5	430	0.8
Tête de sortie	700	2.4

Tableau 2 : Profil en long sens Longueuil - Montreal

SENS LONGUEUIL - MONTRÉAL		
Tronçon	Longueur (m)	Pente (%)
Tête d'entrée	700	- 2.4
Tronçon 2	430	- 0.8
Tronçon 3	900	0.5
Tronçon 4	730	- 0.5
Tronçon 5	480	1.8
Tête de sortie	370	2.8

#### 6.1.2 Trafic

La circulation s'effectue dans chaque sens sur 3 voies, avec une largeur de 3,7 m par voie. Le gabarit routier est de 5 m. La vitesse est limitée en principe à 70 km/h. Toutefois une vitesse de 90 km/h est prise en compte dans le dimensionnement.

Le trafic moyen DJMA à l'horizon 2026 est estimé à 170.000 véhicules/jour avec une part de poids-lourds de 10%.

Une barrière de fermeture du tunnel se ferme 2 minutes après le déclenchement de l'incendie.

## 6.2 STRATÉGIE DE VENTILATION

La ventilation en tunnel a pour objectif :

- ▶ En situation courante d'exploitation, de maintenir la qualité de l'air en deçà des seuils de pollution admissibles (ventilation sanitaire);
- ▶ En cas d'incendie, de créer dans un premier temps des conditions aérauliques permettant l'évacuation des usagers dans des conditions acceptables (phase 1), et de permettre dans un deuxième temps l'intervention des services de secours et de lutte contre l'incendie (phase 2).

### 6.2.1 Ventilation sanitaire

En situation courante d'exploitation, la méthode pour faire baisser les niveaux de pollution dans un tunnel consiste à diluer les polluants. La ventilation sanitaire, de type longitudinale, consiste à créer un courant d'air dans le tunnel permettant l'apport d'air frais nécessaire à la dilution des polluants par l'une des entrées du tunnel. La génération de ce courant d'air longitudinal est dans de nombreux cas assurée par le pistonnement des véhicules ou par les conditions atmosphériques extérieures.

Pour les situations de trafic où le pistonnement devient faible (ex. : trafic congestionné), le courant d'air longitudinal est alors assuré par des accélérateurs installés en voûte.

### 6.2.2 Ventilation incendie

La stratégie sera une ventilation transversale pour la première phase (phase 1). Les objectifs recherchés sont de maintenir le plus possible la stratification naturelle des fumées en partie haute du tunnel, de manière à conserver une couche d'air pur au voisinage de la chaussée, et d'extraire les fumées au moyen d'un système d'aspiration situé en hauteur au niveau des piédroits.

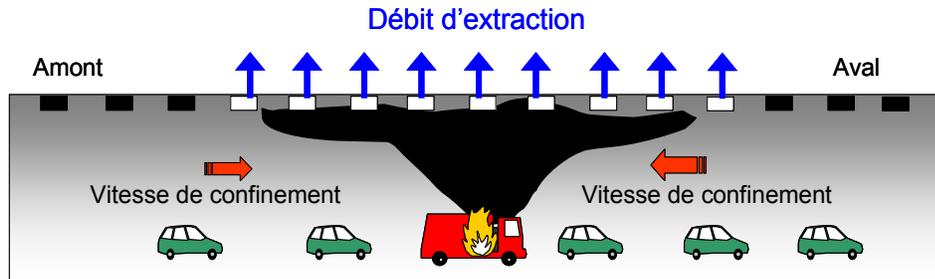
Dans une deuxième phase (phase 2), le système de ventilation sera longitudinal afin d'aider les services de secours à approcher au plus près de l'incendie. Pour cela, des accélérateurs pousseront les fumées vers la tête de sortie du tunnel à une vitesse supérieure à la vitesse critique.

#### 6.2.2.1 Principe de la phase 1

Les objectifs de la ventilation transversale à atteindre sont les suivants :

- ▶ Extraction des fumées sur 400 m environ centrée sur l'incendie en phase 1 afin de cantonner les fumées dans la zone d'extraction ;
- ▶ Obtention des conditions favorables à la stratification : cet objectif correspond à une vitesse faible au droit de l'incendie (+/- 0,5 m/s), ce qui implique des vitesses convergentes vers l'incendie de part et d'autre du canton d'extraction.

Figure 2 : Principe de la phase 1



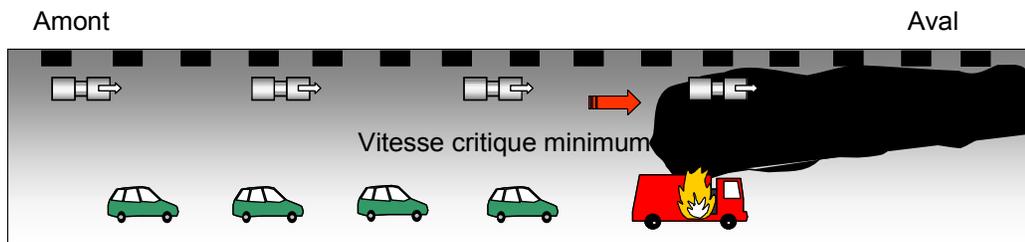
### 6.2.2.2 Principe de la phase 2

Lorsque toutes les personnes présentes dans le tube incendié sont évacuées, la ventilation passe en phase 2 de désenfumage pour aider les services de secours à approcher au plus près de l'incendie. Cette phase est une ventilation longitudinale, les fumées seront donc expulsées par la tête de sortie grâce à des accélérateurs.

L'objectif imposé est de pousser les fumées à une vitesse supérieure à la vitesse critique en amont de l'incendie dans le sens du trafic afin d'empêcher le backlayering.

Tous les accélérateurs sont utilisés dans cette phase même s'ils sont situés dans une zone enfumée.

Figure 3 : Principe de la phase 2



## 6.3 DIMENSIONNEMENT DE LA VENTILATION

### 6.3.1 Hypothèses

#### 6.3.1.1 Aérauliques

Le tableau ci-dessous indique les hypothèses aérauliques propres à l'ouvrage, considérées dans cette étude.

Tableau 3: Hypothèses aérauliques

HYPOTHÈSES AÉRAULIQUES	Coefficient de frottement	0,020
	Températures pariétales et extérieures	- 20 °C
	Masse volumique de l'air	1,39 kg/m <sup>3</sup>
	Différence de pression entre les têtes	+/- 50 Pa

La différence de pression entre les têtes comptée positivement (+ 50 Pa) impliquera un courant d'air dans le sens inverse du trafic.

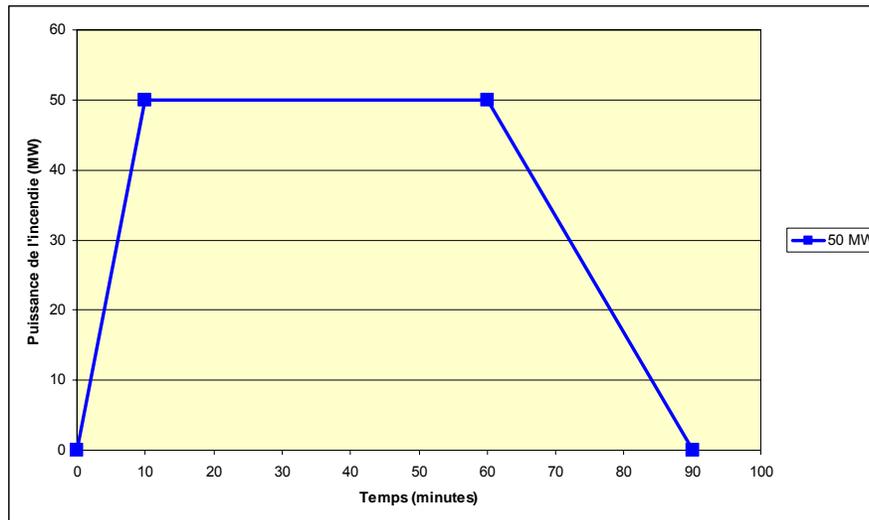
Les caractéristiques des véhicules sont : SCx des VL = 0,9 m<sup>2</sup> et SCx des PL = 4,5 m<sup>2</sup>.

### 6.3.1.2 Incendie de dimensionnement

L'incendie de dimensionnement lorsque les TMD sont interdits est de 50 MW.

La puissance convectée considérée correspond à deux tiers de la puissance totale.

Figure 4 : Evolution de la puissance de l'incendie de dimensionnement au cours du temps



### 6.3.1.3 Ventilation sanitaire

Les calculs concernant les débits de dilution des polluants sont effectués sur la base des recommandations de l'AIPCR 2004 sur les besoins en air pour la ventilation. Les émissions des véhicules sont basés sur la flotte de véhicules du Québec. Les seuils des polluants admissibles sont les suivants :

Tableau 4 : Seuils de pollution

POLLUANT	SEUILS DE POLLUTION À RESPECTER
CO	70 ppm en tout point
NO <sub>2</sub>	1 ppm en tout point
Opacité	5.10 <sup>-3</sup> m <sup>-1</sup> en tout point

Les niveaux de pollution extérieure pris en compte sont respectivement :

- ▶ CO : 5 ppm ;
- ▶ NO<sub>2</sub> : 0,10 ppm ;
- ▶ Fumées : 0, 0004 m-1.

### 6.3.1.4 Débit d'extraction

L'objectif du système de ventilation consiste à contrôler le courant d'air dans le tunnel pour favoriser l'extraction des fumées.

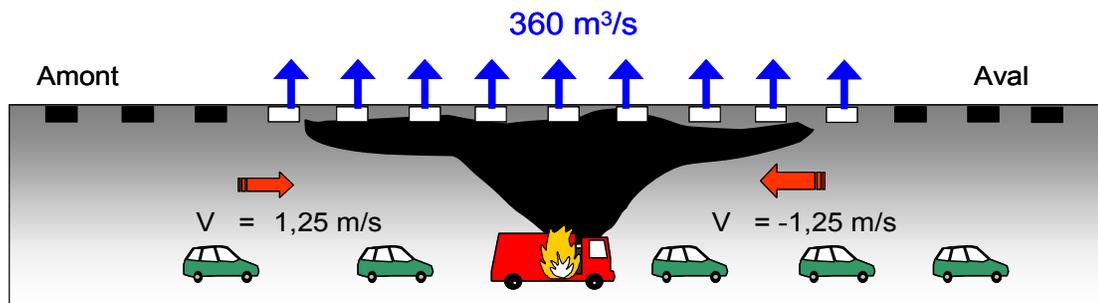
Afin de favoriser la stratification des fumées, la vitesse au droit de l'incendie doit être comprise entre +/- 0,5 m/s (idéalement 0 m/s).

D'autre part, pour cantonner les fumées dans la zone d'extraction, la vitesse de part et d'autre est fixée à 1,25 m/s.

L'augmentation de débit de fumées liée à la température des fumées est de 120 m<sup>3</sup>/s pour un incendie de 50 MW.

Le débit d'extraction nécessaire pour cantonner les fumées est donc de 360 m<sup>3</sup>/s (1,25 x 2 x Section tunnel + 120).

Figure 5 : Objectif de la phase 1 (contrôle du courant d'air)



Le débit sera extrait sur 9 trappes ouvertes (canton de 400 m), soit environ 40 m<sup>3</sup>/s par trappe.

## 6.3.2 Résultats de l'étude de ventilation

### 6.3.2.1 Dimensionnement de la ventilation sanitaire

Les débits d'air frais nécessaires à la dilution des polluants pour respecter les seuils réglementaires sont donnés dans le tableau suivant, pour différentes hypothèses de trafic.

Tableau 5 : Débit d'air frais nécessaire à la ventilation sanitaire

Scénario	Vitesse moyenne des véhicules (km/h)	Débit des véhicules (véh/h/sens)	DÉBIT D'AIR FRAIS NÉCESSAIRE PAR TUBE (M <sup>3</sup> /S)		
			CO	NO <sub>2</sub>	Fumées
1	0	UVP/km = 170	250	70	15
2	10	3000	240	120	30
3	20	4500	235	150	50
4	70	5800	300	180	60

Le tableau suivant représente le nombre d'accélérateurs à activer en fonction de la différence de pression entre les têtes pour différentes vitesses. Les accélérateurs retenus dans ce cas ont les caractéristiques suivantes :

- ▶ Poussée en champs libre : 1150 N avec grilles et silencieux à  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$  ;
- ▶ Vitesse d'éjection : 34 m/s environ ;
- ▶ Réversibilité : 90 % minimum ;
- ▶ Diamètre hélice : 1120 mm ;
- ▶ Diamètre extérieur : 1350 mm maximum ;
- ▶ Puissance mécanique moteur : 45 kW maximum ;
- ▶ Tenue au feu : 400°C/2h.

Tous les accélérateurs seront équipés de variateurs.

Tableau 6: Nombre d'accélérateurs à démarrer en fonction de la contre pression pour différentes vitesses

	NOMBRE D'ACCÉLÉRATEURS À DÉMARRER EN FONCTION DE LA DIFFÉRENCE DE PRESSION ENTRE LES TÊTES										
Vitesse (km/h)	-50 Pa	-40 Pa	-30 Pa	-20 Pa	-10 Pa	0 Pa	10 Pa	20 Pa	30 Pa	40 Pa	50 Pa
0	2	4	5	6	7	9	10	11	13	15	16
10	0	2	4	5	6	7	9	10	11	12	14
20	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	6
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### 6.3.2.2 Dimensionnement des systèmes de ventilation

#### 6.3.2.2.1 Dimensionnement du débit d'extraction

Le système de désenfumage extrait un débit de 360 m<sup>3</sup>/s. Une usine de ventilation est positionnée à chaque tête du tunnel. Deux ventilateurs dans chaque usine permettent d'extraire la moitié du débit d'extraction (180 m<sup>3</sup>/s) dans la gaine de ventilation de 15 m<sup>2</sup>.

Les fumées sont extraites sur une zone de 400 m environ par les carneaux de désenfumage disposés tous les 50 m environ, centrés sur l'incendie et activés au moyen de 9 trappes de désenfumage télécommandées.

Spécifications techniques des ventilateurs d'extraction :

- ▶ Débit : 90 m<sup>3</sup>/s à  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ;
- ▶ Pression totale : Entre 2500 et 3000 Pa pour une gaine de ventilation de 15 m<sup>2</sup> suivant le réseau aéraulique ;
- ▶ Vitesse de rotation : 1500 tr/min environ ;

- ▶ Puissance moteur : Entre 350 et 400 kW suivant le réseau ;
- ▶ Rendement aéraulique : 80% minimum ;
- ▶ Diamètre hélice : 1800 mm environ ;
- ▶ Tenue au feu : 400°C/2h.

Tous les ventilateurs d'extraction seront équipés de variateurs afin de démarrer en synchronisation les ventilateurs en parallèles.

Chacune des trappes d'extraction extrait 40 m<sup>3</sup>/s, leur section libre minimum est de 4 m<sup>2</sup>. Environ 140 trappes d'extraction télécommandées seront installées pour extraire les fumées dans l'espace de circulation. Pour extraire les fumées dans l'espace des transports en commun, 70 trappes sont nécessaires.

#### 6.3.2.2.2 Dimensionnement des accélérateurs

Les accélérateurs sont utilisés pour maîtriser le courant d'air en tunnel (phase 1 : vitesse idéalement nulle au droit de l'incendie) afin d'obtenir des conditions favorables à la stratification des fumées et optimiser ainsi leur extraction ; et pour désenfumer le tube (phase 2 : obtention de la vitesse critique en amont de l'incendie) pour permettre l'arrivée des services de secours. Ces fonctions sont assurées par les accélérateurs également utilisés pour la ventilation sanitaire.

Un bossage sera créé dans les caissons immergés au niveau des batteries d'accélérateurs permettant de loger jusqu'à 3 accélérateurs de diamètre extérieur 1350 mm.

La maîtrise du courant d'air (phase 1) sera assurée par les accélérateurs en dehors de la zone d'extraction des fumées. Le régime des accélérateurs nécessaire au contrôle sera adapté selon les conditions aérauliques ambiantes dans le tunnel mesurées par les anémomètres. Le sens de démarrage des accélérateurs sera opposé au sens du courant d'air, afin d'obtenir une vitesse nulle au droit de l'incendie. Dans la zone de l'extraction, les accélérateurs et les anémomètres ne seront pas utilisés.

En phase 2, tous les accélérateurs seront démarrés dans le sens du trafic afin d'atteindre la vitesse critique en amont de l'incendie pour empêcher le backlayering. L'ensemble des capteurs des accélérateurs (vibrations et isotherme) sont annihilés, ainsi que le nombre de démarrage maximum par accélérateur.

En phase 1, 19 accélérateurs sont nécessaires pour contrôler le courant d'air dans la configuration aéraulique la plus défavorable. En phase 2, 36 accélérateurs permettent d'expulser les fumées par la tête de sortie à une vitesse supérieure à la vitesse critique dans toutes les configurations aérauliques (voir dimensionnement au paragraphe suivant).

Les caractéristiques des accélérateurs sont les suivantes (les mêmes qu'en sanitaire) :

- ▶ Poussée en champs libre : 1150 N avec grilles et silencieux à  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$  ;
- ▶ Vitesse d'éjection : 34 m/s environ ;
- ▶ Réversibilité : 90 % minimum ;
- ▶ Diamètre hélice : 1120 mm ;
- ▶ Diamètre extérieur : 1350 mm maximum ;
- ▶ Puissance mécanique moteur : 45 kW maximum.

Tous les accélérateurs seront équipés de variateurs.

L'emplacement des batteries d'accélérateurs pour la ventilation sanitaire, le contrôle du courant d'air et le désenfumage est présenté dans le tableau suivant. Le PM 0 correspond à l'entrée du tube.

Tableau 7 : Répartition des accélérateurs (PM 0 correspond à l'entrée du tube)

Batterie d'accélérateurs	PM DES BATTERIES D'ACCÉLÉRATEURS SENS MONTRÉAL - LONGUEUIL	PM DES BATTERIES D'ACCÉLÉRATEURS SENS LONGUEUIL - MONTRÉAL
Batterie 1	90 m	90 m
Batterie 2	180 m	180 m
Batterie 3	470 m	270 m
Batterie 4	560 m	360 m
Batterie 5	650 m	450 m
Batterie 6	740 m	540 m
Batterie 7	3070 m	2880 m
Batterie 8	3160 m	2970 m
Batterie 9	3250 m	3060 m
Batterie 10	3340 m	3150 m
Batterie 11	3430 m	3430 m
Batterie 12	3520 m	3520 m

### 6.3.2.3 Résultats des simulations d'incendie faites avec le logiciel Camatt

Le dimensionnement de la ventilation est réalisé en utilisant un logiciel de simulations numériques 1D. Le logiciel est Camatt distribué par le Centre d'Études des Tunnels français (CETu).

CAMATT est un logiciel de calcul permettant de décrire, à l'aide d'un modèle monodimensionnel anisotherme transitoire, l'évolution de différents paramètres (température, vitesse de l'air, etc.) dans un tunnel. Le tunnel étudié est alors modélisé par un tunnel principal ainsi que des singularités aérauliques telles que des accélérateurs, des trappes d'extraction, etc. L'environnement du tunnel (la topographie, l'environnement, la circulation, etc.) est renseigné pour que CAMATT puisse générer des données de sortie.

La durée des simulations est de 60 minutes, afin de tenir compte de l'échauffement des parois pendant toute la durée de l'incendie.

Camatt étant un logiciel mono dimensionnel, il moyenne ces résultats sur la section. Il est donc impossible de connaître l'état de stratification de la nappe de fumées par exemple.

Afin de connaître précisément l'état de stratification d'une nappe de fumées et les températures ponctuellement, il faut établir une simulation en 3 dimensions, qui n'est pas utile lors de cette étape d'études de préféaisabilité.

#### 6.3.2.3.1 Phase 1 : Maîtrise du courant d'air

Pour mémoire, les objectifs à atteindre sont les suivants :

- ▶ Extraction des fumées sur environ 400 m afin de cantonner les fumées dans la zone d'extraction : cet objectif correspond à une vitesse positive en amont de la zone d'extraction et à une vitesse négative en aval de la zone d'extraction ;
- ▶ Obtention des conditions favorables à la stratification en maîtrisant le courant d'air au droit de l'incendie (+/- 0,5 m/s) grâce aux accélérateurs.

L'incendie de référence est de 50 MW dans ce cas. Le temps de fermeture du tunnel est estimé à 2 minutes après le déclenchement de l'incendie, la ventilation du contrôle du courant d'air est démarrée au même moment. L'objectif de vitesse (+/- 0,5 m/s au droit de l'incendie) doit être atteint à partir de 4 minutes après le départ de l'incendie.

Afin de maîtriser les conditions atmosphériques extérieures, 19 accélérateurs maximum sont utilisés pour garantir l'objectif de vitesse à partir de 4 minutes après le départ de l'incendie. Compte tenu de la poussée développée par chaque machine (1150 N en champ libre), le dispositif est capable de compenser les différences de pression entre les têtes de tunnel générées par les conditions atmosphériques extérieures (Différence de pression entre les têtes de 50 Pa maximum). En effet, en considérant une efficacité sur site des accélérateurs de 70%, 19 accélérateurs sont capables de compenser une contre-pression de l'ordre de 50 Pa en sens direct et en réversible.

Le régime des accélérateurs est adapté de manière à compenser la différence de pression entre les têtes du tunnel.

#### 6.3.2.3.2 Phase 2 : Désenfumage

L'objectif imposé est de pousser les fumées à une vitesse supérieure à la vitesse critique en amont de l'incendie dans le sens du trafic afin d'empêcher le backlayering.

La vitesse critique calculée à l'aide de la formule de Kennedy pour un incendie de dimensionnement de 50 MW et une section de 94 m<sup>2</sup> est de 2,5 m/s.

Dans chaque simulation, deux batteries d'accélérateurs sont considérées comme hors service (à cause de la chaleur due à l'incendie de 50 MW). Sur les 36 accélérateurs au total (12 batteries de 3 accélérateurs), 30 au maximum sont donc utilisables pour la phase 2.

Les 30 accélérateurs disponibles en phase 2 permettent d'obtenir les objectifs de 2,5 m/s puisque dans le pire des cas, on obtient une vitesse de 2,9 m/s en amont de l'incendie.

### 6.3.3 Mode anti recyclage

Afin d'éviter de recycler les fumées du tube incendié au tube sain, il existe deux possibilités.

La première est d'installer un mur anti recyclage à chaque tête du tunnel entre les deux tubes. Ce mur doit avoir la hauteur du tunnel et doit mesurer 40 m minimum.

La deuxième possibilité est de démarrer les batteries les plus proches de l'entrée du tube sain en réversible. L'objectif est d'avoir une vitesse minimum de 1 m/s en entrée du tube sain dans le sens opposé au trafic. Avec les 18 accélérateurs en tête d'entrée, l'objectif des 1 m/s est atteint en 5 minutes après démarrage des accélérateurs en réversible avec une contre pression de 50 Pa dans le sens du trafic dans le tube sain. Cependant, avec ce système, il est impossible de conserver la ventilation sanitaire dans le tube sain.

Les dispositions définitives sont à examiner lors des études détaillées. Elles nécessitent une simulation de la dispersion des fumées en tenant compte de la « rose des vents ».

### 6.3.4 Ventilation de l'espace des transports en commun

A ce jour, la nature des transports en commun (bus ou train léger) passant par cet espace n'est pas définie. De ce fait, il est impossible de quantifier la puissance de l'incendie et la nature des polluants à l'intérieur de cet espace.

La section de l'espace des transports en commun étant plus petite que l'espace de circulation des VL et PL (64 m<sup>2</sup> environ pour l'espace des transports en commun contre 94 m<sup>2</sup> pour les espaces de circulation des VL et PL), la capacité d'extraction du système de l'espace de circulation permettra d'assurer la ventilation de désenfumage de l'espace pour les transports en commun. Pour cela, les ventilateurs d'extraction pilotés par variateurs pourront être mis en marche avec un débit plus faible que pour ventiler l'espace de circulation des VL et PL.

Pour l'implantation des accélérateurs, ils seront positionnés à l'endroit des bossages prévus pour l'espace de circulation VL et PL.

### 6.3.5 Puissance électrique des scénarios

Tableau 8 : Puissances électriques minimum requises pour le fonctionnement de la ventilation en tunnel

SCÉNARIO	P MÉCANIQUE (KW)	MATÉRIEL EN FONCTIONNEMENT
Sanitaire dans les 2 tubes	1440	32 accélérateurs
Incendie phase 1 (contrôle du courant d'air + extraction)	3175	19 accélérateurs + 4 ventilateurs
Sanitaire dans le tube sain		16 accélérateurs
Incendie phase 2 (Désenfumage)	2340	36 accélérateurs
Sanitaire dans le tube sain		16 accélérateurs

En ventilation incendie ou en ventilation sanitaire, l'ensemble des matériels disponibles doit pouvoir être démarré.

### 6.3.6 Contrôle des conditions atmosphériques

Pour l'adaptation du régime des accélérateurs dans le cadre de la maîtrise des conditions atmosphériques extérieures, des anémomètres seront disposés dans chaque sens pour recalculer la vitesse longitudinale de part et d'autre de la zone d'extraction. Seuls les anémomètres en dehors de la zone d'extraction sont utilisés pour le contrôle dans l'algorithme de pilotage en phase 1.

### 6.3.7 Contrôle de l'atmosphère

Pour assurer le contrôle continu des niveaux de pollutions et commander le pilotage de la ventilation sanitaire, plusieurs types de capteurs de pollutions seront installés. Chaque section contiendra un capteur de NO<sub>2</sub>, un opacimètre, un capteur de CO et leurs électroniques associées.

### 6.3.8 Ventilation de la galerie d'évacuation

Les objectifs de ventilation de la galerie d'évacuation en situation incendie sont les suivants :

- ▶ Assurer une surpression entre la galerie et le tube incendié de + 80 Pa maximum, lorsque les portes sont fermées ;
- ▶ Éviter tout passage de fumées du tube incendié vers la galerie en imprimant une vitesse de 1 m/s au travers de chaque porte ouverte côté tube incendié.

Les ventilateurs permettant d'assurer la surpression des galeries de sécurité seront installés en usine. Ils seront équipés de variateurs afin de régler leur débit en fonction du nombre de portes ouvertes pour garantir une vitesse de passage de l'air suffisant à travers ces portes.

La galerie entière sera mise en surpression. Le débit maximal des ventilateurs des galeries sera déterminé en fonction du nombre de sortie de secours disponibles dans le tunnel.

## 6.4 OPTION 4 VOIES DE CIRCULATION DANS CHAQUE SENS

Il existe une variante qui permettrait de passer de 3 voies de circulation par sens à 4 voies de circulation. Cela impacte la section de l'espace de circulation qui augmente de 94 m<sup>2</sup> à 104 m<sup>2</sup>.

### 6.4.1 Dimensionnement de la ventilation sanitaire

Les débits de dilution sont les mêmes que pour l'étude à 3 voies, seul le nombre d'accélérateurs nécessaires à la dilution des polluants change lorsque l'on passe de 3 à 4 voies de circulation.

Les accélérateurs retenus sont les mêmes que pour l'étude à 3 voies de circulation.

Tableau 9: Nombre d'accélérateurs en fonction de la contre pression pour différentes vitesses à 4 voies de circulation

Vitesse (km/h)	NOMBRE D'ACCÉLÉRATEURS EN FONCTION DE LA DIFFÉRENCE DE PRESSION ENTRE LES TÊTES										
	-50 Pa	-40 Pa	-30 Pa	-20 Pa	-10 Pa	0 Pa	10 Pa	20 Pa	30 Pa	40 Pa	50 Pa
0	1	3	4	5	6	8	9	10	12	14	15
10	0	1	3	4	5	6	8	9	10	11	13
20	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### 6.4.2 Dimensionnement du débit d'extraction

Le système de désenfumage doit extraire désormais un débit de 380 m<sup>3</sup>/s (2 x 1,25 x Section tunnel + 120) pour un espace de circulation à 4 voies (section de 104 m<sup>2</sup>). Une usine de ventilation est positionnée à chaque tête du tunnel. Deux ventilateurs dans chaque usine permettent d'extraire la moitié du débit d'extraction (190 m<sup>3</sup>/s) dans la gaine de ventilation de 15 m<sup>2</sup>.

Les fumées sont extraites sur une zone de 400 m environ par les carneaux de désenfumage disposés tous les 50 m environ, centrés sur l'incendie et activés au moyen de 9 trappes de désenfumage.

Spécifications techniques des ventilateurs d'extraction :

- ▶ Débit :  $95 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $\rho = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$ ;
- ▶ Pression totale : Entre 2700 et 3200 Pa suivant le réseau ;
- ▶ Vitesse de rotation : 1500 tr/min environ ;
- ▶ Puissance moteur : Entre 400 et 450 kW suivant le réseau ;
- ▶ Rendement aéraulique : 80% minimum ;
- ▶ Diamètre hélice : 2000 mm environ ;
- ▶ Tenue au feu :  $400^\circ\text{C}/2\text{h}$ .

Tous les ventilateurs d'extraction seront équipés de variateurs.

Chacune des trappes d'extraction extrait  $42 \text{ m}^3/\text{s}$  environ, leur section libre minimum est de  $4 \text{ m}^2$ . Environ 140 trappes d'extraction télécommandées seront installées pour extraire les fumées dans l'espace de circulation. Pour extraire les fumées dans l'espace des transports en commun, 70 trappes sont nécessaires.

### 6.4.3 Dimensionnement des accélérateurs

Les accélérateurs utilisés et leurs emplacements seront les mêmes que pour l'étude à 3 voies de circulation.

### 6.4.4 Résultats des simulations d'incendie pour un espace de circulation à 4 voies

#### 6.4.4.1 Phase 1 : Maîtrise du courant d'air

Le temps de fermeture du tunnel est estimé à 2 minutes après le déclenchement de l'incendie, la ventilation du contrôle du courant d'air est démarrée au même moment. L'objectif de vitesse (+/-  $0,5 \text{ m/s}$  au droit de l'incendie) doit être atteint à partir de 4 minutes après le départ de l'incendie.

Afin de maîtriser les conditions atmosphériques extérieures, 21 accélérateurs maximum sont utilisés pour garantir l'objectif de vitesse à partir de 4 minutes après le départ de l'incendie. Compte tenu de la poussée développée par chaque machine (1150 N en champ libre), le dispositif est capable de compenser les différences de pression entre les têtes de tunnel générées par les conditions atmosphériques extérieures (Différence de pression maximale entre les têtes de  $50 \text{ Pa}$  maximum). En effet, en considérant une efficacité sur site des accélérateurs de 70%, 21 accélérateurs sont capables de compenser une contre-pression de l'ordre de  $50 \text{ Pa}$  en sens direct et en réversible.

Le régime des accélérateurs est adapté de manière à compenser la différence de pression entre les têtes du tunnel.

#### 6.4.4.2 Phase 2 : Désenfumage

L'objectif imposé est de pousser les fumées à une vitesse supérieure à la vitesse critique en amont de l'incendie dans le sens du trafic afin d'empêcher le backlayering.

La vitesse critique calculée avec la formule de Kennedy pour un incendie de dimensionnement de  $50 \text{ MW}$  et une section de  $104 \text{ m}^2$  est de  $2,5 \text{ m/s}$ .

Dans chaque simulation, deux batteries d'accélérateurs sont considérées comme hors service (à cause de la chaleur due à l'incendie de 50 MW). Sur les 36 accélérateurs au total (12 batteries de 3 accélérateurs), 30 au maximum sont donc utilisables pour la phase 2.

Les 30 accélérateurs disponibles en phase 2 permettent d'obtenir les objectifs de 2,5 m/s puisque dans le pire des cas, on obtient une vitesse de 2,8 m/s en amont de l'incendie avec un espace de circulation à 4 voies.

## 6.4.5 Puissance électrique des scénarios avec 4 voies de circulation

Tableau 10 : Puissances électriques minimum requises pour le fonctionnement de la ventilation en tunnel pour 4 voies de circulation

SCÉNARIO	P MÉCANIQUE (KW)	MATÉRIEL EN FONCTIONNEMENT
Sanitaire dans les 2 tubes	1350	30 accélérateurs
Incendie phase 1 (contrôle du courant d'air + extraction) Sanitaire dans le tube sain	3420	21 accélérateurs + 4 ventilateurs 15 accélérateurs
Incendie phase 2 (Désenfumage) Sanitaire dans le tube sain	2295	36 accélérateurs 15 accélérateurs

## 7 EQUIPEMENTS D'EXPLOITATION ET DE SÉCURITÉ

### 7.1 RÉSEAU ET ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

#### 7.1.1 Dispositions générales et objectifs

L'ensemble des équipements de sécurité disposés dans les divers espaces doit être alimenté en énergie électrique, en toutes circonstances. L'alimentation des équipements de sécurité indispensables à l'évacuation doivent être maintenus au moins une demi-heure, même en cas de perte de l'alimentation principale.

#### 7.1.2 Principes constructifs – Conception – Description

##### 7.1.2.1 *Livraison de l'énergie*

A ce stade d'étude, la fiabilité du réseau électrique et le nombre d'arrivées disponibles aux têtes de l'ouvrage ne sont pas connus. L'étude électrique de pré faisabilité repose sur les hypothèses d'une arrivée d'énergie à chacune des deux têtes, de la possibilité de secourir une tête à partir de l'autre, ainsi que d'un secours de deuxième niveau de l'alimentation électrique par un ensemble de groupes électrogènes.

Les groupes électrogènes reprennent l'alimentation électrique des équipements utilisés dans les scénarios incendie (ventilation, éclairage, signalisation, radiocommunication, réseau incendie, vidéo surveillance, pompage, etc.)

Toutes ces dispositions seront à confirmer dans les phases ultérieures d'études en tenant compte de la fiabilité et de la capacité des réseaux existants, des bilans de puissance et des possibilités de renforcement ou non du réseau existant.

##### 7.1.2.2 *Énergie Moyenne Tension*

L'énergie électrique est distribuée depuis les locaux techniques de tête. Il n'y a pas de local technique dans l'ouvrage.

Il est prévu 2 postes de transformation MT/BT à chaque tête de l'ouvrage répartis comme suit :

- ▶ 1 poste dédié à l'alimentation des équipements de ventilation
- ▶ 1 poste dédié à l'alimentation des autres équipements

Chaque poste comporte 2 transformateurs MT/BT. Chacun de ces transformateurs peut reprendre la puissance d'alimentation nécessaire à l'ensemble des équipements correspondant à sa sphère d'influence.

En fonction normal, les équipements sont alimentés par les 2 transformateurs. En cas de perte d'un transformateur, tous les équipements affectés sont alors alimentés automatiquement depuis l'autre transformateur disponible.

##### 7.1.2.3 *Distribution Basse Tension*

Les équipements sont alimentés par des armoires électriques réparties régulièrement dans chaque galerie de sécurité de l'ouvrage tout en conservant un passage libre conséquent (largeur d'environ 3,65 m) pour l'évacuation des usagers.

#### 7.1.2.4 Cheminement des câbles

Les câbles d'alimentation des armoires en provenance des locaux techniques de têtes cheminent par un réseau de multitubulaires installés sous le sol des galeries.

Les câbles circulant à l'intérieur des galeries bénéficient de la protection au feu intrinsèque des galeries.

Les câbles terminaux circulant à l'air libre dans l'espace circulé sont non propagateurs de la flamme et résistants au feu pour les équipements vitaux. Ces câbles cheminent en chemin de câbles ou sont directement fixés à l'ouvrage.

#### 7.1.2.5 Alimentation secourue sans coupure

En cas de perte d'alimentation en énergie, des ensembles onduleurs redondants, chargeurs - batteries – redresseurs permettent de secourir pendant un temps limité les équipements de sécurité indispensables tels que :

- ▶ l'éclairage de sécurité ;
- ▶ l'éclairage des galeries de sécurité
- ▶ la signalisation et la signalétique lumineuse ;
- ▶ les barrières de fermeture du tunnel ;
- ▶ les capteurs de pollution et les anémomètres ;
- ▶ les différents systèmes courants faibles (vidéo, DAI, radio, RAU, réseaux, GTC, etc.).

Cette alimentation secourue permet aussi de s'affranchir des microcoupures du réseau.

### 7.1.3 Bilan prévisionnel de puissance

Le bilan prévisionnel de puissance est résumé par le tableau suivant. Ce bilan ne tient que des besoins propres du tunnel à l'exclusion de la puissance nécessaire à la force motrice d'un TCSP du type métro ou train léger.

A défaut de connaître la nature du TCSP, il n'a pas été possible de préciser les besoins en ventilation pour l'espace TCSP (ils diffèrent selon qu'il s'agisse d'un transport par bus ou par tramway, métro ou train léger)

Tableau 11 : bilan de puissance électrique

<b>BILAN DE PUISSANCE (KVA)</b>			
	<b>Locaux techniques Ouest</b>	<b>Locaux techniques Est</b>	<b>Total</b>
Ventilation	2 412	2 046	<b>4 458</b>
Eclairage	216	216	<b>432</b>
Poste de contrôle	278	0	<b>278</b>
Autres (servitudes LT, ASS, GTC, INC, RAU, RAD, SIG, VID)	500	362	<b>862</b>
<b>totaux</b>	<b>3 406</b>	<b>2 624</b>	<b>6 030</b>

## 7.2 ÉCLAIRAGE

### 7.2.1 Dispositions générales et objectifs

L'espace pour les TCSP ainsi que l'espace trafic VL PL sont éclairés en prenant en compte plusieurs régimes (jour et nuit) et un renforcement aux têtes pour limiter l'effet trou noir. Un éclairage minimum doit être opérationnel, même en cas d'incendie.

Un balisage lumineux est également disposé dans les espaces trafic.

Les galeries d'évacuation doivent être éclairées lorsque des personnes s'y trouvent.

### 7.2.2 Principes constructifs – Conception – Description

La définition des éclairages du tunnel s'appuie sur les hypothèses suivantes :

Tableau 12 : dimensionnement de l'éclairage

NORMES	CIE 88 2004
Trafic	Urbain 170 000 véhicules/jour 10% de PL
Circulation	Tubes VL+PL : Unidirectionnelle Tube TC : Bidirectionnelle
Largeur de la chaussée à éclairer	Tubes VL+ PL : 14,10 Tube TCSP : 8,50 m
Vitesse de référence	90 km/h
Distance d'arrêt sur chaussée humide	de l'ordre de 135 m
Type de chaussée	Revêtement standard R2 Coefficient de spécularité S1 : 0,58 Coefficient de luminance moyenne : Q0 : 0,07
Éclairage de base (tubes VL+PL)	
Luminance en zone d'entrée	6 Cd/m <sup>2</sup>
Luminance en zone de section courante (après 30 s à 70 km/h)	2 Cd/m <sup>2</sup>
Rapport E/L (éclairage de type symétrique)	19
Nombre de files	2
Éclairage de renforcement (tubes VL+PL)	
Rapport E/L (éclairage de type asymétrique)	13
Nombre de files	2
Niveau de voile aux entrées	Fort
Luminance aux entrées	120 Cd/m <sup>2</sup>
Éclairage de sécurité (tube TC)	

NORMES	CIE 88 2004
Rapport E/L (éclairage de type symétrique)	19
Nombre de files	2 en quinconce
Luminance	1 Cd/m <sup>2</sup>

### 7.2.2.1 *Éclairage de base (tubes VL+PL)*

L'éclairage de base étudié utilise des lampes à sodium haute pression et utilise le système à flux dirigé symétrique « classique », dans lequel l'axe général des flux lumineux émis par les luminaires est vertical.

Les luminaires sont implantés selon deux files et espacés d'environ 8,40 mètres, ils comportent 2 lampes de 100 W.

Étant donné la longueur importante de l'ouvrage, le niveau maximum (plein régime) de luminance dans l'ouvrage peut être réduit au bout de 30 secondes parcouru à la vitesse limite soit à partir d'environ 600 m (30s à 70 km/h = 584 m). L'étude prévoit de réduire ce niveau de luminance de 6 à 2 Cd/m<sup>2</sup> à partir de 600 m dans chaque sens de circulation.

En période diurne et crépusculaire, le niveau de l'éclairage de base est fonction des conditions extérieures d'ensoleillement et du niveau de trafic.

Les différents régimes d'éclairage de base sont obtenus par extinction de circuits d'alimentation.

La partie de l'éclairage de base située dans les paliers de renfort des zones d'entrée est éteinte, à l'exception de l'éclairage de sécurité pour éviter de contrarier le système à contre-flux.

### 7.2.2.2 *Éclairage de sécurité (tubes VL+PL et tube TC)*

En cas de coupure de l'alimentation en énergie, l'alimentation secourue par onduleur permet de maintenir sans coupure pendant un temps limité l'éclairage de base à un niveau d'éclairement supérieur à 10 lux en moyenne et 2 lux en tout point.

Les câbles d'alimentation et les boîtes de dérivation de l'éclairage de sécurité sont résistants au feu.

Les boîtes et les câbles sont fixés directement en plafond ou en piédroit.

L'alimentation de l'éclairage de sécurité est réalisée depuis les armoires électriques situées dans les galeries de sécurité. Elle est distribuée selon un principe de cantonnement, limitant ainsi la perte éventuelle de l'éclairage de sécurité à uniquement un canton de l'ouvrage.

### 7.2.2.3 *Éclairage de renforcement*

Les niveaux d'éclairement réels des entrées à mettre en œuvre ne peuvent être donnés dans la présente étude. Ils nécessitent une étude avec des mesures de luminances extérieures sur les têtes aux différentes saisons. Ces mesures ainsi que la connaissance du projet architectural permettront une définition plus complète lors des études ultérieures.

Une campagne de mesures est nécessaire pour déterminer les niveaux réels d'éclairement aux têtes. Ces mesures sur site devront prendre en compte les paramètres saisonniers et l'environnement dégagé ou non des têtes de l'ouvrage.

L'éclairage de renfort étudié est réalisé à l'aide d'appareils par mobilisation de contraste (ou contre-flux). L'axe général des flux lumineux des luminaires est incliné et orienté dans le sens opposé à celui de la circulation automobile.

Les luminaires sont équipés de lampes de type sodium haute pression d'une puissance unitaire de variant de 70 à 400 W.

La commande de l'éclairage de renforcement se fait à partir d'un signal émis par des luminancemètres installés à une distance des têtes proche de la distance d'arrêt des véhicules.

Les différents régimes d'éclairage de renforcement sont obtenus par extinction de circuits d'alimentation ou par l'intermédiaire de variateurs de tension.

La longueur de l'éclairage de renforcement est estimée à environ 330 mètres.

#### 7.2.2.4 *Éclairage des galeries de sécurité*

Les galeries de sécurité disposent d'un éclairage raccordé au réseau secouru par onduleur via les armoires électriques des galeries.

L'éclairage est dimensionné pour environ 100 lux avec une file de luminaires fluo de 2\*55W espacés d'environ 6,30 m)

### 7.3 VENTILATION

En exploitation normale, dans les espaces trafic (VL PL et TCSP), la ventilation sanitaire permet de maintenir un niveau de pollution acceptable pour les usagers.

En cas d'incendie, le système de désenfumage doit permettre :

- ▶ Dans un premier temps : aux usagers de rejoindre une zone sûre, à l'abri des fumées (la galerie d'évacuation);
- ▶ Dans un deuxième temps : aux Sapeurs-Pompiers de lutter contre le sinistre.

La conception du système de ventilation doit prendre en compte le trafic potentiellement saturé ainsi que le pouvoir calorifique important potentiel de certains véhicules.

Ainsi, le système prévu d'être mis en place exige de connaître la localisation de l'incendie et l'état du trafic pour pouvoir déclencher le bon scénario.

Les équipements de ventilation et leur dimensionnement font l'objet du chapitre 6 ci-dessus.

### 7.4 ÉQUIPEMENTS NÉCESSAIRES À LA SUPERVISION ET À LA SURVEILLANCE

#### 7.4.1 Dispositions générales et objectifs

Étant donné le volume de trafic, l'espace trafic VL PL doit être surveillé en permanence. Un système de vidéosurveillance, associé à un logiciel de Détection Automatique d'Incident (DAI) permet d'assurer cette fonction.

En complément, un câble thermométrique permet de détecter et de localiser un incendie.

#### 7.4.2 Principes constructifs – Conception – Description

Dans chacun des espaces « trafic VL et PL », des caméras disposées tous les 75 m environ permettent de couvrir l'ensemble de la zone. Une caméra sur 2 est alimentée depuis un câble différent.

Le système DAI repose sur un système de serveurs redondants, alimentés depuis un réseau sécurisé. Le paramétrage devra prendre en compte les spécificités de l'ouvrage et le potentiel trafic congestionné.

Les espaces trafic VL PL sont équipés de détection d'incendie réalisées par conducteur optique pour la mesure de température. Ces systèmes linéaires de détection sont de type fibrolaser. Ces systèmes permettent entre autres la localisation précise du début d'incendie, de connaître l'information sur la propagation de l'incendie et de la température dans le secteur de l'incendie ainsi que la surveillance de la température sur toute la longueur du câble.

## 7.5 ÉQUIPEMENTS UTILES À LA CARACTÉRISATION ET À LA RÉGULATION DU TRAFIC : VL ET PL

Pour connaître l'état du trafic, des boucles de comptages sont mises en place.

Au niveau du tunnel, il doit être possible de stopper le trafic en cas d'incident. Cela permet de limiter le nombre d'usagers impliqués. Sur la voie concernée grâce à des Feux d'Affectation de Voie régulièrement répartis (tous les 300 m, un signal par voie) ou dans l'ensemble du tube grâce à des barrières disposées en entrée d'ouvrage.

## 7.6 SIGNALISATION ET SIGNALÉTIQUE

Les éléments de signalisation routière sont disposés dans le tunnel (pour la circulation des PL VL et des TCSP). L'ensemble des dispositifs utiles à la sécurité des usagers en cas d'incident sont clairement signalés :

- ▶ Dans les espaces trafic VL et PL, on signale la présence des accès vers la galerie et la présence des PAU et extincteurs;
- ▶ Dans l'espace trafic TCSP, on signale la présence des accès aux galeries de sécurité et aux équipements qui s'y trouvent;
- ▶ Dans les galeries de sécurité, on indique la présence des PAU et on rappelle la conduite à tenir pour les usagers.

Une signalisation de direction est mise en place dans le tunnel au voisinage des têtes afin de pré signaler, puis de signaler les bretelles de sortie en direction de l'A 132 (en rive droite), l'île des Sœurs et l'Autoroute Bonaventure.

## 7.7 RÉSEAU D'APPEL D'URGENCE

### 7.7.1 Dispositions générales et objectifs

Le Réseau d'Appel d'Urgence doit permettre à un usager de transmettre une alerte au service en charge de la surveillance de l'ouvrage et de rester en contact avec ce service une fois l'espace sécurisé atteint.

Les événements mineurs ayant lieu dans l'espace trafic VL PL ne nécessitant pas une évacuation doivent pouvoir être signalés depuis l'espace trafic, et ainsi éviter de rejoindre la galerie (qui implique de traverser les voies de circulation).

L'espace trafic TCSP n'est pas relié au RAU. Un événement peut être signalé grâce au réseau à disposition dans les galeries, ou directement par le conducteur qui est relié à son PC d'exploitation.

Les galeries sont utilisées pour faire passer les réseaux et garantir la fiabilité de l'installation.

## 7.7.2 Principes constructifs – Conception – Description

Des PAU ou des postes d'appel permettant de se signaler sont disposés au niveau du trottoir situé à proximité de la BAU pour donner une alerte immédiate en cas d'incident mineur. Ils sont situés face aux accès aux galeries, tous les 100 m. Comme indiqué, ceci évitera la traversée de l'espace trafic par les usagers en difficulté.

Un réseau, également disponible en cas d'incendie, est disposé dans la galerie d'évacuation. Les postes sont situés à proximité des accès (tous les 100 m).

## 7.8 RÉSEAU INCENDIE

### 7.8.1 Dispositions générales et objectifs

En cas d'incendie, les services d'intervention et de secours doivent disposer d'un réseau leur permettant de lutter contre le sinistre pouvant survenir dans un espace trafic (VL PL ou TCSP).

De plus des extincteurs doivent être disponibles rapidement pour les usagers.

### 7.8.2 Principes constructifs – Conception – Description

#### 7.8.2.1 Extincteurs

Des extincteurs sont placés régulièrement de chaque côté des tubes VL+PL (en piédroit pour les voies lentes et à l'intérieur des galeries de sécurité pour les voies rapides).

#### 7.8.2.2 Alimentation en eau

Des points d'alimentation en eau sont disposés régulièrement en piédroit :

- ▶ le long des voies rapides dans chaque tube VL+PL
- ▶ de chaque côté du tube dédiée aux transports en commun

L'ouvrage dispose d'un réseau d'eau bouclé équipé de vannes pour isoler un tronçon en cas de fuite localisée.

A ce stade des études, la nature de l'alimentation en eau disponible aux têtes de l'ouvrage n'est pas connue (réseau de ville).

Dans une phase ultérieure, une étude d'alimentation en eau depuis le fleuve du St Laurent pourra être envisagée.

Pour le moment, il est prévu d'utiliser deux réservoirs d'eau incendie pour les besoins de l'ouvrage (2 x 80 m<sup>3</sup>). Ces réservoirs sont localisés au niveau d'un des deux locaux techniques.

Le réseau d'eau est mis en pression à l'aide de pompes électromécaniques redondées en cas d'anomalie de l'une d'entre elles.

Toutes les conduites mises en eau ainsi que les réservoirs sont protégés du gel.

## 7.9 COMMUNICATION POUR LES SERVICES D'EXPLOITATION ET D'INTERVENTION

Les services d'intervention doivent pouvoir communiquer à l'intérieur de l'ouvrage, dans les différents espaces, y compris en cas d'incendie.

Ainsi, la continuité des dispositifs de radio des Sapeurs-Pompiers est assurée dans l'ouvrage.

Les galeries sont utilisées pour faire passer les réseaux et garantir la fiabilité de l'installation.

## 7.10 MOYENS DE GESTION

### 7.10.1 Gestion technique centralisée (GTC)

#### 7.10.1.1 Dispositions générales et objectifs

Le système de Gestion Technique Centralisée permet de gérer, soit à distance, soit localement, soit de façon autonome l'ensemble des équipements et des systèmes de sécurité liés à un secteur géographique et/ou fonctionnel.

L'architecture GTC est composée de 3 niveaux de communication et de traitement.

#### 7.10.1.2 Principes constructifs – Conception – Description

Le **niveau 1**, constitué des équipements de terrain en tunnel et de modules d'Entrées / Sorties (E/S), recueille les informations « terrain » des capteurs / actionneurs installés dans l'ouvrage et sa périphérie, puis les redistribue.

Le **niveau 2** est constitué par des automates programmables industriels (API) dont chacun assure

- ▶ L'acquisition des informations du niveau 1,
- ▶ L'acquisition des informations placées dans sa zone d'influence,
- ▶ Le traitement des automatismes locaux,
- ▶ La communication avec la GTC du PC (niveau 3) via des interfaces fibre optique.

Le **niveau 3** assure la supervision GTC d'exploitation et de maintenance depuis le PC d'exploitation, ainsi que la communication avec les éventuels services connexes.

La supervision de la GTC a en particulier les rôles suivants :

- ▶ Un secours du pilotage à distance des équipements de sécurité ;
- ▶ Un outil de maintenance ;
- ▶ Le pilotage unitaire des équipements ;
- ▶ La surveillance des équipements ;
- ▶ Une aide ;
- ▶ Le paramétrage des asservissements, des équipements, des capteurs,...

Pour cela elle dispose de tous les outils classiques d'un système de supervision, dont une Supervision IHM (interface homme / machine) déportée de traitement des informations, vouée au secours de l'exploitation, aux développements et à la maintenance du tunnel.

Le système de GTC est associé à un système de transport des informations sécurisé (cheminant notamment dans les galeries d'évacuation).

### 7.10.2 PC – poste de supervision

Le tunnel doit être surveillé en permanence depuis un PC d'exploitation dédié à l'infrastructure et au pilotage de ses équipements.

Ce PC, en lien avec le centre intégré de gestion du trafic de Montréal contribue à la remontée d'informations (état du trafic, restrictions de circulation...).

## 7.11 LOCAUX TECHNIQUES

L'ensemble des équipements du tunnel et de ses abords est raccordé et contrôlé depuis les locaux techniques. Un local technique dispose de différentes parties pour la séparation de la HT, la BT et la TBT (pour les équipements dits « à courants faibles » tels que la GTC, la transmission vidéo et la transmission radio).

Les locaux techniques abritent en particulier :

- ▶ les cellules HT
- ▶ les transformateurs MT/BT et les TGBT
- ▶ les groupes électrogènes
- ▶ les variateurs d'éclairage
- ▶ les variateurs et démarreurs pour les équipements de ventilation
- ▶ les ventilateurs de désenfumage (usine de ventilation)
- ▶ les baies de transmission
- ▶ les baies GTC
- ▶ les baies de radiocommunication
- ▶ les baies vidéo
- ▶ les tableaux de contrôle/commande
- ▶ les ensembles chargeurs/batteries/onduleurs
- ▶ les équipements d'alimentation du réseau incendie

Les locaux techniques disposent principalement :

- ▶ D'une ventilation et/ou une climatisation selon les pièces
- ▶ De chauffage pour les locaux ventilés
- ▶ D'un éclairage de sécurité
- ▶ De téléphones d'exploitation
- ▶ De baies d'alimentation d'équipements secondaires
- ▶ D'une détection d'intrusion par détection d'ouverture de portes
- ▶ D'une détection d'incendie et des extincteurs
- ▶ De faux-planchers techniques permettant le passage de câbles
- ▶ De prises électriques
- ▶ De portes résistantes au feu
- ▶ De chaises et de tables
- ▶ De palans montés sur des rails pour la manutention des équipements lourds
- ▶ D'une insonorisation pour les usines de ventilation
- ▶ De toilettes

Ces locaux techniques sont placés dans les bâtiments situés à chacune des têtes du tunnel

## 7.12 INSTALLATIONS D'EXPLOITATION

L'exploitant doit disposer d'installations d'exploitation lui permettant :

- ▶ De disposer d'ateliers pour la maintenance et l'entretien et de locaux de stockage des différentes pièces de rechange des équipements installés dans le tunnel,
- ▶ D'intervenir en tunnel pour poser du balisage, enlever des obstacles, traiter des pannes, des pertes de chargement, etc. dans des délais très courts afin de ne pas mettre en cause la sécurité des usagers. A cet effet il est nécessaire qu'il dispose d'un poste d'intervention au voisinage immédiat du tunnel. Ce poste d'intervention est localisé dans les bâtiments de tête de tunnel sur l'île des Sœurs.

## 8 TRANSPORTS DE MATIÈRES DANGEREUSES

Ce chapitre présente les éléments d'analyse concernant les transports des matières dangereuses (TMD), ainsi que les dispositions complémentaires qui seraient à mettre en œuvre lors de la construction de l'ouvrage et de son exploitation.

Cette analyse est très préliminaire compte tenu des informations disponibles assez limitées concernant la circulation des TMD dans le secteur de Montréal, ainsi que leur passage actuel sur le pont Champlain.

Les TMD ne sont pas spécifiques au tunnel. Elles concernent également les tronçons à l'air libre et le pont, où un accident de matières dangereuses serait de nature à avoir des conséquences importantes sur les installations, les usagers et les riverains. Les risques TMD à l'air libre ne doivent pas être négligés.

### 8.1 ÉLÉMENTS D'ANALYSE CONCERNANT LE TRANSPORT DES MATIÈRES DANGEREUSES

#### 8.1.1 Introduction

L'étude de pré faisabilité du remplacement du pont Champlain par un tunnel, en conclusion de sa première partie A, préconise la réalisation d'une analyse concernant le transport des matières dangereuses:

*« Le passage des véhicules transportant des matières dangereuses constitue un aspect important pour la solution « tunnel », compte tenu de l'impact de cette nature de transport vis-à-vis des conditions de sécurité. Il est donc essentiel de recenser, dès ce niveau d'études, le volume de véhicules concernés, la nature des produits transportés, leur dangerosité, les principales origines et destinations, de façon à pouvoir analyser les dispositions particulières à mettre en œuvre pour la régulation de ces transports, et / ou, le cas échéant, leur interdiction partielle ou complète et les itinéraires alternatifs. Il est proposé à cet effet de réaliser une analyse préliminaire concernant le transport des matières dangereuses. »*

Le chapitre 8.1.2 rappelle les différentes classes de matières dangereuses existantes et les risques aggravés qu'elles sont susceptibles d'engendrer si un accident les impliquant survient en tunnel.

Le chapitre 8.1.3 indique les principales dispositions législatives et réglementaires en vigueur en la matière au Québec.

Le chapitre 8.1.4 présente les données de trafic actuellement disponibles pour dimensionner le risque existant sur l'actuel pont Champlain et précise leurs limites d'emploi. Il présente également les risques TMD à prendre en compte

Le chapitre 8.1.5 récapitule les principaux dangers à prendre en compte et les dispositifs de sécurité envisageables pour assurer leur couverture.

Le chapitre 8.1.6 présente une simulation concernant un incendie de 200 MW.

## 8.1.2 Les matières dangereuses et leurs risques spécifiques en tunnel

### 8.1.2.1 Les différentes classes de marchandises dangereuses

Tous les produits ou substances qui peuvent présenter des dangers au cours de leur transport sont des marchandises dangereuses. Le règlement sur le transport des marchandises dangereuses applicable au Québec scinde les produits en 9 classes correspondant à 9 classes de danger. Le ministère des Transports catégorise aussi les matières dangereuses selon ces 9 classes. Les classes et les types de produit correspondant sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 13 - classification des matières dangereuses au Québec

CLASSE	TYPE DE PRODUIT
1	Explosifs (matières comportant un danger d'explosion en masse ou en fragments ou d'explosion par effet de souffle)
2	Gaz comprimés (gaz inflammables, ininflammables, toxiques ou corrosifs)
3	Liquides inflammables et combustibles (liquides comportant des dangers d'incendie, d'explosion, de toxicité, de corrosion et de contamination de l'eau ou de l'air. Exemple : essence, méthane, kérosène)
4	Solides inflammables (matières sujettes à l'inflammation spontanée ou qui au contact de l'eau ou de l'air dégagent des gaz inflammables)
5	Matières comburantes et peroxydes organiques (matières sensibles à la chaleur, au choc et au frottement. Peuvent former des mélanges explosifs)
6	Matières toxiques et matières infectieuses (solides ou liquides toxiques par inhalation, ingestion ou par absorption cutanée de leurs vapeurs. Organismes ou toxines connus comme étant infectieux ou susceptibles de présenter un danger d'infection)
7	Matières radioactives (danger en raison de l'explosion au rayonnement ou en cas de fuite de matières radioactives)
8	Matières corrosives (matières pouvant causer une nécrose de la peau et matières qui corrodent les métaux. Exemple : acide sulfurique)
9	Matières ou produits divers (non-classifiés et toxiques pour les humains ou pour l'environnement. Déchets dangereux)

### 8.1.2.2 .Le risque TMD en tunnel

L'explosion, le nuage toxique, l'incendie et la contamination de l'eau et du sol sont les principaux dangers liés au transport routier de matières dangereuses.

S'ils se produisent en tunnel, ces événements sont susceptibles d'avoir des conséquences graves complexes à maîtriser, compte tenu de l'espace confiné que constitue un tunnel.

#### 8.1.2.2.1 L'explosion

Une explosion « très importante » de type BLEVE chaud (explosion d'une citerne de GPL préalablement chauffée par un incendie...) ou une explosion « importante » de type BLEVE froid (explosion sans inflammation d'une citerne contenant un gaz liquéfié...) se traduirait en tunnel par la propagation d'une onde de choc dans tout ou partie de l'ouvrage.

De par sa soudaineté et son intensité, un tel phénomène est susceptible de provoquer des dégâts humains et matériels considérables, voire même le délabrement de la structure si celle-ci n'a pas une résistance suffisante et qu'elle n'a pas été dotée de dispositifs d'absorption.

En l'absence de moyens de lutte adaptés pour couvrir ce type de risque, les mesures de prévention et de prévision sont à privilégier (interdiction de circulation et détermination d'itinéraires alternatifs, ou à défaut, renforcement de la structure et des équipements et restriction de circulation à certains horaires).

#### 8.1.2.2.2 *La fuite importante de gaz toxiques (ou infectieux), ou de liquides toxiques volatiles*

Une fuite importante de gaz (ou de liquides volatiles) toxiques ou infectieux en tunnel est susceptible, si le nuage se propage rapidement, de mettre en péril les usagers impliqués et de rendre parallèlement très difficile l'intervention des secours.

Pour couvrir ce type de risque, les mesures de prévention sont également à privilégier, des mesures opérationnelles spécifiques pouvant le cas échéant compléter le dispositif (renforcement des dispositifs de détection, de ventilation et d'extraction des fumées, renforcement des moyens d'évacuation des usagers, mise à niveau des moyens d'intervention...).

#### 8.1.2.2.3 *L'incendie important*

Un incendie important (du type de ceux qui se sont produits au Mont-Blanc en 1999 et au Tauern en 2000) est susceptible de provoquer une émission de fumées toxiques qui se propagent et mettent en danger les usagers, ainsi qu'une élévation de température au droit du foyer rendant impossibles son approche et son attaque directs par les services de secours.

La maîtrise de ce type de risques passe par la conjugaison de mesures de prévention, de prévision et de lutte permettant de limiter l'occurrence et les conséquences potentielles d'un sinistre naissant (détection et attaque rapide du feu, évacuation immédiate des usagers, extraction massive des fumées, maîtrise de leur propagation).

#### 8.1.2.2.4 *La contamination de l'eau et du sol*

La prise en charge des produits dangereux déversés sur la chaussée peut faire l'objet de mesures opérationnelles analogues à celles susceptibles d'être mises en œuvre à l'air libre. L'installation sous chaque chaussée de caniveaux à fente avec regards siphonides et bacs de rétention facilite notamment la récupération des produits liquides.

### 8.1.3 **Les dispositions réglementaires en vigueur au Québec**

La loi Canadienne de 1992 sur le transport des marchandises dangereuses ne contient aucune disposition particulière relative aux ouvrages routiers souterrains. La réglementation applicable en la matière est définie par chaque province.

Pour le Québec, le règlement sur le transport des matières dangereuses intégré au code de la sécurité routière précise les dispositions applicables : La circulation des véhicules transportant des matières dangereuses est restreinte dans certains ouvrages (tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine, tunnels Ville-Marie et Vigier à Montréal, tunnel Joseph-Samson à Québec, voie d'accès au tunnel de Melocheville), elle n'est pas régulée dans les autres.

Le tableau ci-après résume ce qui est autorisé et ce qui ne l'est pas dans les tunnels réglementés, ainsi que les conditions de circulation des véhicules routiers dans les tunnels et ponts-tunnels

réglementés du Québec (*tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine, tunnels Ville-Marie et Vigier à Montréal, tunnel Joseph-Samson à Québec, voie d'accès au tunnel de Melocheville*).

Tableau 14 : Réglementation québécoise concernant les TMD en tunnel

MARCHANDISES TRANSPORTÉES	CE QUI EST AUTORISÉ	CE QUI EST INTERDIT
Gaz inflammable Gaz inflammable avec une classe subsidiaire comburante Gaz toxique avec une classe subsidiaire inflammable Gaz toxique avec une classe subsidiaire comburante	2 bouteilles d'une capacité de 46 litres chacune au maximum.	Une bouteille dont la capacité excède 46L Plus de 2 bouteilles peu importe la capacité.
Liquide inflammable de classe 3	Un contenant ou ensemble de contenant dont la capacité totale n'excède pas 30L	Un contenant ou ensemble de contenant dont la totalité excède 30L.
MD dont la quantité transportée exige l'apposition de plaques sur le véhicule.	TMD de classe 9 seulement	TMD des produits appartenant aux classes 1 à 8
Équipement produisant une flamme nue	Flamme éteinte	Flamme allumée
Une ou des bouteilles de gaz inflammable à l'intérieur ou extérieur de véhicules « récréatifs » (butane, propane).	2 bouteilles d'une capacité de 46 litres chacune au maximum.	Une bouteille dont la capacité excède 46L Plus de 2 bouteilles peu importe la capacité.

### 8.1.4 Le risque TMD à prendre en compte

Il convient de connaître avec le plus d'exactitude possible le trafic TMD empruntant le pont Champlain (origine et destination des différents transports, nature et importance du trafic, jours et horaires de passage sur le pont...) afin de caractériser les risques potentiels qu'un tel trafic engendrerait s'il passait dans un ouvrage souterrain de substitution, puis d'identifier les conditions de leur couverture et/ou les restrictions de circulation à mettre en œuvre pour garantir la sécurité.

Une enquête de terrain s'avérant impossible à mettre en œuvre dans les délais impartis, la présente analyse de risques est basée sur des données tirées des documents suivants :

- ▶ Enquête « National Roadside Survey 2006/2007 »
- ▶ Rapport sur « le transport routier des matières dangereuses en Montérégie » établi en mars 2005,

Cette analyse est très préliminaire, car basée sur des informations partielles qui ne concernent qu'une partie des transports concernés, ainsi qu'une zone d'analyse géographique relativement restreinte.

#### 8.1.4.1 Enquête « National Roadside Survey »

L'enquête « National Roadside Survey » menée en 2006 et 2007 pour mieux connaître les caractéristiques du camionnage interurbain dans la région de Montréal a été réalisée à partir de stations situées à l'extérieur de Montréal. Les données recueillies ne permettent pas de définir avec certitude quel pont est emprunté par chaque véhicule ni à quelle heure. Par ailleurs, elles n'intègrent pas les déplacements internes à la région de Montréal alors que ces déplacements sont vraisemblablement importants voire majoritaires à certains horaires, notamment pour la livraison des carburants ou des combustibles à caractère individuel ou collectif.

La simulation réalisée à partir de ces données laisse toutefois apparaître que :

- ▶ plusieurs dizaines de véhicules transportant des matières dangereuses empruntent vraisemblablement chaque jour le pont Champlain,
- ▶ d'autres ouvrages sont utilisés par les TMD pour franchir le Saint-Laurent au niveau de Montréal.
- ▶ une redistribution de tout ou partie du trafic TMD entre ces différents ouvrages paraît envisageable.

Tableau 15 : trafic TMD franchissant le Saint Laurent

DÉBITS HEBDOMADAIRES CAMIONS SUR LES PONTS ENTRE RIVE-SUD ET MONTRÉAL SELON NRS 2006-2007							
Simulation de Luc Deneault							
Pont ou tunnel	Trafic tous camions			Trafic camions transportant des matières dangereuses			
L-H-La Fontaine	10453	10453	20906	328	679	1007	
J-Cartier	13930	13497	27427	511	626	1137	
Victoria	3564	1859	5423	95	183	278	
<b>Champlain</b>	<b>5185</b>	<b>9263</b>	<b>14448</b>	<b>276</b>	<b>206</b>	<b>482</b>	
Honoré-Mercier	2376	4795	7171	0	0	0	
Total			75375			2904	4%

#### 8.1.4.2 Rapport sur « le transport routier des matières dangereuses en Montérégie »

Ce document établi en mars 2005 à la demande du Ministère des Transports du Québec a été élaboré au terme d'une vaste enquête « origine destination des transports de matières dangereuses » menée en 2000 auprès des entreprises de Montérégie les plus concernées.

*N.B. : Le transport d'essence vers les stations service, générateur de nombreux déplacements, le transport de matières radioactives ainsi que les véhicules en transit n'étant pas pris en compte*

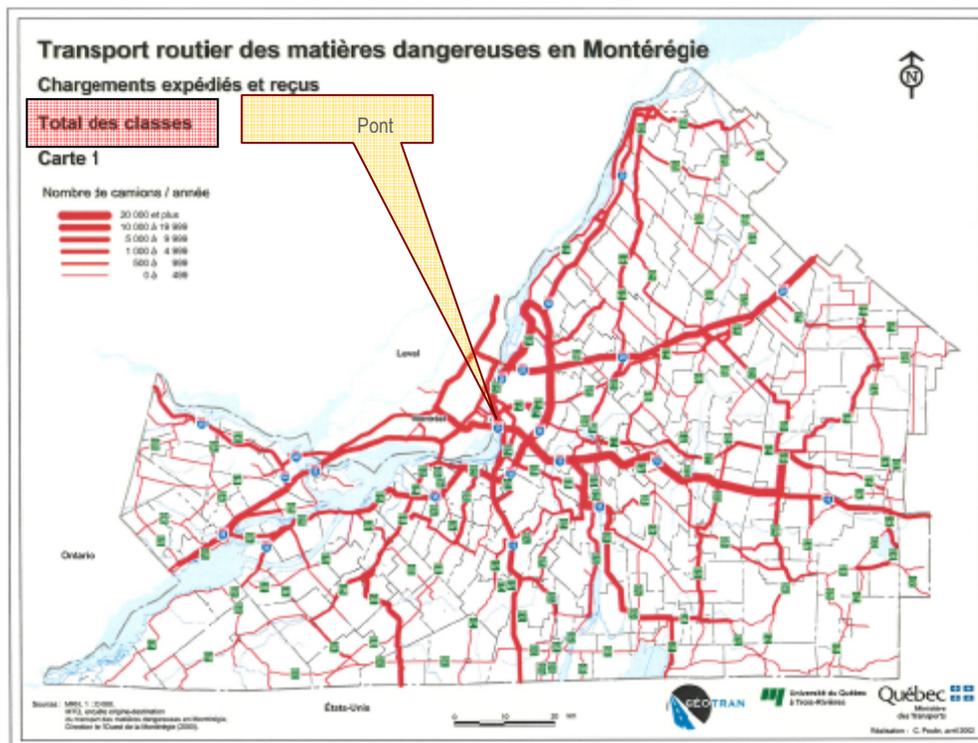
(exclus de l'enquête menée en Montérégie), les trafics effectifs de TMD circulant sur chaque itinéraire étudié sont vraisemblablement plus élevés que ceux recensés.

L'étude permet toutefois de confirmer que :

- ▶ l'axe autoroutier porté par le pont Champlain est utilisé quotidiennement par plusieurs dizaines de véhicules transportant des matières dangereuses,
- ▶ d'autres itinéraires sont également fréquentés, de façon plus ou moins importante,
- ▶ en fonction de l'origine et de la destination des marchandises dangereuses transportées, des itinéraires alternatifs permettant d'éviter le pont Champlain sont envisageables.

Les cartes ci-après sont extraites de l'étude de Montérégie. Elles représentent le trafic des TMD et sa répartition, selon les classes de TMD les plus significatives, ainsi que toutes classes confondues.

Figure 6 : TMD en Montérégie



Les trafics de matières dangereuses les plus importants recensés concernent respectivement les matières dangereuses de classe 2 (gaz comprimés), de classe 3 (liquides inflammables et combustibles) et de classe 8 (matières corrosives) (cf. cartes correspondantes ci-dessous).

Figure 7 : TMD en Montérégie - Classe 2

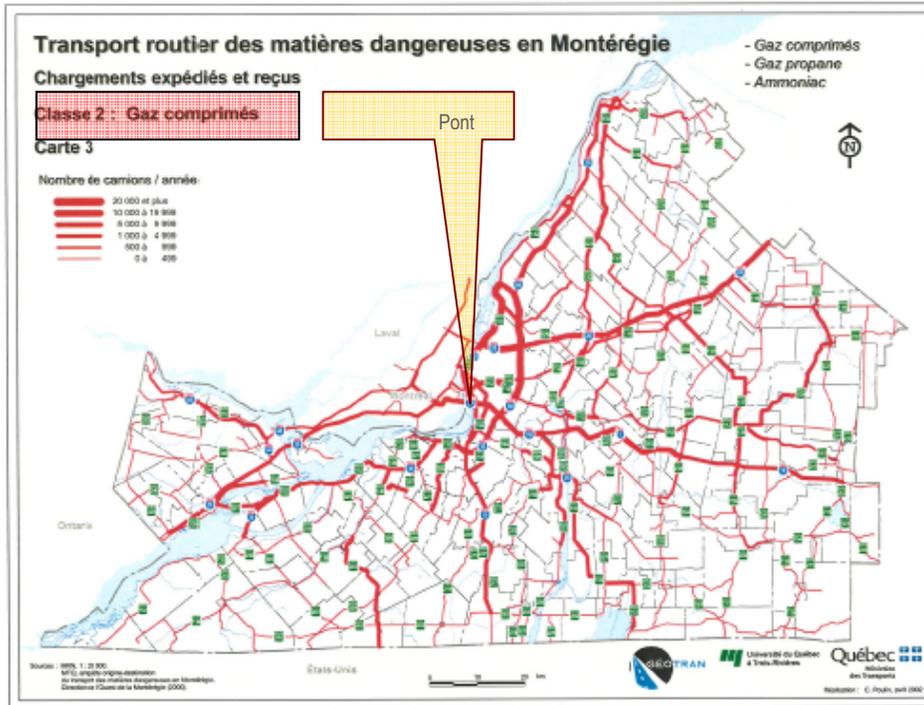


Figure 8 : TMD en Montérégie - Classe 3

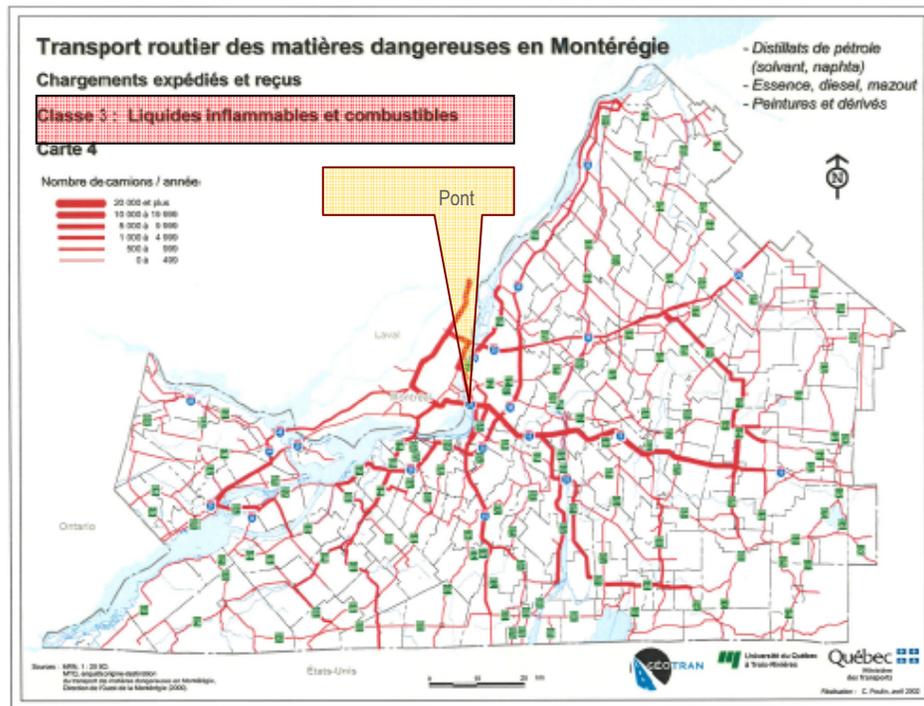
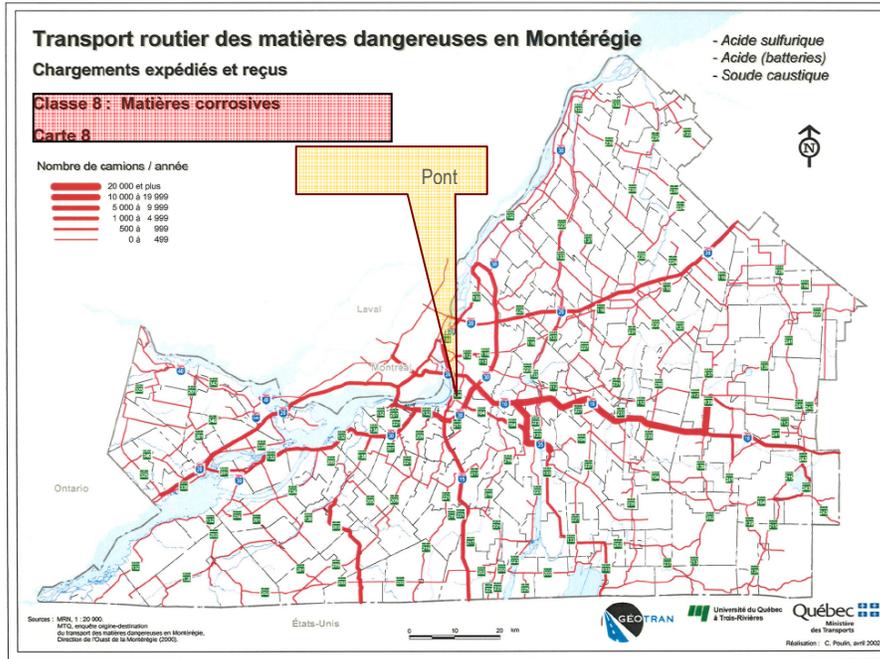
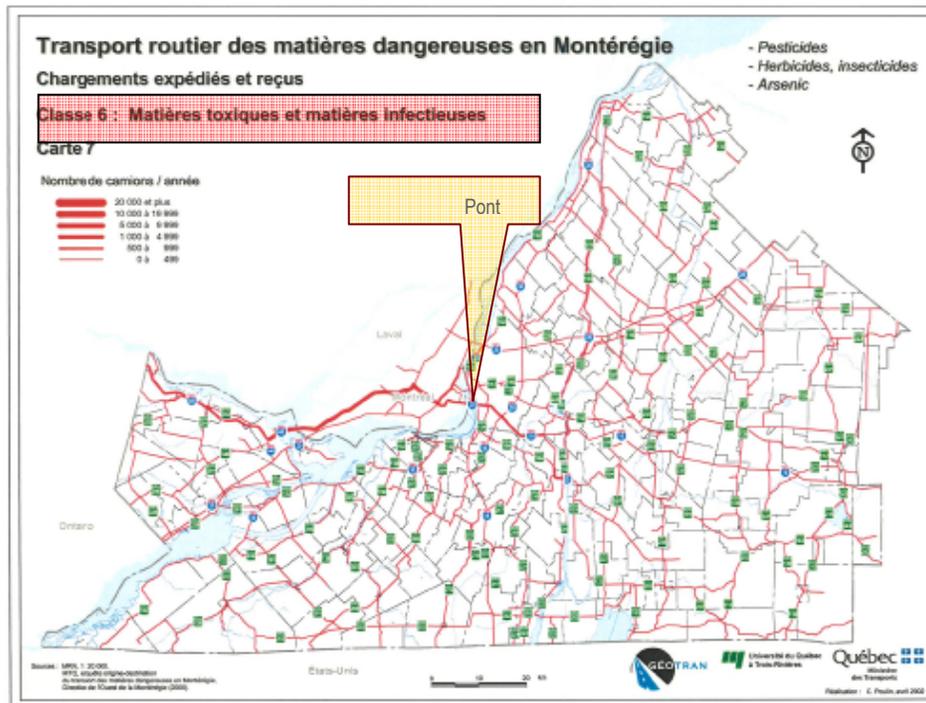


Figure 9 : TMD en Montérégie - Classe 8



Le trafic des véhicules transportant des matières dangereuses de classe 6 (matières toxiques ou infectieuses), même s'il apparaît plus modéré (cf. carte ci-dessous), ne peut être négligé eu égard aux risques spécifiques qu'un accident impliquant ce type de matières présenterait en tunnel.

Figure 10 : TMD en Montérégie - Classe 6

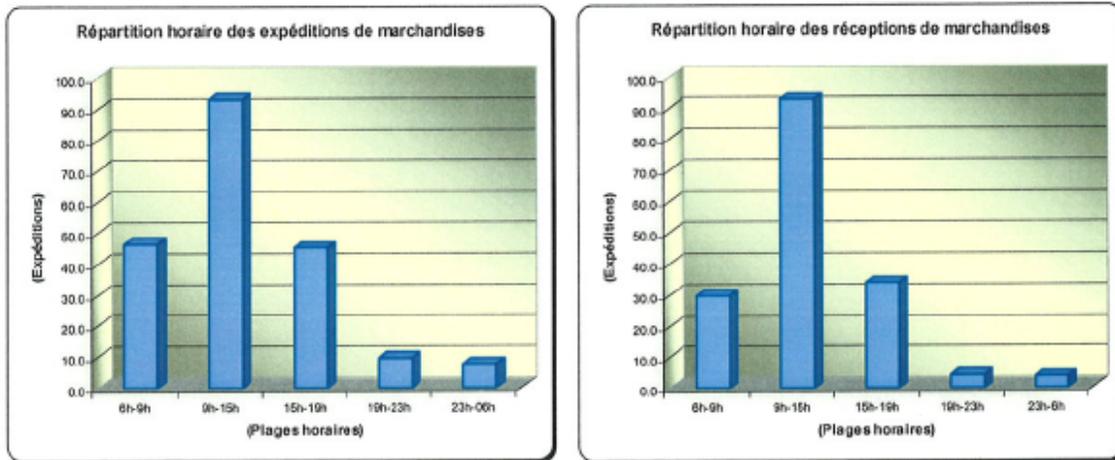


Les trafics correspondant aux transports de matières dangereuses des autres classes (classe 1 : explosifs, classe 4 : solides inflammables, classe 5 : matières comburantes et peroxydes organiques, classe 9 : matières ou produits divers) ont également été recensés.

Pour le Pont Champlain, ils s'avèrent relativement réduits (inférieurs à 500 véhicules par année pour chacun d'entre eux).

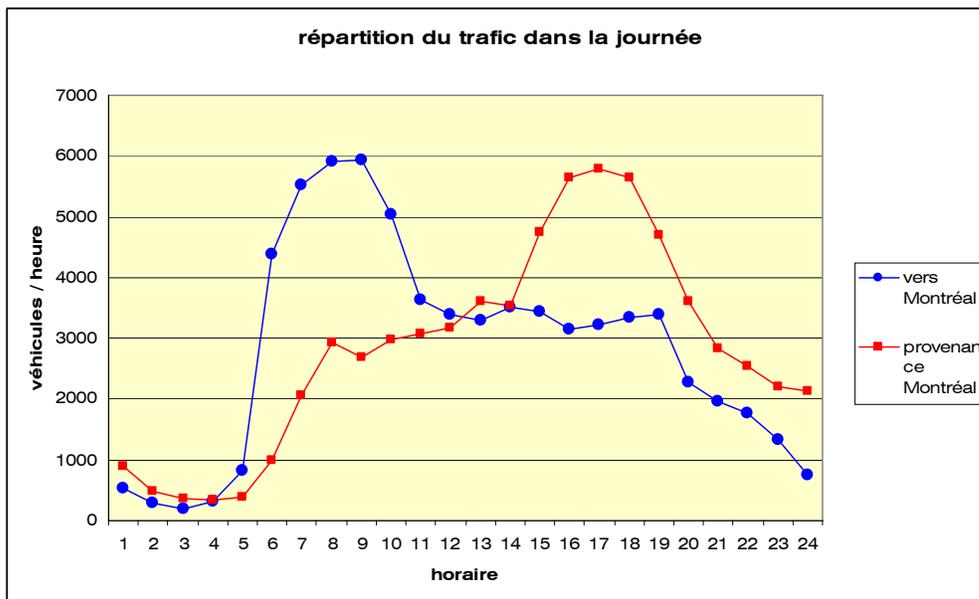
L'enquête menée en Montérégie montre par ailleurs que la répartition horaire des expéditions et réceptions de marchandises dangereuses est proche de celles des autres marchandises transportées, la plage horaire 09h -15h étant la plus fréquentée (livraison des marchandises durant les heures ouvrées), et les plages nocturnes 19h - 23h et 23h - 06h beaucoup moins chargées, comme représenté sur le graphe ci-dessous..

Figure 11 : TMD en Montérégie - répartition horaire du trafic



La répartition horaire du trafic sur le pont Champlain (tous véhicules confondus) recensée par ailleurs suit une logique différente. Les variations constatées traduisent essentiellement les cycles pendulaires de déplacement des usagers vers les lieux de travail (majoritairement vers Montréal en matinée) et leurs retours au domicile (majoritairement vers Longueuil et la Montérégie en deuxième partie de journée) :

Figure 12 : Pont Champlain - répartition horaire du trafic



L'ensemble des données existantes recueillies, même si elles sont incomplètes, permettent une première approche du risque potentiel « transport de matières dangereuses » à prendre en compte en cas de remplacement du pont Champlain par un tunnel.

Cette synthèse confirme que le trafic TMD concerné (quelques dizaines à quelques centaines de véhicules par jour) est relativement faible comparé au trafic global de véhicules susceptibles d'emprunter le tunnel (une centaine de milliers de véhicules par jour).

L'analyse des cartes montrent par ailleurs une répartition du trafic entre les ponts Jacques-Cartier, Champlain, Honoré-Mercier, voir le cas échéant plus à l'ouest dans le secteur de Vaudreuil. Cette analyse laisse entrevoir des possibilités de déplacement d'une partie du trafic de TMD empruntant actuellement le pont Champlain.

Même s'il a une probabilité très réduite de survenir, le risque d'accident majeur impliquant un véhicule TMD demeure toutefois suffisamment conséquent en termes d'impact potentiel pour mériter une attention et des investigations particulières (cf. en pied de page nota<sup>1</sup>).

### 8.1.5 Les mesures de couverture envisageables

Les principaux dangers liés au transport routier de marchandises dangereuses (explosion, fuite de gaz toxique, incendie important, contamination de l'eau ou du sol) et leurs conséquences potentielles en tunnel (cf. en pied de page nota<sup>2</sup>) ont été rappelés en deuxième partie du présent document.

Les différents dispositifs réglementaires envisageables pour couvrir ces types de risques sont synthétisés dans le tableau suivante.

---

<sup>1</sup> Une étude de trafic ciblée sur le pont Champlain comprenant les résultats d'un comptage effectif des véhicules TMD circulant sur l'ouvrage ainsi qu'une enquête sur leurs origines et destinations permettrait d'initier une analyse de dangers spécifique plus élaborée. Comme indiqué ci-après en recommandations, elle pourrait être menée dans une phase ultérieure du dossier afin de caler précisément les conditions de couverture.

<sup>2</sup> Il convient de préciser que les dangers identifiés comme particulièrement dangereux en milieu confiné (explosion, fuite de gaz toxique) sont susceptibles d'avoir des conséquences tout aussi voire plus catastrophiques à l'air libre s'ils se produisent en zone urbanisée (cf. rapport sur « le transport routier des matières dangereuses en Montérégie » / Modélisation des impacts en cas d'accident).

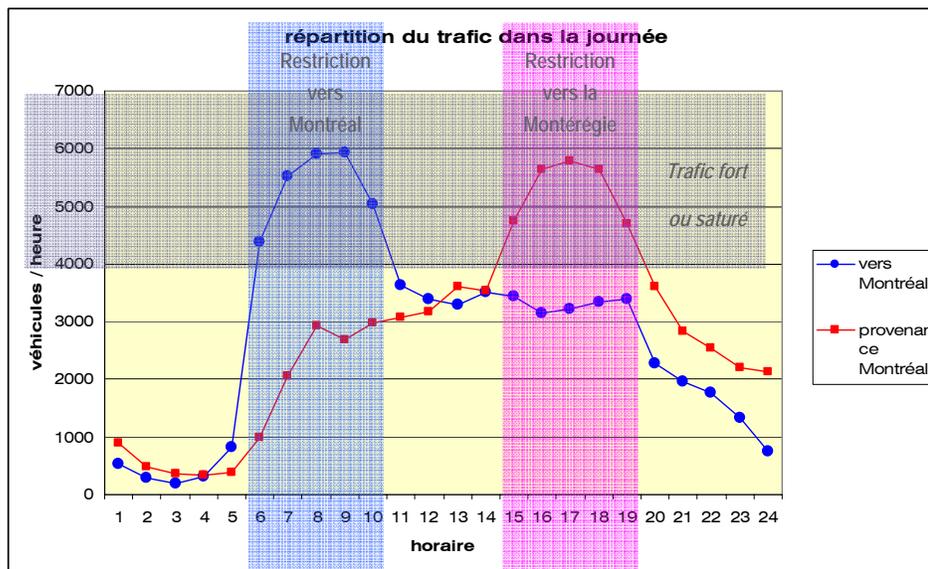
Tableau 16 : dispositions réglementaires envisageables pour couvrir les risques

DISPOSITIFS RÉGLEMENTAIRES ENVISAGEABLES POUR LA CIRCULATION DES TMD EN TUNNEL	MESURES ASSOCIÉES À PRÉVOIR	AVANTAGES INCONVÉNIENTS
<p><b>1 - Restriction permanente</b></p> <p>(mise en œuvre des dispositions applicables aux tunnels du Québec déjà réglementés)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Homogénéité avec la réglementation TMD en vigueur au Québec,</li> <li>• Minimisation du risque</li> <li>• <i>Nécessité d'identifier un ou plusieurs itinéraire(s) de substitution suffisamment sûr(s) et réalistes (compatibilité(s) avec les contraintes des entreprises de transport),</i></li> <li>• <i>Risque de non respect de l'interdiction par certains véhicules</i></li> </ul>
<p><b>2 - Autorisation permanente</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptation du génie civil (renforcement de la structure)</li> <li>• Renforcement des différents équipements (détection, ventilation, désenfumage, issues de secours, assainissement)</li> <li>• Mise à niveau des moyens d'intervention des services de sécurité (moyens de protection individuelle et collective, moyens d'exploration, moyens de lutte)</li> <li>• Adaptation des procédures opérationnelles</li> <li>• Adaptation du règlement de circulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maintien du Trafic TMD existant</li> <li>• <i>Risque TMD complexe à couvrir notamment en cas de congestion de trafic :</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Nombreux usagers bloqués de chaque coté du sinistre</i></li> <li>▪ <i>Difficultés d'accès pour les services d'intervention</i></li> </ul> </li> </ul>
<p><b>3 - Autorisation étendue à certaines classes de matières dangereuses</b></p> <p>(classes ne présentant pas de risques complexes à maîtriser en milieu confiné : explosion importante et/ou fuite importante de gaz toxique et/ou incendie important)</p>	<p>Idem supra</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Similitude avec la nouvelle réglementation Européenne des TMD dans les tunnels routiers</li> <li>• <i>Nécessité d'évolution de la réglementation Québécoise</i></li> <li>• <i>Nécessité d'identifier un ou plusieurs itinéraire(s) de substitution pour les transports concernés</i></li> <li>• <i>Nécessité de communiquer et faire respecter les nouvelles dispositions</i></li> </ul>
<p><b>4 - Autorisation limitée à certaines plages horaires</b></p> <p>(plages à trafic faible ou fluide)</p>	<p>Idem supra</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maintien d'une certaine homogénéité réglementaire</li> <li>• Risque réduit pour les usagers (absence d'usagers bloqués en aval du sinistre)</li> <li>• Délais d'intervention garantis pour les services de secours,</li> <li>• <i>Nécessité de communiquer et faire respecter les nouvelles dispositions</i></li> <li>• <i>Concertation à mener avec les entreprises de transport</i></li> </ul>

Dans le cas d'espèce, l'étude croisée de chacun des dispositifs réglementaires envisageables avec les données de trafic disponibles amène aux conclusions provisoires suivantes :

- ▶ La mise en œuvre d'une restriction permanente de circulation similaire à celle appliquée aux autres tunnels et ponts-tunnels réglementés du Québec suppose l'existence d'itinéraires de substitution appropriés. Des solutions alternatives apparaissent possibles pour les véhicules TMD en transit (cf. cartes ci-avant montrant différents axes de contournement utilisables). L'identification d'itinéraires alternatifs permettant d'accueillir le trafic TMD local pourrait faire l'objet d'une concertation avec les entreprises de transport concernées.
- ▶ Si une partie du trafic TMD local devait emprunter le tunnel, la limitation du risque passe par une réglementation ad hoc précise :
  - Interdiction permanente de circulation pour les véhicules les plus sensibles,
  - restrictions horaires de circulation et mise en œuvre d'un dispositif de couverture adapté pour les autres.
- ▶ Les véhicules TMD à interdire prioritairement sont ceux susceptibles de provoquer un accident majeur particulièrement complexe à maîtriser en milieu confiné (soit une explosion importante ou une fuite importante de gaz toxique). Ils correspondent a priori à un trafic relativement restreint. Le cas échéant, une concertation serait à mener avec les entreprises concernées.
- ▶ Les restrictions horaires à envisager correspondent quant à elles aux périodes à risque durant lesquelles l'évacuation des usagers et l'acheminement des secours sont difficiles à garantir, c'est-à-dire celles présentant un trafic fort susceptible de congestion. Les plages concernées apparaissent relativement régulières et limitées en durée - la plage 14h /19 h dans le sens Montréal vers Montere'gie, la plage 06 h /11 h dans le sens inverse - (cf. diagramme ci-dessous).

Figure 13: restrictions horaires de circulation envisageables pour les TMD



*N.B. : Ces mêmes restrictions de circulation appliquées aux voies d'accès permettent d'améliorer la sécurité du trafic sur l'ensemble de l'itinéraire.*

Comme déjà souligné, le transport des carburants à l'intérieur de la ville de Montréal ainsi que dans l'espace urbain qui s'étend sur les deux rives du Saint Laurent n'est pas pris en compte dans les études consultées. Ces carburants proviennent du complexe pétrochimique situé au nord est de Montréal. Les transports et livraisons vers la rive droite du Saint Laurent ont vraisemblablement lieu le matin, ou peuvent être organisés en conséquence de façon à permettre le franchissement du tunnel pendant les heures de faible trafic dans ce sens de circulation.

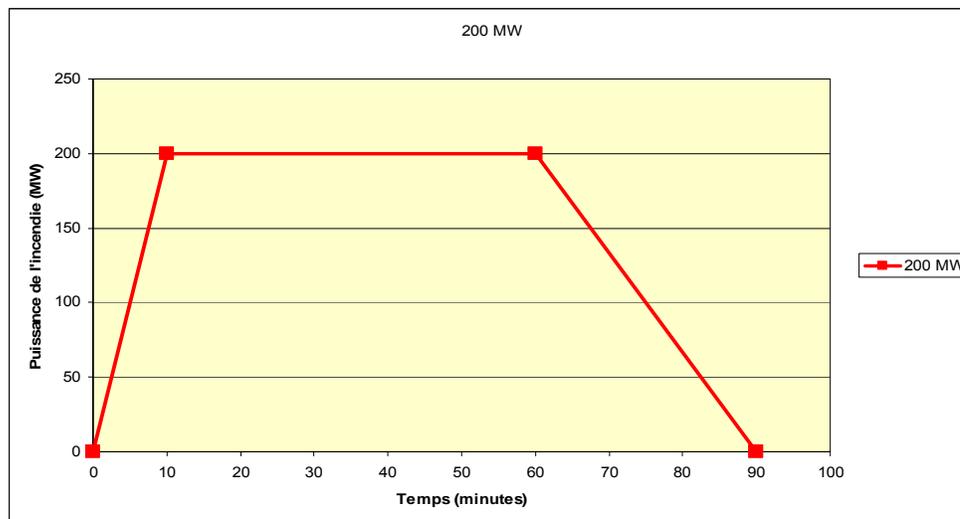
Ainsi, à ce niveau d'études de préfaisabilité du remplacement du pont Champlain par un tunnel, plusieurs dispositifs réglementaires paraissent envisageables pour réguler la circulation des véhicules TMD dans cet ouvrage (extension des restrictions de circulation mises en œuvre dans les autres tunnels du Québec ou/et autorisation de circulation ouvert au transport local de certaines matières ou/et restriction de circulation durant les plages horaires les plus chargées).

### 8.1.6 Analyse préliminaire d'un incendie de 200 MW

La pertinence des équipements de sécurité prévus, et les conséquences d'un incendie de 200 MW ont fait l'objet d'une première évaluation à travers la simulation d'un accident majeur survenant au cœur du tunnel dans des conditions défavorables.

Le cas étudié à cette fin est un incendie de 200MW. Cette puissance correspond à l'incendie de dimensionnement pour les matières dangereuses selon la norme NFPA 502 2011. Elle correspond également à l'incendie de dimensionnement des normes françaises pour les matières dangereuses.

Figure 14: évolution de la puissance de l'incendie de dimensionnement au cours du temps



La simulation est réalisée avec le logiciel CAMATT (logiciel de simulation monodimensionnel anisotherme diffusé par le ministère français chargé de l'équipement et des transports) sur la base des hypothèses suivantes (voir nota <sup>3</sup> en pied de page) :

#### 8.1.6.1 Conditions d'exploitation :

L'ouvrage est exploité dans son état de référence, c'est-à-dire avec l'ensemble des dispositions présentées dans le présent dossier, et avec tous les équipements d'exploitation et de sécurité en parfait état de fonctionnement.

Le trafic est de 3500 véhicules / heure dans le tube VL/PL sinistré (voir nota <sup>4</sup> en pied de page)

Les véhicules (représentés par groupe de 20), roulent à 70 km/h.

La différence de pression entre les têtes comptée positivement (+ 50 Pa) induit un courant d'air naturel dans le sens inverse du trafic, ce qui constitue une condition défavorable.

#### 8.1.6.2 Lieu du sinistre :

L'incendie a lieu au centre du tunnel (PM 1620)

#### 8.1.6.3 Évolution de l'intervention :

L'incendie est repéré grâce aux dispositifs de détection automatiques en place.

Le dispositif de ventilation et de désenfumage est activé 2 minutes après le début de l'incendie. Il atteint sa pleine puissance au bout de 2 minutes 30.

Le dispositif de fermeture du tunnel est activé 2 minutes après le début de l'incendie.

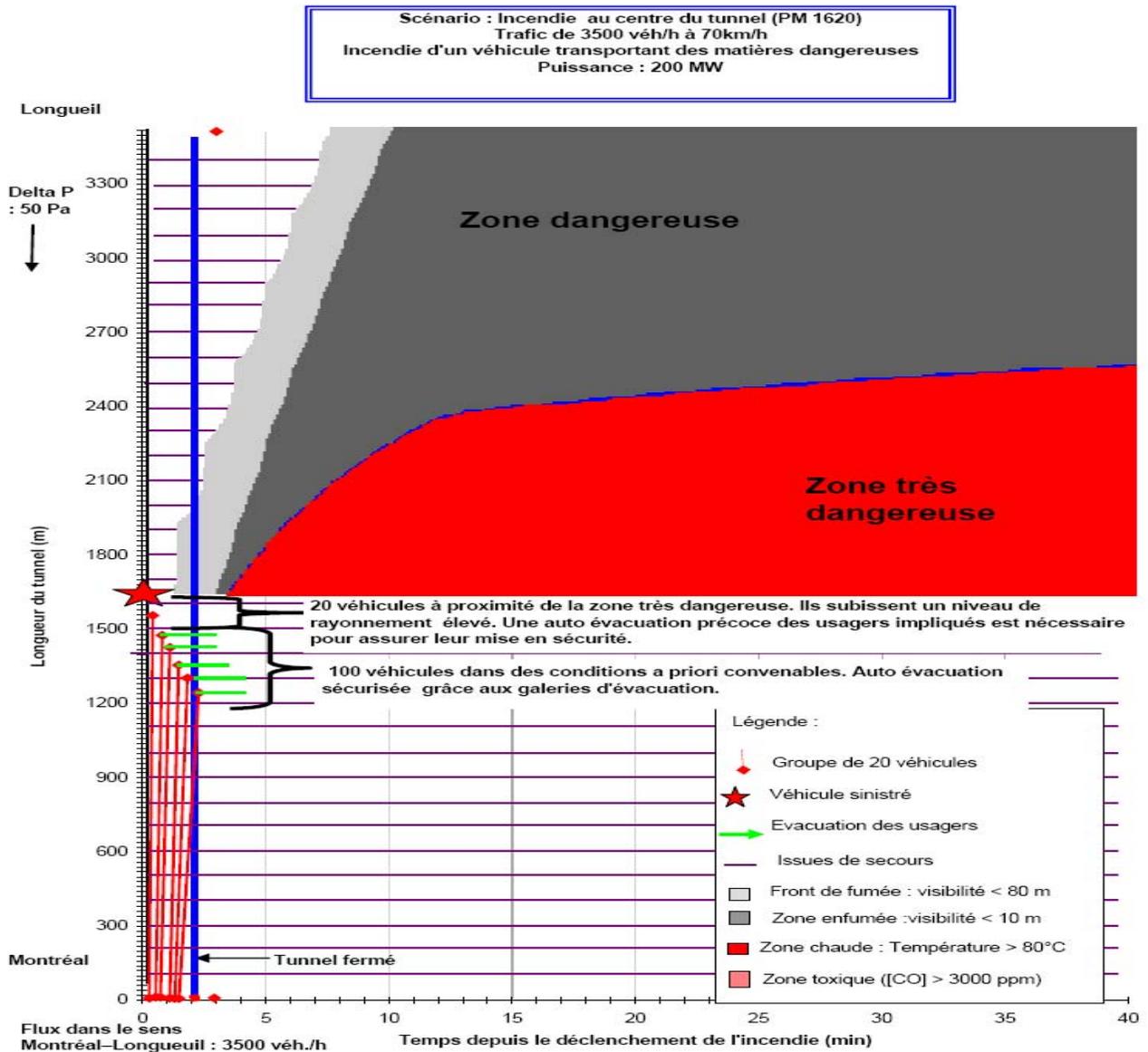
Le diagramme espace / temps de la page suivante représente l'évolution de la propagation des fumées au cours de l'incendie, la simulation de l'évacuation des usagers dans le temps.

---

<sup>3</sup> Le logiciel utilisé étant unidimensionnel, les valeurs données (visibilité, température, toxicité) sont des valeurs moyennes calculées à une distance donnée.

<sup>4</sup> Le cas étudié est un incendie survenant dans le sens Montréal-Longueuil. Les résultats seraient identiques dans le sens inverse (symétrie des équipements).

Figure 15 : diagramme espace / temps de l'évolution d'un incendie de 200 MW



Cette simulation préliminaire (qui devra être complétée par des simulations 3D dans les prochaines étapes d'études) montre qu'une détection précoce d'un incendie important conjuguée à une activation parallèle des dispositifs de ventilation et de fermeture de l'ouvrage permet :

- ▶ de maîtriser le sens de propagation des fumées, maintenues en aval du sinistré dans une zone que les véhicules ont pu évacuer normalement. (nota : la simulation correspond à une période horaire de trafic moyen sans risque de formation de bouchon en aval ou à l'intérieur du tunnel)

- ▶ de limiter le nombre de véhicules bloqués à l'arrière :
  - une vingtaine de véhicules sont à proximité de la zone qui devient très dangereuse à T0+4 mn. Les usagers ont eu le temps d'évacuer et de se mettre en sécurité compte tenu de l'espacement de 100 m entre sortie de secours,
  - une centaine de véhicules situés dans des conditions convenables,
- ▶ de maintenir à l'abri du danger la plupart des usagers impliqués,
  - *N.B. : Pour les usagers les plus proches du foyer susceptibles d'être impactés par le rayonnement, une auto évacuation rapide (dans les 4 premières minutes) permet leur mise en sécurité. Il est prévu à cette fin, un renforcement de la signalisation des issues de secours et une distance de fuite très réduite (Accès direct à la galerie d'évacuation tous les 100 m).*
- ▶ de garantir le bon acheminement des services de secours notamment via le tube réservé aux transports collectifs et la galerie d'évacuation intermédiaire.
  - *N.B. : L'efficacité de l'action de ces services dépendra de la promptitude et du caractère massif de leur engagement :*

Une attaque directe du foyer, possible dans les dix premières minutes, permet de bloquer l'évolution du sinistre et de limiter les dégâts matériels. Cette attaque devient ensuite plus difficile voire suppose un refroidissement préalable de la zone d'approche du fait de l'élévation progressive des températures ambiantes.

Le dimensionnement précis des différents moyens d'intervention fixes et mobiles à mettre en place (moyens de l'exploitant, moyens des services publics) sera à définir en fonction des objectifs de couverture recherchés.

### 8.1.7 Recommandations

La présente analyse préliminaire présente plusieurs solutions envisageables pour prendre en compte le risque TMD. Elle montre que les équipements de sécurité envisagés permettent de couvrir un accident majeur de type incendie de dimensionnement (puissance 200 MW), dès lors que cet incendie se produit dans des périodes de faible ou moyen trafic pendant lesquelles il n'existe aucun risque de formation d'un bouchon de trafic en tunnel ou à l'aval du tunnel.

Ces conclusions provisoires reposent toutefois sur des données incomplètes. Une étude plus détaillée et exhaustive apparaît indispensable pour définir plus précisément le dispositif de sécurité à mettre en place.

A cette fin, les recommandations suivantes sont émises :

- ▶ Une enquête de terrain comprenant une campagne de comptage effectif des véhicules TMD empruntant l'actuel pont Champlain (comptages horaires et journaliers) ainsi qu'une détermination de la nature, de l'origine et de la destination des matières transportées est à organiser en première phase d'étude complémentaire.
- ▶ Au vu du résultat de cette enquête, une recherche des différents itinéraires alternatifs envisageables est à mener si possible en concertation avec les entreprises de transport les plus concernées.
- ▶ A l'issue de cette deuxième phase, les restrictions de circulation à envisager pourront être définies.
- ▶ Une étude spécifique de dangers pourra dès lors être élaborée sur la base des données de trafic constatées, des restrictions de circulation prévues et des équipements et moyens de sécurité envisagés.

- ▶ Cette étude devrait comprendre la simulation de plusieurs accidents majeurs susceptibles de survenir. Elle portera sur le tunnel et sur les itinéraires alternatifs proposés,
- ▶ Les simulations sont à réaliser avec des outils 1D et 3D afin de déterminer avec le plus de précisions possibles l'évolution spatio-temporaire possible de chaque type de sinistre.
- ▶ Les conclusions de cette étude permettront d'arrêter le dimensionnement définitif du dispositif de sécurité à mettre en œuvre au vu des objectifs de couverture recherchés.

## 8.2 IMPACT SUR LA CONCEPTION DE L'OUVRAGE

### 8.2.1 Génie civil

Les dispositions relatives au génie civil restent inchangées, mis à part l'épaisseur de la protection des structures béton contre la température qui serait vraisemblablement à augmenter, mais l'impact demeure très faible et ne peut être déterminé qu'après une analyse comparative mettant en œuvre une simulation 3D.

Les autres dispositions de génie civil sont déjà mises en œuvre pour l'incendie de 50 MW et ne sont pas à renforcer :

- ▶ Espacement de 100 m pour les issues de secours vers la galerie d'évacuation,
- ▶ Caniveaux à fente doté de siphons pour recueillir les produits inflammables répandus sur la chaussée, et éviter la propagation de l'incendie dans les collecteurs,
- ▶ Il serait préférable de faire le choix d'une chaussée béton au lieu d'une chaussée bitumineuse, mais les coûts sont sensiblement identiques,
- ▶ La capacité des réservoirs incendie pourrait être à augmenter si le choix est fait d'un système autonome, mais le coût est marginal,
- ▶ Les bassins de stockage et de relevage situés aux deux points bas seraient également à augmenter pour tenir compte d'un débit d'eau utilisé plus important lors de la lutte contre un incendie. Mais là encore le coût est marginal.

### 8.2.2 Ventilation pour un incendie de 200 MW

Les normes diffèrent de façon importante selon les pays pour la puissance à prendre en compte pour un incendie de véhicule transportant des matières dangereuses. Une puissance de 200 MW a été retenue (cf. § 8.1.6).

#### 8.2.2.1 Stratégie de ventilation

Il a été considéré en accord avec l'analyse préliminaire faite ci-dessus pour la sécurité que transports de marchandises dangereuses pourraient traverser le tunnel. Avec une restriction horaire correspondant à des trafics fluides.

La stratégie serait alors d'utiliser une ventilation exclusivement longitudinale grâce à l'emploi d'accélérateurs qui pousseront les fumées vers la tête de sortie du tunnel à une vitesse supérieure à la vitesse critique.

Ainsi, la phase 1 n'existe pas et la phase 2 de désenfumage est directement enclenchée lors d'un incendie avec risque de TMD.

### 8.2.2.2 Dimensionnement de la ventilation

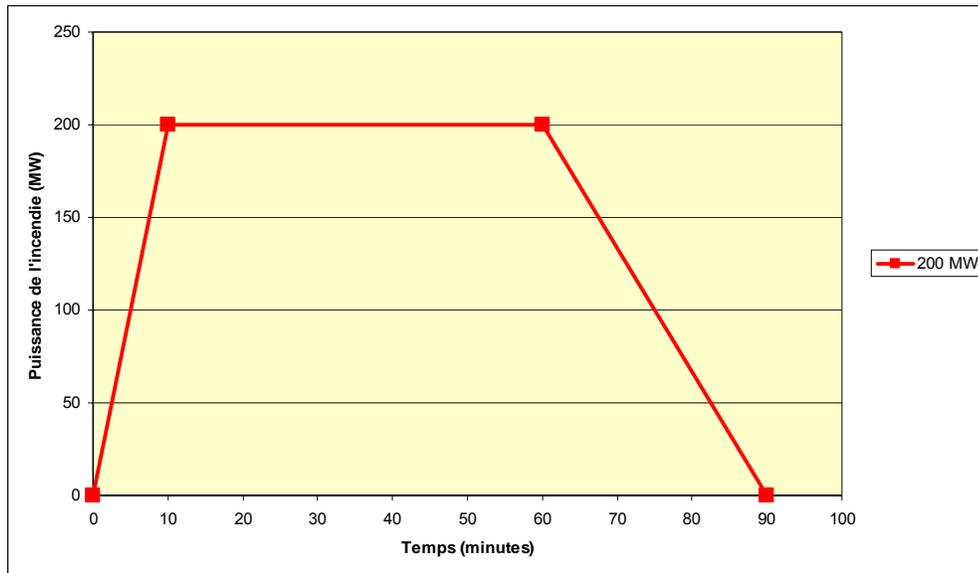
#### 8.2.2.2.1 Hypothèses de dimensionnement

Les hypothèses, hormis la puissance de l'incendie, sont les mêmes.

La puissance de l'incendie de dimensionnement lorsque les TMD sont autorisés est de 200 MW (NFPA 502 2011).

La courbe d'évolution de la puissance dans le temps est définie ci-dessous.

Figure 16 : Puissance de l'incendie de dimensionnement lorsque les TMD sont autorisés



#### 8.2.2.2.2 Résultats des simulations pour un incendie de 200 MW

L'objectif imposé est de pousser les fumées à une vitesse supérieure à la vitesse critique en amont de l'incendie dans le sens du trafic.

La vitesse critique calculée à l'aide de la formule de Kennedy pour un incendie de dimensionnement de 200 MW et une section de 94 m<sup>2</sup> est de 3,4 m/s.

Tous les accélérateurs sont utilisés dans cette phase même s'ils sont situés dans une zone enfumée.

Dans chaque simulation, trois batteries d'accélérateurs sont considérées comme hors service (à cause de la chaleur due à l'incendie de 200 MW). Sur les 36 accélérateurs au total (12 batteries de 3 accélérateurs), 27 au maximum sont donc utilisables pour la phase 2.

Les 27 accélérateurs disponibles en phase 2 permettent d'obtenir les objectifs de 3,4 m/s puisque dans le pire des cas, on obtient une vitesse de 3,6 m/s en amont de l'incendie.

Le besoin en accélérateur pour le désenfumage est donc le même que pour un incendie de 50 MW.

L'autorisation de passage des TMD, à des périodes de trafic fluide n'en traîne pas de renforcement des installations de ventilation.

Ce scénario de poussage de la totalité des fumées en direction de la sortie du tunnel n'est pas envisageable pour les périodes de la journée pendant lesquelles le trafic est chargé. La création d'un bouchon est toujours possible en aval de l'incendie, et il n'est alors pas envisageable de pousser les fumées sur des véhicules bloqués dans un bouchon. L'aspiration de la totalité des fumées par la gaine de désenfumage n'est guère possible. Il conviendrait d'augmenter les installations de façon très conséquente de même que la section de la gaine d'extraction.

### 8.2.3 Équipements d'exploitation et de sécurité

Les équipements d'exploitation et de sécurité restent inchangés, sauf dans le cas où il serait décidé d'installer des systèmes fixes de lutte contre l'incendie mettant en œuvre de la mousse ou de l'eau (difficilement compatible avec les conditions hivernales du Québec).

### 8.2.4 Dispositions d'exploitation et d'intervention

Afin de rendre plus rapide et plus efficace l'intervention des pompiers dès le début d'un incendie, il serait vraisemblablement nécessaire d'installer un poste d'intervention des pompiers dans les bâtiments de la tête île des Sœurs. Il existe actuellement un poste de pompiers dans l'île des Sœurs situé à moins d'un kilomètre de la tête du tunnel. Toutefois ce poste n'a pas été analysé dans le cadre de cette étude, et en particulier : sa dotation en personnel et en matériel – les possibilités d'extension pour accueillir des moyens complémentaires spécifiques au tunnel – les temps d'accès jusqu'à la tête du tunnel dans les conditions normales et exceptionnelles de trafic.

Toutes ces dispositions relatives aux secours et à la lutte contre l'incendie en tunnel sont également indispensables pour le cas où les matières dangereuses ne seraient pas admises à l'intérieur de l'ouvrage. Elles pourraient éventuellement être légèrement allégées.

Tout ceci nécessite toutefois une analyse particulière des moyens d'intervention qui ne peut être faite que dans le cadre d'une étude de danger, au cours de laquelle sont notamment recensés tous les moyens existants.

Il est vraisemblable également qu'il soit nécessaire de doter cette brigade d'intervention de matériel spécialisé destiné à affronter ce type d'évènement dans l'espace confiné et linéaire que constitue un tunnel.

Les procédures seront à renforcer, de même que l'entraînement des équipes.

Il n'y a pas de dispositions complémentaires à mettre en œuvre pour l'exploitation. Le poste de contrôle et de supervision est indispensable pour les conditions d'exploitation sans TMD, avec une exploitation continue 24 heures par jour et sept jours par semaine.

## 9 METHODES DE CONSTRUCTION

### 9.1 INTRODUCTION

Le choix des méthodes de construction adaptées et performantes est essentiel afin:

- ▶ d'assurer la construction de l'ouvrage en toute sécurité, et dans les meilleures conditions techniques et de qualité,
- ▶ de réduire au minimum l'impact occasionné au milieu naturel, et notamment à la faune aquatique. Les travaux risquant d'occasionner une pollution même limitée du Saint Laurent ne seront pas réalisés pendant les périodes annuelles d'interdiction,
- ▶ de respecter les périodes d'interdiction de travaux à l'intérieur de la voie maritime. Il est toutefois préconisé que des aménagements soient négociés avec le service de la navigation. Certains travaux peuvent de notre point de vue être réalisés pendant les périodes d'exploitation de la voie maritime, sans porter une nuisance au trafic maritime ou lui faire supporter un risque quelconque. Il s'agit en particulier de travaux de dragages du chenal ou d'extraction de matériaux sous le chenal ou à proximité immédiate par des moyens mécaniques très mobiles.
- ▶ de maîtriser les délais, et par voie de conséquence les coûts de réalisation de l'ouvrage.

La méthode d'une construction intégrale de l'ouvrage par caissons préfabriqués immergés a été abandonnée à l'issue de la partie A de l'étude compte tenu de l'impossibilité de réaliser une darse (cale sèche), permettant la construction des caissons en cale sèche. La cale sèche ne pouvait être construite que dans un secteur écologiquement très sensible, et aurait entraîné des dommages environnementaux majeurs.

La solution retenue est celle d'une construction de la structure à sec, à l'intérieur d'une enceinte protégée par des batardeaux. Les sections de l'ouvrage construites hors du lit du Saint Laurent ainsi que celle située au droit de la voie maritime fond l'objet de dispositions constructives particulières.

### 9.2 CONTEXTE HYDRAULIQUE

Le lit du Saint-Laurent présente une largeur droite de l'ordre de 2 kilomètres dans la zone de franchissement entre l'île des Sœurs et la digue de la voie maritime en rive droite.

Les éléments hydrauliques disponibles actuellement sont relativement succincts et consistent-en :

- ▶ La ligne d'eau dans les conditions courantes et en crue au droit du pont de l'estacade, ainsi que les débits correspondants,
- ▶ Les hauteurs d'eau qui varient de 6 à 10 m dans les zones les plus profondes,
- ▶ Les vitesses moyennes et les débits courants et en crue.

A défaut de disposer d'éléments précis de bathymétrie, ainsi que d'une analyse plus globale des conditions d'écoulement hydraulique en amont et en aval, il n'a pas été possible de procéder à une modélisation des conditions d'écoulement normaux, en crue, et en conditions hivernales pendant la réalisation des travaux, et notamment pour évaluer l'impact du batardeau en rivière.

Ceci a conduit à faire des hypothèses prudentes sur la longueur du batardeau qui a été fixée à 410 m selon l'axe du tunnel (soit environ 370 m en largeur droite de la rivière). Ceci représente environ 18% de la largeur du lit et permet d'estimer en première analyse que l'impact du relèvement de la ligne d'eau reste acceptable pendant la durée des travaux.

Ces évaluations préliminaires doivent être approfondies par des études hydrauliques détaillées lors des prochaines étapes de l'étude afin de pouvoir :

- ▶ déterminer les lignes d'eau et les impacts hydrauliques aux différents emplacements occupés par le batardeau lors de sa progression à travers le Saint Laurent,
- ▶ optimiser la longueur du batardeau étant précisé qu'un batardeau plus long contribue à réduire la durée des travaux,
- ▶ le cas échéant définir une modulation des longueurs du batardeau selon les saisons et les différents régimes hydrauliques du Saint Laurent comme par exemple :
  - allongement du batardeau pendant les périodes de basses eaux,
  - réduction de la longueur du batardeau pendant les périodes de l'année sujettes aux crues.

Ces informations hydrauliques succinctes ne remettent pas en cause la faisabilité de l'ouvrage par la méthode proposée. Elles sont seulement de nature à apporter des modulations en hausse ou en baisse des délais et des coûts de construction.

En tout état de cause, un chantier tel celui-ci dans le lit d'une rivière comme le Saint Laurent, nécessitera une vigilance particulière vis-à-vis de l'évolution des conditions hydrauliques, et la mise en œuvre de moyens d'intervention. Il en est de même vis-à-vis du charriage des glaces notamment pendant la période de la débâcle, malgré la présence des deux ouvrages situés en amont et des dispositions complémentaires envisagées en amont du batardeau.

### 9.3 MÉTHODES DE CONSTRUCTION

Trois méthodes de construction sont envisagées pour la réalisation des travaux selon la répartition géographique définie dans le tableau ci-dessous par BLOC.

Tableau 17 : méthodes de construction

N° DE BLOC	LONGUEUR	NATURE DES TRAVAUX
0	270 m	Travaux sur berge – y compris trémie de 100 ml
1	310 m	Travaux en rivière entre batardeaux
2	270 m	Travaux en rivière entre batardeaux
3	270 m	Travaux en rivière entre batardeaux
4	270 m	Travaux en rivière entre batardeaux
5	270 m	Travaux en rivière entre batardeaux
6	270 m	Travaux en rivière entre batardeaux
7	270 m	Travaux en rivière entre batardeaux
8	290 m	Travaux en rivière entre batardeaux
9	305 m	Caissons préfabriqués immergés sous la voie maritime
10	450 m	Travaux en rivière entre batardeaux
11	365 m	Travaux sur berge – y compris trémie de 120 ml

### 9.3.1 Travaux sur berge

Ces travaux n'appellent pas de mentions particulières hormis les commentaires suivants

#### 9.3.1.1 BLOC B0 sur l'île des Sœurs

Le tronçon de structure supportant la chaussée du boulevard René Levesque sera réalisé de façon prioritaire de manière à pouvoir rétablir ledit boulevard aussi rapidement que possible, et libérer le chantier de la traversée de cette voie.

Des soutènements provisoires (paroi moulée ou rideau de palplanches) sont nécessaires au sud pour soutenir les voies d'accès au pont Champlain, qui auront été déviées au préalable.

La construction de la structure du tunnel et des bâtiments est réalisée avec des méthodes traditionnelles de génie civil.

L'achèvement des travaux de la bretelle d'entrée de l'île des Sœurs vers le tunnel ne pourra être assuré qu'après la mise en service du tunnel. Ces travaux d'achèvement sont mineurs et nécessiteront une suppression temporaire de cet accès et une déviation.

#### 9.3.1.2 BLOC B11 en rive droite

Des soutènements provisoires (paroi moulée) sont nécessaires entre la berge et l'A132 pour soutenir les pieds de talus des voies existantes, ainsi que les fouilles de la structure du tunnel.

L'A 132 doit être rétablie sur place par un ouvrage provisoire afin de permettre la construction de la structure du tunnel. Une solution de poussage d'une structure préfabriquée (ou de halage horizontal) semble difficile compte tenu de l'importance de la structure et des conditions géotechniques : partiellement dans des remblais - partiellement dans des schistes compacts.

Il est proposé de réaliser un ouvrage provisoire formé de deux tabliers (un tablier par demi-plateforme d'autoroute) avec la méthode de construction suivante :

- ▶ Construction des ouvrages à l'ouest de l'A 132, avant la réalisation de la fouille du tunnel. Cet ouvrage s'appuiera sur les parois moulées de soutènement de la fouille qui seront dimensionnées comme des culées,
- ▶ Construction à travers de l'A 132 par des chantiers ponctuels et des déviations sur place, d'une structure en paroi moulée destinée à soutenir la fouille de la structure du tunnel, et à remplir le rôle de culée pour le pont provisoire,
- ▶ mise en place des deux tabliers du pont provisoire par poussage et déplacement latéral. Cette opération peut être réalisée dans une coupure du trafic pendant une nuit pour chacun des deux tabliers de pont,
- ▶ tous les travaux sont ensuite réalisés de façon indépendante sous les ouvrages provisoires.
- ▶ Le démontage de ces ouvrages suit le processus inverse :
  - Ripage transversal vers l'ouest,
  - Construction du remblai au dessus de la structure du tunnel et réalisation des chaussées.

De même que les raccordements Ouest sur l'île des Sœurs, les travaux d'achèvement de la bretelle du tunnel vers l'A 132, ne peuvent être réalisés qu'après la mise en service du tunnel sous coupure et déviation provisoire de courte durée.

## 9.3.2 Travaux de franchissement du Saint Laurent

### 9.3.2.1 Objectifs et concept

Il s'agit de la partie la plus importante des travaux à réaliser. Il est proposé une méthode de construction qui réunit :

- ▶ Les conditions qui permettent de réduire l'impact environnemental dans le lit de la rivière. Les seules opérations susceptibles de troubler l'eau du Saint Laurent sont celles du réglage, sous l'eau, du fond du lit du Saint Laurent pour préparer les assises des éléments de batardeaux. Toutes les autres opérations sont soit :
  - réalisées hors d'eau : tous les terrassements, ouvrages de génie civil sont réalisés à sec,
  - à l'abri d'un barrage flottant et immergé : réalisation d'une paroi étanche en pied de batardeau,
  - ne donnent lieu à aucune pollution : transfert des éléments de batardeau par flottage,
- ▶ Une grande flexibilité de réalisation : batardeau réalisé avec des éléments préfabriqués flottables, et immergés sur le site d'utilisation par lestage avec du sable
- ▶ Des délais optimisés : rapidité de déplacement des batardeaux,
- ▶ Des conditions de réalisation et de cadence d'un chantier terrestre. L'accès au chantier est assuré en permanence à partir de la berge de l'île des Sœurs par l'intermédiaire du tronçon de tunnel déjà construit, remblayé et remis sous l'eau,

### 9.3.2.2 Batardeau – constitution – mise en œuvre et déplacements

Les éléments de batardeau sont décrits dans le chapitre (4.4) ci-dessus, ainsi que la stabilité d'ensemble des batardeaux et la stabilité des éléments lors de leur transfert par flottage.

Les différentes étapes de construction des batardeaux et de leur transfert sont schématisées sur le plan 61100-05B-14.

#### 9.3.2.2.1 Constitution

Les batardeaux sont constitués d'éléments préfabriqués en acier formant des caissons flottants. Ces éléments sont déplacés par flottage et mis en place par lestage avec du sable, sur le fond du lit du Saint Laurent préalablement réglé et planifié.

Les éléments sont liaisonnés par brelage, ou avec des câbles longitudinaux, qui permettent d'assurer une meilleure solidarisation d'ensemble.

L'étanchéité entre deux éléments de batardeau est assurée par deux boudins situés dans des engravures, et remplis d'eau sous pression.

Afin d'éviter toute instabilité ou risque de renardage, l'étanchéité, sur l'épaisseur de la couche de limons et dans les schistes fracturés, est assurée par une paroi étanche construite selon la technique de la paroi moulée. Cette paroi située côté amont (face toujours en eau du batardeau) est construite avec une hydro-fraise ou machine similaire à partir de la surface du batardeau formant quai. L'étanchéité en partie supérieure de la paroi est assurée par une membrane et sa protection mécanique.

Les éléments sont lestés avec du sable en vue de faciliter le démontage des batardeaux. Le sable peut être facilement pompé et refoulé par canalisation pour lester des éléments sur le lieu de mise en place lors des opérations de transfert.

Le batardeau a une longueur totale de 410 m pour une largeur totale de 190 m. Les éléments préfabriqués situés sur les grands côtés ont une longueur unitaire de 20 m. Ces éléments sont transférés uniquement par flottage. Les éléments situés sur les petits côtés ont une longueur unitaire de 10 m. Ces éléments sont tantôt transférés par flottage, tantôt à sec à l'intérieur de l'enceinte par des moyens de levage et de manutention routiers.

#### 9.3.2.2.2 *Mise en œuvre et déplacement*

Les différentes phases de déplacement sont décrites au plan n° 61100-05B-14.

La préparation du transfert des batardeaux sera réalisée en dehors des périodes d'interdiction de travaux en rivière pour protection de la faune aquatique, compte tenu de la turpitude de l'eau qui peut être occasionnée par les travaux sous l'eau de réglage du lit de pose des éléments. Les opérations de transfert elles-mêmes peuvent être réalisées en dehors des périodes sensibles, car elles n'occasionnent aucune pollution.

Il est prévu de mettre en œuvre en amont du batardeau amont des éléments placés en épis destinés à compléter la protection du batardeau lors de la débâcle printanière. Leur intérêt et leur espacement seront à confirmer lors des études hydrauliques de détail.

#### 9.3.2.2.3 *Travaux de terrassements et de génie civil réalisés à sec dans l'enceinte des batardeaux*

Ces travaux n'appellent pas de commentaires particuliers. Ils sont réalisés à secs avec un accès routier permanent à travers les sections de tunnel déjà construites.

Les phasages correspondants sont définis par le plan n° 61100-05B-14, ainsi que par le planning de détail d'un bloc (plan n° 61100-05B-17)

Lors de chaque position des batardeaux, un tronçon de 270 m de structure de tunnel sera construit. Ce tronçon (BLOC) est décomposé en 9 plots de 30 m de longueur, pour lesquels se succèdent les opérations de construction de la dalle inférieure, voile, dalles supérieures, puis les mises en précontrainte. L'analyse des accès conduit à mener la construction de chaque bloc de l'Est vers la partie déjà construite du tunnel et à dissocier transversalement la construction de chacun des plots dans le temps pour permettre le passage des véhicules assurant l'approvisionnement du chantier.

La structure est bordée de part et d'autre d'un espace de 10 m de largeur par rapport au pied de fouille pour installation de chemin de grue et d'une piste de desserte.

La structure de chaque bloc est remblayée à la fin de la construction du bloc concerné qui est ensuite remis sous l'eau lors des opérations de déplacement des batardeaux.

La dimension des blocs n'est pas assez grande (impact hydraulique) pour permettre soit :

- ▶ de stocker sur place les matériaux de déblais de fouilles qui seront nécessaires au remblaiement, sauf élargissement (solution qui a été prise en compte dans les estimations),
- ▶ de conserver ces matériaux en place, et de ne les extraire que lors de leur réutilisation sur place en remblai à la fin de la construction de chaque bloc.

Les matériaux de déblais de fouilles nécessaires au remblaiement de la structure devront être conservés en stock extérieur au chantier, sauf dispositions particulières d'élargissement visées ci-dessus permettant leur stockage provisoire dans l'enceinte protégée par les batardeaux.

Les travaux de terrassements sont réalisés en deux postes de travail par jour, avec une extraction des schistes à l'explosif.

Les talus dans les schistes ne devraient nécessiter aucune disposition particulière de soutènement, dès lors qu'un pré-découpage soigneux a été réalisé. Les estimations prennent toutefois en compte, au titre de provision, des renforcements localisés avec mise en place de boulons d'ancrage et béton projeté.

Une couche de béton compacté est mise en place sur tout le fond de fouille des terrassements pour régler le fond de fouille (fond de fouilles irrégulier du fait du mode d'extraction à l'explosif) et constituer l'assise de la structure du tunnel. L'épaisseur de cette couche est de 30 cm sur pointes.

### 9.3.2.3 Particularités

Les dispositions décrites ci-dessus concernent les BLOCS 2 à 7 inclus. Les blocs 1 et 8 comportent des particularités.

#### 9.3.2.3.1 Particularités du BLOC 1

L'enceinte du bloc 1 n'est pas refermée côté Ouest, car le bloc s'appuie directement sur la berge de l'île des Sœurs.

Compte tenu du faible tirant d'eau les éléments préfabriqués constituant les batardeaux ne peuvent pas être mis en œuvre par flottage. Ils peuvent être mis en œuvre en utilisant une rampe de mise à l'eau aménagée au préalable au fond du lit du Saint Laurent. Cette rampe nécessitera des terrassements limités sous l'eau dans une zone à priori sensible.

#### 9.3.2.3.2 Particularités du BLOC 8

Les batardeaux du bloc 8 viennent s'appuyer sur les batardeaux utilisés lors de la construction du bloc 9 sous la voie maritime. Ce bloc aura été construit avant le bloc 8, qui viendra ainsi assurer le clavage final de la structure de l'ouvrage.

## 9.3 Traversée de la voie maritime et du plan d'eau jointif

### 9.3.3.1 Objectifs et concept

Les travaux sous la voie maritime doivent être réalisés pendant la fermeture de la voie au trafic maritime pendant la période hivernale. Les méthodes de construction doivent s'adapter à cette contrainte, ce qui conduit à privilégier les modes de construction avec préfabrication.

L'étude préliminaire d'environnement a mis en valeur la richesse de la faune aquatique et aviaire dans le plan d'eau jointif à la voie maritime. Il convient de réduire au minimum l'empreinte environnementale à la traversée de cette zone.

Deux méthodes de construction sont mises en œuvre :

- ▶ Construction du BLOC 10 en place à sec à l'abri de batardeaux,
- ▶ Construction du BLOC 9 (traversée de la voie maritime) par la méthode des caissons préfabriqués mis en place par immersion.

La réduction de l'empreinte écologique conduit à utiliser à une double fin l'espace délimité par les batardeaux à l'Est de la voie maritime :

- ▶ Construction en place à sec du BLOC 10,
- ▶ Aménagement de la cale sèche permettant la construction à sec des trois caissons préfabriqués qui seront immergés sous la voie maritime.

Cette disposition de réduction de l’empreinte environnementale de la cale sèche, conduit à disposer d’un tirant d’eau de l’ordre de 9 m au droit de la cale sèche, compte tenu de l’altimétrie de la dalle supérieure du bloc 10. Cette hauteur d’eau est insuffisante pour permettre la flottabilité des caissons préfabriqués à structure renforcée sans adjonction de ballasts latéraux d’une surface d’environ 45 m<sup>2</sup>. Cette disposition sera à affiner lors des études détaillées des phases suivantes.

### 9.3.3.2 Méthode de construction et phasage des travaux

Les principes de construction et de phasage des travaux sont définis par les plans n° 61100-05B-15 et 61100-05B-16.

De façon synthétique les travaux se décomposent comme suit :

Tableau 18 : phasage de construction des blocs 10, 9 et 8

PHASE	CHRONOLOGIE	NATURE DES TRAVAUX RÉALISÉS
1	1-1.a	Arasement de l’îlot à l’Est de la voie maritime et construction de la digue D3
	1-2.a	Construction du batardeau entre la voie maritime et la berge rive droite
	1-3.a	Pompage et mise à sec de l’enceinte protégée par le batardeau Est
	1-4.a	Terrassements des fouilles dans l’enceinte du batardeau EST
	1-5.a	Construction en place du BLOC 10
	1-1.b	Construction de la contre digue D1 (à l’ouest de la voie maritime)
	1-2.b	Ouverture de la digue D2 (digue de la voie maritime) – terrassements sous l’eau à l’ouest de la voie maritime
2	1-3.b	Terrassements sous la partie ouest de la voie maritime pendant la première intervention hivernale
	2-1	Remblaiement du BLOC 10
	2-2	Démontage de la digue D3 et construction de la digue D4
	2-3	Pompage et mise à sec de la cale sèche rive droite - Terrassements
	2-4.a	Construction dans la cale sèche des trois caissons préfabriqués du BLOC 9
	2-4.b	Terrassements côté est de la voie maritime
3	2-5	Terrassements de la partie est de la voie maritime pendant la seconde intervention hivernale
	3-1	Mise en eau de la cale sèche
	3-2	Ouverture de la digue D4
	3-3	Troisième intervention hivernale – curage et mise à niveau de la fondation du BLOC 9
	3-4 à 3-6	Mise en place des trois caissons par immersion sous la voie maritime
4	3-7	Remblaiement des caissons sous la voie maritime
	4-1	Reconstitution de la digue D2 (voie maritime)
	4-2.a	Démontage de la digue D1 – mise en place des batardeaux pour la construction du BLOC 8

PHASE	CHRONOLOGIE	NATURE DES TRAVAUX RÉALISÉS
	4-3.a	Pompage et mise à sec – terrassements du BLOC 8
	4-4.a	Construction du BLOC 8
	4-5.a	Remblaiement du BLOC 8
	4-6	Démontage des batardeaux du BLOC 8
	4-2.b	Reconstitution de l'îlot au droit de la digue D3
	4-3.b	Enlèvement des batardeaux à l'Est de la voie maritime
	4-4.b	Reconstitution du niveau initial du fond de lit au droit de la cale sèche

*Nota : les indices a et b signifient que ces travaux peuvent être réalisés simultanément*

### 9.3.3.3 Terrassements sous la voie maritime

Les travaux de terrassements sous la voie maritime et à son voisinage seront réalisés sous l'eau.

- ▶ Les terrains meubles et alluvions seront extraits par dragage,
- ▶ Les terrains rocheux seront extraits par des moyens mécaniques, l'emploi d'explosif n'étant pas approprié vis-à-vis de la faune piscicole. Ces moyens seront à préciser après études de la structure, de la dureté et de l'abrasivité des schistes en place. Deux méthodes peuvent être envisagées :
  - Excavation en pleine masse à partir d'un front de taille avec une fraise de grande puissance, si les terrains ne sont pas trop résistants et si les performances de production sont raisonnable,
  - Excavation de saignées parallèles à l'hydro-fraise et abattage mécanique des terrains restés en place entre les saignées.

Les techniques de terrassements proposées sont peu intrusives. Elles mettent en œuvre des moyens d'intervention maritimes très mobiles et flexibles. Dans ces conditions, les terrassements sous la voie maritime pourraient très vraisemblablement être en partie réalisés pendant les périodes d'exploitation de la voie maritime, aux heures de faible trafic, sans apporter de restriction à la navigation commerciale ni l'exposer au moindre risque provenant du chantier de terrassements.

## 9.4 PRINCIPALES QUANTITÉS

Les principales quantités à mettre en œuvre sont résumées dans le tableau ci-dessous

Tableau 19 : Principales quantités à mettre en œuvre

NATURE DES TRAVAUX	QUANTITÉS
Béton	741 700 m <sup>3</sup>
Aciers HA	42 300 t
Aciers de précontrainte	36 000 t
Déblais en terrain meuble	1 260 000 m <sup>3</sup>
Déblais rocheux à l'explosif	3 440 000 m <sup>3</sup>

NATURE DES TRAVAUX	QUANTITÉS
Déblais à mettre en dépôt définitif	2 125 000 m <sup>3</sup>
Remblais : réutilisation des déblais de fouilles	2 575 000 m <sup>3</sup>
Charpente métallique pour les batardeaux	26 500 t

Les déblais extraits, stockés provisoirement et réutilisés en remblais de fouilles sont stockés sur place à l'intérieur des batardeaux. Cette disposition permet de limiter les stockages extérieurs, ainsi que les volumes de transports. Elle permet également de diminuer les nuisances et pollutions résultants des transports par la voie publique.

Les matériaux non réutilisés sur le site sont supposés être mis en dépôt définitif à une vingtaine de kilomètres du site des travaux.

## 10 PLANNING DE CONSTRUCTION

Le planning de construction a fait l'objet d'une analyse détaillée qui est représentée par les annexes 6 et 7, ainsi que par les plans 61100-05B-17 et 61100-05B-18.

Cette analyse comporte sur les éléments suivants :

- ▶ Étude détaillée de la construction d'un bloc courant : annexe 6 et plan 61100-05B-17.
- ▶ Planning d'ensemble des travaux de construction : annexe 7 et plan 61100-05B-18.

Le premier document est indépendant de la période de l'année, des contraintes climatiques ou environnementales. Cette analyse de cycle a essentiellement pour objet la recherche d'une optimisation des méthodes, des durées et des enchainements des ateliers unitaires, en tenant compte des contraintes d'accès et de leur évolution.

Le second document prend en compte les contraintes relatives suivantes :

- ▶ Contraintes environnementales avec interdiction de réaliser, à certaines périodes de l'année, des travaux dans le lit de la rivière susceptibles d'occasionner des pollutions. Seuls les travaux de réglage du sol de fondation des éléments préfabriqués constituant les batardeaux sont sujets à pollution. Ces travaux ne pourront pas être exécutés pendant la période d'interdiction entre le 01 avril et le 31 juillet. Par extension, la même hypothèse a été faite pour la réalisation de tous les travaux de déplacement des batardeaux. A contrario tous les autres travaux sont possibles,
- ▶ Contraintes relatives à l'exploitation de la voie maritime. Le planning prend en compte le fait que les travaux sous la voie maritime ne peuvent être réalisés qu'aux périodes de fermeture de la voie à la navigation. Les travaux au voisinage de la voie sont réputés pouvoir être réalisés toute l'année,
- ▶ Les contraintes climatiques. L'hypothèse faite est que les travaux n'étaient pas interrompus en totalité pendant les périodes hivernales. L'impact des périodes hivernales varie selon la nature des travaux à réaliser et la possibilité de mettre en œuvre ou non des mesures adaptées pour assurer leur poursuite. Cette analyse détaillée ne peut pas être faite à l'heure actuelle à défaut de pouvoir fixer une période dans l'année à laquelle les travaux commenceront. Pour tenir compte des conditions hivernales, il a été considéré un délai de deux mois d'absence d'activité, correspondant soit à des suspensions du chantier, soit à des pertes de rendement, ou des allongements des délais de décoffrage résultant des conditions climatiques.

De façon arbitraire et conventionnelle les hypothèses suivantes ont été considérées :

- ▶ Une date origine au 01 avril de l'année N zéro,
- ▶ Une période de préparation et des installations de chantier qui permettent un démarrage des travaux en rivière au 01 août de l'année N zéro, à la fin de la période d'interdiction

La durée prévisionnelle des travaux est ainsi de 59 mois. Cette durée peut osciller de plus ou moins trois mois selon la date de démarrage dans le courant de l'année.

La durée des travaux pourrait être optimisée de plusieurs mois si les deux conditions suivantes étaient réalisées :

- ▶ Batardeau de plus de 410 m de longueur,
- ▶ Possibilité de réaliser des travaux de dragage et de terrassements mécaniques sous la voie maritime dans les périodes journalières de faible trafic.

## 11 ESTIMATIONS

### 11.1 COÛTS DE CONSTRUCTION

#### 11.1.1 Base des ratios et prix unitaires

Les estimations ont été établies dans les conditions suivantes :

- ▶ Utilisation de prix statistiques moyens canadiens, lorsque cela a été possible, Une corrélation a été faite avec des prix moyens européens pour des chantiers courants. Les corrélations sont bonnes sans nécessité d'apporter des coefficients correctifs,
- ▶ A défaut de très grands chantiers similaires, mettant en œuvre des volumes très importants de matériaux (notamment béton, terrassements, acier, construction métallique), une double approche a été faite pour la détermination des prix unitaires :
  - Utilisation de prix européens concernant des très grands chantiers,
  - Recomposition des prix unitaires (exemple béton) à partir de prix de fourniture provenant de grands chantiers canadiens, avec prise en compte des ratios horaires de main d'œuvre de mise en œuvre, et application des taux horaires canadiens.

Cet exercice n'a pas pu être fait pour un certain nombre de prix pour lesquels nous n'avons pas trouvé de valeurs correspondantes canadiennes. Ceci concerne :

- ▶ Les prix des travaux au tunnelier. Mais l'expérience des marchés internationaux montre qu'il y a très peu de fluctuations entre les pays, On peut donc considérer que les estimations faites sur la base de ratios européens sont fiables, et applicables au Canada,
- ▶ Les prix des travaux maritimes, pour la préparation de la fondation des éléments préfabriqués des batardeaux, les transferts et mise en œuvre des batardeaux, ainsi que pour les travaux réalisés sous la voie maritime.

#### 11.1.2 Contenu des estimations

Les estimations préliminaires ont été établies dans les conditions suivantes :

- ▶ en valeur hors taxe,
- ▶ avec une « somme à valoir » (provision financière) de 25%.
- ▶ les estimations prennent en compte les éléments suivants :
  - frais de maîtrise d'ouvrage, de maîtrise d'œuvre, études et sondages divers,
  - acquisitions foncières – provisions pour déplacements de réseaux,
  - travaux de raccordements aux voiries existantes, y compris provisions financières pour les travaux successifs de phasage,
  - mise en dépôts extérieurs des matériaux de déblais, à une distance d'une vingtaine de kilomètres du chantier,
  - provisions pour mise en œuvre de dispositions préventives de protection de l'environnement.
  - Rétablissements provisoires et définitifs des différentes voies,

Les estimations ont été faites en tenant compte de la présence d'un TCSP à l'intérieur du tunnel.

### 11.1.3 Synthèse de l'estimation des coûts de construction

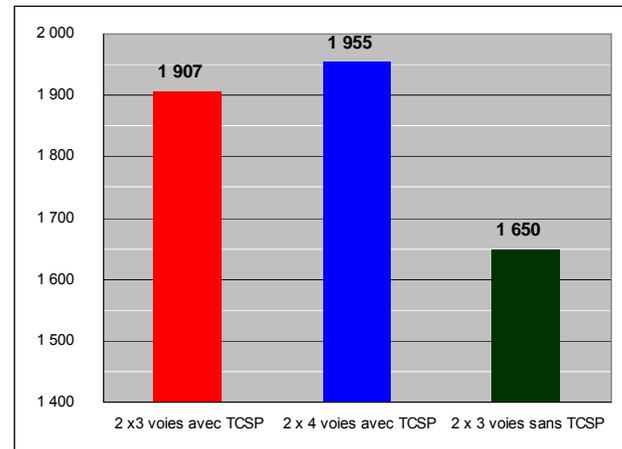
Les estimations détaillées font l'objet des annexes n° 8, 9 et 10.

La synthèse de ces estimations est représentée par le tableau ci-dessous. Les montants sont exprimés en millions de dollars canadiens, hors taxe. Ils comprennent une « somme à valoir » (provision financière) de 25%.

Figure 17 : graphe des coûts de construction

Tableau 20 : Synthèse des coûts de construction en millions de dollars hors taxe – valeur 2010

SOLUTION	MONTANT HT
2 x 3 voies avec TCSP	1 907 M\$
2 x 4 voies avec TCSP	1 955 M\$
2 x 3 voies sans TCSP	1 650 M\$



Ce tableau appelle les commentaires suivants :

#### 11.1.3.1 Surcoût pour l'option 2 x 4 voies sans TCSP

Le surcoût est modeste, car :

- ▶ L'élargissement de la structure est assez faible (+ 5,7% de largeur supplémentaire). Seules les dalles inférieures et supérieures sont impliquées, ainsi que la largeur des fouilles. Par contre tout le poids de la logistique demeure identique, et la durée des travaux est inchangée,
- ▶ Il n'y a aucun impact sur les raccordements et les échanges de part et d'autre du tunnel,
- ▶ Les installations de ventilation doivent être légèrement renforcées, ainsi que la distribution électrique, mais sans modification majeure sur les postes MT et BT,
- ▶ Tous les autres équipements demeurent inchangés

#### 11.1.3.2 Économie pour la suppression du TCSP

L'économie potentielle reste du même ordre de grandeur que celle qui avait été évaluée lors de la partie A d'analyse préliminaire.

Toutefois l'intérêt réel d'une telle solution ne peut être analysé qu'en faisant une comparaison (entre points communs - par exemple de Taschereau à la gare centrale) entre:

- ▶ le coût de l'aménagement d'une ligne de TCSP complètement indépendante,
- ▶ et celui d'un aménagement mixte utilisant le tunnel pour la traverse du Saint Laurent.

Cette comparaison n'a toutefois un intérêt que dans le cas d'un TCSP sur rail, pour lequel un tunnel indépendant et plus direct peut être envisagé en direction du centre ville. La situation est

tout autre dans le cas d'un TCSP par bus, pour lequel, compte tenu des problèmes de ventilation et de sécurité, la construction d'un tunnel indépendant pénaliserait très lourdement une solution d'aménagement indépendant.

#### 11.1.3.3 *Surcoût pour le passage des TMD*

Le surcoût pour permettre le passage des TMD est marginal, tout au plus une vingtaine de millions de dollars. En effet, le passage des TMD n'apporte pas de modification aux dispositions constructives de l'ouvrage mis à part :

- ▶ très vraisemblablement le renforcement de l'épaisseur de la protection thermique, pris en compte dans l'estimation du surcoût,
- ▶ une augmentation de la capacité des réservoirs d'eau pour l'incendie, ainsi que des bassins aux deux points bas pour le recueil des eaux.

Les autres surcoûts potentiels (non pris en compte dans l'estimation ci-dessus) concernent les deux points suivants, qui en tout état de cause sont déjà vraisemblablement nécessaires pour assurer la sécurité du tunnel hors TMD :

- ▶ La construction d'un échelon rapproché d'intervention pour les pompiers, ou l'extension de la caserne située sur l'île des Sœurs. Cet investissement dépend des moyens de la caserne pompiers existante, des renforcements nécessaires, des possibilités d'agrandissement, et des temps d'intervention. L'analyse devra être faite lors des études de risques et de dangers,
- ▶ L'équipement des services d'intervention avec des matériels mieux adaptés aux conditions d'intervention en tunnel pour la lutte contre un incendie

#### 11.1.3.4 *Comparaison avec l'estimation initiale d'avril 2010*

Les coûts de construction de la solution tunnel 2 x 3 voies avec TCSP avaient été estimés à 1.370,2 M\$ HT lors de la pré-analyse comparative des solutions « tunnel », objet de la partie A du rapport, non compris une « somme à valoir » de 25%.

Cette estimation ne comportait pas les prestations suivantes qu'il convient de prendre en compte pour procéder à l'estimation comparative :

Tableau 21 : comparaison des estimations des coûts de construction

INTITULÉ DES POSTES	MONTANTS M\$ HT <sub>2010</sub>
Estimation initiale	1.370,2 M\$
Somme à valoir 25%	342,5 M\$
Déconstruction du pont Champlain	166,6 M\$
Fouilles archéologiques	1,3 M\$
Compensation environnementale	30,0 M\$
Etudes complémentaires	10,7 M\$
Contrôle des matériaux	11,6 M\$
Total estimation initiale après correction	1.932,9 M\$
Estimation « études de pré faisabilité »	1.907 M\$

L'estimation des coûts de construction qui résulte de la présente études de pré faisabilité présentée au tableau 20 ci-dessus, confirme les estimations comparatives initiales.

### 11.1.3.5 Estimation de synthèse des coûts de construction

L'estimation de synthèse de la solution tunnel 2x3 voies + TCSP fait l'objet du tableau suivant.

Tableau 22 : estimation de synthèse des coûts de construction de la solution 2x3 voies et TCSP

NATURE DES OUVRAGES ET PRESTATIONS	MONTANT HT EN k\$ VALEUR 2010	
<b>Maitrise d'ouvrage et études diverses</b>		<b>109 514</b>
<b>Maitrise d'Ouvrage</b>		<b>21 195</b>
<b>Maîtrise d'Œuvre études &amp; travaux</b>		<b>77 619</b>
études AVP - APD	13 212	
plans et devis (projet d'exécution)	19 818	
contrôle des travaux	33 029	
contrôle des matériaux	11 560	
<b>Etudes complémentaires</b>		<b>8 700</b>
relevé et études de circulation	400	
topographie	800	
géotechnique	5 400	
hydraulique	700	
glaces	400	
enquête et études TMD	1 000	
<b>Etudes environnementales</b>		<b>2 000</b>
<b>Prestations diverses</b>		<b>44 100</b>
fouilles archéologiques	100	
acquisitions foncières	4 000	
déplacements de réseaux	10 000	
mesure de compensation environnementale	30 000	
<b>Travaux de Génie Civil du tunnel</b>		<b>1 436 006</b>
terrassements à sec St Laurent et cale sèche	452 267	
terrassements fluviaux sous la voie maritime	121 606	
caissons construits entre batardeaux	736 754	
caissons immergés voie maritime	125 379	
<b>Travaux accès et raccordements</b>		<b>73 123</b>
travaux rive droite	23 063	
travaux rive gauche (île des Sœurs)	21 332	
maintient de la circulation peandant les travaux	28 728	
<b>Equipements d'exploitation</b>		<b>142 340</b>
bâtiment d'exploitation rive droite	5 520	
bâtiment d'exploitation rive gauche (île des Sœurs)	9 990	
équipements en tunnel et aux têtes	112 130	
poste de supervision (équipements)	14 700	
<b>Déconstruction du Pont Champlain</b>		<b>155 015</b>
Maîtrise d'Ouvrage	2 163	
Maîtrise d'Œuvre études & travaux	8 652	
travaux de déconstruction	144 200	
<b>Revente des batardeaux</b>		<b>- 53 100</b>
Revente des batardeaux	53 100	
<b>montant total hors taxes en k\$ valeur 2010</b>		<b>1 906 998</b>

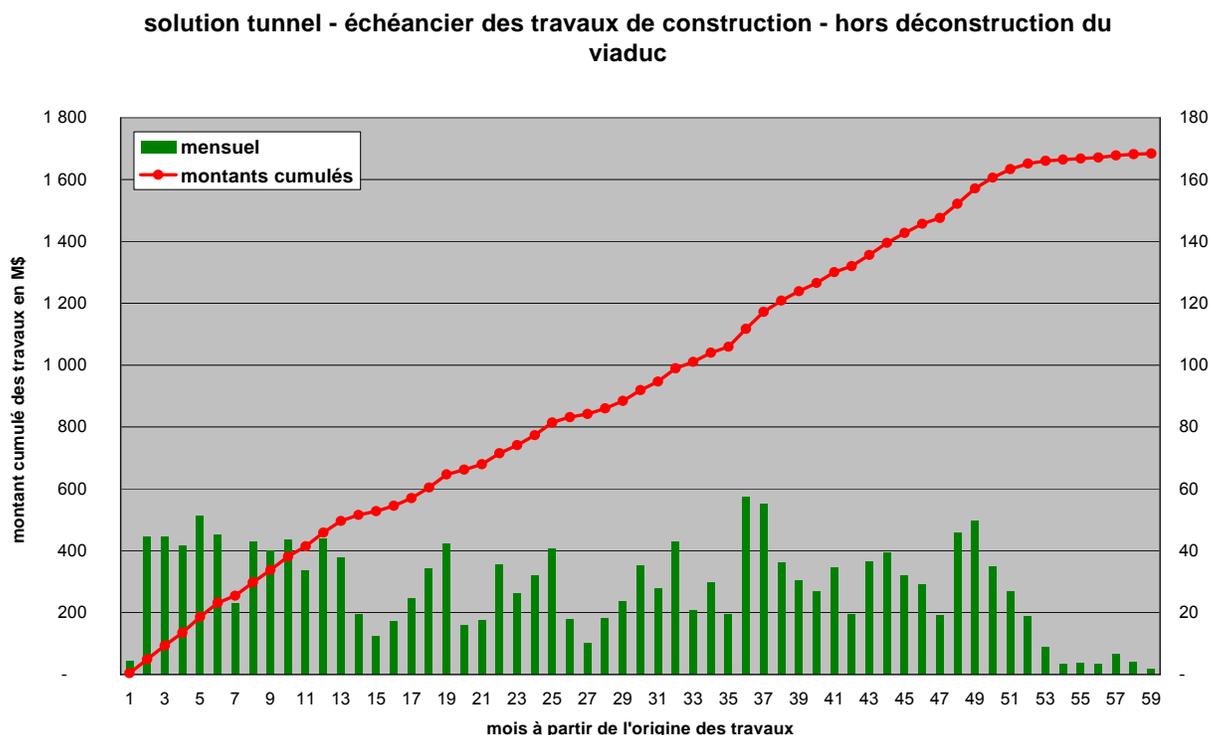
### 11.1.4 Échéancier de coûts de construction

L'échéancier des coûts de construction est le résultat du croisement du planning prévisionnel des travaux de construction et de l'estimation détaillée de chacune des tâches élémentaires de ce planning. Cet échéancier financier n'a été établi que pour les travaux du tunnel proprement dit et les prestations de Maîtrise d'Ouvrage, de Maîtrise d'œuvre et de contrôle qui leur sont associés.

Les prestations préalables au début des travaux, de même que les travaux de déconstruction du pont Champlain ne sont pas prises en compte dans cette analyse. Elles sont identiques à celles de la solution « pont ».

Cet échéancier est représentée par le graphique suivant. Le détail des prestations prises en compte, ainsi que de montants annuels sont définis à l'annexe 11.

Figure 18 : échéancier financiers des travaux de construction



**nota** : la forme de la courbe des dépenses cumulées diffère de la traditionnelle « courbe en S ». Ceci est dû :

- ▶ au poids financier important des installations de chantier, notamment de la fourniture de batardeaux métalliques,
- ▶ à l'impact des périodes hivernales et des périodes d'interdiction d'exécution de travaux en rivière.

## 11.2 COÛTS D'EXPLOITATION

### 11.2.1 Contenu

Les coûts d'exploitation ont été décomposés en trois sous ensembles :

- ▶ Les coûts annuels d'exploitation, qui comportent le personnel d'exploitation et les moyens associés,
- ▶ Les coûts annuels de maintenance courante, qui comportent notamment le consommable, l'énergie et la maintenance usuelle récurrente,
- ▶ Les coûts de grosses réparations, qui correspondent à des interventions lourdes de maintenance, de rénovation ou de renouvellement des installations en fonction de la durée de vie des différents matériels et de objectifs fixés en terme de niveau de service, de fiabilité et de confort.

Les coûts d'exploitation, de maintenance et de grosses réparations ont été évalués sur une période de 35 ans à compter de la mise en service de l'ouvrage. Des travaux de « remise à niveau » ont été pris en compte lors de la trente cinquième année avant la remise de l'ouvrage. Cette « remise à niveau » ne constitue pas une « remise à neuf » de l'ouvrage. Elle correspond à une remise en état de l'ensemble des installations, quelle que soient leurs durées de vie, afin d'éviter toute intervention pour grosse réparation dans la dizaine d'années suivantes.

A défaut de données statistiques canadiennes pour des ouvrages de cette nature, les estimations ont été faites en tenant compte des données européennes. Ceci est toutefois de nature à renchérir les coûts d'exploitation et de maintenance, compte tenu du fait que les standards européens pour l'entretien du patrimoine et le niveau de service sont plus exigeants que les standards nord-américains correspondants.

Les montants des grosses réparations prennent également en compte la constitution initiale du stock de pièces de rechange pour les équipements d'exploitation, ainsi que de la reconstitution régulière desdits stocks tout au long de la période considérée.

### 11.2.2 Évaluation des coûts

#### 11.2.2.1 Grosses réparations

Les hypothèses prises en compte pour la durée de vie de différentes installations sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

Ces durées de vie résultent de la longévité proprement dite des différents composants d'une installation, ou de l'obsolescence de l'équipement ou du système concerné, et de l'impossibilité de trouver les pièces de rechanges indispensables à la maintenance.

L'expérience montre également que la durée de vie d'un équipement d'exploitation dépend beaucoup de :

- ▶ La conception et de la qualité initiale dudit équipement,
- ▶ De la qualité de l'entretien et de la maintenance préventive courante.

Tableau 23 : durée de vie des installations

INTITULÉ DES POSTES	DURÉE DE VIE (ANNÉES)
Alimentation électrique	25
Ventilation	25
Éclairage	20
Équipements de signalisation	12
Réseau incendie	20
Détection incendie en tunnel	12
GTC (gestion Technique Centralisée)	12
Vidéo surveillance en tunnel et aux têtes	12
Réseau d'appel d'urgence	12
Radiocommunications	12
Téléphonie	12
Métallerie	20
équipements extérieurs aux entrées	15
équipements tube TCSP	20
PC de supervision - informatique - équipements	12
chaussées des accès	8
chaussées en tunnel	25

### 11.2.2.2 Estimations annuelles des coûts d'exploitation

Les deux graphiques suivants représentent les coûts globaux d'exploitation, de maintenance et de grosses réparations durant les 35 années suivant la mise en service du tunnel. Ces montants sont exprimés aux conditions économiques de 2010 et en montant hors taxes.

Les évaluations semestrielles détaillées et leurs décompositions selon les trois sous-ensembles sont données à l'annexe 12.

Figure 19 : coûts annuels d'exploitation, maintenance et grosses réparations en k\$ HT valeur 2010

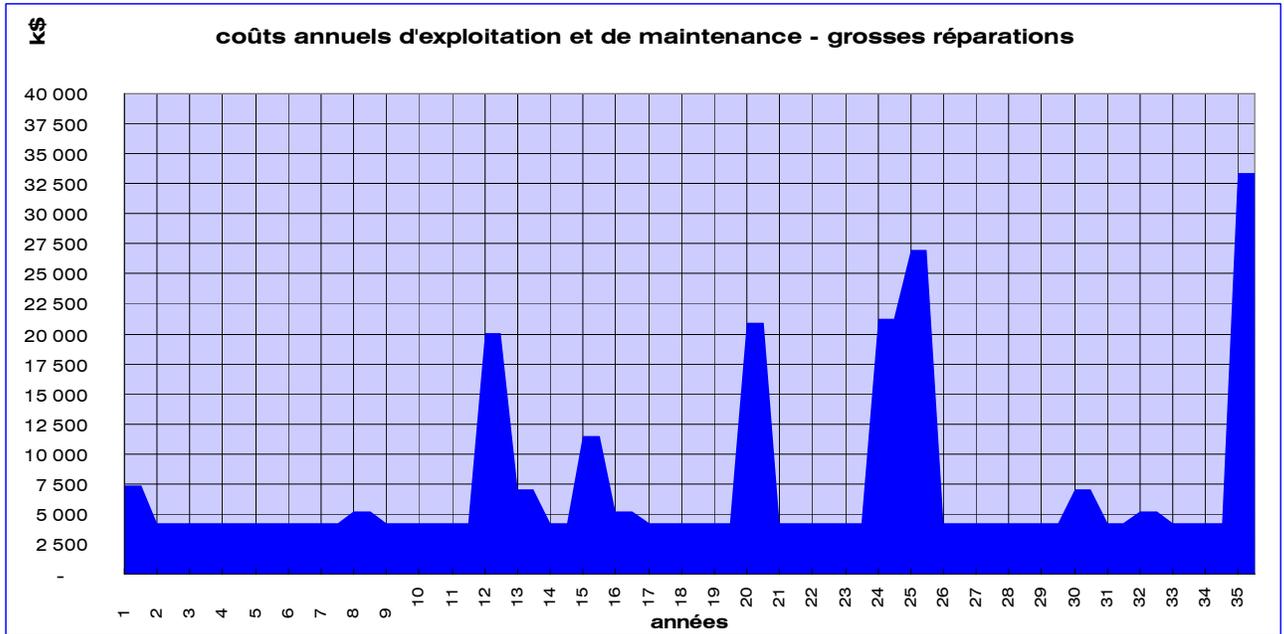
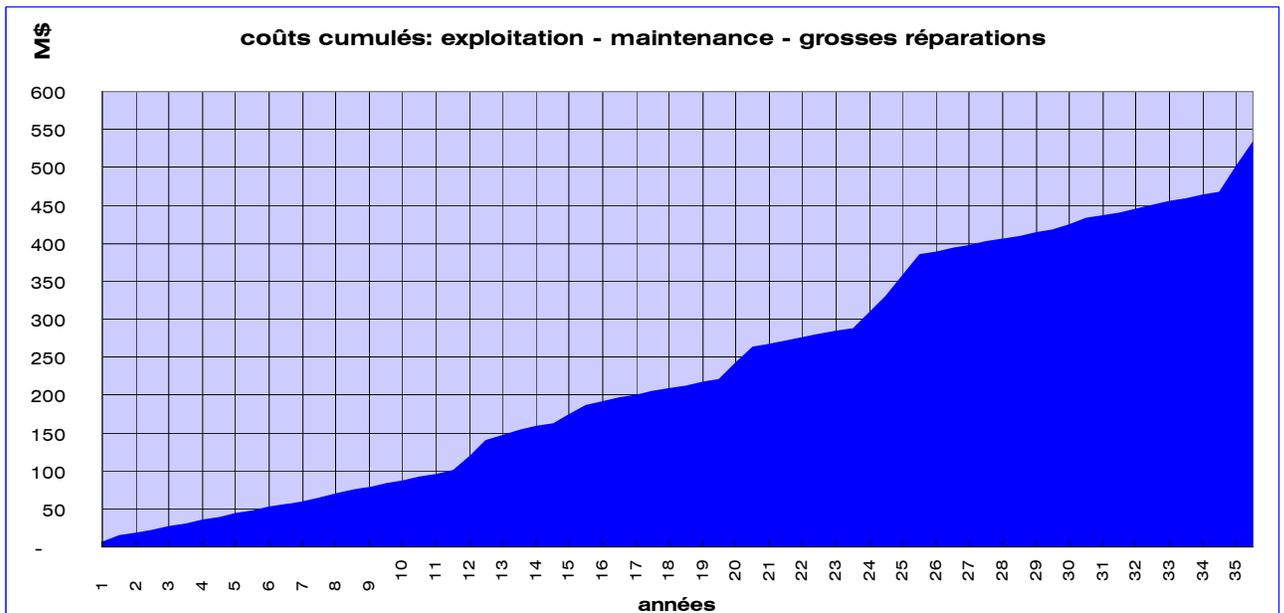


Figure 20: graphe cumulé des coûts d'exploitation en M\$ HT valeur 2010



## 12 SYNTHÈSE

### 12.1 INTRODUCTION

La partie A de l'étude de préféabilité relative au recensement et à la comparaison entre les différentes alternatives de reconstruction du pont Champlain, avec une infrastructure en tunnel, a laissé apparaître que la solution la mieux adaptée aux conditions d'aménagement urbain, et qui occasionnait le moins d'impact environnemental, était l'alternative d'un tunnel sous-fluvial réalisé avec des batardeaux.

La partie B a permis une analyse plus détaillée de cette solution (2 x 3 voies de circulation + 2 voies pour un TCSP), qui a porté notamment sur les aspects suivants :

- ▶ Le tracé en plan et le profil en long,
- ▶ Les ouvrages de raccordement et d'échanges,
- ▶ La section fonctionnelle,
- ▶ Le pré-dimensionnement des structures de génie civil,
- ▶ Le pré-dimensionnement des installations de ventilation,
- ▶ La définition des équipements d'exploitation et de sécurité,
- ▶ Une approche préliminaire des dispositions relatives à la sécurité, et analyse plus fine de la problématique du passage des TMD (transports de matières dangereuses),
- ▶ Les méthodes de construction,
- ▶ Le planning prévisionnel des travaux,
- ▶ Les coûts de construction et d'exploitation.

Parallèlement, deux options ont été analysées et évaluées :

- ▶ L'option comportant une plateforme à 2 x 4 voies au lieu de 2 x 3 voies,
- ▶ L'option d'une plateforme à 2 x 3 voies sans TCSP.

### 12.2 LES ÉLÉMENTS PRINCIPAUX

#### 12.2.1 Tracé en plan et profil en long

Les dispositions de l'analyse préliminaire ont été confirmées, affinées et améliorées.

- ▶ Le tunnel est toujours situé à l'aval du pont Champlain.
- ▶ Le tracé a été légèrement décalé afin d'améliorer la géométrie, d'optimiser les raccordements, et de mieux prendre en compte les méthodes de construction, et la place nécessaire à l'évolution des engins de travaux maritimes pour la construction et les déplacements des batardeaux,
- ▶ Le profil en long a été optimisé avec un triple objectif de :
  - réduction des pentes - amélioration de la capacité de l'ouvrage – optimisation des coûts d'exploitation,
  - optimisation des coûts de construction,
  - meilleure prise en compte des méthodes de construction notamment pour la traversée de la voie maritime

La longueur du tunnel est de 3610 m. Il est prolongé par une trémie de 120 ml en rive droite, et une trémie de 100 ml sur l'île des Sœurs.

### 12.2.2 Ouvrages de raccordement et d'échanges

Les raccordements autoroutiers à l'ouest et à l'est, ainsi que le remodelage des échangeurs sur les deux rives du Saint Laurent ont été analysés, les implantations et les profils en long étudiés.

La faisabilité de ces raccordements et échanges, dans des conditions similaires à celles qui existent à ce jour, sont confirmées, moyennant les adaptations nécessaires. En rive droite :

- ▶ Le rayon de la bretelle d'entrée d'A 132 vers le tunnel a été réduit à 58 m,
- ▶ En corolaire, le rayon de la bretelle de sortie du tunnel vers l'A 132 a été augmenté à 108 m.

Tous les mouvements et échanges actuels sont conservés dans l'aménagement définitif et sont maintenus en exploitation pendant toute la durée des travaux, à l'exception de la coupure d'une durée très limitée de la bretelle d'entrée de l'île des Sœurs vers le tunnel, ainsi que de la bretelle de sortie du tunnel vers l'A 132. Les travaux correspondants ne peuvent être en effet achevés qu'après la mise en service du tunnel. Des déviations peuvent toutefois être mises en place sans difficulté majeure.

### 12.2.3 Section fonctionnelle

La section fonctionnelle est inchangée, mise à part les deux galeries d'évacuation qu'il a été nécessaire de porter à 5,25 m (au lieu de 4,50 m) afin de dégager la section transversale nécessaire aux gaines de désenfumage.

Cette modification résulte du pré-dimensionnement des installations de ventilation, et notamment de l'optimisation des pertes de charges aérauliques.

### 12.2.4 Structures de génie civil

Le dimensionnement de la structure de génie civil est confirmé pour la section courante d'ouvrage, avec une épaisseur de 1,00 m de béton précontraint.

Une structure renforcée a été créée pour les secteurs de plus forte couverture, au droit de la voie maritime, des digues, ainsi qu'au droit des batardeaux provisoires. L'épaisseur des dalles, ainsi que celle des voiles extérieurs est portée à 1,50 m.

La structure est précontrainte longitudinalement (dalle inférieure – dalle supérieure – voiles extérieurs), transversalement (dalle inférieure - dalle supérieure) et verticalement (voiles extérieurs).

L'intrados des espaces de circulation, ainsi que celui des gaines de ventilation est revêtu d'une protection thermique destinée à protéger la structure en béton précontraint lors d'un incendie. Cette protection d'une épaisseur décimétrique n'a pas été dimensionnée à ce niveau d'étude préliminaire, car il est nécessaire de procéder à des simulations en 3 D de différents scénarios d'incendie, afin de déterminer la température auxquels les intrados de structure sont exposés, et la durée de cette exposition.

### 12.2.5 Installations de ventilation

Les installations de ventilation ont été pré-dimensionnées pour les conditions de ventilation sanitaire, ainsi que pour un incendie avec une puissance de 50 MW. Le scénario d'un incendie de 200 MW a également été examiné.

Les concepts de l'étude initiale sont confirmés. L'installation de ventilation comporte :

- ▶ des accélérateurs en plafond (logés dans des bossages) pour assurer la ventilation courante des espaces de circulation, et pour manager le confinement des fumées en cas d'incendie,
- ▶ deux gaines de désenfumage dotées de trois ventilateurs d'extraction installés dans les usines implantées sur chacune des deux têtes. Ces trois ventilateurs sont communs aux deux gaines : deux ventilateurs en fonctionnement et un en secours. Le rejet des fumées se fait par une cheminée implantée sur chacune des deux têtes de tunnel,
- ▶ deux ventilateurs (un sur chaque tête) pour insuffler de l'air frais dans la galerie d'évacuation, et la mettre en légère surpression pour éviter la pénétration des fumées lors de l'ouverture des portes des issues de secours par les usagers quittant le tunnel lors d'un incendie.

## 12.2.6 Equipements d'exploitation et de sécurité

Les équipements d'exploitation et de sécurité sont décrits et partiellement pré-dimensionnés, notamment pour permettre la définition des schémas fonctionnels des locaux techniques et des bâtiments de tête de tunnel.

Une usine de ventilation et des locaux techniques comportant les stations électriques, locaux MT, BT et courants faibles sont implantés sur chacune des deux têtes.

Ce bâtiment est complété sur la tête île des Sœurs par un poste de contrôle et de supervision, ainsi que par un centre d'entretien de maintenance et d'intervention.

## 12.2.7 Approche préliminaire des dispositions relatives à la sécurité et aux TMD

Les conditions relatives à la sécurité ont été analysées de façon plus détaillée pour la solution « tunnel », ainsi que les dispositions relatives aux équipements de sécurité, aux évacuations et à l'accès des services d'intervention sont confirmées. Il convient de garder à l'esprit que la solution « pont » ainsi que les tronçons à l'air libre en amont et en aval des ouvrages ne sont pas exempts de risques liés au transport des matières dangereuses. Un accident important de TMD peut dans certains cas être plus critique à l'air libre qu'en tunnel, où la ventilation permet en effet de maîtriser la propagation des fumées toxiques, et d'en protéger les usagers situés au voisinage.

La problématique du transit des TMD a été approfondie sur les bases des informations contenues dans le rapport sur la circulation des TMD dans la Montérégie. Le trafic des TMD est assez faible et plus ou moins réparti entre les différents franchissements, en fonction des produits transportés, leurs origines et destinations. Cette analyse laisse entrevoir des solutions possibles, compatibles avec le transit en tunnel, et le niveau de sécurité requis. Ces solutions sont basées sur :

- ▶ une meilleure répartition des flux selon les produits transportés,
- ▶ des restrictions de trafic,
- ▶ une réglementation du transit des TMD à travers le tunnel, associé au flux horaire du trafic.

Un scénario d'incendie de 200 MW a été analysé, et laisse apparaître des risques très limités, et maîtrisables, dans la mesure où cet incendie intervient en dehors des périodes de fort trafic.

Cette analyse de transit des TMD nécessite d'être approfondie, ce qui requiert la réalisation d'une enquête plus élargie, une modélisation 3D de l'incendie de 200 MW en tunnel, l'analyse des origines et destinations par nature de produits transportés, le recensement des itinéraires alternatifs potentiels et des risques auxquels ces itinéraires pourraient être soumis en cas de transfert d'une partie du trafic.

## 12.2.8 Méthodes de construction

Les concepts des méthodes de construction présentés dans l'étude préliminaire ont été analysés en détail, les phasages de construction sont précisés, et les ouvrages provisoires tels les batardeaux ont été pré-dimensionnés.

Trois modes de construction sont mis en œuvre :

- ▶ un mode traditionnel pour les ouvrages à terre ferme,
- ▶ une construction à sec à l'intérieur d'une enceinte protégée par des batardeaux pour la traversée fluviale sous le Saint Laurent.
  - Ces batardeaux sont constitués par des caissons métalliques flottables, immergés en place par lestage avec du sable, sur leur lieu de mise en œuvre. Les dispositions d'étanchéité, de stabilité, de flottabilité, de démontage et de transfert ont fait l'objet d'une étude approfondie et son présentées dans le rapport
  - La flexibilité des méthodes proposées et de leur mise en œuvre, l'absence de terrassements en rivière, permettent également de satisfaire aux contraintes environnementales,
  - Tous les travaux sont réalisés à sec à l'intérieur de l'enceinte, et tous les transports sont assurés par voie terrestre en utilisant le tronçon de tunnel déjà construit, remis en eau sous le lit du Saint Laurent.
  - La dimension des batardeaux a été limitée à 410 m à défaut de disposer d'une étude hydraulique détaillée. Cette dimension, qui a un poids sensible sur le délai d'exécution devra être optimisée, et le cas échéant modulée selon les saisons (risques de crues et occurrence) à la suite de l'étude hydraulique détaillée.
- ▶ Un mode mixte d'exécution pour la traversée de la voie maritime et du plan d'eau jointif :
  - Le plan d'eau jointif est traversé par la méthode de construction entre batardeaux,
  - Le tronçon de tunnel sous la voie maritime, d'une longueur de 305 m est construit en utilisant la technique des caissons préfabriqués immergés. La fouille sous la voie maritime est réalisée sous l'eau pendant les périodes annuelles d'arrêt de la navigation avec des moyens mécaniques (dragage des terrains meubles – extraction à la fraise des schistes). Les caissons sont construits à sec dans une cale sèche aménagée en réutilisant l'enceinte de batardeau mise en œuvre pour construire le tronçon de tunnel sous le plan d'eau jointif. Cette disposition, qui limite l'impact du chantier sur l'environnement, conduit à adopter des dispositions particulières : (i) réduction à 102 m de la longueur de chacun des 3 caissons – (ii) adjonction de flotteurs pour permettre le transport de ces éléments compte tenu du tirant d'eau réduit à 9,0 m du fait de la présence du tronçon de tunnel construit au préalable en place,
  - Les méthodes proposées sont très flexibles, peu intrusives et pourraient en partie être réalisées pendant les plages journalières de faible trafic maritime.

## 12.2.9 planning prévisionnel des travaux

Le planning prévisionnel des travaux fait ressortir un délai de 59 mois à compter du début de la période de préparation. Ce planning prend en compte les interruptions hivernales, les contraintes environnementales de suspension des travaux en rivière, ainsi que de la période d'interdiction de travaux dans l'emprise de la voie maritime.

Ce délai est susceptible d'être optimisé dans la mesure où la longueur des batardeaux pourrait être augmentée, et où un certain nombre de travaux non intrusifs et compatibles avec le trafic maritime

et sa sécurité pourraient être réalisés en dehors de la période de fermeture de la voie maritime à la navigation.

### 12.2.10 coûts de construction et d'exploitation

Le montant prévisionnel des travaux de construction s'élève à 1.907 M\$ hors taxes valeur 2010. Ce montant comporte une provision financière de 25%, les frais d'acquisitions foncières et de déplacement des réseaux, ainsi que les frais de maîtrise d'ouvrage et de maîtrise d'œuvre, les prestations de suivi des travaux, et les indemnités environnementales.

Les frais d'exploitation sont à dissocier en :

- ▶ frais annuels d'exploitation et de maintenance courante estimés à 7.920 k\$ HT valeur 2010,
- ▶ frais d'entretien majeur, qui interviennent à compter de la dixième année après la mise en service de l'ouvrage, hors constitution du stock de pièces de rechange, qui intervient la première année. La constitution initiale de ce stock, ainsi que sa mise à jour sont prises en compte au titre des grosses réparations. Il en est de même pour les travaux de remise à niveau des installations avant remise de l'ouvrage en fin de trente cinquième année.

## 12.3 OPTIONS

Une option concernant un tunnel à 2 x 4 voies routières et 2 voies pour le TCSP a été analysée. Elle se traduit par un surcoût d'investissement de 48,5 M\$ HT valeur 2010, et des coûts d'exploitation annuelle de l'ordre de 5 % plus élevés.

L'option d'un tunnel à 2 x 3 voies sans TCSP a également été analysée. L'économie sur les coûts de construction est estimée à 257 M\$.

Le passage des TMD se traduirait par un surcoût très marginal d'investissement de l'ordre 1 %.

La présence en tête Ouest du tunnel d'un centre d'intervention pour les pompiers et une dotation en matériel spécifique à la lutte contre un incendie en tunnel est vraisemblablement indispensable, avec ou sans passage des TMD. Les investissements correspondants ne peuvent pas être évalués à ce niveau d'études. Ils ne pourront l'être qu'après avoir réalisé l'étude de risques et de dangers, qui permettra également d'analyser les ressources et moyens nécessaires pour la lutte contre un incendie, avec et sans transit des TMD.

## 12.4 PRECONISATIONS

La présente étude de pré faisabilité a été établie sur la base des informations disponibles à l'heure actuelle. Ces informations sont parfois insuffisantes pour la réalisation des études détaillées, mais ceci ne remet pas en cause la faisabilité de la solution tunnel construite entre batardeaux.

Les principales informations complémentaires sont présentées dans le présent rapport. Elles concernent :

- ▶ Le recensement des réseaux – les conditions de déplacement de la ligne HT traversant le Saint Laurent, qui doit être achevé lors des installations de chantier du tunnel, et en particulier : tracé de la nouvelle ligne – procédures à lancer – délais d'études procédures et travaux de réalisation,
- ▶ Plans topographiques détaillés de la zone d'études, y compris bathymétrie détaillée du lit du Saint Laurent, (cf. introduction),
- ▶ Études hydrauliques détaillées, (cf. introduction - § 9.2),

- ▶ Études géotechniques : sondages de reconnaissance – essais in situ et de laboratoire, cf. introduction - § 4.1.3),
- ▶ Enquête sur le transport des matières dangereuses – études de sécurité et de dangers – itinéraires alternatifs, (cf. introduction - § 8.1.7). A défaut de norme canadienne pour cette nature d'études, il est préconisé de réaliser ces études en tenant compte de :
  - la Directive 2004/54/CE du parlement européen et du Conseil concernant les exigences de sécurité minimales applicables aux tunnels du réseau routier transeuropéen,
  - des circulaires interministérielles françaises concernant la sécurité dans les tunnels routiers : (1) circulaire interministérielle 2006-20 du 29 mars 2006 relative à la sécurité des tunnels routiers d'une longueur supérieure à 300 mètres – (2) circulaire interministérielle n° 2000-82 du 30 novembre 2000 relative à la réglementation de la circulation des véhicules transportant des marchandises dangereuses dans les tunnels routiers du réseau national
  - le guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers, établi par le CETu (Centre d'Etudes des Tunnels du ministère français de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire).



CONSORTIUM BCDE



CIMA

DESSAU

egis

Ministère  
des Transports  
Québec



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

## Annexe 1 **Résumé des sondages de la campagne de reconnaisances de 1964**

# CONSORTIUM BCDE



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

Tableau 24 : synthèse des sondages de 1964 (estacade)

PILE	FORAGE	ÉLÉVATION (M)	STRATIGRAPHIE	DE (M)	À (M)	LONG (M)	DESCRIPTION
# 0	9606	9,63	Roc	0,00	6,10	6,10	Roc
# 1	9607	9,57	Niveau de l'eau	0,00	0,81	0,81	Eau
		8,76	Sédiments	0,81	2,01	1,19	Sable gris silteux
		7,57	Roc	2,01	8,16	6,15	Roc
# 8	9619	9,57	Niveau de l'eau	00	4,37	4,37	Eau
		5,20	Sédiments	4,47	5,79	1,42	Sable gris silteux
		3,78		5,79	6,73	0,94	Sable gris ou schiste
		2,84	Roc	6,73	13,1	6,38	Roc
# 12	9617	9,42	Niveau de l'eau	0,00	3,66	3,66	Eau
		5,91	Sédiments	3,66	5,44	1,78	Sable gris quelques graviers
		4,14		5,44	5,79	0,36	Cailloux
		3,78	Roc	5,79	12,35	6,55	Roc
# 15	9620	9,66	Niveau de l'eau	0,00	4,37	4,37	Eau
		5,20	Sédiments	4,37	4,88	0,51	Sable gris silteux
		4,70		4,88	6,28	1,40	Sable gris fin, schiste et quelques graviers
		3,30	Roc	6,28	11,46	5,18	Roc fissuré
		-1,89		11,46	12,35	0,89	Roc massif
# 17	9622	9,66	Niveau de l'eau	0,00	5,06	5,06	Eau
		4,52	Sédiments	5,06	5,79	0,74	Sable gris fin, quelques graviers
		3,78		5,79	6,55	0,76	Sable gris fin
		3,02		6,55	7,16	0,61	Schiste
		2,41		7,16	8,46	1,30	Blocs de roc avec lit de sable de 2" à 24.5'
		1,11	Roc	8,46	13,36	4,90	Roc solide
# 19	9624	9,66	Niveau de l'eau	0,00	5,49	5,49	Eau
		4,09	Sédiments	5,49	7,01	1,52	Sable gris silteux schiste ou cailloux
		2,56	Roc	7,01	13,54	6,53	Roc
# 22 (amont)	9628	9,66	Niveau de l'eau	0,00	6,10	6,10	Eau
		3,48	Sédiments	6,10	6,71	0,61	Gros gravier
		2,87		6,71	7,62	0,91	Sable gris silteux
		1,95		7,62	8,54	0,91	Sable schiste ou cailloux

PILE	FORAGE	ÉLÉVATION (M)	STRATIGRAPHIE	DE (M)	À (M)	LONG (M)	DESCRIPTION
		1,04	Roc	8,54	15,07	6,53	Roc
# 22 (aval)	9629	9,66	Niveau de l'eau	0,00	6,10	6,10	Eau
		3,48	Sédiments	6,10	7,32	1,22	Sable gris silteux, gravier
		2,26		7,32	7,93	0,61	Sable gris silteux schiste ou cailloux
		1,65	Roc	7,93	10,42	2,49	Roc fissuré
		-0,84		10,42	13,52	3,10	Roc solide
# 38	9647	9,63	Niveau de l'eau	0,00	2,90	2,90	Eau
		6,68	Sédiments	2,90	3,66	0,76	Sable et gravier
		5,91		3,66	4,88	1,22	schiste ou cailloux
		4,70	Roc	4,88	11,18	6,30	Roc
# 48	9657	9,48	Niveau de l'eau	0,00	3,66	3,66	Eau
		5,91	Sédiments	3,66	4,57	0,91	Sable gris et silt argileux
		5,00		4,57	5,18	0,61	sable, schiste
		4,39	Roc	5,18	11,38	6,20	Roc
# 58	9667	9,48	Niveau de l'eau	0,00	4,42	4,42	Eau
		5,15	Sédiments	4,42	5,82	1,40	Sable gris fin, quelques graviers et schiste
		3,76		5,82	8,08	2,26	Sable et gravier
		1,49	Roc	8,08	14,05	5,97	Roc
# 68	9682	9,66	Niveau de l'eau	0,00	3,18	3,18	Eau
		6,40	Sédiments	3,18	6,33	3,15	Sable gris silteux, gravier
		3,25		6,33	6,71	0,38	Sable gris silteux, gravier et schiste
		2,87	Roc	6,71	14,35	7,65	Roc

En 1964 des sondages ont été réalisés dans l'axe des futurs piliers de l'estacade afin de déterminer la géologie en place. Le tableau ci-dessus présente un résumé des résultats de certains de ces forages.

## Annexe 2 **Calculs des structures caisson du tunnel**



Cette annexe présente des détails et les résultats issus des modèles de calcul aux éléments finis utilisés pour le dimensionnement des structures en béton du tunnel.

Figure 21 : géométrie du modèle et ses appuis élastiques

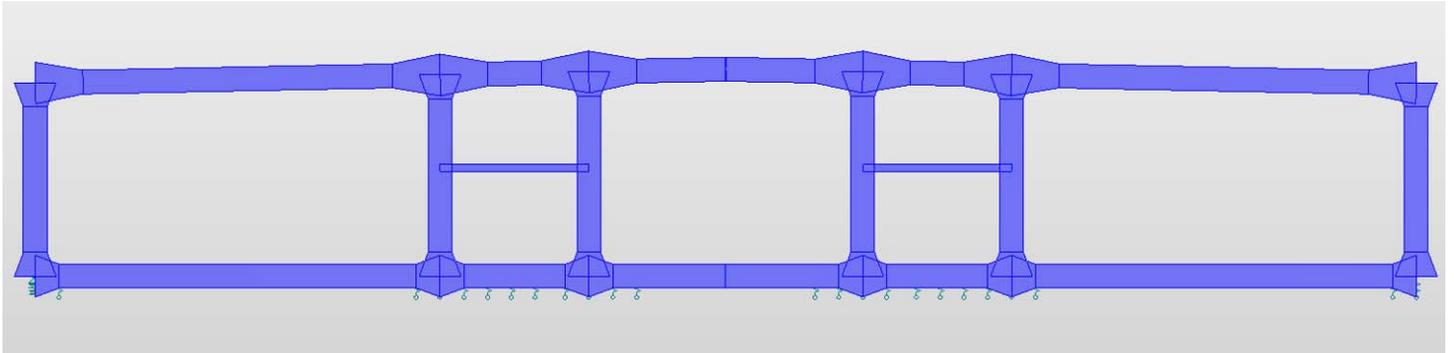


Figure 22 : exemple d'un cas de charge - effets de l'eau sur la structure en zone courante

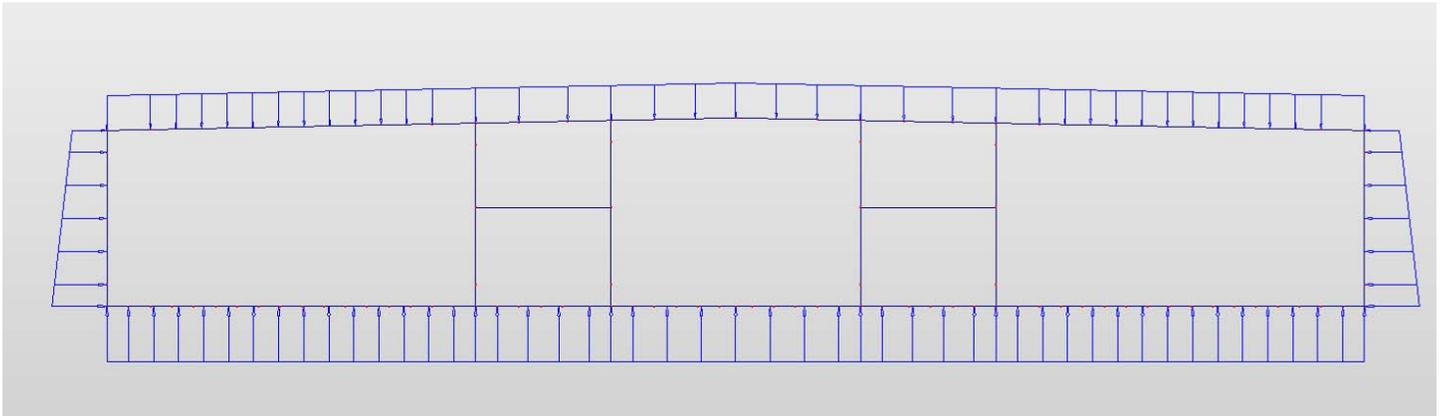


Figure 23 : zone courante - moments fléchissants sous charges de service (en kN.m/ml)

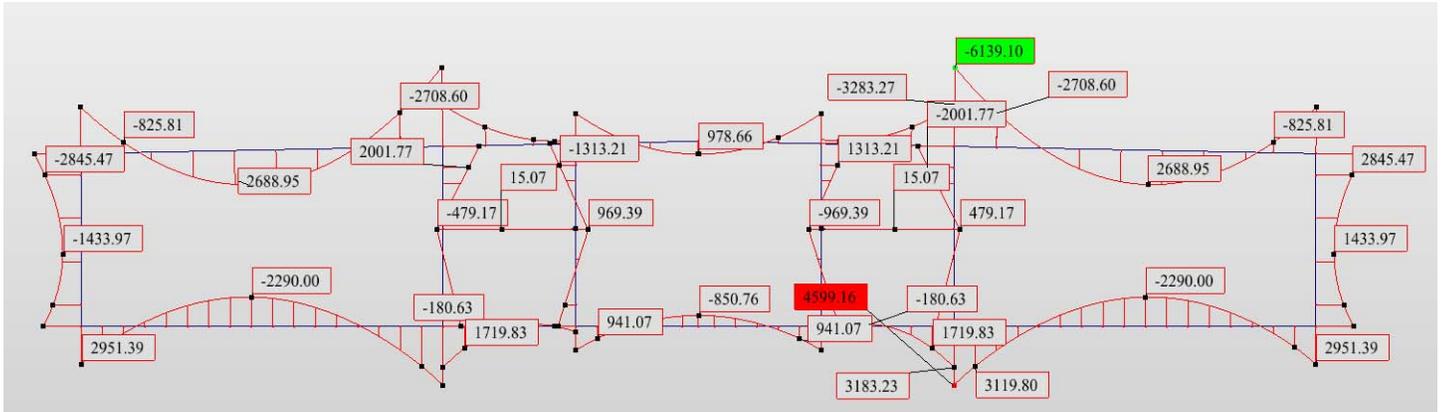


Figure 24 : zone courante - efforts normaux sous charges de service (en kN/ml)

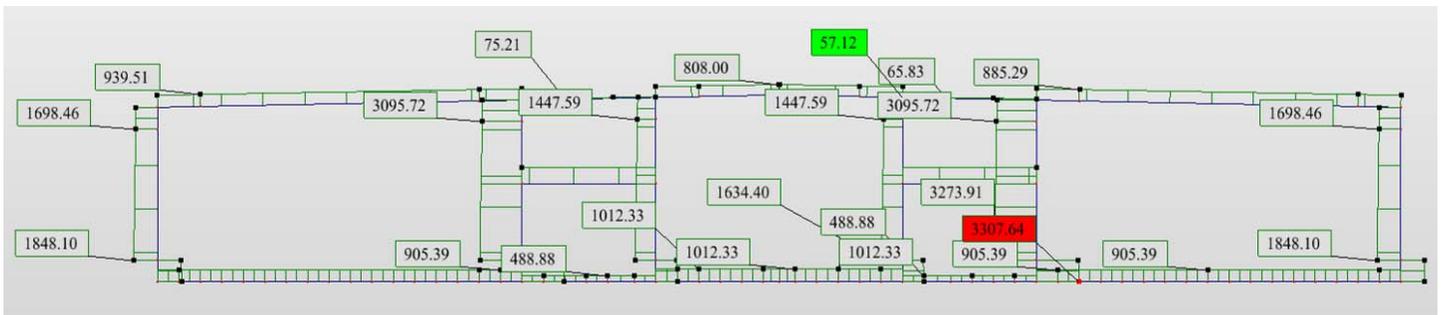


Figure 25: zone courante - efforts tranchants sous charges de service (en kN/ml)

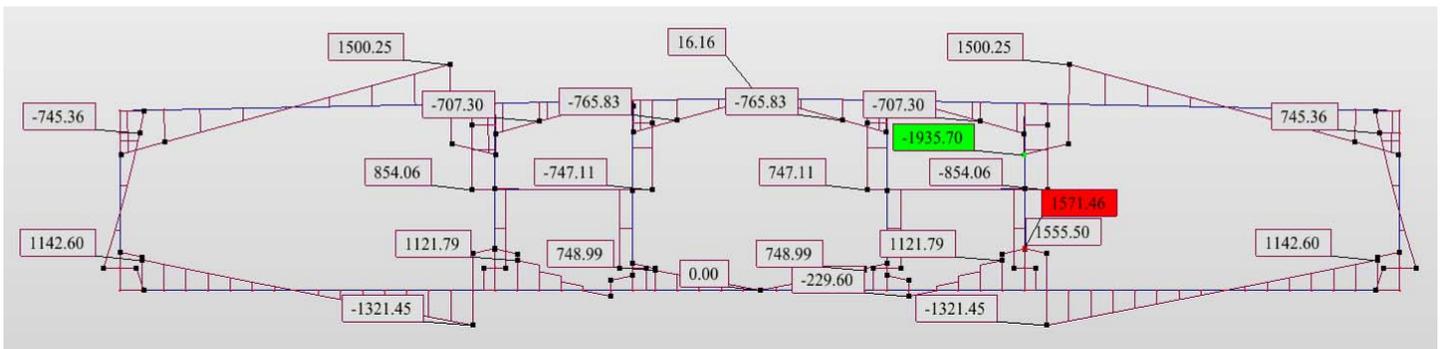


Figure 26 : moments fléchissants sous charges de service (en kN.m/ml)

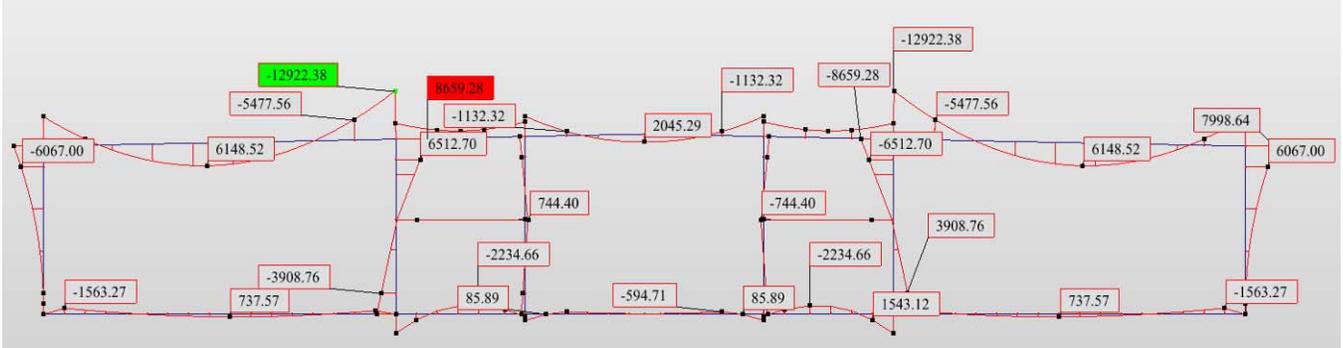


Figure 27: zone courante - efforts normaux sous charges de service (en kN/ml)

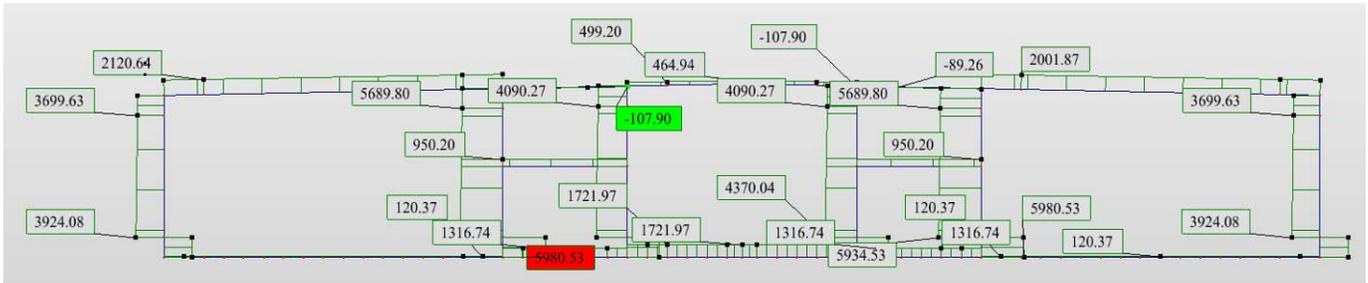
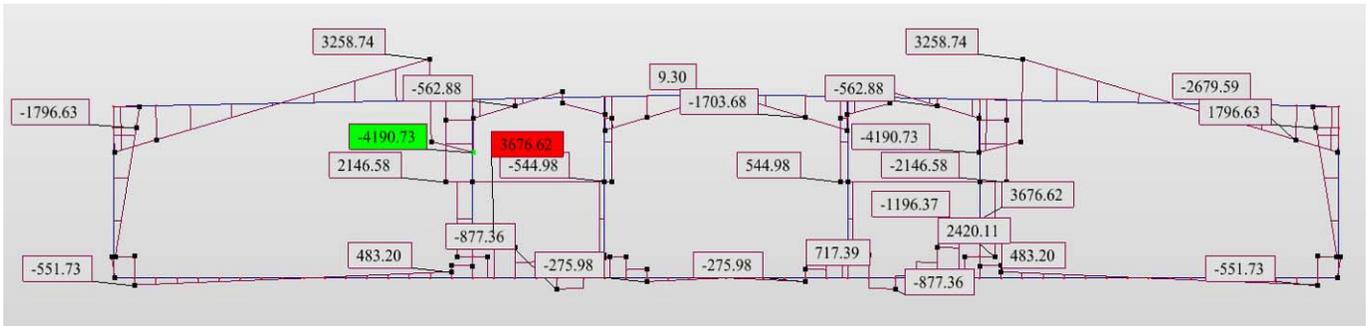


Figure 28: efforts tranchants sous charges de service (en kN/ml)



# CONSORTIUM BCDE



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

CONSORTIUM BCDE



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

## Annexe 3 Flottaison des caissons de batardeau

# CONSORTIUM BCDE



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

Cette annexe présente les détails et les résultats de l'étude de flottaison des caissons métalliques.

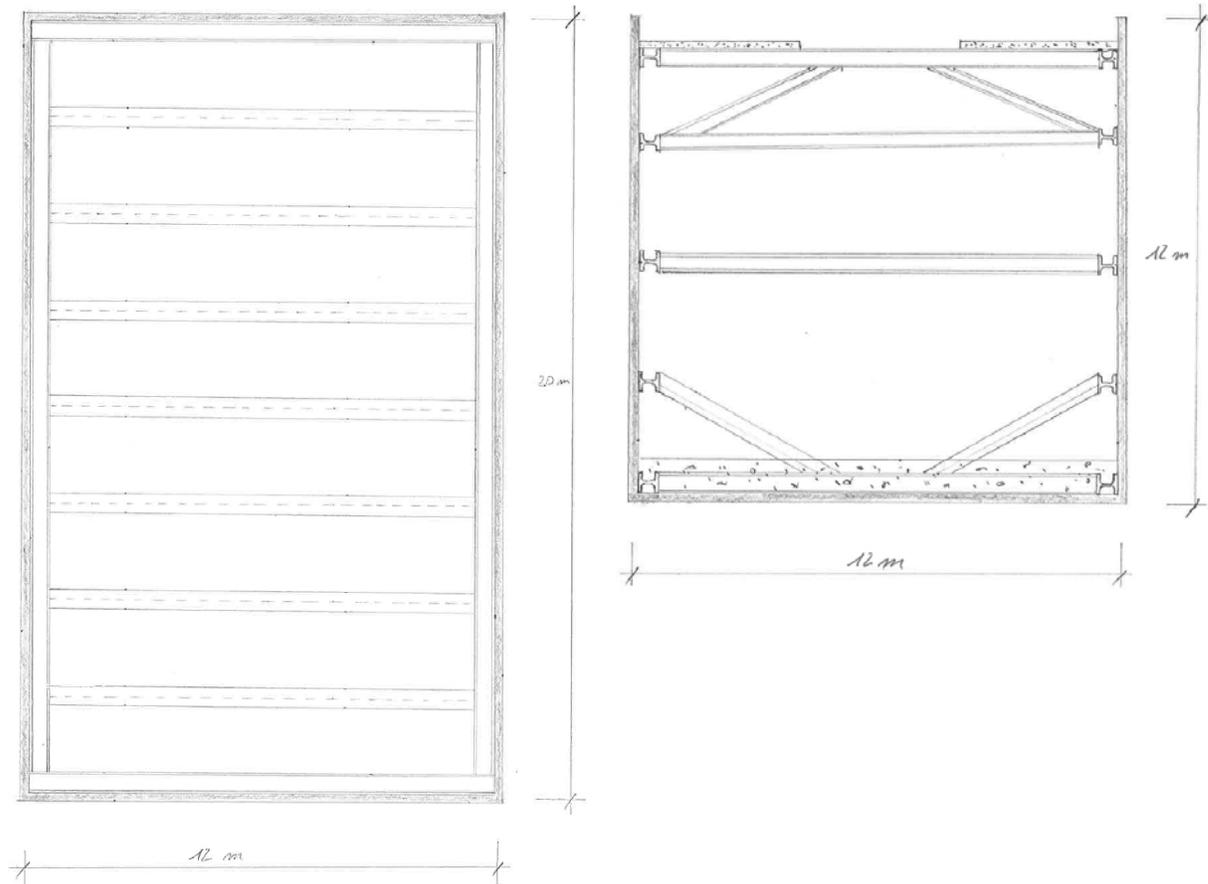
Dimensions d'un caisson :

- ▶ longueur = 20 m
- ▶ largeur = 12 m
- ▶ hauteur = 12 m

La structure d'un caisson est composée d'une peau en palplanches et d'une structure intérieure en charpente métallique à base de profilés en I ou H. Un plancher mixte acier-béton est prévu au sommet du caisson afin de permettre aux engins de chantier de circuler sur le batardeau.

Un lest en béton de 70 cm d'épaisseur est prévu au niveau du radier afin d'assurer la stabilité en flottaison des caissons.

Figure 29 : vue en plan et coupe d'un caisson de batardeau



Le poids d'un caisson a été estimé à partir de sa géométrie et des poids volumiques des différents matériaux qui le constituent :

Tableau 25 : poids d'un élément de batardeau

ÉLÉMENT	SURFACE	MASSE TOTALE	CENTRE DE GRAVITÉ	
Radier	240 m <sup>2</sup>	32,4 t.	0,10 m	3,2 t.m
Parois longitudinales	480 m <sup>2</sup>	64,8 t.	6,00 m	388,8 t.m
Parois latérales	288 m <sup>2</sup>	38,9 t.	6,00 m	233,4 t.m
Plancher haut	160 m <sup>2</sup>	80,0 t.	11,00 m	880,0 t.m
Lest béton	240 m <sup>2</sup>	386,4 t.	0,45 m	173,9 t.m
		<b>602,5 t.</b>		1 679,3 t.m

Position du centre de gravité :  $g = 2,80 \text{ m}$  / bas du radier

La masse totale d'un caisson est de 602,5 t. soit un volume d'eau déplacé de 602,5 m<sup>3</sup>.

Le tirant d'eau d'un caisson est donc de  $602,5 / 240 = 2,50 \text{ m}$ .

Ce tirant d'eau est compatible avec le niveau d'eau minimum attendu de 3,00 m.

## Vérification de la stabilité en flottaison

La position du métacentre  $\rho$  correspond au rapport de l'inertie de la surface de flottaison sur le volume d'eau déplacé, ici on a :

- ▶  $I = 20 \times 12^3 / 12 = 2\,880 \text{ m}^4$
- ▶  $V = 602,5 \text{ m}^3$
- ▶  $\rho = I / V = 2\,880 / 602,5 = 4,78 \text{ m}$

Cette valeur correspond à la distance entre le métacentre et le centre de poussée.

Avec un tirant d'eau de 2,50 m, le centre de poussée est situé à  $c = 1,25 \text{ m}$  au dessus du radier.

Le bras de levier du couple de stabilité  $z$  correspond à la distance entre la position du métacentre  $\rho$  et le centre de gravité du caisson, soit :

- ▶  $z = \rho - (g - c) = 4,78 - (2,80 - 1,25) = 3,23 \text{ m}$

Cette valeur est positive, le caisson est stable en flottaison. On recherche en général une valeur supérieure à 0,75 m.

## Coulage du caisson en position batardeau

Pour le coulage, le caisson est rempli de sable noyé (densité = 18 kN/m<sup>3</sup>) par pompage sur une hauteur de 7,0 m.

- ▶ volume de sable noyé = 240 x 7,0 = 1 680 m<sup>3</sup>
- ▶ masse de sable noyé = 1 680 x 1,8 = 3 024 t.
- ▶ masse total du caisson coulé = 602,5 + 3 024 = 3 626 t.

Cette masse conduit à un tirant d'eau supérieur à 15 m, la hauteur d'eau ne pouvant dépassée 11 m, le caisson peut être mis en place par cette méthode même dans le cas des eaux les plus hautes.

## Vérification de la stabilité du caisson

On vérifie ci-après la stabilité du caisson en position batardeau sous l'effet des poussées de l'eau et de la glace. Une paroi étanche est réalisée en pied à l'amont afin d'assurer l'étanchéité du batardeau, il n'y a donc pas de sous-pression d'eau sous le radier.

Tableau 26 : batardeaux - stabilité au renversement

		CHARGE TOTALE	POSITION / POINT DE ROTATION	MOMENT / POINT DE ROTATION
Caisson noyé	S	3 626 t.	6,0 m	21 756 t.m
Poussée de l'eau (H=11m)	R	1 210 t.	3,7 m.	4 477 t.m
Poussée des glaces (30 t/m)	R	600 t	11,0 m.	6 600 t.m

Les coefficients de sécurité vis-à-vis du renversement du caisson sont les suivants :

- ▶ poussée de l'eau  $\gamma = 21\,756 / 4\,477 = 4,9$
- ▶ poussée de l'eau + glaces  $\gamma = 21\,756 / (4\,477 + 6\,600) = 2,0$

Ces coefficients de sécurité permettent de conclure à la stabilité du caisson vis-à-vis du renversement.

Tableau 27: batardeaux - stabilité au glissement

	CHARGE TOTALE		POSITION / G	MOMENT / G
	Verticale	Horizontale		
Caisson noyé	3 626 t.		0,0 m	0 t.m
Poussée de l'eau (H=11m)		1 210 t.	3,7 m.	4 477 t.m
Poussée des glaces (30 t/m)		600 t	11,0 m.	6 600 t.m

Contraintes au sol :

- ▶ Poussée de l'eau : largeur appuyée = 12 m (100%) contrainte au sol = 0,20 MPa
- ▶ Eau + glace : largeur appuyée = 9 m (75%) contrainte au sol = 0,23 MPa

Les coefficients de sécurité vis-à-vis du glissement du caisson sur un sol ayant un angle de frottement de 30° sont les suivants :

- ▶ poussée de l'eau  $H = 1\,210\text{ t}$ .  $V.\tan(\varphi) = 3\,626 \times \tan(30^\circ) = 2\,093\text{ t}$ .  $\gamma = 1,7$
- ▶ poussée de l'eau + glaces  $H = 1\,810\text{ t}$ .  $V.\tan(\varphi) = 3\,626 \times \tan(30^\circ) = 2\,093\text{ t}$ .  $\gamma = 1,2$

Ces coefficients de sécurité permettent de conclure à la stabilité du caisson vis-à-vis du glissement. De plus, les caissons peuvent être liés à la paroi moulée amont ou présenter une bèche afin d'augmenter la sécurité au glissement si nécessaire.

**Annexe 4 Extrait du  
règlement sur le  
transport des  
matières  
dangereuses au  
Québec**



*Extrait du règlement sur le transport des matières dangereuses du Québec*

**Article 43 :**

*Il est interdit de circuler dans le tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine, dans les tunnels Ville-Marie et Viger à Montréal, dans le tunnel Joseph-Samson à Québec ou dans la partie de la voie d'accès au tunnel de Melocheville qui est parallèle à la voie réservée aux véhicules transportant des matières dangereuses :*

*1° avec un véhicule routier sur lequel doivent apparaître des plaques conformément à la partie 4 du Règlement sur le transport des marchandises dangereuses à moins qu'il ne transporte que des matières dangereuses de la classe 9 ;*

*2° avec un véhicule routier transportant un liquide inflammable de la classe 3, à moins que la capacité totale de l'ensemble des contenants n'excède pas 30 litres ;*

*3° avec un véhicule routier qui transporte ou utilise des bouteilles à gaz des classes 2.1, 2.3 (2.1), 2.2 (5.1) et 2.3 (5.1), sauf si ces matières sont dans au plus 2 bouteilles de 46 litres et moins de capacité en eau chacune ;*

*4° avec un véhicule routier muni d'un équipement en fonction qui génère une flamme nue.*

*Le premier alinéa ne s'applique pas :*

*1° lorsque le carburant sert à la propulsion du véhicule et qu'il est contenu dans un ou des réservoirs prévus à cette fin par le fabricant du véhicule ;*

*2° lorsque le liquide inflammable sert au fonctionnement de la climatisation du véhicule ou de l'espace de chargement et qu'il est contenu dans un réservoir prévu à cette fin par le fabricant de l'appareil de climatisation ;*

*3° lorsque le liquide inflammable sert au fonctionnement d'un équipement vissé ou boulonné en permanence au véhicule dont la capacité du réservoir ne dépasse pas 75 litres et que le liquide inflammable est contenu dans un réservoir prévu à cette fin par le fabricant du véhicule ou de l'équipement ;*

*4° aux véhicules d'urgence tels que définis à l'article 4 du Code de la sécurité routière ;*

*5° aux grues qui possèdent un deuxième réservoir de diesel installé par le fabricant de la grue ;*

*6° aux véhicules servant à l'entretien dans ou aux entrées et sorties des tunnels.*

**Article 46**

*Toute contravention aux articles 34 et 43 du présent règlement concernant l'application de l'article 8.1 ou des exigences de l'annexe 2 du Règlement sur le transport des marchandises dangereuses constitue une infraction passible d'une amende de 350 \$ à 1 050 \$ pour le conducteur.*



## Annexe 5 Informations hydrauliques



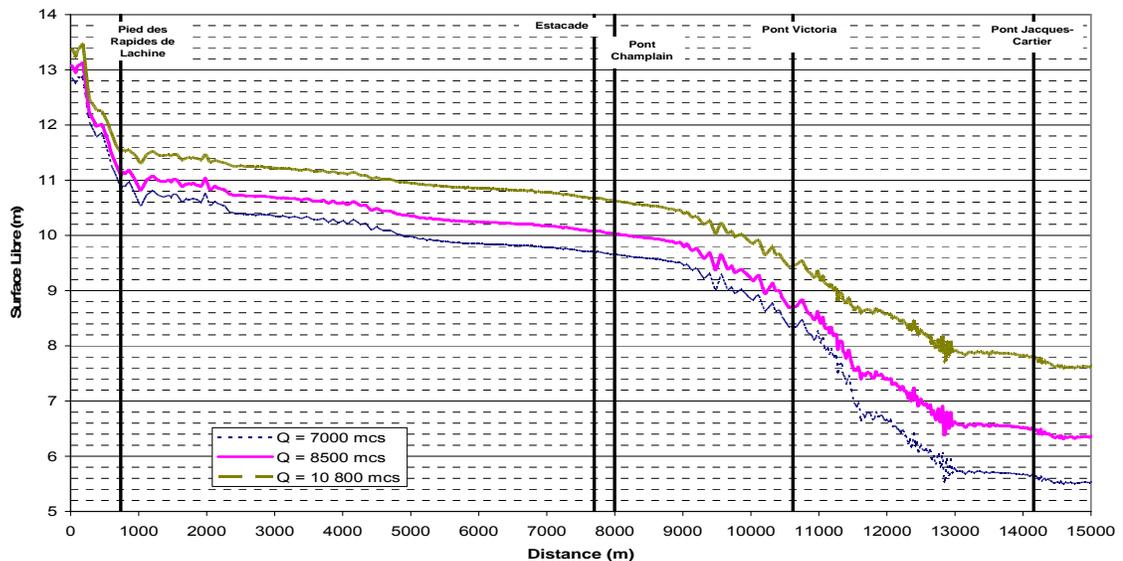
Les éléments présentés ci-dessous ont été fournis par PJCCI, et sont issus d'études hydrauliques réalisées dans le cadre d'autres mandats pour le compte de la Société.

## Régime hydrodynamique

Les conditions actuelles ont été simulées avec un modèle 2D pour trois débits (7 000 m<sup>3</sup>/s, 8 500 m<sup>3</sup>/s, et 10 800 m<sup>3</sup>/s) représentatifs de probabilités dépassement de 90%, 50%, et 10% du temps.

Les profils longitudinaux du fleuve simulés entre les rapides de Lachine et l'estacade sont présentés à la figure ci-dessous.

Figure 30 : profils longitudinaux du fleuve Saint Laurent



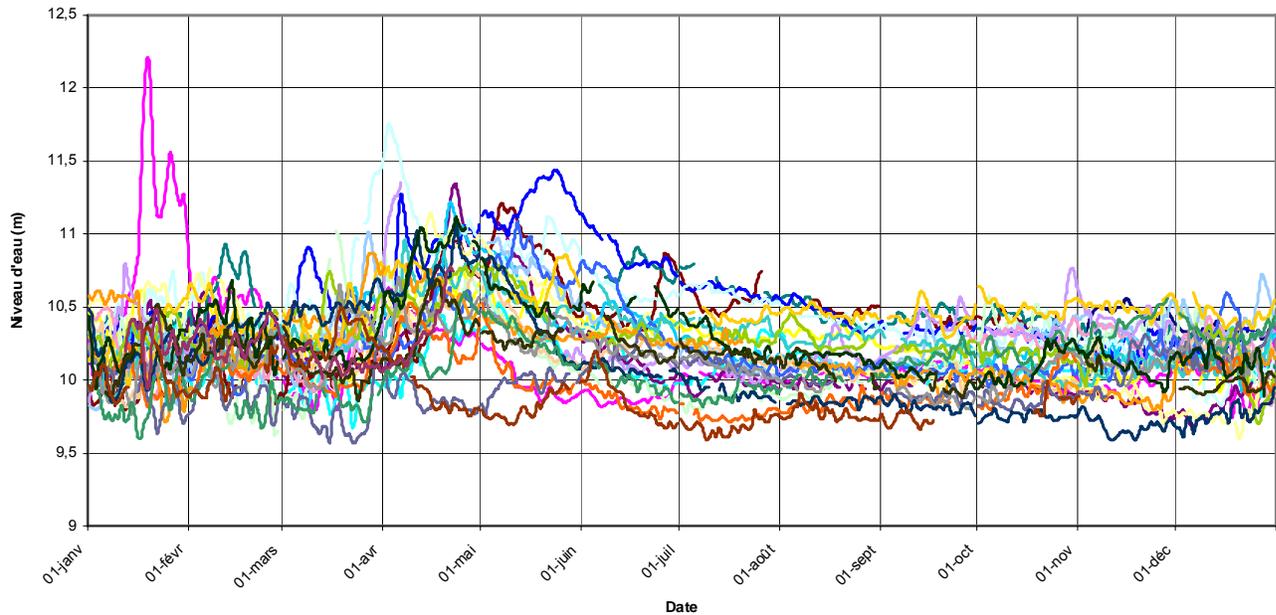
Les conditions hydrauliques actuelles à l'endroit de l'estacade sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 28 : conditions hydrauliques simulées actuelles avec un modèle 2D

Q (m <sup>3</sup> /s)	Niveau d'eau (m)	Vitesse moyenne (m/s)	Profondeur d'eau moyenne (m)
7000	9,7	0,75	4,24
8500	10,1	0,84	4,60
10800	10,8	0,95	5,15

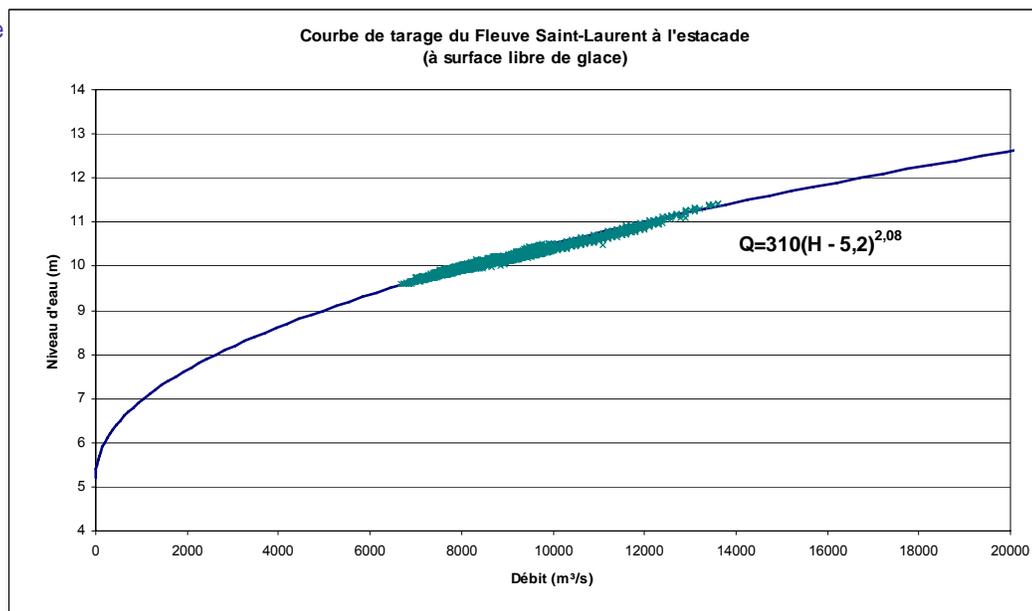
## Niveaux d'eau historiques sous le pont de l'estacade

Figure 31: niveaux d'eau sous le pont de l'estacade



## Courbe de tarage des débits à l'estacade

Figure



CONSORTIUM BCDE



CIMA

DESSAU

egis

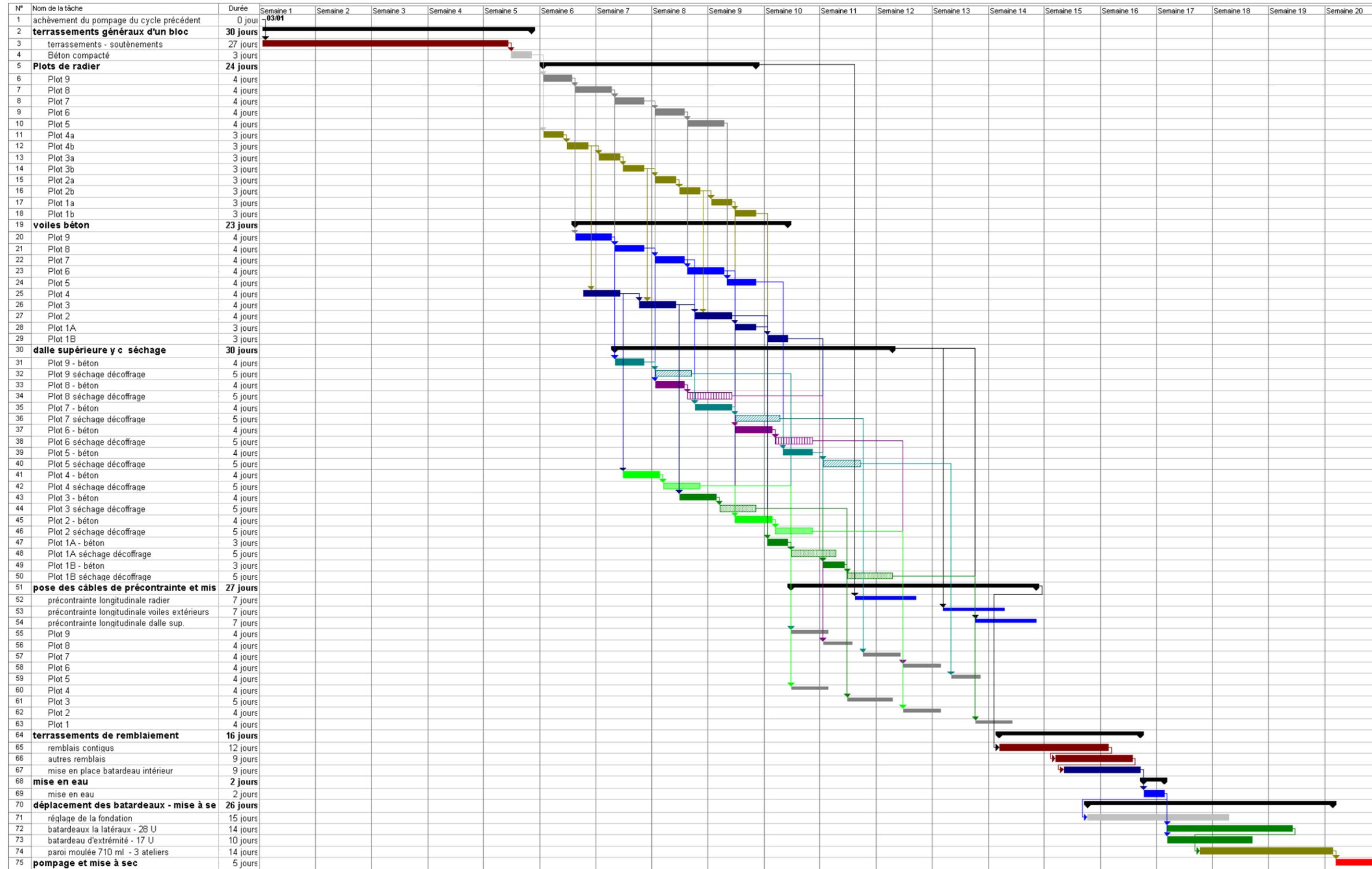
Ministère  
des Transports  
Québec 



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

## Annexe 6 **Planning de construction d'un tronçon de tunnel en rivière**







CONSORTIUM BCDE



CIMA

DESSAU

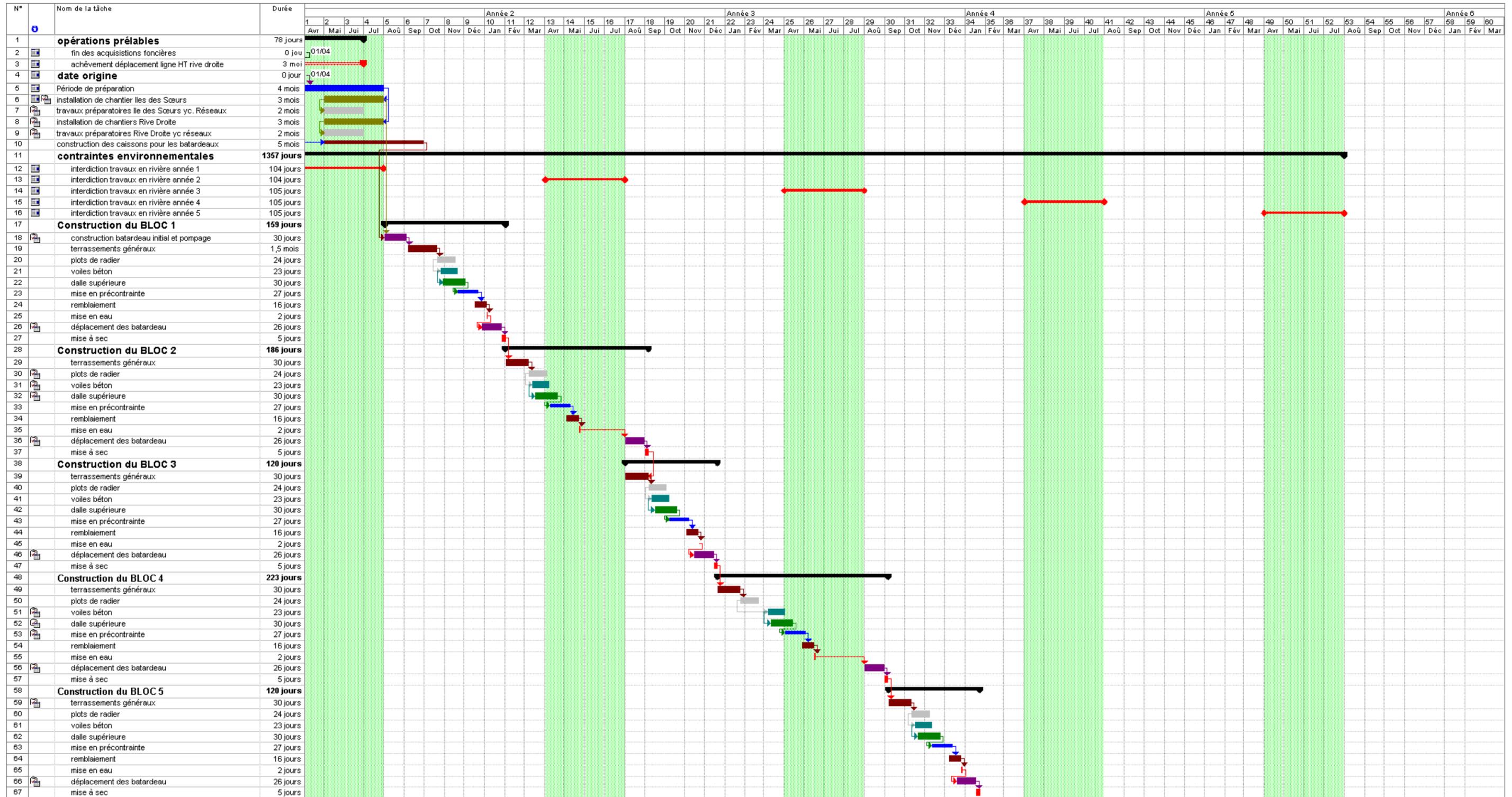
egis

Ministère  
des Transports  
Québec 

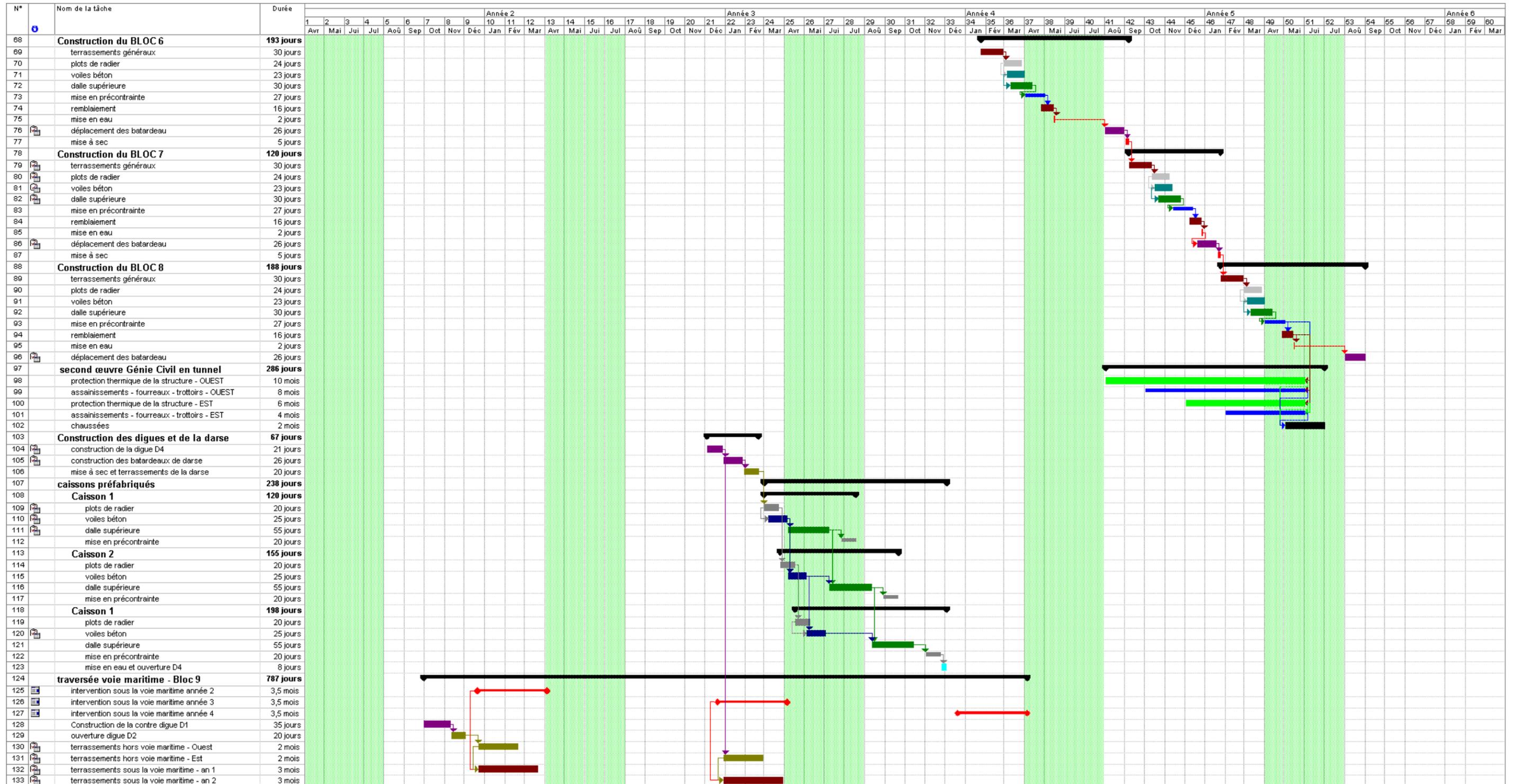
  
Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée  
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated  
Canada

Annexe 7 **Planning général  
des travaux de  
construction**

















**Annexe 8 estimation  
détaillée tunnel  
2 x 3 voies avec  
TCSP**



Tableau 29 - estimation détaillée des coûts de construction du tunnel 2 x 3 voies avec TCSP - estimation en k\$ HT valeur 2010

	unité	quantité	prix unitaire en \$ ou k\$	montants k\$	sous-totaux arrondis k\$
<b>Maitrise d'ouvrage et études diverses</b>					<b>109 514</b>
<b>Maitrise d'Ouvrage</b>	%		1,25%	21 194,61	<b>21 195</b>
<b>Maitrise d'Œuvre études &amp; travaux</b>			4,70%		<b>77 619</b>
études AVP - APD	%		0,8%	13 211,75	
plans et devis (projet d'exécution)	%		1,2%	19 817,63	
contrôle des travaux	%		2,0%	33 029,38	
contrôle des matériaux	%		0,7%	11 560,28	
<b>Etudes complémentaires</b>			0,65%		<b>8 700</b>
relevé et études de circulation	forfait	1	400 k\$	400,00	
topographie	forfait	1	800 k\$	800,00	
géotechnique	forfait	1	5 400 k\$	5 400,00	
hydraulique	forfait	1	700 k\$	700,00	
glaces	forfait	1	400 k\$	400,00	
enquête et études TMD	forfait	1	1 000 k\$	1 000,00	
<b>Etudes environnementales</b>	forfait	1	2 000 k\$	2 000,00	<b>2 000</b>
<b>Prestations diverses</b>					<b>44 100</b>
fouilles archéologiques	forfait	1	100 k\$	100,00	44 153
acquisitions foncières	forfait	1	4 000 k\$	4 000,00	
déplacements de réseaux	forfait	1	10 000 k\$	10 000,00	
mesure de compensation environnementale	forfait	1	30 000 k\$	30 000,00	
<b>Terrassements à sec St Laurent et cale sèche</b>					<b>452 267</b>
déblais schistes	m3	3 060 000	36,00 \$	110 160,00	368 654
déblais terrains meubles	m3	1 140 000	12,20 \$	13 908,00	
PV déblais mis en dépôts définitifs	m3	1 942 000	17,30 \$	33 596,60	
réglage sous l'eau fondations batardeaux	m2	108 500	57,00 \$	6 184,50	
barrages anti pollution	forfait	1	16 400 k\$	16 400,00	
remblais - reprise et mise en œuvre	m3	2 258 000	20,00 \$	45 160,00	
batardeaux mobiles fourniture	t	19 530	6,60 \$	128 898,00	
batardeaux installation déplacement	unité	600	16,40 k\$	9 840,00	
paroi moulée	m2	57 800	900 \$	52 020,00	
pompape	forfait	1	32 800 k\$	32 800,00	
forfait de chantier terrassements	forfait	1	3 300 k\$	3 300,00	
<b>Terrassements fluviaux sous la voie maritime</b>					<b>121 606</b>
déblais schistes en rivière	m3	380 000	99,00 \$	37 620,00	97 189
déblais terrains meubles en rivière	m3	120 000	47,00 \$	5 640,00	
PV déblais mis en dépôts définitifs	m3	183 000	18,00 \$	3 294,00	
réglage sous l'eau fondations batardeaux	m2	14 000	59,00 \$	826,00	
barrages anti pollution	forfait	1	3 400 \$	3 400,00	
remblais - reprise et mise en œuvre	m3	317 000	20,00 k\$	6 340,00	
batardeaux mobiles fourniture	t	7 020	6,70 \$	47 034,00	
batardeaux installation déplacement	unité	85	16,80 k\$	1 428,00	
paroi moulée	m2	7 200	920 \$	6 624,00	
forfait de chantier terrassements fluviaux	forfait	1	8 400 k\$	8 400,00	
digue	ml	200	5 000 \$	1 000,00	
<b>Caissons immergés voie maritime</b>					<b>125 379</b>
béton	m3	77 040	354 \$	27 272,14	104 274
aciers HA	t	3 850	3,10 k\$	11 935,00	
aciers précontrainte	t	4 800	4,70 k\$	22 560,00	
corps d'ancrage	unité	12 720	965 \$	12 274,80	
coffrages outils	unité	3	1 300 k\$	3 900,00	
coffrage	m2	46 780	80 \$	3 742,40	
protection béton contre l'incendie	m2	25 315	161 \$	4 075,72	
mise en œuvre	forfait	1	8 000 k\$	8 000,00	
génie civil second œuvre	ml	305	9 000 \$	2 745,00	
lit de pose	m3	12 200	129,0 \$	1 573,80	
pompape	forfait	1	24 100 k\$	24 100,00	
forfait chantier génie civil maritime	forfait	1	3 200 k\$	3 200,00	
<b>Caissons construits entre batardeaux</b>					<b>736 754</b>
béton	m3	664 681	354 \$	235 297,23	611 808
aciers HA	t	38 419	3,10 k\$	119 099,24	
aciers précontrainte	t	31 181	4,70 k\$	146 549,65	
corps d'ancrage	unité	82 630	965 \$	79 737,95	
coffrages outils	unité	12	1 300 \$	15 600,00	
coffrage	m2	509 042	80,00 \$	40 723,34	
protection béton contre l'incendie	m2	274 315	161 \$	44 164,72	
forfait de chantier	forfait	1	8 000 k\$	8 000,00	
génie civil second œuvre	ml	3 525	9 000 \$	31 725,00	
béton compacté en radier	m3	66 100	193,00 \$	12 757,30	
PV remblai béton compacté	m3	31 950	97,00 \$	3 099,15	
<b>travaux rive droite</b>					<b>50 008</b>
parois moulées ancrées	m2	5 600	1 400 \$	7 840,00	42 104
déblais	m3	10 000	11,90 \$	119,00	
remblais	m3	5 000	38,60 \$	193,00	
réaménagement routiers	m2	15 900	320 \$	5 088,00	
murs soutènement divers	m2	820	1 400 \$	1 148,00	
bâtiment technique	m2	2 300	2 400 \$	5 520,00	
VRD	forfait	1	800 \$	800,00	
pont provisoire A 132 (hors fondations)	m2	3 500	4 800 \$	16 800,00	
déviations routières provisoires	forfait	1	5 300 \$	5 300,00	
signalisation - éclairage	forfait	1	800 \$	800,00	
modelage - aménagement paysager	forfait	1	3 200 \$	3 200,00	
forfait de chantier rive droite	forfait	1	3 200 \$	3 200,00	
<b>travaux rive gauche (île des Sœurs)</b>					<b>37 275</b>
parois moulées ancrées	m2	3 640	1 400 \$	5 096,00	30 318
déblais	m3	15 000	11,90 \$	178,50	
remblais	m3	6 000	38,60 \$	231,60	
rétablissement René Levesque	m2	5 400	320 \$	1 728,00	
réaménagement routiers	m2	14 040	320 \$	4 492,80	
murs de soutènement divers	m2	970	1 400 \$	1 358,00	
bâtiment technique	m2	3 700	2 700 k\$	9 990,00	
VRD	forfait	1	1 700 k\$	1 700,00	
déviations routières provisoires	forfait	1	4 900 k\$	4 900,00	
signalisation - éclairage	forfait	1	800 k\$	800,00	
modelage - aménagement paysager	forfait	1	3 400 k\$	3 400,00	
forfait de chantier rive gauche	forfait	1	3 400 k\$	3 400,00	
<b>équipements d'exploitation</b>					<b>128 180</b>
renforcement réseau électrique extérieur	forfait	1	2 210 k\$	2 210,00	116 569
Alimentation électrique	unité	1	44 160 k\$	44 160,00	
Ventilation	unité	1	12 240 k\$	12 240,00	
Éclairage	unité	1	3 040 k\$	3 040,00	
Équipements de signalisation	unité	1	2 950 k\$	2 950,00	
Réseau incendie	unité	1	460 k\$	460,00	
Détection incendie en tunnel	unité	1	650 k\$	650,00	
GTC (gestion Technique Centralisée)	unité	1	3 260 k\$	3 260,00	
Vidéo surveillance en tunnel et aux têtes	unité	1	5 840 k\$	5 840,00	
Réseau d'appel d'urgence	unité	1	1 640 k\$	1 640,00	
Radiocommunications	unité	1	4 110 k\$	4 110,00	
Téléphonie	unité	1	220 k\$	220,00	
Métallerie	unité	1	10 870 k\$	10 870,00	
équipements extérieurs aux entrées	unité	1	2 950 k\$	2 950,00	
équipements tube TCSP	ml	3 200	5 900 \$	18 880,00	
PC de supervision - informatique - équipement	unité	1	14 700 k\$	14 700,00	
<b>démolition du Pont Champlain</b>					<b>155 015</b>
prestations de MOA	%		1,50%	2 163,00	
prestations d'études diverses et MOE	%		6,00%	8 652,00	
travaux de déconstruction	forfait	1	144 200 k\$	144 200,00	
<b>revente des batardeaux</b>					<b>- 53 100</b>
Revente des batardeaux	t	26 550	2,00 \$	53 100,00	
<b>montant total hors taxes</b>					<b>1 906 998</b>





**Annexe 9 estimation  
détaillée tunnel  
2 x 3 voies sans  
TCSP**



Tableau 30 : estimation détaillée des coûts de construction du tunnel 2 x 3 voies sans TCSP - estimation en k\$ HT valeur 2010

	unité	quantité	prix unitaire en \$ ou k\$	montants k\$	sous-totaux arrondis k\$
<b>Maitrise d'ouvrage et études diverses</b>					<b>94 970</b>
<b>Maitrise d'Ouvrage</b>	%		1,25%	18 139,21	<b>18 139</b>
<b>Maitrise d'Œuvre études &amp; travaux</b>			4,70%		<b>66 131</b>
études AVP - APD	%		0,8%	11 256,30	
plans et devis (projet d'exécution)	%		1,2%	16 884,44	
contrôle des travaux	%		2,0%	28 140,74	
contrôle des matériaux	%		0,7%	9 849,26	
<b>Etudes complémentaires</b>			0,76%		<b>8 700</b>
relevé et études de circulation	forfait	1	400 k\$	400,00	
topographie	forfait	1	800 k\$	800,00	
géotechnique	forfait	1	5 400 k\$	5 400,00	
hydraulique	forfait	1	700 k\$	700,00	
glaces	forfait	1	400 k\$	400,00	
enquête et études TMD	forfait	1	1 000 k\$	1 000,00	
<b>Etudes environnementales</b>	forfait	1	2 000 k\$	2 000,00	<b>2 000</b>
<b>Prestations diverses</b>					<b>44 100</b>
fouilles archéologiques	forfait	1	100 k\$	100,00	44 153
acquisitions foncières	forfait	1	4 000 k\$	4 000,00	
déplacements de réseaux	forfait	1	10 000 k\$	10 000,00	
mesure de compensation environnementale	forfait	1	30 000 k\$	30 000,00	
<b>Terrassements à sec St Laurent et cale sèche</b>					<b>410 753</b>
déblais schistes	m3	2 671 319	36,00 \$	96 167,48	334 811
déblais terrains meubles	m3	996 241	12,20 \$	12 154,14	
PV déblais mis en dépôts définitifs	m3	1 022 470	17,30 \$	17 688,73	
réglage sous l'eau fondations batardeaux	m2	105 400	57,00 \$	6 007,80	
barrages anti pollution	forfait	1	16 400 k\$	16 400,00	
remblais - reprise et mise en œuvre	m3	2 142 825	20,00 \$	42 856,50	
batardeaux mobiles fourniture	t	18 630	6,60 \$	122 958,00	
batardeaux installation déplacement	unité	600	16,40 k\$	9 840,00	
paroi moulée	m2	56 200	900 \$	50 580,00	
pompape	forfait	1	32 800 k\$	32 800,00	
forfait de chantier terrassements	forfait	1	3 300 k\$	3 300,00	
<b>Terrassements fluviaux sous la voie maritime</b>					<b>110 985</b>
déblais schistes en rivière	m3	305 540	99,00 \$	30 248,46	88 726
déblais terrains meubles en rivière	m3	92 460	47,00 \$	4 345,62	
PV déblais mis en dépôts définitifs	m3	98 000	18,00 \$	1 764,00	
réglage sous l'eau fondations batardeaux	m2	14 000	59,00 \$	826,00	
barrages anti pollution	forfait	1	3 400 \$	3 400,00	
remblais - reprise et mise en œuvre	m3	300 000	20,00 k\$	6 000,00	
batardeaux mobiles fourniture	t	7 020	6,70 \$	47 034,00	
batardeaux installation déplacement	unité	85	16,80 k\$	1 428,00	
paroi moulée	m2	7 200	920 \$	6 624,00	
forfait de chantier terrassements fluviaux	forfait	1	8 400 k\$	8 400,00	
digue	ml	183	5 000 \$	915,00	
<b>Caissons immergés voie maritime</b>					<b>107 416</b>
béton	m3	60 799	354 \$	21 522,74	89 372
aciers HA	t	3 040	3,10 k\$	9 424,00	
aciers précontrainte	t	3 710	4,70 k\$	17 437,00	
corps d'ancrage	unité	9 830	965 \$	9 485,95	
coffrages outils	unité	3	1 300 k\$	3 900,00	
coffrage	m2	41 600	80 \$	3 328,00	
protection béton contre l'incendie	m2	20 740	161 \$	3 339,14	
mise en œuvre	forfait	1	8 000 k\$	8 000,00	
génie civil second œuvre	ml	305	8 000 \$	2 440,00	
lit de pose	m3	9 608	129,0 \$	1 239,37	
pompape	forfait	1	24 100 k\$	24 100,00	
forfait chantier génie civil maritime	forfait	1	3 200 k\$	3 200,00	
<b>Caissons construits entre batardeaux</b>					<b>594 370</b>
béton	m3	528 725	354 \$	187 168,72	493 716
aciers HA	t	30 648	3,10 k\$	95 008,75	
aciers précontrainte	t	24 122	4,70 k\$	113 375,17	
corps d'ancrage	unité	63 920	965 \$	61 682,80	
coffrages outils	unité	12	1 300 \$	15 600,00	
coffrage	m2	452 857	80,00 \$	36 228,54	
protection béton contre l'incendie	m2	224 740	161 \$	36 183,14	
forfait de chantier	forfait	1	8 000 k\$	8 000,00	
génie civil second œuvre	ml	3 525	8 000 \$	28 200,00	
béton compacté en radier	m3	52 054	193,00 \$	10 046,37	
PV remblai béton compacté	m3	29 655	97,00 \$	2 876,54	
<b>travaux rive droite</b>					<b>45 928</b>
parois moulées ancrées	m2	5 600	1 400 \$	7 840,00	38 685
déblais	m3	10 000	11,90 \$	119,00	
remblais	m3	5 000	38,60 \$	193,00	
réaménagement routiers	m2	15 900	320 \$	5 088,00	
murs soutènement divers	m2	820	1 400 \$	1 148,00	
bâtiment technique	m2	2 300	2 400 \$	5 520,00	
VRD	forfait	1	800 \$	800,00	
pont provisoire A 132 (hors fondations)	m2	2 650	4 800 \$	12 720,00	
déviations routières provisoires	forfait	1	5 300 \$	5 300,00	
signalisation - éclairage	forfait	1	800 \$	800,00	
modelage - aménagement paysager	forfait	1	3 200 \$	3 200,00	
forfait de chantier rive droite	forfait	1	3 200 \$	3 200,00	
<b>travaux rive gauche (île des Sœurs)</b>					<b>37 275</b>
parois moulées ancrées	m2	3 640	1 400 \$	5 096,00	30 318
déblais	m3	15 000	11,90 \$	178,50	
remblais	m3	6 000	38,60 \$	231,60	
rétablissement René Levesque	m2	5 400	320 \$	1 728,00	
réaménagement routiers	m2	14 040	320 \$	4 492,80	
murs de soutènement divers	m2	970	1 400 \$	1 358,00	
bâtiment technique	m2	3 700	2 700 k\$	9 990,00	
VRD	forfait	1	1 700 k\$	1 700,00	
déviations routières provisoires	forfait	1	4 900 k\$	4 900,00	
signalisation - éclairage	forfait	1	800 k\$	800,00	
modelage - aménagement paysager	forfait	1	3 400 k\$	3 400,00	
forfait de chantier rive gauche	forfait	1	3 400 k\$	3 400,00	
<b>équipements d'exploitation</b>					<b>100 310</b>
renforcement réseau électrique extérieur	forfait	1	2 210 k\$	2 210,00	91 228
Alimentation électrique	unité	1	39 750 k\$	39 750,00	
Ventilation	unité	1	12 240 k\$	12 240,00	
Éclairage	unité	1	2 730 k\$	2 730,00	
Équipements de signalisation	unité	1	2 950 k\$	2 950,00	
Réseau incendie	unité	1	460 k\$	460,00	
Détection incendie en tunnel	unité	1	650 k\$	650,00	
GTC (gestion Technique Centralisée)	unité	1	2 940 k\$	2 940,00	
Vidéo surveillance en tunnel et aux têtes	unité	1	5 250 k\$	5 250,00	
Réseau d'appel d'urgence	unité	1	1 640 k\$	1 640,00	
Radiocommunications	unité	1	3 700 k\$	3 700,00	
Téléphonie	unité	1	220 k\$	220,00	
Métallerie	unité	1	7 920 k\$	7 920,00	
équipements extérieurs aux entrées	unité	1	2 950 k\$	2 950,00	
équipements tube TCSP	ml	-	5 900 \$	-	
PC de supervision - informatique - équipement	unité	1	14 700 k\$	14 700,00	
<b>démolition du Pont Champlain</b>					<b>155 015</b>
prestations de MOA	%		1,50%	2 163,00	
prestations d'études diverses et MOE	%		6,00%	8 652,00	
travaux de déconstruction	forfait	1	144 200 k\$	144 200,00	
<b>revente des batardeaux</b>					<b>- 51 300</b>
Revente des batardeaux	t	25 650	2,00 \$	51 300,00	
<b>montant total hors taxes</b>					<b>1 649 822</b>





## Annexe 10 **estimation détaillée tunnel 2 x 4 voies avec TCSP**



Tableau 31 : estimation détaillée des coûts de construction du tunnel 2 x 4 voies avec TCSP - estimation en k\$ HT valeur 2010

	unité	quantité	prix unitaire en \$ ou k\$	montants k\$	sous-totaux arrondis k\$
<b>Maitrise d'ouvrage et études diverses</b>					<b>112 235</b>
<b>Maitrise d'Ouvrage</b>	%		1,25%	21 766,31	<b>21 766</b>
<b>Maitrise d'Œuvre études &amp; travaux</b>			4,70%		<b>79 769</b>
études AVP - APD	%		0,8%	13 577,64	
plans et devis (projet d'exécution)	%		1,2%	20 366,46	
contrôle des travaux	%		2,0%	33 944,10	
contrôle des matériaux	%		0,7%	11 880,44	
<b>Etudes complémentaires</b>			0,63%		<b>8 700</b>
relevé et études de circulation	forfait	1	400 k\$	400,00	
topographie	forfait	1	800 k\$	800,00	
géotechnique	forfait	1	5 400 k\$	5 400,00	
hydraulique	forfait	1	700 k\$	700,00	
glaces	forfait	1	400 k\$	400,00	
enquête et études TMD	forfait	1	1 000 k\$	1 000,00	
<b>Etudes environnementales</b>	forfait	1	2 000 k\$	2 000,00	<b>2 000</b>
<b>Prestations diverses</b>					<b>44 100</b>
fouilles archéologiques	forfait	1	100 k\$	100,00	44 153
acquisitions foncières	forfait	1	4 000 k\$	4 000,00	
déplacements de réseaux	forfait	1	10 000 k\$	10 000,00	
mesure de compensation environnementale	forfait	1	30 000 k\$	30 000,00	
<b>Terrassements à sec St Laurent et cale sèche</b>					<b>459 059</b>
déblais schistes	m3	3 137 736	36,00 \$	112 958,50	374 192
déblais terrains meubles	m3	1 168 752	12,20 \$	14 258,77	
PV déblais mis en dépôts définitifs	m3	2 125 906	17,30 \$	36 778,17	
réglage sous l'eau fondations batardeaux	m2	108 500	57,00 \$	6 184,50	
barrages anti pollution	forfait	1	16 400 k\$	16 400,00	
remblais - reprise et mise en œuvre	m3	2 281 035	20,00 \$	45 620,70	
batardeaux mobiles fourniture	t	19 530	6,60 \$	128 898,00	
batardeaux installation déplacement	unité	600	16,40 k\$	9 840,00	
paroi moulée	m2	57 800	900 \$	52 020,00	
pompape	forfait	1	32 800 k\$	32 800,00	
forfait de chantier terrassements	forfait	1	3 300 k\$	3 300,00	
<b>Terrassements fluviaux sous la voie maritime</b>					<b>123 730</b>
déblais schistes en rivière	m3	394 892	99,00 \$	39 094,31	98 881
déblais terrains meubles en rivière	m3	125 508	47,00 \$	5 898,88	
PV déblais mis en dépôts définitifs	m3	200 000	18,00 \$	3 600,00	
réglage sous l'eau fondations batardeaux	m2	14 000	59,00 \$	826,00	
barrages anti pollution	forfait	1	3 400 \$	3 400,00	
remblais - reprise et mise en œuvre	m3	320 400	20,00 k\$	6 408,00	
batardeaux mobiles fourniture	t	7 020	6,70 \$	47 034,00	
batardeaux installation déplacement	unité	85	16,80 k\$	1 428,00	
paroi moulée	m2	7 200	920 \$	6 624,00	
forfait de chantier terrassements fluviaux	forfait	1	8 400 k\$	8 400,00	
digue	ml	203	5 000 \$	1 017,00	
<b>Caissons immergés voie maritime</b>					<b>128 978</b>
béton	m3	80 151	354 \$	28 373,44	107 268
aciers HA	t	4 010	3,10 k\$	12 431,00	
aciers précontrainte	t	5 020	4,70 k\$	23 594,00	
corps d'ancrage	unité	13 300	965 \$	12 834,50	
coffrages outils	unité	3	1 300 k\$	3 900,00	
coffrage	m2	47 820	80 \$	3 825,60	
protection béton contre l'incendie	m2	26 352	161 \$	4 242,67	
mise en œuvre	forfait	1	8 000 k\$	8 000,00	
génie civil second œuvre	ml	305	9 300 \$	2 836,50	
lit de pose	m3	12 719	129,0 \$	1 640,69	
pompape	forfait	1	24 100 k\$	24 100,00	
forfait chantier génie civil maritime	forfait	1	3 200 k\$	3 200,00	
<b>Caissons construits entre batardeaux</b>					<b>764 999</b>
béton	m3	690 385	354 \$	244 396,45	635 322
aciers HA	t	39 887	3,10 k\$	123 649,36	
aciers précontrainte	t	32 592	4,70 k\$	153 184,55	
corps d'ancrage	unité	86 370	965 \$	83 347,05	
coffrages outils	unité	12	1 300 \$	15 600,00	
coffrage	m2	520 279	80,00 \$	41 622,30	
protection béton contre l'incendie	m2	285 552	161 \$	45 973,87	
forfait de chantier	forfait	1	8 000 k\$	8 000,00	
génie civil second œuvre	ml	3 525	9 300 \$	32 782,50	
béton compacté en radier	m3	68 909	193,00 \$	13 299,49	
PV remblai béton compacté	m3	32 409	97,00 \$	3 143,67	
<b>travaux rive droite</b>					<b>50 824</b>
parois moulées ancrées	m2	5 600	1 400 \$	7 840,00	42 788
déblais	m3	10 000	11,90 \$	119,00	
remblais	m3	5 000	38,60 \$	193,00	
réaménagement routiers	m2	15 900	320 \$	5 088,00	
murs soutènement divers	m2	820	1 400 \$	1 148,00	
bâtiment technique	m2	2 300	2 400 \$	5 520,00	
VRD	forfait	1	800 \$	800,00	
pont provisoire A 132 (hors fondations)	m2	3 670	4 800 \$	17 616,00	
déviations routières provisoires	forfait	1	5 300 \$	5 300,00	
signalisation - éclairage	forfait	1	800 \$	800,00	
modelage - aménagement paysager	forfait	1	3 200 \$	3 200,00	
forfait de chantier rive droite	forfait	1	3 200 \$	3 200,00	
<b>travaux rive gauche (île des Sœurs)</b>					<b>37 275</b>
parois moulées ancrées	m2	3 640	1 400 \$	5 096,00	30 318
déblais	m3	15 000	11,90 \$	178,50	
remblais	m3	6 000	38,60 \$	231,60	
rétablissement René Levesque	m2	5 400	320 \$	1 728,00	
réaménagement routiers	m2	14 040	320 \$	4 492,80	
murs de soutènement divers	m2	970	1 400 \$	1 358,00	
bâtiment technique	m2	3 700	2 700 k\$	9 990,00	
VRD	forfait	1	1 700 k\$	1 700,00	
déviations routières provisoires	forfait	1	4 900 k\$	4 900,00	
signalisation - éclairage	forfait	1	800 k\$	800,00	
modelage - aménagement paysager	forfait	1	3 400 k\$	3 400,00	
forfait de chantier rive gauche	forfait	1	3 400 k\$	3 400,00	
<b>équipements d'exploitation</b>					<b>132 340</b>
renforcement réseau électrique extérieur	forfait	1	2 210 k\$	2 210,00	120 352
Alimentation électrique	unité	1	47 260 k\$	47 260,00	
Ventilation	unité	1	13 100 k\$	13 100,00	
Éclairage	unité	1	3 240 k\$	3 240,00	
Équipements de signalisation	unité	1	2 950 k\$	2 950,00	
Réseau incendie	unité	1	460 k\$	460,00	
Détection incendie en tunnel	unité	1	650 k\$	650,00	
GTC (gestion Technique Centralisée)	unité	1	3 260 k\$	3 260,00	
Vidéo surveillance en tunnel et aux têtes	unité	1	5 840 k\$	5 840,00	
Réseau d'appel d'urgence	unité	1	1 640 k\$	1 640,00	
Radiocommunications	unité	1	4 110 k\$	4 110,00	
Téléphonie	unité	1	220 k\$	220,00	
Métallerie	unité	1	10 870 k\$	10 870,00	
équipements extérieurs aux entrées	unité	1	2 950 k\$	2 950,00	
équipements tube TCSP	ml	3 200	5 900 \$	18 880,00	
PC de supervision - informatique - équipement	unité	1	14 700 k\$	14 700,00	
<b>démolition du Pont Champlain</b>					<b>155 015</b>
prestations de MOA	%		1,50%	2 163,00	
prestations d'études diverses et MOE	%		6,00%	8 652,00	
travaux de déconstruction	forfait	1	144 200 k\$	144 200,00	
<b>revente des batardeaux</b>					<b>- 53 100</b>
Revente des batardeaux	t	26 550	2,00 \$	53 100,00	
<b>montant total hors taxes</b>					<b>1 955 455</b>





## Annexe 11 **échéancier des coûts de construction**



Le tableau suivant indique dans sa partie gauche l'estimation de synthèse de l'ensemble de l'opération.

La partie droite du tableau définit les montants pris en compte au titre de la période des travaux de construction du tunnel. Ces montants font l'objet de l'échéancier financier.

Tableau 32 : estimation de synthèse des travaux de construction - définition des coûts de construction pris en compte dans l'échéancier financier – montants en k\$ HT valeur 2010

NATURE DES OUVRAGES ET PRESTATIONS	MONTANT HT EN K\$ VALEUR 2010		REALISATION AVANT LES TRAVAUX	REALISATION AU TITRE DES TRAVAUX	REALISATION POSTERIEURE AUX TRAVAUX
<b>Maitrise d'ouvrage et études diverses</b>		<b>109 514</b>			
<b>Maitrise d'Ouvrage</b>		<b>21 195</b>	10 598	10 598	
<b>Maitrise d'Œuvre études &amp; travaux</b>		<b>77 619</b>			
études AVP - APD	13 212		13 212		
plans et devis (projet d'exécution)	19 818		19 818		
contrôle des travaux	33 029			33 029	
contrôle des matériaux	11 560			11 560	
<b>Etudes complémentaires</b>		<b>8 700</b>			
relevé et études de circulation	400		400		
topographie	800		800		
géotechnique	5 400		5 400		
hydraulique	700		700		
glaces	400		400		
enquête et études TMD	1 000		1 000		
<b>Etudes environnementales</b>		<b>2 000</b>		2 000	
<b>Prestations diverses</b>		<b>44 100</b>			
fouilles archéologiques	100		100		
acquisitions foncières	4 000		4 000		
déplacements de réseaux	10 000		10 000		
mesure de compensation environnementale	30 000			30 000	
<b>Travaux de Génie Civil du tunnel</b>		<b>1 436 006</b>			
terrassements à sec St Laurent et cale sèche	452 267			452 267	
terrassements fluviaux sous la voie maritime	121 606			121 606	
caissons construits entre batardeaux	736 754			736 754	
caissons immergés voie maritime	125 379			125 379	
<b>Travaux accès et raccordements</b>		<b>73 123</b>			
travaux rive droite	23 063			23 063	
travaux rive gauche (île des Sœurs)	21 332			21 332	
maintient de la circulation peandant les travaux	28 728			28 728	
<b>Equipements d'exploitation</b>		<b>142 340</b>			
bâtiment d'exploitation rive droite	5 520			5 520	
bâtiment d'exploitation rive gauche (île des Sœurs)	9 990			9 990	
équipements en tunnel et aux têtes	112 130			112 130	
poste de supervision (équipements)	14 700			14 700	
<b>Déconstruction du Pont Champlain</b>		<b>155 015</b>			
Maitrise d'Ouvrage	2 163				2 163
Maitrise d'Œuvre études & travaux	8 652				8 652
travaux de déconstruction	144 200				144 200
<b>Revente des batardeaux</b>		<b>- 53 100</b>			
Revente des batardeaux	53 100			53 100	
<b>montant total hors taxes en k\$ valeur 2010</b>		<b>1 906 998</b>	<b>68 427</b>	<b>1 683 556</b>	<b>155 015</b>

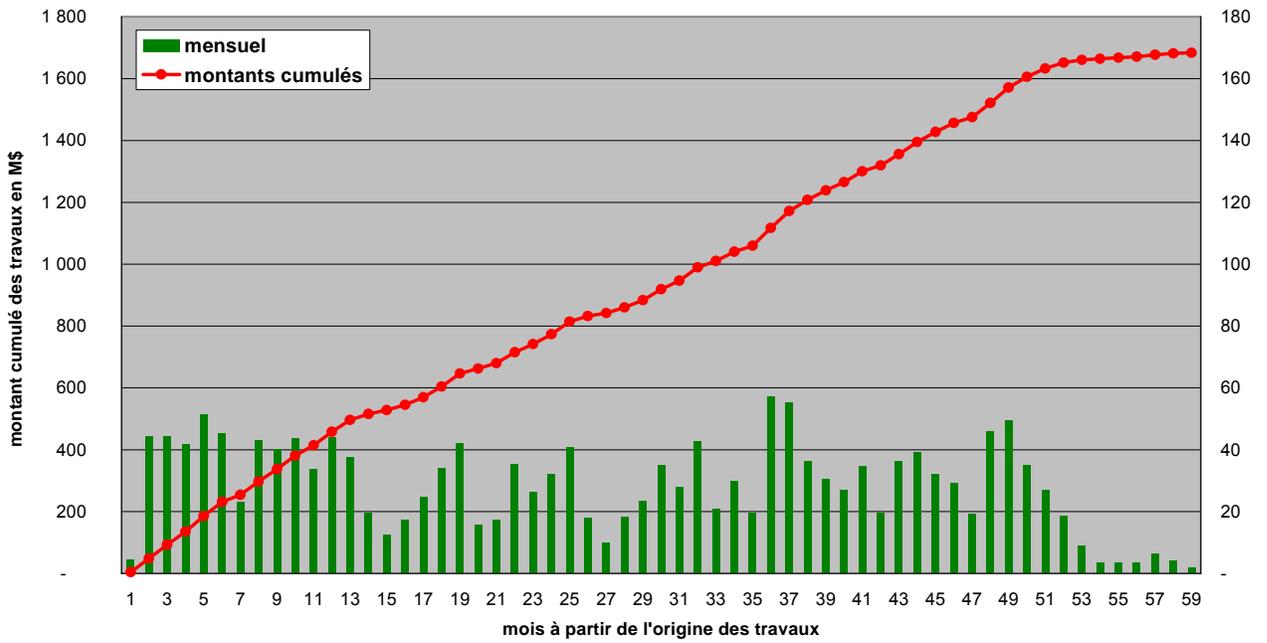
**ECHEANCIER FINANCIER DES TRAVAUX**

mois	montants mensuels en M\$ valeur 2010	montants cumulés en M\$ valeur 2010
0	-	-
1	4,348	4,348
2	44,384	48,732
3	44,384	93,116
4	41,734	134,850
5	51,191	186,041
6	45,274	231,315
7	23,086	254,401
8	43,022	297,423
9	40,021	337,444
10	43,572	381,016
11	33,565	414,581
12	43,856	458,437
13	37,738	496,175
14	19,560	515,735
15	12,307	528,042
16	17,325	545,367
17	24,712	570,079
18	34,149	604,228
19	42,239	646,467
20	15,811	662,278
21	17,500	679,778
22	35,391	715,169
23	26,304	741,473
24	32,148	773,621
25	40,751	814,372
26	17,792	832,164
27	10,048	842,212
28	18,153	860,365
29	23,530	883,894
30	35,077	918,971
31	27,837	946,808
32	42,847	989,656
33	20,843	1 010,499
34	29,704	1 040,203
35	19,405	1 059,608
36	57,340	1 116,948
37	55,075	1 172,023
38	36,256	1 208,280
39	30,365	1 238,645
40	26,983	1 265,628
41	34,576	1 300,204
42	19,425	1 319,630
43	36,372	1 356,002
44	39,316	1 395,318
45	32,193	1 427,511
46	29,157	1 456,667
47	19,211	1 475,878
48	45,821	1 521,699
49	49,529	1 571,227
50	35,009	1 606,237
51	26,987	1 633,224
52	18,634	1 651,858
53	8,798	1 660,657
54	3,427	1 664,084
55	3,566	1 667,650
56	3,461	1 671,111
57	6,517	1 677,628
58	4,114	1 681,742
59	1,821	1 683,563
<b>totaux</b>	<b>1 683,563</b>	

Tableau 33 : échéancier financier des travaux de construction du tunnel – montants en M\$ HT valeur 2010

Figure 33 : graphe de l'échéancier financier des travaux de construction du tunnel – montant cumulé des travaux en M\$ valeur 2010

**solution tunnel - échéancier des travaux de construction - hors déconstruction du viaduc**







**Annexe 12    coûts  
prévisionnels  
d'exploitation  
pendant 35  
années à  
compter de la  
mise en service**



Tableau 34: coûts  
prévisionnels  
d'exploitation en k\$  
HT valeur 2010

**coûts d'exploitation et de maintenance en k\$ et en M\$ HT valeur 2010**

années	coûts semestriels d'exploitation k\$	coûts semestriels de maintenance k\$	grosses réparations k\$	coûts globaux semestriels k\$	coûts globaux cumulés M\$
0,5	2 010	1 950	3 384	7 344	7,344
1,0	2 010	1 950	3 384	7 344	14,689
1,5	2 010	1 950	235	4 195	18,884
2,0	2 010	1 950	235	4 195	23,079
2,5	2 010	1 950	235	4 195	27,274
3,0	2 010	1 950	235	4 195	31,469
3,5	2 010	1 950	235	4 195	35,664
4,0	2 010	1 950	235	4 195	39,859
4,5	2 010	1 950	235	4 195	44,054
5,0	2 010	1 950	235	4 195	48,249
5,5	2 010	1 950	235	4 195	52,444
6,0	2 010	1 950	235	4 195	56,639
6,5	2 010	1 950	235	4 195	60,834
7,0	2 010	1 950	235	4 195	65,029
7,5	2 010	1 950	1 235	5 195	70,224
8,0	2 010	1 950	1 235	5 195	75,419
8,5	2 010	1 950	235	4 195	79,614
9,0	2 010	1 950	235	4 195	83,809
9,5	2 010	1 950	235	4 195	88,004
10,0	2 010	1 950	235	4 195	92,199
10,5	2 010	1 950	235	4 195	96,394
11,0	2 010	1 950	235	4 195	100,589
11,5	2 010	1 950	16 135	20 095	120,683
12,0	2 010	1 950	16 135	20 095	140,778
12,5	2 010	1 950	3 101	7 061	147,839
13,0	2 010	1 950	3 101	7 061	154,900
13,5	2 010	1 950	235	4 195	159,095
14,0	2 010	1 950	235	4 195	163,290
14,5	2 010	1 950	7 509	11 469	174,759
15,0	2 010	1 950	7 509	11 469	186,227
15,5	2 010	1 950	1 235	5 195	191,422
16,0	2 010	1 950	1 235	5 195	196,617
16,5	2 010	1 950	235	4 195	200,812
17,0	2 010	1 950	235	4 195	205,007
17,5	2 010	1 950	235	4 195	209,202
18,0	2 010	1 950	235	4 195	213,397
18,5	2 010	1 950	235	4 195	217,592
19,0	2 010	1 950	235	4 195	221,787
19,5	2 010	1 950	16 925	20 885	242,672
20,0	2 010	1 950	16 925	20 885	263,557
20,5	2 010	1 950	235	4 195	267,752
21,0	2 010	1 950	235	4 195	271,947
21,5	2 010	1 950	235	4 195	276,142
22,0	2 010	1 950	235	4 195	280,337
22,5	2 010	1 950	235	4 195	284,532
23,0	2 010	1 950	235	4 195	288,727
23,5	2 010	1 950	17 282	21 242	309,969
24,0	2 010	1 950	17 282	21 242	331,212
24,5	2 010	1 950	23 045	27 005	358,217
25,0	2 010	1 950	23 045	27 005	385,222
25,5	2 010	1 950	235	4 195	389,417
26,0	2 010	1 950	235	4 195	393,612
26,5	2 010	1 950	235	4 195	397,807
27,0	2 010	1 950	235	4 195	402,002
27,5	2 010	1 950	235	4 195	406,197
28,0	2 010	1 950	235	4 195	410,392
28,5	2 010	1 950	235	4 195	414,587
29,0	2 010	1 950	235	4 195	418,782
29,5	2 010	1 950	3 093	7 053	425,834
30,0	2 010	1 950	3 093	7 053	432,887
30,5	2 010	1 950	235	4 195	437,082
31,0	2 010	1 950	235	4 195	441,277
31,5	2 010	1 950	1 235	5 195	446,472
32,0	2 010	1 950	1 235	5 195	451,667
32,5	2 010	1 950	235	4 195	455,862
33,0	2 010	1 950	235	4 195	460,057
33,5	2 010	1 950	235	4 195	464,252
34,0	2 010	1 950	235	4 195	468,447
34,5	2 010	1 950	29 380	33 340	501,787
35,0	2 010	1 950	29 380	33 340	535,127
<b>totaux</b>	<b>140 700</b>	<b>136 500</b>	<b>257 927</b>	<b>535 127</b>	

Figure 34 - graphe des coûts annuels d'exploitation en k\$ HT valeur 2010

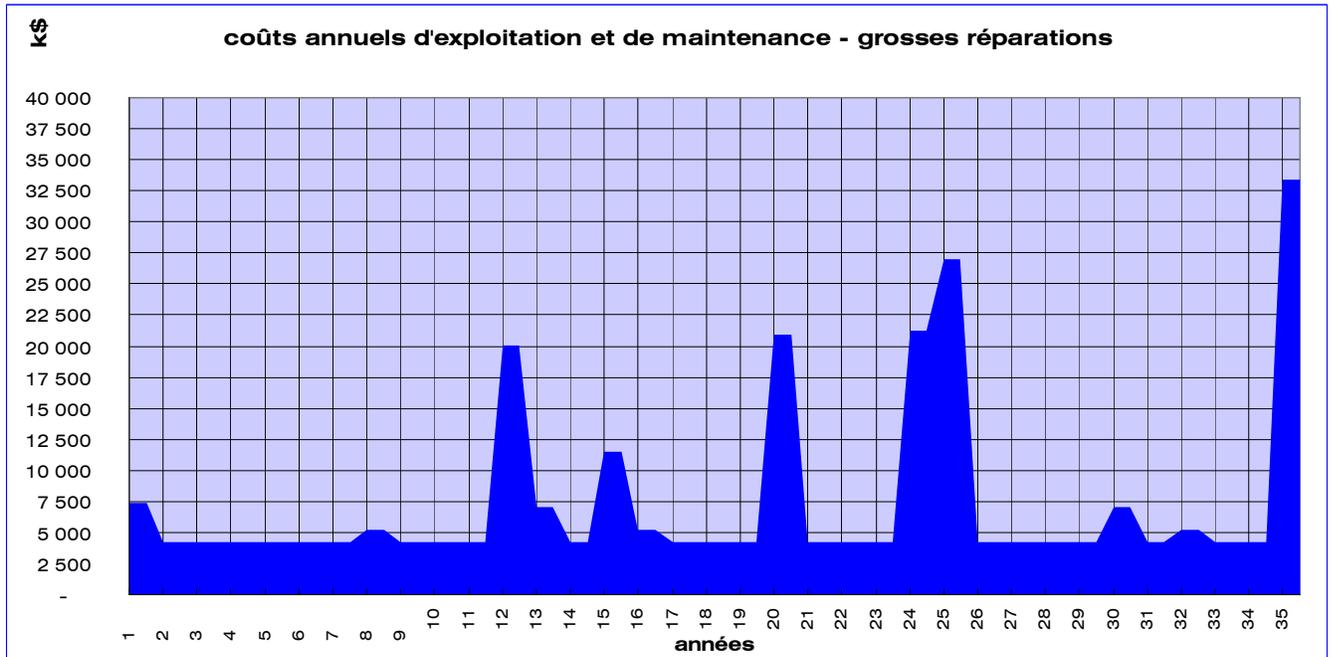


Figure 35 : graphe des coûts cumulés d'exploitation en M\$ HT valeur 2010

