



Comité du
lien sous-fluvial
à l'est de Lévis-Québec

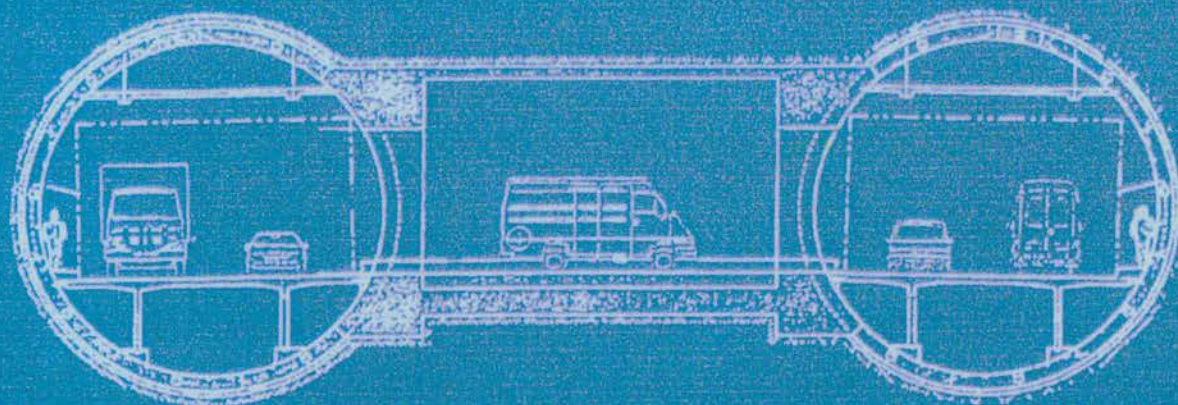
CRCD

Chaudière - Appalaches

Conseil régional de concertation
et de développement
de Chaudière-Appalaches

Rapport d'étude

Lien sous-fluvial à l'est de Lévis-Québec



CANQ
ACE
2149

septembre 1999

TECSULT

Tecsult Inc.
experts-conseils

4700, BOUL. WILFRED-HAMEL, QUÉBEC (QUÉBEC) CANADA G1P 2J9

1131218



Comité du
~ **lien sous-fluvial** ~
à l'est de Lévis-Québec



**Conseil régional de concertation
et de développement
de Chaudière-Appalaches**

Rapport d'étude

Lien sous-fluvial à l'est de Lévis-Québec



CANQ
ACE
2149

Révision décembre 1999

Ministère des Transports
Centre de documentation
700, boul. René-Lévesque Est,
21^e étage
Québec (Québec) G1R 5H1



TecSult Inc.
experts-conseils
4700, BOUL. WILFRID-HAMEL, QUÉBEC (QUÉBEC) CANADA G1P 2J9

Ce rapport a été préparé par le personnel de Tecsalt avec la collaboration particulière des professionnels suivants :

Hughes Lansac, ingénieur
Génie urbain et Transport

Jean-Yves Daoust, géologue
Géotechnique

Jean Fillion, communicateur
Communications

Marc Blanchette, économiste
Études économiques

Michel-L. Caron, biologiste
Environnement

Ghislain Savard, ingénieur
Structure

Gilles Papillon, technologue
Géotechnique

Patrice Mathieu, ingénieur
Génie urbain et Transport

NOTE AUX LECTEURS

Pour éviter toute interprétation quant à l'appellation du lien sous-fluvial, il convient de préciser que Lévis et Québec ont été choisis comme étant les noms des villes représentant les principales agglomérations des deux rives.

L'ordre alphabétique Lévis-Québec a été préféré sans égard à l'importance relative de ces deux villes.

Enfin, le titre «Lien sous-fluvial à l'est de Lévis-Québec» vient préciser la position géographique de cet axe, à l'extérieur des centres-villes.

TABLE DES MATIÈRES

	page
SOMMAIRE EXÉCUTIF	1
1 DÉFINITION DU MANDAT	3
PARTIE I – VALIDATION DU CONCEPT TECHNIQUE	4
2 ÉTUDE DU TRACÉ	4
2.1 Historique	4
2.2 Choix du tracé préférentiel	5
2.3 Tracé alternatif	7
2.4 Raccordement à l'Île d'Orléans	9
3 CARACTÉRISTIQUES DU TUNNEL	10
3.1 Dimensions	10
3.2 Profil longitudinal	13
3.3 Liaisons inter-tunnel	14
4 MÉTHODE DE CONSTRUCTION	15
4.1 Conditions géologiques	15
4.2 Méthode d'excavation	16
4.3 Travaux connexes	18
4.4 Gestion des déblais	19
5 ÉCHÉANCIER DE RÉALISATION	20
5.1 Étapes de préparation	20
5.2 Étapes de construction	20
6 COÛTS BUDGÉTAIRES DE CONSTRUCTION	22
6.1 Lien sous-fluvial	22
6.2 Alternative pont-tunnel	24
7 RENTABILITÉ	25
7.1 Simulation du volume de circulation	25
7.2 Simulation financière	28

PARTIE II – ÉTAPES DE RÉALISATION	30
8 ÉTUDE DE FAISABILITÉ.....	30
8.1 Étude de circulation	31
8.2 Investigations géotechniques.....	32
8.3 Ingénierie préliminaire.....	34
8.4 Évaluation des problématiques environnementales	34
8.5 Autorisations préalables.....	35
8.6 Recherche des titres de propriétés	37
8.7 Étude des retombées socio-économiques	37
8.8 Campagnes d'opinion publiques	38
8.9 Estimation des coûts.....	41
8.10 Étude de rentabilisation	41
9 RECHERCHE DE FINANCEMENT.....	45
10 DÉMARCHES ET ACTIONS EN MATIÈRE D'ENVIRONNEMENT	53
10.1 Description générale du milieu	53
10.2 Principaux enjeux environnementaux	55
10.3 Problématique environnementale du tunnel foré.....	55
10.4 Problématique environnementale du pont-tunnel	56
10.5 Évaluation des problématiques environnementales	58
10.6 Portée et objectifs des études environnementales requises.....	58
11 AVANT-PROJET DÉTAILLÉ.....	63
11.1 Étude géotechnique	63
11.2 Ingénierie détaillée.....	64
12 APPEL D'OFFRES	66
13 CONCLUSION.....	67
BIBLIOGRAPHIE	
FIGURES	

Figure 2.1	Alternatives tunnel
Figure 2.2	Alternative pont-tunnel
Figure 3.1	Exemple de tunnel : Caluire
Figure 3.2	Coupes types transversales
Figure 3.3	Profil longitudinal – Alternative tunnel Option Bourget
Figure 3.4	Profil longitudinal – Alternative tunnel Option Lallemand
Figure 3.5	Profil longitudinal – Alternative pont et tunnel
Figure 4.1	Géologie du corridor du tunnel
Figure 4.2	Coupe longitudinale d'un tunnelier
Figure 5.1	Exemple de l'échéancier de réalisation du tunnel foré de Caluire
Figure 5.2	Échéancier de réalisation – Phases préparatoires
Figure 5.3	Échéancier de réalisation – Phases de réalisation
Figure 7.1	Simulation d'affectation – Volume bidirectionnel de période de pointe du matin, 1991
Figure 7.2	Région de Québec – Débit journalier moyen annuel
Figure 7.3	Simulation financière – Hypothèses de base
Figure 7.4	Simulation financière – Analyse du remboursement en capital et de frais financiers annuels
Figure 7.5	Calcul du taux de rendement interne

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Historique

L'idée d'un lien sous-fluvial "rive nord - rive sud" chemine depuis plus de 30 ans. Elle était d'ailleurs évoquée avant la construction du pont Pierre-Laporte. Entre 1956 et 1979, au moins six rapports d'études ont été déposés concernant la nécessité d'établir un lien interrives permettant un système de circulation périphérique à la grande région de Québec. Parmi ceux-ci, mentionnons le plan Grébert, publié en 1956 et le volumineux rapport Vandry-Jobin, de 1979, qui établissait une multitude de scénarios possibles pour la construction d'un lien entre Lévis et Québec.

À nouveau, le projet d'un lien sous-fluvial suscite l'intérêt des milieux des affaires, politique, universitaire et de la population en général en raison notamment de la saturation de plus en plus fréquente et prolongée des principaux axes routiers reliant les deux rives du Saint-Laurent (les ponts de Québec et Pierre-Laporte, l'autoroute Henri IV et les principaux échangeurs).

Le lien sous-fluvial est un projet techniquement réalisable. Ailleurs dans le monde, de telles infrastructures existent et elles sont des réussites remarquables. Le tunnel sous la Manche, le tunnel de Caluire, à Lyon, en France et les constructions de Hambourg en Allemagne ou celles dans le port de Tokyo au Japon, notamment, constituent des exemples de succès de projets similaires.

Le lien sous-fluvial a pour objectif d'améliorer les conditions de la circulation routière des régions de Québec et Chaudière-Appalaches. Il peut aussi s'avérer un outil important à la croissance économique de ces régions tout en étant un projet unificateur et bénéfique pour l'ensemble de la population.

Description

D'une longueur totale de 7,1 km, le lien sous-fluvial sera situé à l'est des villes de Lévis et Québec, en passant sous l'extrémité ouest de la pointe de l'Île-d'Orléans.

Plus précisément, l'entrée du tunnel se situera à l'extrémité de l'autoroute 40 sur la rive nord. La rampe d'accès commencera à s'enfoncer dans le sol à partir de l'intersection avec le boulevard Sainte-Anne, pour passer sous l'autoroute Dufferin-Montmorency et pénétrer dans le fleuve sans aucune modification des berges. Le tunnel passera ensuite sous la pointe ouest de l'Île-d'Orléans pour permettre l'aménagement d'une issue de secours et d'une cheminée de ventilation. Puis, le lien sera raccordé à l'autoroute 20, sur la rive sud, soit à l'échangeur Bourget, soit à l'échangeur Lallemand.

Le tunnel sera foré par un tunnelier de type « Tunnel Boring Machine » car il s'agit de la meilleure option aux plans technique et environnemental compte tenu de la nature du sol. Pour des raisons de sécurité et d'entretien, la circulation se fera à l'intérieur de tunnels séparés, mais reliés entre eux pour des raisons de sécurité.

Chaque tunnel aura un diamètre intérieur de 9,8 mètres et sera muni de deux voies de circulation, tel un prolongement logique des autoroutes 20 et 40. L'inclinaison maximale du tunnel sera de 4,5 % afin de conserver une circulation rapide des véhicules lourds.

Coût et rentabilité

Le coût de réalisation du projet est évalué à 750 millions de dollars selon les premières estimations. L'autofinancement du tunnel est démontré sur une période de 40 ans, à partir d'une simulation de la circulation, en tenant compte d'un taux de rendement interne suffisant pour intéresser d'éventuels investisseurs.

Échéancier

L'échéancier de réalisation est estimé à 12 ans.

1. Étapes de préparation (durée estimée : 5 ½ ans)

- Sensibilisation et prise de conscience du projet
- Étude de faisabilité
- Recherche de financement
- Étude d'impact environnemental avec audiences publiques
- Avant-projet détaillé
- Appel d'offres

2. Étapes de construction (durée estimée : 6 ½ ans)

- Installation du chantier, montage des tunneliers et de l'usine à béton
- Percement du premier tunnel
- Aménagement interne du premier tunnel
- Construction des échangeurs
- Percement du deuxième tunnel
- Aménagement interne du deuxième tunnel
- Démontage du chantier

Avantages comparatifs

Un lien sous-fluvial entre les deux rives du Saint-Laurent permettra, d'abord, le désengorgement des ponts de Québec et Pierre-Laporte, de l'autoroute Henri IV et des principaux échangeurs, ce qui représentera, pour les automobilistes et les camionneurs, une économie de temps de transport appréciable.

De plus, selon les calculs réalisés à partir de l'étude de circulation, le projet de lien sous-fluvial pourrait être rentable dès la mise en opération du tunnel par l'imposition d'un péage à l'utilisateur, et ce, sans que ne soit alourdi le fardeau des contribuables québécois. Il s'agit d'une initiative structurante, insufflant une nouvelle dynamique et une vitalité économique aux régions de Québec et Chaudière-Appalaches. L'ensemble du projet aura des retombées bénéfiques pour les usagers de la route et les entreprises de ces deux régions.

1 DÉFINITION DU MANDAT

À la suite d'un appel de proposition sur invitation, le conseil régional de concertation et de développement de Chaudière-Appalaches (CRD-CA) et le comité du lien sous-fluvial à l'est de Lévis-Québec ont conjointement confié un mandat d'étude à la firme d'experts-conseils Tecslult.

L'idée d'un lien sous-fluvial rive sud rive nord chemine depuis plus de trente ans, et a fait l'objet de nombreuses études. Le dossier suscitant toujours un vif intérêt, il convient d'actualiser le concept en fonction des connaissances et technologies maintenant disponibles et d'en élaborer les étapes de réalisation. Le mandat confié à Tecslult se divise donc en trois parties.

La première traite de la validation du concept technique et de la réponse aux questions qui en découlent :

- Quel est le tracé préférentiel, et existe-t-il un tracé alternatif ?
- Quelles sont les caractéristiques physiques du tunnel envisageables ?
- Comment le construire ?
- À quel coût ?
- En combien de temps ?
- Est-ce rentable ?

Après avoir établi aux chapitres 2 à 7 que le concept est techniquement faisable, il reste à définir les étapes à franchir pour le réaliser. Les démarches et actions requises font l'objet de la deuxième partie du rapport, chapitres 8 à 12.

La troisième partie du mandat est constituée d'un document nécessaire à la promotion du projet : soit un document d'information, non inclus au présent document.

PARTIE I – VALIDATION DU CONCEPT TECHNIQUE

2 ÉTUDE DU TRACÉ

2.1 Historique

Le développement du Québec s'est naturellement fait suivant l'axe de pénétration constitué par le fleuve St-Laurent. Pour des raisons d'échanges et de commerce, les municipalités, villes et villages se sont établis sur les rives du fleuve. Avec le développement de la circulation ferroviaire puis automobile, le fleuve d'abord lien de communication est devenu obstacle au transport terrestre.

Les deux conurbations de Québec et de Lévis ont d'abord été jointes par le pont de Québec (1917), construit à l'endroit où les deux rives sont les plus proches, même si cet emplacement était loin des centres-villes. La saturation du vieux pont a amené la construction du pont Pierre-Laporte (1970), toujours à ce passage rétréci.

Pourtant dès 1956, le plan Grébert établissait le principe d'un système de circulation périphérique pour répondre aux besoins de la grande région de Québec. En 1968, le ministère de la Voirie établissait un plan de circulation en vue de compléter le réseau autoroutier alors en phase de réalisation. Ce plan conclut à la nécessité d'une future liaison routière directe Québec-Lévis, par un pont reliant les centres-villes. L'idée d'un tunnel y était étudiée, mais non retenue à cause de la méconnaissance du socle rocheux sous-fluvial. En 1973 et 1974, deux études géologiques lèvent cette incertitude et conduisent à un rapport du ministère des Transports publié en 1975 dans lequel six axes sont alors considérés pour un tunnel, dont trois par l'Île d'Orléans.

L'étude la plus complète est celle du volumineux rapport Vandry Jobin de 1979. Une multitude de solutions pour un lien rive sud, rive nord y sont présentées. Toutes passent par l'Île d'Orléans.

Il n'est pas étonnant que l'axe Orléans ait été choisi. Un lien direct aurait des conséquences trop graves sur les centres-villes pour être retenu, comme l'ont estimé divers organismes de planification régionale, telle la Commission d'aménagement de la Communauté urbaine de Québec. En effet, non seulement ce lien serait difficilement intégrable à un réseau routier adéquat, mais tout lien routier direct augmenterait de façon dramatique la congestion du centre-ville par l'automobile.

En 1979 encore, une étude d'impact du ministère des Transports sur le développement d'un lien est publiée. Selon ce rapport, l'axe Orléans conférerait à la région métropolitaine de Québec un degré d'accessibilité uniforme. En effet, le réseau routier projeté permettrait de compléter la ceinture périphérique entourant Québec et Lévis, en assurant un meilleur équilibre entre l'est et l'ouest du territoire. On retrouve alors la logique des principes de circulation établis dans le plan Grébert de 1956. De plus, l'axe Orléans permettrait d'intégrer au port de Québec un éventuel complexe industriel situé entre Lauzon et Beaumont.

2.2 Choix du tracé préférentiel

Si la logique d'un lien sous-fluvial dans l'axe de l'Île d'Orléans s'est imposée au fil des ans, cette logique laisse peu de latitude quant aux points de raccordement sur les deux rives. Puisqu'il s'agit de compléter la ceinture périphérique autour des grandes villes des deux rives, seuls les raccordements aux autoroutes existantes sont envisageables. Tout autre point d'arrivée créerait une congestion allant à l'encontre du but suivi. Il faut garder en mémoire que la circulation sur une voie rapide est fluide en autant que les nœuds aux extrémités permettent un écoulement rapide. Pour rendre le projet financièrement rentable, il faut que le passage par ce nouveau tracé signifie une économie de temps de transport appréciable. Un lien inter-rives raccordé aux routes principales plutôt qu'aux autoroutes perdrait beaucoup d'attrait en raison des détours et des embouteillages possibles.

Le tracé du lien sous-fluvial est montré à la figure 2.1.

Raccordement à la rive nord

L'autoroute 40 actuelle plonge directement vers le fleuve avant de virer à 90° vers l'autoroute Dufferin-Montmorency en empiétant sur la batture.

L'axe rive nord, rive sud vient naturellement s'insérer dans le prolongement de l'autoroute 40.

Placer l'entrée du tunnel à l'extrémité actuelle de l'autoroute 40 demanderait de construire un portail dans le fleuve. On appelle portail la partie à ciel ouvert de la rampe d'accès au tunnel. Bordé de chaque côté de murs de soutènement destinés à empêcher le sol ou l'eau d'envahir l'ouvrage, il se prolonge jusqu'à ce que la hauteur de sol au-dessus de la chaussée (le « toit » du tunnel) ait atteint l'épaisseur requise. Les figures 2.1, 3.3 et 3.4 montrent en plan et en profil les portails d'entrée et de sortie du tunnel.

Afin d'éviter que le début du tunnel se fasse au prix d'un remblayage dans le fleuve, la rampe d'accès commencera à s'enfoncer dans le sol à partir de l'intersection avec le boulevard Ste-Anne, pour passer sous l'autoroute Dufferin-Montmorency en tunnel et pénétrer dans le fleuve sans aucune modification des berges. L'environnement du fleuve sera ainsi entièrement protégé.

L'échangeur entre l'axe nord-sud et l'autoroute Dufferin se situera entre cette dernière et le boulevard Ste-Anne, seule zone non bâtie.

Passage par l'Île d'Orléans

Le passage à la pointe de l'Île d'Orléans est impératif, pour des raisons de construction, de ventilation et de sécurité. Telle qu'exposée au chapitre 4, la méthode de construction dans le chenal nord est différente de celle dans le chenal sud. Un puits d'accès temporaire est donc nécessaire à proximité de l'Île d'Orléans, au point de changement entre les deux types de machinerie utilisés pour la construction.

La longueur du tunnel obligera une ventilation efficace. Le passage à la pointe de l'Île d'Orléans permet d'installer une cheminée de ventilation indispensable pour réduire la distance entre les points d'extraction des gaz d'échappement. Cette cheminée pourra être dissimulée dans l'enveloppe d'un vieux phare afin de ne pas déguiser l'environnement visuel. Le passage par l'Île d'Orléans permet aussi une issue de secours.

Raccordement à la rive sud

Le lien sous-fluvial s'intègre dans la trame autoroutière. Il doit donc se raccorder à l'autoroute 20. En raison de la hauteur de la falaise sur la rive sud et de la pente du tunnel, la sortie se fera à proximité de l'autoroute. En face de la pointe de l'Île d'Orléans, deux points de raccordement sont possibles, soit par la route Monseigneur Bourget, soit par la route Lallemant. Les échangeurs de ces routes ne sont distancés entre eux que d'environ 3 km. Les normes du ministère des Transports du Québec ne permettent pas d'en créer un autre entre ceux-ci, la trop faible distance entre échangeurs étant source potentielle d'accidents.

Chaque point de raccordement présente des avantages, alors que techniquement et financièrement ils sont peu différents. L'échangeur de la route Mgr Bourget est plus proche de Lévis, celui de la route Lallemant longe le futur complexe industrio-portuaire, permettant un raccordement rapide avec le port de Québec et les autres centres d'activités économique et industrielle de la région.

Quel que soit l'échangeur choisi, celui-ci devra être converti en échangeur de type autoroute à autoroute. La route secondaire, c'est-à-dire, soit la route Lallemant, soit la route Mgr Bourget sera déviée pour s'y raccorder.

2.3 Tracé alternatif

Le lien Lévis-Québec entièrement sous-fluvial, raccordé aux autoroutes rive sud, rive nord, 20 et 40, constitue le tracé préférentiel au point de vue esthétique et environnemental. Afin d'en confirmer le choix, il convient d'explorer la possibilité d'un tracé alternatif et d'en regarder les conséquences et les coûts.

Le fond du chenal nord du fleuve est constitué d'une grande épaisseur de mort-terrain. À l'époque du rapport Vandry-Jobin, la technique de forage par tunnelier n'existait pas. Il était donc impensable de traverser le chenal nord en tunnel, sous l'eau et sous des matériaux poreux. Une des solutions préconisées par ce rapport était celle d'une jetée de la rive nord jusqu'à l'Île d'Orléans et d'un tunnel creusé de l'Île d'Orléans jusqu'à la rive sud.

Avec les techniques actuelles de tunnelier, le forage dans les sols meubles et perméables s'avère maintenant réalisable. Pour des raisons qui sont expliquées au chapitre 6, le coût de construction dans ce type de terrain est le double de celui du forage dans le roc. Pour réduire les coûts de construction, il est possible d'envisager une traversée du chenal nord en surface. Si dans les années '70, le remblayage du fleuve pour la construction routière s'est fait allègrement, il n'en est plus de même aujourd'hui. Une jetée, même partielle, serait très difficilement défendable du point de vue environnemental, en plus d'amoindrir visuellement l'insularité de l'Île d'Orléans. Dans le tracé alternatif envisagé, la traversée du chenal nord se ferait par un pont.

Une autre contrainte du tracé alternatif est la longueur en tunnel sous la rive sud avant d'atteindre la surface. La seule manière de la réduire est de positionner la sortie du tunnel sur les battures de la rive sud, et de monter sur le plateau par une voie de surface. Le tracé illustré à la figure 2.2 montre cette solution. Elle signifie la construction sur le bord du fleuve d'un portail de plus de 550 m de long pour empêcher que les fluctuations de la marée envahissent la sortie du tunnel. Le profil de ce portail sud est montré sur la figure 3.5 et les impacts environnementaux de cet ouvrage permanent sont explicités au chapitre 10.

Ce tracé alternatif croise la route 132, sur la rive sud. Un viaduc ou un échangeur devrait donc être construit à cette intersection.

Pour l'ensemble des raisons énumérées précédemment, l'alternative pont-tunnel ne nous apparaît pas recommandable.

2.4 Raccordement à l'Île d'Orléans

Le passage par l'Île d'Orléans est avant tout technique, pour des raisons de commodité. Il est cependant logique d'examiner les possibilités de desserte de l'Île d'Orléans par le nouveau lien. Dans le cas d'un tunnel foré, les difficultés techniques de raccordement à l'Île seraient grandes. Il faudrait créer un échangeur sous-marin, ce qui signifie des coûts importants, dépassant les 100 millions de dollars. De plus, les jonctions de voies signifient des risques d'accidents, ce qui doit être considéré sérieusement lorsque les risques se situent dans un souterrain. Sans écarter complètement cette solution, qui devra être évaluée en détail lors de l'étude de faisabilité, il convient de remarquer que celle-ci semble difficilement réalisable.

Dans le cas d'un lien mixte pont-tunnel, il serait techniquement plus facile de réaliser la jonction du lien rive sud – rive nord avec le réseau routier de l'Île d'Orléans. Les difficultés rencontrées ne seraient pas techniques, mais plutôt environnementales et sociales. La construction et l'intégration du lien à ce site exceptionnel s'avéreraient délicates et coûteuses. Il faudrait créer un échangeur de surface à la pointe de l'Île d'Orléans, dans un lieu touristique. Le renforcement de la route entre cet échangeur et le point d'arrivée du pont actuel deviendrait obligatoire, la route actuelle n'étant pas conçue pour supporter un trafic important.

Il convient de se questionner sur l'opportunité de remplacer le pont de l'Île d'Orléans actuel par le nouveau lien. Selon les informations reçues du ministère des Transports, qui le gère, ce pont bien qu'ancien, est fonctionnel mais coûteux en entretien.

3 CARACTÉRISTIQUES DU TUNNEL

3.1 Dimensions

Le lien sous-fluvial est avant tout un raccordement entre deux autoroutes. C'est ce qui assurera sa rentabilité. Il faut que la traversée du fleuve soit rapide et sécuritaire pour attirer un flot de circulation suffisant en terme d'autofinancement.

Deux voies de circulation dans chaque sens seraient suffisantes. Cette configuration présenterait un prolongement logique de l'autoroute 20 qui offre le même nombre de voies. Pour des raisons de sécurité et étant donné la longueur du tunnel, des chaussées divisées s'imposent. Chaque sens de circulation se fera donc dans un tunnel séparé. Il est aussi plus aisé d'effectuer l'entretien d'un tunnel en pouvant le fermer totalement à la circulation, en général la nuit, que de fermer un sens de circulation d'un tunnel unique.

Quelles que soient les dimensions de tunnel préconisées, l'aspect sécuritaire doit être constamment à l'esprit. Un accident est malheureusement toujours possible, et la circulation des véhicules d'urgence: police, pompier, ambulance, dépanneuse doit être privilégiée. Il est alors tentant de penser à deux voies de circulation plus une voie de service dans chaque sens. Au minimum, la largeur des voies serait de 3,5 m pour la voie de gauche et de 4,0 m pour celle de droite. À cela, il faudrait ajouter 3,0 m de voie de service plus un dégagement de 0,5 m de chaque côté. On obtient une largeur intérieure minimale de 11,5 m, soit environ 13 m de largeur extérieure. Cette largeur n'est pas disponible en tunnelier usuel dont les plus grands diamètres sont 11 m. Il faudrait alors envisager la construction par tunnel foré et dynamité, ou par tunnel déposé. Cette dernière technique est peu propice dans le chenal sud où la faible épaisseur de mort-terrain ne permettrait pas de placer le tunnel à l'abri des affouillements dus au courant. Quant à la technique forage-dynamitage elle est écartée pour les raisons expliquées à l'article 4.2.

Puisque la troisième voie sert uniquement pour la sécurité, il est possible de concevoir un autre aménagement. L'important est l'accès rapide à la zone d'incident. Il est statistiquement très improbable que deux tunnels séparés soient immobilisés par des accidents en même temps.

L'accès des véhicules d'urgence pourrait donc se faire par le tunnel opposé, en autant que les tunnels soient inter-reliés de place en place. C'est la solution préconisée. Un projet offrant cette configuration est en cours de réalisation pour le boulevard périphérique de Lyon, où deux tunnels à deux voies, long de 3,25 km permettront le passage de plus de 100 000 véhicules/jour. La figure 3.1 montre ce tunnel, ouvert provisoirement à double sens, en attendant la finition du deuxième tunnel.

La coupe type proposée pour le lien sous-fluvial est montrée à la figure 3.2. Chaque tunnel est composé de deux voies de largeur totale 7,6 m, avec une surlargeur de 1,0 m d'un bord et de 1,2 m de l'autre pour un diamètre intérieur de 9,8 m. Du côté de 1,2 m, un trottoir d'urgence permet d'accéder à des niches de secours placées à intervalle régulier et munies de téléphone. La paroi du tunnel, composée de voussoirs préfabriqués, a une épaisseur de 500 mm. Un coulis de mortier d'épaisseur moyenne de 100 mm comble l'espace entre le trou foré par le tunnelier et les anneaux de voussoirs préfabriqués. Le diamètre utile du tunnelier sera de 11,0 m.

Cette largeur correspond à une technique éprouvée, bien que non encore utilisée en Amérique du nord. Les seuls tunneliers utilisés aux États-Unis sont de petit diamètre. Les excavations importantes y sont réalisées au « Jumbo », par technique de forage-dynamitage. La technique par tunnelier permet une avance 3 à 4 fois plus rapide et une réduction importante du soutènement. Elle est explicitée sommairement au chapitre 4.

La technique du tunnelier a fait un bond en avant lors de la construction du tunnel sous la Manche. Elle s'est développée principalement en France, en Allemagne et surtout au Japon. Dans les diamètres de 11 m, on trouve six fabricants de tunnelier à travers le monde, dont trois majeurs.

Il n'existe pas de tunnelier tout fait. Chaque usage nécessite une construction spécifique en fonction des types de matériaux rencontrés, de l'accessibilité au chantier, du système d'évacuation des déblais, de l'approvisionnement en voussoirs et de la ventilation. Il s'agit d'une véritable usine souterraine, construite pour un usage unique.

On estime qu'entre 20 à 30 tunnels forés de 11 m de diamètre sont soit construits ou en phase de réalisation. Il s'agit d'un domaine pour lequel il y a de l'expertise disponible grâce aux connaissances acquises sur les divers chantiers. Par contre, on compte peu de réalisation de tunnel de 13 à 14 m : celui sous l'Elbe à Hambourg et celui de la baie de Tokyo en sont des exemples. Un autre tunnel de 14 m est prévu dans la région de Niagara, pour le transport de l'eau. Ce type de tunnelier fait appel à une technologie expérimentale non développée, sans statistique ni vécu. Les coûts associés sont donc faramineux.

La construction de deux tunnels de 11 m, séparés d'environ une largeur et raccordés de place en place, utilise une technologie de pointe, mais éprouvée. Les coûts de forage et de finition sont cependant importants.

Pour diminuer les coûts de réalisation du lien sous-fluvial, il a été étudié, mais non retenu, de ne faire qu'un seul tunnel à trois voies alternées; deux dans le sens du trafic majeur et une dans l'autre sens, avec inversion suivant l'heure de pointe. Sachant que l'accidentologie est quatre fois supérieure dans un tunnel à double sens que dans des tunnels à sens unique, chaque voie devrait être physiquement séparée. Le tunnel serait composé de trois voies de 4,5 m, deux séparations style « New Jersey¹ » de 750 mm, deux surlargeurs extérieures de 1,0 m pour une largeur totale intérieure de 17,0 m. Un tunnelier de cette grandeur n'est même pas envisageable. Seul un tunnel déposé ou dynamité serait possible. Il n'est pas certain à cette dimension, que les coûts soient si intéressants par rapport aux deux tunnels de 11 m.

Plusieurs autres aspects rendent cette solution peu attrayante. Il faudrait que la séparation soit ouverte de place en place, pour accéder à chaque voie en cas de panne ou d'accident. Chaque ouverture constituant un danger, il faudrait que ce soit des accès refermables. Une panne ou un accident, en monopolisant deux voies au moins pour un temps, créerait une congestion totale dans tout le tunnel. Il est notoire qu'en cas d'accident dans un sens, les véhicules circulant en sens opposé ralentissent très fortement, quand ils ne créent pas un autre accident. Pour des raisons de sécurité, il y a peu de chance que cette solution fasse consensus au sein des divers organismes gouvernementaux.

¹ Muret de béton à base élargie, utilisé comme séparateur de voies sur les autoroutes urbaines sans terre-plein central.

3.2 Profil longitudinal

Le profil de l'option tunnel est montré aux figures 3.3 et 3.4 en fonction du point de raccordement sur la rive sud. La figure 3.5 montre le profil de l'option pont-tunnel. Ces profils sont présentés à titre indicatif.

Les conditions qui régissent le profil du tunnel sont de deux ordres. D'une part la pente maximale admissible et d'autre part le couvert minimum au-dessus du tunnel.

La pente maximale d'un tunnel routier est de 4,5 %. C'est la pente d'accès au tunnel Louis-Hippolyte-Lafontaine, seule comparaison existante au Québec.

Une pente plus abrupte diminuerait certes la longueur du tunnel en permettant une rampe moins longue sur la rive sud, par contre, elle provoquerait un ralentissement des véhicules lourds, une congestion du tunnel et un besoin de ventilation accru. Pour que la rampe passe de 3 km de longueur à 2 km, il faudrait que la pente soit portée à 7 %. C'est la pente actuelle du boulevard Henri IV, où certains poids lourds montent péniblement à 50 km/h.

Un tunnel excavé dans le roc nécessite un couvert rocheux équivalent à au moins deux fois le diamètre du tunnel surtout pour un tunnel sous-fluvial, donc 22 m dans le cas présent. La profondeur du tunnel excavé dans le mort-terrain, quant à elle, est fonction des caractéristiques géomécaniques du terrain traversé. C'est-à-dire que plus le terrain est perméable ou constitué de matériaux fins (sable fin, silt, argile), plus il est avantageux d'aller en profondeur, et à plus forte raison si le tunnel est localisé sous un cours d'eau.

Étant donné l'état actuel des connaissances sur la topographie du fond du fleuve et de la géologie, les profils montrés sur les figures sont ceux élaborés par extrapolation à partir des études disponibles. Ces profils sont présentés afin de donner une image de ce que pourrait être la configuration d'un tunnel sous le fleuve.

En particulier, l'épaisseur du mort-terrain est issue de forages effectués sur un tracé différent de celui retenu. La position des forages est montrée sur la figure 2.1. Sur les profils, les forages sont aussi identifiés. Les chiffres inscrits sous les identifications indiquent la distance en mètres à laquelle a été effectué le forage.

3.3 Liaisons inter-tunnel

Des liaisons inter-tunnel ont été prévues comme accès aux véhicules d'urgence advenant un incident dans un des tunnels, ainsi que pour l'évacuation des personnes. La construction de ces liaisons permet d'éliminer l'obligation d'une voie d'urgence en surlargeur. Bien que cette solution puisse paraître audacieuse, elle a déjà été expérimentée à Lyon, dans le tunnel de Caluire, long de 3,25 km.

Une distance de 500 m entre les liaisons inter-tunnel semble être sécuritaire. Elle devra être validée lors de l'étude de faisabilité.

L'excavation de ces tunnels de raccordement ne présente pas de difficulté particulière dans le roc. Dans le mort-terrain elle demandera plus de précautions, vu l'absence de protection que crée le tunnelier. Pour le tunnel de Caluire, les excavations se sont faites en pression contrôlée, après réalisation des tunnels principaux.

4 MÉTHODE DE CONSTRUCTION

4.1 Conditions géologiques

Les conditions géologiques qui prévalent le long du tracé du lien sous-fluvial sont très variables. Les informations géologiques sommaires proviennent des études antérieures et des cartes géologiques publiées par le ministère des Ressources naturelles.

Selon les connaissances actuelles du sous-sol, le premier tiers du tunnel, soit presque tout le chenal nord, sera excavé dans le mort-terrain constitué d'alluvions sur près de 60 m d'épaisseur. Ces alluvions consistent en sable fin avec un peu de silt et d'importants dépôts de silt argileux inter stratifié de sable silteux. Ces alluvions reposent sur des schistes plus ou moins altérés sur une épaisseur de 10 à 20 m.

Un peu au nord de l'Île d'Orléans, le roc remonte près de la surface, la transition du forage du mort-terrain au roc se ferait donc à cet endroit. Il serait important de situer précisément la position du roc, puisque celui-ci influence fortement les coûts de construction du tunnel.

Les formations rocheuses traversées, soit plus des deux tiers du tracé, sont constituées en majeure partie de schiste avec quelques passées de conglomérat calcaire et de grès calcaireux. Ces formations sont entrecoupées de failles majeures mais inactives et toutes présentent des pendages abrupts généralement vers le sud-est.

Toutes ces formations ne présentent aucun problème quant à la forabilité car ces roches sont friables et ont une abrasivité moyenne du fait de la faible teneur en minéraux siliceux.

Un exemple de la géologie connue du corridor du tunnel est montré sur la figure 4.1 pour le corridor Bourget. Elle est assez semblable dans le corridor Lallemand.

4.2 Méthode d'excavation

La méthode d'excavation la plus appropriée pour excaver un tunnel sous le fleuve avec les conditions qui prévalent, est un tunnelier Tunnel Boring Machine (TBM). Un exemple de ce type de machinerie est montré à la figure 4.2.

La technique du tunnelier mérite une explication. La partie avant, le bouclier, est un cylindre relativement court d'une fois et demi à deux fois le diamètre foré. À son extrémité, se trouve la tête d'abattage, un disque bombé rotatif percé d'ouvertures et muni de molettes sur toute sa surface, environ une centaine de molettes pour un tunnelier de 11 m. Lors de la rotation de la tête, poussée avec une force de plusieurs milliers de tonnes, les molettes usent et broient le rocher, qui est évacué à travers les ouvertures.

Dans la partie arrière du tunnelier, des éléments préfabriqués en béton en forme d'arc de cercle, les voussoirs, sont assemblés de manière à obtenir un tunnel en béton inséré dans le bouclier. Lorsque le bouclier avance, l'espace laissé vacant entre les voussoirs et la partie rocheuse est comblé avec un coulis de mortier injecté à travers des buses placées dans les voussoirs. De cette manière, le roc n'est jamais à nu, puisqu'un tunnel en béton est construit au fur et à mesure de l'avancement du tunnelier. Ceci permet une stabilité des parois et une étanchéité quasi parfaite. La préfabrication des voussoirs se fait en usine, installée le plus près possible de l'accès au tunnel.

Toute la machinerie destinée entre autres à faire tourner la tête, procurer la poussée, évacuer les débris, apporter de l'air frais, installer les voussoirs, injecter le coulis, guider le forage, créer une pression d'air, constitue le train suiveur. D'une longueur supérieure à 100 m, c'est une véritable usine mobile installée dans le tunnel.

Pour le creusage dans le mort-terrain : alluvions, sable, cailloutis, la tête est conçue différemment, la force de creusage étant moins importante. La véritable difficulté vient des infiltrations dans ce type de sol poreux. Afin d'éviter les effondrements et venues d'eau à l'intérieur du tunnel, une pression artificielle est bâtie dans le tunnelier, pression équivalente à celle exercée par la tête d'eau. Chaque 10 m de profondeur correspond à une fois la pression

atmosphérique. Donc, à 30 m sous le niveau de la surface, le travail doit se faire sous une pression équivalant à trois fois la pression atmosphérique. Ce mode de travail s'appelle la construction en pression équilibrée ou en hyperbare, et nécessite l'utilisation de sas et de longues périodes de décompression du personnel pour des temps d'intervention limités. C'est un mode de travail comparable à celui des plongeurs en scaphandre autonome.

La présence de mort-terrain dans le chenal nord et celle de socle rocheux dans le chenal sud, ainsi que la distance à parcourir dans chacun, nécessiteront deux tunneliers pour réaliser le percement. Ces deux tunneliers seront de conception différente : un pour le mort-terrain et un pour le rocher, afin d'optimiser le rendement. Certains tunneliers peuvent être équipés de têtes qui permettent d'excaver à la fois le mort-terrain et le roc mais le rendement est de beaucoup inférieur à celui conçu spécifiquement pour la condition de mort-terrain ou celle de roc. La longueur d'excavation dans l'un et l'autre type de sol justifie l'emploi de deux types de tunnelier.

L'excavation du tunnel dans le socle rocheux par la méthode de forage et dynamitage ne peut être considérée à cause de la nature des roches. La nature friable du roc nécessiterait du soutènement temporaire, des ancrages et le bétonnage sur place du pourtour de la galerie creusée. Les venues d'eau, inévitables dans le roc faillé, seraient un frein considérable à l'avancement des travaux. Généralement, dans les schistes il se produit de nombreux hors-profils lors des dynamitages, qui accroissent énormément les quantités de béton en plus d'obliger à du soutènement et à de la consolidation des parois rocheuses. De plus, lorsque le schiste est exposé à l'air, il se désagrège facilement et peut provoquer la chute de blocs.

Le percement de deux plus récents tunnels sous le fleuve St-Laurent : le tunnel Grondines-Lotbinière, construit pour Hydro-Québec et celui de St-Augustin-St-Nicolas, construit pour la compagnie gazière Trans Québec et Maritimes (TQM), a été réalisé avec tunnelier. Celui de TQM avait 3 m de diamètre et celui de Grondines 4,2 m. Le tunnel par tunnelier se construit beaucoup plus vite et à un coût bien moindre que par la méthode de forage-dynamitage (drill and blast).

Dans le bras nord du fleuve où le mort-terrain couvre plus de 2 kilomètres du tracé, une variante avec un tunnel déposé a été considérée. Il s'agit d'un tunnel préfabriqué sur la rive et dont les sections sont mises en place par flottaison et immersion. L'installation d'un tunnel déposé nécessiterait l'excavation par dragage d'une tranchée de plus d'une quinzaine de mètres de profondeur dans des sédiments silteux et argileux avec des pentes d'excavation transversales très faibles de l'ordre de 3 à 4 horizontal pour un vertical. En effet, les sections du tunnel doivent être enfouies et recouvertes de sol afin d'être maintenues en place.

Le dragage dans le lit du fleuve amène la remise en circulation des sédiments fins ainsi que les contaminants qui se sont déposés antérieurement. Ce dragage a un impact majeur sur l'environnement du fleuve.

La mise en place d'un tunnel déposé demanderait d'imposantes excavations en bordure du fleuve pour la construction d'une cale sèche où seront construites les sections de tunnels à installer dans le fond. Le problème de mise en place est compliqué par la présence de marées qui amènent une inversion de courant au moins deux fois par jour. Le positionnement des sections préfabriquées, par plongeurs, devient alors long et ardu.

4.3 Travaux connexes

Ces travaux comprennent l'excavation des portails d'entrée et de sortie des tunnels, des puits d'accès et de secours. Ces puits sont excavés dans le but de permettre de retirer les tunneliers afin de les réinstaller ailleurs pour l'excavation du second tunnel. Ces puits servent aussi d'accès et de puits de soutirage (enlèvement des matériaux excavés).

Les puits de ventilation sont des puits qui sont excavés jusqu'au tunnel pour l'aération durant la construction et pour la ventilation lors de l'opération du tunnel. De plus, ces puits peuvent être utilisés comme sortie de secours. Les portails sont les extrémités du tunnel, excavées pour permettre le montage des tunneliers à l'endroit où le couvert nécessaire au début du percement est atteint. Ce sont les rampes d'accès au tunnel.

Ministère des Transports
Centre de documentation
700, boul. René-Lévesque Est,
21^e étage
Québec (Québec) G1R 5H1

4.4 Gestion des déblais

L'excavation des tunnels produira près de 2,0 millions de mètres cubes de déblais constitués à 75 % de roc broyé par le tunnelier. Le diamètre maximum des particules est de l'ordre de 50 mm et celles-ci peuvent être utilisées comme remblai seulement. Environ le quart des déblais proviendra du mort-terrain excavé dans le bras nord du fleuve et sera constitué de sable silteux et argileux qui risque d'être sous forme liquide une fois excavé en raison de sa forte teneur en eau.

Plusieurs carrières désaffectées existent tant sur la rive sud que la rive nord. Celles-ci pourraient servir d'aires de rebuts pour tous ces déblais. Une étude approfondie devra être réalisée lors de l'étude de faisabilité afin de déterminer les sites les plus appropriés. L'étude d'impact explicitée au chapitre 10 devra se pencher sur les aspects environnementaux découlant de la gestion des déblais.

5 ÉCHÉANCIER DE RÉALISATION

5.1 Étapes de préparation

Ces étapes concernent le cheminement du dossier jusqu'à ce que la construction débute.

Le cheminement de l'idée d'un lien sous-fluvial, de 1956 à nos jours, fait partie de ces étapes préparatoires. C'est la phase sensibilisation et prise de conscience du projet. Elle se prolongera jusqu'à ce que les pressions engendrées par la congestion des ponts alliées à la volonté des organismes de planification régionale, amènent à la mise en branle du processus de réalisation.

Une fois enclenchée, la réalisation proprement dite passera par les étapes décrites aux chapitres 8 et suivants : étude de faisabilité, recherche de financement, étude d'impact environnemental avec audiences publiques, avant-projet détaillé et appel d'offres. Cette phase se terminera par l'octroi du contrat de construction. Sa durée n'est pas déterminée, la période de temps liée à la recherche de financement étant inconnue. À titre d'exemple, les étapes préparatoires du tunnel de Caluire à Lyon ont duré 11 ans entre l'inscription du projet au schéma directeur et sa déclaration d'utilité publique. De cette déclaration jusqu'au début de l'excavation, quatre autres années se sont écoulées. Cet échéancier est présenté à la figure 5.1.

En présumant que la recherche de financement ne durerait pas plus d'une année, un échéancier de réalisation préparatoire à la construction est proposé à la figure 5.2. Il dure 5 ans et demi.

5.2 Étapes de construction

La construction d'un tunnel est une opération spécifique qui demande beaucoup de temps et d'efforts, aussi bien pendant l'étape de préparation que pendant celle de l'avancement des travaux. L'échéancier de construction du tunnel est présenté à la figure 5.3. Il dure 6 ans et

deuxième. En additionnant les phases préparatoires, on obtient 12 années entre la décision de construire le tunnel et le passage du premier véhicule.

Pour la variante pont-tunnel, l'échéancier de construction serait plus court, compte tenu de la possibilité de construire le pont en même temps que le percement du tunnel. Cet échéancier n'a pas été établi, compte tenu du peu d'intérêt de cette solution.

Bien sûr, ces échéanciers sont préliminaires, ils seront modifiés lors de l'étude de faisabilité, lorsque les conditions de réalisation seront précisées.

6 COÛTS BUDGÉTAIRES DE CONSTRUCTION

6.1 Lien sous-fluvial

Les coûts budgétaires présentés ci-après sont des estimations très sommaires en sachant que les conditions existantes sont peu connues et peuvent varier de façon importante.

Les coûts proviennent de projets similaires achevés récemment ou en phase de réalisation. Les coûts qui nous ont été fournis sont des coûts de projets globaux incluant toutes les structures annexes (portail, structure de béton, appareillage, etc.). Ces coûts correspondent à des tunnels excavés à l'aide d'un tunnelier et non par la méthode de forage-dynamitage. Il n'est pas possible à ce stade-ci de détailler les coûts pour les structures annexes tels que les portails et batardeaux de ceinture, puits de ventilation et d'accès, ventilation et éclairage, etc. Une telle estimation ne peut se faire qu'à l'étape de l'étude de faisabilité, lorsque les incertitudes sur la géologie du site seront levées.

Les projets qui sont présentés ci-dessous permettent une comparaison de coûts en dollars canadiens.

Localisation	Diamètre tunnel	Longueur	Utilisation
Niagara, Ont.	14,0 m	10,5 km	Galerie d'amenée, 50 000 \$/m.lin.
Tunnel de Caluire, Lyon, France	11,0 m X 2	3,25 km	Autoroute 2 voies, 54 300 \$/m.lin.
Métro, Caire, Égypte	8,0 m	6,0 km	Tunnel de métro, 111 000 \$/m.lin.

Les coûts de réalisation de ces projets rapportés au lien sous-fluvial donnent des coûts unitaires au mètre linéaire d'environ 50 000 \$ dollars, ce qui correspond pour les deux tunnels de 15 km total à un coût global de 750 millions de dollars. Sur la base des connaissances actuelles, ce coût représente une valeur plancher.

Dans le mort-terrain, le coût unitaire peut aller jusqu'au double de cette évaluation. Par contre, pour la section dans le roc, les coûts sont légèrement inférieurs, dû à la présence de shale et de schiste qui ne sont pas trop durs d'attaque avec un tunnelier. Le coût moyen de 50 000 \$ par mètre tient compte de la proportion envisagée de chaque type de sol.

Sur la base des connaissances actuelles, la section dans le roc représente les deux tiers du tracé, et celle dans le mort-terrain l'autre tiers. Si les investigations géologiques montrent une possibilité d'éviter en tout ou en partie l'excavation dans le mort-terrain, le coût global du tunnel pourrait diminuer substantiellement.

Dans une phase préliminaire, une évaluation de l'épaisseur de mort-terrain et du niveau du roc dans le bras nord pourrait être envisagée à l'aide d'un levé géophysique.

Quelques tunnels actuellement en construction aux États-Unis avec d'autres méthodes donnent des points de comparaison. Les prix ci-après sont en dollars U.S. Ils montrent l'intérêt de la construction par tunnelier, moins onéreuse.

- Tunnel de Haiku, Honolulu : 1 040 m, 4 voies en tunnels jumeaux, méthode par forage-dynamitage. Coût 113 M \$, soit 109 000 \$/m.
- Tunnel de Boston, section C11A1, 610 m, 4 voies divisées par une cloison, construction en tranchée ouverte refermée. Coût 378 M \$ ou 620 000 \$/m.
- Tunnel de Boston, section C09B1, 220 m, 4 voies non divisées, tunnel déposé dans l'eau. Coût 301 M \$ ou 1,37 M \$/m.
- Région de Washington, route Bunyard, 490 m, 4 voies non divisées, méthode forage-sautage. Coût 37 M \$ ou 75 000 \$/m.

Le coût des échangeurs, tant sur la rive nord que sur la rive sud peut être évalué à 15 M \$ chacun. Compte tenu de l'imprécision du coût des tunnels en raison du manque d'information sur la géologie du site, le montant des échangeurs peut être englobé dans l'estimation globale de 750 M \$.

6.2 Alternative pont-tunnel

Deux types de pont ont été considérés, soit un pont à haubans avec portée centrale de 250 m, soit un pont à encorbellement avec portée de 185 m. C'est ce dernier type de pont qui est illustré sur la profil 3.4.

Les coûts moyens de ces ponts sont issus de l'étude Vandry-Jobin, où des recherches excessivement poussées avaient été faites aussi bien sur la technique que sur les prix. En tenant compte de l'indice des prix de Statistique Canada, les coûts 1979 devraient être multipliés par 1,84 pour être actualisés. Nous avons utilisé plutôt un facteur de 1,5 pour tenir compte d'une certaine stabilité constatée dans le prix des matériaux, dont l'augmentation est inférieure à celle de l'indice général des prix.

Le pont à haubans revient à 2 400 \$/m² pour une largeur de tablier d'environ 20 m (4 voies divisées et trottoirs d'urgence), le pont reviendrait environ à 100 M \$.

Le pont à encorbellement est un peu moins cher, soit 2 200 \$/m². Le coût total serait de 90 M \$.

La partie tunnel, longue de 3 km chiffre 300 M \$. Les deux portails, de 300 et 550 m coûteraient cher parce que construits dans la zone de marnage. Ils sont estimés à 100 000 \$/m ou 85 M \$. Le total de cette option serait au niveau de :

· Pont :	90 M \$
· Tunnel :	300 M \$
· Portails :	85 M \$
· Route d'accès, viaducs et échangeurs :	<u>55 M \$</u>
	530 M \$

À ce coût, il faudrait ajouter celui des acquisitions de terrain, puisqu'une grande partie du parcours sur la rive sud serait en surface. Quant aux mesures de mitigation, dû à l'impact sur l'environnement du fleuve, leur montant ne pourrait être établi qu'après une étude idoine.

7 RENTABILITÉ

Avant de définir les étapes de réalisation du lien sous-fluvial, il convient de vérifier brièvement la faisabilité financière du projet.

Comme il est expliqué à l'article 8.10 et au chapitre 9, il est très probable que le financement du tunnel soit en grande partie sinon en totalité d'origine privée. Sa rentabilité serait alors assurée par des tarifs de passage. La connaissance du nombre d'utilisateurs potentiels du nouveau lien devient donc impérative.

7.1 Simulation du volume de circulation

L'objectif de cette simulation est d'estimer les volumes de circulation qui emprunteraient un lien inter-rives à l'est de Lévis-Québec. Une estimation a été faite rétrospectivement pour l'année 1991, à partir du modèle d'affectation de la demande de Québec. Cette donnée a été actualisée à 1996 en fonction des compilations de circulation disponibles les plus récentes. Une dernière estimation a été établie, à partir du même modèle d'affectation, mais en intégrant les prévisions de demande du scénario tendanciel 2011 du ministère des Transports du Québec.

Le volume de circulation sur un lien inter-rives entre Lévis et Beauport a été estimé à l'aide du modèle d'affectation des déplacements dans l'agglomération de Québec, développé pour la Direction territoriale de Québec du ministère des Transports du Québec (MTQ). Le modèle a été développé sur le logiciel EMME-2, à l'aide des données de l'enquête téléphonique sur les origines et destinations des déplacements recueillies pour le compte de la Société de transport de la Communauté urbaine de Québec (STCUQ) en 1991. La modélisation sur EMME-2 permet d'affecter des débits de circulation sur des liens routiers et de transport en commun à partir d'une matrice origine-destination et des caractéristiques du réseau routier. Par exemple, un lien peut être caractérisé comme une autoroute à deux voies par direction et une vitesse libre de 100 km/h.

Le modèle calcule la répartition des itinéraires des voyageurs de façon à ce que les temps de parcours soient minimaux et que chaque voyageur n'ait pas intérêt à modifier son itinéraire; c'est ce qu'on appelle le modèle d'équilibre. Les vitesses et temps de parcours dépendent de la situation de congestion, donc du volume de véhicules, suivant différentes courbes vitesse-volume et en fonction des différentes capacités et facteurs de friction et de synchronisation. La modélisation du réseau routier a fait l'objet d'une calibration de dix itérations. Chaque itération raffinant la précision des résultats. La figure 7.1 reflète les volumes de circulation simulés de période de pointe du matin, soit entre 7 h et 9 h pour l'année 1991.

Des simulations du réseau routier modifié par l'ajout d'un lien de type autoroutier entre les deux rives soit entre les échangeurs autoroute 40 / Dufferin-Montmorency et autoroute 20 / Mgr-Bourget ont été effectuées afin de déterminer le volume de déplacements qui se ferait par le nouveau lien. Des variantes de simulations ont été également établies afin de déterminer l'impact de l'aménagement du lien dans l'axe de la route Lallemant plutôt que dans l'axe du boulevard Mgr-Bourget. En supposant une répartition de la circulation sur le nouveau lien sous-fluvial comparable aux différentes heures du jour à celle du pont Pierre-Laporte, le débit journalier moyen annuel (DJMA) sur le nouveau lien se serait établi en 1991 à 23 000 véhicules/jour dans l'axe Bourget et à 21 300 dans l'axe Lallemant.

Les simulations ont permis de déterminer l'influence du nombre de voies, 2 ou 3, et l'impact du volume de camionnage sur les conditions de circulation. Les résultats ne montrent pas de différence significative entre un lien à deux ou trois voies. Ceci vient confirmer le concept préconisé du tunnel à deux voies, une troisième n'apportant pas de gain au niveau circulation. L'impact du camionnage ne nécessite pas non plus l'ajout d'une autre voie.

En 1996, le volume de déplacements sur le pont Pierre-Laporte, plus précisément le débit journalier moyen annuel (DJMA), s'établissait à 107 000 véhicules/jour, une hausse de 14,5 % par rapport à 1991 (93 460). La population de la MRC des Chutes-de-la-Chaudière a augmenté de 12 % au cours de la même période. Globalement, la structure de répartition de la population dans l'agglomération est demeurée semblable entre 1991 et 1996, bien que la rive sud détenait en 1996 une part de 20,1 % de la population de l'agglomération contre 19,2 % en 1991. La figure 7.2 montre le débit de circulation bidirectionnelle dans la région de Québec en 1996,

selon un extrait de la plus récente carte disponible. Il s'agit du débit moyen journalier, et non de celui des heures de pointe.

En considérant l'évolution entre 1991 et 1996, le volume sur le lien projeté aurait été en 1996 de 26 400 véhicules/jour ou 24 400 véhicules/jour suivant le choix de l'axe Bourget ou Lallemand. Le volume de circulation sur le pont Pierre-Laporte serait réduit de 17 %. Par ailleurs, le volume sur l'autoroute de la Capitale à la hauteur de l'avenue Seigneuriale augmenterait de 25 %. Le tableau ci-dessous présente les DJMA du lien inter-rives selon différents scénarios.

Débit bidirectionnel moyen en véhicules par jour

	Pont Pierre-Laporte	Lien Lévis-Québec
Sans intervention, 1991	93 460	N/A
Axe Bourget, 1991	77 470	23 090
Axe Lallemand, 1991	78 850	21 340
Sans intervention, scénario tendanciel MTQ 2011	119 800	N/A
Axe Bourget, scénario tendanciel MTQ 2011	94 190	41 920

N/A : Ne s'applique pas.

Source : MTQ

Traitement : Trecur

Des simulations ont également été faites suivant le scénario tendanciel de population en l'an 2011 développé par le MTQ. Ce modèle de prévision de la matrice origine-destination est basé sur les tendances de croissance démographique selon les différents secteurs de l'agglomération, celles des taux de mobilité et de motorisation suivant les différents groupes d'âge, les tendances de la croissance de l'emploi dans les différents secteurs de l'agglomération. Un ajustement des taux a été effectué pour tenir compte de la mobilité accrue des femmes. La matrice origine-destination suppose que le réseau de transport demeure identique. Suivant ce scénario, le nombre global de mouvements de voitures (déplacements auto-conducteur) à la période de pointe du matin augmenterait de 17,8 % entre 1991 et 2011.

Suivant les résultats du modèle, les secteurs de Saint-Jean-Chrysostome, Saint-Romuald sur la rive sud et de Beauport-nord sur la rive nord devraient connaître une croissance plus forte de leur population et des déplacements en originant. De la même façon, Lévis apparaît comme un pôle d'emploi appelé à croître et à attirer plus de déplacements.

Le volume du nouveau lien inter-rives serait en 2011, suivant ce scénario, de 42 000 véhicules/jour, dans l'hypothèse de l'axe Bourget et de 39 000 dans l'hypothèse Lallemand, alors que le volume sur le pont Pierre-Laporte serait pratiquement le même qu'en 1991, soit 94 000 véhicules/jour. Le volume estimé sur le nouveau lien correspond à une augmentation de 59 % entre 1996 et 2011, alors que le volume sur le pont Pierre-Laporte diminuerait de 12 % par rapport à 1996. La croissance observée sur le nouveau lien pourrait s'expliquer par le dynamisme et les caractéristiques démographiques des zones centrales de la rive sud, la force d'attraction de Lévis comme pôle d'emploi et la congestion sur les ponts Pierre-Laporte et de Québec.

La proportion de véhicules lourds sur le pont Laporte et sur ses accès varie suivant l'heure du jour entre 4 et 11 % du nombre total de véhicules empruntant les deux ponts. Rappelons que le pont de Québec est interdit aux véhicules lourds, à l'exception des autobus. En appliquant au lien sous-fluvial la proportion actuelle moyenne de 7 %, le volume de véhicules lourds aurait été de l'ordre de 1 600 véhicules/jour en 1996 et serait de 2 900 véhicules/jour en 2011.

7.2 Simulation financière

Connaissant le débit potentiel du lien sous-fluvial, il devient intéressant de vérifier par une simulation financière quelle serait la rentabilité moyenne et à long terme de son exploitation.

Hypothèses de base

La figure 7.3 présente les hypothèses de base de l'analyse financière préliminaire du projet de lien sous-fluvial Québec-Lévis.

On suppose que le tunnel sera ouvert 365 jours par année. Le taux de croissance moyen annuel du trafic trans-fluvial est de 3 % par an, soit le taux d'augmentation issu des simulations de circulation entre 1991 et 2011. Le débit total au tunnel distingue entre deux catégories de véhicules : les voitures et camionnettes d'une part, et les poids lourds de l'autre. Les poids lourds représenteraient 7 % du trafic routier, comme actuellement.

Réparti sur les dix années de construction, l'investissement total de 750 000 000 \$ CAN se financerait aux deux tiers sur emprunts, 26,6 % sur levées de fonds à la bourse et 6,6 % sur fonds publics. Le taux d'intérêt des emprunts, soit 6,5 % par an, se calque sur les taux obligataires à long terme (30 ans) d'Hydro-Québec qui sont actuellement de 6,4 % par an. La période de remboursement des emprunts est de 40 ans.

Les frais annuels d'entretien et d'exploitation sont fixés à 3 % de l'investissement total et les frais d'administration sont plafonnés à 0,75 % des revenus totaux.

Toutes ces hypothèses sont sujettes à vérification.

Pour fins de calcul de la simulation financière, le début de la construction se situe en 1999.

Résultats financiers

Le projet atteindrait le seuil de rentabilité financière en autant que les hypothèses de base tiennent. Dès la première année d'exploitation, le flux financier, soit l'excédent des revenus sur les dépenses, atteint 27,1 millions de dollars.

Avec un tarif de passage de 4,50 \$ par voiture et de 16,00 \$ par poids lourds, cette analyse financière sommaire indique que le taux de rendement interne (TRI) atteindrait 6,77 %, ce qui est indicatif d'une rentabilité financière suffisante pour attirer les capitaux nécessaires. Il faut, en effet, que le TRI financier dépasse le taux d'emprunt pour que le projet soit rentable. Avec un TRI de 6,77 %, le projet présente un intérêt financier certain, en plus de l'intérêt social et économique à long terme, d'où l'importance d'en poursuivre l'étude.

Les hypothèses et analyses financières sont montrées dans les figures :

- 7.3 Hypothèse de base;
- 7.4 Analyse de remboursement;
- 7.5 Calcul du taux de rendement interne.

PARTIE II – ÉTAPES DE RÉALISATION

8 ÉTUDE DE FAISABILITÉ

L'étude de faisabilité est la première étape du cheminement vers la réalisation. C'est elle qui va préciser le projet, en définir les paramètres, lever les incertitudes, évaluer les coûts réels. C'est un pré-requis sans lequel le projet ne peut pas progresser. Les connaissances actuelles du site et des impacts et retombées ne sont pas suffisamment cernées à l'heure actuelle pour prendre des décisions finales. Il est possible de statuer que le projet est réaliste et réalisable, mais pas de définir comment parvenir à son accomplissement.

L'étude de faisabilité doit être réalisée avec beaucoup de rigueur. Bien faite elle permet une meilleure recherche de financement, une obtention des autorisations plus facile.

L'étude de faisabilité doit comprendre les démarches suivantes :

- Étude de circulation;
- Investigations géotechniques;
- Ingénierie préliminaire;
- Évaluation des problématiques environnementales;
- Autorisations préalables;
- Recherche des titres de propriétés;
- Étude des retombées socio-économiques;
- Campagnes d'opinion publique;
- Estimation des coûts;
- Étude de rentabilisation.

Toutes ces démarches ne se font pas nécessairement de façon chronologique. Plusieurs se font de manière simultanée, mais l'ensemble de l'étude de faisabilité prendra au moins un an, et peut-être plus si elle débute en hiver alors que les investigations géotechniques ne sont pas possibles.

Le sérieux d'une telle étude nécessite un investissement de 2 à 3 millions de dollars, auquel s'ajoute le montant des investigations géotechniques.

Les démarches de l'étude sont détaillées ci-après.

8.1 Étude de circulation

Une des raisons d'être du lien sous-fluvial est de régler un problème de circulation. Il est prévu que les ponts Laporte et de Québec arriveront à saturation vers 2015, ou vers 2050 à condition d'ajouter une septième voie au pont Laporte et d'étaler la période de pointe de circulation sur deux heures.

Dans ce dernier cas, des travaux majeurs aux échangeurs et autoroutes actuels devront être réalisés.

En plus des ponts qui subissent des pressions aux heures de pointe du matin et du soir, une autre partie du réseau aurotoutier est engorgée. Il s'agit de l'autoroute Henri IV entre l'échangeur nord du pont Laporte et l'autoroute de la Capitale. L'encombrement de cette autoroute est fréquent même en dehors des heures de grande circulation, particulièrement pour le tronçon entre l'autoroute Charest et l'autoroute de la Capitale.

Le lien sous-fluvial, en déplaçant une partie du trafic, viendra soulager cette artère et permettrait d'éviter des modifications très coûteuses aux échangeurs.

Il risque cependant d'aggraver la congestion de la partie à 2 voies de l'autoroute de la Capitale située dans les limites de Beauport. Ce tronçon est déjà chargé matin et soir.

Pour juger de l'adéquation du réseau routier actuel et pour justifier le projet de lien sous-fluvial Québec-Lévis, l'étude de circulation devra être beaucoup plus fouillée et considérablement plus approfondie que la simple simulation du chapitre 7. L'étude devra actualiser les données de trafic pour établir les fourchettes de projections du débit routier sur la durée de vie du projet. Elle dressera donc l'historique du projet, caractérisera les débits journaliers, la composition, l'origine et la destination du trafic, le temps de parcours, les risques d'accidents routiers, les niveaux de service requis, et toutes les données requises pour une analyse en profondeur. L'étude doit considérer la capacité routière du réseau existant et les projets d'expansion de l'infrastructure routière en termes d'échéancier et de coûts pour fins de comparaison entre solutions de rechange.

L'étude de circulation doit ultérieurement permettre ou faciliter :

- l'estimation des économies de temps et de distance parcourue, les économies en coût de roulement, les avantages ou désavantages en termes de sécurité et de risques d'accidents, etc;
- l'évaluation de l'impact sur les valeurs foncières dans la zone d'influence du projet et sur l'étalement urbain;
- la quantification des réductions de coût attribuables au projet : réduction des coûts d'entretien des ponts, économie des coûts d'exploitation des traversiers, etc.
- une caractérisation de l'impact intermodal sur les transports.

8.2 Investigations géotechniques

Il s'agit d'une démarche primordiale dans la réalisation du projet. Les investigations géotechniques ont pour but de déterminer les conditions du sous-sol dans lesquelles le tunnel sera excavé et de prendre en compte celles-ci dans la conception des ouvrages. Dans les travaux souterrains, et surtout pour ceux de cette envergure, ce sont les conditions inconnues ou non décelées lors des travaux d'investigation qui occasionnent les problèmes. Un projet de tunnel, dont la caractérisation géotechnique a été faite avec rigueur, permet une réalisation avec peu de coûts supplémentaires et selon l'échéancier prévu.

Les investigations géotechniques permettent de définir précisément les caractéristiques physiques des matériaux dans lesquels les tunnels seront excavés. Il s'agit d'une opération d'envergure dont les principales étapes pour réaliser un programme complet d'investigation sont les suivantes :

- Revue et consultation en détail de toute l'information disponible;
- Photo-interprétation des photographies aériennes;
- Reconnaissance géologique de surface;
- Levés de géophysique par méthode sismique;
- Sondages, forages, pressiomètre, puits et tranchées distancés;
- Essais géomécaniques in situ;
- Essais de laboratoires.

Ces démarches permettent de définir un tracé préliminaire. Elle se déroulent en deux phases. La première détermine le tracé qui semble le mieux adapté aux conditions. La deuxième est l'investigation du corridor retenu afin d'obtenir en détail l'information suffisante pour produire une estimation préliminaire et développer les méthodes de construction les plus appropriées.

Les aléas constructifs pèsent lourd sur les coûts et sur les délais. De grands progrès doivent toujours être recherchés dans la connaissance des caractéristiques géotechniques des terrains qui seront rencontrées tout le long du creusement et dans la meilleure façon d'en tenir compte.

Une étude de faisabilité pour un projet de cette envergure pourrait durer 2 ans incluant les travaux d'investigations géotechniques. Le coût des investigations géotechniques se situe autour de 1 % du coût total du projet, dont près de la moitié seront réalisées durant l'étude de faisabilité. Si on parle d'un projet dont le coût total se situerait autour de 750 millions, c'est-à-dire plus ou moins 7,5 millions pour les travaux d'investigations géotechniques dont la moitié serait exécutée lors de l'étude de faisabilité.

8.3 Ingénierie préliminaire

Il s'agit, à partir de la décision sur le type d'ouvrage à privilégier, de concevoir l'ingénierie du lien sous-fluvial et celle des raccordements. Cette conception devra se faire en étroite collaboration avec le ministère des Transports du Québec.

Cette phase et la précédente sont concomitantes et interdépendantes. L'avancement de l'investigation géotechnique influence la méthodologie de creusement, et l'avancement de la conception guide les investigations supplémentaires.

8.4 Évaluation des problématiques environnementales

La *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* et les directives d'évaluation environnementale québécoise exigent l'étude approfondie du projet et prévoient que l'examen de l'évaluation environnementale par une commission publique portera sur les raisons d'être du projet et sur les solutions de rechange réalisables sur les plans technique et économique.

L'exposé du contexte d'insertion et de la raison d'être du projet doivent permettre d'en dégager les enjeux environnementaux, sociaux, économiques et techniques. Les principaux aspects à relever comprendront, entre autres :

- L'état de la situation : historique, débits journaliers, composition, origine et destination du trafic, temps de parcours, accidents routiers, capacité routière, niveaux de service, etc.;
- Les problèmes à résoudre;
- Les avantages et inconvénients du projet;
- Les intérêts et principales préoccupations des parties impliquées;
- Les principales contraintes écologiques;
- Les exigences techniques et économiques pour son implantation, notamment en termes d'importance et de calendrier de réalisation;
- Les politiques et les grandes orientations gouvernementales en matière d'aménagement du territoire, la gestion de l'urbanisme, de sécurité publique, etc.

L'analyse des risques d'accidents est une des exigences du gouvernement du Québec par rapport à l'évaluation environnementale. Elle repose sur la détermination des dangers (produits dangereux, défaillances des systèmes, sources de fuites, transport de substances toxiques, etc.) à partir desquels des scénarios d'accidents sont établis. Un bilan des accidents passés durant les cinq dernières années pour des ouvrages similaires fournira des informations supplémentaires pour l'établissement des scénarios. Une estimation des fréquences d'occurrence des risques liés au projet sera réalisée. Tant les éléments d'origine naturelle (inondation, séisme, etc.) qu'humaine (accidents de route, explosions, etc.) doivent être considérés. Ces informations seront intégrées dans la planification des mesures de prévention, de sécurité et d'urgence. Les coûts et bénéfices optimisés seront intégrés à l'analyse avantages/coûts.

8.5 Autorisations préalables

Étant donné l'envergure et les impacts appréhendés du projet, il est évident qu'il faudra obtenir des autorisations de divers organismes gouvernementaux, et ce tant au niveau provincial que fédéral. En premier lieu, quatre acteurs principaux sont concernés, deux au fédéral ; Transport Canada et Environnement Canada, et deux au provincial ; le ministère des Transports et le ministère de l'Environnement. Par ailleurs, plusieurs ministères et organismes peuvent également intervenir directement ou indirectement lors du développement d'un tel projet, étant donné leur vocation ou juridiction spécifique. On peut penser, par exemple, à des organismes ou ministères voués aux finances publiques, aux affaires municipales, aux développements économique et régional ou encore à divers organismes appelés à intervenir lors de la réalisation du projet, par exemple pour régir la main-d'œuvre, les modalités de construction, la santé et la sécurité des travailleurs etc.

Il est donc essentiel, en amont du projet, d'identifier tous ces intervenants publics et parapublics et de connaître précisément leurs modalités d'intervention. Ceci permettra notamment d'évaluer la viabilité du projet et de mesurer l'ampleur de certains risques. Une recherche exhaustive doit donc être menée en ce sens. Elle devra permettre d'établir :

- La liste complète des intervenants directs et indirects;
- Les processus et modalités exacts de leur intervention;
- Le cas échéant, les interfaces entre ces intervenants;
- Une ébauche de cheminement critique intégrant toutes les démarches formelles à entreprendre.

Par ailleurs, il ne suffit pas de bien connaître les processus en cause, de poser les bons gestes, au bon moment, par exemple. Il est tout aussi impératif, sinon davantage, de jauger l'accueil que réserveront ces acteurs au projet et de jeter les bases d'une stratégie visant à améliorer leur acceptation. Et ce résultat ne s'obtient pas spontanément ; c'est plutôt le fruit d'une démarche articulée, que l'on a tout avantage à amorcer le plus tôt possible lors du développement du projet. Un programme de relations gouvernementales doit ainsi être élaboré, puis mis progressivement en application.

Ce programme de relations gouvernementales visera trois types de publics. Il y a tout d'abord les milieux financiers - institutions financières, acteurs économiques importants - sans l'appui desquels le projet ne saurait exister. En second lieu, on retrouve les différents acteurs politiques, de tous niveaux : fédéral, provincial, régional et local. Et finalement, il y a les intervenants concernés de l'administration publique, encore là à tous les niveaux (fédéral, provincial, régional et municipal). Quant à ce dernier public, on ne saurait trop insister sur l'impact que les « serviteurs de l'État » peuvent avoir non seulement sur le développement d'un projet, mais aussi sur sa réalisation.

Un programme de relations gouvernementales s'élabore en deux étapes :

- *Établissement du contexte d'intervention.* À cette étape, on effectue une recherche pour identifier précisément les acteurs à viser et pour cerner les principaux enjeux socio-politiques qui les touchent. Les actions suivantes devront être entreprises :
 - On constituera tout d'abord l'inventaire exhaustif des personnes à cibler. Cet inventaire précisera également les caractéristiques de ces acteurs et l'interaction pouvant exister entre eux.

- On procédera ensuite à des entrevues auprès de personnes clés, dans le but de parfaire notre connaissance de ces acteurs, de cerner leurs principales préoccupations, perceptions et opinions à l'égard du projet.

Conception d'une stratégie de communication et d'un plan d'action. Cet exercice permettra notamment d'établir les bases d'une stratégie gagnant-gagnant (win-win) à établir avec ces acteurs. À cette étape également, on développera une argumentation adaptée et on proposera que les outils de communication permettent de faire valoir cette argumentation. Généralement, les actions de communication consisteront en des rencontres, le plus souvent privées.

8.6 Recherche des titres de propriétés

Le lien inter-rives sera construit dans des zones sous juridiction fédérale, ainsi que sur des terrains appartenant au gouvernement provincial ou à des propriétaires privés et possiblement sur des terrains municipaux ou corporatifs. Il sera essentiel de coordonner les autorisations et éventualités d'acquisitions.

Pour des raisons de bonne image, les possibilités d'achat de gré à gré seront privilégiées afin d'éviter les mesures d'expropriation, peu populaires.

8.7 Étude des retombées socio-économiques

La justification du projet doit également prendre en compte les répercussions du projet sur l'ensemble de l'économie. Il s'agit d'inclure les effets du projet sur la production de l'ensemble des industries dans la zone d'influence du projet. Ces répercussions ne se limitent toutefois pas à la région du projet, mais peuvent déborder sur l'ensemble de l'économie nationale. Les retombées socio-économiques du projet seront donc analysées en termes d'effets indirects et induits sur le produit intérieur brut (PIB) par le biais du modèle inter-sectoriel du bureau de la statistique du Québec.

Une analyse poussée de l'impact probable du projet sur l'économie régionale sera conduite, puisque l'effet d'étalement urbain du projet est parfois invoqué. Cette analyse tiendra compte, par conséquent, de l'effet possible du projet sur l'étalement urbain et de son impact sur la valeur foncière pour déterminer l'effet distributif net additionnel qui lui serait attribuable. La

méthodologie de l'étude devra bien cerner l'aspect socio-économique sur l'ensemble de la grande région de Québec et Chaudière-Appalaches, et pas seulement sur la région limitrophe du tunnel. Il est fort probable qu'un projet de cette envergure génère une nouvelle dynamique bénéfique pour l'ensemble de la région.

8.8 Campagnes d'opinions publiques

On ne peut d'ores et déjà tracer les paramètres de ce que serait une campagne de communication publique. On a encore une vision trop parcellaire et imparfaite de la réaction des différents publics potentiels, des contenus et messages qu'il faudrait leur adresser et des stratégies pour les atteindre. Au stade actuel du projet, il s'agit davantage de bien identifier ces publics, d'en définir les caractéristiques et d'en connaître les opinions et perceptions. De cette sorte, on pourra alors se prononcer sur la viabilité publique du projet et, le cas échéant, établir les bases d'une stratégie et d'un plan d'action adaptés.

Par contre, pour orienter cette recherche, on peut énoncer quelques principes stratégiques généraux, se rapportant à l'envergure du projet, à ses impacts et au contexte prévisible de sa réalisation. Ils ont tous une influence directe sur la gamme des publics auprès desquels il faudra conduire la recherche. Voici ces axes généraux.

Une approche proactive. Lorsqu'il nous faut établir l'image de marque d'un tel projet, surtout s'il est susceptible de susciter la controverse, on a souvent tendance à adopter une stratégie prudente, s'appuyant sur une argumentation solide, mais réactive. Dans le présent cas, nous croyons qu'il faudra envisager une approche plus agressive, préventive à la limite, qui élargira la gamme des publics à atteindre plutôt que de la limiter.

Une communication constante avec les partenaires et les autorités publiques. Il va de la nature même de ce type de projet de nécessiter l'action concertée de plusieurs partenaires et de diverses autorités publiques. Ceux-ci devront faire partie intégrante de la stratégie à développer.

Une sensibilisation des groupes d'influence en amont de la campagne. Étant donné l'envergure du projet et son potentiel de controverse, on devra informer et sensibiliser les groupes d'influence sur le projet avant le début de la campagne. Nous entendons par groupes d'influence tous ceux qui peuvent exercer une influence soit sur les décideurs, soit sur les publics touchés. Il peut s'agir, par exemple de groupes socio-économiques (Chambres de commerce, syndicats, comités ou conseils de

développement économique etc.), de groupes socio-communautaires (groupes environnementaux, groupes de citoyens etc.), ou de groupes et d'organismes à caractère socio-professionnel et technique.

Le besoin d'une opération d'information et de sensibilisation du grand public. À première vue, les enjeux spécifiques du projet commandent que l'on élargisse la communication à l'ensemble de la population. Nous croyons ainsi qu'il ne faut exclure d'emblée le recours à des médias de masse. Le grand public devient ainsi une cible de choix, qu'il faudra privilégier dans la recherche.

La méthodologie de recherche en communication

En vue de préparer les bases d'un plan de communication, il faudra définir le contexte d'intervention, pour ainsi comprendre les enjeux de façon fine et réunir toutes les données relatives au contexte de réalisation du projet, aux stratégies à adopter, aux publics à atteindre, aux messages à formuler et aux contenus à diffuser. Au cours de cet exercice, on passera en revue les actions de communication déjà réalisées dans le projet et on considérera celles qui sont envisagées. Il faudra franchir successivement les étapes de recherche suivantes :

La rencontre d'intervenants clés au sein du groupe gestionnaire du projet et des principaux alliés. Cette étape permettra d'établir de façon préliminaire :

- la liste des documents à consulter;
- la liste des publics cibles, la définition de leurs caractéristiques et de leurs réseaux;
- l'analyse préliminaire des enjeux.

La lecture des documents pertinents. Il s'agit ici de tous les documents techniques, légaux, économiques, historiques et autres qui permettront de comprendre le projet et d'apprécier son contexte de réalisation. Il faudra par ailleurs consulter la revue de presse pour une période significative.

La rencontre des représentants de groupes d'influence. On répartit généralement ces derniers en trois catégories : les alliés potentiels, les groupes neutres (organismes scientifiques et techniques) et les opposants potentiels. On rencontrera donc des représentants de chaque catégorie.

La recherche sur le grand public. Deux approches devront ici être considérées, l'une quantitative, visant à quantifier les éléments de connaissance et de perception, et l'autre, qualitative, visant elle à approfondir la compréhension des enjeux.

- l'approche quantitative : un sondage devra être réalisé dès le départ auprès d'un échantillon représentatif des populations cibles. La méthodologie de sondage sera établie de concert avec les spécialistes en sondage. Il faudrait par ailleurs considérer l'hypothèse de conduire un autre sondage après une étape significative du programme de communication pour mesurer l'évolution des perceptions.
- l'approche qualitative : trois groupes de discussion (focus groups) seront réunis, un premier formé de représentants d'usagers éventuels, un deuxième, de riverains, et un troisième, de représentants du public en général.

L'élaboration d'une stratégie de communication et d'un plan d'action. Il est encore trop tôt pour tracer, même de façon préliminaire, les paramètres d'un éventuel programme de communication. Ce dernier sera conçu sur la base des résultats de la recherche préalablement décrite. On doit néanmoins préciser le contenu type d'un tel plan :

- Une description de la problématique et du contexte de réalisation;
- Les objectifs à atteindre;
- Les publics à viser;
- Les stratégies à privilégier;
- Les messages à diffuser;
- Les moyens de communication à employer;
- Les budgets à prévoir;
- L'échéancier à respecter.

La stratégie élaborée devra prévoir un mécanisme de prétest de certains outils de communication de masse et un mode d'évaluation des résultats lors de la mise en œuvre du plan.

8.9 Estimation des coûts

Une fois connues, toutes les contraintes physiques, techniques, environnementales, sociales et financières, une estimation préliminaire déterminera les coûts globaux. À ce stade, une estimation, à plus ou moins 20 %, peut être envisagée. Bien que ce pourcentage puisse paraître élevé pour le profane, il s'agit du niveau de précision usuel utilisé dans la pratique pour ce niveau d'avancement. En effet, trop d'inconnues et d'éléments imprécis persistent à ce stade de l'étude pour permettre de mieux raffiner les coûts.

8.10 Étude de rentabilisation

Étude de marché

L'étude de marché visera à identifier et caractériser les utilisateurs potentiels du tunnel afin d'en déterminer le nombre, leur volonté de payer et leurs préférences quant au mode et la fréquence de tarification.

Analyse financière

Il s'agira d'élaborer un modèle financier qui permettra d'évaluer, en déterminant les divers revenus pouvant être générés par le projet, l'intérêt potentiel du secteur privé à l'égard de ce dernier et la faisabilité de mettre sur pied certaines des structures présentées ci-dessus.

L'analyse financière présentera les états financiers prévisionnels et calculera les indicateurs de rentabilité classiques, tels que le Taux de Rendement Interne (TRI), la Valeur Actuelle Nette (VAN), la période de recouvrement et autres paramètres. La détermination des revenus se fera sur la base d'enquêtes ou de groupes focus utilisant des techniques d'évaluation spécifiques pour estimer la volonté de payer, la probabilité et la fréquence d'utilisation des futurs usagers du tunnel. Une analyse de sensibilité sera enfin conduite.

Analyse avantages/coûts

La réalisation d'une analyse avantages/coûts permettra de justifier les modalités de financement.

L'analyse avantages/coûts incorpore les principes classiques de l'analyse économique des projets, dont l'objectif est de déterminer la contribution nette d'un projet au bien-être collectif national. La méthode d'évaluation économique proposée doit exclure tout transfert de fonds. Le partage des coûts entre devises et monnaie locale permettra d'évaluer la sensibilité aux risques de change.

Le flux des bénéfices sera actualisé au taux d'escompte généralement retenu au Canada, soit 10 %. L'analyse économique sera réalisée en dollars constants.

L'analyse économique sera comparative, car elle distingue entre les bénéfices avec et sans le projet. L'analyse s'attardera donc à évaluer le rapport entre les pertes à éviter et la probabilité différentielle des avantages, pertes et des facteurs de risque avec et sans le projet. La situation de référence sans le projet sera définie de manière dynamique par rapport à la situation tendancielle avec tunnel.

Outre les coûts et bénéfices internes au projet, l'évaluation avantages/coûts s'attellera, dans la mesure du possible, à quantifier les coûts et bénéfices externes au projet, notamment les externalités écologiques et sociales que comporte la réalisation du projet selon l'option d'aménagement retenue. Les externalités sont des conséquences fortuites de l'activité de production sur des tierces personnes ou sur des facteurs de production non engagés dans le projet.

Les bénéfices du projet doivent comprendre, au-delà des avantages directs internes (recettes de péage), les coûts et risques de pertes économiques liés à la non réalisation des travaux, de même que les avantages indirects externes occasionnés par les impacts environnementaux du projet, tels que :

- Surplus du consommateur;
- Perte de terres agricoles;
- Sécurité publique;
- Pollution atmosphérique, visuelle, sonore.

Tous les avantages liés à la réalisation du projet de tunnel distingueront entre la situation avec et sans le projet, de sorte que l'on puisse identifier de combien le projet diminue (ou sa non réalisation augmente) le niveau, la probabilité ou la fréquence des coûts. Parmi les analyses de sensibilité à réaliser figure le scénario d'un report du projet ou de délai dans l'échéancier de réalisation de ses composantes.

Les indicateurs économiques suivants seront calculés :

- TRI économique avec et sans pondération des coûts d'opportunité;
- VAN économique avec et sans pondération des coûts d'opportunité;
- Rapport coûts/avantages sociaux;
- Valeur ajoutée.

Justification du projet

La justification du projet sera démontrée à la lumière de ses diverses composantes et dimensions : techniques, sociales, financières, économiques et environnementales. À cet égard, il sera essentiel de mettre en valeur le processus d'optimisation du projet selon lequel les retombées positives seront maximisées et les désavantages seront atténués pour toutes les populations touchées. Le bilan positif du projet passera ainsi par la rentabilisation du tunnel, le renforcement de la sécurité publique, la consultation et l'appel à la participation du secteur privé.

Par ailleurs, l'étude de faisabilité doit préciser la date optimale de réalisation du tunnel au-delà de laquelle, les coûts nets de l'inaction se cumuleront.

9 RECHERCHE DE FINANCEMENT

La réalisation du lien sous-fluvial Québec-Lévis dépendra grandement des avantages commerciaux que le projet sera en mesure d'offrir à ses promoteurs du secteur privé.

Le Consultant aura à réaliser les activités suivantes pour mener à bien le montage financier du projet :

- L'identification et la caractérisation des diverses structures potentielles;
- L'évaluation des structures de financement;
- L'identification et la caractérisation des promoteurs potentiels;
- L'identification et la caractérisation des modes de financement potentiels;
- Proposition de montage financier;
- Préparation du plan d'action financier.

Identification et caractérisation des diverses structures potentielles

Jusqu'à ces dernières années, lorsqu'il était question de travaux majeurs d'infrastructures publiques, comme dans le cas présent, ceux-ci étaient entrepris et financés à même les fonds publics. La taille considérable du lien sous-fluvial entraîne cependant des besoins financiers importants. Ayant par ailleurs peu de ressources financières et une capacité d'emprunt limitée, le gouvernement du Québec voudra minimiser les risques financiers découlant du projet. C'est pourquoi une approche classique de financement s'avère peu intéressante, ni probable.

À l'opposé d'une intervention strictement publique, se trouve le recours à l'entreprise privée, qui financerait le projet, en assumerait les coûts et en réaliserait tous les revenus, à l'exception possible de certains impôts ou de certaines taxes. Cette approche nécessiterait de définir des ententes particulières en ce qui a trait à la propriété de l'actif, à la maximisation des revenus retirés par le gouvernement et à l'acceptation populaire du projet.

Entre ces deux pôles extrêmes, il existe un éventail de structures qui entraînent une implication plus ou moins importante du secteur public et du secteur privé. Une liste référant à neuf de ces structures, dont il faudra considérer la pertinence dans le cadre de l'étude de faisabilité, est présentée ci-dessous. Ces options sont présentées par ordre croissant d'implication du secteur privé:

- 1) *Contrat d'exploitation ou d'entretien*: un partenaire privé exploite une entreprise ou un actif détenu par le gouvernement. L'exploitation d'un aéroport ou la collecte des ordures ménagères sont des exemples typiques de cette formule.
- 2) *Projet clés en main («Super-turnkey»)*: un partenaire privé conçoit et construit un projet à la demande d'un gouvernement, puis le vend au secteur public et l'exploite sous contrat. Cette formule fait supporter une partie du risque par le secteur privé, mais limite généralement son niveau d'investissement.
- 3) *«Wraparound addition»*: un promoteur privé construit et finance une addition à une installation publique, puis gère l'installation en question pour une période donnée ou jusqu'à ce qu'un rendement raisonnable soit atteint. Ce type de structure est fréquent dans les cas d'agrandissement de routes, par exemple.
- 4) *Louer-développer-exploiter («Lease-develop-operate»)*: un promoteur privé loue une installation publique, effectue et finance des améliorations ou une expansion, puis exploite l'installation pour la durée du bail afin d'obtenir un rendement raisonnable. Cette formule est notamment appliquée dans le cas de la réfection d'aéroports.
- 5) *Privatisation temporaire*: l'installation publique est transférée à un partenaire privé qui effectue et finance des améliorations ou une expansion, puis exploite l'installation pour une période donnée ou jusqu'à ce qu'un rendement raisonnable soit atteint. Cette formule est pratique quand les fonds publics sont limités et que les investissements requis sont importants.

- 6) *Acheter-construire-exploiter («Buy-build-operate»)*: l'installation publique est transférée à un partenaire privé qui effectue et finance des améliorations ou une expansion, puis exploite l'installation à perpétuité. Cette formule est similaire à la précédente, à l'exception du fait que la propriété demeure privée. Le contrôle gouvernemental s'effectue alors par le biais d'une entente de franchise.
- 7) *Construire-transférer-opérer («Build-transfer-operate»)*: un promoteur privé construit et finance l'installation, transfère ensuite la propriété au gouvernement et exploite l'installation par le biais d'un bail à long terme afin d'obtenir un rendement raisonnable. Cette option est similaire à la formule de «construire-opérer-transférer» [voir le point 8], mais elle évite au partenaire privé certains problèmes légaux potentiels liés à la propriété de l'actif en question, notamment dans le cas de routes.
- 8) *Construire-opérer-transférer («Build-operate-transfer»)*: un promoteur privé construit et finance une installation, l'exploite pour une période donnée ou jusqu'à ce qu'un rendement raisonnable soit atteint, et transfère ensuite la propriété au gouvernement. Cette approche est notamment celle retenue pour la construction du pont qui relie l'Île-du-Prince-Édouard au Nouveau-Brunswick.
- 9) *Construire-détenir-exploiter («Build-own-operate»)*: un promoteur construit, finance, possède et exploite à perpétuité l'installation. Le contrôle gouvernemental s'effectue alors par le biais d'une entente de franchise.

Ces formules ne sont évidemment pas toutes applicables au lien sous-fluvial, notamment celles qui ne prévoient pas la construction d'un actif donné.

Évaluation des structures de financement

L'étude comparera le financement de projets similaires, dans le but d'analyser les formules qui donnent les meilleurs résultats quant aux formules de partenariat entre le secteur public et le secteur privé. L'étude recommandera la structure juridique, organisationnelle et financière la plus appropriée.

Le but principal poursuivi sera de minimiser les coûts de financement, tout en respectant les échéances fixées. En brossant un tableau complet des structures de financement possibles pour le projet, notamment en se penchant sur les expériences similaires vécues ailleurs, l'étude évaluera leur pertinence en fonction de leurs avantages et inconvénients respectifs, ainsi qu'en fonction des besoins et contraintes des partenaires potentiels qui auront déjà été identifiés.

Identification et caractérisation des promoteurs potentiels

Selon la structure qui sera recommandée pour le projet, divers partenaires pourront être sollicités pour la réalisation du projet.

Dans les formules qui seront examinées, les partenaires peuvent inclure diverses organisations. Il s'agira de déterminer non seulement quels types de partenaires seront requis, mais également de juger de leur intérêt financier. Une liste de partenaires potentiellement impliqués dans le projet sera dressée et leurs conditions de participation seront caractérisées pour bien saisir la complexité et les principaux facteurs de succès de quelque alliance que ce soit au niveau des partenaires potentiels :

- Ingénieurs-conseils;
- Compagnies de construction;
- Conglomérats privés;
- Promoteurs immobiliers;
- Fournisseurs de technologie;
- Manufacturiers d'équipements;
- Entreprises de gestion;
- Avocats;
- Compagnies bancaires.

Par ailleurs, si les gouvernements ne financent que partiellement le projet au moyen de fonds publics et/ou d'une émission obligataire, et selon la formule qui serait retenue, d'autres partenaires financiers seront requis dont, par exemple, les institutions financières et d'assurances, le public (par le biais d'émission d'actions ou d'obligations).

L'étude identifiera, pour chacun des partenaires potentiels, les conditions de participation financière et les exigences en matière d'exécution et d'exploitation du tunnel sous-fluvial. Il s'agira effectivement de proposer une équipe, le cas échéant, aux caractéristiques complémentaires.

Identification et caractérisation des modes de financement potentiels

Le financement du projet sera en grande partie fonction de la structure qui sera adoptée, laquelle déterminera le partage des risques, les responsabilités et les profits entre le secteur public et le secteur privé. Dans le cadre de projets à fort potentiel commercial, l'utilisation du financement privé est habituellement facilitée.

Si les gouvernements deviennent partenaires financiers dans le projet, le financement levé sous forme d'obligations peut à son tour être investi dans le projet sous forme de dette, d'équité ou de subvention. Un investissement sous forme d'équité rend possible un partenariat au niveau de la propriété du projet, ce qui peut être intéressant en regard du rendement financier généré par le projet. Dans de tels cas, cependant, le risque financier associé au projet est au moins supporté en partie par les autorités gouvernementales.

Afin d'évaluer ces possibilités, la capacité des gouvernements québécois et municipaux à émettre des titres d'emprunt sera prise en compte. La réceptivité des marchés internationaux, le taux d'intérêt qui devrait être offert, la capacité de rembourser selon les termes prévus, les risques de variation du taux de change, si l'émission se fait en devise étrangère, les frais d'émission et les autres conditions (cotes de crédit, etc.) sont tous des éléments qui devront être évalués et considérés dans le cadre de l'étude.

Les partenaires privés ont également la possibilité de lever du financement sous forme de dette ou d'équité et de détenir, dans le projet, des titres de dette ou du capital-action, selon la structure qui sera retenue. Il pourrait également être approprié que les autorités gouvernementales garantissent les titres émis pour financer le projet. Cela rendrait le projet plus attrayant pour les souscripteurs potentiels, en faisant supporter une partie du risque par le gouvernement.

En plus des modes de financement proprement dits, certains outils de protection face aux variations des taux de change ou des taux d'intérêt seront examinés et leur pertinence évaluée. On peut, par exemple, référer aux contrats d'achat de devises, aux «swaps», etc.

Les structures présentées ci-dessus auront également un impact sur les modalités de financement qui seront retenues. Notamment, si un transfert de propriété est prévu, la période d'amortissement des titres de dettes doit être synchronisée avec la période de possession. Aussi, dans un scénario de détention des installations par le secteur privé, une structure mixte pourrait également être appropriée.

Tel que mentionné précédemment, les choix de la structure du projet, des partenaires qui en feront partie et des modes de financement qui seront retenus sont profondément interreliés et devront être effectués de façon simultanée.

Proposition de montage financier

À la suite de l'analyse plus approfondie du projet et de ses caractéristiques, notamment financières, d'une compréhension plus complète des objectifs et des contraintes du gouvernement provincial et des municipalités et de l'identification des conditions et exigences de l'ensemble des partenaires potentiels, le consultant proposera un montage financier qui sera à la fois optimal, relativement aux objectifs poursuivis, et réaliste en fonction des contraintes et des conditions du marché.

Afin d'appuyer cette évaluation, un certain nombre d'hypothèses devront être formulées relativement à la concrétisation du projet. Le montage financier proposé sera élaboré en fonction des trois axes susmentionnés, soit la structure proposée, les partenaires potentiels et les modes de financement souhaitables. Il est à noter que plus d'un scénario pourra être présenté à cette étape.

À ce stade préliminaire du projet, il est probable que la solution optimale soit une structure mixte, dans laquelle le secteur privé sera probablement appelé à financer les travaux, sous forme de dette à long terme, dans le cadre d'une option prévoyant la détention des installations par le secteur privé. Les partenaires pourraient, par exemple, être des compagnies d'assurances ou des institutions bancaires.

Il importe, autant que cela sera possible, de pré-tester la faisabilité du montage financier proposé, en tenant des discussions préliminaires avec les principaux partenaires anticipés et en dressant des parallèles avec les expériences antérieures similaires. Le processus d'étude sera donc, dans une certaine mesure, itératif.

Le ou les montages financiers proposés seront présentés sous forme de modèle financier. Cela aidera à faciliter la compréhension du modèle, à illustrer son fonctionnement et à démontrer sa faisabilité. Certains ratios de performance seront notamment calculés, tels le rendement financier sur le capital investi, le seuil de rentabilité, le taux de couverture global de la dette, le taux de couverture annuel du service de la dette, etc. Le seuil de rentabilité sera particulièrement intéressant dans le cadre de l'établissement du prix de cession de l'action, qui sera par ailleurs largement fonction de la structure financière retenue.

À cette fin, l'ensemble des flux financiers touchant chacun des partenaires du modèle retenu seront estimés. Ces flux financiers peuvent notamment inclure les revenus principaux et accessoires reliés à l'exploitation des installations, les honoraires de service, les revenus de dividende et d'intérêt, des revenus de franchise, des royautés, des loyers, des droits d'utilisation, divers droits et taxes, l'impôt sur le revenu des entreprises et des particuliers, etc. La nature et le niveau des flux financiers pour chaque partenaire seront évidemment fonction de la structure proposée pour le projet et des conditions de chaque partenaire.

Le document financier qui découlera de l'analyse de la demande, du potentiel de revenus, des coûts du projet et d'autres facteurs non financiers, sera d'ailleurs la base des documents de sollicitation qui seront utilisés pour attirer éventuellement des partenaires financiers dans le projet.

Préparation du plan d'action financier

Finalement, une ébauche de plan d'action financier sera fournie. Ce plan identifiera l'ensemble des étapes requises dans le cadre de la réalisation du montage financier proposé, par ordre de priorité, avec un calendrier de réalisation approximatif, de même que les stratégies de sollicitation et de négociation qui pourront être suivies.

Le plan d'action débutera avec cette étude, qui se voudra un document de planification financière, pour se terminer avec la clôture des diverses ententes à être conclues avec les différents partenaires retenus.

10 DÉMARCHES ET ACTIONS EN MATIÈRE D'ENVIRONNEMENT

Avant de définir les travaux requis pour étudier la problématique environnementale du lien sous-fluvial entre Lévis et Beauport, il est intéressant de dresser très sommairement un portrait du milieu dans lequel doit s'intégrer le projet. Cette description facilitera ensuite la compréhension, la justification et la portée des études environnementales à prévoir en vue d'obtenir les autorisations requises et s'assurer que le projet se réalisera avec un minimum de contraintes au plan environnemental.

Une connaissance, même sommaire, des caractéristiques du milieu permet aussi d'identifier les principaux enjeux environnementaux que comporterait le projet et de pouvoir comparer différents scénarios d'exécution pour en dégager, à priori, une option de réalisation préférable.

10.1 Description générale du milieu

L'implantation du lien sous-fluvial entre Lévis et Québec s'insère dans un secteur de l'estuaire fluvial soumis à des marées de type semi-diurne. On observe donc deux oscillations marégraphiques complètes à chaque jour. L'amplitude moyenne de la marée est de l'ordre de 4 m, mais peut atteindre presque 6 m lors des grandes marées. Les courants sont de l'ordre de 2 m/s à marée descendante et de 1 m/s à marée montante. On assiste en effet dans ce secteur à un phénomène d'inversion de courant.

Le chenal nord de l'Île d'Orléans reçoit seulement 10 % de l'écoulement total du fleuve, ce qui explique pourquoi les vitesses de courant observées à cet endroit sont plus faibles, de l'ordre de 0,5 m/s. Les sédiments qui reposent au fond du chenal nord sont en conséquence plus fins que ce qu'on peut observer ailleurs dans le même secteur du fleuve. Le chenal nord de l'Île d'Orléans constitue une zone de sédimentation, tout comme les battures de Beauport situées un peu en amont.

Si on trouve principalement dans le chenal de navigation du sable, du gravier et des affleurements rocheux, on observe plutôt dans le chenal nord de l'Île d'Orléans, des sédiments sableux et limoneux qui recouvrent une assise de schiste argileux. Les sédiments fins sont

reconnus pour avoir la capacité d'emmagasiner les contaminants organiques et inorganiques comme les métaux. Par exemple, le mercure et le plomb contaminent les sédiments du fleuve sur presque toute sa longueur.

Ce substrat plus fin supporte généralement un nombre important d'organismes fouisseurs et d'invertébrés comme de petits mollusques et crustacés. Dans les zones peu profondes, on observe souvent la présence d'herbiers qui servent d'abris ou de nourriture pour plusieurs organismes aquatiques comme les poissons, la sauvagine et certains mammifères. Le chenal nord de l'Île d'Orléans est reconnu comme un habitat d'intérêt pour la faune aquatique en général. On reconnaît 55 espèces différentes de poissons dans l'estuaire fluvial, avec dans le bras nord de l'Île d'Orléans, un potentiel élevé de fraie pour certains poissons.

Les berges du chenal nord de l'Île d'Orléans sont le site d'alimentation de plusieurs espèces d'oiseaux aquatiques. La Grande Oie Blanche est observée régulièrement en période de reproduction. La presque totalité de la population mondiale de cette espèce se retrouve à chaque année dans la région lors des migrations. On rencontre aussi régulièrement la Bernache du Canada et de nombreuses espèces de canards. Ces oiseaux se nourrissent de la végétation submergée et des organismes qui s'y trouvent comme les mollusques, larves d'insectes, crustacés et poissons.

Au plan humain, il faut souligner le grand attrait du secteur pour les activités récréatives, le tourisme et la villégiature. Les battures de Beauport sont un bel exemple de site récréatif d'importance dans la région. On y observe souvent les adeptes de la voile, de la planche à voile, et de la moto-marine en période estivale. Le bras nord de l'Île d'Orléans est un site recherché pour la chasse aux oiseaux migrants.

Enfin, on ne saurait trop souligner la valeur patrimoniale de l'Île d'Orléans qui offre aux visiteurs la possibilité d'observer des paysages humanisés avec le fleuve Saint-Laurent comme arrière-plan. L'Île d'Orléans est visitée chaque année en période estivale et automnale par un grand nombre de visiteurs en raison de son caractère historique, de ses monuments et sites patrimoniaux et de ses paysages champêtres. Elle est visitée tantôt en automobile, tantôt à vélo.

10.2 Principaux enjeux environnementaux

Au plan biophysique, le principal enjeu concerne les effets que pourra avoir le projet sur le milieu aquatique environnant. Tous les travaux autres qu'un tunnel entièrement sous-fluvial impliquent le dragage ou le rejet de sédiments qui aurait un effet sur la qualité de l'eau. Les changements à ce niveau pourraient en entraîner d'autres sur l'habitat des végétaux et des animaux en présence.

Par ailleurs, il faudra aussi considérer l'emplacement des infrastructures permanentes dans le milieu. Il y aura intérêt à localiser ces ouvrages en dehors des habitats riverains les plus utilisés par la faune ou pour la pratique d'activités récréatives ou de villégiature.

Au plan humain, les modifications de la qualité de l'eau, la présence de machineries et l'encombrement occasionné par la mise en place d'infrastructures permanentes ou temporaires pourraient nuire à la pratique des activités récréatives en général. De plus, la circulation de véhicules lourds constituerait aussi une source de nuisance, notamment sur l'Île d'Orléans qui ne comporte pas d'infrastructures routières conçues pour des débits très élevés. Le rejet des déblais d'excavation devra donc se faire aux extrémités nord et sud du tunnel.

10.3 Problématique environnementale du tunnel foré

La construction d'un tunnel foré est de loin la meilleure option au plan environnemental, parce qu'elle comporte des activités de construction réduites en milieu aquatique. La construction d'une digue temporaire à la pointe ouest de l'Île d'Orléans, pour l'établissement d'un puits d'accès au tunnel foré sous le chenal nord, constituera un empiétement sur le milieu aquatique, même provisoire. Cette intervention aura des impacts sur l'eau, donc sur la faune et les activités récréatives, qui devront être identifiés et évalués.

Une problématique de cette construction de digue, c'est la quantité appréciable de matériaux de remblais qu'il faudra apporter sur les lieux. Ces matériaux ne pourront être apportés sur le site en empruntant le pont de l'Île d'Orléans et le Chemin du Bout-de-l'Île, ce qui créerait des nuisances significatives pour les résidents au plan de la circulation, de la sécurité routière, du bruit, du paysage et de la qualité de l'air. Il faudrait aussi voir si les infrastructures routières, notamment le pont de l'Île d'Orléans, seraient en mesure de supporter un camionnage intensif

sans trop de dommages, sans quoi il faudra envisager les améliorations nécessaires avant l'établissement de la digue. Pour toutes ces raisons, un transport des matériaux de remblai par barge doit plutôt être envisagé, puisqu'il créera un impact environnemental bien moindre que par transport routier.

Plus encore, il faudra considérer les effets sur les infrastructures et les milieux environnants de la disposition d'énormes quantités de déblais provenant des opérations de forage du tunnel. Sur la rive nord, on peut penser que ces déblais pourraient servir à combler des carrières dont l'exploitation est terminée. Sur la rive sud où les quantités à disposer seront encore plus importantes que sur la rive nord, il faudra identifier des sites de disposition appropriés. Là aussi, d'anciens bancs d'emprunt, nombreux dans cette zone, pourront être envisagés. Par la suite, devra être faite l'évaluation des impacts associés au transport des matériaux sur le réseau routier local et sur les résidents qui devront en supporter les conséquences durant la construction.

En milieu urbain, il faudra aussi voir dans quelle mesure les accès au réseau routier actuel occasionneront des conflits d'usage. Du côté de Beauport, la sortie du tunnel serait dans l'axe de l'autoroute 40, de sorte que l'échangeur à l'autoroute Dufferin-Montmorency devra être réaménagé, mais sans occasionner de perturbations majeures des usages urbains. Par contre, sur la rive sud, le raccordement à la route Lallemand ou à la route Mgr Bourget impliquera nécessairement un changement d'usage du sol sur quelques hectares.

10.4 Problématique environnementale du pont-tunnel

L'option dite du « pont-tunnel » entraînera des impacts environnementaux beaucoup plus importants que pour l'option « tunnel foré ». La mise en place de dix piliers dans le chenal nord de l'Île d'Orléans pour supporter le pont exigera autant de remblayage pour constituer les plates-formes de travail. Des travaux d'excavation devront s'effectuer sous ces remblais dans des sédiments qui pourraient receler une contamination et qui devront être manipulés et disposés selon des modalités particulières, le cas échéant.

Si des sédiments contaminés sont excavés puis rejetés à l'eau, il faudra pouvoir évaluer les effets sur la faune aquatique avant de cautionner ce mode. Sinon, il faudra trouver un site de disposition, définir des modalités de transport et de confinement pour éviter la contamination des nappes phréatiques ou cours d'eau environnants. Cette option présente toutefois l'avantage de réduire d'une manière appréciable les volumes imposants de déblais à gérer selon l'option du « tunnel foré ».

La présence du pont pourrait aussi entraîner des changements hydrodynamiques et du régime des glaces qui devront être établis pour prévoir les changements qui pourront s'observer par la suite au niveau des herbiers et des habitats aquatiques. Au-delà des effets biophysiques de la présence d'un pont, il y aura lieu aussi de s'assurer qu'il soit suffisamment élevé pour ne pas entraver les activités nautiques. Rappelons-nous que les marées peuvent atteindre jusqu'à 6 m d'amplitude dans le secteur d'étude.

De plus, la présence d'un nouveau pont constituera un nouvel élément dominant du paysage. La perception des résidents au plan visuel risque d'être partagée entre ceux qui y verront un bel ouvrage d'art et ceux qui y verront plutôt une atteinte à l'intégrité de l'Île d'Orléans. Il y a aussi lieu de croire que l'ambiance sonore sur l'Île d'Orléans risque d'être détériorée par le bruit des véhicules qui emprunteraient dorénavant le nouveau pont.

La présence d'un pont risque de signifier pour les résidents de l'Île d'Orléans une éventualité d'améliorer d'une manière très significative l'accès. Cette amélioration pourrait ensuite entraîner une pression pour le développement commercial, qui pourrait mettre irrémédiablement en péril l'image champêtre des lieux.

Au niveau de la rive sud, l'option du pont-tunnel comporte l'établissement d'un portail de 550 m de longueur par 25 m de largeur. Le portail serait mis en place dans la zone intertidale, milieu naturel d'une grande valeur au plan écologique. La construction du portail nécessiterait sans doute la mise en place d'un batardeau qui aurait certains effets temporaires sur la qualité de l'eau et l'hydrodynamique. Ces changements devront être évalués.

Le raccordement du portail à la route Lallemand entraînerait aussi des conflits d'usage des sols de part et d'autre du boulevard de la Rive-Sud. Le plan de zonage de la ville de Lévis devrait être revu en conséquence et des expropriations seraient vraisemblablement à envisager.

10.5 Évaluation des problématiques environnementales

En résumé, ni l'une ni l'autre des deux options étudiées pour assurer l'établissement d'un lien sous-fluvial n'est à rejeter immédiatement pour des motifs de nature environnementale. Toutefois, l'option du pont-tunnel occasionnerait des impacts environnementaux beaucoup plus significatifs, la nécessité d'appliquer plus de mesures spécifiques pour atténuer les impacts et l'application d'un programme de surveillance environnementale lors de la construction du pont et du portail en milieu aquatique.

L'option du pont-tunnel soulèvera beaucoup plus les passions des écologistes et celles des résidents de l'Île d'Orléans pendant la période réservée à la consultation publique des citoyens. La construction d'un tunnel déposé aurait aussi eu un accueil plutôt défavorable de la part des défenseurs de l'environnement en raison de l'importance des activités de dragage que le projet aurait comportées.

10.6 Portée et objectifs des études environnementales requises

Le déroulement du projet impliquerait la réalisation d'études environnementales tout au long du processus, à des étapes bien déterminées. Ces étapes sont la faisabilité, l'avant-projet et le projet. Le cadre, la portée et les objectifs poursuivis par les études d'environnement sont précisés ci-après.

Étude de faisabilité du projet

À l'étape de l'étude de faisabilité, l'évaluation environnementale est accessoire. Elle n'est pas élaborée dans un but précis d'obtenir une autorisation ou un permis en vertu d'une loi ou d'un règlement. Au contraire, le cadre de travail est assez souple. La réalisation de l'évaluation environnementale poursuit l'objectif d'apporter à l'équipe de projet des éléments de discussion

qui pourront servir à bonifier le projet au plan de l'environnement et de permettre de planifier les travaux futurs en connaissant les éléments d'intérêt environnemental.

Une recherche de l'information disponible serait entreprise afin d'être en mesure d'identifier les lacunes d'information qui seront à combler lors des étapes ultérieures. Elle permettra par la même occasion d'identifier d'une manière plus certaine, les principaux enjeux environnementaux du projet. Cette meilleure connaissance du milieu permettra, dans un second temps, de déterminer des critères discriminants qui serviront à comparer différentes options de réalisation du projet, de manière à bien faire ressortir les avantages et inconvénients qu'elles comportent et de réussir une première optimisation du concept d'aménagement.

À la fin de l'étude de faisabilité, la connaissance du milieu doit être suffisante pour permettre une première consultation publique destinée à identifier les perceptions de la population par rapport au projet. Il ne faut pas confondre cette pré-consultation avec la consultation publique qui s'inscrit dans une démarche réglementaire prévue dans le cadre de la *Loi sur la qualité de l'environnement du Québec*.

Les coûts des études environnementales à l'étape de l'étude de faisabilité n'excéderont pas 100 000 \$, même en réalisant quelques travaux de terrain exploratoires pour compléter la connaissance du milieu (par exemple, échantillonnage et analyse des sédiments). Le délai d'exécution sera fonction de la portée qu'on voudra donner à l'étude. Si aucun travail d'inventaire de terrain n'est entrepris, le volet « Environnement » pourra être traité en quelques semaines. Son calendrier d'exécution sera plutôt influencé par l'avancement des travaux au plan de l'établissement des scénarios de réalisation du projet.

Études d'avant-projet

À l'étape de l'avant-projet, les études environnementales sont élaborées en fonction d'un objectif bien précis, celui d'obtenir les autorisations requises de la part des différents paliers de gouvernement. Dans un projet d'envergure comme celui d'établir un lien sous-fluvial, il est fort à parier qu'une commission conjointe fédérale-provinciale d'évaluation environnementale sera mise en œuvre pour encadrer le processus d'évaluation et de consultation publique, puisque les deux paliers de gouvernement sont impliqués.

Au niveau fédéral, plusieurs éléments déclencheront la procédure d'évaluation environnementale en vertu de la *Loi canadienne d'évaluation environnementale* (LCEE). D'abord, si le projet faisait l'objet d'un financement de source fédérale, l'article 5 (1)b de la loi prévoit qu'une évaluation environnementale doit être effectuée. Il en serait de même pour une garantie d'emprunt ou toute autre forme de financement. De plus, le projet d'établissement d'un lien sous-fluvial exigerait l'obtention de permis en vertu d'au moins deux lois fédérales; la *Loi sur la Protection des eaux navigables* et la *Loi sur les Pêches*. Cette situation déclenche aussi en vertu de l'article 5, (1)d l'obligation de procéder à une évaluation environnementale au niveau fédéral.

Du côté du gouvernement du Québec, le projet serait assujéti à la procédure prévue au *Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement*. L'article 2 de ce règlement fournit la liste des projets assujettis. Selon l'alinéa b), le projet serait assujéti en raison de l'importance des opérations de dragage et de remblayage. Selon l'alinéa e), il le serait aussi en raison du nombre de voie de circulation prévu (quatre) et de la longueur du lien routier qui excéderait 1 km.

Une étude d'impact réalisée en vertu de ce règlement doit répondre à une directive du ministre de l'Environnement qui est très élaborée et qui exige d'identifier et d'évaluer tous les impacts anticipés sur le milieu naturel et humain environnant. Après le dépôt de l'étude et son acceptabilité par le Ministre, le rapport final serait déposé pour consultation publique. La procédure de consultation dure quatre mois, au terme de laquelle un rapport du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement est déposé au ministre de l'Environnement qui en prend connaissance et le soumet au Conseil des ministres pour une prise de décision finale sur l'acceptabilité du projet et dans quelles conditions.

Dans le cas présent, le rapport final serait déposé à la Commission conjointe fédérale provinciale qui l'analyserait, en déterminerait la recevabilité (conformité avec la directive émise) et produirait son rapport qui serait déposé aux ministres de l'Environnement du Québec et du Canada.

Compte tenu de l'envergure du projet de lien sous-fluvial, il faut s'attendre que la réalisation de l'étude d'impact, la consultation publique et l'étude du projet au Conseil des Ministres, tant au niveau fédéral que provincial, s'étendent sur une période minimale de deux ans, mais il serait plus réaliste de planifier un intervalle de trois à quatre ans. Les coûts des études environnementales à l'étape d'avant-projet se rangeront vraisemblablement entre 500 000 \$ et 1 000 000 \$.

Exécution du projet

À l'étape de réalisation du projet, les études environnementales concerneront la surveillance qui sera accordée pour assurer que les mesures de protection des milieux naturel et humain soient effectivement appliquées lors de l'exécution des travaux. Ces mesures d'atténuation des impacts auront été définies à l'étape d'avant-projet. Le certificat d'autorisation du projet devrait préciser les conditions de réalisation du projet au plan de la surveillance environnementale à assurer.

Tout dépendant des impacts pressentis à long terme et de l'importance qui leur aura été accordée, il est possible qu'un programme de suivi environnemental soit établi. Ce programme est requis seulement lorsque l'importance réelle de certains impacts anticipés sur le milieu n'a pu être évaluée avec un niveau de confiance acceptable et que la préoccupation de la population ou des groupes intéressés est significative à cet égard.

Les opérations de surveillance environnementale s'étendront aussi longtemps que les travaux de construction dureront. Plus vraisemblablement, il faut s'attendre à ce qu'elles durent aussi longtemps qu'il y aura des interventions dans le fleuve ou sur ses rives. Par ailleurs, un programme de suivi environnemental peut durer plusieurs années. Les conditions à cet effet seront précisées dans le certificat d'autorisation émis par le ministre de l'Environnement.

Il est difficile d'établir les coûts des opérations de surveillance et de suivi environnemental avant de connaître la nature des travaux à réaliser et leur durée. Compte tenu encore une fois de l'envergure du projet, de sa durée et que la surveillance s'effectuera principalement en milieu aquatique, donc dans un milieu qui exige une logistique parfois complexe et l'utilisation de matériel sophistiqué, il est très probable que les coûts s'établiront au-delà du million de dollars.

Mentionnons avant de terminer que les coûts de surveillance et de suivi se rapporteraient essentiellement à l'option « pont-tunnel » en raison des interventions nécessaires en milieu aquatique. Au contraire, la réalisation d'un « tunnel foré » permettrait de réduire très significativement, voire éviter des coûts de surveillance et de suivi environnemental.

11 AVANT-PROJET DÉTAILLÉ

Il s'agit de la dernière étape avant d'entrer dans la phase de réalisation proprement dite.

C'est l'étape où tous les détails du projet sont précisés, où toutes les autorisations, tant au niveau gouvernemental qu'administratif seront obtenues. Les démarches explicitées à la section 7.5 se répètent à ce stade, mais au niveau formel.

Les acquisitions de terrain sont aussi finalisées, ce qui implique l'implantation des emprises et l'arpentage légal, les achats de gré à gré ou éventuellement les expropriations.

Deux activités méritent d'être précisées : l'étude géotechnique et l'ingénierie détaillée.

11.1 Étude géotechnique

L'étude géotechnique requise à cette étape du projet est constituée du même type d'investigation qu'au niveau de l'étude de faisabilité mais cette fois sur tout le long du tracé. Elle permettra de connaître en détail toutes les conditions géologiques et identifier tous les problèmes géotechniques qui peuvent survenir durant la construction.

Dans l'avant-projet détaillé, les investigations géotechniques sont effectuées dans le but d'obtenir un niveau de détail permettant l'élaboration des plans détaillés et la préparation des soumissions.

Les conditions de terrain ou problèmes qui n'ont pu être anticipés ou détectés sont ceux qui causent des délais de construction, des revues de conception et par le fait même une augmentation de coûts.

Au niveau de l'étude de faisabilité, les sondages et forages sont réalisés de manière très espacée répartis sur le couloir d'étude. À l'étape d'avant-projet ceux-ci seront beaucoup plus rapprochés et ciblés précisément sur le tracé. Toutes les caractéristiques du sous-sol à l'emplacement du percement seront précisées. Par exemple, pour la topographie exacte du roc

et ses propriétés locales : résistance en compression, abrasivité, forabilité, module d'élasticité. Pour le mort-terrain, les capacités géomécaniques seront précisées : capacité portante, perméabilité, granulométrie, résistance. L'étude géotechnique ne doit laisser aucune incertitude. Les zones de faiblesse, les points d'interrogation devront être décelés. Il ne doit rester aucune zone floue qui pourrait constituer un arrêt de chantier, puisqu'un bris de tunnelier peut signifier quatre mois d'arrêt et 15 millions de frais.

L'étude géotechnique d'avant-projet peut modifier quelque peu l'alignement de l'axe du tunnel suivant les conditions découvertes. Son aboutissement est le tracé définitif, sur lequel est basée la production des plans et devis.

11.2 Ingénierie détaillée

Il s'agit là aussi de préciser les particularités.

Tous les aspects des travaux, envisagés dans leur totalité au niveau de l'étude de faisabilité, seront ici analysés en détail, par spécialité. Les principaux points à l'étude sont résumés ici :

- Excavation du tunnel;
- Ouvrages connexes, puits, portails;
- Finition des tunnels-voussoirs, dalle de plancher, dalle de plafond;
- Ventilation;
- Drainage;
- Éclairage;
- Signalisation et communication;
- Protection incendie;
- Gestion des déblais;
- Voies de raccordement;
- Échangeurs;
- Coordination des travaux;
- Échéancier de construction;
- Estimation finale.

Dans chacune des spécialités, tous les détails de construction devront être déterminés et leurs implications sur les autres travaux clarifiées, aussi bien du point de vue technique que du point de vue de coordination dans le temps.

Le type de financement du projet influencera beaucoup sur le mode de réalisation de l'ingénierie détaillée. En effet, la détermination du maître d'œuvre : consortium d'entreprises, sociétés, consultants ou autres, caractérise des processus de conception différents.

Au stade actuel du projet de lien sous-fluvial, il est donc trop tôt pour présumer du contenu précis de l'ingénierie détaillée.

12 APPEL D'OFFRES

Cette étape enclenche le processus de construction. Deux modes d'appel d'offres peuvent être enclenchés : soit sur devis descriptif à partir de l'avant-projet détaillé et soumission publique, soit sur appel de proposition suivant une des structures énumérées au chapitre 9.

Comme il est fort peu probable que la construction du lien sous-fluvial Lévis-Québec soit financée par des fonds publics exclusivement, la méthode par devis descriptif n'est sans doute pas celle qui sera retenue. La méthode par appel de proposition est beaucoup plus plausible.

En ce cas, le maître d'oeuvre sera tenu de préparer les éléments du prospectus abrégé et détaillé selon les exigences de la Commission des valeurs mobilières du Québec. Il devra décrire le processus associé au dépôt du prospectus et à la livraison du visa de prospectus.

Le maître d'œuvre devra recommander une stratégie optimisant la levée de fonds. Il décrira la méthode d'émission publique d'actions qu'il recommande, soit la méthode du prix fixe ou celle de l'appel d'offres, en précisant la méthode de détermination du prix de l'action. Le maître d'œuvre justifiera les facteurs qui interviennent dans la détermination du prix de l'action, dont par exemple :

- Ciblage des investisseurs et/ou souscripteurs;
- Structure et mode de gestion;
- Engagement du secteur public.

Le cas échéant, le maître d'oeuvre devra également recommander un choix de bourse où inscrire le titre de la Société sous-fluviale et décrire les étapes à suivre pour se faire coter en bourse.

Après analyse des propositions de concession et accord entre les partenaires publics et privés, l'étape de construction proprement dite pourra débuter.

13 CONCLUSION

La démonstration est faite que le lien sous-fluvial Lévis-Québec est techniquement réalisable et réaliste. La construction de tunnels comparables s'effectue présentement à travers le monde, et dans des conditions géologiques parfois plus problématiques que celles ici prévisibles.

Bien que l'enveloppe budgétaire du projet soit appréciable, sa rentabilité est avant tout une question d'utilisation. Les simulations de circulation et l'analyse financière de cette étude, bien que sommaires, vont dans le sens d'un projet rentable. De plus, le lien sous-fluvial doit être regardé sous l'optique d'un projet structurant, insufflant une nouvelle dynamique à la région de Québec.

Afin d'explorer toutes les avenues, une alternative au projet d'un tunnel foré reliant les deux rives a été envisagée, combinant la construction d'un pont entre la rive nord et l'Île d'Orléans et un tunnel pour la traversée de l'Île d'Orléans vers la rive sud. Ce projet, dont le coût s'apparente au coût du projet complètement sous-fluvial, comporte des irritants majeurs sur le plan environnemental, dû au fait que des ouvrages majeurs seraient érigés dans des zones inondables ou submergées. La population de l'Île d'Orléans risquerait de ne pas apprécier cette alternative, et plus spécifiquement les gens de Ste-Pétronille qui subiraient un achalandage imprévu. Cette solution comporte peu d'attrait et devrait être rejetée.

Un accès routier à l'Île d'Orléans pourrait être examiné pour le projet en tunnel, mais nécessiterait un investissement additionnel fort considérable, qui est difficilement justifiable si l'on considère la faible population résidente de l'Île d'Orléans. Ce projet risque davantage de déplaire que de plaire aux gens du milieu.

Un des points qui ressort de l'étude est la longue période de temps, au moins 12 ans, entre le lancement du projet et la fin de sa construction. Il est donc temps d'agir, afin de ne pas se retrouver à la remorque des événements.

BIBLIOGRAPHIE

- CENTRE D'ÉTUDES DES TUNNELS, 1995. *Brochure d'informations*, ministère de l'équipement, France.
- COMITÉ DU LIEN SOUS-FLUVIAL À L'EST DE LÉVIS-QUÉBEC, 1997. *Rapport de la journée d'échanges* tenue le samedi 25 octobre 1997 au Manoir Montmorency.
- COMITÉ DU LIEN SOUS-FLUVIAL À L'EST DE LÉVIS-QUÉBEC (sans date). *Dépliant informatif*.
- CONSEIL RÉGIONAL DE CONCERTATION ET DÉVELOPPEMENT CHAUDIÈRE-APPALACHES, 1998. *Le parc industrialo-portuaire – un carrefour mer et monde*, brochure informative.
- DEMAY, B., PASCUAL P., PORTEFAIX T., 1997. *Le tunnel de Caluire, un ouvrage remarquable*, revue générale des routes no 756.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 1998. *Status of highway tunnels in USA as of december 1997*, Bridge Division Design and Review Branch., internet.
- FERROVIAL, 1993. *Tunnels, quelques réalisations*, Espagne.
- GEOCITIES, 1998. *The 4th Elbtunnel Tube*, internet.
- GÉOMINES, 1977. *Lien entre la rive nord et la rive sud du fleuve St-Laurent via l'Île d'Orléans*, considérations techniques préliminaires sur les possibilités d'un tunnel dans le cadre du projet.
- GIROUX, Y. M., PICARD, A. BEAULIEU D., 1987. *Historique des liens routiers et ferroviaires entre les rives du St-Laurent à Québec*, communication pour le congrès du centenaire du Génie canadien.
- INRO CONSULTANTS, 1998. *EMME-2 User's manual*, Inro, Montréal.
- JANIN (sans date). *Informations techniques*, divers feuillets techniques sur les réalisations de tunnel par Janin et son actionnaire français Dumez – GTM.
- LEMAY, Chantal et NOEL, Martin, 1995. *Plan de transport de l'agglomération de Québec : Prévion de déplacements des personnes à l'horizon 2011*, ministère des Transports du Québec, Service de la modélisation et des bases de données.
- MAREC, M., 1997. *Les tunnels de la Croix-Rousse, Fourvière et Caluire, quels changements en 50 ans*, revue générale des routes no 756.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC, 1996. *Recensement de la circulation sur les routes du Québec 1996*, ministère des Transports du Québec, Québec.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC, 1994. *Modélisation de la circulation sur le réseau routier de l'agglomération de Québec, Documentation du modèle EMME-2*, Direction régionale de Québec.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC, 1991. *Recensement de la circulation sur les routes du Québec, 1991*.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC, 1979. *Lien sous-fluvial rive nord – rive sud par l'Île d'Orléans – Étude d'impact sur le développement urbain*, service des études.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC, 1975. *Lien rive nord – rive sud via tunnel*, direction générale du génie, service des sols et matériaux, section mécanique des roches.

MINISTÈRE DE LA VOIRIE ET DES TRANSPORTS, 1973. *Région de Québec – Lien rive sud – rive nord*. service technique de la circulation.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (sans date). *Le pont tunnel Louis-Hippolyte-Lafontaine*, dépliant informatif.

PARADIS, C., 1997. *Les équipements de péage du boulevard périphérique de Lyon*, revue générale des routes no 756.

PAULSON, Boyd C. Jr., 1998. *Japanese Tunnel Design : Lessons for the U.S.*, internet.

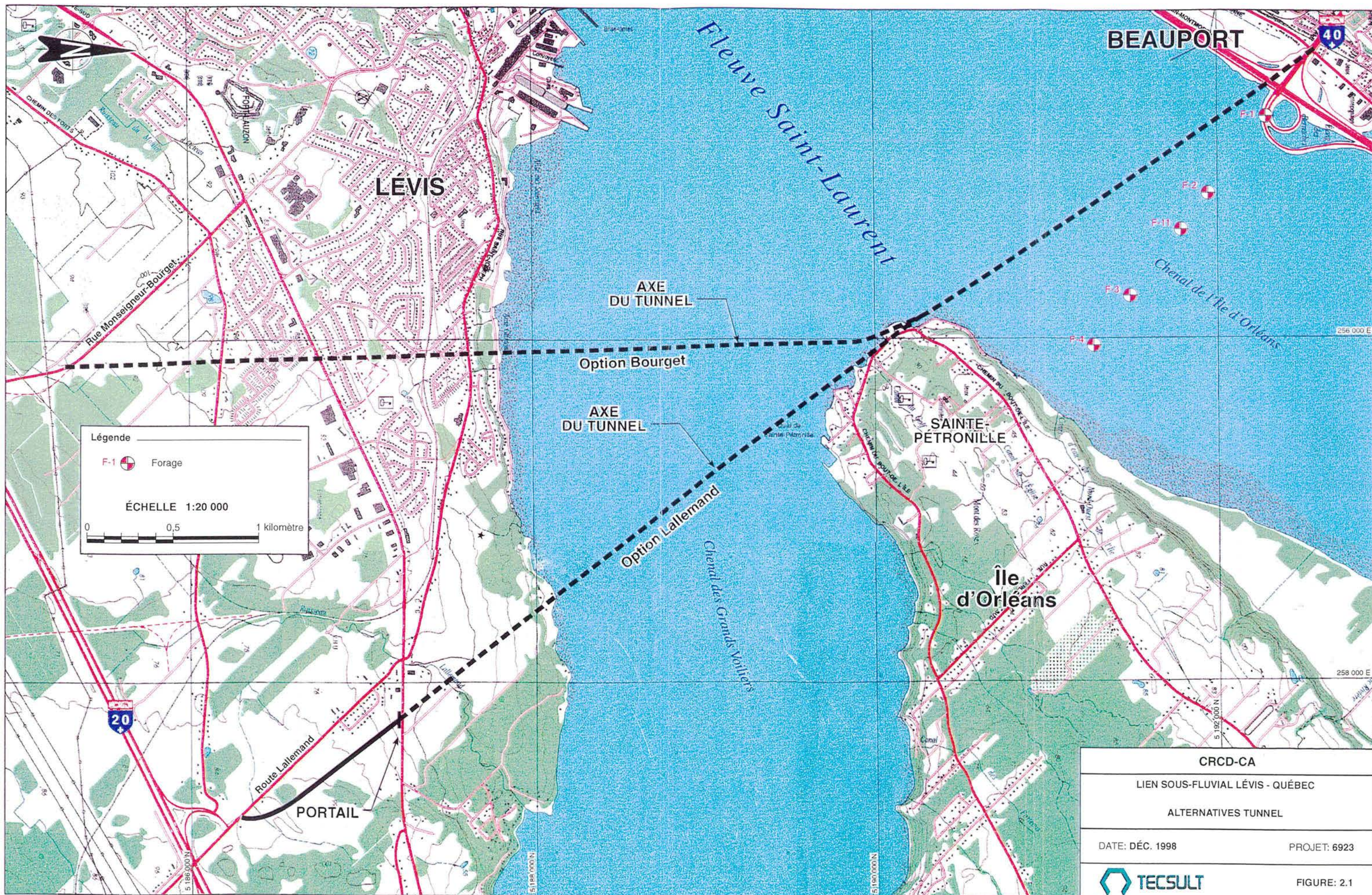
ROBERT HAMELIN & ASS., 1996. *Construction d'un terminal portuaire sur la rive sud de Québec*, rapport d'expertise pour la Société du port de Québec.

URBATIQUE, 1998. *Projet d'étude du lien rive nord – rive sud à l'est de la région métropolitaine de Québec*.

VANDRY, JOBIN ET ASS., 1979. *Étude sur la faisabilité d'un lien entre la rive nord et la rive sud du fleuve*, rapport final.

Sans titre, 1963-1998. *Revue de presse* environ 60 articles traitant des diverses perspectives de lien rive sud - rive nord et de péage autoroutier.

FIGURES





PREMIER TUNNEL - FÉVRIER 1997

TUNNEL DE CALUIRE. VILLE DE LYON - FRANCE
DEUX TUNNELS DE DEUX VOIES. LONGUEUR 3 250m. DIAMÈTRE 11m



CIRCULATION À DOUBLE SENS EN ATTENDANT LA FINITION DU DEUXIÈME TUNNEL

CRCD-CA

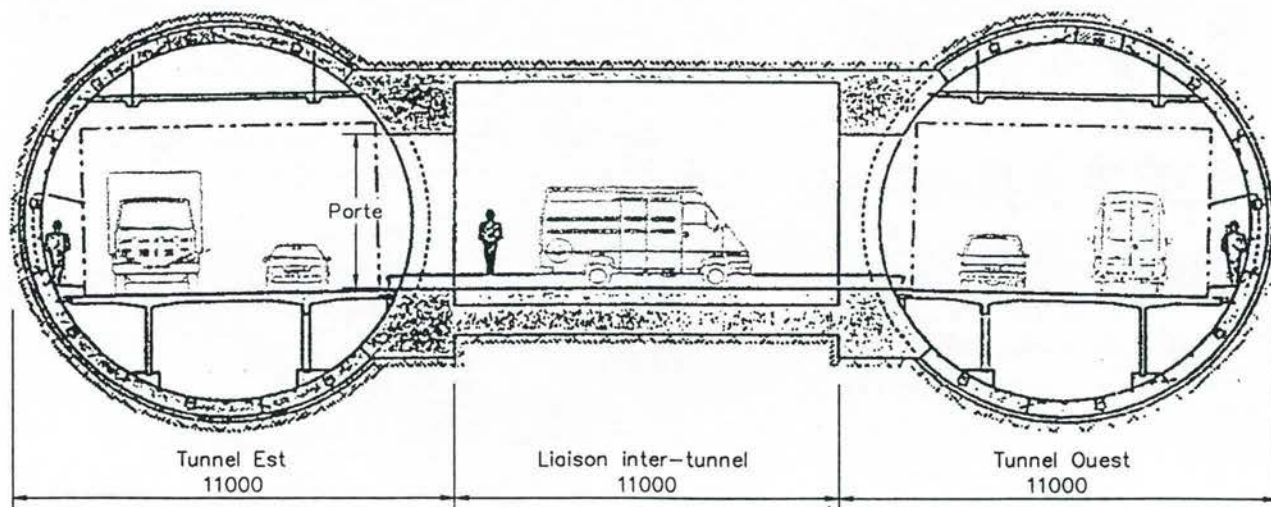
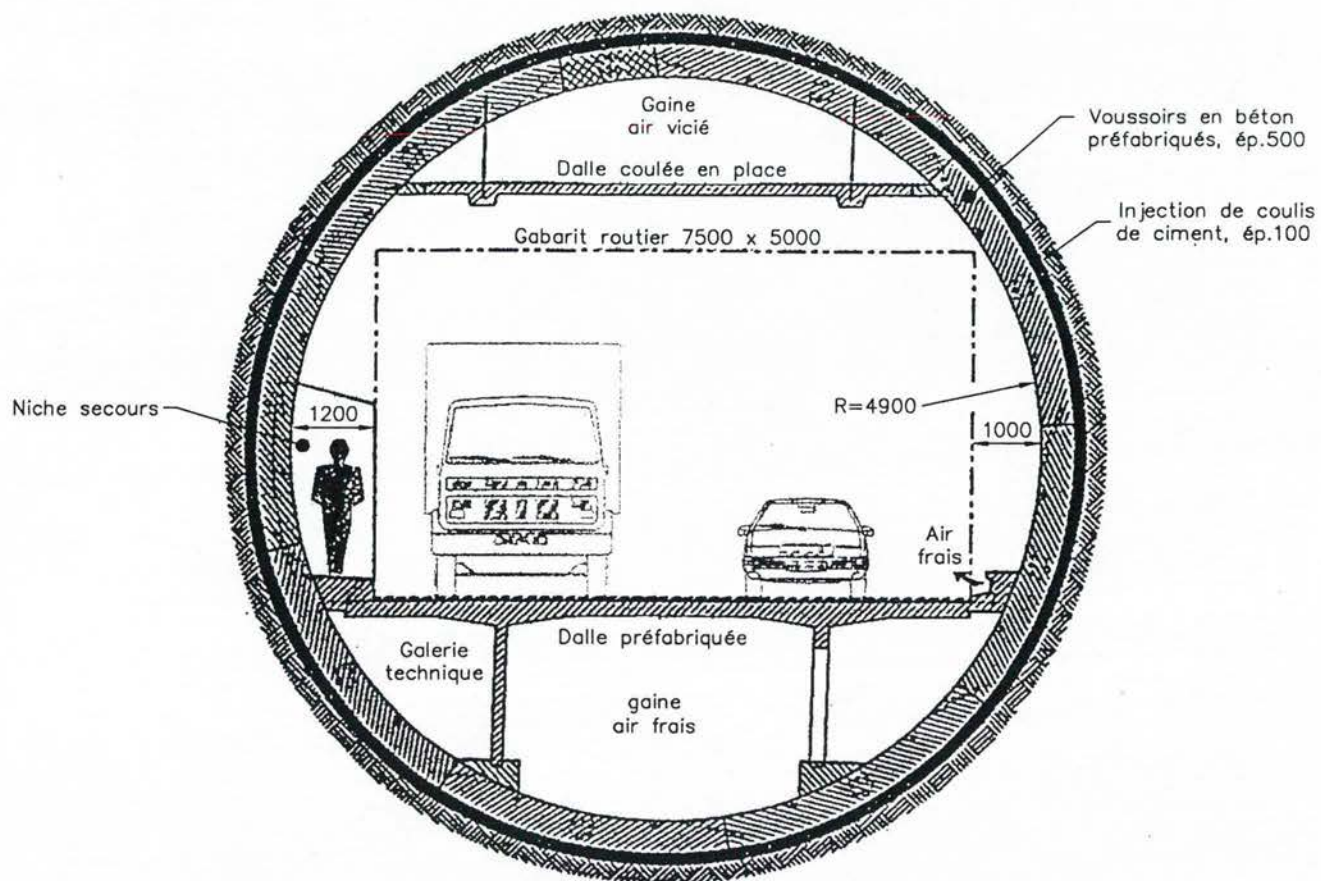
LIEN SOUS-FLUVIAL LÉVIS-QUÉBEC
EXEMPLE DE TUNNEL. CALUIRE



PROJET: 6923

DATE: MAI 1999

FIGURE 3.1



Note: toutes les dimensions sont en millimètres

CRCD-CA

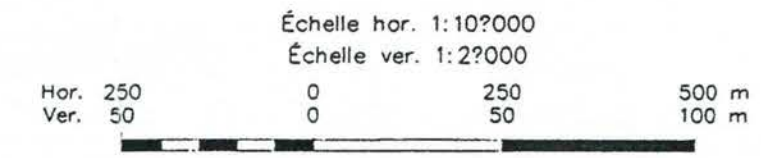
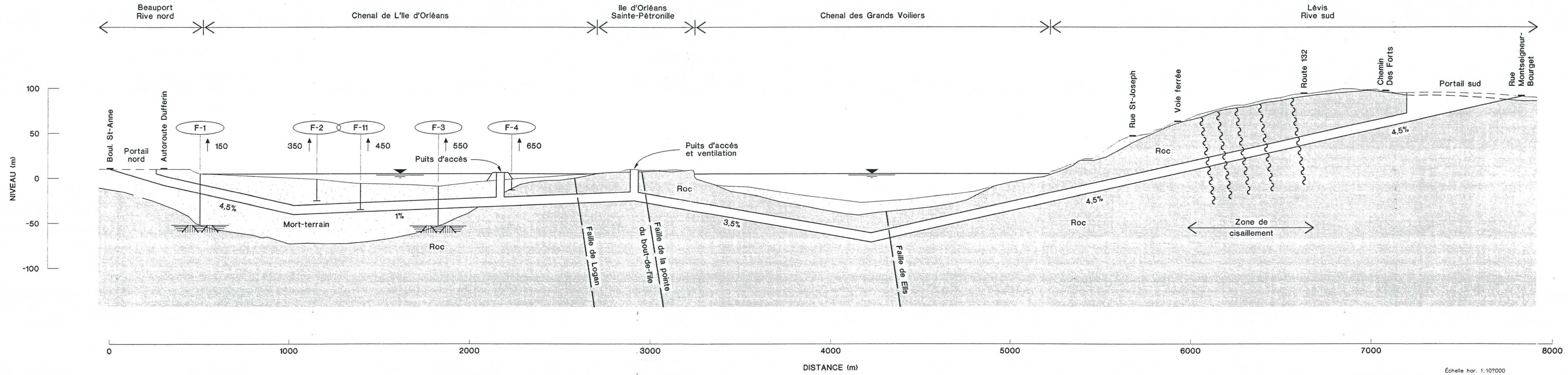
LIEN SOUS-FLUVIAL LÉVIS-QUÉBEC
COUPES TYPES TRANSVERSALES



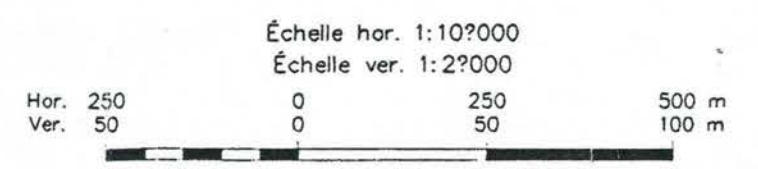
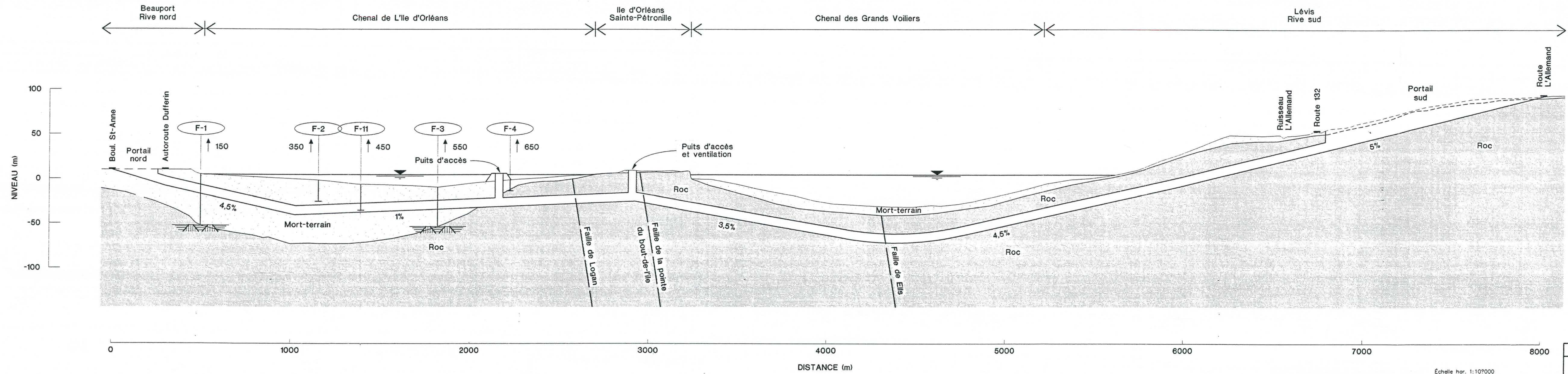
PROJET: 6923

DATE: DÉC. 1998

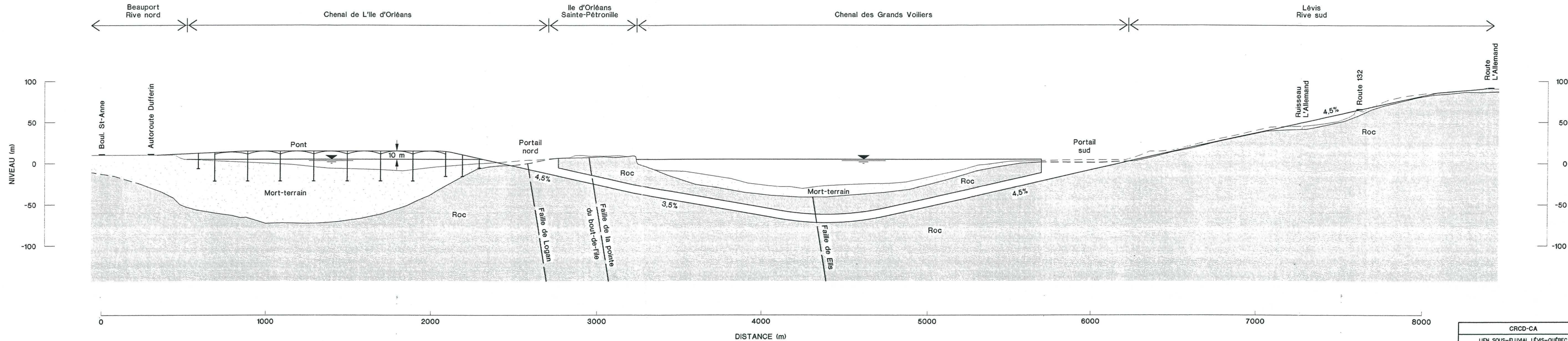
FIGURE: 3.2



CRCD-CA	
LIEN SOUS-FLUVIAL LÉVIS-QUÉBEC	
PROFIL LONGITUDINAL	
ALTERNATIVE TUNNEL - OPTION BOURGET	
DATE: DÉC. 1998	PROJET: 6923
TECSULT	FIGURE 3.3



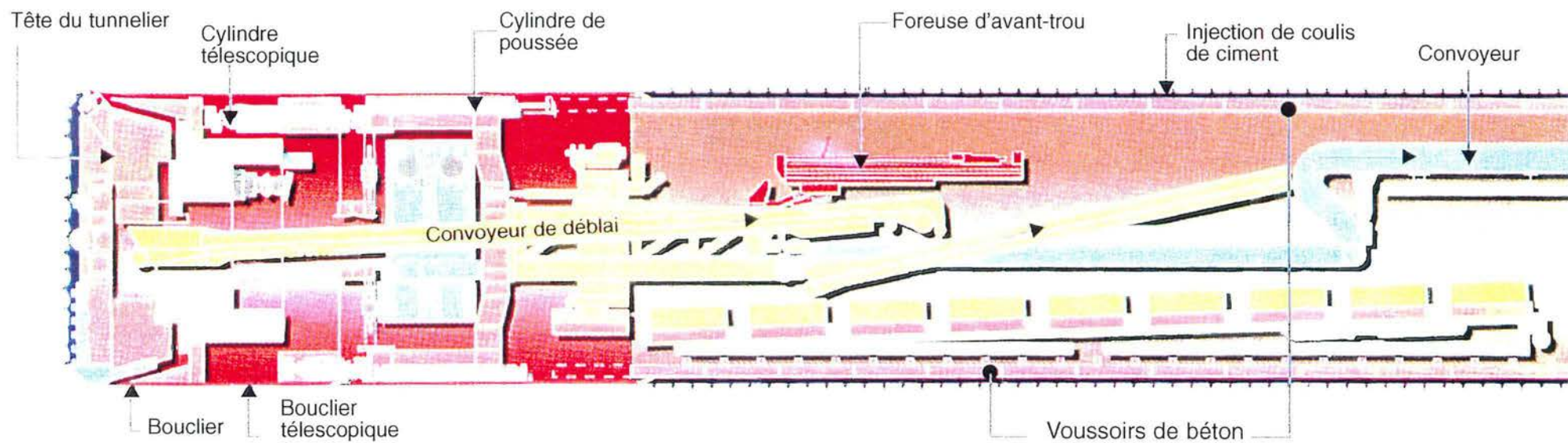
CRCD-CA	
LIEN SOUS-FLUVIAL LÉVIS-QUÉBEC	
PROFIL LONGITUDINAL	
ALTERNATIVE TUNNEL - OPTION LALLEMAND	
DATE: DÉC. 1998	PROJET: 6923
TECSULT	
FIGURE 3.4	



Échelle hor. 1:10?000
Échelle ver. 1:2?000

Hor. 250 0 250 500 m
Ver. 50 0 50 100 m

CRCD-CA	
LIEN SOUS-FLUVIAL LÉVIS-QUÉBEC	
PROFIL LONGITUDINAL	
ALTERNATIVE PONT ET TUNNEL	
DATE: DÉC. 1998	PROJET: 6923
TECSULT	FIGURE 3.5



CRCD-CA	
LIEN SOUS-FLUVIAL LÉVIS-QUÉBEC COUPE LONGITUDINALE D'UN TUNNELIER	
DATE: DÉC. 1998	PROJET: 6923
TECSULT	FIGURE: 4.2

LIEN SOUS-FLUVIAL LÉVIS-QUÉBEC

Dossier : 6923

Exemple de l'échéancier de réalisation du tunnel foré de Caluire.

Longueur 3 250 m. - Boulevard périphérique de Lyon , France.

Ouvrage en concession type BOT avec exploitation pour 35 ans.

Étapes	Date	Temps écoulé	
		Partiel	Cumulé
Préparation			
Inscription au schéma directeur : 1978	1978		
Déclaré priorité du schéma directeur : 1989	1989		11 ans
Réalisation			
Appel d'offres de concession	Oct. '89	---	---
Choix du concessionnaire	Avril '90	6 mois	---
Approbation de l'avant-projet sommaire	Nov. '90	7 mois	13 mois
Signature de la convention et choix de la grille de péage	Juillet '91	8 mois	1 an 9 mois
Déclaration d'utilité publique	Juillet '92	12 mois	2 ans 9 mois
Autorisation de péage par gouvernement	Fév. '93	7 mois	3 ans 4 mois
Approbation de l'avant-projet détaillé et démarrage des travaux	Juillet '93	5 mois	3 ans 9 mois
Début de l'excavation du tunnel	Sept. '94	14 mois	4 ans 11 mois
Ouverture du 1er tunnel	Fév. '97	29 mois	7 ans 4 mois
Ouverture du 2e tunnel	Janv. '99	23 mois	9 ans 3 mois
Total			20 ans

Figure 5.1

LIEN SOUS-FLUVIAL LÉVIS-QUÉBEC

Dossier : 6923

ÉCHÉANCIER DE RÉALISATION Phases préparatoires

	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans	6 ans
Étude géotechnique	18 mois					
Étude de faisabilité	18 mois					
Évaluation des impacts environnementaux	12 mois					
Estimation préliminaire type D		3 mois				
Montage financier		12 mois				
Autorisations gouvernementales			6 mois			
Étude d'impact environnementale BAPE			24 mois			
Dézonage agricole côté rive sud				9 mois		
Investigations géotechniques détaillées					12 mois	
Avant-projet détaillé - Estimation finale					12 mois	
Appel d'offres						4 mois
Analyse des soumissions et des variantes						2 mois

Figure 5.2

LIEN SOUS-FLUVIAL LÉVIS-QUÉBEC

Dossier : 6923

ÉCHÉANCIER DE RÉALISATION Phases de construction

	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans	6 ans	7 ans
Préparation et construction des tunneliers usines de fabrication de voussoirs et installations des puits d'accès	18 mois						
Forage 1er tunnel chenal nord		13 mois					
Forage 1er tunnel chenal sud		18 mois					
Démontage - Transport - Remontage du tunnelier				6 mois			
Finition du 1er tunnel				12 mois			
Construction des échangeurs				15 mois		6 mois	
Forage du 2e tunnel chenal nord				12 mois			
Forage du 2e tunnel chenal sud				15 mois			
Démontage tunnelier					3 mois		
Démobilisation usine					3 mois		
Finition du 2e tunnel					12 mois		
Imprévus - Bris - Conditions hivernales						12 mois	

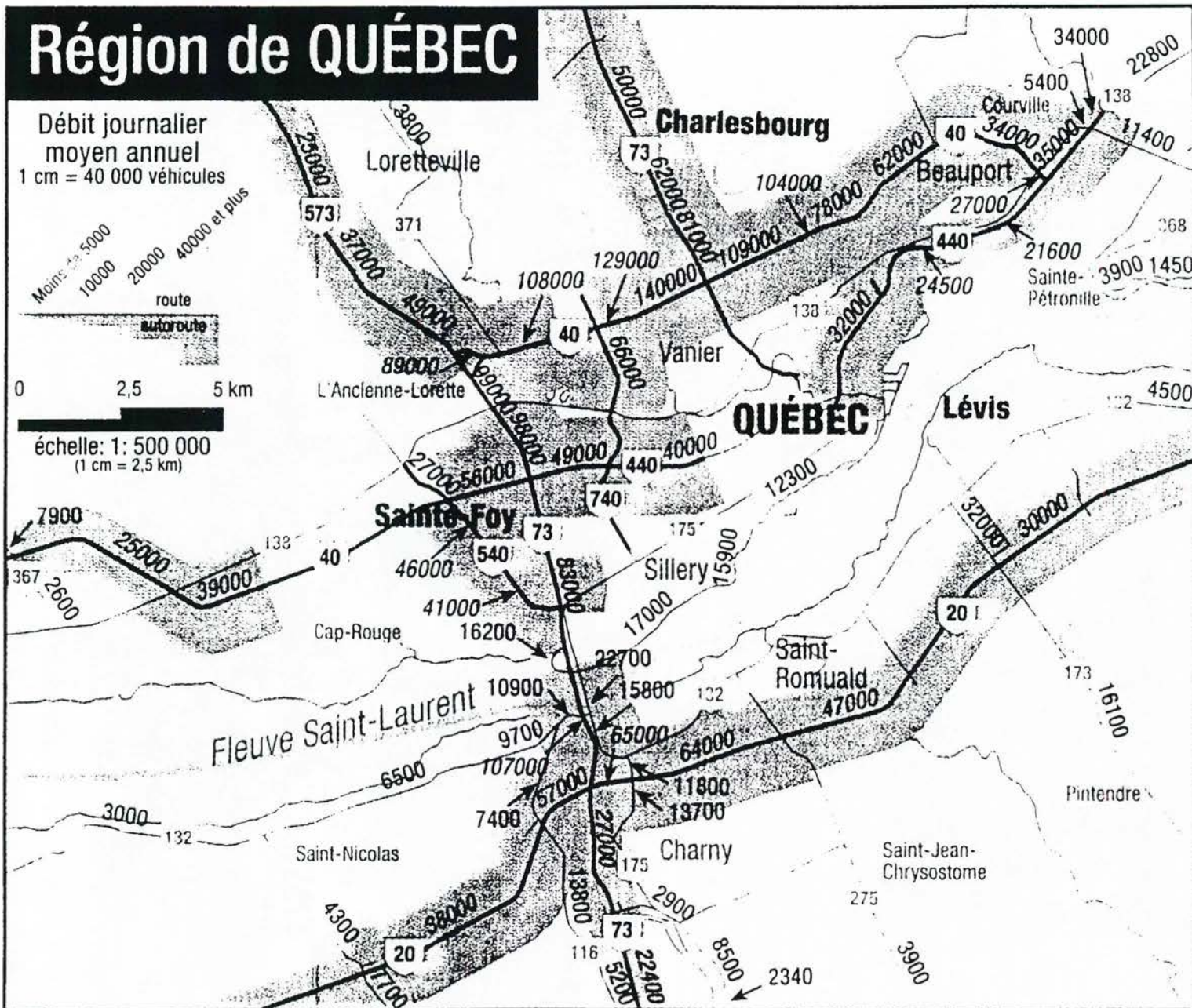
Figure 5.3

FIGURE 7.1 :
Simulation d'affectation
Volume bidirectionnel de période de pointe du matin, 1991



16 931 Réseau existant

(13 868) Réseau comprenant le nouveau lien interrives



Source : Débit de circulation journalier moyen annuel 1996 – Transports Québec

Figure 7.2

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 262 016