

**ÉTUDE D'IMPACT DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN
PONT AU-DESSUS DE LA RIVIÈRE SAGUENAY, MUNICIPALITÉS
DE TADOUSSAC ET DE BAIE-SAINTE-CATHERINE,
MRC DE LA HAUTE-CÔTE-NORD ET DE CHARLEVOIX-EST**

Contrat n° : 3550-01-AC05

FAISABILITÉ TECHNIQUE

Version finale - Juin 2009



ÉTUDE D'IMPACT DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN
PONT AU-DESSUS DE LA RIVIÈRE SAGUENAY, MUNICIPALITÉS DE
TADOUSSAC ET DE BAIE-SAINTE-CATHERINE,
MRC DE LA HAUTE-CÔTE-NORD ET DE CHARLEVOIX-EST

Contrat n° : 3550-01-AC05

FAISABILITÉ TECHNIQUE

Juin 2009

LISTE DES DOCUMENTS

→ Faisabilité technique

Faisabilité technique (Annexes)

Faisabilité technique (Cahier des dessins)

Résumé de l'étude d'impact sur l'environnement

Étude d'impact sur l'environnement

Étude d'impact sur l'environnement (Annexes)

Résumé de l'étude socioéconomique

Étude socioéconomique

Annexes de l'étude socioéconomique

Communication

Communication (Annexes)

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Amin Khouday, ing., M.Sc., D.Sc., D.S.A., Chargé de projet
FSCGC
(SNC♦LAVALIN inc.)

Volet Environnement

SNC♦LAVALIN Environnement inc.

Yves Comtois, B.A., M.Sc.	Chargé de projet adjoint – Volet Environnement
Mathieu Arcand, B.Sc., DESS (SIG)	Bilan des impacts, supervision de l'édition
Stéphanie Brisson, géographe, B.Sc., M.A.	Résumé de l'étude, supervision de l'édition
Eric Delisle, météorologue, B.Sc. (Physique)	Qualité de l'air
Hugues Dubois, géographe, B.Sc.	Système d'information géographique et cartographie
Richard Fontaine, ing. f.	Exploitation forestière
Christian Laliberté, géographe, B.Sc., M.Sc.	Analyse comparative des variantes, système d'information géographique et cartographie
Christian Laroche, géographe, B.Sc.	Système d'information géographique et cartographie
Martin Meunier, ing., M.Ing.	Milieu sonore

GENIVAR Groupe conseil

Jean Boudreault, B.Sc.	Coordination GENIVAR, Québec et Montréal
Claude Théberge, M.Sc.	Coordination GENIVAR, Baie-Comeau
Gino Beauchamp, géomorphologue, B.Sc., M.Sc.	Milieu physique
Linda Giroux, architecte paysagiste, B.A.P	Milieu visuel et coordination de l'équipe du concept de mise en valeur et d'harmonisation visuelle
Mario Heppell, biologiste-aménagiste, B.Sc. (Biologie), M. ATDR.	Milieus biologique et humain
Michel Simard, urbaniste économiste, M.A.	Justification et milieu socioéconomique
Annie Bérubé, biologiste, B.Sc. (Biologie)	Milieu biologique
Mathieu Cyr, géographe, B.Sc., M.Env.	Milieu humain

Manuel Lafortune, géomorphologue,
B.Sc., M.Sc.

Hydrogéologie et qualité de l'environnement

Michel Robitaille, ing., M.Ing.

Circulation et sécurité

Denis Meunier, ing. f.

Végétation forestière

Cartographie

Gilles Wiseman, cartographe-géomaticien

Préparation des données cartographiques

Christian Savard, cartographe

Support à la préparation des données
cartographiques

Consultants associés

Magella Bouchard, agronome

Milieu agricole

Pierre Gagné, ing. f.

Milieu forestier

Pierre Mousseau, biologiste, B.Sc., M.Sc.

Avifaune

Alain Morrier, biologiste, B.Sc., M.Sc.

Avifaune

Concept de mise en valeur et d'harmonie visuelle

Gilles Arpin
(Éclairage public)

Aspect éclairage

Laurent Caperaà, ing.
(Images et Technologies)

Simulations et animations visuelles 3D

Don Darby, artiste-sculpteur, B. Art

Aspect sculptural

André Major, architecte, B. Architecture
(Lemay et Associés)

Aspect architectural

Consultation publique

Véronique Gilain, ing., M.Sc., M.Sc.A.

Coordination du Volet Communication

Martin Tremblay, B. A. Communication

Volet Communication

Volet technique

SNC ♦ LAVALIN inc.

Adel R. Zaki, ing.	Pont suspendu
Gaëtan Boyer, ing., M.Sc.	Génie routier
Richard Simard, ing., Ph.D.	Mécanique des sols et mécanique des roches
Nadia Feknous, ing., Ph.D.	Mécanique des sols et mécanique des roches

GENIVAR Groupe conseil

Jacques Blouin, ing., M.Sc.	Viaducs
Michel Simard, urbaniste économiste, M.A.	Circulation et sécurité
André Leduc, M.Ing.	Circulation et sécurité
Jacques Deschênes, ing.	Éclairage
Linda Giroux, architecte-paysagiste	Concept de mise en valeur du pont
Gilles Wiseman, géomaticien	Concept de mise en valeur du pont

CONSULTANTS ET SOUS-TRAITANTS

Michel Virlogeux, Dr. ing.	Chargé de projet adjoint – Volet Faisabilité technique
----------------------------	--

Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc.

Vijay Chandra, ing., M.Sc.	Pont suspendu
Ruchu Hsu, ing., M.Sc.	Pont suspendu
Joseph Tse, ing.	Pont suspendu

Rowan Williams Davies & Irwin Inc.

Stoyan Stoyanoff, ing., Ph.D.	Étude en soufflerie
Mark A. Hunter, ing.	Étude en soufflerie
Suresh Kumaresannai, ing., Ph.D.	Étude en soufflerie
Peter A. Irwin, ing., Ph.D.	Étude en soufflerie
Jan Dale, M.E.Sc.	Ingénierie du vent

Laboratoire B-Sol

Jean Authier, ing., M.Sc.A.	Mécanique des sols et mécanique des roches
-----------------------------	--

Volet Socioéconomique

GENIVAR Groupe conseil

Michel Simard, urbaniste économiste, M.A.	Chargé de projet adjoint – Volet Socioéconomique
Christian Couette, géographe, M.B.A.	Impacts socioéconomiques
Julie Michaud, économiste	Analyse économique et demande
Claire Piché, économiste, B.A.A., M.A.	Résumé, supervision de l'édition
Paul Dumas, M.B.A.	Étude de cas comparables
Neji Larbi, ing.	Circulation et sécurité

CONSULTANTS ET SOUS-TRAITANTS

Stephen Gordon, économiste, Ph. D.	Économétrie
------------------------------------	-------------

Pricewaterhousecoopers

Patrick Samson, C.A.	Mode de financement
Daniel Cadoret, C.A.	Mode de financement

Ministère des Transports du Québec

Denis Domingue, ing.	Directeur, Direction de la Côte-Nord
Michel Bérubé, ing.	Chef de service, Direction de la Côte-Nord
Marc Larin, urbaniste	Chargé de projet, Direction de la Côte-Nord
Luc Bourassa, agent d'information	Volet communication, Direction de la Côte-Nord
Louis-Georges Coulombe, ing.	Volet technique – structures, Direction des structures
André Drolet, ing.	Volet technique – mécanique des sols et des roches, Direction du laboratoire des chaussées
Gilles Grondin, ing.	Volet technique – mécanique des sols, Direction du laboratoire des chaussées
Pierre Dorval, ing.	Volet technique – mécanique des roches, Direction du laboratoire des chaussées
Pierre Samson, biologiste	Volet environnement – coordination, Direction générale de Québec et de l'Est
Fabien Lecours, architecte du paysage	Volet environnement – aspects visuels, Direction générale de Québec et de l'Est
Denis Roy, archéologue	Volet environnement – archéologie, Direction générale de Québec et de l'Est
Caroline Mercier, stagiaire en archéologie	Volet environnement – archéologie, Direction générale de Québec et de l'Est
Pierre Lord, ing.	Volet environnement - circulation, Direction générale de Québec et de l'Est
Charles Morin, ing.	Volet environnement – milieu sonore, Direction de la Capitale-Nationale
Michel Michaud, géographe-aménagiste	Volet environnement – milieu humain, Direction générale de Québec et de l'Est
André Saint-Sauveur, économiste	Volet socioéconomique, Direction de la planification
Robert Patry, aménagiste	Volet socioéconomique, Direction de la planification

TABLE DES MATIÈRES

NOTES GÉNÉRALES

Abréviations

Unités

1.	PONT SUSPENDU	1
1.1	Introduction.....	1
1.2	Critères de conception.....	3
1.3	Caractéristiques de l'ouvrage	3
1.3.1	Caractéristiques générales	3
1.4	Étude des variantes des composantes du pont suspendu	8
1.4.1	Tablier unique versus tablier à double caisson.....	8
1.4.2	Les pylônes	14
1.4.3	Tablier avec ou sans trottoir.....	16
1.4.4	Travées d'approche suspendues versus travées indépendantes.....	17
1.4.5	Système de déshumidification	18
1.5	Conception des composantes de la structure du pont suspendu.....	19
1.5.1	Analyse et dimensionnement	19
1.5.2	Caractéristique des composantes du pont.....	19
1.5.2.1	<i>Le tablier</i>	19
1.5.2.2	<i>Le câble porteur</i>	20
1.5.2.3	<i>Le système d'ancrage des câbles</i>	20
1.5.2.4	<i>Les suspentes</i>	22
1.5.2.5	<i>Les pylônes</i>	23
1.5.2.6	<i>La fondation des pylônes</i>	24
1.5.2.7	<i>Les culées</i>	25
1.6	Construction	25
1.6.1	Fondation des pylônes	25
1.6.2	Les pylônes	25
1.6.3	Chambre d'ancrages des câbles.....	25
1.6.4	Érection des câbles.....	26
1.6.5	Érection du tablier	26
1.7	Recommandations.....	26
1.8	Calcul des quantités et estimation budgétaire des coûts	27
1.8.1	Coûts de réalisation.....	27
1.8.2	Coûts d'entretien	27
2.	OUVRAGES D'ART	1
2.1	Données techniques.....	1
2.1.1	Introduction.....	1
2.1.2	Description des structures.....	1

2.1.2.1	Viaduc sur le tracé N-1	1
2.1.2.2	Pont situé au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine sur le tracé S-1	4
2.1.3	Chargements	4
2.1.4	Étude du viaduc situé sur le tracé N-1	5
2.1.4.1	Étude du tablier	5
2.1.4.2	Analyse sismique du viaduc	13
2.1.4.3	Étude des joints de dilatation	23
2.1.4.4	Étude des fondations	23
2.1.4.5	Comparaison des alternatives étudiées	26
2.1.5	Recommandations et résumé des coûts de construction pour le viaduc du tracé N-1	28
2.1.6	Pont situé au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine sur le tracé S-1	30
2.1.6.1	Étude du tablier	31
2.1.6.2	Analyse sismique	32
2.1.6.3	Étude des fondations	33
2.1.6.4	Analyse des coûts	35
2.1.7	Conclusion	37
2.1.7.1	Conclusion sur le viaduc du tracé N-1	37
2.1.7.2	Conclusion sur le pont au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine situé sur le tracé S-1	38
3.	GÉNIE ROUTIER	1
3.1	Critères de conception	1
3.2	Étude des scénarios	2
3.3	Scénarios retenus	6
3.4	Plans et profils	6
3.5	Routes d'accès aux pylônes	6
3.6	Sentiers pédestres	7
3.7	Belvédères	7
3.8	Route panoramique le long du Saguenay	8
3.9	Sections en travers types	8
3.10	Calcul des quantités et estimations	8
4.	MÉCANIQUE DES SOLS ET MÉCANIQUE DES ROCHES	1
4.1	Introduction	1
4.2	Inspection du site effectuée les 9 et 10 septembre 2003	1
4.2.1	Commentaires	2
4.2.1.1	Rive gauche (Nord)	2
4.2.1.2	Rive droite (Sud)	2
4.2.2	Recommandations pour le programme d'investigation du Laboratoire	3
4.2.3	Photos de la zone d'implantation du pylône gauche	4
4.2.4	Photos de la zone d'implantation du pylône en rive droite	12
4.3	Inspection du site effectuée par le laboratoire entre le 17 et le 19 septembre 2003	17
4.3.1	Observation	17
4.3.1.1	Ancrage rive droite (Baie-Sainte-Catherine)	17

4.3.1.2	<i>Pylône en rive droite (Baie-Sainte-Catherine)</i>	17
4.3.1.3	<i>Ancrage rive gauche (Tadoussac)</i>	19
4.3.1.4	<i>Pylône en rive gauche (Tadoussac)</i>	19
4.4	Rapport de l'étude géotechnique.....	22
5.	CIRCULATION ET SÉCURITÉ	1
5.1	Introduction.....	1
5.2	Conditions de circulation	1
5.2.1	Réseau routier et trafic.....	1
5.2.2	Niveaux de service	3
5.2.3	Temps de parcours et accessibilité.....	4
5.2.4	Circulation piétonnière et cyclable	5
5.2.5	Autres circulations	5
5.3	Sécurité	5
5.3.1	Fréquence de fermeture du pont.....	5
5.3.2	Dispositif de fermeture	6
5.3.3	Parcs routiers	6
5.3.4	Signalisation	7
5.3.4.1	<i>Signalisation aux approches du pont</i>	7
5.3.4.2	<i>Vitesse affichée</i>	8
5.3.4.3	<i>Stationnement</i>	8
5.3.5	Surveillance et mesures d'urgence	8
5.3.5.1	<i>Surveillance</i>	8
5.3.5.2	<i>Station météo, instrumentation du pont suspendu et système de déglçage</i>	9
5.3.5.3	<i>Mesures d'urgence</i>	10
5.3.5.4	<i>Charges de nature dangereuse ou hors gabarit</i>	10
5.3.6	Soutien à l'exploitation et STI.....	13
5.4	Coûts	13
6.	SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE ET D'URGENCE (PONT, VIADUC ET ROUTE)...	1
6.1	Introduction.....	1
6.2	Normes, références et exigences.....	1
6.3	Éclairage du pont, des intersections et du viaduc	2
6.3.1	Unité d'éclairage.....	2
6.3.2	Emplacement de l'unité d'éclairage	2
6.3.3	Niveau d'éclairage.....	3
6.4	Éclairage et services dans les culées, le tablier et les pylônes	4
6.5	Balises	4
6.6	Branchements électriques pour le pont et le viaduc.....	4
6.7	Distribution électrique du pont.....	5
6.8	Distribution électrique du viaduc.....	6
6.9	Groupes électrogènes d'urgence (2).....	6

6.10	Points d'alimentation et de distribution pour les intersections	7
6.10.1	Points d'alimentation	7
6.10.2	Point de distribution.....	7
6.10.3	Distribution électrique pour les intersections	7
6.11	Raccordement des panneaux à messages variables	8
6.12	Raccordement des barrières automatiques.....	8
6.13	Éclairage architectural	8
6.14	Calculs d'éclairage	8
6.14.1	Calculs d'éclairage par luminance et illuminance	8
6.15	Distribution électrique	8
6.15.1	Emplacement de la chambre de distribution électrique	9
6.15.2	Diagramme de distribution électrique du pont suspendu, côté sud	9
6.16	Estimation des coûts	9
6.16.1	Viaduc (N1)	9
6.16.2	Intersection Baie-Sainte-Catherine	9
6.16.3	Intersection Tadoussac	9
6.16.4	Pont suspendu	10
6.16.5	Éclairage visuel	10
7.	CONCEPT DE MISE EN VALEUR DU PONT ET SES APPROCHES	1
7.1	Objectifs.....	1
7.2	Méthodologie	2
7.3	Définition du concept.....	3
7.3.1	Les carrefours Baie-Sainte-Catherine et Tadoussac (secteurs 1 et 8).....	4
7.3.2	Les parcours boisés Sud et Nord (secteurs 2 et 7).....	5
7.3.3	Les tranchées et les belvédères Sud et Nord (secteurs 3 et 5).....	5
7.3.4	Le pont suspendu (secteur 4)	6
7.3.5	Le viaduc (secteur 6).....	7
7.3.6	Les aires d'arrêt des camions	7
7.3.7	Mise en valeur des municipalités	8
7.4	Simulations visuelles	8
8.	ESTIMATION BUDGÉTAIRE ET ÉCHÉANCIER.....	1
8.1	Estimation budgétaire.....	1
8.2	Échéancier de réalisation	4
8.2.1	Scénario A.....	4
8.2.2	Scénario B.....	4

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Accélération horizontale maximale du sol.....	5
Tableau 1.2	Évaluation d'un tablier à caisson unique versus un tablier à double caisson	14
Tableau 1.3	Estimation budgétaire Tablier sans trottoir.....	29
Tableau 2.1	Coûts des différentes alternatives de tablier	12
Tableau 2.2	Efforts transmis aux fondations des piles.....	24
Tableau 2.3	Avantages et inconvénients des différentes solutions étudiées.....	27
Tableau 2.4	Comparaison des coûts des fondations du viaduc.....	27
Tableau 2.5	Coûts de construction du viaduc sur le tracé N-1	29
Tableau 2.6	Efforts transmis à la fondation de la pile	33
Tableau 2.7	Coûts de construction du pont sur le tracé S-1	36
Tableau 3.1	Critères de conception	1
Tableau 3.2	Estimation des travaux de chaussée, scénario S-1, 2 voies.....	10
Tableau 3.3	Estimation des travaux de chaussée, scénario N-1, 2 voies	11
Tableau 3.4	Estimation des travaux de chaussée, scénario S-1, 4 voies.....	12
Tableau 3.5	Estimation des travaux de chaussée, scénario N-1, 4 voies	13
Tableau 3.6	Estimation des scénarios, travaux routiers, résumé	14
Tableau 4.1	Coordonnées de l'emplacement préliminaire des ancrages et pylônes.....	1
Tableau 5.1	Niveaux de service et retards, route 138 / accès à Tadoussac, 2003-2026	4
Tableau 5.2	Distances et temps de parcours, nouvel itinéraire	4
Tableau 5.3	Procédures d'urgence sur un pont lors d'un accident.....	11
Tableau 5.4	Sommaire des coûts.....	13
Tableau 8.1	Estimation budgétaire, Phase 1 (2 voies)	2
Tableau 8.2	Estimation budgétaire, Phase 2 (élargissement du tracé à 4 voies).....	2
Tableau 8.3	Estimation budgétaire (Tracé à 4 voies, phase 1 + phase 2).....	3
Tableau 8.4	Estimation budgétaire (Tracé à 4 voies)	3
Tableau 8.5	Scénario A – Un seul contrat.....	5
Tableau 8.6	Scénario B – Deux contrats.....	6

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Tablier à caisson unique	9
Figure 1.2	Tablier à double caisson	11
Figure 1.3	Types de pylône	15
Figure 1.4	Coupe transversale – Géométrie du tablier sans trottoir.....	17
Figure 1.5	Travées d’approche indépendantes	17
Figure 1.6	Travées d’approche suspendues	18
Figure 1.7	Coupe transversale du pont suspendu.....	20
Figure 1.8	Disposition des torons et tiges d’ancrages.....	21
Figure 1.9	Détail du système d’ancrage	22
Figure 1.10	Système de suspentes	23
Figure 1.11	Pylônes.....	24
Figure 2.1	Poutres assemblées en acier	2
Figure 2.2	Poutres assemblées en acier	3
Figure 2.3	Deux caissons en acier	6
Figure 2.4	Deux caissons en acier	7
Figure 2.5	Caisson unique en acier avec traverses aux 4 mètres en zone de moment positif.....	8
Figure 2.6	Caisson unique en acier avec traverses aux 4 mètres en zone de moment positif.....	9
Figure 2.7	Caisson unique en acier avec longerons et traverses aux 10 mètres en zone de moment positif	10
Figure 2.8	Caisson unique en acier avec longerons et traverses aux 10 mètres en zone de moment positif	11
Figure 2.9	Piles à inertie variable – Dalle sur poutres en acier sans voie auxiliaire	15
Figure 2.10	Piles à inertie variable – Dalle sur poutres en acier avec voie auxiliaire	16
Figure 2.11	Piles à inertie variable – Dalle sur caisson en acier sans voie auxiliaire	17
Figure 2.12	Piles à inertie variable – Dalle sur caisson en acier avec voie auxiliaire	18
Figure 2.13	Coupes des piles.....	19
Figure 2.14	Modèle d’analyse 3D du viaduc	20
Figure 2.15	Fondations des piles du viaduc.....	25

Figure 2.16	Pont au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine.....	30
Figure 2.17	Piles à inertie variable – Pont au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine	31
Figure 2.18	Fondations de la pile du pont	34
Figure 3.1	Scénarios d'étude A-1 et A-2	2
Figure 3.2	Rive droite Géométrie des alternatives	15
Figure 3.3	Rive droite Alternative # 1 – profil	16
Figure 3.4	Rive droite Alternative # 2 – profil	17
Figure 3.5	Rive droite Alternative # 3 – profil	18
Figure 3.6	Rive droite Alternative # 4 – profil	19
Figure 5.1	Route d'accès vers Tadoussac et distribution des mouvements au carrefour de la nouvelle route 138.....	2

ANNEXES^(*) (volume distinct)

- 1.A- Rapport d'études aérodynamiques
- 1.B- Response Spectrum Recommendation
- 1.C- Seismic Hazard Report
- 1.D- Géométrie et estimation budgétaire pour un tablier muni de trottoir
- 1.E- Dehumidification Report
- 2. *Il n'y a pas d'annexe*
- 3. *Il n'y a pas d'annexe*
- 4. Rapport de l'étude géotechnique
- 5.A- Analyse de capacité de circulation
- 5.B- Étude supplémentaire de la climatologie des vents
- 6. Calcul d'éclairage par luminance et illuminance
- 7. Concept de mise en valeur
- 8. *Il n'y a pas d'annexe*

(*) *La numérotation des annexes est établie en fonction des chapitres correspondants.*

CAHIER DES DESSINS (volume distinct)

- R01 Localisation et description générale
- R02 Légende

Route à 2 voies :

- R03 PK.45+290 au PK.46+400 (Tracé S1)
- R04 PK.46+400 au PK.47+600 (Tracé S1)
- R05 PK.47+600 au PK.48+800 (Tracé S1)
- R06 PK.48+800 au PK.50+000 (Tracé S1)
- R07 PK.51+200 au PK.52+400 (Tracé N1)
- R08 PK.52+400 au PK.53+600 (Tracé N1)
- R09 PK.53+600 au PK.54+800 (Tracé N1)
- R10 PK.54+800 au PK.55+200 (Tracé N1)
- R11 PK.46+060 au PK.46+400 (Tracé S2)
- R12 PK.46+400 au PK.47+600 (Tracé S2)
- R13 PK.47+600 au PK.48+800 (Tracé S2)
- R14 PK.48+800 au PK.50+000 (Tracé S2)

- R15 PK.51+200 au PK.52+400 (Tracé N2)
- R16 PK.52+400 au PK.53+600 (Tracé N2)
- R17 PK.53+600 au PK.54+820 (Tracé N2)
- R18 PK.47+552 au PK.48+800 (Tracé S3)
- R19 PK.48+800 au PK.50+000 (Tracé S3)
- R20 PK.51+200 au PK.52+400 (Tracé N3)
- R21 PK.52+400 au PK.53+600 (Tracé N3)
- R22 PK.53+600 au PK.54+100 (Tracé N3)

Route à 4 voies :

- R23 PK.45+290 au PK.46+400 (Tracé S1)
- R24 PK.46+400 au PK.47+600 (Tracé S1)
- R25 PK.47+600 au PK.48+800 (Tracé S1)
- R26 PK.48+800 au PK.50+000 (Tracé S1)
- R27 PK.51+200 au PK.52+400 (Tracé N1)
- R28 PK.52+400 au PK.53+600 (Tracé N1)
- R29 PK.53+600 au PK.54+800 (Tracé N1)
- R30 PK.54+800 au PK.55+200 (Tracé N1)
- R31 Section Type – 2 voies – 4 voies
- R32 Chemin d'accès – Pylône
- R33 Localisation des parcs routiers et des panneaux à messages variables
- R33A Parc routier

Pont suspendu :

- S01 Plan d'ensemble
- S02 Pylônes sud et nord – Élévations, coupes et détail
- S03 Ancrage sud – Plan, coupes et détail
- S04 Ancrage sud – Coupes
- S05 Ancrage nord – Plan, coupes et détail
- S06 Ancrage nord – Coupes
- S07 Coupes et détails – Feuillet 1/2
- S08 Coupes et détails – Feuillet 2/2

Viaduc et pont :

- V01 Pont au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine – Plan d'ensemble
- V02 Viaduc du Lac de l'Anse à l'eau – Plan d'ensemble
- V03 Viaduc du Lac de l'Anse à l'eau – Coupes types

NOTES GÉNÉRALES

Abréviations

3D	Trois dimensions
AHM	Accélération horizontale maximum
ASTM	American Society for Testing and Materials
BNQ	Bureau de normalisation du Québec
CAN/CSA-S6-00	Code canadien sur le calcul des ponts routiers
Canutec	Centre canadien d'urgence transport du ministère des Transports
CL-625	Chargement canadien 625 kiloNewtons
CSA	Association canadienne de normalisation
DJME	Débit journalier moyen d'été
ÉCH.	Échelle
HCM	Highway Capacity Manual
HCS	Highway Capacity Software
IES	Illuminating Engineering Society of North America
MTQ	Ministère des Transports du Québec
MAX.	Maximum
PMU	Panneaux à message unique
PMV	Panneaux à message variable
PVC	Couche de polychlorure de vinyle
SÉPAQ	Société des établissements de plein air du Québec
SQ	Sûreté du Québec
TCS	Transmetteur de chocs sismiques
TVSS	Unités de suppression et de filtrage
TYP.	Typique
VAR.	Variable
VTT	Véhicules tout terrain

Unités

A	Rapport d'accélération sismique de la zone
Acier AT	Acier atmosphérique
CH.	Chaînage
CL	Ligne centrale
cm/sec ²	Centimètre/seconde carré
ÉLUL	État limite ultime
Fy	Limite élastique

F _c '	Résistance du béton à 28 jours
F.S.	Facteur de sécurité
H	Horizontal
H	Hauteur
ha	Hectare
I	Coefficient de priorité
kg	Kilogramme
kN	KiloNewton
kN/m	KiloNewton / mètre
kN-m	KiloNewton par mètre
m	Mètre
m. car.	Mètre carré
m ²	Mètre carré
m. cu.	Mètre cube
m ³	Mètre cube
m. lin.	Mètre linéaire
m/sec	Mètre/seconde
mm	Millimètre
MPa	MégaPascal
Ø	Diamètre
R	Coefficient de ductilité
S	Coefficient de site
s.	Seconde
sec	Seconde
T	Épaisseur
T	Période en seconde
V	Vertical
véh	Véhicule
véh/h	Véhicule par heure
véh/j	Véhicule par jour

PRÉAMBULE

Les grandes composantes du rapport qui constituent ce volet sont les suivantes :

1. Le Pont suspendu
2. Les Ouvrages d'art
3. Le Génie routier
4. La Mécanique des sols et mécanique des roches
5. La Circulation et sécurité
6. Les Systèmes d'éclairage et d'urgence
7. Le Concept de mise en valeur du pont et ses approches
8. L'Estimation budgétaire et échéancier

Les annexes du volet de la faisabilité technique sont regroupées dans un volume distinct. La numérotation des annexes est établie en fonction des chapitres correspondants.

Également, tous les dessins de ce volet sont regroupés dans un volume distinct intitulé « Cahier des dessins ».

1. PONT SUSPENDU

1.1 Introduction

Ce chapitre inclut les critères de conception du pont, les composantes de la structure du pont, l'aérodynamisme de l'ouvrage et une estimation des coûts de construction.

Les critères déterminants qui ont conduit au choix final du tracé et de la longueur du pont suspendu sont les suivants :

- *L'implantation des pylônes sur les deux rives du Saguenay, à Baie-Sainte-Catherine et à Tadoussac.* Suite à des inspections des sites, des failles ont été observées, notamment à la rive sud, qui pourraient potentiellement déstabiliser l'emplacement des pylônes tel que présenté dans notre rapport d'étude initial. Il a fallu donc déplacer les pylônes pour assurer la stabilité du pont. Par la suite, une étude de reconnaissance géotechnique du site a été effectuée. Les résultats des forages sont concluants et confirment l'emplacement final.
- *L'emplacement du pont par rapport au paysage environnant.* Le choix est justifié par la configuration du site, et plus particulièrement, le relief accidenté des rives et l'escarpement aux abords du Saguenay.
- *Le tracé du pont.* Il a fallu procéder à diverses études d'alignement dans le but d'optimiser les travaux de terrassement aux approches du pont.
- *L'aérodynamisme de l'ouvrage.* Des essais en soufflerie sont effectués en laboratoire. Cette étude est déterminante pour le choix de la largeur minimum du pont et, par conséquent, de l'agencement des voies de circulation et leur raccordement au nord et au sud.

Le pont suspendu est conçu pour quatre voies routières pour des raisons de stabilité aérodynamique. Le pont suspendu aura une travée principale de 1 350 mètres et deux travées d'approche d'une longueur de 330 mètres chacune, ce qui en ferait le cinquième pont suspendu le plus long au monde et le plus long en Amérique du Nord.

Le tablier métallique possède une géométrie aérodynamique pour convenir aux effets de poussées du vent. Il est composé d'une dalle orthotrope en poutre-caisson unicellulaire, continue sur toute la longueur du pont. Les pylônes sont en béton armé, en section rectangulaire évidée, et fondée sur des puits de fondation emboîtés dans le rocher. La superstructure est supportée par deux séries de câbles porteurs, situés aux côtés amont et aval du tablier. Les câbles sont ancrés au rocher à l'aide de tiges d'ancrages en acier.

Le pont suspendu est situé dans une zone sismique très élevée. Cependant, dû à la rigidité relativement faible du tablier, les efforts dus au séisme ne contrôlent pas la conception, mais plutôt les effets du vent. Par conséquent, des essais en soufflerie sont effectués sur un modèle réduit. Ces essais sont entrepris par RWDI, expert mandaté dans le cadre de cette étude et dont le rapport est joint à l'annexe 1.A.

Cependant, pour la conception finale du pont suspendu, une étude détaillée des conditions locales du vent sera nécessaire pour modéliser les conditions *in situ*. Cette modélisation implique une connaissance approfondie des conditions locales des vents, lesquelles peuvent être colligées à partir de stations d'enregistrement installées sur le site, pour une période s'échelonnant sur 2 ou 3 années d'observation. Ces enregistrements devront valider et compléter les données d'enregistrement historiques effectuées aux stations permanentes de Rivière-du-Loup et de l'île Rouge.

La construction du pont suspendu n'est pas préjudiciable à la navigation sur la rivière Saguenay. La conception de la travée principale ne requiert pas la construction dans l'eau d'aucune pile ou structure temporaire durant l'exécution des travaux. Les pylônes sont construits au sec sur les deux rives du Saguenay. La fourniture des équipements et des matériaux se fera par voie maritime. Des mesures doivent donc être prises afin de minimiser les perturbations à la navigation; la position des barges et autres équipements doit être signalisée selon les normes en vigueur. Cette activité devra faire l'objet d'une coordination constante avec les autorités compétentes.

Quoiqu'il n'y ait pas de normes officielles concernant les tirants d'air pour la navigation des navires en dessous des structures sur la rivière Saguenay, les renseignements suivants sont obtenus de la Sécurité maritime, Transports Canada. Les trois plus gros navires ayant emprunté la rivière Saguenay depuis le 1^{er} mai 2002 sont les suivants :

Nom	Type	Longueur	Largeur	Tonnage	Hauteur
Brillance Of the Seas	Passager	294 m	32 m	90090	N/D
Grandeur Of the Seas	Passager	279 m	36 m	73817	49 m
Regal Princess	Passager	245 m	36 m	70285	48 m

De plus, on ajoute à cette liste les données relatives au navire de croisière le plus récent :

Nom	Type	Longueur	Largeur	Tonnage	Hauteur
Queen Mary 2	Passager	345 m	41 m	148,528	72 m

Or, la conception du pont suspendu fait appel à des pylônes fortement élancés pour supporter les deux câbles porteurs principaux à profil parabolique, dont les suspentes sont raccordées à un tablier créant un dégagement au-dessus de la rivière de plus de 100 mètres. Ce dégagement est nettement supérieur à la hauteur du plus gros navire de croisière qui transite la rivière.

1.2 Critères de conception

- **Normes**

CAN/CSA-S6-00 Code canadien sur les calculs des ponts routiers.

- **Surcharge routière**

CL-625, conformément à la norme CAN/CSA-S6-00.

1.3 Caractéristiques de l'ouvrage

1.3.1 Caractéristiques générales

La mise au point de l'étude de la structure du pont suspendu a permis l'élaboration de plusieurs facteurs déterminants. Ces facteurs ont une influence sur les caractéristiques finales de la structure, dont les suivants :

- **Superstructure**

La superstructure du pont est constituée de trois travées suspendues continues « système hyperstatique », pour une longueur totale de 2 010 mètres, avec une pente longitudinale de 2.1%.

Les selles des câbles porteurs sont situées à 150 mètres au-dessus du tablier. La flèche des câbles porteurs est de 145.0 mètres.

- **Tablier**

Le tablier, d'une largeur de 28.185 mètres, est conçu pour accommoder quatre voies pour la circulation routière, deux dans chacune des directions. Chaque voie a 3.70 mètres de largeur. En plus, deux accotements de 1.0 mètre au centre et deux accotements de rive de 2.0 mètres sont prévus. La glissière médiane et celle des rives sont de type 210 conformément aux normes du MTQ. Les câbles porteurs sont localisés à 1.0 mètre de l'extérieur des glissières de rive, prévoyant ainsi un espacement de 24.185 mètres entre les câbles.

Une alternative comprenant un trottoir de 2.0 mètres de largeur de chaque côté du tablier a été étudiée, pour fin d'estimation budgétaire uniquement. En revanche, celle ne possédant pas de trottoir a été étudiée aux niveaux de la conception, des essais en soufflerie, des étapes de construction ainsi que des estimations détaillées.

- **Trottoirs et piste cyclable**

Les trottoirs et les pistes cyclables sont parfois intégrés aux ponts en milieu urbain quand la densité des usagers le justifie et le coût est raisonnablement acceptable par rapport au bénéfice. Or, le pont n'étant pas en milieu urbain, la densité des usagers ne le justifie pas et les coûts de l'ajout et de l'entretien de ces éléments ne sont pas négligeables.

Le type du pont (pont suspendu de 2010 mètres) et son emplacement (localisation isolée dans un parc, hauteur du tablier à plus de 100 mètres du niveau d'eau, surplombant un plan d'eau non accessible et non sécuritaire, exposition à des intempéries et bourrasque de vent menaçant) sont des éléments qui plaident pour bannir la présence des trottoirs et des pistes cyclables.

Il n'est donc pas recommandable de prévoir un trottoir ni une piste cyclable sur le pont. Une navette, par la route, pourra être prévue si nécessaire. La navette pourra prendre la forme d'une camionnette ou un petit autobus avec une remorque plate-forme. Les piétons seront transportés dans l'autobus tandis que la remorque servira au transport des vélos et VTT l'été et aux motoneiges l'hiver.

Afin de donner un service acceptable, une fréquence aux 30 minutes ou à l'heure, pendant 12 heures par jour, 7 jours/semaine est proposée. Cette fréquence pourra être modifiée en fonction des saisons.

- **Essai en soufflerie**

Des essais en soufflerie sont exécutés sur un modèle réduit du tablier pour confirmer la stabilité aérodynamique du tablier étudié. Par contre, un essai de stabilité aérodynamique sur un modèle réduit de la structure complète du pont doit être effectué lors de la conception détaillée ainsi que pour toutes les étapes de construction, le cas échéant.

Le rapport des études aérodynamiques est présenté à l'annexe 1.A. Il en ressort de ces études que le concept du tablier retenu résiste adéquatement aux effets de vent, et que les résultats sont concluants.

- **Calcul parasismique**

Une analyse spectrale spécifique a été développée dans l'étude. Le tableau 1.1 suivant présente la réponse spectrale en fonction de la période. (Pour référence, voir annexes 1.B et 1.C).

Tableau 1.1 Accélération horizontale maximale du sol

Période, T (sec.)	Réponse Spectrale (cm/sec²)
0.0 (AHM)	431
0.1	746
0.15	706
0.2	703
0.3	598
0.4	531
0.5	474
1.0	262
2.0	130
3.0	60
5.0	30
9.0	10
20.0	3

- **Revêtement**

L'étanchéité du tablier métallique est assurée par la membrane ORTHOPLAST (marque déposée). Le procédé ORTHOPLAST est un procédé breveté; il a fait l'objet d'un Avis technique français attribué en mars 2000. Ce procédé est appliqué après une préparation minutieuse de la surface du tablier :

- Nettoyage soigné par jet de sable ou grenailage, si requis.
- Application immédiate d'un vernis d'accrochage anti-corrosion.

La membrane d'étanchéité est constituée d'une couche épaisse de 3 kg/m² d'EVATECH LD, bitume fortement modifié par un polymère et fabriqué à l'usine. Sa mise en œuvre est réalisée à l'aide d'une répandeuse thermofluide spécialement équipée pour répandre un liant visqueux à haute température (195°C).

La membrane est ensuite recouverte d'un léger gravillonnage – de 3 à 5 kg/m² – de paillettes d'ardoise. La membrane est ainsi protégée de la circulation des engins lors de la mise en œuvre de la couche de roulement. Les paillettes d'ardoise forment également un écran protecteur contre la percolation inverse de la membrane dans l'enrobé de la couche de roulement. Cette couche de roulement est constituée d'un béton bitumineux d'une épaisseur d'environ 60 mm.

L'ensemble du système colle parfaitement sur le tablier et accepte des déformations importantes dans une très large gamme de température d'usage sans risque d'orniérage.

- **Câbles porteurs**

Les câbles porteurs sont constitués principalement d'une série de fils galvanisés à haute résistance serrés à l'intérieur d'une gaine circulaire. Les fils, ayant 5 mm de diamètre, sont disposés en parallèle pour obtenir une section compacte. Les caractéristiques sont les suivantes :

Contraintes de rupture	:	1 570 MPa
Limite élastique minimale	:	1 103 MPa
Contrainte admissible (F.S. = 2.5)	:	628 MPa
Module d'élasticité	:	193 000 MPa

- **Suspentes**

Les suspentes sont constituées de torons à haute résistance galvanisés, en conformité à la norme ASTM A603. Les caractéristiques sont les suivantes :

Contraintes de rupture	:	1 517 MPa
Contrainte admissible (F.S. = 2.2)	:	690 MPa
Module d'élasticité	:	140 000 MPa

- **Protection contre la corrosion**

L'ensemble des câbles porteurs doit être protégé avec une pâte de zinc et enrobé avec des fils galvanisés.

- **Protection contre la corrosion à l'intérieur du tablier**

Un déshumidificateur sera installé pour fournir un courant d'air sec à l'intérieur du caisson sur toute sa longueur, pour maintenir une humidité relative inférieure à 40%, et prévenir la condensation due aux écarts de température. Une couche de peinture blanche sera appliquée sur la surface intérieure du caisson. La peinture appliquée sur l'acier facilite la détection de toutes anomalies, telles que fissures ou autres dommages. La couleur blanche assure une meilleure clarté durant les travaux d'inspection à l'intérieur du caisson.

- **Joints de dilatation**

Des joints de dilatation à modules multiples sont prévus aux extrémités du pont suspendu. Sachant qu'il s'agit d'un système hyperstatique, où les trois travées sont continues, le mouvement à chacune des extrémités du pont est évalué à environ 1200 mm.

- **Accès d'inspection**

Un véhicule à nacelle articulée est prévu pour assurer l'inspection du tablier. Des ascenseurs sont prévus à l'intérieur de chaque jambe de pylône pour accéder aux câbles, à partir du niveau de la route. Des escaliers sont également prévus, à raison d'un escalier pour chacune des jambes.

Des suspentes sont prévues pour l'accessibilité à l'extérieur des pylônes.

- **Utilisation de l'aluminium**

Certaines structures de pont sont construites en Europe et aux États-Unis, en utilisant l'aluminium, mais il s'agit de travée nettement inférieure à celle du pont du Saguenay. L'aluminium est un métal dont le module d'élasticité est trois fois moins élevé que celui de l'acier, ce qui est un aspect non négligeable pour tenir compte de la rigidité d'une structure. Il n'est donc guère approprié d'utiliser l'aluminium comme élément structural dans le cas du pont du Saguenay sachant que la rigidité est l'élément principal pour la stabilité de la structure, notamment pour contrer les effets du vent.

Il est notoire de mentionner que la norme canadienne pour le calcul des ponts ne contient aucune recommandation sur le calcul des structures d'aluminium.

En revanche, dans le but de promouvoir l'industrie de l'aluminium dans la région, un carénage en aluminium est intégré à chacune des extrémités du tablier du pont pour assurer sa stabilité aérodynamique. Le carénage n'est pas considéré comme élément structural, et ne possède aucune capacité portante. Un matériau isolant est prévu à la connexion de l'aluminium et de l'acier pour prévenir toute action galvanique.

- **Utilités publiques**

Aucune utilité publique n'est considérée.

- **Acier de structure**

CAN/CSA-G40.21, $F_y = 350$ MPa

- **Béton**

$F_c' = 50$ MPa : Pylônes, fondations et blocs d'ancrage

$F_c' = 30$ MPa : Culées

- **Fondations**

Les bases des pylônes sont fondées sur le roc. Les câbles porteurs sont ancrés dans le roc.

1.4 Étude des variantes des composantes du pont suspendu

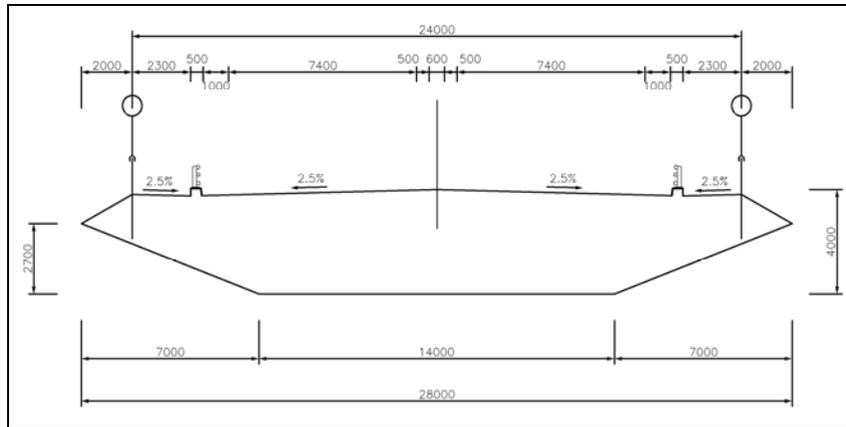
La conception générale du pont suspendu au-dessus de la rivière Saguenay résulte de la recherche d'une adéquation entre les différentes contraintes imposées par le site et les considérations techniques. Le choix d'un tablier métallique découle de la logique d'un tablier relativement mince, qui offre le moins de prise aux vents violents existants à une telle hauteur au-dessus de la rivière.

1.4.1 Tablier unique versus tablier à double caisson

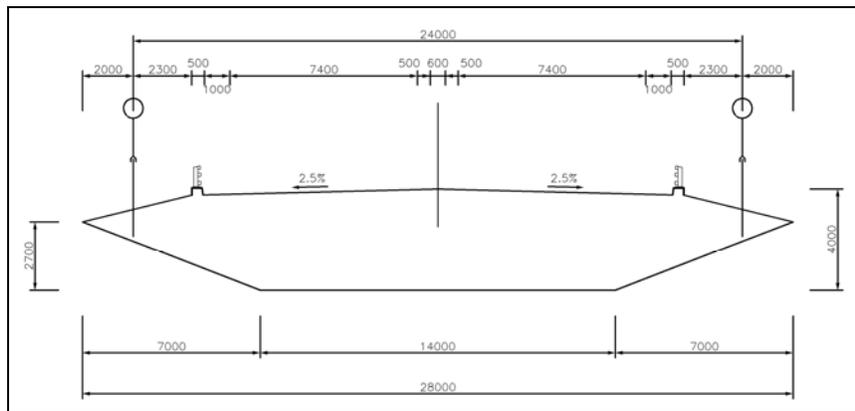
L'étude effectuée par RWDI, expert en études aérodynamiques, démontre qu'un tablier à double caisson offre une stabilité aux effets de vents supérieure à un système de caisson unique. Cependant, dans le but d'optimiser la conception, de faciliter la méthode de construction et de réduire les coûts du projet, un tablier à caisson unique est choisi tout en adoptant une géométrie pouvant rencontrer les exigences de stabilité aérodynamique. La figure 1.1 montrant sept différentes sections à caisson unique, et la figure 1.2 montrant cinq différentes sections à double caisson sont dûment étudiées pour en arriver à la solution retenue. Le tableau 1.2 montre une synthèse résultant de cette étude. En fait, un tablier à caisson unique représente la solution la plus économique.

À partir des différentes géométries de tablier à caisson unique, des études de stabilité aérodynamique ont été effectuées en apportant des changements à la section trapézoïdale. Pour chacun de ces changements, un calcul a été effectué pour évaluer l'écoulement aérodynamique autour de la section. La section n° 5 de la figure 1.1 a été le choix optimum retenu.

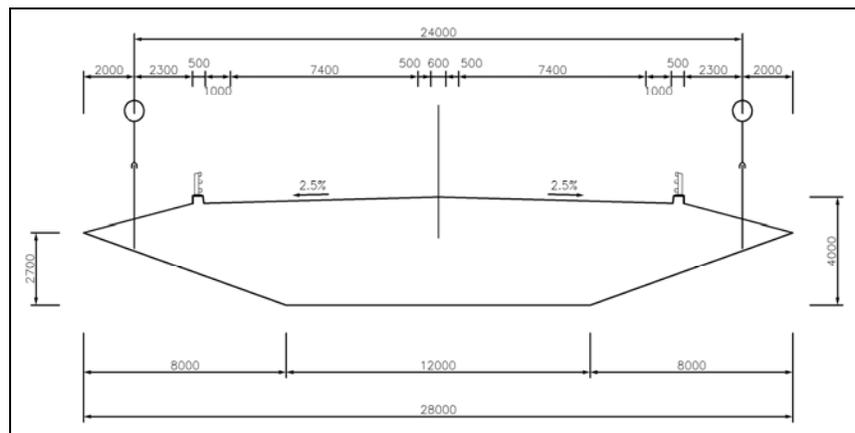
Figure 1.1 Tablier à caisson unique



Section 1



Section 2



Section 3

Figure 1.1 : Tablier à caisson unique (suite)

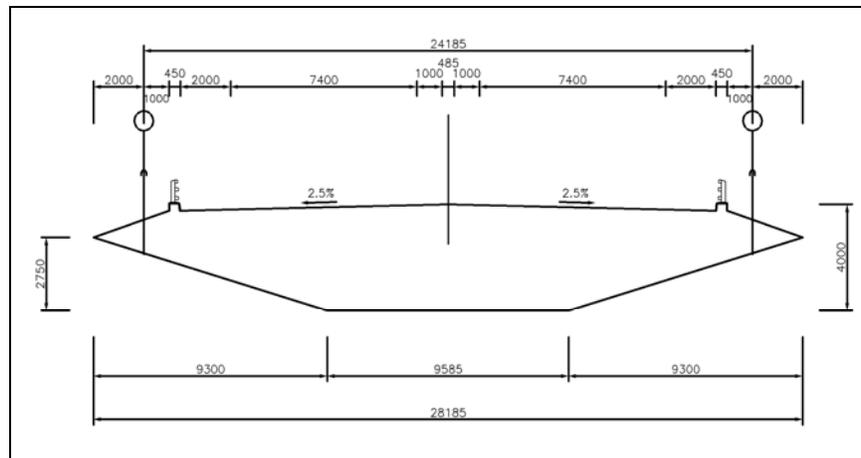
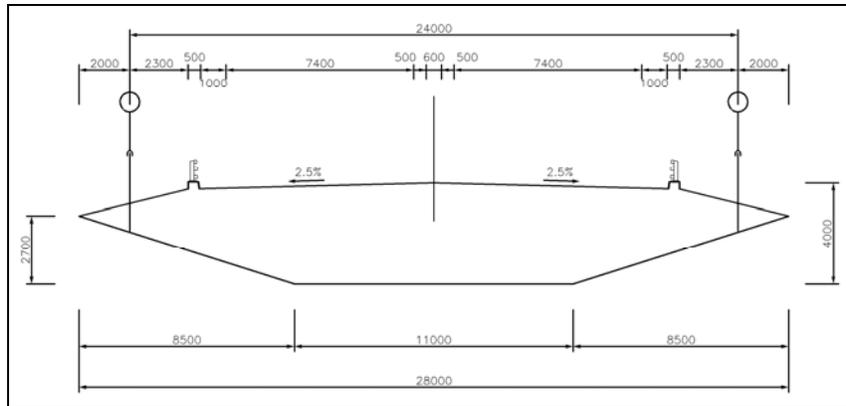
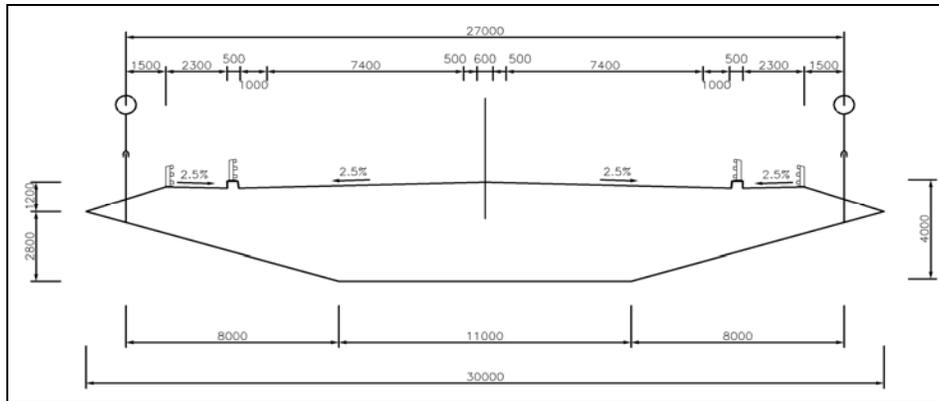
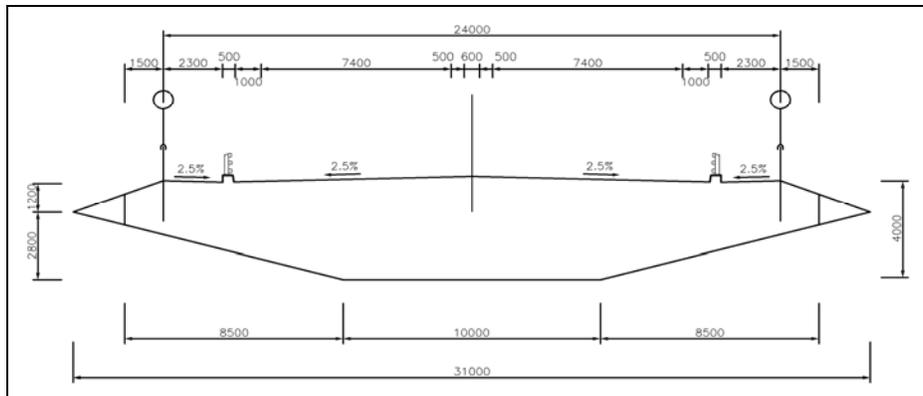


Figure 1.1 : Tablier à caisson unique (suite)

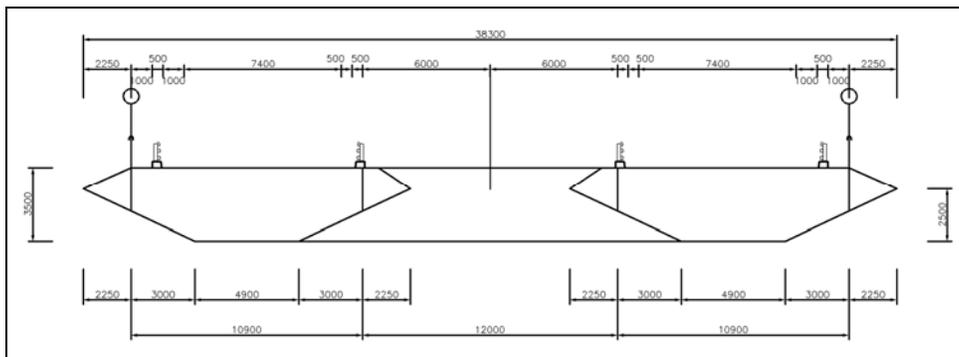


Section 6

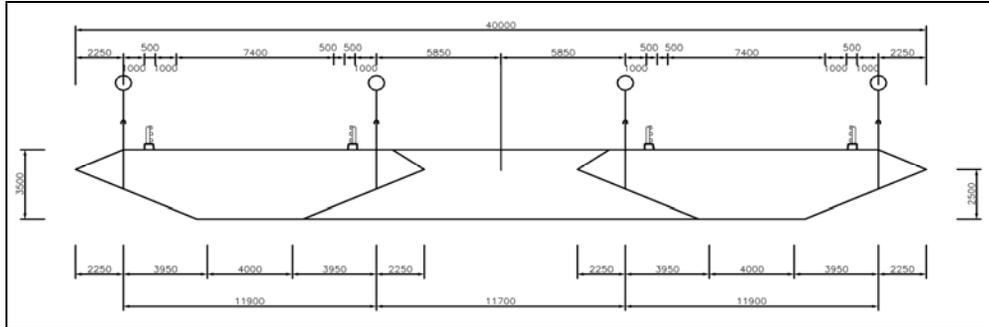


Section 7

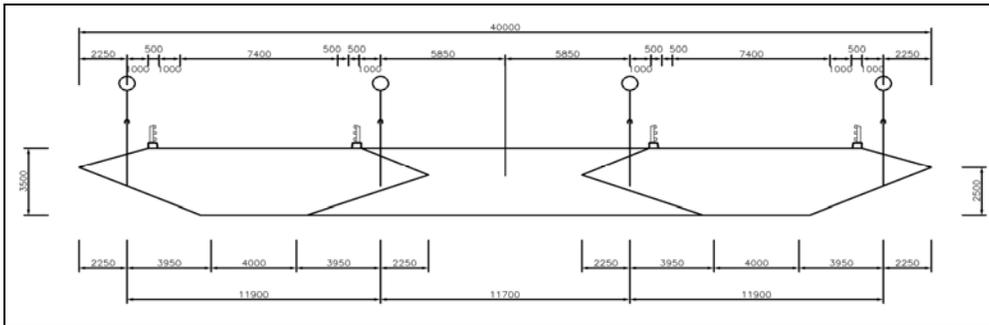
Figure 1.2 Tablier à double caisson



Section Type 1

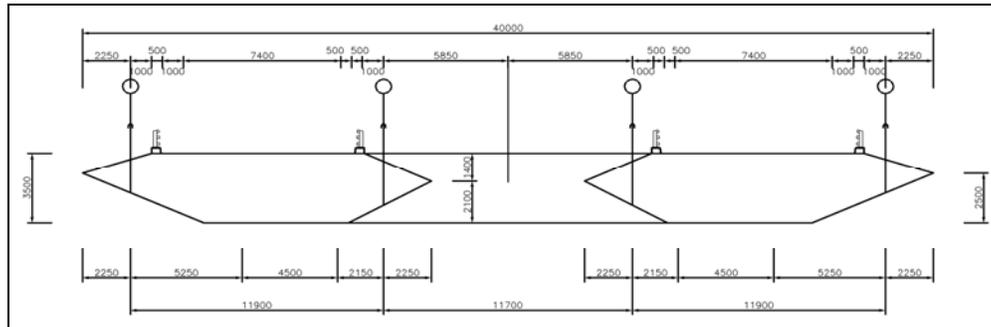


Section Type 2

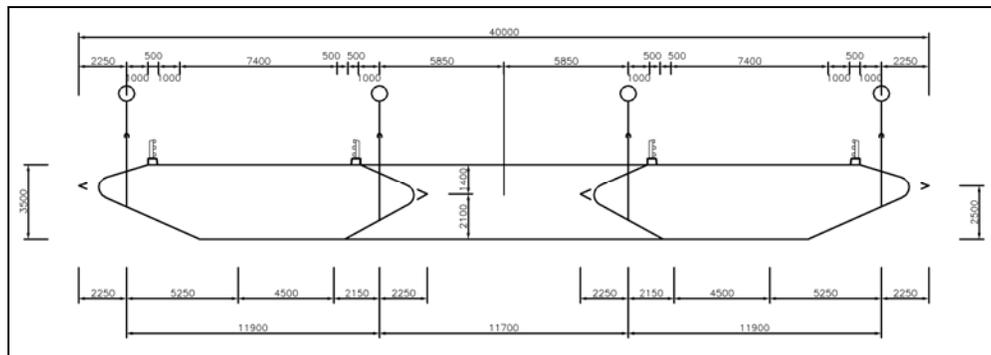


Section Type 3

Figure 1.2 : Tablier à double caisson (suite)



Section Type 4



Section Type 5

Tableau 1.2 Évaluation d'un tablier à caisson unique versus un tablier à double caisson

Les enjeux	Caisson unique	Double caisson
Coût	Économique	Plus dispendieux
Stabilité aérodynamique	Acceptable	Excellente
Montage	Excellente stabilité latérale	Requiert un système de contreventement pour la stabilité latérale
Exécution des travaux	Équipement relativement lourd	Équipement relativement léger
Système de déshumidification	Une seule unité à chaque extrémité	Deux unités à chaque extrémité

1.4.2 Les pylônes

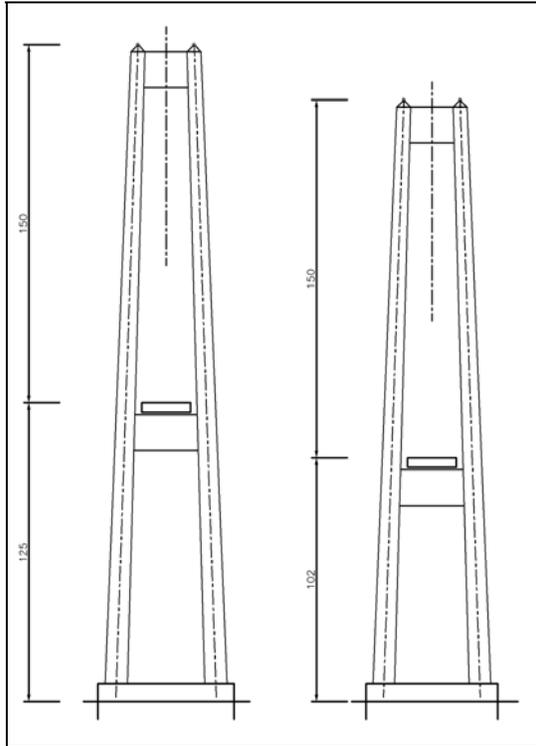
Plusieurs types de pylônes sont étudiés. La figure 1.3 montre une série de ces pylônes où le pylône sud, situé à la rive droite, est plus haut que le pylône nord, suivant ainsi la différence des niveaux des deux rives. Le tablier est en pente à 2.1%. Cela se verra sur le site, qui est lui-même dissymétrique avec une rive droite plus haute que la rive gauche ; les pylônes doivent donc être en harmonie avec ces données et le pylône nord doit être plus bas dans son ensemble, mais il doit être le même dans sa partie au-dessus du tablier. Les pylônes retenus suite à cette étude, sont montrés à la figure 1.11, où les critères de stabilité aérodynamique et d'économie sont considérés. Les pylônes étudiés seront construits en béton armé, car ils sont nettement plus économiques que les pylônes en acier. De plus, le béton se prête plus facilement à une recherche dans les formes.

Les pylônes comprenant des diagonales (type 2) ou possédant quatre jambes (type 3) s'avèrent être plus dispendieux que le choix retenu (type 1). En fait, la forme du pylône retenu sera construite à l'aide de coffrages grimpants, alors que les deux autres formes requièrent un système de coffrage additionnel pour convenir aux changements de géométrie.

En plus, l'inspection du pylône retenu est effectuée à l'aide d'un ascenseur pour chacune des jambes, ce qui rend cette inspection plus facile, et donc plus économique, que celle requise pour des formes géométriques complexes.

Figure 1.3 Types de pylône

Pylône – Type 1



Pylône – Type 2

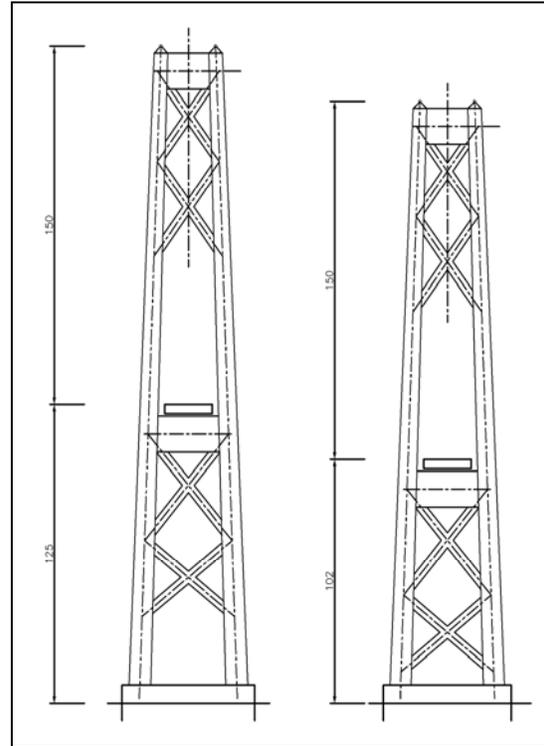
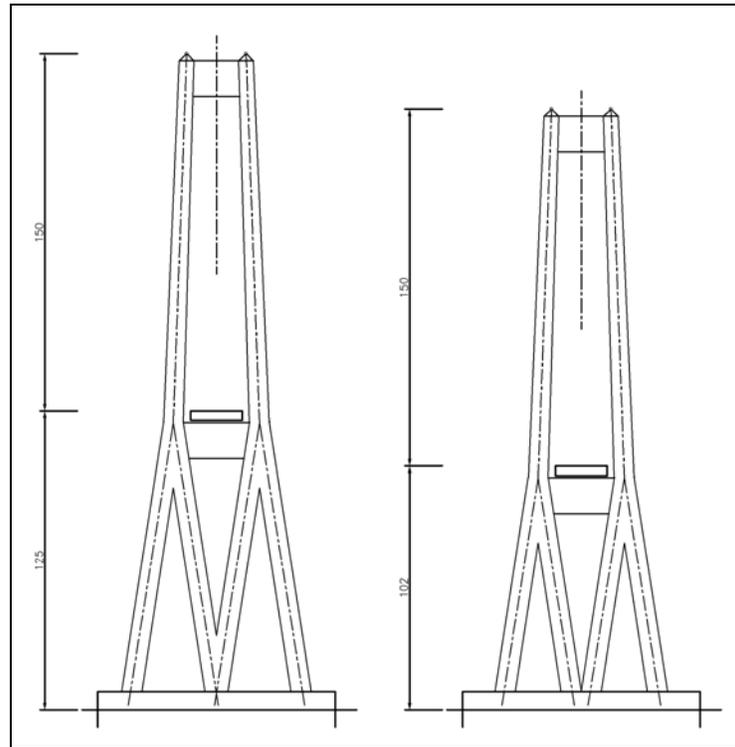


Figure 1.3 : Types de pylône (suite)

Pylône – Type 3



Pylône sud

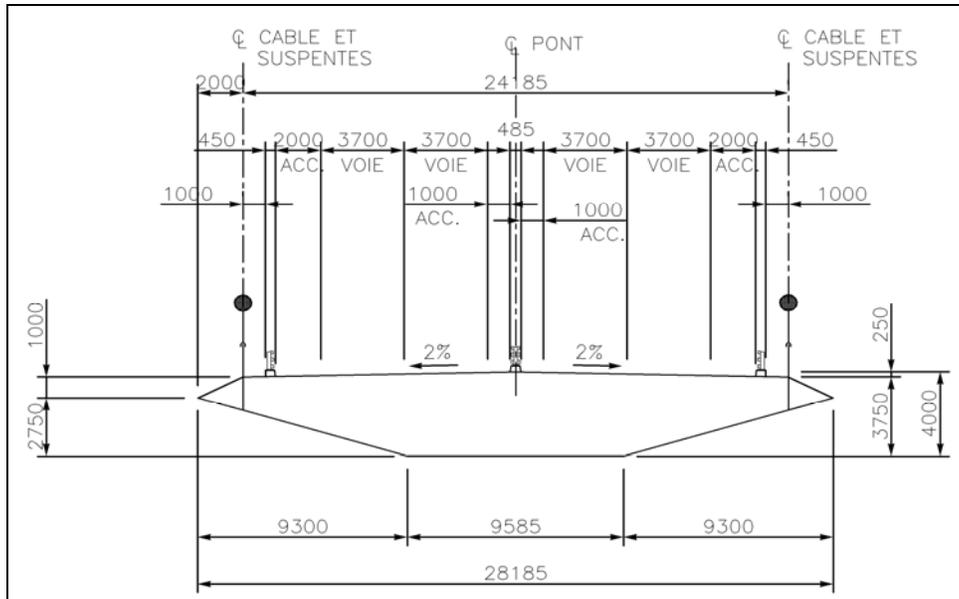
Pylône nord

1.4.3 Tablier avec ou sans trottoir

Les deux options de tablier avec ou sans trottoir ont été étudiées, dans un premier temps, pour une évaluation préliminaire du comportement aérodynamique. Cette étude a permis d'identifier qu'un tablier sans trottoir peut résister adéquatement aux surcharges de vent. Un essai en soufflerie a donc été effectué sur un modèle réduit représentant le tablier sans trottoir. La figure 1.4 montre une coupe transversale de ce tablier. Les tests sur le modèle réduit ont été concluants et mettent en évidence la stabilité aérodynamique du tablier.

Toute l'étude du pont suspendu est, par conséquent, effectuée sur un tablier sans trottoir. Toutefois, une estimation budgétaire pour un tablier avec trottoir a été préparée, pour fin de comparaison. Une coupe du tablier avec trottoir ainsi qu'une estimation budgétaire sont montrées à l'annexe 1.D.

Figure 1.4 Coupe transversale – Géométrie du tablier sans trottoir

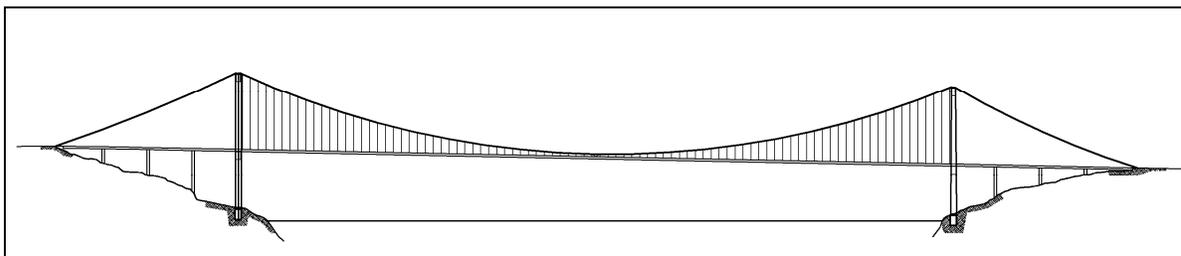


1.4.4 Travées d’approche suspendues versus travées indépendantes

Deux différents systèmes sont étudiés (voir figures 1.5 et 1.6). Le premier fait appel à des travées d’approche indépendantes de la travée centrale suspendue. Les travées d’approche sont donc supportées par une série de piles. L’avantage de ce système est de diminuer les efforts transversaux dans les pylônes, induits par les effets du vent, par rapport à un système continu.

Par contre, ce système nécessite une rigidité nettement supérieure en caisson du tablier pour résister aux effets du vent. En plus, cette solution est moins élégante et son impact sur le site n’est pas désirable.

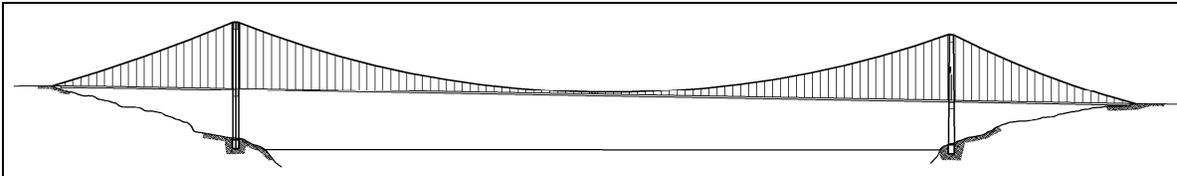
Figure 1.5 Travées d’approche indépendantes



Le deuxième système, celui qui consiste à avoir un tablier continu et suspendu dans les travées de rive est celui qui est retenu, rivalisant ainsi avec les plus beaux ouvrages modernes. Les avantages de ce système sont les suivants :

- La continuité du tablier aide à résister aux effets du vent et permet d'en réduire la largeur.
- L'élimination des joints de dilatation intermédiaire et, par conséquent, la réduction des interventions d'entretien.

Figure 1.6 Travées d'approche suspendues



1.4.5 Système de déshumidification

Des méthodes modernes pour contrer les effets de corrosion sont actuellement utilisées pour les grands ouvrages, tout en réduisant considérablement les coûts. Pour assurer la pérennité du pont suspendu, l'intérieur des caissons en acier ainsi que la chambre des câbles seront déshumidifiés. Le critère essentiel consiste à maintenir l'humidité relative à un taux inférieur à 40% à tout moment. Le concept consiste à installer des unités de déshumidification à chaque culée et distribuer l'air à travers des gaines. À la culée sud, on installe une paire d'unités, desservant ainsi la moitié de la longueur du tablier, soit 1 005 mètres, et une autre paire d'unités à la culée nord pour desservir l'autre moitié du pont. Également, deux autres paires d'unités seront installées aux mêmes endroits pour desservir les chambres d'ancrage des câbles. Les unités utilisées pour le tablier et les chambres d'ancrage des câbles sont indépendantes et fonctionnent de façon distincte pour convenir aux volumes d'espaces différents.

Les unités de déshumidification seront installées en arrière des culées, directement en dessous des voies d'approche, pour faciliter l'accès requis pour l'entretien futur. À l'intérieur des caissons, il y aura deux séries de gaines, une pour acheminer l'air sec et l'autre, servant de retour, pour assurer ainsi une ventilation adéquate.

Des gaines latérales seront installées à chacune des sections de caisson, entre les entretoises. (Pour référence, voir annexe 1.E).

1.5 Conception des composantes de la structure du pont suspendu

1.5.1 Analyse et dimensionnement

Le logiciel LARSA 2000 a été l'outil principal utilisé pour l'analyse du comportement du pont du Saguenay. Un modèle en trois dimensions, avec tablier modélisé avec membrures en arêtes (grillage), est créé pour examiner l'effet global des charges sur la structure. Un deuxième modèle a servi à étudier les phénomènes locaux du tablier orthotropique. En plus des analyses de valeurs propres et spectrales, plusieurs cas de chargement statique sont étudiés, incluant : poids propre, charge vive (piétons et camions), glace, vent et température.

Une analyse de valeurs propres de 500 modes a permis de déterminer les déformés des modes en translation, verticaux, en torsion et longitudinaux.

1.5.2 Caractéristique des composantes du pont

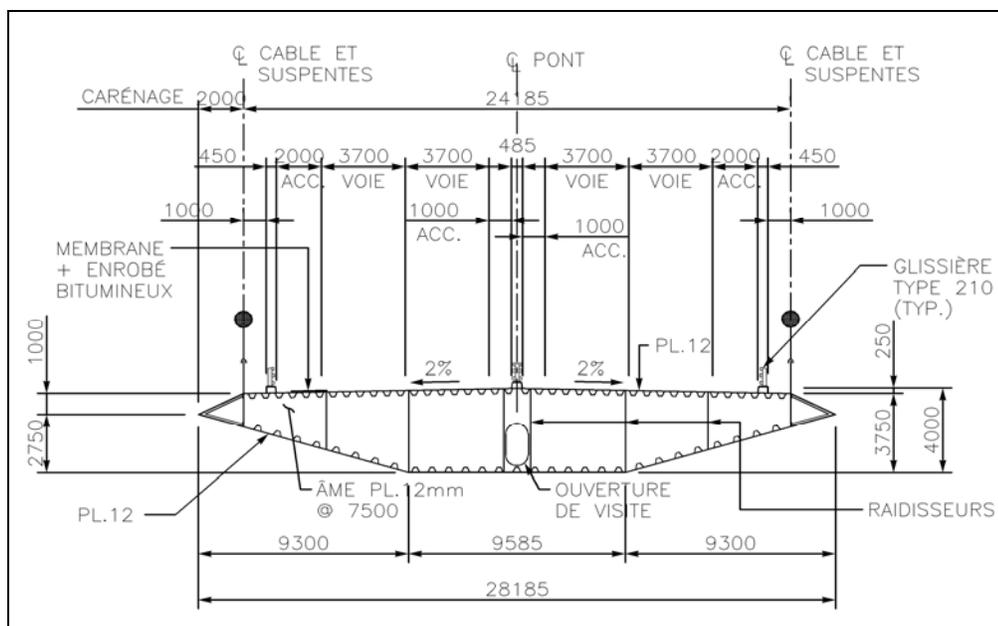
1.5.2.1 Le tablier

La stabilité aérodynamique étant le critère déterminant dû à la portée très longue, il fallait choisir une section de tablier pouvant résister à cette contrainte. Le choix fut donc d'adopter un caisson en acier possédant une géométrie d'allure aérodynamique, tout en possédant une rigidité de torsion très élevée (voir figure 1.7). Les plaques d'acier qui constituent la semelle supérieure et la semelle inférieure du caisson sont rigidifiées par des auges soudées.

Les carénages sont également des éléments très importants pour assurer un comportement aérodynamique du tablier. L'aluminium est proposé pour la réalisation des carénages dans le but de promouvoir l'industrie locale.

Le calcul de la rigidité en torsion du tablier est effectué pour plusieurs cas de chargement. L'asymétrie due à la surcharge routière représente un des cas critiques. En fait, il se peut que le pont subisse un achalandage de la circulation dans une seule direction alors que l'autre direction est complètement libre de toute circulation.

Figure 1.7 Coupe transversale du pont suspendu



1.5.2.2 Le câble porteur

Les deux câbles paraboliques sont installés sur les pylônes, de part et d'autre du tablier, et sont ancrés dans le roc aux extrémités du pont. Des fils galvanisés à haute résistance, ayant une contrainte de rupture en tension de 1570 Mpa, sont utilisés. Des fils d'acier doux sont utilisés pour envelopper les câbles afin d'assurer sa compacité et générer une friction entre les fils à haute résistance.

Le facteur de sécurité pour les grands ponts suspendus varie entre 2.0 et 2.5. Pour le pont du Saguenay, un facteur de 2.5 est considéré.

Le câble porteur principal est constitué de 153 torons parallèles, et chacun de ces torons comprend 127 fils de précontrainte ayant chacun 5 mm de diamètre, pour un total de 19 431 fils par câble porteur.

Le point le plus bas du câble porteur est à une distance égale à 5.0 mètres au-dessus du tablier. La flèche de la parabole est de 145.0 mètres, ce qui équivaut à un ratio de 9.31 par rapport à la longueur de la travée principale. Un système d'attache est prévu à la mi-portée pour prévenir tout mouvement entre les câbles et le tablier, et également éliminer les vibrations causées par le vent.

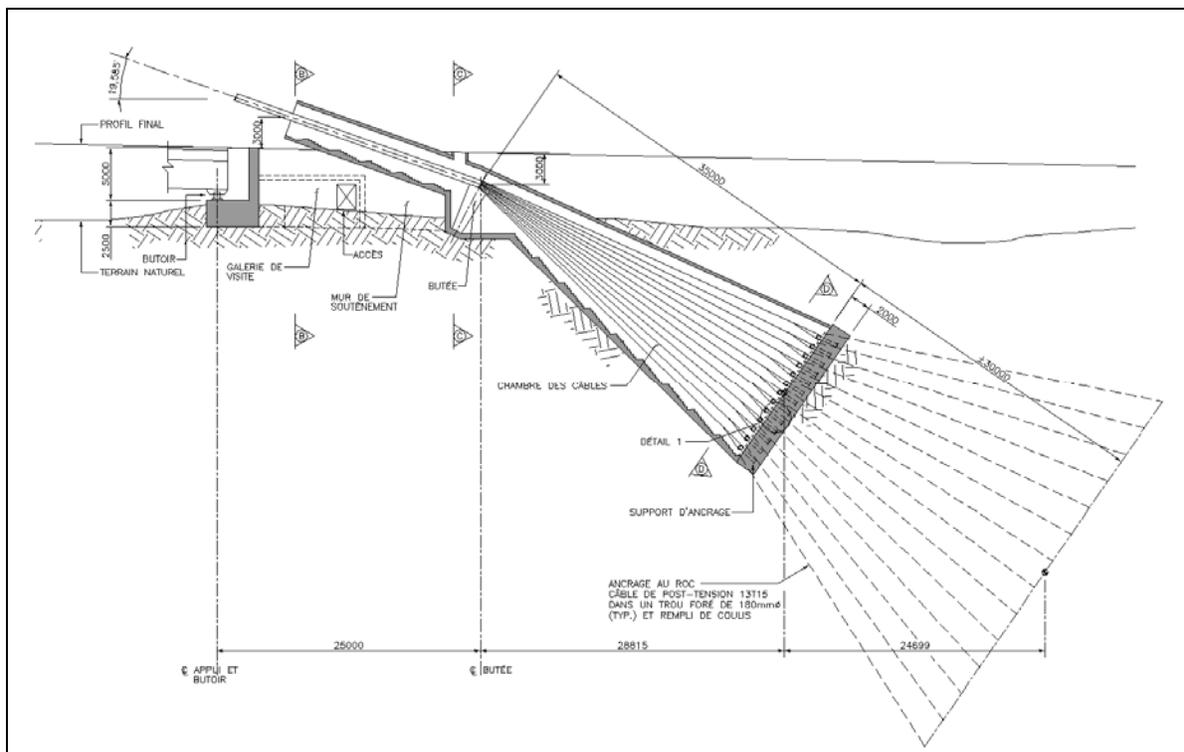
1.5.2.3 Le système d'ancrage des câbles

Parmi divers systèmes d'ancrages utilisés pour des ponts suspendus à travers le monde, le système adopté pour le pont du Saguenay s'inscrit parmi ceux qui offrent

une économie appréciable et devra assurer une protection contre la corrosion, et surtout prévoir une redondance.

Les 19 431 fils à haute résistance sont regroupés dans 153 torons. Les torons sont séparés en éventail, à partir d'une butée en acier. Chaque toron est rattaché à son extrémité à une paire de poulies en acier, fixée à un support en acier qui est ancré à un massif en béton armé de 2.0 mètres d'épaisseur. Des tirants qui se constituent de câbles de post-tension devront transférer toute la tension provenant des torons à partir des massifs d'ancrage au roc. Chacun de ces câbles comprend 13 torons d'acier de précontrainte ayant 15 mm de diamètre (voir figures 1.8 et 1.9).

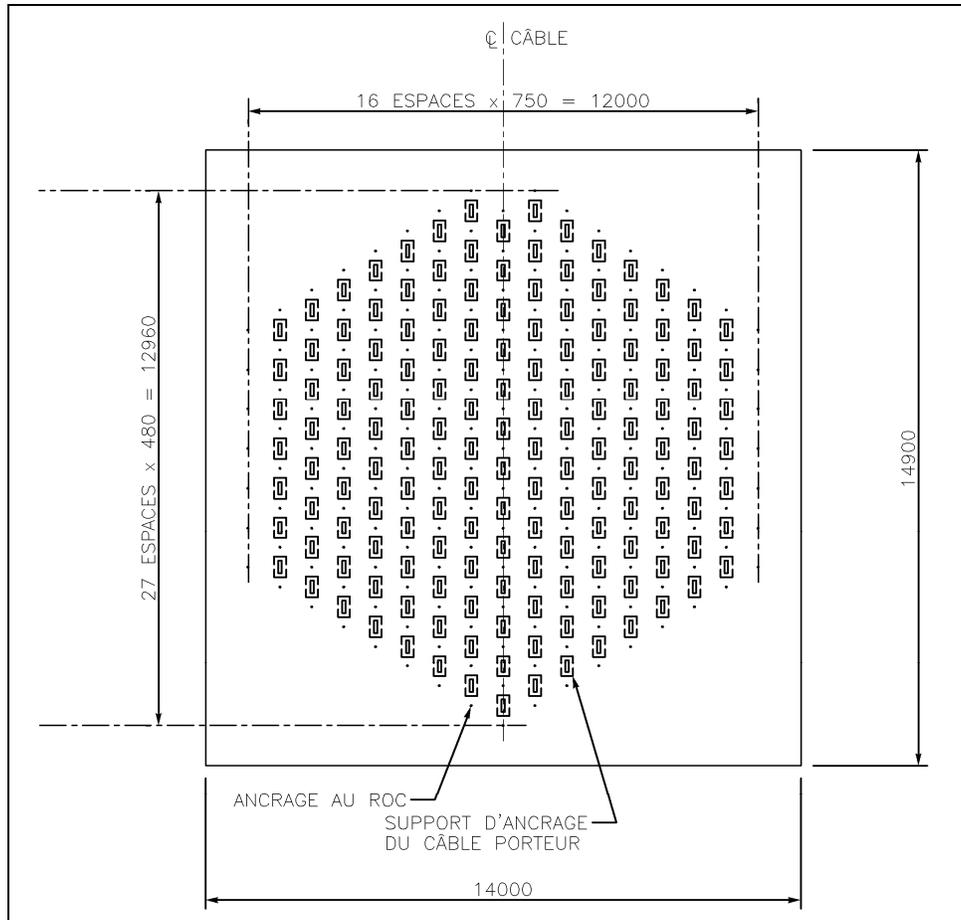
Figure 1.8 Disposition des torons et tiges d'ancrages



Les câbles de post-tension sont fixés au roc et ne sont pas accessibles pour inspection. Pour cette considération, le facteur de sécurité utilisé pour la conception est supérieur à 5.

Les câbles de post-tension ont une longueur d'environ 30 mètres pour résister à la tension exercée.

Figure 1.9 Détail du système d'ancrage

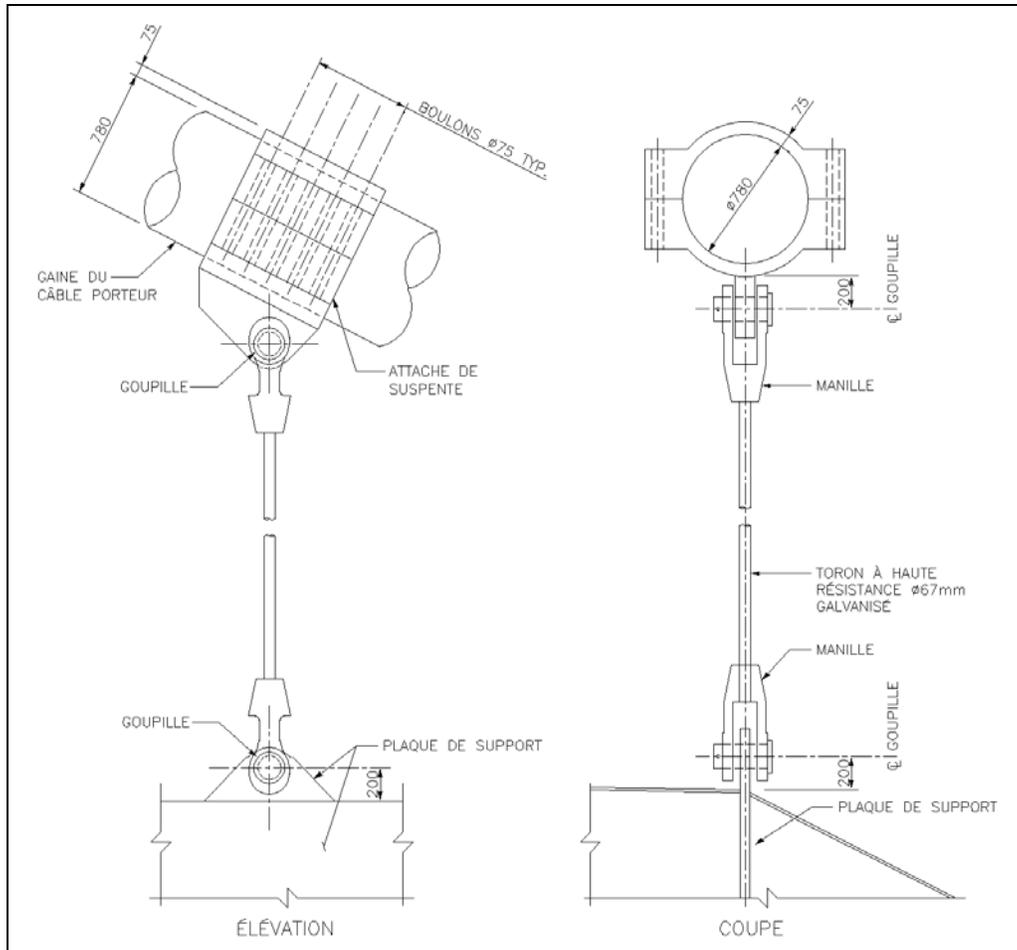


1.5.2.4 Les suspentes

Les suspentes se constituent de torons galvanisés torsadés à haute résistance de 67 mm de diamètre. Ces torons se caractérisent par un module d'élasticité peu élevé, et donc offre une certaine flexibilité (voir figure 1.10).

Les suspentes peuvent être remplacées, le cas échéant, en raison d'une suspente à la fois, sans que cela n'affecte la stabilité du tablier, due à la présence d'une redondance.

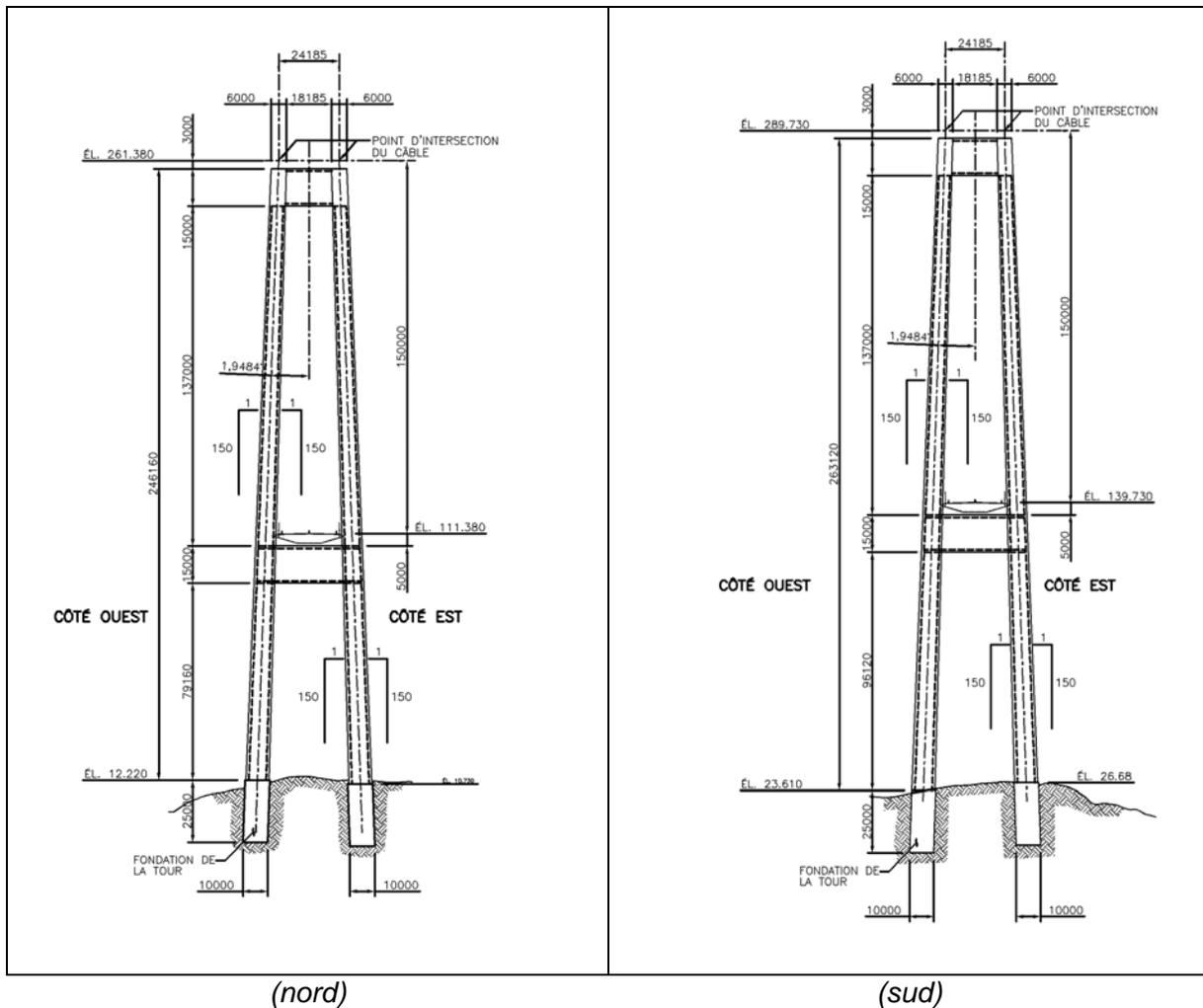
Figure 1.10 Système de suspentes



1.5.2.5 Les pylônes

Chaque pylône comporte deux jambes en béton armé, en section rectangulaire évidée, construit en béton armé à l'aide de coffrages grimpants. La tête des deux pylônes est à 150.0 mètres au-dessus du niveau du tablier. Deux entretoises assurent la liaison entre les jambes du pylône, la première est située au sommet du pylône et la deuxième est située en dessous du tablier (voir figure 1.11). Une selle est localisée au sommet de chacun des pylônes, capable de résister aux efforts du câble. Des amortisseurs sont raccordés au pylône, en raison d'un amortisseur par jambe, au niveau du tablier. Ces amortisseurs servent à prévenir les chocs entre le tablier et les pylônes latéralement sans toutefois restreindre son mouvement longitudinal.

Figure 1.11 Pylônes



1.5.2.6 La fondation des pylônes

Plusieurs études sont effectuées pour le choix de type de fondation. Un des critères principaux est de préserver le site et l'environnement du paysage. Dans ce contexte, chaque jambe de pylône repose sur une semelle en béton armé de 10 mètres x 12 mètres. Cette semelle sera construite à l'intérieur d'un puits de fondation de 20 mètres de diamètre, foré dans le roc à une profondeur d'environ 25 mètres. L'étude de reconnaissance géotechnique du site est présentée à la section 4 « Mécanique des sols et mécanique des roches ».

1.5.2.7 Les culées

À l'endroit de la culée sud, le terrain naturel est à environ 13 mètres en dessous du niveau du tablier alors qu'à l'endroit de la culée nord, il est à environ 5.0 mètres en dessous du niveau du tablier tel que montré sur les feuillets 36 et 38 du cahier des dessins. La culée est construite en béton armé.

Des murs de soutènement sont nécessaires à l'endroit des deux culées.

1.6 Construction

1.6.1 Fondation des pylônes

Les pylônes seront très proches des pentes et du bord de la falaise, d'où la nécessité de construire les fondations en profondeur pour assurer la stabilité sans recourir à l'élargissement de la semelle. Des excavations utilisant un dynamitage contrôlé sont requises pour la réalisation d'un puits d'environ 25 mètres de profondeur accommodant une semelle de 10 m x 12 m pour chacune des fondations.

Les matériaux excavés peuvent être utilisés comme remblai aux approches du pont ou installés autour des bases des pylônes pour la stabilisation des talus.

1.6.2 Les pylônes

Les pylônes sont construits en béton armé à l'aide de coffrages grimpants.

Tous les matériaux et le matériel de construction seront acheminés à partir de la rivière.

1.6.3 Chambre d'ancrages des câbles

Pour la construction de la chambre d'ancrages, la méthode traditionnelle de forage et dynamitage sera utilisée pour parfaire l'excavation dans le roc. Une fois l'excavation complétée, une membrane d'étanchéité sera appliquée, et revêtue d'une chape de béton, jusqu'au niveau du terrain naturel. Le revêtement de béton dans la partie inférieure de la chambre sera construit en cascade pour former un genre d'escalier pour un accès convenable.

Les parois du roc excavé doivent être stabilisées à l'aide de boulons d'ancrage, si le roc démontre la nécessité d'une telle mesure.

Après avoir complété les travaux de construction de la chambre, les torons d'ancrage seront installés à l'intérieur des trous forés dans le roc et remplis d'un coulis.

1.6.4 Érection des câbles

Pour le pont du Saguenay, il est presque impossible d'employer des câbles préfabriqués en usine à cause de l'encombrement de ceux-ci, vu leur diamètre et leur longueur exceptionnels. Les câbles seront donc assemblés sur le chantier, en ayant un recours à un funiculaire de service (sorte de téléphérique) qui est utilisé pour entraîner les fils d'acier qui formeront le câble porteur. Ce funiculaire placé sur les pylônes à l'aide d'un hélicoptère, entraîne un chariot qui forme une boucle avec le fil déroulé d'une bobine dont l'extrémité libre est ancrée au support d'ancrage. Lorsque le chariot arrive à l'autre extrémité du pont, la boucle est détachée et les deux fils sont ancrés. Le chariot reçoit alors une nouvelle boucle de la bobine située sur l'autre rive et pose ainsi deux nouveaux fils pendant son retour et ainsi de suite jusqu'à ce que tous les fils soient ancrés.

1.6.5 Érection du tablier

Les segments qui constituent le tablier seront fabriqués en usine. Des barges seront utilisées pour le transport des voussoirs, et le montage sera effectué à l'aide d'un engin de levage porté par les câbles porteurs. Les voussoirs seront ensuite soulevés par des treuils fixés à l'engin, pour être ensuite raccordés aux suspentes.

Le montage s'effectue à partir des deux extrémités du pont en même temps afin que les efforts soient symétriques. Les voussoirs sont amenés à la bonne hauteur, emboîtés dans ceux déjà mis en place et enfin, suspendus. La progression sera faite de cette manière jusqu'au centre du pont où les deux parties se rejoignent.

Cette méthode progressive aura comme conséquence que les pylônes seront sollicités vers l'extérieur du pont, ce qui n'est pas leur but initial. Ce problème disparaîtra lorsque le tablier sera totalement terminé. Par conséquent, la résistance des pylônes doit être légèrement augmentée afin de pouvoir supporter ces efforts longitudinaux.

1.7 Recommandations

Pour faire suite à toutes les explications contenues au présent rapport, nous recommandons ce qui suit :

- La construction d'un pont suspendu ayant une travée centrale de 1 350 mètres de longueur, en plus de deux travées d'approche ayant chacune 330 mètres de longueur.
- Le tablier du pont ayant une largeur de 28.185 mètres accommodant quatre voies de circulation routière, deux dans chacune des directions. Aucun trottoir n'est inclus.

- Le tablier métallique est composé d'une dalle orthotrope en poutre-caisson unicellulaire, possédant une géométrie aérodynamique. Le tablier est revêtu d'une membrane imperméabilisante et un enrobé bitumineux.
- Les pylônes en béton armé sont fondés sur le roc.
- La superstructure est supportée par deux séries de câbles porteurs, situés aux extrémités amont et aval du tablier.
- Des essais en soufflerie pour un modèle aérodynamique complet du pont doivent être effectués lors de la phase de conception détaillée.

1.8 Calcul des quantités et estimation budgétaire des coûts

1.8.1 Coûts de réalisation

Le pont de la rivière Saguenay est un projet dont la réalisation s'inscrit dans un contexte nord-américain. Les coûts de construction sont donc préparés pour refléter cette spécificité. Les estimations budgétaires sont élaborées à partir de différentes sources et de plusieurs facteurs, dont les suivants :

- Les matériaux et l'approvisionnement
- La main-d'œuvre
- Les équipements
- L'expérience pertinente
- Les plus récents projets de même envergure. [Carquinez Bridge est le premier pont suspendu qui vient d'être réalisé (2003) depuis plus de 30 ans aux États-Unis. Ce pont est considéré comme une source de référence]
- Les entrepreneurs spécialisés dans les grands ouvrages d'art
- La liste des prix suggérés contenus dans le Manuel de conception du MTQ, en tenant compte de la pondération relative à l'éloignement du chantier et la difficulté du montage.

L'estimation budgétaire est détaillée au tableau 1.3. Le coût de construction du pont suspendu est de 680 600 000 \$. Les coûts des matériaux représentent 55% et ceux de la main-d'œuvre, 45% du coût total de la construction.

1.8.2 Coûts d'entretien

Les coûts d'entretien du pont suspendu sont estimés à l'aide de pourcentages des coûts de construction. Ces pourcentages sont établis sur la base d'information recueillie à travers les grands ouvrages d'art, reconnue comme appropriée pour l'évaluation des budgets d'entretien et de réhabilitation.

Un montant annuel de 0,75% en terme réel (dollar constant) du coût de construction du pont suspendu doit être conservé dans un fond pour couvrir les travaux d'entretien, de réparation et de réhabilitation futurs lorsque requis pour maintenir le pont fonctionnel et sécuritaire. Ce pourcentage doit être appliqué au coût de remplacement réévalué chaque année en tenant compte de l'inflation.

Tableau 1.3 Estimation budgétaire
Tablier sans trottoir

Item	Unité	Quantité	Coût en \$ canadien	
			Unitaire	Total
ORGANISATION DE CHANTIER (1)	global	1	60 000 000,00\$	60 000 000\$
CULÉES ET ANCRAGES				
Béton pour chambre des câbles	m cu.	3 900	1 400,00\$	5 460 000\$
Armature pour chambre des câbles	kg	1 000 000	4,00\$	4 000 000\$
Béton des culées	m cu.	2 300	1 200,00\$	2 760 000\$
Armature des culées	kg	600 000	4,00\$	2 400 000\$
Ancrage au roc (incluant les câbles, le forage et le coulis)	unité	728	15 000,00\$	10 920 000\$
Excavation pour ancrage au roc	m cu.	15 000	140,00\$	2 100 000\$
Excavation pour les culées	m cu.	1 660	110,00\$	182 600\$
Ancrages pour soulèvement aux culées	global	1	140 000,00\$	140 000\$
Butée aux culées	global	1	140 000,00\$	140 000\$
PYLÔNES				
Béton des pylônes	m cu.	42 200	1 400,00\$	59 080 000\$
Armature des pylônes	kg	11 600 000	5,00\$	58 000 000\$
Béton pour fondation des pylônes	m cu.	12 000	1 100,00\$	13 200 000\$
Armature pour fondation des pylônes	kg	3 000 000	4,00\$	12 000 000\$
Éléments divers (selles, connection des ancrages au roc)	global	1	5 700 000,00\$	5 700 000\$
Excavation pour fondation des pylônes	m cu.	12 000	140,00\$	1 680 000\$
Amortisseur latéral aux pylônes	global	1	108 000,00\$	108 000\$
SUPERSTRUCTURE				
Acier de structure pour le tablier (fabrication, livraison et installation)	kg	30 250 000	9,00\$	272 250 000\$
Carénage en aluminium (fabrication, livraison, installation)	kg	1 190 000	15,20\$	18 088 000\$
Attache centrale des câbles	global	1	700 000,00\$	700 000\$
Suspentes	kg	332 600	10,65\$	3 540 500\$
Câbles porteurs	kg	12 988 000	9,00\$	116 892 000\$
Membrane imperméable et enrobé bitumineux	m car.	48 650	46,00\$	2 237 900\$
Glissières médianes	m. lin.	2 010	400,00\$	804 000\$
Glissières de rive	m. lin.	4 020	400,00\$	1 608 000\$
1200 mm Joints de dilatation	m. lin.	49	38 000,00\$	1 862 000\$
Drainage de tablier	global	1	280 000,00\$	280 000\$

**Tableau 1.3 : Estimation budgétaire
Tablier sans trottoir (suite)**

Item	Unité	Quantité	Coût en \$ canadien	
			Unitaire	Total
TRAVAUX DIVERS				
Ascenseur et escalier pour pylônes	unité	4	1 750 000,00\$	7 000 000\$
Alimentation électrique et contrôle	global	1	6 831 000,00\$	6 831 000\$
Système mécanique de déshumidification	global	1	5 600 000,00\$	5 600 000\$
Système de guidage aérien	global	1	28 000,00\$	28 000\$
Éclairage visuel du pont	global	1	4 508 000,00\$	4 508 000\$
Essais en soufflerie	global	1	500 000,00\$	500 000\$
Grand total				680 600 000\$

Notes :

1. L'organisation de chantier comprend les éléments suivants :
 - Mobilisation et manutention des équipements
 - Aménagement des espaces pour le stockage des matériaux
 - Protection et sécurité de l'ensemble des travaux
 - Protection de l'environnement, tel que :
 - Intervention d'urgence en cas de pollution accidentelle
 - Protection des eaux et suivi de la qualité
 - Protection du milieu naturel
 - Protection de l'air et suivi de la qualité
 - Protection contre le bruit et suivi de l'ambiance sonore
 - Traitement des déchets

2. OUVRAGES D'ART

2.1 Données techniques

2.1.1 Introduction

Ce rapport présente l'étude du viaduc situé sur le tracé N-1 entre les chaînages 51+900 et 52+802, de même que du pont situé sur le tracé S-1 au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine entre les chaînages 47+026 et 47+118.

Pour le viaduc, étant donné sa visibilité, une attention est apportée à l'esthétique du tablier. Quatre types de tablier sont étudiés. L'analyse sismique du viaduc est aussi effectuée afin de concevoir les piles et les fondations du viaduc.

Pour le pont situé au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine, ces analyses sont reprises, mais sans considération esthétique au niveau du tablier.

Enfin, les estimations de coûts de construction du viaduc sur le tracé N-1 et du pont sur le tracé S-1 sont présentées.

2.1.2 Description des structures

2.1.2.1 Viaduc sur le tracé N-1

Le viaduc situé sur le tracé N-1 a une longueur totale de 902 mètres. Il présente une courbe horizontale d'un rayon de 1 426 mètres. La largeur du tablier est variable. Sans voie auxiliaire, elle est de 14 300 mm entre les chaînages 51+900 et 52+680 et, avec voie auxiliaire, elle est de 16 800 mm entre les chaînages 52+680 et 52+802, comme montré aux figures 2.1 et 2.2. Le tablier repose sur 2 culées et sur 14 piles à inertie variable, dont la hauteur varie entre 25 et 62 mètres. Les piles sont espacées de 60 mètres centre à centre, ce qui représente la longueur de travée maximale à respecter comme exigé par l'article 10.13 de la norme CAN/CSA-S6-00 pour les ponts courbes en acier.

Le tablier est composé d'une dalle de béton supportée par une charpente en acier constituée de poutres d'acier ou d'un ou plusieurs caissons en acier selon l'alternative étudiée.

Figure 2.1 Poutres assemblées en acier

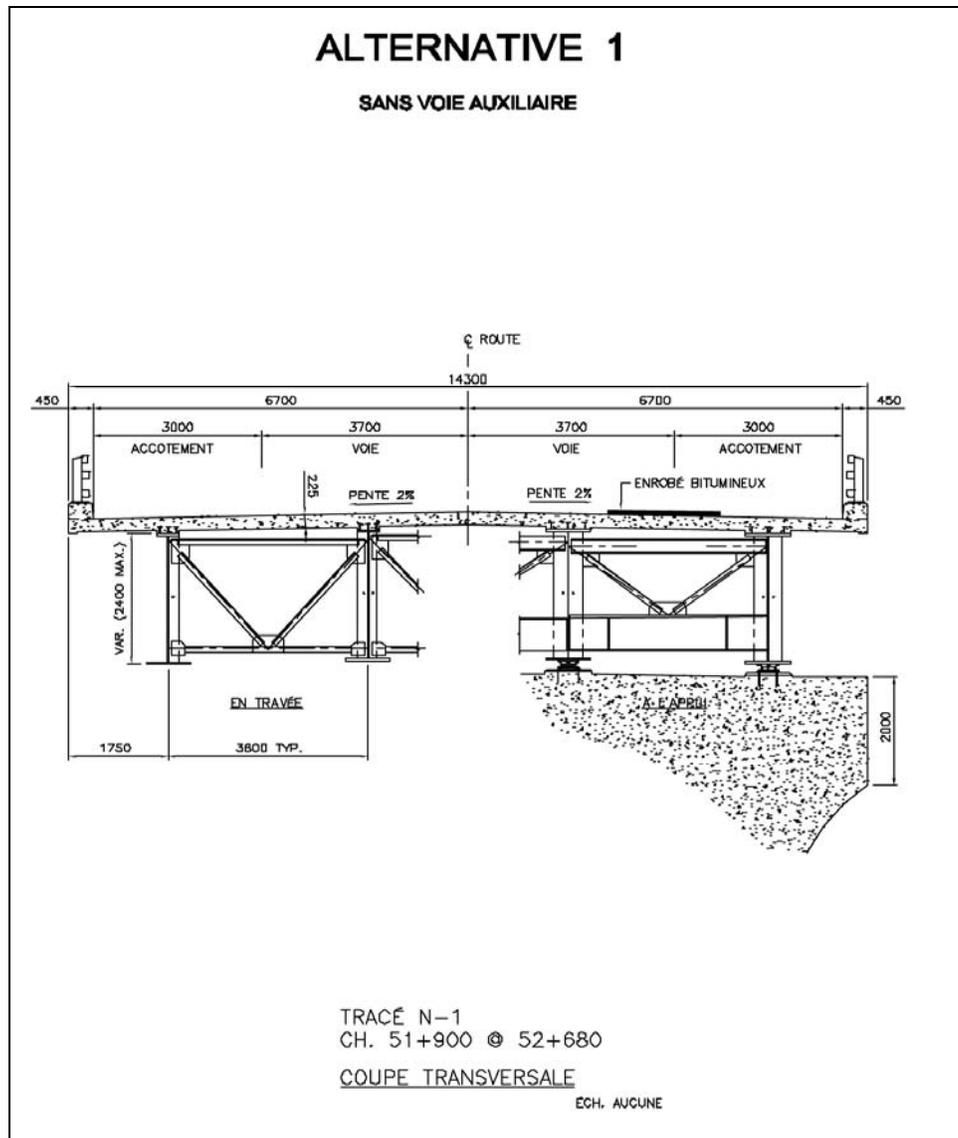
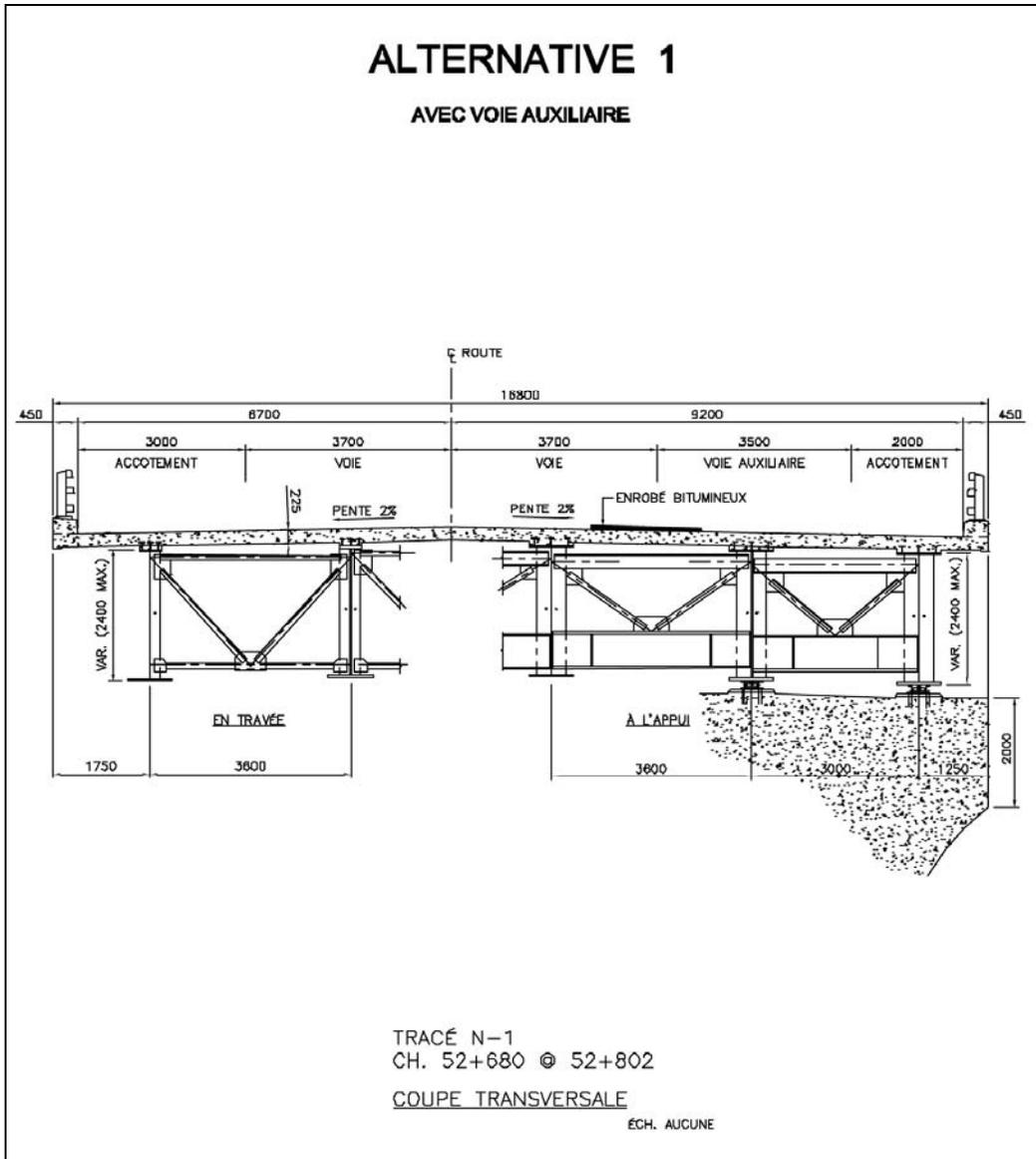


Figure 2.2 Poutres assemblées en acier



Les joints de dilatation sont espacés à tous les 300 mètres. Les déplacements horizontaux calculés demandent des joints modulaires. Les appuis des poutres sont assurés par un système d'appareils d'appui à élastomère confiné combiné à des transmetteurs de chocs sismiques pour que toutes les piles puissent contribuer à reprendre les efforts sismiques ou par des isolateurs sismiques selon l'alternative étudiée.

Les deux sondages géotechniques effectués sur le site révèlent la présence d'un gneiss granitique rose sous une couche de sol granulaire d'une épaisseur de 0 et 5 mètres. Comme recommandé par l'étude géotechnique, les fondations des piles et des culées doivent reposer sur le roc, soit directement ou par l'intermédiaire de pieux caissons forcés et ancrés au roc lorsque ce dernier se situe à plus de 5 mètres.

2.1.2.2 Pont situé au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine sur le tracé S-1

Le pont situé sur le tracé S-1 a une longueur totale de 92 mètres et présente une courbe horizontale d'un rayon de 950 mètres. La largeur du tablier est de 14 300 mm. Le tablier repose sur deux culées et une pile à inertie variable, dont la hauteur est de 20 mètres.

Le tablier est constitué d'une dalle de béton supportée par quatre poutres en acier.

Les joints de dilatation se situent aux deux culées. Les appuis des poutres sont assurés par un système d'appareils d'appui à élastomère confiné.

Le sondage effectué sous la pile a 22 mètres de profondeur et ne révèle pas la présence de roc. Un sol granulaire de compacité moyenne à très dense est en place. Pour cette étude, il est considéré que les fondations de la pile et des culées reposent sur des pieux travaillant en friction et en pointe. Cependant, lors de la préparation des plans et devis, il sera important d'effectuer des sondages sur une plus grande profondeur afin de s'assurer de la présence ou non de roc.

2.1.3 Chargements

Les chargements considérés pour le dimensionnement préliminaire des éléments d'acier et des unités d'appui sont les suivants :

- a) Le poids propre comprenant les poutres d'acier, la dalle de béton, la couche d'usure, les glissières de sécurité et les chasse-roues;
- b) La surcharge routière normalisée CL-625 : il s'agit d'un camion d'un poids de 625 kN, d'une longueur de 18 mètres et comportant cinq essieux combinés selon les spécifications du code à une surcharge de voie de 9 kN/m;

- c) La charge de vent pour une période de retour de 50 ans appliquée sur l'ouvrage et sur la circulation routière;
- d) La surcharge sismique.

Pour l'analyse sismique, l'étude respecte les exigences du chapitre 4 de la norme CAN/CSA-S6-00. La zone sismique considérée est celle de Tadoussac qui est une des zones sismiques les plus élevées en Amérique du Nord.

Pour l'analyse, il est considéré que les structures sont de catégorie d'importance « urgence ». Tadoussac correspond à une région où les efforts sismiques sont très sévères et se situe dans la zone de rendement sismique 4, comme spécifié au tableau 4.4.4.1 de la norme. Pour l'analyse, les facteurs suivants sont considérés :

- a) Rapport d'accélération de la zone A : 0.4
- b) Coefficient de priorité I = 1.5
- c) Coefficient de site S = 1.0
- d) Coefficient de ductilité :
 - R = 3.0 ou 1.0 selon l'alternative étudiée pour le viaduc
 - R = 3.0 pour le pont au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine

2.1.4 Étude du viaduc situé sur le tracé N-1

2.1.4.1 Étude du tablier

Étant donné l'importance de cet ouvrage et l'impact visuel qu'il aura, quatre solutions de tablier sont étudiées. Les coûts, les géométries, les avantages et les inconvénients des différentes solutions sont présentés. Toutes les solutions présentées dans ce rapport prennent en considération la courbure du pont.

- a) Alternatives de tablier possibles :

Le viaduc se situera dans une zone sismique très sévère, comme déjà mentionné. Les efforts sismiques à reprendre par les piles sont considérables et, afin de réduire la sollicitation sismique, la masse du tablier se doit d'être la plus faible possible. L'étude ne se concentre donc que sur des tabliers avec poutres ou caissons en acier, lesquels sont beaucoup plus légers que des tabliers avec poutres ou caissons en béton.

Les quatre alternatives de tablier présentées sont constituées d'une dalle en béton armé supportée par un système de poutres ou de caissons en acier.

L'alternative 1, déjà présentée dans les rapports d'étape précédents, est constituée d'une dalle de béton armé de 225 mm d'épaisseur supportée par quatre poutres en acier à inertie variable de 2 400 mm de hauteur maximum.

Ces poutres sont espacées à 3 600 mm centre à centre dans la zone sans voie auxiliaire et sur cinq poutres dans la zone avec voie auxiliaire. Les détails de cette alternative sont montrés aux figures 2.1 et 2.2.

L'alternative 2 est constituée d'une dalle en béton armé de 225 mm d'épaisseur supportée par deux caissons en acier à inertie variable de 2 400 mm de hauteur maximum espacés de 3 600 mm. La largeur des caissons est de 2 400 mm dans le bas et de 3 600 mm dans le haut, pour une pente de 1H : 4V des âmes, comme limité par la norme CAN/CSA-S6-00. Dans la zone avec voie auxiliaire, une poutre d'acier est ajoutée en parallèle aux deux caissons afin de conserver la continuité des caissons avec ceux de la zone sans voie auxiliaire. Les détails de cette alternative sont présentés aux figures 2.3 et 2.4.

Figure 2.3 Deux caissons en acier

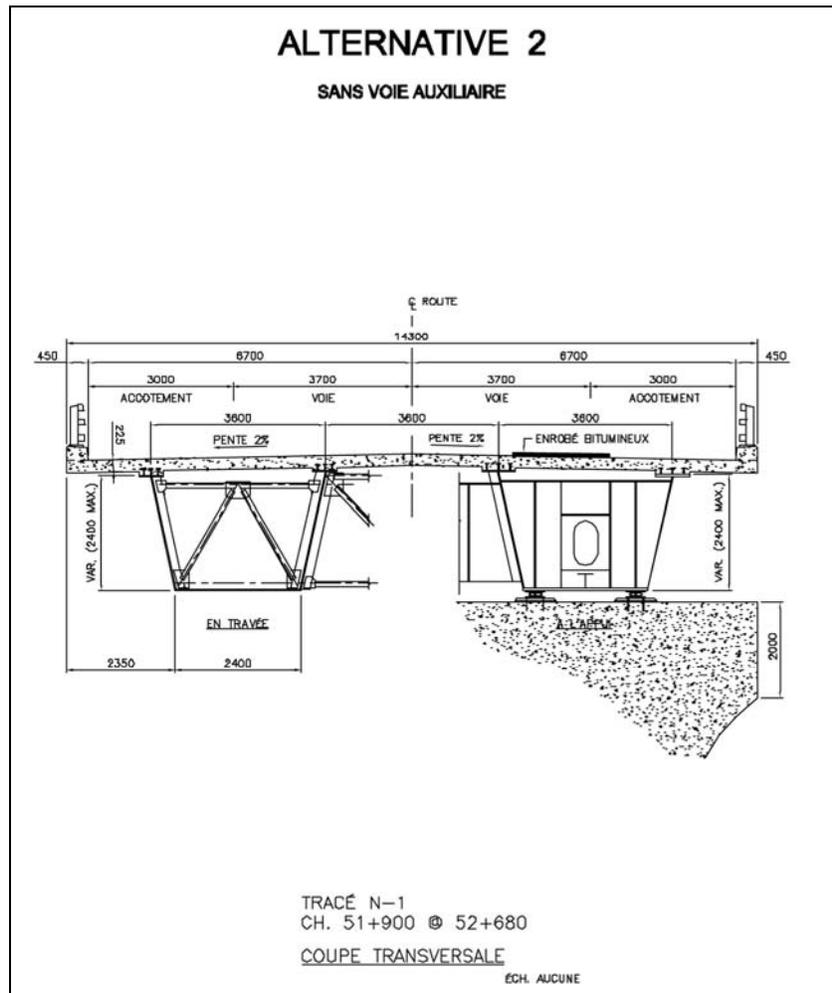
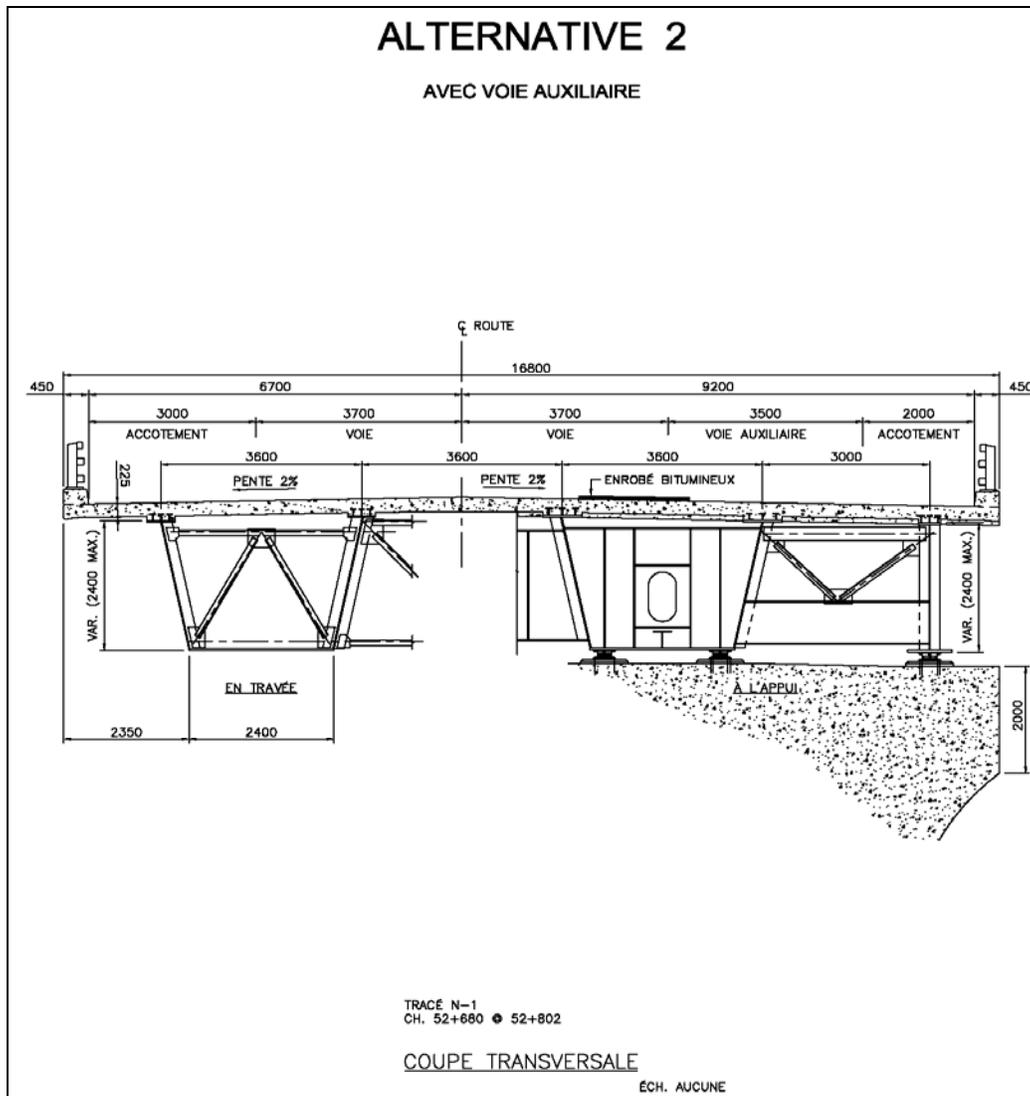


Figure 2.4 Deux caissons en acier



L'alternative 3 est constituée d'un caisson unique en acier à inertie variable de 2 500 mm de hauteur maximum. Le caisson a une largeur de 6 000 mm dans le bas, et de 7 250 mm dans le haut. Dans la zone avec voie auxiliaire, le caisson élargira progressivement jusqu'à 8 500 mm dans le bas et 9 750 mm dans le haut. La pente des deux âmes est aussi de 1H : 4V. La dalle de 250 mm d'épaisseur est supportée par des poutres transversales espacées de 4 000 mm centre à centre qui se prolongent en porte-à-faux de chaque côté du caisson. La dalle est ainsi supportée dans le sens longitudinal plutôt que dans le sens transversal. Les détails de cette alternative sont présentés aux figures 2.5 et 2.6.

Figure 2.5 Caisson unique en acier avec traverses aux 4 mètres en zone de moment positif

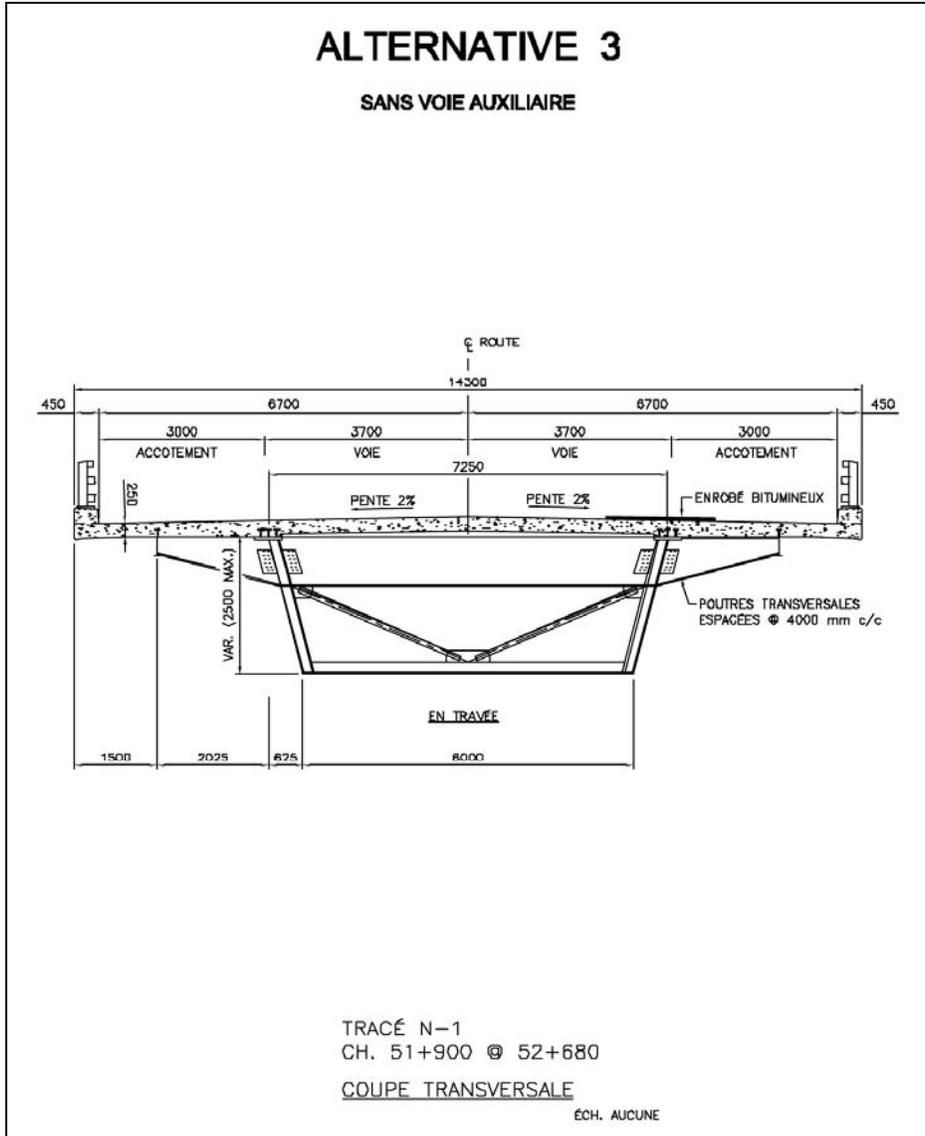
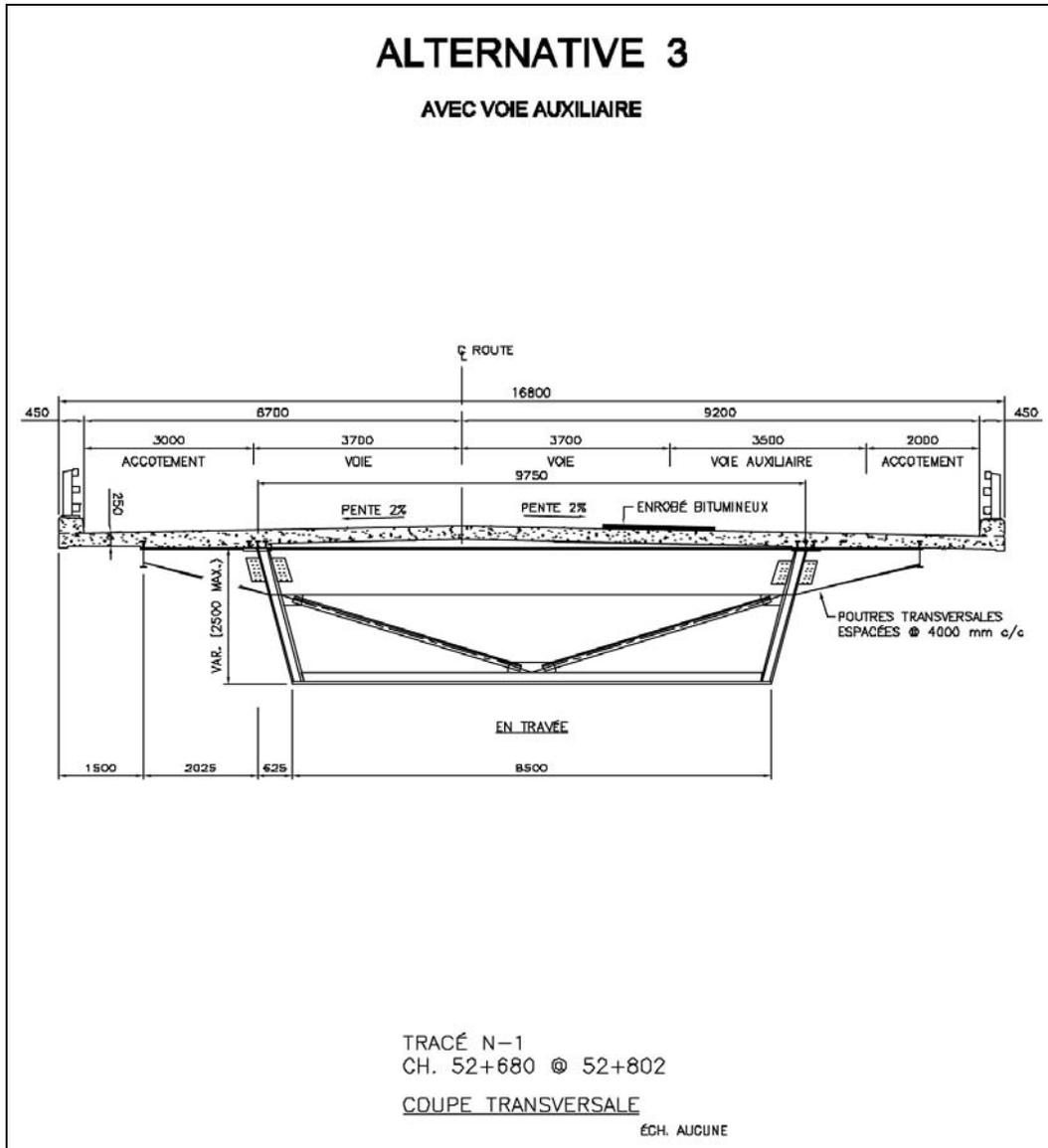


Figure 2.6 Caisson unique en acier avec traverses aux 4 mètres en zone de moment positif



L'alternative 4 est aussi constituée d'un caisson unique en acier à inertie variable de mêmes dimensions que celui de l'alternative 3. Les poutres transversales sont espacées de 10 mètres et supportent des longerons et une dalle en béton armé de 200 mm d'épaisseur. La présence de longerons réduit la distance non supportée de la dalle, réduisant ainsi l'épaisseur de celle-ci. Les détails de cette alternative sont présentés aux figures 2.7 et 2.8.

Figure 2.7 Caisson unique en acier avec longerons et traverses aux 10 mètres en zone de moment positif

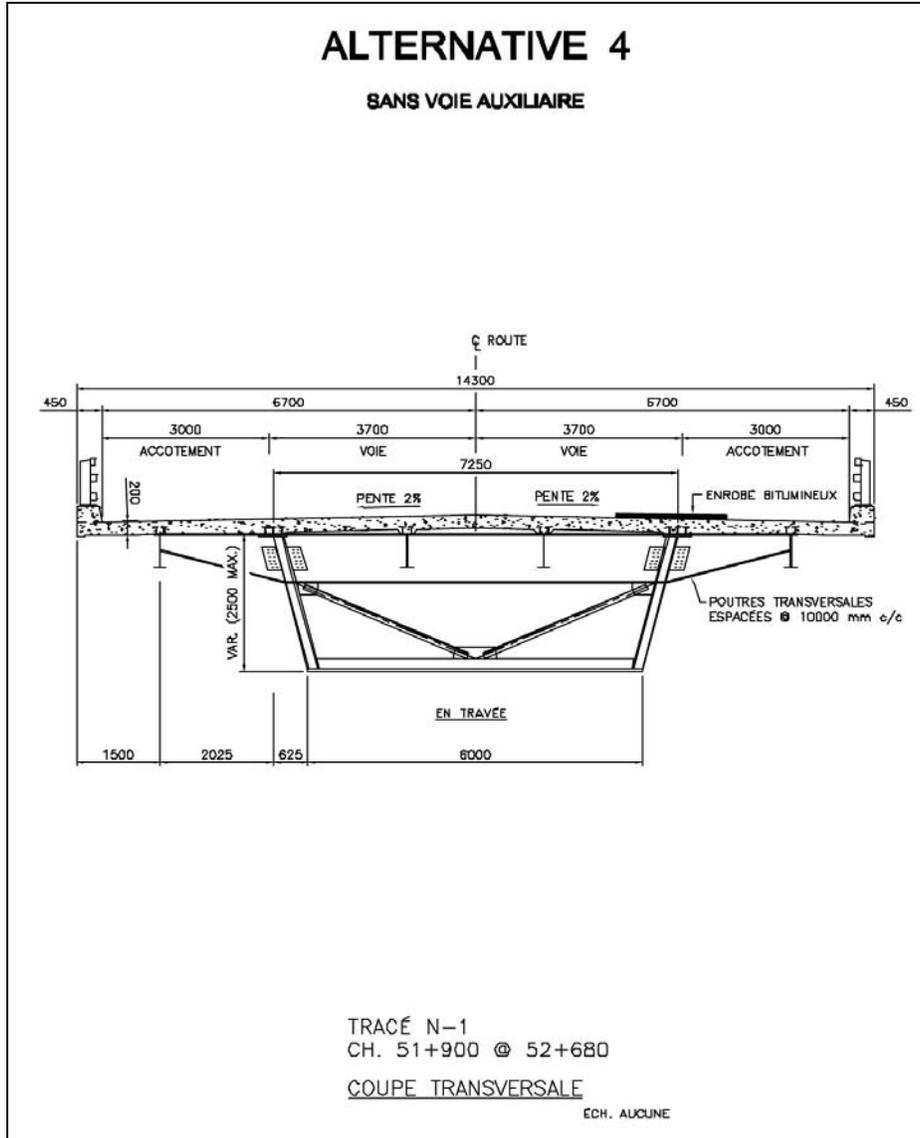
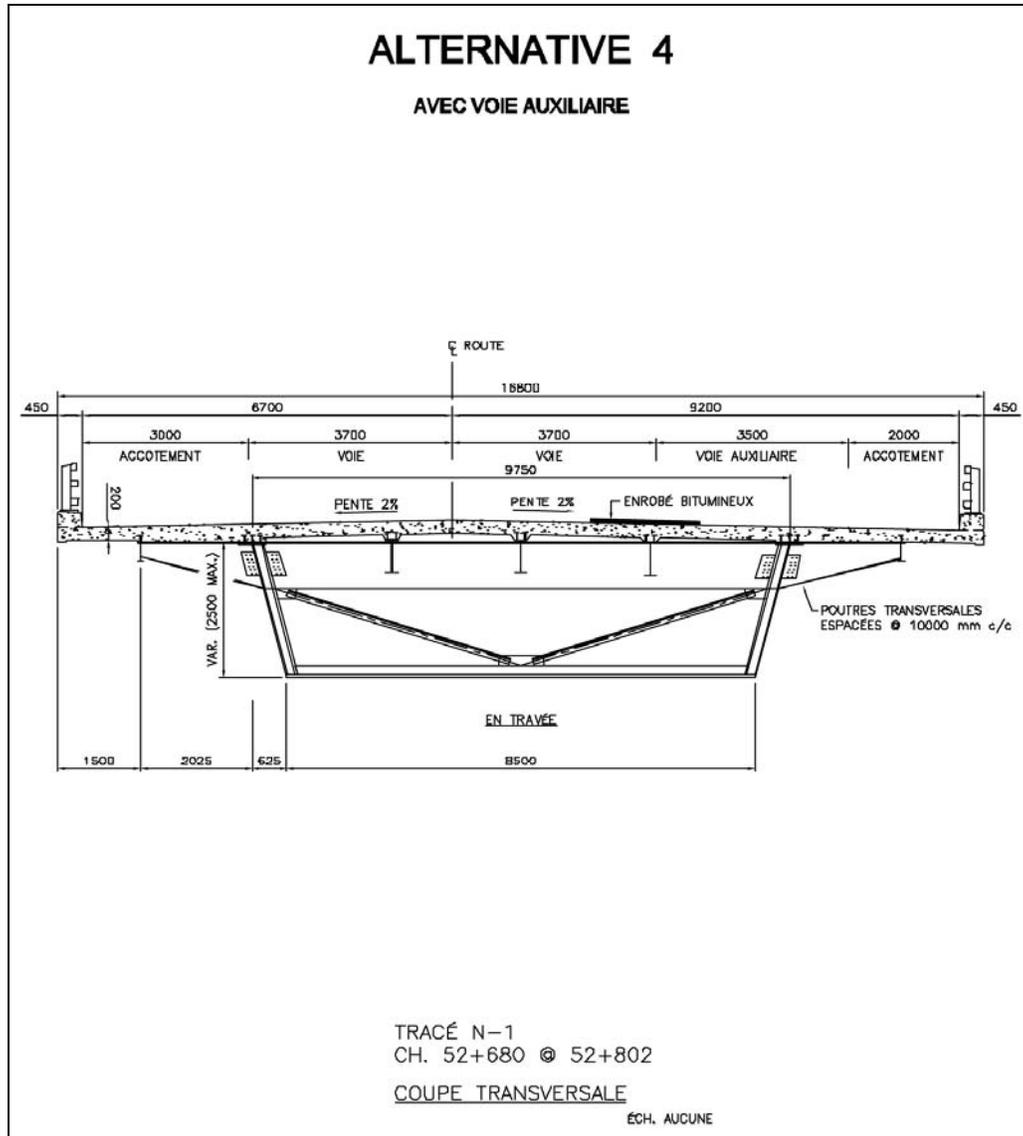


Figure 2.8 Caisson unique en acier avec longerons et traverses aux 10 mètres en zone de moment positif



À noter que ce principe de caisson unique avec poutres transversales en porte-à-faux fut utilisé pour le *Storrow Drive Connector Bridge* construit à Boston. Ce pont a gagné le *2001 Prize Bridge Award* décerné par la *National Steel Bridge Alliance*.

b) Avantages et inconvénients des alternatives présentées :

L'option avec poutres d'acier ne présente pas d'avantages ou d'inconvénients majeurs. Ce type de structure est conventionnel et couramment utilisé. Pour un

ouvrage visible en hauteur, cette solution est cependant moins esthétique qu'une solution avec caissons.

L'option avec doubles caissons est aussi une structure conventionnelle, quoique moins utilisée que les poutres d'acier, mais a comme avantage d'être plus esthétique à l'exception de la zone avec voie auxiliaire qui demande l'ajout d'une poutre d'acier en parallèle aux caissons.

Le caisson unique des alternatives 3 et 4 est une structure beaucoup moins conventionnelle, mais présentant un avantage certain au niveau de l'esthétique. Au niveau des ouvrages d'art en hauteur, il est courant de voir en Europe des viaducs structurés avec un caisson unique.

Le deuxième avantage à l'utilisation des caissons est que toutes les surfaces d'acier à l'intérieur des caissons (incluant les entretoises, raidisseurs, lacets, etc.) n'ont pas besoin d'un revêtement de protection avec l'utilisation d'un acier atmosphérique de type AT. Les surfaces d'acier à métalliser ou à peindre peuvent se limiter aux surfaces extérieures, entraînant ainsi des coûts moins élevés à ce niveau qu'une structure avec poutres d'acier.

Les caissons comportent toutefois aussi des désavantages. L'accumulation d'eau et de débris peut se produire à l'intérieur des caissons par des joints de dilatation défectueux ou par condensation. Il est alors important d'avoir des détails permettant la canalisation de l'eau vers des drains par l'utilisation d'un caisson à hauteur variable et d'une ventilation adéquate des caissons.

c) Coûts des différentes alternatives de tablier :

Les coûts des quatre alternatives sont étudiés et résumés dans le tableau 2.1. Les coûts présentés ci-dessous sont pondérés de 15 % pour tenir compte de l'éloignement du site des travaux et une majoration de 5 % est appliquée sur la charpente d'acier afin de tenir compte de la courbure horizontale du viaduc. Un pourcentage pour les contingences, les frais d'administration et le profit de l'entrepreneur de 15 % est appliqué à cette étape de l'étude sur le montant total.

L'alternative la plus économique est la troisième, soit celle d'un caisson unique avec des traverses aux 4 mètres. La quatrième alternative arrive en deuxième position et la deuxième alternative se classe en troisième position. L'alternative la plus dispendieuse est la première, soit la solution avec quatre poutres.

Au niveau du béton et de l'armature de tablier, les différences s'expliquent par l'épaisseur de la dalle qui varie d'une alternative à l'autre. Les alternatives 1 et 2 ont une dalle de 225 mm, l'alternative 3 a une dalle de 250 mm et, finalement, l'alternative 4 a une dalle de 200 mm, ce qui explique la variation de coûts à ce niveau.

Tableau 2.1 Coûts des différentes alternatives de tablier

Élément considéré	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3	Alternative 4
Charpente métallique	14 075 104 \$	13 632 420 \$	12 572 645 \$	13 362 378 \$
Béton de tablier	2 049 859 \$	2 049 859 \$	2 299 842 \$	1 822 097 \$
Armature de tablier	1 417 019 \$	1 417 019 \$	1 417 775 \$	1 275 181 \$
Membrane d'étanchéité	399 016 \$	399 016 \$	399 016 \$	399 016 \$
Pavage	208 415 \$	208 415 \$	208 415 \$	208 415 \$
Béton des chasse-roues	441 593 \$	441 593 \$	441 593 \$	441 593 \$
Glissières	258 750 \$	258 750 \$	258 750 \$	258 750 \$
Drains	34 960 \$	34 960 \$	34 960 \$	34 960 \$
Total partiel	18 884 716 \$	18 442 032 \$	17 632 996 \$	17 802 390 \$
Contingences, frais d'administration et profit de l'entrepreneur (15 %)	2 832 707 \$	2 766 305 \$	2 644 949 \$	2 670 359 \$
Total du coût de construction du tablier	21 717 423 \$	21 208 337 \$	20 277 945 \$	20 472 749 \$
Prix du tablier au m²	1 645 \$	1 606 \$	1 536 \$	1 551 \$

Pour la charpente métallique, les différences de coûts s'expliquent par deux facteurs, soit le poids total d'acier et la surface à protéger. L'alternative 1 a un faible poids d'acier, mais une surface plus importante à protéger par métallisation et galvanisation. L'alternative 3 combine à la fois un faible poids d'acier et une faible surface à protéger, étant donné que les surfaces intérieures du caisson n'ont pas besoin d'être métallisées ou peintes avec l'emploi d'un acier AT, ce qui en fait la solution la moins dispendieuse.

2.1.4.2 Analyse sismique du viaduc

Le tableau 4.4.5.3.1 de la norme CAN/CSA-S6-00 présente les critères d'analyse minimaux des ponts à travées multiples. Le viaduc comporte plus de 7 travées et il est courbe. Il est donc classé comme un pont de type « irrégulier » et l'analyse sismique à effectuer est la méthode spectrale multimodale. Le logiciel Visual Design est utilisé pour réaliser les analyses sismiques.

Deux alternatives sont étudiées, soit une structure conventionnelle avec $R = 3.0$, ainsi qu'une structure isolée avec des isolateurs parasismiques dans la direction longitudinale du pont. L'isolation parasismique permet de réduire les efforts et les déplacements de 20 à 30 % lors d'un séisme. Par contre, le coefficient de ductilité maximum avec l'isolation parasismique pour la conception des piles dans la direction étudiée pour un pont de catégorie « urgence » doit être $R = 1.0$. Lorsque des isolateurs sont utilisés, la norme exige une analyse spectrale multimodale ou une analyse dynamique non linéaire. Le système étudié dans le présent rapport est

le système d'isolation à base d'élastomère confiné, développé par la compagnie Z-Tech inc. Ce genre d'isolateur a été utilisé pour le pont d'Alma construit en 2003.

Le tablier utilisé dans le calcul sismique est celui de l'alternative 3 présentée à la section précédente consistant en un caisson unique.

Le dimensionnement des piles est déterminé par le contrôle des déformations sous sollicitations sismiques. L'étude sismique démontre que la géométrie des piles et le nombre de piles résistant aux forces sismiques ont un effet important sur les déplacements horizontaux et sur l'importance des efforts transmis aux fondations. Plusieurs essais sont ainsi réalisés avec différents types de piles (piles-murs, poteaux rectangulaires ou carrés, ainsi que caissons rectangulaires ou carrés).

La norme CAN/CSA-S6-00 ne comporte aucune limite concernant les déplacements horizontaux à respecter au niveau du tablier dans les directions longitudinale et transversale. Tout en recherchant la section la plus économique possible pour les piles, il est aussi requis de minimiser les déplacements horizontaux au niveau du tablier, en particulier dans le sens longitudinal, ceci afin de limiter la longueur des joints de dilatation aux culées et éviter ainsi que le tablier ne frappe les murs garde-grèves. Des piles caissons rectangulaires à inertie variable en béton armé ductile, comme montré aux figures 2.9 à 2.13, se sont avérées la meilleure solution.

Pour diminuer la quantité de béton et aussi l'impact visuel, une section de dimension variable est proposée. La largeur des piles à leur base dans les directions longitudinale et transversale du viaduc, sont telles qu'elles sont montrées aux figures 2.9 à 2.12. Ainsi, plus une pile est haute, plus son inertie à la base est grande, contribuant ainsi à mieux répartir l'effort sismique entre les piles de hauteur variable. Les figures 2.9 et 2.10 présentent la géométrie des piles si le tablier est composé de poutres en acier, soit l'alternative 1 présentée à la section 2.1.4.1. Si le tablier est composé d'un caisson unique en acier, soit les alternatives 3 et 4, la géométrie des piles est présentée aux figures 2.11 et 2.12.

Les critères de calcul pour l'analyse sismique sont ceux définis par la norme CAN/CSA-S6-00. Le modèle d'analyse et les différentes avenues étudiées, comme l'utilisation d'amortisseurs sismiques ou de transmetteurs de chocs sismiques, sont présentés. Les résultats obtenus des différentes alternatives sont par la suite comparés.

Figure 2.9 Piles à inertie variable – Dalle sur poutres en acier sans voie auxiliaire

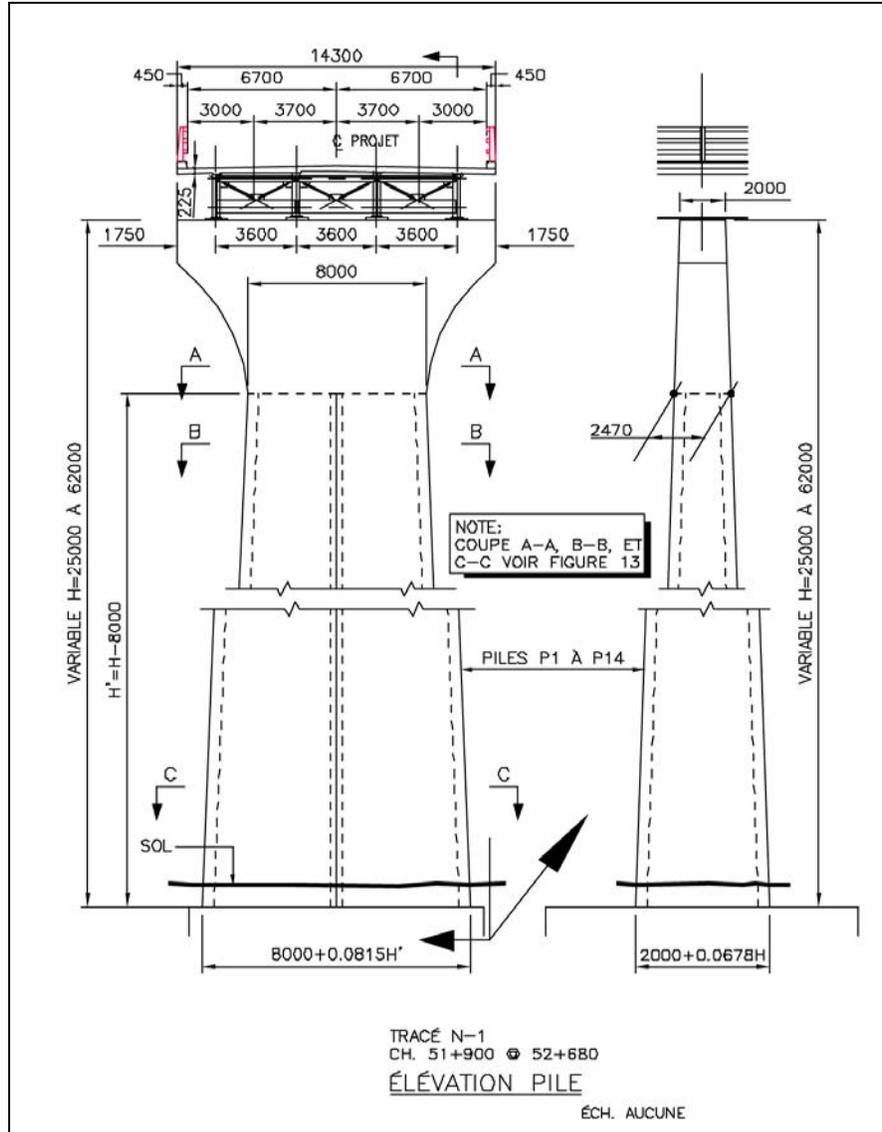


Figure 2.10 Piles à inertie variable – Dalle sur poutres en acier avec voie auxiliaire

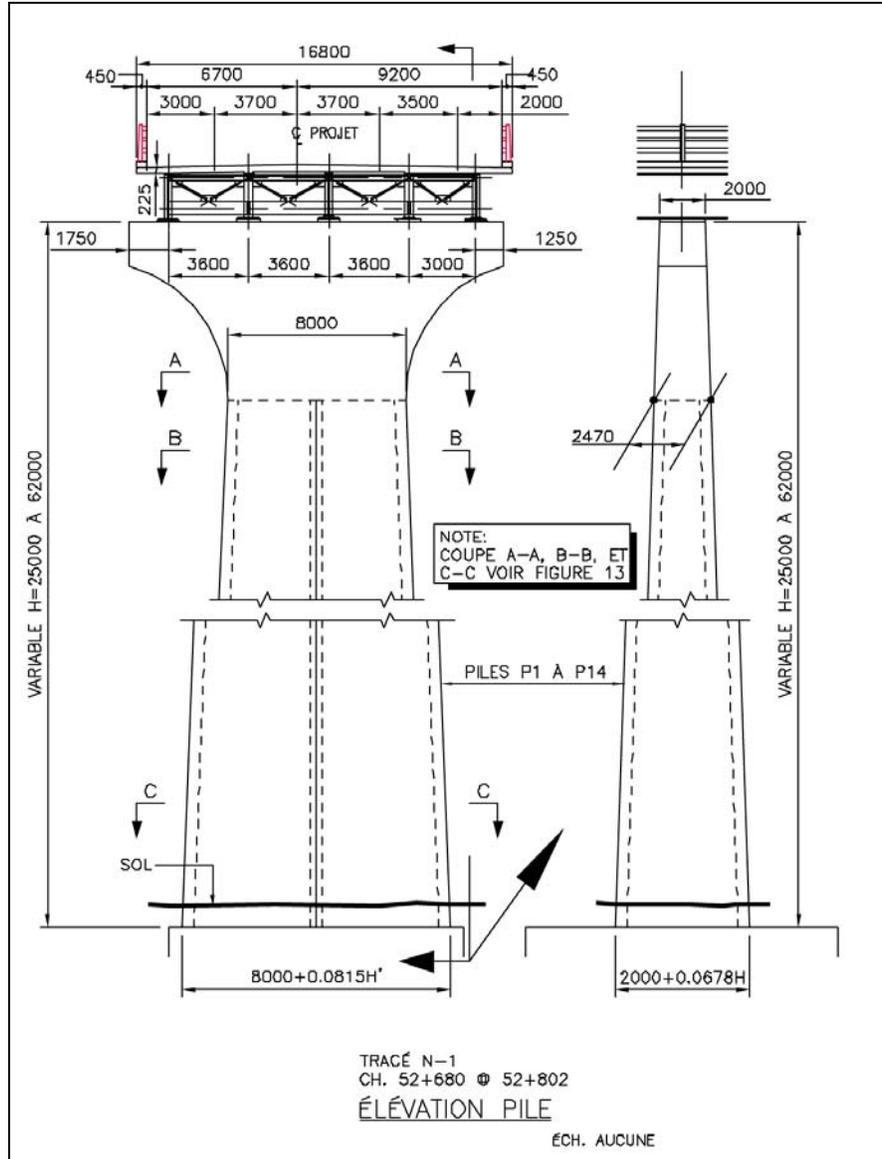


Figure 2.11 Piles à inertie variable – Dalle sur caisson en acier sans voie auxiliaire

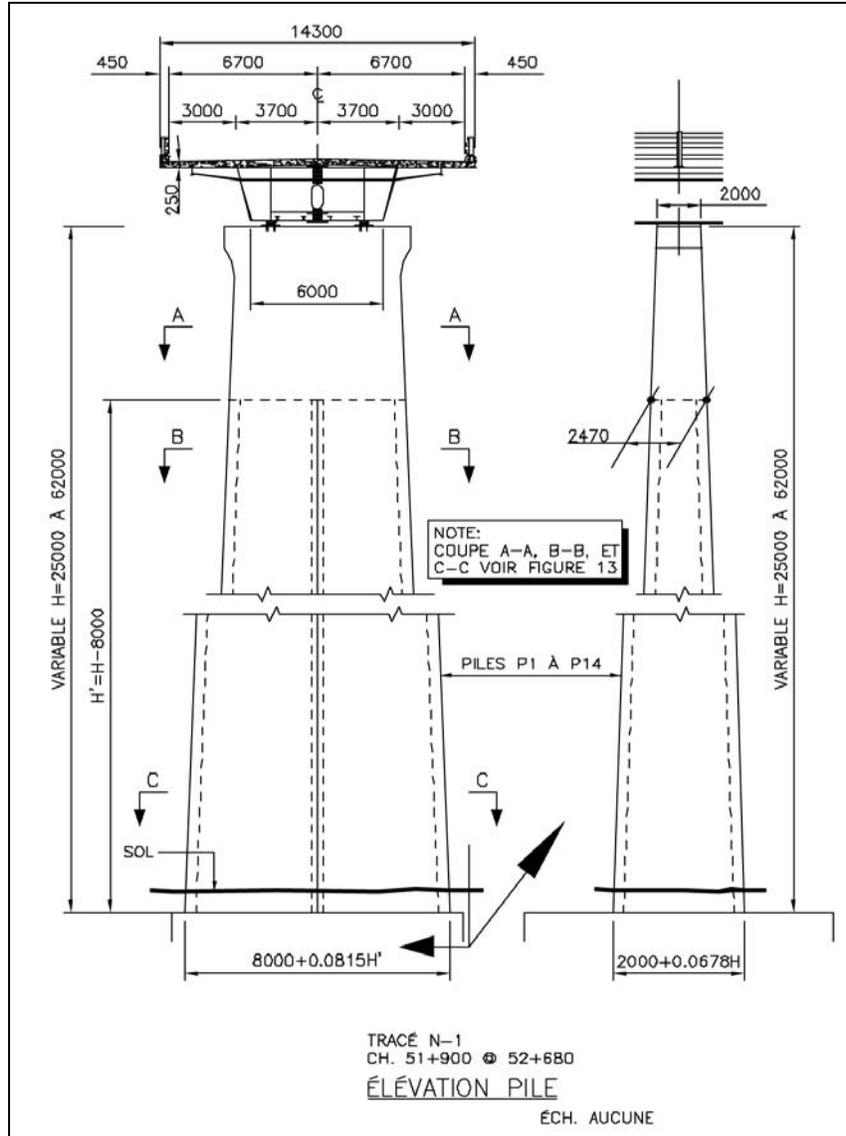


Figure 2.12 Piles à inertie variable – Dalle sur caisson en acier avec voie auxiliaire

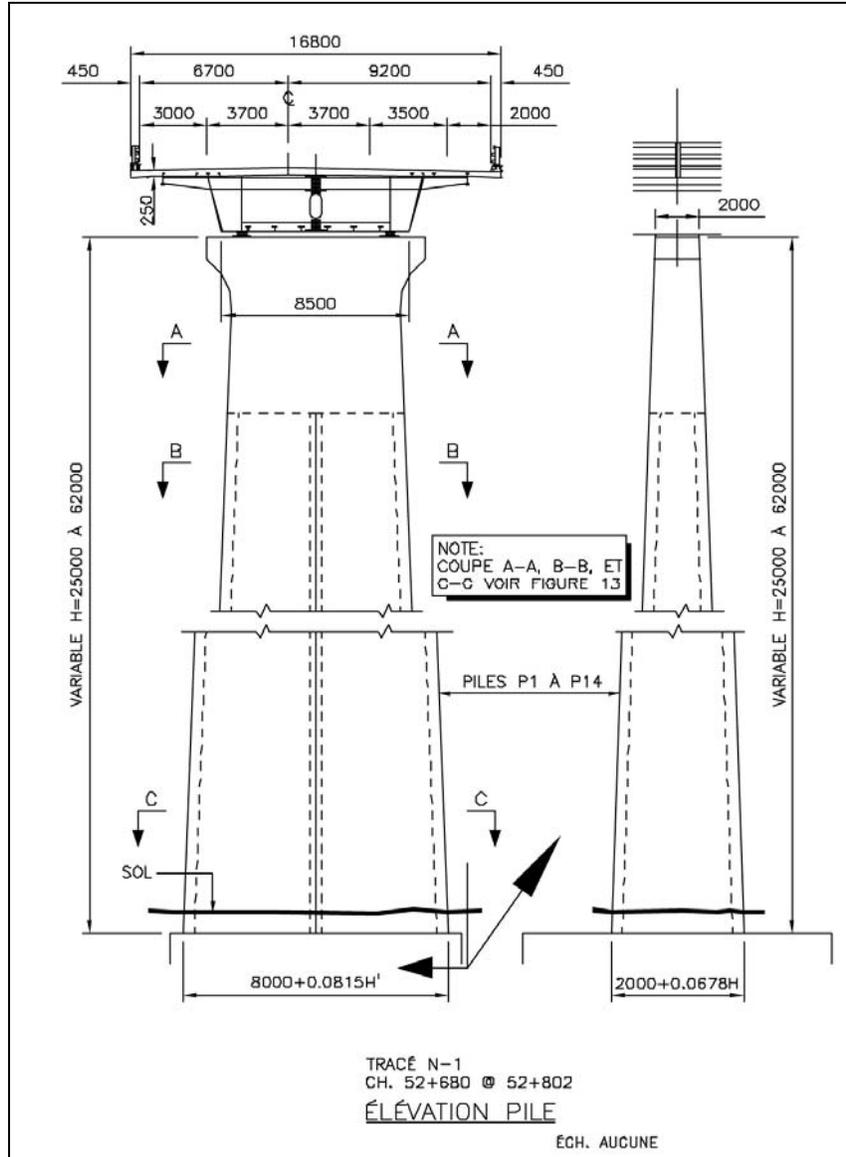
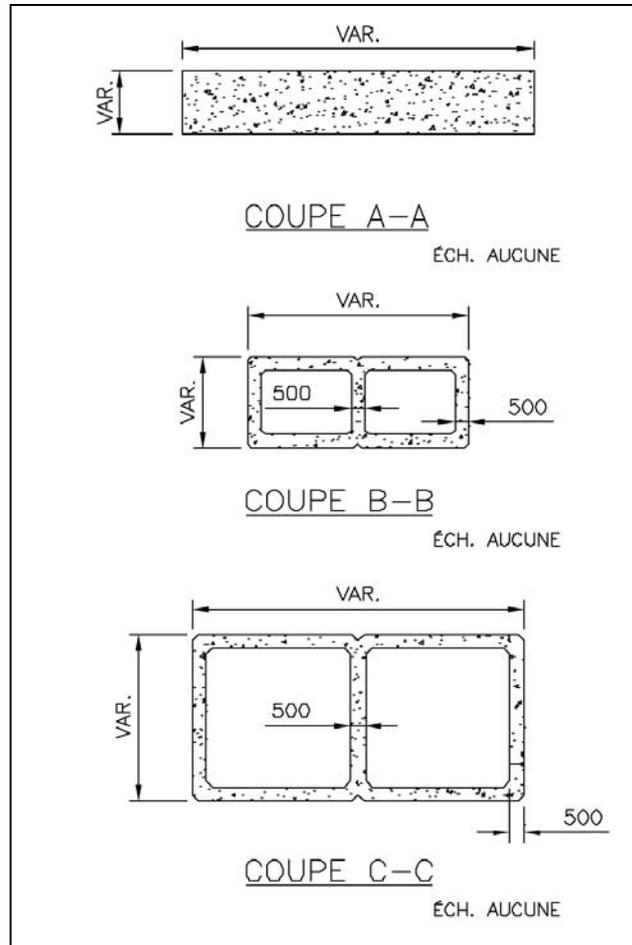


Figure 2.13 Coupes des piles

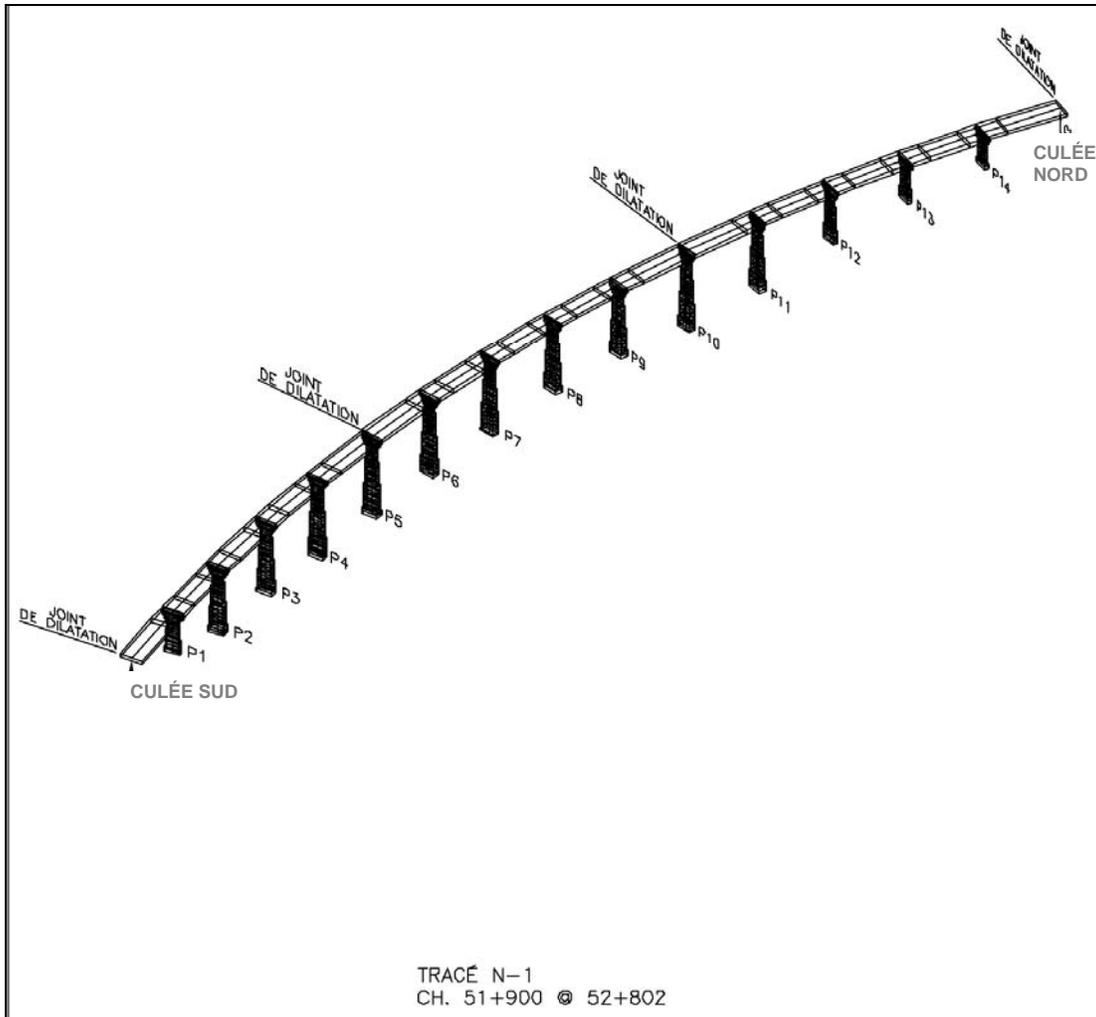


a) Description du modèle d'analyse :

Le modèle d'analyse 3D réalisé sur le logiciel Visual Design est montré à la figure 2.14. Les piles sont encastées à leur base et il est considéré que le tablier repose sur des rotules situées sur le dessus des piles. Le tablier est discontinu aux culées et aux piles P5 et P10. Le déplacement longitudinal est permis aux culées au niveau des appuis, mais il est bloqué dans le sens transversal. De chaque côté des piles P5 et P10, le tablier est rotulé.

Dans l'axe fort des piles, c'est-à-dire dans la direction transversale au pont, toutes les piles et les culées participent à reprendre les efforts sismiques.

Figure 2.14 Modèle d'analyse 3D du viaduc



Dans l'axe faible des piles, c'est-à-dire dans la direction longitudinale au pont, le tablier repose sur des appuis mobiles afin de permettre à ce dernier de se dilater sous les variations thermiques. Le tablier est retenu longitudinalement aux piles P2, P7 et P12.

Ces trois piles peuvent reprendre facilement les efforts de freinage. Lors d'un séisme, les efforts sont cependant considérables et ne peuvent être repris par seulement trois piles. Il est alors préférable que toutes les piles puissent reprendre l'effort sismique dans la direction longitudinale de la même manière qu'elles le font dans la direction transversale.

Il est possible de faire participer toutes les piles en utilisant des transmetteurs de chocs sismiques (TCS). L'utilisation de TCS permet d'augmenter la résistance

sismique de la structure en faisant participer les piles avec appuis mobiles à leur sommet. Les TCS sont installés parallèlement aux appuis mobiles et opposent une faible résistance aux mouvements lents, comme ceux induits par les variations thermiques. Pour des mouvements rapides, comme ceux pouvant être engendrés par un séisme, ils se comportent comme des appuis fixes, contribuant ainsi à distribuer les efforts à toutes les piles.

Dans le sens transversal, toutes les unités de fondation (culées et piles) participent ainsi à reprendre les efforts et, dans le sens longitudinal, seules les piles reprennent les efforts sismiques.

b) Résultats :

- Analyse conventionnelle avec TCS :

Les résultats présentés pour l'analyse conventionnelle sont pour un coefficient de ductilité $R = 3.0$. Dans la direction longitudinale, l'effort total à reprendre représente 15 % de la masse totale et, dans la direction transversale, il représente près de 19 % de la masse totale.

Les piles reprennent dans la direction longitudinale entre 5,3 % et 12,7 % de l'effort tranchant total. Dans la direction transversale, les piles reprennent entre 4,5 % et 8,1 % de l'effort tranchant.

Les efforts de cisaillement dans les piles sont similaires dans les deux directions et varient entre 1 115 kN et 2 657 kN dans la direction longitudinale, ainsi qu'entre 1 166 kN et 2 101 kN dans l'autre direction.

Les efforts de flexion à la base des piles, perpendiculairement à l'axe longitudinal du pont, varient entre 129 700 kN-m et 222 900 kN-m. Dans l'autre direction, les efforts de flexion varient entre 90 850 kN-m et 291 752 kN-m. Ces efforts de flexion sont considérables et demanderont des fondations de dimensions importantes.

Le déplacement des piles à leur sommet est de l'ordre de ± 372 mm dans le sens longitudinal pour une amplitude totale de 744 mm. Le déplacement longitudinal du tablier demandera des joints de dilatation importants aux culées. Dans le sens transversal, les déplacements des piles varient entre ± 35 mm et ± 209 mm pour une amplitude latérale totale variant entre 70 mm pour la pile la plus courte et 418 mm pour la pile la plus haute. Ces valeurs correspondent aux déplacements calculés avec un coefficient $R = 1.0$.

Les piles de type caisson à inertie variable se sont avérées être les plus efficaces, car l'effort tranchant se distribue entre les piles sans pénaliser les plus courtes et permet aussi d'avoir des déplacements horizontaux acceptables.

- Analyse avec isolateurs parasismiques confinés :

Cette section de l'étude est réalisée en collaboration avec la compagnie Z-Tech inc. Une étude parallèle à la nôtre est réalisée par la firme Z-Tech inc., pour déterminer l'impact de l'isolation parasismique sur les efforts et les déplacements.

Dans cette analyse, il est considéré que le tablier n'est isolé que dans la direction longitudinale du pont. Aussi, pour la résistance des piles dans cette direction, le coefficient de ductilité $R = 1.0$ doit être utilisé, comme spécifié par la norme CAN/CSA-S6-00 pour les ponts de catégorie « urgence ».

Avec les isolateurs parasismiques, le déplacement longitudinal du tablier est moins important. Il est de ± 231 mm aux culées pour une amplitude de 462 mm, comparativement à 744 mm sans isolateurs. Les isolateurs permettent ainsi l'utilisation de joints de dilatation de dimensions plus conventionnelles.

L'effort de flexion maximum à reprendre à la base des piles, autour de l'axe faible, est de 187 500 kN-m pour $R = 1.0$. Cette valeur est inférieure à celle obtenue avec l'analyse conventionnelle avec $R = 3.0$, ceci étant dû à la modification des périodes de vibration de la structure dans la direction isolée. Les isolateurs parasismiques contribuent donc à diminuer les sollicitations sismiques sur les piles, et ce, même avec $R = 1.0$.

Afin de vérifier si l'isolation parasismique est une solution abordable pour notre projet, les principaux paramètres affectés par cette isolation sont considérés de façon économique. Ces paramètres sont la quantité d'acier d'armature et le volume de béton des piles, les types de joints de dilatation et le coût des isolateurs parasismiques.

Il est à noter aussi que ce type d'isolateurs parasismiques devra être développé spécifiquement pour le projet du Saguenay. Aussi, il est considéré que le tablier n'est isolé que dans une seule direction, car des isolateurs bidirectionnels représentent, selon Z-Tech inc., trois fois le coût d'un isolateur unidirectionnel.

Puisque les isolateurs sismiques n'agissent que dans la direction longitudinale, les piles ne sont calculées avec $R = 1.0$ qu'autour de leur axe faible. Dans la direction transversale, soit autour de leur axe fort, le tablier n'est pas isolé et les piles sont calculées avec un facteur de ductilité $R = 3.0$.

2.1.4.3 Étude des joints de dilatation

Pour le dimensionnement des joints de dilatation, la déformation du tablier sous les variations thermiques est ajoutée au déplacement sismique du tablier, étant donné que le séisme peut survenir à n'importe quelle température. Dans ces conditions, un joint permettant un déplacement total de 895 mm serait alors requis pour une structure conventionnelle, comparativement à 610 mm pour une structure avec isolateurs parasismiques.

Pour reprendre de tels déplacements, les joints de dilatation devront être de type modulaire. Selon la norme CAN/CSA-S6-00, chaque module doit reprendre au maximum 80 mm de déformation. En considérant des modules de 80 mm, les joints requis sont les suivants :

- Structure conventionnelle : joint à 12 modules aux culées et à 4 modules aux piles P5 et P10;
- Structure isolée : joint à 9 modules aux culées et à 4 modules aux piles P5 et P10.

2.1.4.4 Étude des fondations

Selon l'article 4.4.10.4.2 de la norme CAN/CSA-S6-00, les éléments de fondation doivent être conçus en utilisant les forces de calcul élastiques ($R = 1.0$), ce qui est particulièrement sévère lorsque la charpente est conçue pour $R = 3.0$. Pour les éléments à capacité protégée, il est cependant demandé que la résistance des semelles soit supérieure aux efforts maximums pouvant se développer dans les piles, et ce, afin que les éléments sacrificiels se plastifient avant les fondations. Le calcul des fondations sera effectué selon l'article 4.4.10.4.3 de la norme et les efforts à la base des piles seront augmentés de 30 % pour $R = 3.0$.

Les deux sondages géotechniques ont révélé que le roc se situe à une profondeur de 0 et 5 mètres. Le roc est constitué d'un gneiss granitique rose de qualité variant de très mauvaise à bonne. La profondeur du roc étant variable, il est fort possible que le roc soit à des profondeurs plus importantes pour quelques piles. Certaines fondations seront directement assises sur le roc et d'autres reposeront sur des pieux. Dans la présente étude, le nombre de semelles assises directement sur le roc et le nombre de semelles sur pieux ne peuvent être déterminés. Aussi, il est considéré pour l'estimation des coûts que toutes les semelles sont sur pieux, que la longueur moyenne des pieux est de 3 mètres et que l'épaisseur des semelles est de 2 mètres.

Puisque les efforts à transmettre au roc sont considérables et varient grandement d'une pile à l'autre, deux catégories de fondations ont été étudiées dans le présent projet :

- les fondations pour les piles dont la hauteur varie entre 52 et 62 mètres (piles 2 à 11);

- les fondations pour les piles dont la hauteur varie de 26 à 42 mètres (piles 1, 12, 13 et 14).

Les efforts à reprendre sont présentés dans le tableau 2.2.

Tableau 2.2 Efforts transmis aux fondations des piles

Efforts pondérés	Fondations pour les piles 2 à 11		Fondations pour les piles 1, 12, 13 et 14	
	Sens longitudinal du pont (piles isolées avec R = 1.0)	Sens transversal du pont (piles non isolées avec R = 3.0)	Sens longitudinal du pont (piles isolées avec R = 1.0)	Sens transversal du pont (piles non isolées avec R = 3.0)
Charge axiale (kN)	31 000		21 500	
Cisaillement (kN)	5 700	8 255**	5 250	7 250**
Moment (kN-m)*	187 500	379 600**	172 500	191 750**

* Effort transmis au niveau du dessus de la semelle considéré à 600 mm sous le niveau du sol fini.

** Ces valeurs ont été pondérées de 30 % pour les éléments à capacité protégée avec R = 3.0.

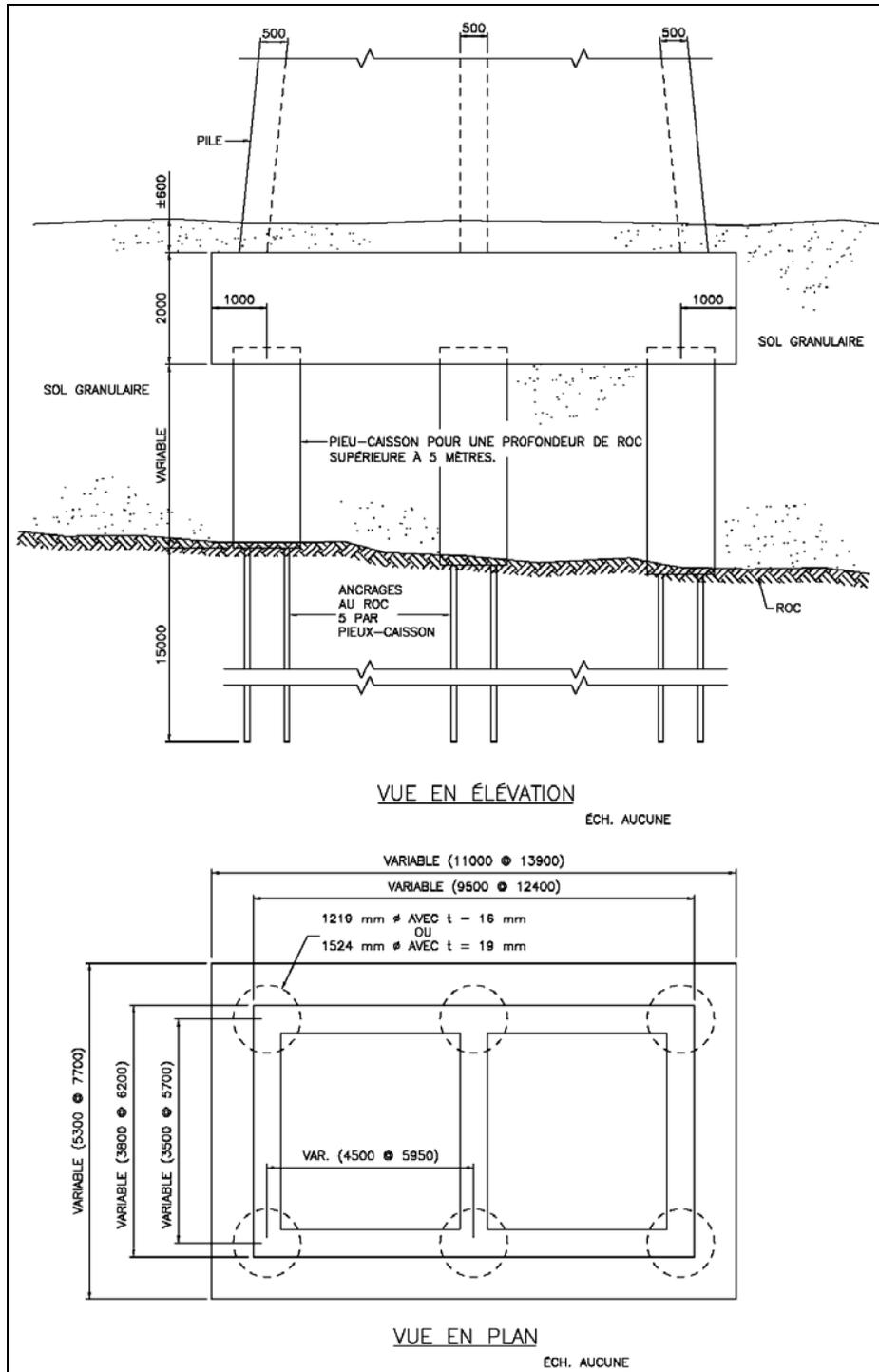
Les efforts de flexion, développés à la base des piles, entraînent des efforts de compression et de traction très importants à transmettre au roc. L'utilisation de pieux standards en acier de 300 mm de diamètre, pouvant reprendre 1 200 kN de compression, nécessiterait une semelle aux dimensions démesurées (environ 30 m x 15 m) et l'utilisation de plus de 150 pieux sous chaque semelle. Afin de diminuer la dimension des semelles et le nombre de pieux à enfoncer, l'utilisation de pieux caissons de 1 220 mm et de 1 520 mm de diamètre est préconisée. Ces pieux doivent aussi être ancrés au roc afin de reprendre les efforts de traction. De par leur dimension, ils peuvent reprendre d'importants efforts de compression, de traction, de flexion et de cisaillement. Ce concept demande 6 pieux caissons par pile.

a) Concept préliminaire des fondations pour les piles 2 à 11 :

Les dimensions préliminaires des semelles sont de 7,7 mètres de largeur, 13,9 mètres de longueur et 2 mètres d'épaisseur. Les semelles reposent sur 6 pieux caissons de 1 524 mm de diamètre et 19 mm d'épaisseur remplis de béton et centrés sur chacune des sections de béton constituant les piles, comme montré à la figure 2.15.

La nature du roc permet difficilement d'encastrer le pieu dans le roc sur son plein diamètre afin de lui permettre de reprendre les efforts de traction. Le gneiss granitique rose est un roc difficile à forer et l'encastrement du caisson de 1 524 mm de diamètre sur une profondeur suffisante exigerait des coûts de forage importants.

Figure 2.15 Fondations des piles du viaduc



L'ancrage du pieu caisson au roc est assuré par 5 forages de 203 mm de diamètre par 15 mètres de profondeur. Cinq barres d'armature 55M par forage injectées au coulis de ciment assurent l'ancrage du pieu caisson au roc. Les efforts à l'ÉLUL repris par les pieux caissons et les ancrages au roc varient de 13 000 kN en traction à 28 000 kN en compression, ce qui représente une contrainte de compression d'environ 15 MPa au niveau du roc. Elle est en deçà des capacités indiquées dans l'étude géotechnique.

b) Concept préliminaire des fondations pour les piles 1, 12, 13 et 14 :

Les dimensions préliminaires des semelles de ces fondations sont de 5,7 mètres de largeur, 11,5 mètres de longueur et de 2 mètres d'épaisseur. Les semelles reposent sur 6 pieux caissons de 1 220 mm de diamètre et 16 mm d'épaisseur centrés sur chacune des sections de béton constituant les piles, comme montré à la figure 2.15.

L'ancrage du pieu caisson au roc sera effectué comme il est expliqué précédemment. Les efforts à l'ÉLUL repris par les pieux caissons et les ancrages au roc varient de 15 000 kN en traction à 25 000 kN en compression, ce qui représente une contrainte de compression d'environ 21 MPa au niveau du roc.

c) Culées :

Les culées pour ce projet sont des culées typiques. Il est considéré que les culées reposent sur des pieux tubulaires en acier de 300 mm de diamètre et de 10 mm d'épaisseur. La culée « ouest » fait les dimensions approximatives suivantes : un fût de 17 mètres de longueur, 10 mètres de hauteur et 1,2 mètre d'épaisseur et une semelle de 7 mètres de largeur par 1,5 mètre d'épaisseur. La culée « est » fait les dimensions approximatives suivantes : un fût de 15 mètres de longueur, 10 mètres de hauteur et 1,2 mètre d'épaisseur et une semelle de 7 mètres de largeur par 1,5 mètre d'épaisseur.

d) Coût des fondations :

Ces coûts sont estimés en considérant des pieux caissons d'une longueur moyenne de 3 mètres pour toutes les piles. Une étude géotechnique plus complète, effectuée sous chacune des piles, permettrait de déterminer les piles qui reposeront directement sur le roc sans l'intermédiaire des pieux et celles qui reposeront sur des pieux caissons, ainsi que la longueur exacte des pieux caissons. Dans l'estimation actuelle, la longueur totale considérée des pieux caissons est de 250 mètres.

2.1.4.5 Comparaison des alternatives étudiées

Le tableau 2.3 présente un résumé des avantages et désavantages des alternatives étudiées à ce stade de l'étude.

Tableau 2.3 Avantages et inconvénients des différentes solutions étudiées

	Avantages	Inconvénients
Piles isolées (R = 1.0)	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des déplacements et des efforts longitudinaux • Joints de dilatation moins imposants • Développement de la technologie pour les projets de grande envergure 	<ul style="list-style-type: none"> • Plus d'équipements à entretenir (lubrification)
Piles non isolées (R = 3.0)	<ul style="list-style-type: none"> • Comportement sismique prévisible 	<ul style="list-style-type: none"> • Déplacements latéraux très importants • Utilisation de joints de dilatation à plusieurs modules • Détails de l'acier d'armature complexes pour assurer la ductilité

L'évaluation préliminaire des coûts de construction pour chaque alternative est présentée au tableau 2.4. À noter que les montants présentés au tableau incluent une pondération de 15 % pour l'éloignement. Un pourcentage pour les contingences, les frais d'administration et le profit de l'entrepreneur de 15 % est appliqué au coût de chaque item à cette étape de l'étude.

Tableau 2.4 Comparaison des coûts des fondations du viaduc

Éléments de la structure considérés	Fondations conventionnelles R=3.0 avec TCS	Fondations isolées R=1.0 avec isolateurs
TCS	1 760 000 \$	0 \$
Appareils d'appui	418 000 \$	1 190 000 \$
Joints de dilatation	473 000 \$	371 000 \$
Piles (béton et acier d'armature)	13 242 000 \$	12 859 000 \$
Fondations des piles (béton, armature, ancrage et pieu)	6 343 000 \$	6 065 000 \$
Culées incluant semelle (béton, acier d'armature et pieu)	757 000 \$	757 000 \$
Excavation et remblayage	400 000 \$	400 000 \$
Total des coûts de construction	23 393 000 \$	21 642 000 \$
Prix des unités d'appui au m²	1 772 \$	1 639 \$

Ces coûts comprennent uniquement les éléments de fondation de la structure. Les coûts du tablier sont présentés au tableau 2.1.

On constate que les coûts des fondations conventionnelles sont supérieurs à ceux des fondations isolées. Cela s'explique surtout par le fait que les fondations conventionnelles nécessitent des TCS très dispendieux et des joints de dilatation plus importants, donc plus coûteux.

2.1.5 **Recommandations et résumé des coûts de construction pour le viaduc du tracé N-1**

Il y a huit possibilités afin de réaliser le viaduc, soit quatre alternatives de tablier combinées avec deux solutions au niveau des fondations. Les avantages, les inconvénients et les coûts de ces différentes solutions sont présentés aux sections précédentes.

Il est recommandé l'utilisation de l'alternative 3 pour le tablier combinée avec des fondations isolées.

L'alternative 3 pour le tablier consiste en un caisson unique en acier avec poutres transversales espacées aux 4 mètres. C'est la solution la moins dispendieuse au niveau du tablier, laquelle apparaît comme la plus esthétique étant donné que l'ouvrage sera très visible. Il est à noter aussi que le *Storrow Drive Connector Bridge* construit à Boston, sur lequel le design de l'alternative 3 s'appuie, a reçu un prix avec la mention suivante : *Simple structure lines complimented adjacent structures and area* : Les lignes simples de la structure mettent en valeur les structures adjacentes et la région.

Le choix des fondations isolées se base sur une économie non négligeable de 1 751 000 \$ par rapport à des fondations conventionnelles avec transmetteurs de chocs sismiques.

Le tableau 2.5 ci-après résume les coûts de construction totaux de la solution recommandée. Les coûts présentés sont pondérés de 15 % pour tenir compte de l'éloignement du site des travaux et une majoration de 5 % est appliquée sur la charpente d'acier afin de tenir compte de la courbure horizontale du viaduc. De plus, un pourcentage de 15% est ajouté au coût de chaque item pour prendre en considération les contingences, les frais d'administration et le profit de l'entrepreneur.

Tableau 2.5 Coûts de construction du viaduc sur le tracé N-1

Élément de la structure	Quantité	Unité	Prix unitaire	Coûts de construction
Organisation de chantier	1	global	4 290 000,00 \$	4 290 000,00 \$
Charpente métallique	3 286 136	kg	4,40 \$	14 459 000,00 \$
Béton de tablier	3 306	m ³	800,00 \$	2 645 000,00 \$
Armature de tablier	652 000	kg	2,50 \$	1 630 000,00 \$
Membrane d'étanchéité	12 405	m ²	37,00 \$	459 000,00 \$
Pavage	2 143	tonne	112,00 \$	240 000,00 \$
Béton des chasse-roues	677	m ³	750,00 \$	508 000,00 \$
Glissières	1 806	m	165,00 \$	298 000,00 \$
Drains	32	unité	1 250,00 \$	40 000,00 \$
Appareils d'appui (isolateurs sismiques)	32	unité	37 190,00 \$	1 190 000,00 \$
Joints de dilatation	60	m	6 185,00 \$	371 000,00 \$
Béton des piles	12 859	m ³	750,00 \$	9 644 250,00 \$
Armature des piles	1 607 375	kg	2,00 \$	3 214 750,00 \$
Béton des semelles des piles	2 665	m ³	400,00 \$	1 066 000,00 \$
Armature des semelles des piles	399 500	kg	2,00 \$	799 000,00 \$
Pieux caissons et ancrages au roc	84	unité	50 000,00 \$	4 200 000,00 \$
Béton des culées	384	m ³	555,00 \$	213 000,00 \$
Armature des culées	57 625	kg	2,00 \$	115 250,00 \$
Béton des semelles des culées	339	m ³	555,00 \$	188 000,00 \$
Armature des semelles des culées	42 500	kg	2,00 \$	85 000,00 \$
Pieux des culées	70	unité	2 225,00 \$	155 750,00 \$
Excavation et remblayage	8 000	m ³	50,00 \$	400 000,00 \$
Éclairage et caméra*	1	global	983 000,00 \$	983 000,00 \$
Total des coûts de construction				47 194 000,00 \$
Prix du pont par m²				3 575,00 \$

* La ventilation de ces coûts est détaillée dans la section 6 du présent rapport : Systèmes d'éclairage et urgences.

La solution retenue pour deux voies coûte 47 194 000 \$, soit 3 575 \$/m² de tablier. Ces coûts sont obtenus, à l'exception des isolateurs sismiques, en utilisant la liste des prix suggérés de conception et d'entretien du MTQ.

2.1.6 Pont situé au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine sur le tracé S-1

Le pont est situé au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine entre les chaînages 47+026 et 47+118. Afin d'éviter de situer la pile dans le ruisseau, le pont comporte une travée de 60 mètres et une autre de 32 mètres pour une longueur totale de 92 mètres. Sa largeur est de 14 300 mm. Trois unités d'appui supporteront le tablier, soit deux culées d'une hauteur de 10 mètres et une pile d'une hauteur de 20 mètres. Le pont présente une courbure horizontale de 950 mètres de rayon et a une pente longitudinale de 0,7 %.

Les figures 2.16 et 2.17 présentent une vue en élévation du pont ainsi qu'une coupe de la pile et du tablier.

Figure 2.16 Pont au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine

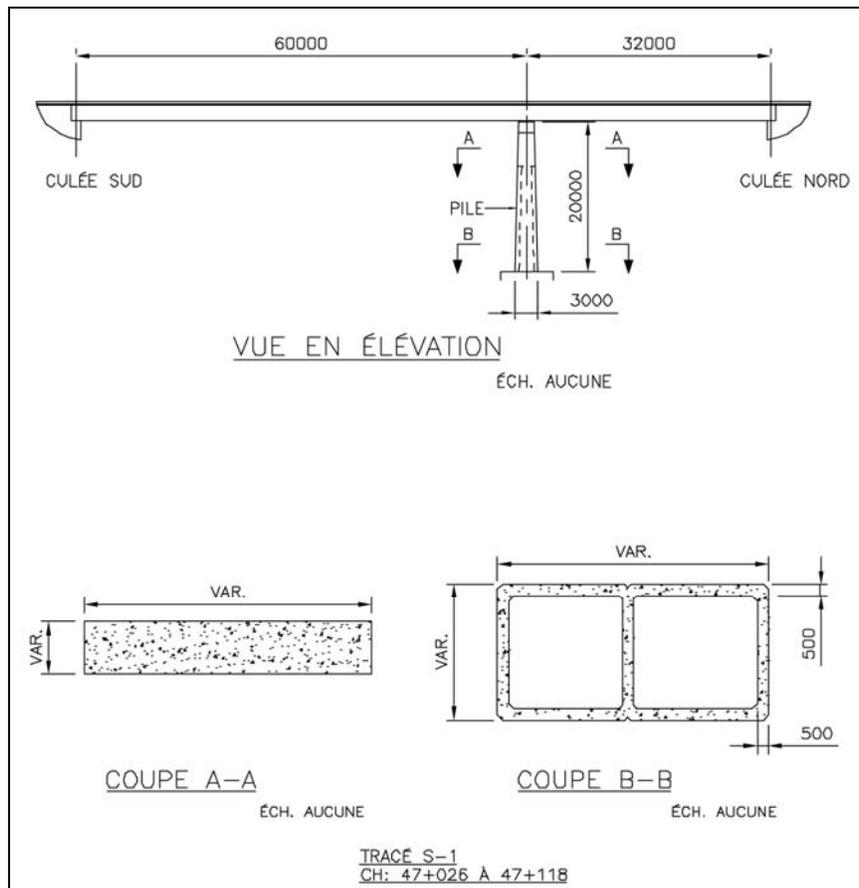
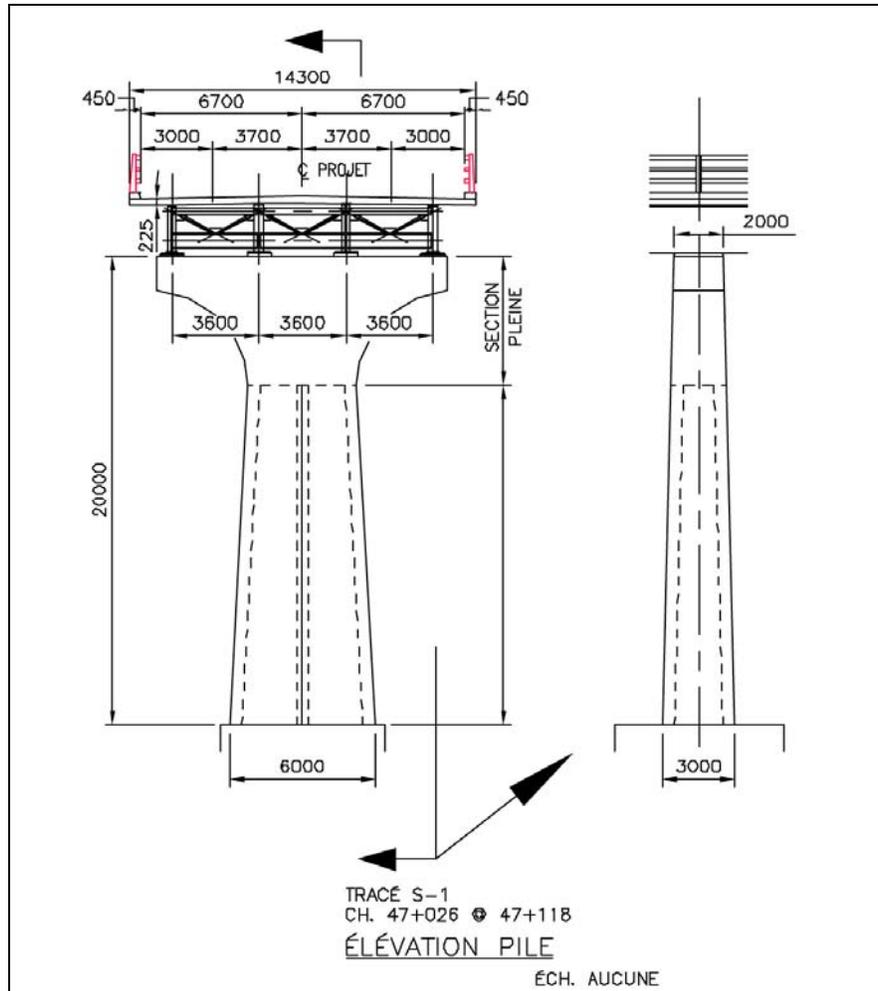


Figure 2.17 Piles à inertie variable – Pont au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine



2.1.6.1 Étude du tablier

Étant donné que le pont est relativement peu élevé et qu'il ne sera pas très visible, l'aspect esthétique n'est pas pris en considération. Aussi, la solution privilégiée est un tablier constitué d'une dalle en béton armé reposant sur des poutres en acier continues à action composite. Ce type de tablier est couramment utilisé pour ce genre de pont.

Les quatre poutres d'acier ont 2 400 mm de hauteur et sont espacées de 3 600 mm centre à centre.

2.1.6.2 Analyse sismique

a) Paramètres de l'analyse :

L'analyse sismique du pont est réalisée à l'aide de la méthode spectrale multimodale sur le logiciel Visual Design. Les données du site sont les mêmes que celles utilisées lors de l'étude du viaduc sur le tracé S-1, soit :

- Rapport d'accélération de la zone A : 0.4
- Coefficient de priorité I = 1.5
- Coefficient de site S = 1.0 (fondations sur sol granulaire)
- Coefficient de ductilité R = 3.0

Il est considéré que les efforts sismiques longitudinaux sont repris uniquement par la pile et que les efforts sismiques transversaux sont repris par la pile et les deux culées. De cette façon, la structure ne nécessite aucun transmetteur de chocs sismiques, mais requiert la présence de joints de dilatation à chaque culée.

La pile est à inertie variable, comme présenté sur la figure 2.17. La pile est évidée afin de minimiser les quantités de béton et de réduire le poids total de la structure. La pile est encastrée à la base et le tablier repose sur des rotules situées sur le dessus de la pile. Le tablier est continu sur toute la longueur du pont.

b) Résultats :

L'analyse spectrale multimodale est réalisée sur Visual Design avec un coefficient de ductilité R = 3.0.

La masse totale de la structure est de 11 095 kN. Dans le sens longitudinal, l'effort sismique représente ainsi 24,4 % de la masse totale et est entièrement repris par la pile. Dans le sens transversal, l'effort sismique représente 35,7 % de la masse totale. L'effort sismique transversal est repris à 39 % par la pile, alors que les culées reprennent respectivement 29 % et 32 % de l'effort.

Au niveau des déplacements, le tablier se déplace de ± 112 mm dans le sens longitudinal aux culées et de ± 15 mm dans le sens transversal, au centre du pont. En ajoutant les déplacements longitudinaux thermiques, qui sont d'environ 50 mm à une culée et d'environ 25 mm à l'autre, on obtient des joints de dilatation à trois garnitures à chaque culée.

2.1.6.3 Étude des fondations

Les piles étant conçues avec un coefficient de ductilité $R = 3.0$, les efforts à la base des piles sont augmentés de 30 % afin de protéger les éléments de fondation. Cette augmentation doit être réalisée dans les deux directions étudiées : longitudinale et transversale.

Le sondage géotechnique réalisé au niveau de la pile du pont au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine a révélé que le sol est de nature granulaire, de compacité moyenne à très dense. Le forage a été réalisé sur une profondeur de 22 mètres sans atteindre le roc. Le rapport géotechnique préliminaire suggère l'utilisation de pieux tubulaires en acier forcés à bout fermé.

Bien que la pile ait une hauteur relativement faible de 20 mètres, les efforts à transmettre au sol sont importants et sont présentés dans le tableau 2.6.

Tableau 2.6 Efforts transmis à la fondation de la pile

Efforts pondérés	Sens longitudinal du pont (piles non isolées avec $R = 3.0$)	Sens transversal du pont (piles non isolées avec $R = 3.0$)
Charge axiale (kN)	11 100	
Cisaillement (kN)	3 525**	2 005**
Moment (kN-m)*	72 115**	34 270**

* Effort transmis au niveau du dessus de la semelle considéré à 600 mm sous le niveau du sol fini.

** Ces valeurs ont été pondérées de 30 % pour les éléments à capacité protégée avec $R = 3.0$.

a) Fondation de la pile :

Les dimensions préliminaires de la semelle sont de 6 mètres de largeur, 11 mètres de longueur et 2 mètres d'épaisseur. La semelle repose sur 66 pieux de 300 mm de diamètre et 10 mm d'épaisseur espacés à 1 000 mm centre à centre dans les deux directions, comme montré à la figure 2.18.

Étant donné que le roc n'a pas été atteint, il est considéré pour cette étude que les pieux travailleront en pointe et en friction pour les efforts de compression et en friction pour les efforts de traction. Le calcul des pieux avec les efforts donnés au tableau 2.6 démontre que les pieux périphériques seront sollicités à l'ÉLUL entre 1 200 kN en compression et 950 kN en traction. Les efforts de traction sont importants et représentent 80 % de l'effort en compression et il peut s'avérer difficile de reprendre une telle valeur par friction dans un sol de nature granulaire. Aussi, il est proposé d'utiliser des ancrages de type « Dywidag » ancrés en profondeur au remblai par l'injection d'un coulis de ciment sous pression.

Afin de résister à la poussée latérale, 38 des 66 pieux sont inclinés avec une pente de 1 horizontal dans 3 vertical. Pour les pieux périphériques, des barres de type « Dywidag » de 57 mm de diamètre ancrées au remblai à l'aide de coulis cimentaire injecté sont utilisées afin d'assurer la reprise des efforts de traction. Pour les pieux intérieurs moins sollicités en traction, l'ancrage utilisé est le même que pour les pieux périphériques, sauf que la barre utilisée a un diamètre de 43 mm. Ce type d'ancrage est coûteux, puisqu'il faut ancrer les barres très profondément et l'injection sous pression dans le remblai est plus difficile que l'injection dans le roc.

Lors de la préparation des plans et devis, des sondages supplémentaires plus profonds seront requis afin de s'assurer de la présence ou non du roc.

b) Fondation des culées :

Pour ce projet, il est considéré que les culées reposent sur des pieux tubulaires en acier de 300 mm de diamètre et de 10 mm d'épaisseur. Les culées « est » et « ouest » font les dimensions approximatives suivantes : 15 mètres de longueur, 10 mètres de hauteur avec un fût de 1,2 mètre d'épaisseur et une semelle de 7 mètres de largeur par 1,5 mètre d'épaisseur.

c) Coût de la fondation :

Ce coût est estimé en considérant des culées sur pieux.

2.1.6.4 Analyse des coûts

Le tableau 2.7 présente les coûts des différents éléments de la structure du pont. Ces coûts incluent une majoration de 15 % afin de tenir compte de l'éloignement du site des travaux et une majoration de 8 % est appliquée sur la charpente d'acier afin de tenir compte de la courbure horizontale du pont. De plus, un pourcentage de 15% est ajouté au coût de chaque item pour prendre en considération les contingences, les frais d'administration et le profit de l'entrepreneur.

Tableau 2.7 Coûts de construction du pont sur le tracé S-1

Élément de la structure	Quantité	Unité	Prix unitaire	Coûts de construction
Organisation de chantier	1	global	354 000,00 \$	354 000,00 \$
Charpente métallique	335 682	kg	4,40 \$	1 477 000,00 \$
Béton de tablier	294	m ³	800,00 \$	235 000,00 \$
Armature de tablier	65 200	kg	2,50 \$	163 000,00 \$
Membrane d'étanchéité	1 243	m ²	37,00 \$	46 000,00 \$
Pavage	205	tonne	112,00 \$	23 000,00 \$
Béton des chasse-roues	27	m ³	750,00 \$	20 000,00 \$
Glissières	184	m	332,00 \$	61 000,00 \$
Drains	26	unité	500,00 \$	13 000,00 \$
Appareils d'appui (isolateurs sismiques)	30 588	kN	1,70 \$	52 000,00 \$
Joints de dilatation	29	m	4 550,00 \$	132 000,00 \$
Béton de la pile	260	m ³	750,00 \$	195 000,00 \$
Armature de la pile	25 000	kg	2,00 \$	50 000,00 \$
Béton de la semelle de la pile	132	m ³	400,00 \$	52 800,00 \$
Armature de la semelle de la pile	17 200	kg	2,00 \$	34 400,00 \$
Pieux et ancrages au remblai	66	unité	8 300,00 \$	547 800,00 \$
Béton des culées	360	m ³	555,00 \$	199 800,00 \$
Armature des culées	54 000	kg	2,00 \$	108 000,00 \$
Béton des semelles des culées	315	m ³	555,00 \$	174 825,00 \$
Armature des semelles des culées	40 188	kg	2,00 \$	80 375,00 \$
Pieux des culées	60	unité	2 000,00 \$	120 000,00 \$
Excavation et remblayage	1 620	m ³	50,00 \$	81 000,00 \$
Total des coûts de construction				4 220 000,00 \$
Prix du pont par m²				3 208,00 \$

Les coûts totaux de construction sont de 4 220 000 \$ ou 3 208 \$/m² de tablier. Ces coûts sont obtenus, pour la plupart des éléments, en utilisant la liste des prix suggérés de conception et d'entretien du MTQ.

2.1.7 Conclusion

2.1.7.1 Conclusion sur le viaduc du tracé N-1

Ce rapport présente l'analyse du viaduc courbe du tracé N-1. L'étude respecte le chapitre 4 de la norme CAN/CSA-S6-00.

Étant donné l'importance de cet ouvrage et l'impact visuel qu'il aura, quatre solutions de tablier sont étudiées :

- l'alternative 1 consiste en quatre poutres en acier;
- l'alternative 2 consiste en deux caissons en acier;
- l'alternative 3 consiste en un caisson unique en acier combiné à une série de poutres transversales espacées aux 4 mètres;
- l'alternative 4 est constituée d'un caisson unique en acier combiné avec des longerons et des poutres transversales espacées aux 10 mètres.

L'alternative 3 représente la solution la plus économique. Le caisson unique de l'alternative 3 est une structure moins conventionnelle, mais présente un avantage certain au niveau de l'esthétique. Au niveau des ouvrages d'art en hauteur, il est courant de voir en Europe des viaducs structurés avec un caisson unique.

Pour l'analyse sismique, deux alternatives sont étudiées. La première est une structure conventionnelle dans les deux directions avec un facteur de ductilité $R = 3.0$. La deuxième solution consiste à isoler le tablier des piles dans la direction longitudinale avec des isolateurs parasismiques. Dans la direction transversale du pont, la structure n'est pas isolée et un facteur de ductilité $R = 3.0$ est alors considéré.

Pour la structure conventionnelle, l'analyse sismique est réalisée avec la méthode spectrale multimodale en utilisant le logiciel Visual Design. Les 14 piles en béton armé sont mises à contribution dans la direction longitudinale par l'utilisation de transmetteurs de chocs sismiques. Ces transmetteurs permettent au tablier de se dilater sous les variations thermiques, mais sollicitent les piles lorsqu'elles sont soumises à des déplacements rapides engendrés par un séisme. Avec les transmetteurs sismiques, les piles participent donc à reprendre les efforts sismiques autant dans la direction longitudinale que dans la direction transversale.

Les piles de type caisson en béton armé à géométrie variable se sont avérées les plus efficaces pour limiter les déplacements horizontaux et pour redistribuer les efforts sismiques entre les unités de fondation.

Les amplitudes des déplacements sismiques obtenus pour une structure non isolée sont relativement importantes et atteignent près de 744 mm dans le sens longitudinal du viaduc (axe faible des piles) et près de 418 mm dans le sens

transversal (axe fort des piles). Combinés aux dilatations thermiques, des joints à modules seront requis aux culées (joints à 12 modules) et aux piles P5 et P10 (joints à 4 modules) afin que le tablier ne vienne pas frapper les culées.

La solution avec isolateurs parasismiques unidirectionnels réduit considérablement l'amplitude sismique longitudinale et permet l'utilisation de joints de dilatation plus standards. Cette amplitude est de 462 mm, soit 282 mm de moins que celle obtenue avec une structure conventionnelle, et permet des joints à 9 modules aux culées et à 4 modules aux piles P5 et P10.

À chaque pile, les efforts sont transmis au sol par 6 pieux caissons foncés et ancrés au roc lorsque la profondeur du roc est supérieure à 5 mètres. Pour une profondeur inférieure à 5 mètres, la semelle reposera directement sur le roc et sera ancrée à ce dernier.

Selon les hypothèses posées, les coûts de construction du viaduc du tracé N-1 sont évalués à 47 194 000 \$. Le nombre et la hauteur importante des piles, de même que la longueur relativement importante des travées font en sorte que le coût au mètre carré de ce viaduc est particulièrement élevé et se situe à environ 3 575 \$.

Des facteurs de majoration des coûts de 5 % sont appliqués sur la charpente d'acier afin de tenir compte de la courbure horizontale du viaduc. De plus, un facteur de 15 % est appliqué comme facteur d'éloignement.

Pour l'élargissement futur à quatre voies, les coûts sont présentés à la section 8.

2.1.7.2 Conclusion sur le pont au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine situé sur le tracé S-1

Le tablier de 14 300 mm de largeur est constitué d'une dalle en béton armé de 225 mm d'épaisseur, reposant sur quatre poutres d'acier de 2 400 mm de hauteur espacées de 3 600 mm centre à centre.

La pile est à inertie variable et ses dimensions à la base de la pile font 3,0 mètres de longueur par 6,0 mètres de largeur.

Au niveau sismique, les critères de la région de Tadoussac sont utilisés et on considère un coefficient de ductilité $R = 3.0$. La pile reprend les efforts longitudinaux et transversaux, alors que les culées reprennent uniquement les efforts transversaux. Les efforts induits dans la pile sont transmis au sol par 66 pieux en acier battus dans le sol granulaire, travaillant en pointe et en friction pour les efforts de compression et ancrés en profondeur au remblai pour les efforts de traction.

Les coûts totaux de construction sont de 4 220 000 \$, soit 3 208 \$/m² de tablier.

Pour l'élargissement futur à quatre voies, les coûts sont présentés à la section 8.

3. GÉNIE ROUTIER

3.1 Critères de conception

Les critères de conception utilisés pour les études de la route sont décrits dans le tableau 3.1 suivant. Les sections-types du MTQ, Tome I, chapitre 5, numéro 002 en remblais et en déblais sont utilisées.

Tableau 3.1 Critères de conception

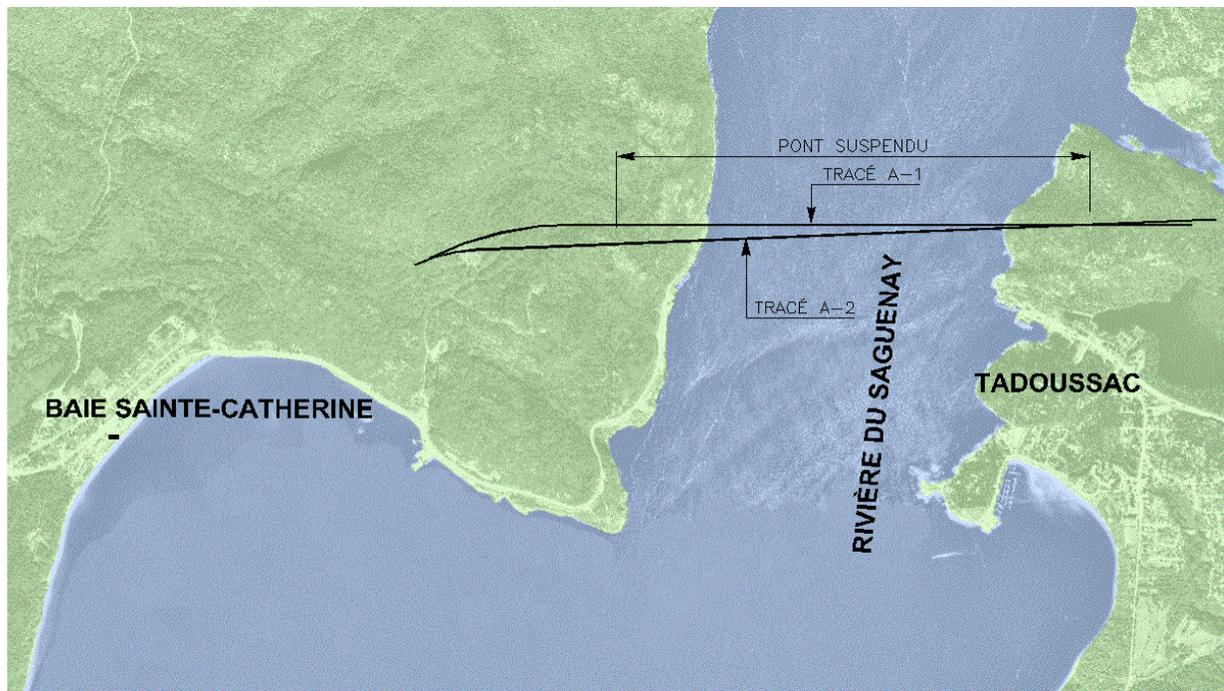
Critère	Description
Vitesse affichée	90 km/h.
Vitesse de base	100 km/h.
Emprise nominale	45 mètres
Largeur des voies	3,700 mètres
Largeur des accotements	3,000 mètres
Rayon minimal	450 mètres
Dévers	6%
Profil en long	souhaitable, 4% maximale, 7%
Talus en remblai	1 V : 2 H
Talus en déblai	Mort-terrain : 1 V : 2 H Roc : H < 6m. : 10 V : 1 H (autre roc) Roc : 6m. < H < 12m. : 10 V : 1 H (pentes de prédécoupage : étude géologique) Roc : H > 12m. : 10 V : 1 H avec paliers (pentes de prédécoupage : étude géologique)
Voie auxiliaire	Largeur de voie : 3,500 mètres Largeur des accotements : 2,000 mètres
Visibilité à l'arrêt	profil en long : courbe saillante (convexe) : K = 74 , S = 200 mètres courbe rentrante (concave) : K = 49 , S = 200 mètres longueur minimale de la courbe verticale : 100 mètres
Visibilité d'anticipation	en plan : S = 200 mètres
Visibilité de dépassement	distance minimale : D = 480 mètres

3.2 Étude des scénarios

En premier lieu, il faut mentionner que les scénarios étudiés découlent de l'alignement identifié dans le rapport de l'Étude d'opportunité en 1999 qui recommandait le tracé P-4.

Dans ce tracé, le tablier du pont était à l'élévation 90 avec une pente 0 %, ce qui impliquait un tunnel de 1 200 mètres sur la rive droite. Afin de réduire le coût du projet et les différentes problématiques qu'un tunnel impliquait, tels transport de matières dangereuses, ventilation, etc., deux variantes du P-4 sont étudiées, soit un alignement un peu plus à l'est de la montagne au sud du pont suspendu et un autre un peu plus à l'ouest afin d'éviter le tunnel, ce qui a donné A-1 et A-2 comme scénarios d'étude ; dans ces deux cas, le niveau du tablier est relevé à l'élévation 110, toujours avec une pente de 0%. Ces deux scénarios sont montrés à la figure 3.1.

Figure 3.1 Scénarios d'étude A-1 et A-2



Le 25 mars 2003, lors d'une réunion technique interne, les deux profils et alignements sont analysés. Le scénario A-1 semblait le plus intéressant mais comportait quand même, à la sortie du pont direction sud, une coupe de roc d'une hauteur maximale de plus de 25 mètres, sur environ 200 mètres, de même qu'un remblai d'environ 40 mètres plus au sud. Même si le tunnel est maintenant éliminé, différentes alternatives sont étudiées, afin de réduire l'importance de cette coupe et de ce remblai.

Après consultation entre les experts en pont, il est proposé de donner une pente montante vers le sud au pont; cette pente de 1.6% permettait de réduire légèrement la hauteur maximale de la coupe de roc mais réduisait considérablement la hauteur du remblai à environ 10 mètres. C'est donc le tracé qui est retenu pour les études des options de tracé.

Tel que requis dans les termes de référence de l'étude d'impact, trois options de tracé et profil sont étudiées à l'intérieur du corridor déjà établi, soit, S-1, S-2, S-3, N-1, N-2 et N-3.

Les différents scénarios étudiés ont été choisis afin de représenter des tracés de caractéristiques différentes, longueur, type de terrain traversé, proximité des agglomérations, etc.

Il faut souligner que les études de ces six scénarios ont été réalisées de manière interactive avec les études du pont.

En effet, suite à la visite tant de nos experts en structure effectuée le 25 mars 2003 que la visite des géologues sur le terrain en octobre 2003, une faille sur la rive droite a été décelée; son importance et sa localisation a alors obligé à étudier un alignement qui l'éviterait. Le nouvel alignement qui évite la faille se trouvait environ 55 mètres plus à l'est et 10 mètres plus au sud.

Avec ce nouvel alignement, 4 nouvelles variantes de l'alignement du pont ont été élaborées, toujours dans le but d'éviter la construction d'un tunnel. Différentes solutions sont alors regardées, afin de raccorder ce nouvel alignement du pont avec le tronçon routier au sud, qui a déjà été optimisé.

Les 4 alternatives, dont les figures 3.2 à 3.6 se trouvent à la fin de cette section, peuvent se résumer ainsi :

➤ **ALTERNATIVE # 1**

Alignement droit, pente de 1,7 %

Coupe de roc : 26 m.

Remblai : 15 m.

Hauteur de culée (rive droite) : 10 m.

- **ALTERNATIVE # 2**
Alignement en courbe à la sortie du pont, pente de 1,7 %
Coupe de roc : 5 m.
Remblai : 15 m.
Hauteur de culée (rive droite) : 7 m.

- **ALTERNATIVE # 3**
Alignement droit, **pente de 2,1 %**
Coupe de roc : 16 m.
Remblai : 25 m.
Hauteur de culée (rive droite) : 19 m.

- **ALTERNATIVE # 4**
Alignement droit à la sortie du pont, **pente de 2,1 %, pont relevé de 5 m.**
Coupe de roc : 10 m.
Remblai : 30 m.
Hauteur de culée (rive droite) : 24 m.

L'alternative # 2 est écartée à cause de la courbe à la sortie du pont.

Dans l'alternative # 3, la coupe dans le roc est réduite, mais pas suffisamment pour éviter le tunnel.

Dans l'alternative # 4, le pont est relevé de 5 mètres, la pente du pont est portée à 2,1 % du nord au sud, ce qui réduit la coupe dans le roc à 10 mètres, évitant ainsi le tunnel.

C'est la solution # 4 qui a été retenue pour poursuivre les études.

➤ **Scénario S-1**

Ce tracé, d'une longueur de 4,3 km, décroche de la route 138, environ 1,4 km avant l'agglomération de Baie-Sainte-Catherine. Au début, il traverse la plaine avant d'aborder le terrain montagneux où il présente alors un profil longitudinal plus accentué, avec une pente maximale de 6%. Le passage au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine se fait avec un pont d'une longueur d'environ 100 mètres, 24 mètres au-dessus du lit du ruisseau.

Environ 700 mètres plus au nord, une autre vallée est traversée, cette fois avec un remblai d'environ 32 mètres de hauteur.

Avant le pont, la route traverse une coupe de roc de 12 mètres.

La pente de 6% exige de prévoir une voie auxiliaire, sur une longueur d'environ 1 400 mètres.

➤ **Scénario S-2**

Ce tracé, d'une longueur de 3,5 km, décroche de la route 138, environ 600 mètres avant l'agglomération de Baie-Sainte-Catherine. À part sa longueur plus courte, il présente sensiblement les mêmes caractéristiques que le S-1, pente maximale, pont au-dessus du ruisseau Sainte-Catherine d'une longueur d'environ 140 mètres, à 30 mètres au-dessus du ruisseau, un remblai de 32 mètres et une coupe de roc de 12 mètres.

➤ **Scénario S-3**

La particularité de ce tracé est qu'il débute après la municipalité de Baie-Sainte-Catherine, et de ce fait, il est plus court, avec une longueur de 2 km. Cette courte longueur et le fait que la route 138 soit très près du terrain montagneux se traduisent par une pente maximale de 12 % dès le départ. Une voie auxiliaire est alors requise dès le départ de la route 138.

La proximité du terrain montagneux, la présence du ruisseau Sainte-Catherine et le maintien des accès au port et au belvédère d'observation des baleines, obligent à prévoir un carrefour étagé avec la route 138.

On retrouve aussi sur ce tracé un remblai de 32 mètres et une coupe de roc de 12 mètres.

➤ **Scénario N-1**

Des trois tracés étudiés sur la rive gauche, le N-1 est le plus long, se raccordant à la route 138, environ 3,5 km au nord du pont suspendu, soit environ 1 700 mètres au nord de l'agglomération de Tadoussac. Environ 250 mètres au nord du pont suspendu, le tracé traverse une profonde vallée franchie par un viaduc d'environ 900 mètres. Passé le viaduc, la route traverse une coupe de roc de 15 mètres de hauteur, suivi d'un remblai de 18 mètres. La pente maximale de 6,5 % amène l'ajout de voies auxiliaires sur environ la moitié du tracé.

➤ **Scénario N-2**

Ce tracé est légèrement plus court que le N-1, avec une longueur de 3,2 km. Il présente sensiblement les mêmes caractéristiques que le tracé précédent, un viaduc d'environ 900 mètres, pente maximale de 6,5%, coupe de roc de 18 mètres, suivi d'un remblai de 18 mètres et des voies auxiliaires sur une bonne partie du tracé.

➤ **Scénario N-3**

Dans ce tracé, le raccordement à la route 138 se fait beaucoup plus près de l'agglomération de Tadoussac, présente une longueur de 2,6 km avec une pente maximale de 7,3 %. La vallée à la sortie du pont suspendu est traversée par un viaduc d'environ 700 mètres. Le terrain étant très montagneux à cet endroit, presque aussitôt passé le viaduc, la route traverse une coupe de roc de 40 mètres de hauteur, suivi d'un remblai de 38 mètres. Une voie auxiliaire est requise sur environ la moitié du tracé, en direction nord.

3.3 Scénarios retenus

Les différents scénarios ont fait l'objet d'une analyse comparative (voir chapitre 4 du volume 2 de l'étude d'impact sur l'environnement). Les scénarios S-1 et N-1 ont été recommandés par le Consortium et retenus par le MTQ.

3.4 Plans et profils

Des plans et profils des six scénarios étudiés sont présentés dans le Cahier des dessins.

3.5 Routes d'accès aux pylônes

Une étude est faite pour les routes qui donneraient accès à la base des pylônes pour les inspections et entretiens futurs.

Rive droite

Du côté de la rive droite, Baie-Sainte-Catherine, la route d'accès débiterait sur la route actuelle qui donne accès au débarcadère de la traverse et aurait une longueur d'environ 500 mètres avec des pentes de 15-17%, ce qui est acceptable pour des véhicules d'entretien légers.

Rive gauche

Du côté de Tadoussac, les pentes du terrain sont plus abruptes. Deux alternatives sont étudiées. Dans l'alternative # 1, celle passant sur le bord de l'eau, la route d'accès aux pylônes aurait une longueur d'environ 600 mètres, avec des pentes de 22 à 27 %; de plus, à cause des fortes pentes du terrain, des coupes de roc de plus de 5 mètres sont à prévoir.

Dans l'alternative # 2 où la route passe en arrière de la montagne, la route serait plus longue et aurait une longueur de plus de 850 mètres; on y retrouverait des pentes de plus de 25%. Des coupes de roc relativement importantes seraient aussi requises.

Étant donné la sensibilité de l'environnement dans lequel ces routes seraient construites et la difficulté d'accès en période hivernale, l'accès aux pylônes devrait se faire par l'intérieur des pylônes, au niveau de la chaussée du pont.

Les routes d'accès aux pylônes étudiées sont détaillées sur le feuillet R32 dans le Cahier des dessins.

3.6 Sentiers pédestres

Les sentiers pédestres du Parc du Saguenay affectés par la réalisation du projet seront raccordés à la fin des activités de construction. Le tracé définitif des sentiers sera déterminé avec la SÉPAQ.

3.7 Belvédères

Des études sommaires sont effectuées afin de vérifier la faisabilité de prévoir des belvédères de chaque côté du pont.

Sur la rive droite, les longueurs des voies de décélération et d'accélération requises (vitesse affichée de 90 km/h sur la route 138), pour les véhicules qui voudront accéder au belvédère, sont de 255 mètres pour la longueur de décélération et de 485 mètres pour l'accélération (contre la pente comprenant les biseaux, normes MTQ, tome I, chapitre 9, page 10).

Ces voies d'accélération et de décélération exigent des remblais et un élargissement d'une coupe de roc d'une hauteur d'environ 10 mètres sur 200 mètres.

Par la suite, la route d'accès traversera un remblai d'environ 10 mètres de hauteur avant d'accéder à un stationnement qui serait localisé sur un plateau. De ce stationnement, les visiteurs pourront accéder à un belvédère par un réseau de sentier et escalier qui les amènera à un sommet qui serait situé à la cote 155.

Sur la rive gauche, la longueur de la voie de décélération ainsi que celle d'accélération est de 285 mètres (avec la pente). Des remblais et un élargissement d'une coupe de roc d'une hauteur d'environ 6 mètres sont requis.

De cette voie de décélération, la route d'accès exige un remblai d'environ 6 mètres de hauteur avant d'accéder à un stationnement, duquel les visiteurs pourront accéder à un belvédère par un réseau de sentier et escalier qui les amènera à un sommet qui serait situé à la cote 148.

Il faut noter que ces voies d'accélération et de décélération à l'approche du pont suspendu peuvent être une source de conflit; c'est pourquoi il n'est pas recommandable de localiser des belvédères aux approches du pont.

3.8 Route panoramique le long du Saguenay

Les plans de la route panoramique montrent que cette route croise trois fois la route d'accès au pont suspendu (voir feuillets R01, R05 et R06 du cahier des planches)

Il est proposé de prévoir un passage souterrain en « Bridge-Plate » pour le croisement de la route panoramique au PK 47+900 +/- . Les autres croisements semblent à première vue difficiles à réaliser, car ils sont très près de la route d'accès au pont et ont un angle de croisement très faible.

À partir du passage souterrain proposé, le tracé de la route panoramique devra être revu afin de maintenir le tracé au nord de la route d'accès au pont.

3.9 Sections en travers types

Phase I - 2 voies

Différentes sections-types sont prévues sur les tracés S-1 et N-1 pour la phase I. Ces sections-types sont utilisées pour déterminer les emprises requises pour la phase I et pour le calcul des quantités.

En remblai, lorsque le remblai est constitué de roc provenant des déblais, une pente de 1 V:1½ H est utilisée; lorsque les remblais sont réalisés à partir de matériaux granulaires, une pente de 1 V:2 H est utilisée.

Comme il est probable que les pentes de 1½ devront être adoucies à 1 V:2 H pour permettre des plantations et un certain aménagement paysager, les sections montrent cette pente.

Les sections-types sont montrées sur le dessin R31 dans le Cahier des dessins.

En déblai, la section-type utilisée est celle montrée au dessin #003 du tome II, chapitre 1 du MTQ.

Phase II - 4 voies

Ces sections-types à 4 voies sont utilisées pour déterminer les emprises requises et le calcul des quantités pour la phase II du projet.

Les dessins des scénarios S-1 et N-1 à 4 voies sont présentés dans le Cahier des dessins.

Les sections-types sont montrées sur le feuillet R31 dans le Cahier des dessins.

3.10 Calcul des quantités et estimations

Les quantités sont calculées avec le logiciel Inroads selon les différentes sections-types déjà discutées.

Les détails des estimations ainsi que leurs résumés sont montrés aux pages suivantes et sont :

- Estimation des travaux de chaussée, scénario S-1, 2 voies, tableau 3.2
- Estimation des travaux de chaussée, scénario N-1, 2 voies, tableau 3.3
- Estimation des travaux de chaussée, scénario S-1, 4 voies, tableau 3.4
- Estimation des travaux de chaussée, scénario N-1, 4 voies, tableau 3.5
- Estimation des scénarios, travaux routiers, résumé, tableau 3.6

Tableau 3.2 Estimation des travaux de chaussée, scénario S-1, 2 voies

Description	Quantité initiale	Unité de mesure	Prix unitaire (\$)	Montant (\$)
Organisation de chantier	1	global	1 942 600,00\$	1 942 600\$
Déboisement	21	ha	3 080,00\$	64 680\$
Déblais 1ère classe incluant le prédécoupage	85 800	m ³	16,50\$	1 415 700\$
Déblais 2ème classe	38 500	m ³	6,60\$	254 100\$
Emprunt de sol compactable < classe B >	11 78 000	m ³	11,00\$	12 958 000\$
Sous fondation MG-112	60 400	t	12,10\$	730 840\$
Fondation MG-20	48 900	t	12,10\$	591 690\$
Fondation MG-56	37 900	t	12,10\$	458 590\$
Béton bitumineux	28 200	t	66,00\$	1 861 200\$
Glissière semi-rigide sur poteau de bois, 1,9 m c/c	4 770	m lin.	66,00\$	314 800\$
Drainage	1	global	93 500,00\$	93 500\$
Bordure	500	m lin.	49,20\$	24 600\$
Atténuateur d'impact	1	unité	42 900,00\$	42 900\$
Marquage de la chaussée	1	global	24 300,00\$	24 300\$
Signalisation	1	global	38 500,00\$	38 500\$
Clôture	8 050	m lin.	22,00\$	178 000\$
Engazonnement, terre végétale incluse	1 32 000	m ²	2,75\$	363 000\$
Grand total				21 357 000\$

Tableau 3.3 Estimation des travaux de chaussée, scénario N-1, 2 voies

Description	Quantité initiale	Unité de mesure	Prix unitaire (\$)	Montant (\$)
Organisation de chantier	1	global	833 800,00\$	833 800\$
Déboisement	18	ha	3 080,00\$	55 440\$
Déblais 1ère classe incluant le prédécoupage	153 500	m ³	16,50\$	2 532 750\$
Emprunt de sol compactable < classe B >	250 000	m ³	11,00\$	2 750 000\$
Fondation MG-20	22 200	t	12,00\$	266 400\$
Fondation MG-56	56 500	t	12,00\$	678 000\$
Béton bitumineux	20 100	t	66,00\$	1 326 600\$
Glissière semi-rigide sur poteau de bois, 1,9 m c/c	3 025	m lin.	66,00\$	199 650\$
Drainage	1	global	39 000,00\$	39 000\$
Bordure	500	m lin.	49,50\$	24 750\$
Atténuateur d'impact	1	unité	42 900,00\$	42 900\$
Marquage de la chaussée	1	global	24 310,00\$	24 310\$
Signalisation	1	global	38 500,00\$	38 500\$
Clôture	4 500	m lin.	22,00\$	99 000\$
Engazonnement, terre végétale incluse	91 600	m ²	2,75\$	251 900\$
Grand total				9 163 000\$

Tableau 3.4 Estimation des travaux de chaussée, scénario S-1, 4 voies

DESCRIPTION	Quantité initiale	Unité de mesure	Prix unitaire (\$)	Montant (\$)
Organisation de chantier	1	global	2 542 100,00\$	2 542 100\$
Déboisement	32	ha	3 080,00\$	98 500\$
Déblais 1ère classe incluant le prédécoupage	105 400	m ³	16,50\$	1 740 000\$
Déblais 2ème classe	43 600	m ³	6,60\$	287 700\$
Emprunt de sol compactable < classe B >	1 442 500	m ³	11,00\$	15 867 500\$
Sous fondation MG-112	97 300	t	12,10\$	1 177 200\$
Fondation MG-20	79 000	t	12,10\$	955 900\$
Fondation MG-56	55 600	t	12,10\$	672 700\$
Béton bitumineux	45 000	t	66,00\$	2 970 000\$
Glissière semi-rigide sur poteau de bois, 1,9 m c/c	4 770	m lin.	66,00\$	314 810\$
Glissière rigide, base = 920 mm, hauteur = 1270 mm	3 410	m lin.	88,00\$	300 080\$
Drainage	1	global	132 000,00\$	132 000\$
Bordure	940	m lin.	49,50\$	46 530\$
Revêtement de protection de béton entre bordures	1 350	m ²	55,00\$	74 250\$
Atténuateur d'impact	1	unité	42 900,00\$	42 900\$
Marquage de la chaussée	1	global	49 500,00\$	49 500\$
Signalisation	1	global	38 500,00\$	38 500\$
Clôture	7 940	m lin.	22,00\$	174 680\$
Engazonnement, terre végétale incluse	174 600	m ²	2,75\$	480 150\$
Grand total				27 965 000\$

Tableau 3.5 Estimation des travaux de chaussée, scénario N-1, 4 voies

DESCRIPTION	Quantité initiale	Unité de mesure	Prix unitaire (\$)	Montant (\$)
Organisation de chantier	1	global	1 061 500,00\$	1 061 500\$
Déboisement	18	ha	3 080,00\$	55 420\$
Déblais 1ère classe incluant le prédécoupage	193 300	m ³	16,50\$	3 189 450\$
Emprunt de sol compactable < classe B >	284 200	m ³	11,00\$	3 126 200\$
Fondation MG-20	30 100	t	12,10\$	364 200\$
Fondation MG-56	78 500	t	12,10\$	949 850\$
Béton bitumineux	27 700	t	66,00\$	1 828 000\$
Glissière semi-rigide sur poteau de bois, 1,9 m c/c	4 430	m lin.	66,00\$	292 380\$
Glissière rigide, base = 920 mm, hauteur = 1270 mm	1 740	m lin.	88,00\$	153 000\$
Drainage	1	global	66 000,00\$	66 000\$
Bordure	1 400	m lin.	49,50\$	69 300\$
Revêtement de protection de béton entre bordures	2 200	m ²	55,00\$	121 000\$
Atténuateur d'impact	1	unité	42 900,00\$	42 900\$
Marquage de la chaussée	1	global	30 800,00\$	30 800\$
Signalisation	1	global	38 500,00\$	38 500\$
Clôture	4 500	m lin.	22,00\$	99 000\$
Engazonnement, terre végétale incluse	70 000	m ²	2,75\$	192 500\$
Grand total				11 680 000\$

**Tableau 3.6 Estimation des scénarios,
travaux routiers, résumé**

DESCRIPTION	SCÉNARIO 1				SCÉNARIO 2	
	VARIANTES - 2 VOIES		ÉLARGISSEMENT DU TRACÉ À 4 VOIES		VARIANTES - 4 VOIES	
	TRACÉ S-1	TRACÉ N-1	TRACÉ S-1	TRACÉ N-1	TRACÉ S-1	TRACÉ N-1
Travaux de chaussées	21 357 000\$	9 163 000\$	9 016 000\$	4 016 000\$	27 965 000\$	11 680 000\$
Passage souterrain en "Bridge-Plate"	625 000\$	-	200 000\$	-	700 000\$	-
Éclairage des intersections	354 200\$	354 200\$	57 500\$	57 500\$	411 700\$	411 700\$
GRAND TOTAL	22 336 200\$	9 517 200\$	9 273 500\$	4 073 500\$	29 076 700\$	12 091 700\$

Figure 3.2 Rive droite Géométrie des alternatives

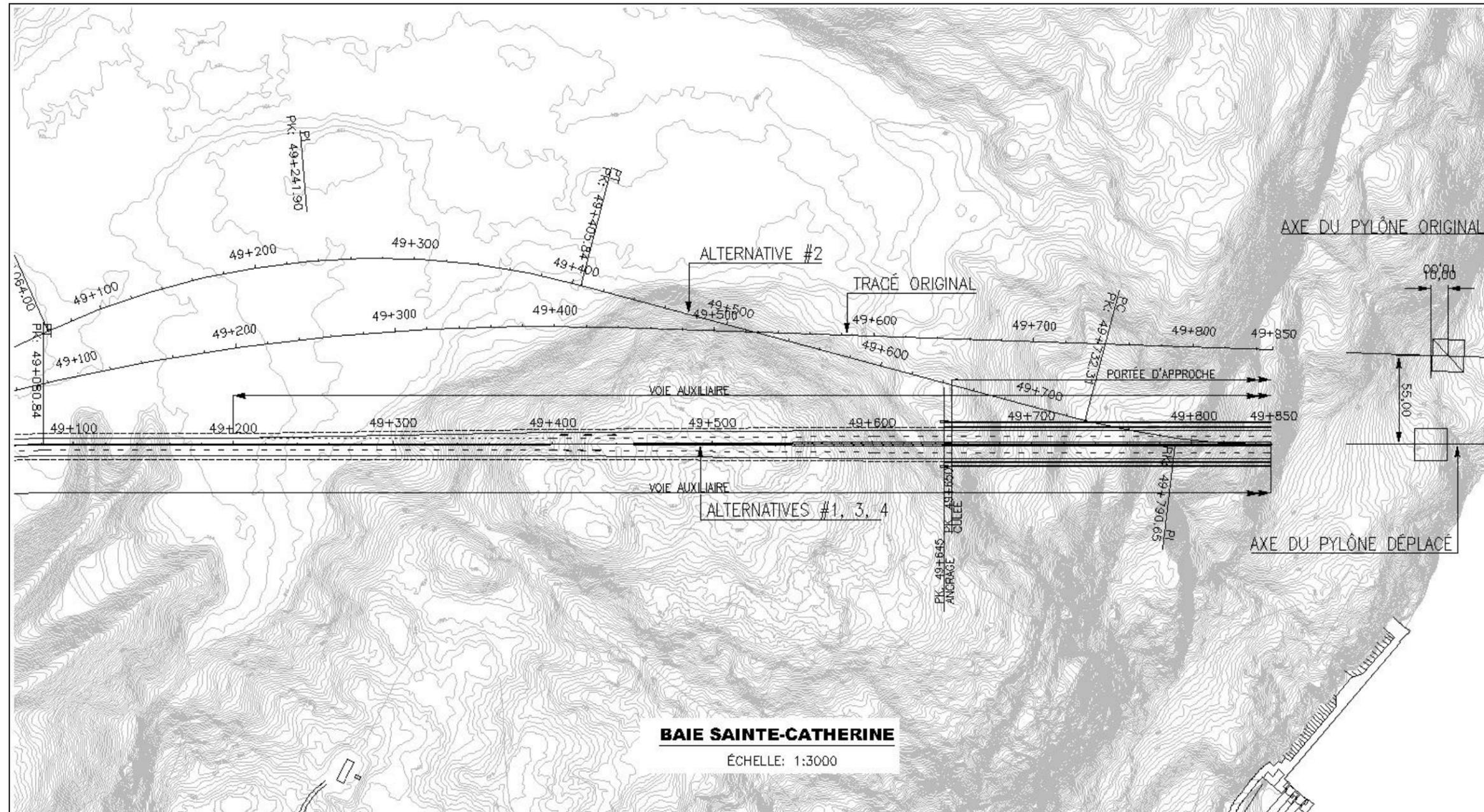
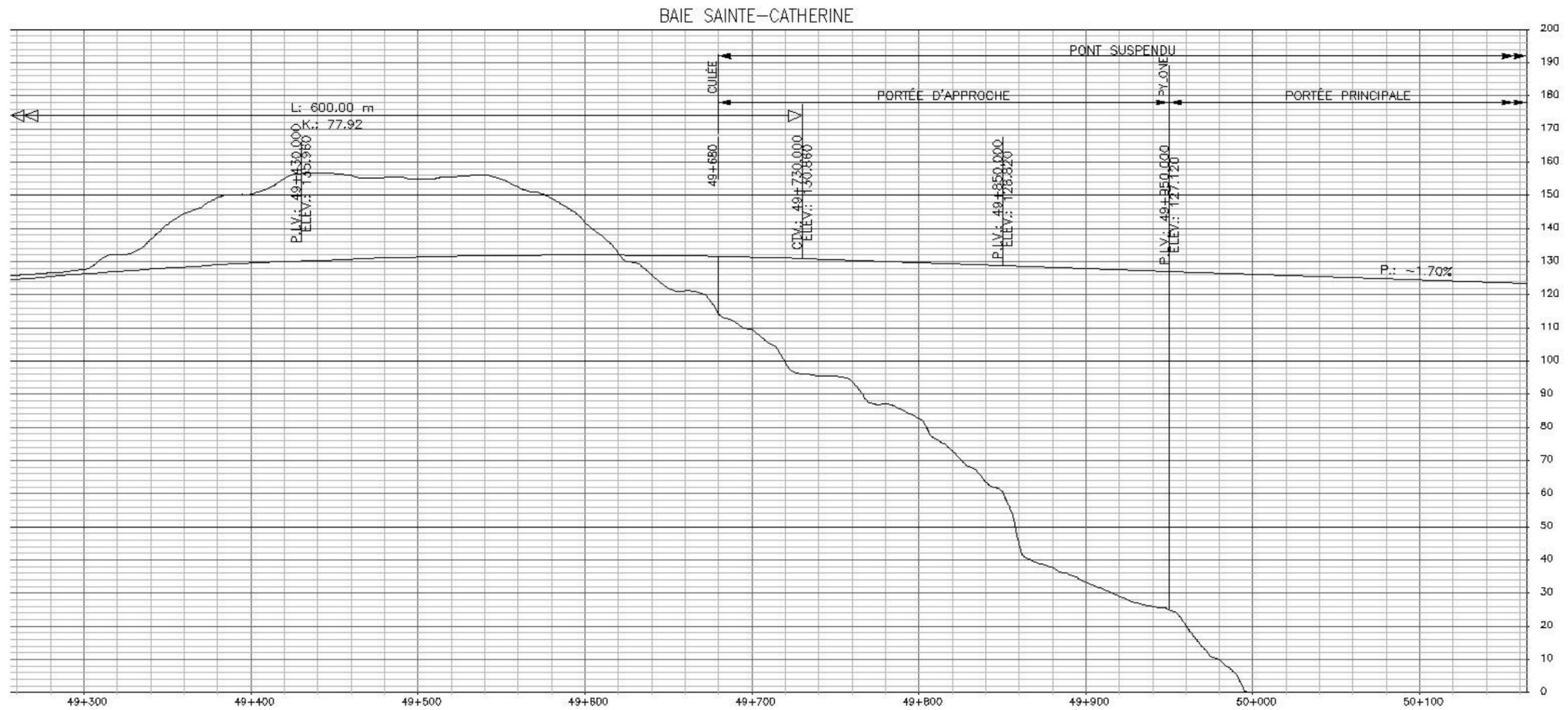


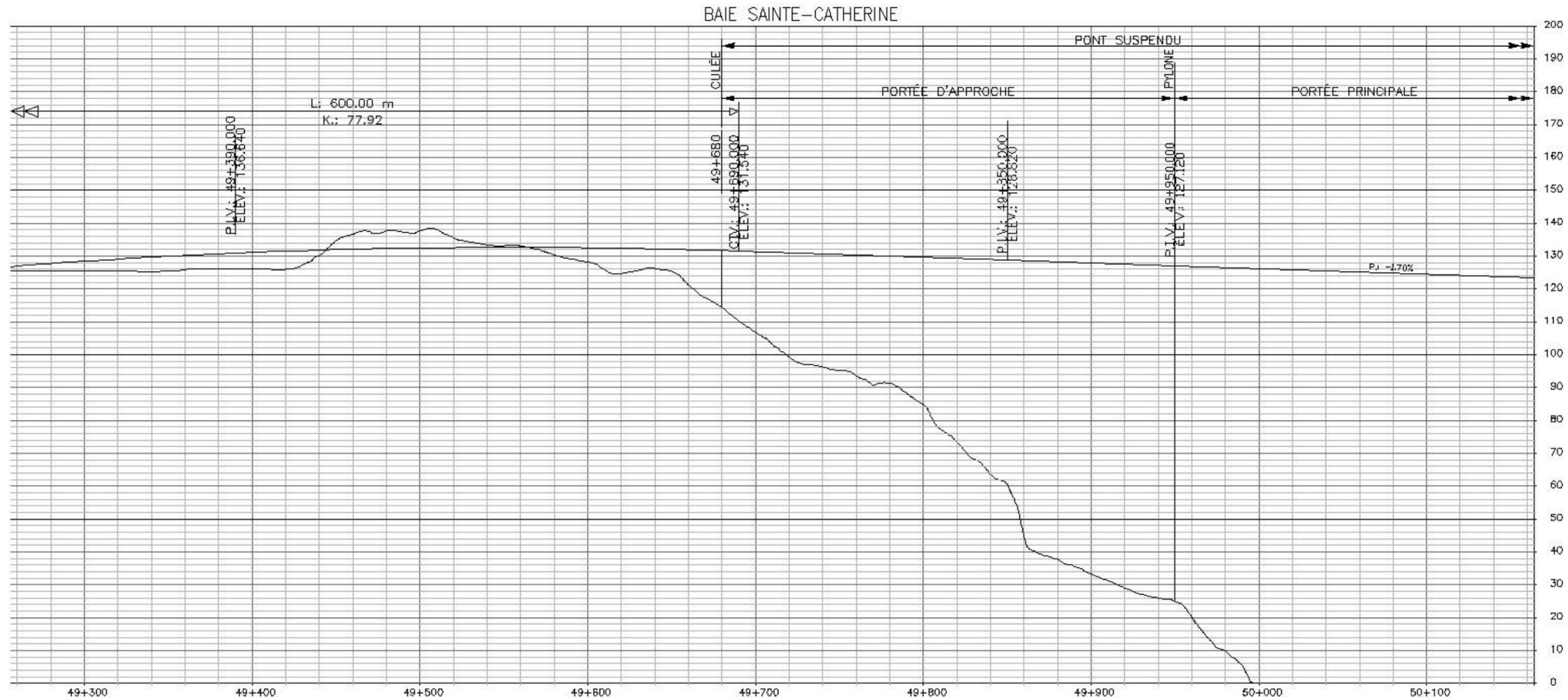
Figure 3.3 Rive droite Alternative # 1 – profil



ALTERNATIVE #1
ALIGNEMENT DROIT, PENTE DE 1,7%

ÉCHELLE: 1:3000

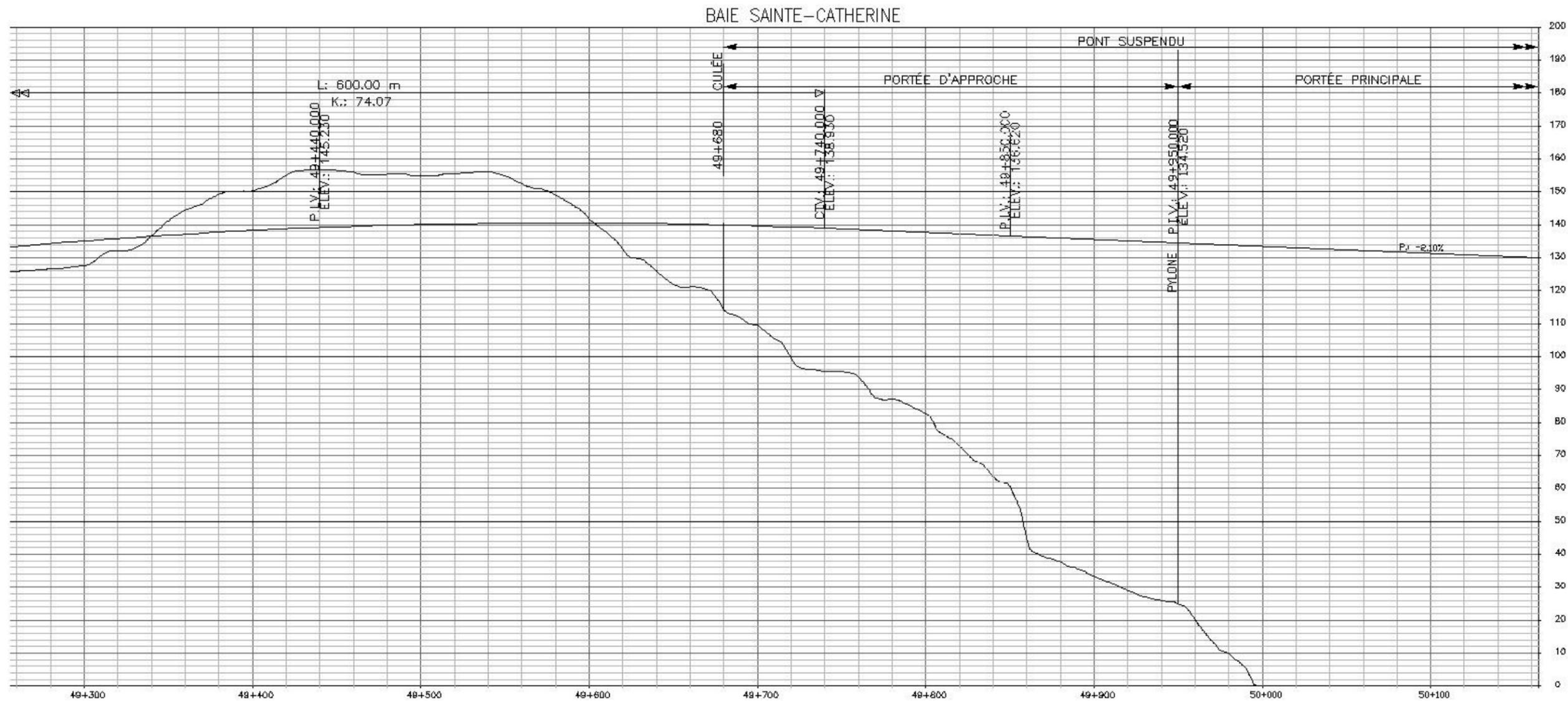
Figure 3.4 Rive droite Alternative # 2 – profil



ALTERNATIVE #2
ALIGNEMENT EN COURBE À LA SORTIE DU PONT, PENTE DE 1,7%

ÉCHELLE: 1:3000

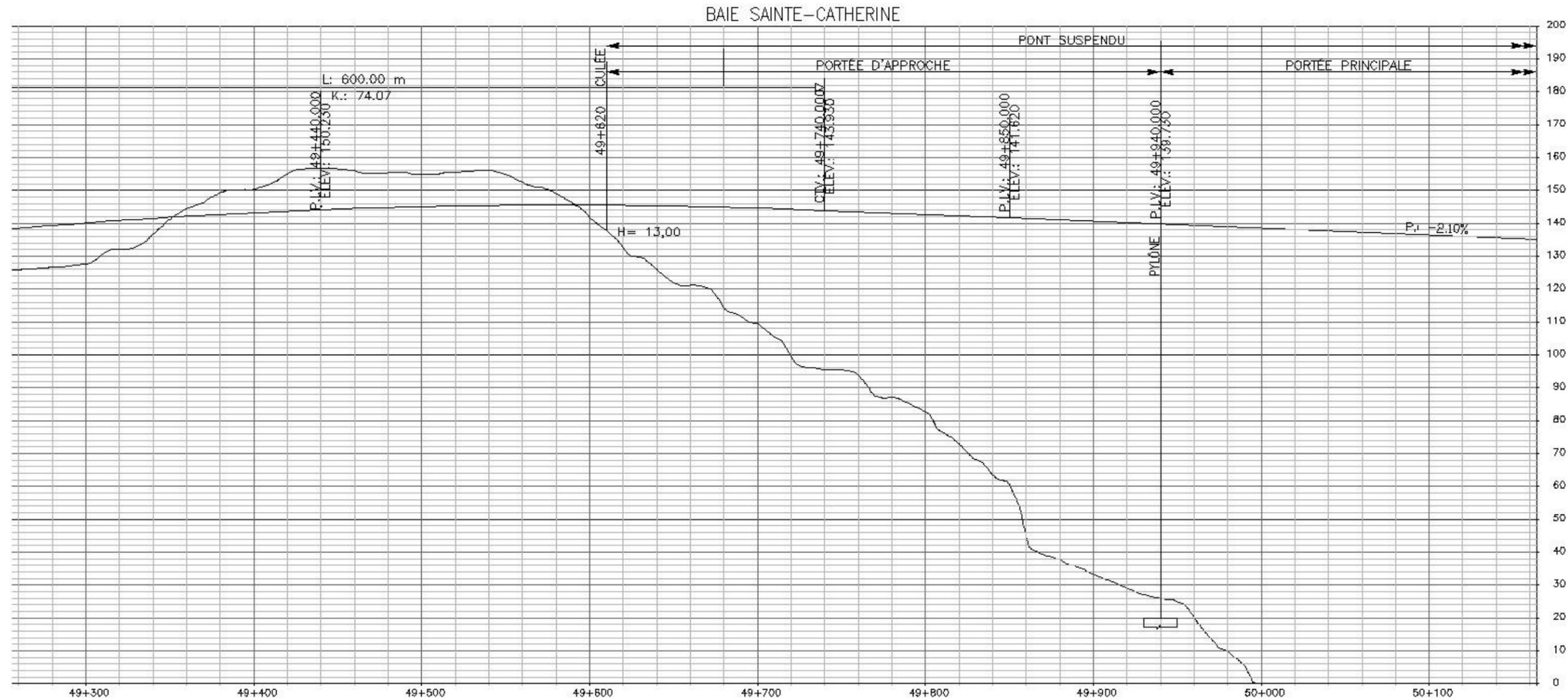
Figure 3.5 Rive droite Alternative # 3 – profil



ALTERNATIVE #3
ALIGNEMENT DROIT, PENTE DE 2,1%

ÉCHELLE: 1:3000

Figure 3.6 Rive droite Alternative # 4 – profil



ALTERNATIVE #4
ALIGNEMENT EN COURBE À LA SORTIE DU PONT, PENTE DE 2,1%, PONT RELEVÉ DE 5m

ÉCHELLE: 1:3000

4. MÉCANIQUE DES SOLS ET MÉCANIQUE DES ROCHES

4.1 Introduction

Ce chapitre comprend trois phases, présentées par ordre chronologique. Les deux premières phases constituent les rapports des inspections du site qui ont conduit à la localisation des pylônes et les ancrages du pont suspendu, dans le but de déterminer sa position finale ainsi que le système de structure adopté.

La troisième phase constitue un rapport sur les forages exécutés sur le site, dans le but de déterminer la nature et les propriétés géotechniques des sols et du roc. Cette phase est nécessaire pour la validation du type et du dimensionnement des fondations et des ancrages du pont suspendu ainsi que des fondations des viaducs.

4.2 Inspection du site effectuée les 9 et 10 septembre 2003

La visite consiste en une inspection des sites d'implantation du pont suspendu de rive gauche à partir de l'accès pédestre le 03/09/09 et des pylônes des deux rives à partir de la berge le 03/09/10 en utilisant un Zodiac de la compagnie Otis.

Un GPS est utilisé comprenant les coordonnées préprogrammées des points d'implantation des pylônes, entrées des ancrages et position des forages.

Les coordonnées des ancrages et pylônes sont montrées dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 Coordonnées de l'emplacement préliminaire des ancrages et pylônes

COORDONNÉES SCOPQ (MTM QUÉBEC)					
	PK	POINT	NORD	EST	ZONE
ANCRAGE	PK 49+600	1	5331996.060	361845.166	7
	PK 49+640	2	5332035.926	361848.436	7
PYLONE	PK 49+980	3	5332374.788	361876.230	7
	PK 51+320	4	5333710.304	361985.771	7
ANCRAGE	PK 51+715	5	5334103.982	362018.061	7
	PK 51+755	6	5334143.851	362021.332	7

4.2.1 Commentaires

4.2.1.1 Rive gauche (Nord)

La rive gauche présente un certain nombre d'affleurements rocheux répartis aux environs des points visités ce qui laisse présumer que le roc est très près de la surface presque partout sauf au pied des talus abrupts où il y a quelques zones de gros blocs.

Les deux principaux linéaments, peu nombreux sur les affleurements au loin de la rive, sont très espacés, peu ou pas ouverts, de direction sub-parallèle au Saguenay avec pendage abrupt environ 70 degrés vers le Saguenay et sub-perpendiculaire au Saguenay avec pendage près de la verticale. Ceci permet de présupposer un roc massif vu de la surface des affleurements. Cependant, vu à partir du fleuve, une certaine foliation a été notée sur le bord des rives. Elle semble plus importante vers le côté amont du pylône de rive gauche. Une bande plus foncée qui pourrait éventuellement servir de repère pourra être utilisée pour rattacher les forages avec la géologie de surface.

La berge de la rivière, quoique très escarpée vers le pylône, surtout vers l'amont semble avoir une pente plus douce sous le niveau de l'eau que sur la rive Sud.

Dans la section 4.2.3, les photos 1-1 à 1-14 montrent la zone d'implantation de l'ancrage et du pylône pour la rive gauche. La description d'affleurements rencontrés dans cette zone, durant la visite à partir du sentier pédestre, autres que ceux montrés sur les photos est présentée à la fin de la section 4.2.3.

4.2.1.2 Rive droite (Sud)

La rive droite, où seulement le secteur du pylône du pont a pu être reconnu lors de cette visite, présente deux anomalies : une faille certaine avec escarpement sub-vertical à l'amont du pylône et une zone de faiblesse, une faille probable ou une bande sub-parallèle à la foliation qui, en se rejoignant au loin de la rive, découperait un immense coin rocheux. La position du pylône actuel serait située à l'intérieur de ce coin rocheux qui pourrait potentiellement être instable si une structure déstabilisante se trouvait localisée en dessous.

Compte tenu de la présence du coin rocheux décrit précédemment, il a fallu déplacer la position du pylône de telle façon à assurer sa stabilité.

À proximité du pylône, la berge déjà abrupte en surface semble l'être aussi sous le niveau de l'eau, il suffirait d'une érosion de cette berge sous le niveau de l'eau créant un surplomb ou d'un contact d'un niveau à faible cohésion et faible angle de friction, à pendage vers le Saguenay pour mettre en péril ce secteur.

Dans la section 4.2.4, les photos 2-1 à 2-10 montrent la zone d'implantation du pylône de rive droite. Toutes ces photos sont prises à partir du zodiac.

L'emplacement du pylône a été déplacé par la suite pour éviter les problèmes mentionnés.

4.2.2 Recommandations pour le programme d'investigation du Laboratoire

- La cartographie géologique doit se faire sur le maximum d'affleurements visibles dans un corridor d'environ 100 m et devra servir à interpréter les forages ;
- Un relevé très détaillé des berges et des affleurements près des pylônes pour obtenir une classification géomécanique du rocher est requis ;
- Les forages des ancrages devraient être inclinés à environ 60 degrés pour atteindre le point en profondeur visé aux ancrages afin de recouper le maximum de joints puisque les pendages des joints sont sub-verticaux ou à pendage fort vers le Saguenay du moins en rive gauche. Pour ce qui est de celui de rive droite, il y aura lieu d'orienter le forage après avoir fait le relevé des joints dans le secteur.
- Les forages devront être faits au carottier double afin d'obtenir une récupération voisine de 100% ;
- Les vides et les pertes d'eau doivent être notés ;
- Il est essentiel que la carotte soit orientée afin de pouvoir analyser la structure géologique en direction et pendage ;
- Une attention très particulière doit être portée sur la structure géologique macroscopique du rocher de même que la structure à l'échelle des plans de schistosité dans la zone des pylônes ;
- Le produit final devrait être une cartographie détaillée des linéaments, joints, schistosité et failles et être présenté précisément sur un plan sur un secteur de 50 m autour des points d'implantation des pylônes. Les méga-linéaments structuraux, failles et bancs de roc de faible qualité dans le secteur du pylône de rive droite doivent être cartographiés avec précision sur toute leur longueur. Il est important que le forage des deux pylônes puisse être rattaché avec la géologie de surface. Ceci s'applique aussi dans le secteur entre l'entrée de l'ancrage jusqu'à 50 m derrière le point d'ancrage.

4.2.3 Photos de la zone d'implantation du pylône gauche



Photo 1-1 : Vue générale de la rive gauche



Photo 1-2 : La zone d'implantation du pylône rive gauche



Photo 1-3 : Vue rapprochée de la zone d'implantation du pylône rive gauche



Photo 1-4 : Vue rapprochée de la zone d'implantation du pylône rive gauche



Photo 1-5 : Vue rapprochée de la zone d'implantation du pylône rive gauche



Photo 1-6 : La zone d'implantation du pylône rive gauche, vue de l'aval



Photo 1-7 : Rive gauche : Grand affleurement de 40 m x 15 m environ. Localisation 361950E, 5334113N. ÉI. : 97 m. On notera qu'il y a trois systèmes de joints principaux dont un sub-perpendiculaire à la rivière Saguenay à pendage sub-vertical et l'autre sub-parallèle à la rivière Saguenay à pendage d'environ 70° vers la rivière.



Photo 1-8 : Rive gauche : Affleurement rencontré au 361842E, 5333942N ÉI. 41 m. (6 m x 20 m). Intrusion en structure fluide dans la mise en place de la roche. Joints en série sur un mètre sub-vertical à sub-perpendiculaire au Saguenay



Photo 1-9 : Rive gauche : Escarpement rocheux situé légèrement à l'amont et au-dessus du site du pylône de rive gauche.



Photo 1-10 : Zone du pylône de rive gauche. Vue à partir du Saguenay.

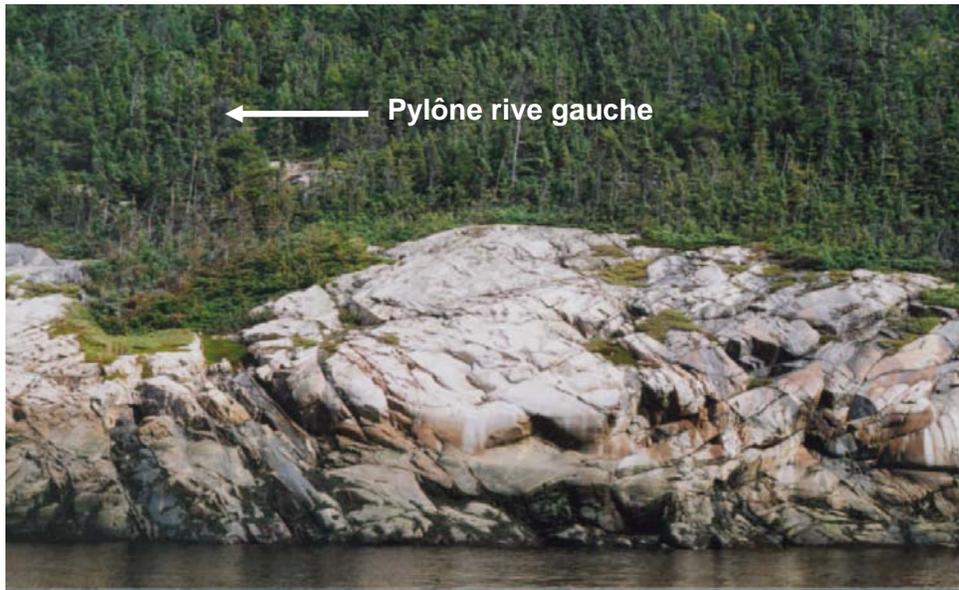


Photo 1-11 : Zone du pylône de rive gauche. Vue à partir du Saguenay.

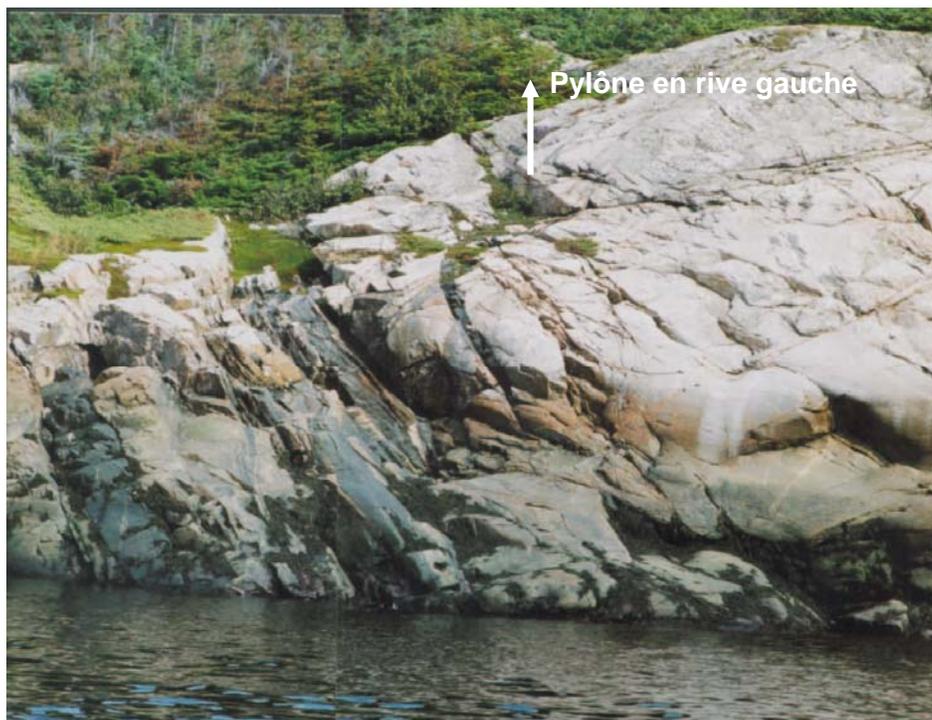


Photo 1-12 : Zone du pylône de rive gauche. Vue à partir du Saguenay.
Voir le détail de la géologie.



Photo 1-13 : Zone du pylône de rive gauche vue à partir du Saguenay. On note des intrusions qui seront cartographiées en détail.



Photo 1-14 : Vue de Tadoussac à partir de piste piétonnière de la rive gauche du Saguenay.

Autres affleurements rencontrés :

- Affleurement rencontré au point 361998E, 5334101N ÉI. : 105 m (15 m x 15 m environ).
- Affleurement rencontré au point 361928E, 5334077N ÉI. : 94 m. Un système de joint sub-perpendiculaire à la rivière Saguenay à pendage sub-vertical et l'autre sub-parallèle à la rivière Saguenay à pendage d'environ 70° vers la rivière. (10 m x 10 m).
- Affleurement rencontré au point 361913E, 5334053N ÉI. : 87 m. Un système de joint sub-perpendiculaire à la rivière Saguenay à pendage sub-vertical et l'autre sub-parallèle à la rivière Saguenay à pendage d'environ 70° vers la rivière. (15 m x 15 m).
- Affleurement rencontré au point 361857E, 5333950N ÉI. : 55 m. (6 m x 6 m). Trace de joint.
- Affleurement rencontré au point 361865E, 5333794N. (6 m x 6 m).
- Nez rocheux, impossible de poursuivre la marche 361907E, 5333800N.
- Affleurements rencontrés au point 361996E, 5333800N, ÉI. 66 m. Plusieurs systèmes de joints difficiles à qualifier. À être cartographiés.
- Affleurement escarpé au point 362053E, 5333869N, ÉI. : 92 m. Joint ouvert important parallèle au Saguenay avec pendage 70 vers le Saguenay.
- Repère topographique R1W, rencontré au 362182E, 5334060N.

4.2.4 Photos de la zone d'implantation du pylône en rive droite



Photo 2-1 : Vue générale de la rive droite



Photo 2-2 : La zone d'implantation du pylône rive droite



Photo 2-3 : Croupe sur laquelle s'appuie le pylône rive droite



Photo 2-4 : Le pylône est sensiblement sur le replat au-dessus de la rive



Photo 2-5 : Zone du pylône de rive droite. Vue vers le plan de faille situé en amont du pylône. Cette faille très longue marque la fin d'une zone d'aspect effondré sur laquelle repose le pylône.



Photo 2-6 : Zone du pylône de rive droite. Le pylône situé en 361984E, 5333690N, se situe vers les broussailles au tiers inférieur droit de la photo. On note le petit escarpement qui marque la limite de l'effondrement vers l'aval du pylône.



Photo 2-7 : Autre vue à partir du Saguenay vers le plan de faille situé en amont du pylône. Cette faille très longue marque la fin d'une zone d'aspect effondré sur laquelle repose le pylône.



Photo 2-8 : Zone du pylône de rive droite. Le pylône est situé dans les broussailles au centre de la photo.

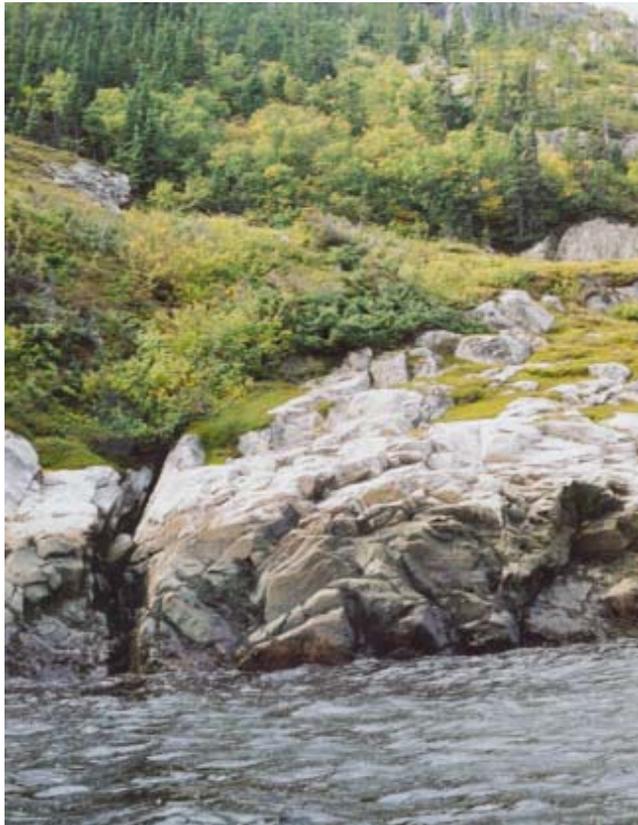


Photo 2-9 : Vue vers la partie à l'aval du pylône de rive droite. On note une brisure au bord du Saguenay pouvant correspondre à la limite aval de la zone effondrée.



Photo 2-10 : Zone du pylône vue à partir du Saguenay

4.3 Inspection du site effectuée par le laboratoire entre le 17 et le 19 septembre 2003

Cette visite avait comme objectif de montrer les emplacements des 4 forages projetés aux représentants des parcs provincial et fédéral afin d'obtenir les autorisations nécessaires au déboisement des sites ainsi qu'à leurs survols en hélicoptère et de réaliser une cartographie géologique à l'emplacement projeté des pylônes et des ancrages.

L'accès au site des 2 forages pour les ancrages (Baie-Sainte-Catherine et Tadoussac) et au pylône en rive droite (Baie-Sainte-Catherine) a été effectué par voie terrestre le long de sentiers lorsque présents ainsi qu'à l'aide d'un GPS. Un zodiac a été utilisé pour se rendre uniquement sur le site du pylône du côté de Tadoussac.

4.3.1 Observation

4.3.1.1 Ancrage rive droite (Baie-Sainte-Catherine)

(PK 49+580, 5 331 976 mN, 361 844 mE)

Aucun affleurement rocheux n'est visible dans le secteur de forage pour l'ancrage en rive droite. Mentionnons que ce secteur est très boisé. De plus, mentionnons que depuis les visites précédentes, le site de forage a été déplacé d'environ 35 m vers le nord. Ce dernier site n'a pas été visité.

4.3.1.2 Pylône en rive droite (Baie-Sainte-Catherine)

(PK 49+960, 5 332 355 mN, 361 875 mE)

Tout le bord de l'eau localisé au nord du secteur du pylône en rive droite est constitué d'affleurements rocheux généralement très escarpés (Photo n° 1). Le bord de rive est d'orientation est-ouest dans ce secteur.

À l'emplacement prévu pour le forage du pylône, aucun affleurement n'est visible, la surface du sol était recouverte de végétation (aulnes) très dense (Photo n° 2).



Photo n° 1 : Vue d'ensemble de la rive droite (Baie-Sainte-Catherine).



Photo n° 2 : Emplacement projeté du pylône en rive droite (Baie-Sainte-Catherine).

Enfin, 40 m à l'ouest de l'emplacement du forage projeté pour le pylône, on note la présence d'un escarpement rocheux d'environ 20 à 25 m de hauteur correspondant vraisemblablement à une faille (Photo n° 2). Cette faille a un azimut de 310 ° et un pendage de 80 ° vers le nord-est.

Le roc a été identifié comme un gneiss granitique à grains moyens à grossiers contenant occasionnellement des grenats. La schistosité soulignée par l'orientation préférentielle des minéraux mafiques tels que la biotite et/ou hornblende est moyennement développée avec une orientation nord-est–sud-ouest (azimut variant entre 20 et 40 °).

En rive droite, les joints peuvent être regroupés en 3 principales familles, soit :

- une première famille dont l'azimut est de l'ordre de 160 ° avec un pendage de 80 ° vers le sud-ouest;
- une seconde famille dont l'azimut varie entre 30 et 60 ° avec un pendage de l'ordre de 60 à 85 ° vers le sud-est;
- une troisième famille dont l'azimut varie entre 50 et 60 ° avec un pendage variant entre 20 et 40 ° vers le sud-est.

Nous présentons sur le plan n° 1 à la fin de ce chapitre, le relevé des joints effectué sur le terrain.

4.3.1.3 Ancrage rive gauche (Tadoussac)

(PK 51+300, 5 333 690 mN, 361 984 mE)

L'emplacement du forage pour l'ancrage du côté de Tadoussac est situé dans un secteur très boisé et relativement abrupt. Un affleurement est présent à partir d'environ 15 m au nord-est de l'emplacement du forage projeté. L'affleurement est de forme très arrondie et très peu de joints sont visibles. Les deux systèmes de joints observés dans ce secteur sont :

- un système dont l'azimut est de 160 ° avec un pendage sub-vertical (80 à 90 °);
- un système dont l'azimut est de 240 ° avec un pendage de 80 ° vers le nord-ouest.

La roche est constituée de gneiss granitique à grains fins à grossiers, gneiss contenant occasionnellement des horizons de pegmatite et d'aplite blanche. On a noté à un endroit la présence de lentilles de schiste à biotite légèrement plissées dans le gneiss granitique.

4.3.1.4 Pylône en rive gauche (Tadoussac)

(PK 51+735, 5 334 124 mN, 362 020 mE)

L'emplacement du forage pour le pylône en rive gauche est situé dans un secteur très boisé entre 2 escarpements rocheux, d'orientation est-ouest (Photo n° 3).

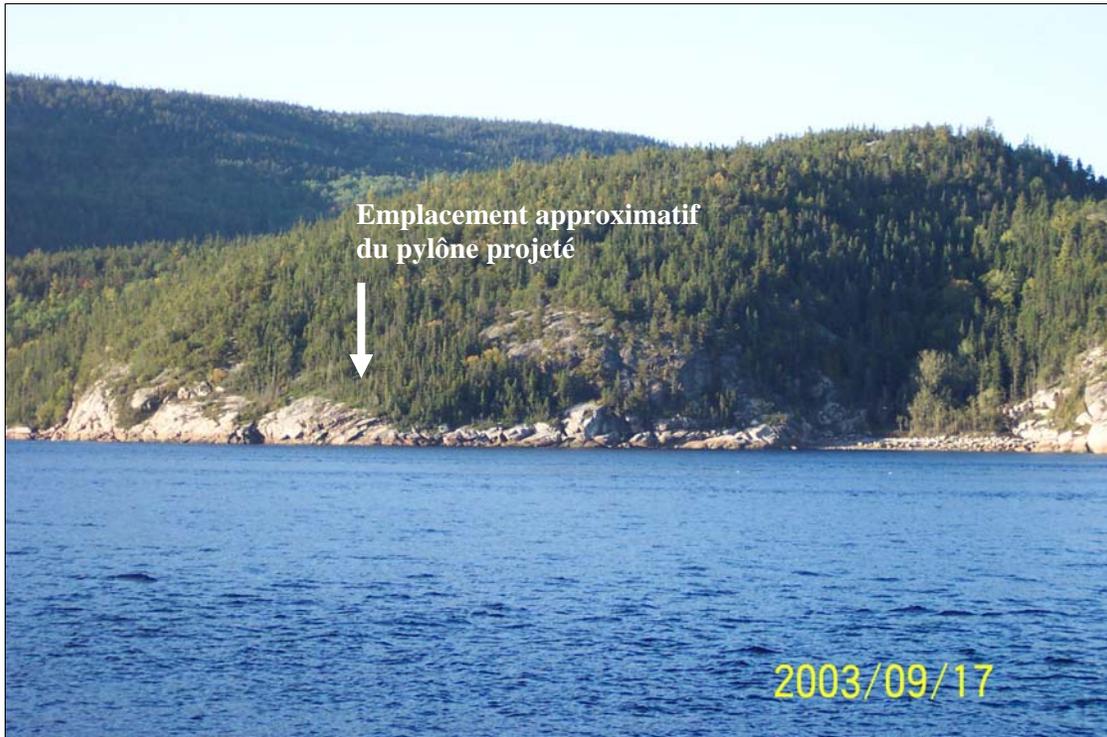


Photo n° 3 : Vue d'ensemble de la rive gauche (Tadoussac).

Le forage sera situé approximativement au pied de l'escarpement le plus au nord. L'autre escarpement constitue le bord de rive (Photo n° 4). Ces 2 escarpements sont généralement très abrupts.

Le roc constituant ces escarpements est un gneiss granitique à grains fins à moyens, qui contenait de nombreuses lentilles de schiste à biotite localement plissées (Photos n° 5 et 6). On note également la présence de bandes de pegmatite et d'aplite gris-rose. La schistosité localement bien développée est d'orientation nord-est-sud-ouest (azimut de 10 à 20 °).

Le contact gneiss-schiste à biotite déterminé à deux endroits montre un azimut de 10 et 20 ° avec un pendage respectif de 80 et 60 ° vers le sud-est.



Photo n° 4 : Emplacement projeté du pylône en rive gauche (Tadoussac).

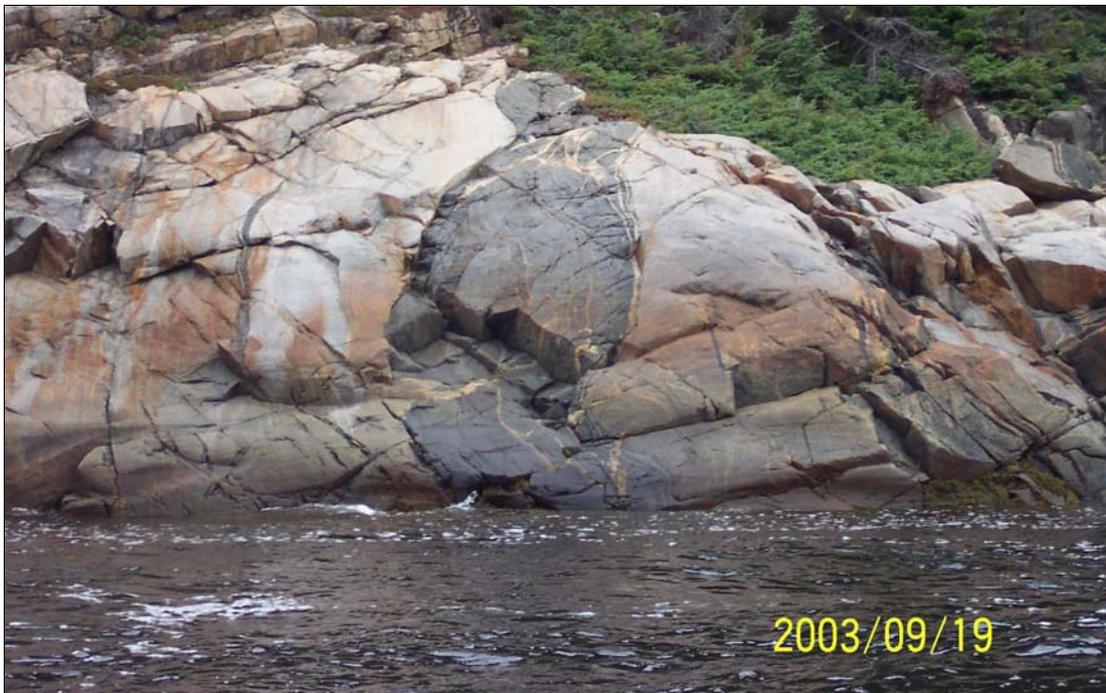


Photo n° 5 : Gneiss granitique avec schiste à biotite (bandes noires).



Photo n° 6 : Gneiss granitique avec schiste à biotite (bandes noires).

En rive gauche, 4 principales familles de joints ont été répertoriées, soit :

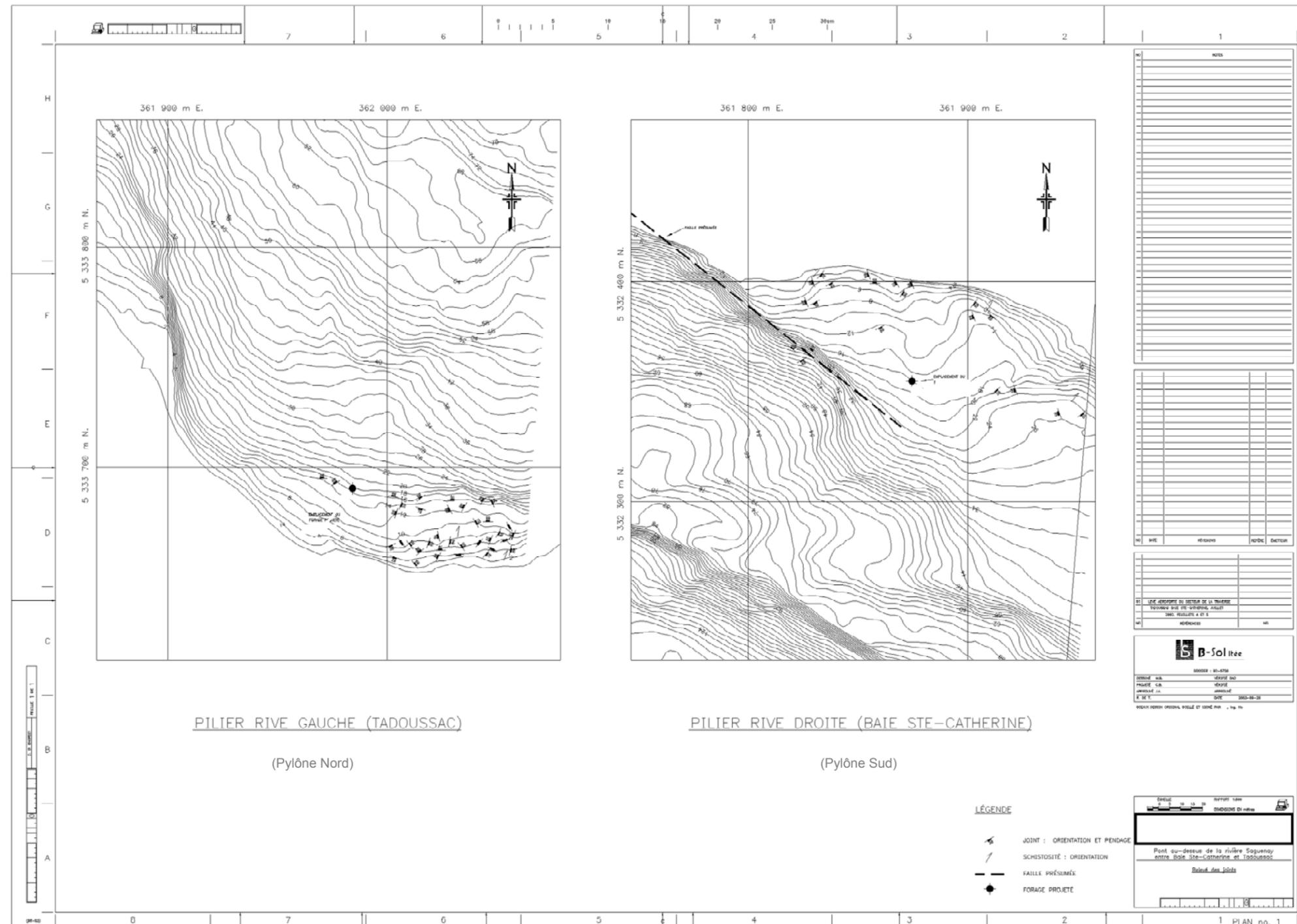
- une première famille dont l'azimut varie entre 300 et 330 °, avec un pendage de l'ordre de 80 à 90 ° vers le nord-est;
- une deuxième famille dont l'azimut se situe entre 200 et 240 ° mais dont le pendage semble très variable, soit de 10 à 90 ° vers le nord-ouest.
- une troisième famille dont l'azimut est de 270 ° avec un pendage de situant généralement entre 70 et 90 ° vers le nord.
- une quatrième famille dont l'azimut varie entre 10 et 40 ° avec un pendage de l'ordre de 60 à 80 ° vers le sud-est.

Le plan n° 1 à la fin de ce chapitre présente le relevé des joints réalisé en rive droite dans le secteur du pylône.

4.4 Rapport de l'étude géotechnique

Ce rapport est présenté à l'annexe 4.

Plan no. 1



5. CIRCULATION ET SÉCURITÉ

5.1 Introduction

Cette section vise à évaluer les conditions de circulation sur les infrastructures routières projetées, à établir les besoins de contrôle de circulation et identifier des mesures de sécurité. L'analyse de capacité se fonde sur les caractéristiques techniques des tracés S-1 et N-1 (géométrie, pente, longueur) et a été effectuée à l'aide de HCS 2000 pour les sections, SYNCHRO 6 pour les intersections (basé sur HCM). Pour ce qui est de la sécurité, à partir d'une revue documentaire des principaux ponts au Québec, au Canada et à travers le monde possédant des caractéristiques semblables à celles du pont projeté sur la rivière Saguenay, de même qu'à partir des normes québécoises, les principaux critères de signalisation, de sécurité, de surveillance et de maintenance d'un pont ont été répertoriés¹.

5.2 Conditions de circulation

5.2.1 Réseau routier et trafic

Outre la nouvelle route 138, divers routes et carrefours sont à considérer, ainsi les tronçons de l'actuelle route 138 reconvertis en chemins locaux, un nouveau lien routier entre la nouvelle route 138 et le village de Tadoussac, et une route panoramique entre Baie-Sainte-Catherine et Petit-Saguenay ayant fait l'objet d'une étude en 1995. Ces nouveaux liens routiers donnent lieu à deux carrefours sur la nouvelle route 138, soit, d'ouest en est :

- Un carrefour avec le chemin d'accès à Baie-Sainte-Catherine (la route 138 actuelle en traversée d'agglomération);
- Un carrefour avec le chemin d'accès à Tadoussac (la route 138 actuelle).

Le débit journalier moyen d'été (DJME) de la route 138 à Baie-Sainte-Catherine à la traverse était de 3 700 véh/j en 2001 et 4 200 véh/j en 2002. Le DJME de la traverse en 2003 (3 643 véh/j) était sensiblement le même qu'en 2001 (3 700 véh/j). Le débit de la 30^e heure pour 2003 est estimé à 547 véh/h. Le débit de 30^e heure n'étant pas disponible pour 2002 et 2003, le rapport entre le débit de la 30^e heure et le DJME de 2001 a été appliqué aux DJME de 2002 et 2003. Pour les mouvements au chemin d'accès à Tadoussac (route 138 actuelle), à partir de et vers la nouvelle route, les parts de 30 % et de 33 % en direction de et en provenance de Tadoussac, obtenues à l'enquête origine destination de l'été 2003, sont appliquées pour les autos, camions légers, autobus et motos. Il est posé par hypothèse que 20 % des autos,

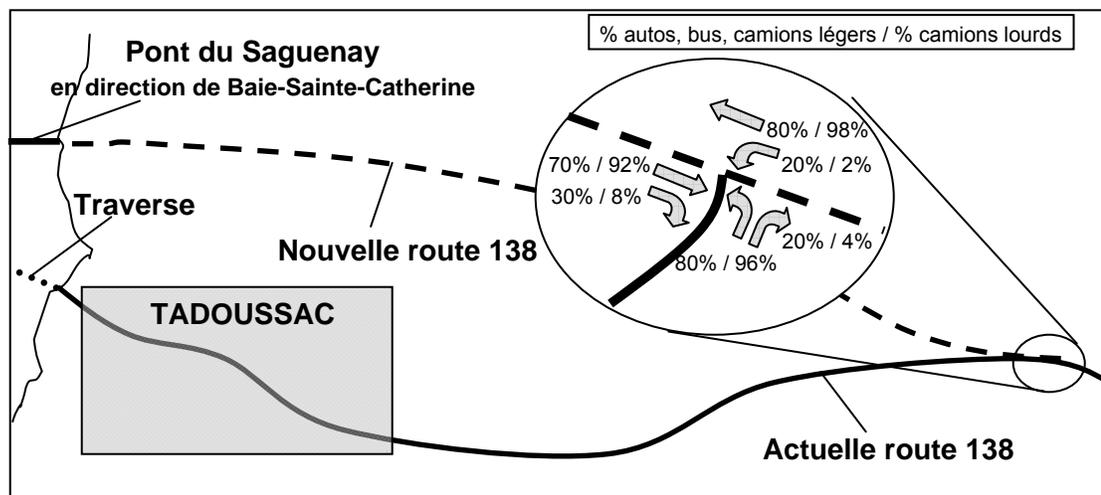
¹ Les références bibliographiques des sources d'information utilisées dans le présent chapitre sont listées à la section bibliographie.

camions légers, autobus et motos origineraient et se destineraient de et vers Tadoussac à partir du tronçon est de la route 138. Le débit de 30^e heure de la route secondaire ainsi obtenu est de 229 véh/h. La répartition directionnelle sur la route 138 à la 30^e heure est approximativement de 60 / 40 (MTQ, 2003). La proportion de véhicules lourds sur la route 138 est estimée à 11,4 % pour la période de juillet et août (moyenne 2001-2004 à partir de STQ, 2003-2004).

Les débits horaires utilisés pour le calcul de niveau de service actuel (2003) sont donc de 547 véh/h sur le pont et de 229 véh/h sur la route d'accès à Tadoussac. Les débits prévus lors de l'ouverture du pont en 2014 sont estimés à 794 véh/h sur le pont et de 332 véh/h sur la route d'accès à Tadoussac et à 907 véh/h et 380 véh/h pour l'année 2026, suivant les hypothèses de croissance moyenne et forte (modèles endogènes) de l'étude de prévision de la demande. Pour l'hypothèse de croissance forte, les débits sont estimés à 882 véh/h sur le pont et de 369 véh/h sur la route d'accès à Tadoussac pour 2014 et à 1097 véh/h et 459 véh/h pour l'année 2026. La part des camions lourds à partir de ce tronçon serait respectivement de 4 % et de 2 %.

Les données disponibles ne permettent pas d'estimer les débits sur la route d'accès à Baie-Sainte-Catherine. Compte tenu de la distribution des générateurs, cette route devrait supporter des débits moindres que la route d'accès à Tadoussac. Ainsi, l'analyse de capacité peut être limitée au carrefour de la route d'accès à Tadoussac. La figure 5.1 illustre le chemin d'accès à Tadoussac (l'actuelle route 138) analysé ainsi que la distribution des mouvements des camions lourds et autres véhicules au carrefour de la nouvelle route 138.

Figure 5.1 Route d'accès vers Tadoussac et distribution des mouvements au carrefour de la nouvelle route 138



5.2.2 Niveaux de service

Dans les conditions de la route 138 actuelle avec des débits de la 30^e heure en 2003, les sections à l'extérieur des agglomérations de Baie-Sainte-Catherine et de Tadoussac affichent un niveau de service C. Les sections traversant les agglomérations affichent un niveau de service inférieur, soit un niveau E, en raison des limites de vitesse plus basses et d'un plus grand nombre d'accès. Le niveau de service E implique des conditions d'écoulement de la circulation lentes. Ce niveau de service est le résultat à la fois de la vitesse affichée réduite (50 km/h), de la présence de pentes, de l'absence de voie pour véhicules lents à Baie-Sainte-Catherine.

Dans les conditions de réaménagement de la route 138 aux abords du pont sur la rivière Saguenay suivant les tracés S-1 et N-1, le niveau de service est estimé à C pour les tronçons strictement à deux voies selon les débits de la 30^e heure de 2003. Les conditions futures pour les années 2014 et 2026, suivant les hypothèses moyenne et forte de croissance du trafic, présentent des niveaux de service estimés de D pour les tronçons à deux voies de largeur. Dans les secteurs à pente avec voie pour véhicules lourds, le niveau de service serait de B en 2003 et de C en 2014 et 2026. Des niveaux de service de A sont obtenus dans l'hypothèse d'une route à quatre voies pour les débits de 2003, 2014 et 2026.

Au carrefour de la route d'accès à Tadoussac, avec un contrôle avec arrêt sur l'approche secondaire, le niveau de service est de A sur la route 138 et de B sur l'approche secondaire avec les débits de 2003. Les conditions futures de 2014 et 2026 présentent toujours des niveaux de service estimés de A sur la route 138. Pour l'approche secondaire, les niveaux de service tombent à C et D pour l'hypothèse de croissance moyenne du trafic et à D et F pour l'hypothèse de croissance forte. Pour les années 2003, 2014 et 2026, les retards moyens sont respectivement de 13,4 s, 20,2 s et 27,0 s sur le chemin d'accès de Tadoussac selon l'hypothèse moyenne et de 13,4 s, 25,1 s et 60,3 s selon l'hypothèse forte. Étant donné le niveau de service D ou F, selon l'hypothèse retenue, prévu à l'approche secondaire pour l'année 2026, le mode de contrôle du carrefour devra vraisemblablement être changé pour un feu de circulation. Un tel contrôle permettrait d'obtenir un niveau de service de B ou C sur l'approche secondaire en 2026, le niveau demeurant A sur la route 138. Les analyses de capacité sont présentées à l'annexe 5.A.

Tableau 5.1 Niveaux de service et retards, route 138 / accès à Tadoussac, 2003-2026

	Croissance moyenne de trafic		Croissance forte de trafic	
	Niveau de service	Retard (s)	Niveau de service	Retard (s)
2003				
Rte 138, Approche ouest	A	0	A	0
Rte 138, Approche est	A	2,1	A	2,1
Roite d'accès, approche sud	B	13,4	B	13,4
Carrefour	A	2,6	A	2,6
2014				
Rte 138, Approche ouest	A	0	A	0
Rte 138, Approche est	A	2,3	A	2,3
Roite d'accès, approche sud	C	20,2	D	25,1
Carrefour	A	3,6	A	4,3
2026				
Rte 138, Approche ouest	A	0	A	0
Rte 138, Approche est	A	2,4	A	2,5
Roite d'accès, approche sud	D	27	F	60,3
Carrefour	A	4,6	A	9,4
2026 avec feu				
Rte 138, Approche ouest	A	4	A	6
Rte 138, Approche est	A	3,5	A	5,2
Roite d'accès, approche sud	C	21,4	B	18,3
Carrefour	A	6,3	A	7,5

5.2.3 Temps de parcours et accessibilité

Le réseau routier proposé maintient une accessibilité routière acceptable pour les agglomérations de Baie-Sainte-Catherine et de Tadoussac. Pour un gain modéré de distance parcourue le long de la nouvelle route et du pont (3,9 km), des gains en temps de parcours importants seront ainsi réalisés (plus de 21 min). Le tableau 5.2 résume les distances parcourues et temps de parcours pour la route et traverse actuelles ainsi que pour la route et le pont proposés.

Tableau 5.2 Distances et temps de parcours, nouvel itinéraire

	Distance parcourue	Temps de parcours (min:s)
Route et traverse actuelles	13,6 km	0:36:12
Route et pont proposés	9,7 km	0:06:24
Différence	- 3,9 km	0:29:48

Note : Temps d'opération et de traversée de 16,5 min.

Temps moyen d'attente du navire de 12,2 min.

Vitesse moyenne de 90 km/h.

5.2.4 Circulation piétonnière et cyclable

Selon les normes du MTQ, un trottoir est requis sur un pont s'il en existe un sur la route aux approches du pont, ce qui n'est pas le cas de la route 138. Pour une piste cyclable, il n'existe pas d'obligation. Les conditions de marche pour les piétons et les conditions de conduite pour les cyclistes ne sont pas excellentes sur une structure de la longueur et de la hauteur du pont proposé, notamment en raison des vents et également en raison de la hauteur. Ces infrastructures ne semblent donc pas souhaitables.

Toutefois, pour accommoder les riverains, des mesures devraient être prises pour permettre et assurer le passage sécuritaire des cyclistes et des piétons sur le pont. Les déplacements de piétons et cyclistes seraient assurés par un service de navette terrestre décrite à la section 1.3. Le coût annuel d'exploitation de cette navette est estimé à 300 000 \$.

5.2.5 Autres circulations

Pour des raisons de sécurité, les véhicules récréatifs (motoneiges et véhicules tout terrain (VTT - quads) ne devraient pas être admis sur le tablier du pont. La circulation de ces véhicules serait assurée par le service de navette décrit précédemment.

5.3 Sécurité

5.3.1 Fréquence de fermeture du pont

Une étude de la climatologie des vents a été effectuée pour déterminer la nécessité de la fermeture du pont à la circulation lors des effets de vents menaçants. De cette étude, il ressort que la circulation serait restreinte pour un à deux jours au cours de chacun des mois de décembre, janvier et février et cela uniquement pour les camions à grande capacité roulant à vide (Pour référence, voir annexe 5.B).

Cette restriction de circulation risque d'affecter les camions à grande capacité roulant à vide de 3 à 7 jours par année. La perturbation des autres usagers de la route est, par conséquent, bien moindre. Il serait possible d'améliorer la circulation automobile sur le pont en installant des pare-vent aux entrées de l'ouvrage et au pied des tours. Le rapport des bénéfices-coûts de ces mesures est à évaluer à l'étape de la conception détaillée.

Selon les informations obtenues du MTQ, il y a une dizaine de fermetures par année de la route 138 dans Charlevoix et dans le secteur des Grandes-Bergeronnes pour des raisons de sécurité en fonction des conditions hivernales. Dans ce contexte, la faible fréquence de la restriction de circulation pour certains camions sur le pont ne

pose pas de contraintes significatives par rapport au nombre de fermetures du système routier dans son ensemble.

5.3.2 Dispositif de fermeture

Afin d'aviser les usagers suffisamment d'avance, il est prévu d'installer, du côté sud, un panneau à message variable à l'entrée de Clermont, deux autres à Saint-Siméon (route 170 et route 138) et un dernier avant l'aire de stationnement pour camions. Du côté nord, un panneau serait installé aux Escoumins, deux autres à l'intersection des routes 172 et 138 et un dernier avant l'aire de stationnement pour camions. Le feuillet R33 du cahier des dessins montre la localisation proposée des panneaux.

Ces panneaux sont localisés de façon à informer les usagers avant de prendre une décision soit, arrêter, retourner, ou prendre une autre direction. Ces panneaux pourraient être reliés à un centre de contrôle du MTQ par ligne téléphonique ou autre moyen de communication. Par ailleurs, une barrière automatique empêcherait les véhicules d'accéder au pont au-delà des parcs routiers.

5.3.3 Parcs routiers

Pour les cas de fermeture temporaire du pont, des aires de stationnement sont prévues aux approches du pont de chaque côté de ce dernier pour fins de stockage de véhicules. Le nombre de cases de stationnement requises pour les camions, roulottes et automobiles est calculé en prenant le débit directionnel de la 30^e heure pour l'horizon 2026. Selon les données du MTQ pour 2003, le débit dans la direction la plus achalandée pour la 30^e heure est de 328 véh/h. Le pourcentage de véhicules lourds pour les mois de juillet et août est de 11,4% alors que les véhicules récréatifs comptent pour 4,4 % du trafic. Le nombre de véhicules arrivant par direction en une heure à la 30^e heure est donc de 276 autos, 37 véhicules lourds et 14 véhicules récréatifs.

Des panneaux à message variable (PMV) indiquant si le pont est fermé et ainsi rediriger les automobilistes seront installés en avance du pont à Saint-Siméon du côté ouest et aux Escoumins du côté est. Les aires de stationnement aménagées aux approches du pont serviront à stocker les automobiles et camions qui auraient passés au-delà de ces PMV avant que le message annonçant que le pont est fermé ait apparu.

La distance entre Saint-Siméon et Baie-Sainte-Catherine est de 35 km et il en prend en moyenne, et sous des conditions idéales, 26 min pour en faire le trajet alors que 40 km séparent les Escoumins de Tadoussac avec un temps de parcours moyen de 30 minutes. Un temps d'une heure a été utilisé pour calculer le nombre de véhicules que devraient accommoder les aires de stationnement. Ce temps est considéré suffisant afin de pouvoir capter tous les automobilistes ayant passé les PMV avant que le message de fermeture du pont ne soit apparu, et ce, sous de mauvaises conditions routières.

Le taux de croissance global entre 2003 et 2026 pour le scénario de croissance moyenne (modèle endogène) est de 35,7 %. En 2026, chaque aire de stationnement devra donc avoir au moins 51 cases pour véhicules lourds, 375 cases pour autos et 20 cases pour véhicules récréatifs, afin de pouvoir stocker suffisamment de véhicules pendant 1 heure.

Finalement, il y a lieu de considérer l'aménagement de parcs routiers à l'emplacement de ces aires de stationnement. Ces parcs routiers sont localisés près des carrefours, mais hors des zones bâties et autant que possible en terrain plat afin de minimiser le coût des travaux. Ils comprennent les aires de stationnement, un restaurant avec kiosque d'information touristique et un dépanneur avec une station-service.

Les feuillets R33 et R33A du Cahier des dessins montrent la localisation proposée des parcs routiers et un détail de l'aménagement de ces parcs routiers.

5.3.4 Signalisation

5.3.4.1 *Signalisation aux approches du pont*

La signalisation est un élément important à prendre en compte dans la gestion de la circulation aux approches du pont. Les panneaux à messages variables (PMV), qui fournissent aux usagers des informations sur les conditions de circulation, permettent de gérer ces mouvements en temps réel. La plupart du temps, ces panneaux sont reliés par téléphone cellulaire ou fibre optique à un centre de contrôle. La localisation de ces panneaux est indiquée à la section 5.3.2.

Des panneaux à message unique (PMU) pourraient également être implantés. Ces panneaux sont généralement montés sur une structure érigée en bordure de la route. Ce type de panneau est constitué d'extrusions en aluminium du même type que celles composant les panneaux de supersignalisation aérienne. Le panneau à message unique est muni de deux feux clignotants qui sont activés par le contrôleur quand le message inscrit devient effectif. Pour ce projet, le message inscrit sur ce type de panneau pourrait être le suivant :

PONT DU SAGUENAY – BARRÉ QUAND LES FEUX CLIGNOTENT

Pour leur part, les PMV sont constitués d'un boîtier en aluminium et d'un panneau matriciel permettant l'inscription de lettres et de lignes dont les dimensions et la quantité varient selon la taille du panneau choisi. Comme son nom l'indique, ce type de panneau permet l'inscription d'une multitude de messages. Ces panneaux sont les mêmes que ceux utilisés sur les principales artères routières. Comme les PMU, les PMV peuvent être érigés sur des structures latérales.

5.3.4.2 Vitesse affichée

La vitesse affichée souhaitable pour le pont sur la rivière Saguenay est de 90 km/h.

5.3.4.3 Stationnement

Compte tenu du point de vue imprenable sur la rivière Saguenay et de la tentation pour les usagers de s'y arrêter, il est nécessaire de mettre en place des panneaux indiquant l'interdiction de se stationner sur la route sur l'accotement et sur le pont.

5.3.5 Surveillance et mesures d'urgence

En matière de système de surveillance, de sécurité et mesure d'urgence sur les ponts, il n'existe pas de normes. Chaque exploitant d'un pont identifie et applique son système de sécurité et de surveillance en fonction de ses propres besoins.

5.3.5.1 Surveillance

En règle générale, la surveillance du pont s'effectue grâce à des caméras en circuit fermé reliées directement au centre de contrôle. Elles permettent d'observer certains points stratégiques de la structure, la circulation et les accidents pouvant survenir sur le tablier du pont. Aucune norme ne régit les caméras de surveillance. La seule exigence est dans le positionnement de la caméra qui doit permettre une vue panoramique du pont. Conformément à ce qui se pratique sur les autres ponts du Québec, des caméras devraient être placées sur chaque pile et aux approches du pont Saguenay, c'est-à-dire à Baie-Sainte-Catherine et Tadoussac.

Entre autres, des caméras seront prévues pour la surveillance des éléments suivants :

1. tablier du pont suspendu et des viaducs
2. pylônes
3. accès des culées
4. salles électriques
5. approches du pont
6. viaduc

Le système permettra le contrôle des caméras ainsi que la gestion et la surveillance des équipements électriques tels que :

1. barrières automatiques et des panneaux d'information à distance
2. portes d'accès aux culées
3. inverseurs automatiques des entrées électriques
4. unités de suppression et de filtrage (TVSS)
5. caméras (contre le vol)
6. température dans les salles électriques

Afin d'améliorer la rapidité des services de secours en cas d'accidents et prévenir tout risque de suicide un téléphone d'urgence doit être installé à tous les 750 m et relié au poste de police et au service d'urgence. Une voie de rangement sur accotement doit être réalisée dans ce cas.

5.3.5.2 Station météo, instrumentation du pont suspendu et système de déglçage

Puisque la météo a une grande influence sur les conditions routières d'un pont suspendu franchissant un cours d'eau de l'ampleur de la rivière Saguenay, l'installation d'une station météo doit être envisagée pour bien connaître les conditions météorologiques prévalant sur le tablier du pont. La station météo à préconiser doit permettre la lecture en temps réel des paramètres suivants :

- Direction et vitesse du vent
- Pression atmosphérique
- Température et humidité
- Précipitation (neige, pluie et verglas)

Les informations météorologiques telles les données sur le vent, peuvent servir de guide aux messages diffusés sur les PMV. Les autres informations constituent des outils importants de gestion, notamment en ce qui a trait aux opérations de déneigement et d'épandage d'abrasifs sur le tablier.

Pour l'instrumentation dite structurale du pont par l'installation de jauges et pendules pour les mesures de contraintes et déformations, ce type d'instrumentation n'est pas jugé requis à cette étape-ci du projet, mais pourrait être exigé lors de la réalisation des plans et devis.

5.3.5.3 Mesures d'urgence

Différentes procédures et mesures peuvent être mises en place en fonction du type et de la gravité de l'urgence. Le tableau 5.3 en résume les principales procédures et intervenants pour chaque type d'urgence.

5.3.5.4 Charges de nature dangereuse ou hors gabarit

Les véhicules transportant des matières dangereuses et signalés conformément à la loi de 1992 sur le transport de marchandises dangereuses (L.R.Q., c. C 24.2, a. 622, par. 1 à 8) sont tenus de se présenter au centre de contrôle du pont. Le centre s'assure que le passage de ce type de véhicule se fait un à la fois sur le pont.

Les véhicules transportant des charges hors gabarit (en largeur, en hauteur ou en longueur) sont aussi tenus de se présenter au centre de contrôle. Selon les dimensions de la charge, la fermeture d'une voie pourrait être requise.

La position des postes de contrôle de chaque côté du pont sera finalisée au stade des plans et devis. Les coûts sont non significatifs par rapport aux coûts du projet et font parties des contingences.

Tableau 5.3 Procédures d'urgence sur un pont lors d'un accident

Type d'urgence	Procédure	Intervenants
Feux	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêter le trafic à l'entrée et à la sortie du pont (suivre les procédures de fermeture du pont). • Appeler le 911. • Informer l'autorité responsable de l'opération par ordre d'importance. 	SQ / Pompier / Ambulancier
Explosion	<ul style="list-style-type: none"> • Localiser l'explosion. • Suivre les procédures de fermeture du pont. • Appeler le 911. • Diriger le trafic vers des zones d'évacuation et laisser le trafic fluide pour faciliter l'intervention des ambulances. • En cas de dommage de la structure du pont, celui-ci doit être fermé jusqu'à ce que l'ampleur des dommages soit évaluée par le directeur en chef des opérations. • Informer l'autorité responsable de l'opération par ordre d'importance. 	SQ / Ambulancier / Équipe d'urgence de l'exploitant
Objet suspect	<ul style="list-style-type: none"> • Ne pas toucher l'objet. • Contacter la Sûreté du Québec (SQ) pour déterminer les actions à entreprendre. • Évacuer la zone. • Appeler le 911. • Contrôler le trafic. • Ne pas utiliser les communications par radio. • Suivre les procédures de fermeture du pont sur avis de la SQ. 	SQ / Équipe d'urgence de l'exploitant
Renversement de matières dangereuses	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêter le trafic. • Suivre les procédures de fermeture du pont. • Contacter la SQ, le ministère de l'Environnement, Le centre canadien d'urgence transport du ministère des Transports (Canutec). 	SQ / Ministère de l'environnement / Canutec / Équipe d'urgence de l'exploitant

Tableau 5.3 Procédures d'urgence sur un pont lors d'un accident (suite)

Type d'urgence	Procédure	Intervenants
Collision / Véhicules accidentés	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêter le trafic si nécessaire. • Contacter la SQ. • Contacter le service ambulancier et le service de dépannage*. 	SQ / Ambulancier / service de dépannage / Équipe d'urgence de l'exploitant
Bris d'équipement	<ul style="list-style-type: none"> • Appeler l'électricien et/ou le service de maintenance. • Si indisponible, contacter la direction, le service d'ingénierie... 	Équipe d'urgence de l'exploitant
Catastrophe naturelle : Glace / Tempête de neige	<ul style="list-style-type: none"> • Appeler le service des déneigeuses et de sablage. • Contacter le MTQ pour indiquer les conditions de circulation. • Fermer le pont, selon la procédure, sur avis de la SQ. 	
Vent fort / Ouragan / Tornade	<ul style="list-style-type: none"> • Fermer le pont, selon la procédure, si le vent menace la sécurité du trafic. • Prendre garde aux fils électriques tombés par terre. • Contacter la direction, le service d'ingénierie, le service d'entretien. 	Équipe d'urgence de l'exploitant / MTQ / SQ
Tremblement de terre	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler le trafic. • Fermer le pont selon la procédure. • Inspection de la structure du pont. • Rouvrir le pont avec la coopération de la police ou les instructions du directeur exécutif. 	
*Un contrat exclusif avec une entreprise de dépannage locale pourra être conclu.		

Source: *Thousand Islands Bridge Authority (1997), Emergency Response Plan.*

Dans le cas d'une urgence, suivant la *Thousand Islands Bridge Authority*, un pont peut être fermé :

- À la demande de la sûreté du Québec (SQ) ;
- Sur les instructions de la direction ou du responsable désigné ;
- S'il y a un risque de danger de mort immédiat ou de dommages matériels importants.

Dans ces conditions, le trafic doit être suspendu sur le pont et la SQ doit être appelée afin de contrôler la circulation. C'est à la police de décider s'il est sécuritaire pour les ambulanciers de traverser le pont.

5.3.6 Soutien à l'exploitation et STI

Afin d'assurer une bonne maintenance du pont, plusieurs mesures sont à prendre :

- Implanter sur le site un poste de contrôle local permanent ou saisonnier en lien avec le poste central de Québec ;
- Prévoir un garage et une aire de stationnement pour les véhicules d'entretien.

5.4 Coûts

Le tableau 5.4 présente un sommaire des coûts pour la circulation et la sécurité.

Tableau 5.4 Sommaire des coûts

Désignation	Scénario 1				Scénario 2	
	Variante - 2 voies		Élargissement du tracé à 4 voies		Variante - 4 voies	
	Tracé S-1	Tracé N-1	Tracé S-1	Tracé N-1	Tracé S-1	Tracé N-1
Panneaux à messages variables	725 000 \$	435 000 \$	23 000 \$	23 000 \$	725 000 \$	435 000 \$
Barrières automatiques	30 000 \$	30 000 \$	3 500 \$	3 500 \$	30 000 \$	30 000 \$
Parcs routiers	2 700 000 \$	2 700 000 \$	0 \$	0 \$	2 700 000 \$	2 700 000 \$
TOTAL	3 455 000 \$	3 165 000 \$	26 500 \$	26 500 \$	3 455 000 \$	3 165 000 \$
GRAND TOTAL	6 620 000 \$		53 000 \$		6 620 000 \$	

Bibliographie

Sources utilisées au chapitre 5 :

- MTQ, 2003. Recensement de la circulation sur les routes du Québec, différentes sections de trafic, routes 138, 170 et 172, années 2000-2002; Données d'accidents, route 138, ministère des Transports du Québec, direction de Québec, Québec QC, ministère des Transports du Québec, direction de la Côte-Nord, Baie-Comeau QC. cédérom.
- MTQ (2003), Sécurité routière, Principales actions du ministère des Transports du Québec 2002-2003, ministère des Transports du Québec, Québec QC, 27 pages.
- MTQ (2003), Interventions réalisées et prévues sur la route 138 entre Saint-Siméon et Baie-Sainte-Catherine, ministère des Transports du Québec, Québec QC, 2 pages.
- MTQ (2003), Distribution des vitesses, Ministère des Transports du Québec, Direction de la Côte-Nord, Service des inventaires et du plan, 15 pages.
- MTQ (2003), Règlement sur le transport de matières dangereuses, ministère des Transports du Québec, 10 pages.
- MTQ (2003), Normes du ministère en matière de signalisation et de pont, ministère des Transports du Québec, 9 pages.
- ODIN (2003), Anti-icing system, compagnie ODIN, documents internet, 6 pages.
- SOCIÉTÉ DES PONTS FÉDÉRAUX (2002), Un pont sécuritaire pour tous, recommandations du groupe de travail sur les suicides depuis le pont Jacques-Cartier, rapport déposé au coroner Paul G. Dionne, Société des Ponts fédéraux, 31 pages.
- THOUSAND ISLANDS BRIDGE AUTHORITY (1997), Emergency Response Plan, 36 pages.
- TRANSPORT CANADA (2002), Étude sur la planification stratégique des systèmes de transports intelligents pour les provinces atlantiques, Résumé, Transport Canada, 12 pages.
- TRANSPORT CANADA (2003), Compilation de plusieurs fiches techniques sur des ponts similaires au pont Saguenay, site internet, 50 pages.
- STQ, 2003-2004. Données d'achalandage et données financières, traverse Tadoussac - Baie-Sainte-Catherine, différents niveaux d'agrégation, 1984 à 2003, complément 2004, Société des traversiers du Québec, Québec QC Feuillet et fichiers informatiques.

6. SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE ET D'URGENCE (PONT, VIADUC ET ROUTE)

6.1 Introduction

Les systèmes d'éclairage et d'urgence prévus pour desservir le nouveau pont, le viaduc et les intersections au-dessus de la rivière Saguenay comprennent entre autres :

1. l'éclairage du pont, des intersections et du viaduc
2. l'éclairage et les services dans les culées et les pylônes du pont et dans le tablier
3. les groupes électrogènes d'urgence pour les services d'urgence
4. les balises sur les pylônes pour l'aviation
5. le système de gestion et de surveillance par caméra
6. les branchements électriques pour le pont suspendu
7. les unités d'alimentation et de distribution pour les intersections
8. la distribution électrique du pont
9. la distribution électrique du viaduc
10. la distribution électrique souterraine pour les lampadaires aux intersections
11. les bases de béton pour recevoir les lampadaires
12. le raccordement des barrières automatiques d'accès au pont
13. le raccordement des panneaux à messages variables
14. l'éclairage architectural (raccordement seulement)

6.2 Normes, références et exigences

Ces systèmes et services rencontrent les exigences et les normes du gouvernement du Québec, ministère des Transports, du Code de l'électricité du Québec – Code canadien de l'électricité, première partie et CAN/CSA-C22.2 n° O–M « Exigences générales – Code canadien de l'électricité, deuxième partie », la norme E-21-10

fourniture en basse tension d'Hydro-Québec, les normes de l'Association canadienne de normalisation (CSA), le Bureau de normalisation du Québec (BNQ), les références et applications ainsi que la norme RP-8.00 du *Lighting Handbook de l'Illuminating Engineering Society of North America* (IES).

6.3 Éclairage du pont, des intersections et du viaduc

6.3.1 Unité d'éclairage

L'éclairage est réalisé au moyen d'une unité d'éclairage conventionnelle comportant un fût en aluminium ou acier d'une longueur de 12 mètres avec des potences de 2 à 4 mètres formant un ensemble esthétique et un luminaire profilé pour éclairage routier conforme à la norme 8301. Les calculs d'éclairage confirmeront les hauteurs, les longueurs des potences et la position des luminaires.

Les lampes sont du type à halogénure métalliques permettant de faire une mise en lumière.

Les ballasts sont à 347 volts du type auto-reg (durée de vie plus longue pour les lampes).

Sur le pont suspendu, les fûts sont en acier; l'aluminium pourrait être considéré s'ils respectent les exigences pour les régions avec de forts vents et les exigences contre les vibrations d'un pont suspendu.

6.3.2 Emplacement de l'unité d'éclairage

Sur le pont et le viaduc, l'unité d'éclairage est installée sur base intégrée à la glissière.

Pour les intersections, les unités d'éclairage seront positionnées en bordure de la route sur base de béton installée selon la norme 001.

Les unités d'éclairage se prolongeront au-delà de 200 m des zones à éclairer (pont, viaduc et intersections, selon les exigences du MTQ).

6.3.3 Niveau d'éclairage

L'éclairage moyen et la luminance moyenne pour le pont suspendu, le viaduc et les intersections seront tels que décrits ci-après :

- Viaduc et pont

Éclairage :	
	E moy. 12 lux
Uniformité	moy/min ratio 3 : 1 Max/min ratio 6 : 1
Luminance :	
	L moy 0.8 cd/m ²
Uniformité	moy/min ratio 3 : 5 Max/min ratio 6 : 1
Éblouissement LV/L moyen	30 %

- Intersections

Éclairage :	
	E moy. 13 lux
Uniformité	moy/min ratio 3 : 1 Max/min ratio 6 : 1
Luminance :	
	L moy .8 cd/m ²
Uniformité	moy/min ratio 3.5 : 1 Max/min ratio 6 : 1
Éblouissement LV/L moyen	30 %

Les niveaux moyens tiennent compte des critères suivants :

1. Dépréciation maximale du flux lumineux de la lampe : 0.8
2. Encrassement maximal du luminaire : 0.89
3. Facteur du ballast (BF) : 0.9
4. Tension différente de la tension normale : 1.9
5. Conditions atmosphériques défavorables

Les valeurs de luminance sont données pour un revêtement asphalté de type R2 ou R3.

Les calculs photométriques seront réalisés selon les méthodes prescrites par l'IES.

6.4 Éclairage et services dans les culées, le tablier et les pylônes

Dans les culées, le tablier et les pylônes, les services suivants sont prévus :

1. éclairage dans les culées, le tablier et les pylônes;
2. éclairage d'urgence dans les culées, le tablier et les pylônes;
3. prises de courant;
4. chauffage de la salle électrique/mécanique dans les culées;
5. raccordement des ascenseurs branchés sur les groupes électrogènes d'urgence;
6. système de gestion et de surveillance par caméra des portes d'accès et des équipements électriques (inverseurs, TVSS, température, etc.);
7. raccordement des systèmes de déshumidification;
8. un groupe électrogène d'urgence de chaque côté du pont (côté nord et côté sud).

6.5 Balises

Des balises sont prévues sur les deux pylônes du pont.

Les balises respectent les normes du MTQ (Aviation). Celles-ci seront en fonction 24 heures par jour via le système de gestion permettant ainsi de les désalimenter pour l'entretien.

Le balisage lumineux du pont doit être assujéti à une évaluation aéronautique.

6.6 Branchements électriques pour le pont et le viaduc

Le pont suspendu est alimenté par deux centres de branchement électrique, dont l'un du côté sud et l'autre du côté nord, raccordés au réseau de distribution d'Hydro-Québec via un transformateur sur socle.

Chacun des transformateurs kiosques alimente un centre de distribution pour chaque moitié du pont.

Le centre de distribution contient un disjoncteur principal, un disjoncteur pour l'interrupteur de transfert, un interrupteur de transfert automatique avec interrupteur de contournement, un panneau de distribution 347/600 volts, 3 phases, une unité de suppression et de filtrage TVSS, des contacteurs magnétiques pour les feux de

navigation et les lampadaires d'éclairage contrôlés par cellule photoélectrique ou minuterie et par le système de gestion.

L'inverseur permet, lors d'une panne d'Hydro-Québec du côté sud ou du côté nord, d'alimenter l'éclairage du pont, des balises et des pylônes, y incluant le viaduc alimenté à partir du centre de distribution du côté nord.

Les centres de distribution et les panneaux de contrôle sont localisés dans la galerie de visite des culées afin de prévenir les infiltrations d'eau et l'humidité pour les équipements électriques.

Tous les boîtiers des équipements électriques localisés dans la chambre électrique sont du type CEMA1.

Aucun appareillage de mesure n'est prévu; Hydro-Québec facture normalement selon la charge raccordée pour l'éclairage et les services (moteurs, chauffage, prises de courant, barrières, etc.). Cependant, on devra vérifier avec Hydro-Québec si un mesurage est requis car les charges raccordées ne seront pas constantes.

6.7 Distribution électrique du pont

Dans et sur les culées, la distribution électrique est réalisée au moyen de conduit en acier rigide recouvert d'une couche de polychlorure de vinyle (PVC) d'une épaisseur minimale de 1 mm obtenue par trempage à chaud (Hot Dip plastisol).

En plus d'un revêtement électro galvanisé de zinc, les surfaces internes des conduits des raccords et des boîtes d'acier sont enduites d'une couche de peinture époxy acrylique d'une épaisseur minimale de 25 µm.

Tous les cabinets de distribution et panneaux électriques sont en acier du type CEMA1.

Le câble TECK est utilisé dans les culées et les pylônes pour les derniers raccords aux équipements électriques.

La distribution électrique dans le tablier et les pylônes du pont est exécutée au moyen de conduits en résine therm durcissable renforcée (CRTR) pour usage au-dessus du sol (FRE- « ID Based – Standard Wall (SW) ») disponible de 25 mm (1") à 150 mm (6") avec coudes, accouplement, joint d'expansion, joint d'expansion/déflexion, adaptateur femelle fileté, adaptateur mâle fileté, réducteur, fixation, etc. Les joints sont du type collé.

Les boîtes de raccordement sont en fibre de verre avec couvercle fixé par vis, NEMA 4X à l'épreuve des intempéries.

Le filage est du type RWU-90 en cuivre isolé pour une tension minimale de 1000 volts.

Les épissures sont conformes à la norme 016 du Tome IV – chapitre 4 – Dessin normalisé du MTQ.

Tous les raccords, boîtes de raccord, joints de dilatation possèdent la même caractéristique que les conduits (couche de polychlorure de vinyle (PVC)).

6.8 Distribution électrique du viaduc

La distribution électrique du viaduc est exécutée en surface au moyen de conduit métallique recouvert d'une couche de polychlorure de vinyle (PVC) d'une épaisseur minimale de 1 mm obtenue par trempage à chaud (Hot Dip plastisol (Robroy)).

Le réseau de conduit et filage comporte des joints de dilatation entre les lampadaires et aux joints de construction du viaduc. Ces joints de dilatation sont du type « Robroy ».

Le raccordement s'effectue à partir d'une boîte de jonction-tirage en acier galvanisé conforme aux normes du MTQ.

Le filage est du type RWU-90, calibre n° 6 ou selon les exigences.

6.9 Groupes électrogènes d'urgence (2)

Deux groupes électrogènes d'urgence de plus ou moins 150 kW sont prévus pour desservir le pont, dont l'un est localisé du côté nord et l'autre, du côté sud.

Les groupes électrogènes desserviront les charges suivantes :

1. les monte-charges dans les pylônes lors du dépannage. Les dépannages s'effectueront l'un après l'autre;
2. l'éclairage d'urgence dans les culées, le tablier et les pylônes;
3. les luminaires « Sortie »;
4. les balises sur les pylônes;
5. les systèmes de gestion et de surveillance par caméra des portes d'accès et des équipements électriques (inverseur, température, etc.);
6. les systèmes de gestion de mécanique;

Les groupes sont localisés dans les culées et sont refroidis à l'air.

Ces groupes fonctionnent à l'huile diesel n° 2.

Les réservoirs d'huile sont du type à double paroi, conformes aux normes environnementales.

6.10 Points d'alimentation et de distribution pour les intersections

6.10.1 Points d'alimentation

Le point d'alimentation comprend un poteau de bois en pin rouge ou en pin gris, placé dans l'emprise de la route à la limite de celle-ci et un coffret de branchement d'une capacité de 90 A, 347/600 V, 3 phases répondant aux exigences du Tome VII – Matériaux, norme 8305 « Coffret de branchement et de distribution pour l'éclairage routier ».

6.10.2 Point de distribution

Le coffret de distribution répond aux exigences du tome VII – Matériaux, norme 8305 « Coffret de branchement et de distribution pour l'éclairage routier ».

La capacité du coffret de distribution est de 90 A, 347/600 V, 3 phases.

Un compteur peut être installé si requis. En général, le MTQ n'a pas besoin de compteur. Un fût métallique de 6 m le supportera.

Les points d'alimentation et de distribution sont physiquement indépendants des unités d'éclairage. Leur emplacement transversal doit respecter les exigences du tome I – Conception routière, chapitre 13 « Dispositif de retenue ». Dans le cas contraire, l'installation est sur une unité d'éclairage.

Les massifs de fondation sont à 25 mm au-dessus du sol environnant et un accès approprié pour l'entretien est prévu.

Le dégagement minimum requis entre l'unité d'éclairage et les installations des services publics est défini avec l'entreprise de services publics (Hydro-Québec et la compagnie de téléphone de la région).

6.10.3 Distribution électrique pour les intersections

La distribution électrique pour les intersections est exécutée au moyen de conduit PVC-75 °C enfoui à 1,55 m dans le sol. Le conduit PVC-75 °C est installé dans un coussin de sable à 150 mm du fond de la tranchée.

Un ruban indicateur est prévu à ± 350 mm sous la surface du terrain fini.

Le filage est du type RWU-90 de calibre n° 6 ou selon les exigences.

6.11 Raccordement des panneaux à messages variables

Le raccordement de neuf (9) panneaux à messages variables est prévu. Ces panneaux à messages variables sont localisés à différents endroits au nord et au sud, avant le pont suspendu (Baie-Sainte-Catherine, Tadoussac), tandis que des panneaux à message unique ou variable se retrouvent aux abords des principales villes desservies par le pont sur le Saguenay (Saint-Siméon, La Malbaie, Québec, Sacré-Cœur, Bergeronnes, Les Escoumins, Forestville).

6.12 Raccordement des barrières automatiques

Le raccordement électrique des barrières automatiques est prévu. Le contrôle sera exécuté selon les exigences du MTQ.

6.13 Éclairage architectural

L'éclairage architectural prévu pour le pont est raccordé aux services de distribution électrique prévus pour l'éclairage routier et les services du pont.

Le contrôle se fera soit par cellule photoélectrique, par minuterie ou par le système de gestion.

6.14 Calculs d'éclairage

Les calculs d'éclairage selon la méthode de l'IES sont présentés à l'annexe 6.

6.14.1 Calculs d'éclairage par luminance et illuminance

(Voir l'annexe 6).

6.15 Distribution électrique

(Voir le croquis à la fin de cette section).

6.15.1 Emplacement de la chambre de distribution électrique

L'emplacement de la chambre de distribution électrique est montré sur le croquis E1/2.

6.15.2 Diagramme de distribution électrique du pont suspendu, côté sud

Le diagramme de distribution électrique du pont suspendu côté sud est détaillé sur le croquis E2/2. Le côté nord est semblable.

6.16 Estimation des coûts

À noter que les montants présentés au tableau incluent une pondération de 15 % pour l'éloignement. Un pourcentage pour les contingences, les frais d'administration et le profit de l'entrepreneur de 15 % est appliqué à cette étape de l'étude sur le montant total.

6.16.1 Viaduc (N1)

1.	Éclairage du viaduc	805 000 \$
2.	Caméras pour le viaduc	<u>178 000 \$</u>
	Total :	983 000 \$

6.16.2 Intersection Baie-Sainte-Catherine

1.	Éclairage de l'intersection	281 750 \$
2.	Caméras pour l'intersection	32 775 \$
3.	Raccordement de l'éclairage de mise en valeur et raccords des panneaux indicateurs à messages variables	26 450 \$
4.	Raccords des barrières automatiques, etc.	13 225 \$
5.	Intersection à 4 voies (6 lampadaires additionnels)	<u>57 500 \$</u>
	Total :	411 700 \$

6.16.3 Intersection Tadoussac

1.	Éclairage de l'intersection	281 750 \$
2.	Caméras pour l'intersection	32 775 \$
3.	Raccordement de l'éclairage de mise en valeur et raccords des panneaux indicateurs à messages variables	26 450 \$
4.	Raccords des barrières automatiques, etc.	13 225 \$
5.	Intersection à 4 voies (6 lampadaires additionnels)	<u>57 500 \$</u>
	Total :	411 700 \$

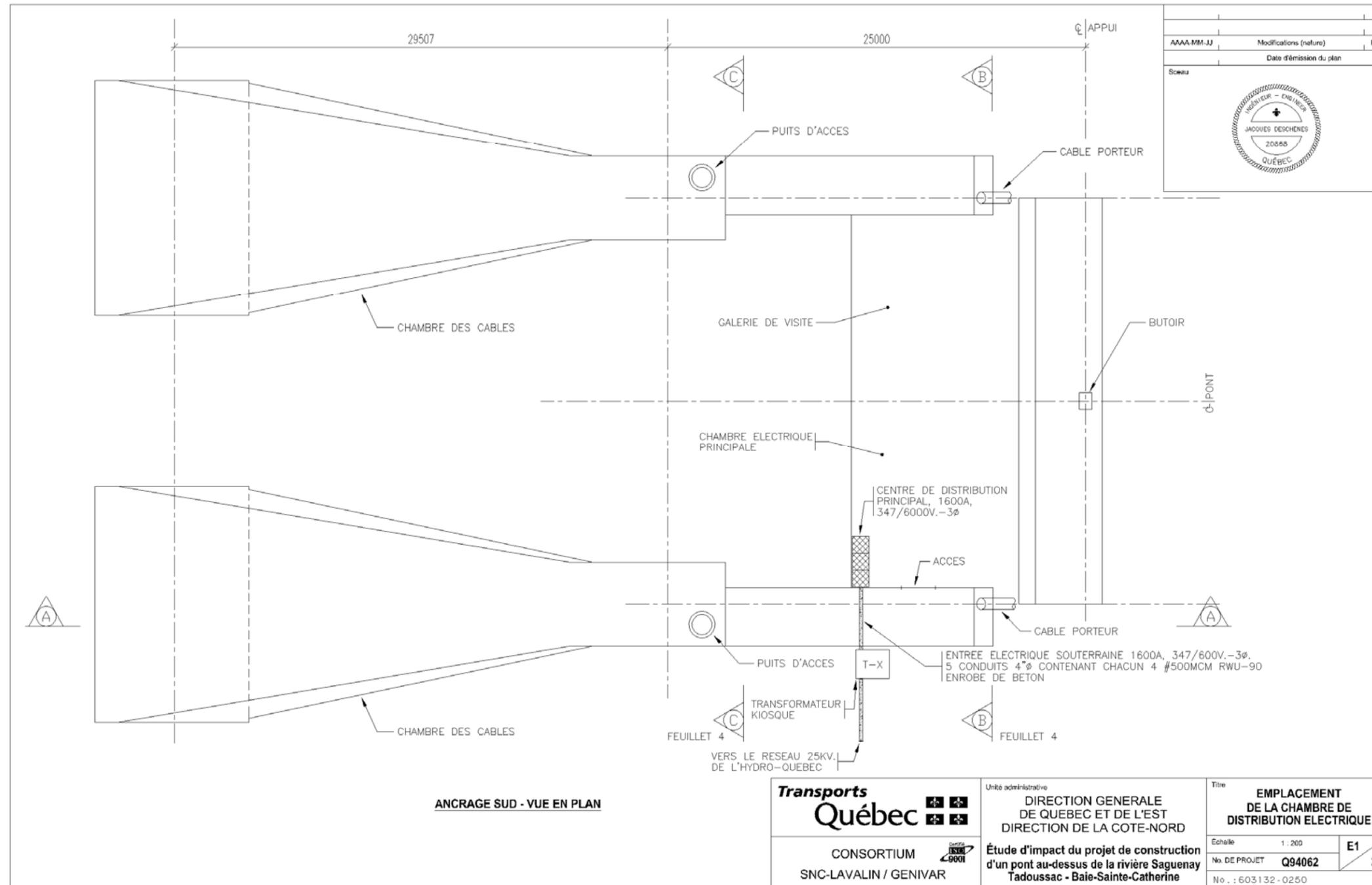
6.16.4 Pont suspendu

1.	Éclairage du tablier et des approches (lampadaire conventionnel)	793 500 \$
2.	Éclairage dans le tablier	445 050 \$
3.	Éclairage et distribution dans les culées, chambres des câbles et chambres mécanique et électrique	187 450 \$
4.	Distribution et éclairage dans les pylônes	885 500 \$
5.	Balises et raccordements électriques	143 750 \$
6.	Circuit de transfert automatique sur la distribution électrique côtés nord et sud	736 000 \$
7.	Contrôle et surveillance des équipements mécaniques et électriques	193 200 \$
8.	Caméras, contrôles, téléphones d'urgence	218 500 \$
9.	Raccordement des projecteurs pour l'éclairage des câbles	414 000 \$
10.	Raccordement des projecteurs pour les pylônes	163 300 \$
11.	Raccordement des appareils LED de la ligne de traversée	1 328 250 \$
12.	Entrées électriques (2) côtés nord et sud et raccordement de la force motrice dans les culées (déshumidification)	931 500 \$
13.	Groupes électrogènes (2), panneau d'urgence, ventilation et alimentation d'huile	391 000 \$
	Total :	6 831 000 \$

6.16.5 Éclairage visuel

1.	Ligne de traversée (2 x 2 000 mètres LED)	2 300 000 \$
2.	Projecteurs des câbles (400 projecteurs de 1 000 W HID)	690 000 \$
3.	Projecteurs des pylônes bas (80 projecteurs 1 000 W HID)	276 000 \$
4.	Fûts sculpturaux du pont (100 fûts)	1 150 000 \$
5.	Stroboscopes (4 stobes plus changeurs de couleur)	23 000 \$
6.	Éclairage de mise en valeur (20 projecteurs de 1 000 W HID)	69 000 \$
	Total :	4 508 000 \$

Emplacement de la chambre de distribution électrique



7. CONCEPT DE MISE EN VALEUR DU PONT ET SES APPROCHES

7.1 Objectifs

Les objectifs principaux à atteindre par l'équipe de conception artistique visent en premier lieu à l'harmonisation du projet avec le paysage exceptionnel du fjord du Saguenay et en second lieu à la conception d'une œuvre artistique pouvant devenir un attrait touristique majeur pour les régions de la Côte-Nord et du Saguenay autant en hiver qu'en haute saison touristique.

Selon le MTQ, la démarche de la conception du projet comprend deux objectifs : la bonification des ouvrages et l'élaboration de mesures de mise en valeur. La bonification des ouvrages vise à assurer la meilleure qualité visuelle possible des ouvrages et l'élaboration des recommandations nécessaires à leur meilleure harmonisation possible avec le paysage. Les recommandations portent sur le traitement architectural du pont et de ses approches (viaduc), le traitement des remblais et des déblais et en particulier celui des parois rocheuses, ainsi que les aménagements paysagers et les écrans visuels nécessaires tout le long du parcours.

Les mesures de mise en valeur visent à compenser les impacts appréhendés par l'intervention qui sont difficilement atténuables ou de tirer profit d'une opportunité d'aménagement. Par exemple, elles peuvent comprendre la création d'aménagements supplémentaires dans les parcs existants, la mise en valeur des anciens quais de la traverse actuelle, la réhabilitation des tronçons de la route 138 qui deviendront des routes municipales ou l'aménagement des intersections entre la nouvelle route et les voies d'accès existantes aux municipalités de Tadoussac et de Baie-Sainte-Catherine.

Le MTQ recommande aussi dans son appel d'offres que le traitement artistique peut être effectué à l'aide d'un traitement spécial du parement des structures et de privilégier l'aluminium comme matériau dans les interventions artistiques et les sculptures.

Selon leurs formations respectives, les participants de l'équipe de conception artistique ont eu les mandats suivants :

L'architecte et le spécialiste en éclairage architectural ont assisté l'architecte paysagiste afin que les composantes particulières du paysage de la zone d'étude soient considérées dans la conception des ouvrages et la sélection de la variante optimale; ont identifié les enjeux visuels et élaboré une série de recommandations

pour la mise en valeur et le traitement architectural du pont et du parcours routier en général autant le jour que la nuit.

L'artiste-sculpteur a eu comme mandat d'assister l'équipe dans la conception artistique du projet en proposant des recommandations spécifiques quant au traitement artistique du parcours routier en général et de privilégier l'aluminium comme matériau de choix pour les éléments sculpturaux. Pour ce faire, il était tenu d'analyser les contraintes reliées au choix de ce matériau et de fournir une analyse et des références quant aux œuvres artistiques existantes en aluminium.

De la même manière, le spécialiste en simulations visuelles a produit un DVD comprenant une série d'animations 3D du parcours routier et plusieurs photos-simulations permettant d'illustrer le résultat de la variante sélectionnée par le MTQ, l'évaluation de la forme des ouvrages, leur intégration dans le paysage et dans le champ visuel des observateurs ainsi que les mesures possibles de mise en valeur.

7.2 Méthodologie

Les travaux de l'équipe de conception artistique ont été intégrés à l'intérieur même du processus de l'étude d'impact du milieu visuel. La première étape a eu trait à la présentation des résultats de l'analyse du paysage et à la détermination des enjeux visuels qui constituaient les éléments de base pour développer les premières recommandations. En collaboration avec l'équipe du volet technique, la seconde étape a consisté à développer un concept de mise en valeur en fonction de l'analyse des différentes variantes proposées et de la détermination de la variante optimale. La dernière étape a servi à analyser les impacts visuels de la variante retenue et à produire une série d'animations 3D et de photos-simulations.

Afin de bien cerner le paysage existant, plusieurs visites de terrain ont été effectuées à différentes saisons (printemps, été, automne, hiver) pendant l'année 2003 pour réaliser l'analyse du paysage de la zone d'étude et ses différents enjeux. Un rapport préliminaire sur la description du milieu visuel a été déposé par la suite au MTQ.

À la demande du MTQ, une première simulation visuelle a été réalisée en janvier 2004 pour analyser plus précisément la variante N3.

En mars 2004, il a été convenu avec le MTQ et les membres de l'équipe de conception artistique que les travaux porteraient sur le choix des variantes S1 et N1 et que tous les participants devraient effectuer une visite de la zone à l'étude en plus de participer à une série de réunions de brainstorming avec le MTQ et les membres de l'équipe du volet technique.

Les résultats du rapport sur la description du milieu visuel pour le volet environnement et ses enjeux visuels ont été présentés à la réunion du 16 mars 2004 en présence de Fabien Lecours du MTQ, des membres de l'équipe du volet

technique et du volet environnement ainsi que de l'équipe de conception artistique. Lors de cette réunion, les membres de l'équipe du volet technique ont aussi présenté les résultats de leurs analyses, c'est-à-dire la description des composantes techniques du projet ainsi que les différentes possibilités et contraintes au niveau de leur mise en valeur. Les échanges ont porté plus particulièrement sur le pont, le viaduc, la route et l'éclairage général de l'ensemble de ces composantes.

Plusieurs réunions se sont tenues par la suite entre les différents participants du Consortium pour définir les orientations principales du concept. Plusieurs aspects ont été pris en considération en raison des nombreuses contraintes environnementales et techniques reliées à la région du fjord du Saguenay, c'est-à-dire les séismes, les forts vents, les variations de température en toutes saisons (brouillard, givre, etc.), le relief montagneux, les vibrations du futur pont, les parcs existants, les oiseaux migrateurs sans oublier la sécurité des usagers et des résidents, la durabilité, l'entretien, le vandalisme, les coûts de réalisation et d'entretien, etc. Les composantes techniques pouvant faire l'objet de mesures de mise en valeur et d'harmonisation au niveau du pont et du viaduc sont l'aspect du béton des pylônes et des semelles, le garde-corps du parapet, l'embout du tablier, les glissières et l'éclairage architectural. Au niveau de l'ensemble du parcours routier, les mesures de mise en valeur portent sur les remblais et déblais incluant le roc, les carrefours, les aires de stationnement aux abords du pont et pour les camions.

7.3 Définition du concept

De manière générale, le concept proposé de mise en valeur propose que le projet de construction de la nouvelle infrastructure routière dans son ensemble (c'est-à-dire le pont, le viaduc, la route et les carrefours) soit considéré comme un parcours animé entre Baie-Sainte-Catherine et Tadoussac qui servira à la découverte du paysage pour les usagers qui l'emprunteront.

Le parcours routier est subdivisé en huit secteurs en fonction des composantes du projet élaborées par le volet technique et la présence de quatre éléments importants du paysage soit les secteurs forestiers, les secteurs rocheux, le secteur du fjord et les entrées des municipalités.

- Secteur 1 : Le carrefour Baie-Sainte-Catherine
- Secteur 2 : Le parcours boisé Sud
- Secteur 3 : La tranchée et le belvédère Sud
- Secteur 4 : Le pont suspendu
- Secteur 5 : La tranchée et le belvédère Nord
- Secteur 6 : Le viaduc
- Secteur 7 : Le parcours boisé Nord
- Secteur 8 : Le carrefour Tadoussac

Des recommandations supplémentaires sont émises concernant les interventions possibles hors parcours telles que les aires d'arrêt des camions et la mise en lumière des municipalités.

Les orientations suivantes sont définies pour l'ensemble du parcours routier par l'équipe responsable du concept de mise en valeur en collaboration avec les membres des volets technique et environnemental et le MTQ.

Le plan du concept de mise en valeur est illustré à l'annexe 7.

7.3.1 Les carrefours Baie-Sainte-Catherine et Tadoussac (secteurs 1 et 8)

À chaque extrémité du parcours, les deux carrefours situés aux intersections de la nouvelle route et de l'actuelle route 138 deviendront des lieux stratégiques et de repères très importants pour inciter les usagers à faire un arrêt aux municipalités de Baie-Sainte-Catherine et de Tadoussac en plus de favoriser la fluidité de la circulation routière de manière sécuritaire. Un élément de signalisation fort telle qu'une sculpture accompagnée de bannières et de massifs de végétaux permet de souligner davantage les carrefours

La sculpture mesure un minimum de 6 mètres afin de retenir l'attention et être très attrayante autant le jour que la nuit. Les bannières servent à renforcer le rôle de la sculpture par l'effet du mouvement et des couleurs en plus de servir de guide visuel. Une thématique particulière doit être élaborée pour chacun des carrefours en fonction des attraits de chaque municipalité. Par exemple, les éléments suivants peuvent être soulignés par les carrefours : la porte d'entrée du fjord, le lien entre les deux rives, la présence des mammifères marins, l'histoire régionale tel que le traité de paix de Champlain sur la Pointe des Alouettes, le premier poste de traite à Tadoussac, etc. Les éléments doivent tenir compte des normes de sécurité et d'entretien du MTQ en plus d'être conçus avec des matériaux durables. À cet effet, l'aluminium est un type de matériau intéressant à utiliser pour la réalisation des éléments structuraux. Afin de souligner davantage les entrées des municipalités et de servir comme élément complémentaire de repère et d'attrait visuel, un éclairage décoratif et de mise en valeur des éléments sculpturaux et des bannières doit être intégré à l'aménagement des carrefours.

Les simulations visuelles illustrent des modèles proposés pour le carrefour de Baie-Sainte-Catherine et Tadoussac de même que les secteurs 1 et 8 (Pour référence, voir annexe 7).

7.3.2 Les parcours boisés Sud et Nord (secteurs 2 et 7)

Les parcours boisés comprennent les secteurs traversés par la nouvelle infrastructure routière dans les secteurs forestiers présents dans les municipalités de Baie-Sainte-Catherine mais aussi de Tadoussac. Afin de guider et d'animer la nouvelle route, une série de panneaux installés de chaque côté traitent des caractéristiques régionales et donnent de l'information touristique sur les municipalités. Les panneaux d'information doivent être conçus avec un souci esthétique et une volonté d'harmonisation avec le paysage. Pour ce faire, les matériaux utilisés et la forme des panneaux doivent s'inscrire en continuité avec le traitement particulier du pont, du viaduc, des tranchées et des carrefours. L'attribution d'une thématique au parcours du pont (ex : route des baleines) assure la continuité. À cet effet, un logo emblématique doit être développé pour marquer la présence de toutes les interventions de mise en valeur sur l'ensemble du parcours.

Les usagers circulant du côté de Baie-Sainte-Catherine vers le nord peuvent apercevoir deux premiers panneaux qui soulignent la présence des écosystèmes locaux tels que le fjord, la baie, etc. Le troisième sert à présenter les caractéristiques particulières du pont (longueur record, etc.) aux usagers avant de le traverser.

Pour les usagers en sens inverse, les panneaux peuvent présenter les attraits touristiques du secteur de Baie-Sainte-Catherine comme les croisières aux baleines, le site du traité de paix de Champlain sur la Pointe des Alouettes, le centre d'interprétation et d'observation de Pointe-Noire, le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent, le parc national du Saguenay, etc.

Les usagers circulant du côté de Tadoussac vers le sud peuvent apercevoir eux aussi des panneaux traitant des écosystèmes locaux tels que le fjord du Saguenay, la baie de Tadoussac, etc. ainsi que les caractéristiques du pont.

De la même manière, les panneaux en sens inverse présentent les attraits touristiques du secteur de Tadoussac comme les croisières aux baleines, les musées, le parc national du Saguenay, le premier poste de traite à Tadoussac, etc.

Les figures 2 et 7 illustrent les recommandations pour les parcours boisés (Pour référence, voir annexe 7).

7.3.3 Les tranchées et les belvédères Sud et Nord (secteurs 3 et 5)

Les tranchées comprennent les secteurs rocheux situés au niveau des travées d'approche du pont.

Les parois rocheuses résultantes de l'excavation nécessaire à la construction du pont peuvent être mises en valeur par l'installation d'œuvres artistiques d'envergure à même le plan incliné de la paroi. Ces œuvres peuvent être sculptées à même la tranchée si la composition rocheuse le permet ou encore faites de pièces d'aluminium fixées aux parois rocheuses. Elles peuvent évoquer des fossiles de

poissons et de mammifères marins qui ressortent de la paroi rocheuse. Leur mise en lumière permet de les intégrer à l'ensemble du parcours par une scénographie particulière qui renforce l'interprétation du paysage pendant la traversée nocturne du parcours.

La construction du pont offre aussi la possibilité unique de découvrir le fleuve sous un nouvel angle et d'offrir un panorama exceptionnel aux amateurs de la nature. Pour ce faire, l'aménagement d'un belvédère aux abords du pont doit être considéré lors des études futures. Une aire de stationnement peut être aménagée à l'approche du pont et accessible pour les visiteurs grâce à des sentiers aménagés dans le boisé environnant attenant au Parc national du Saguenay. Le belvédère offre ainsi l'occasion aux gens de faire une pause tout en admirant le paysage exceptionnel qu'offrent le fjord du Saguenay et le fleuve Saint-Laurent.

La construction d'un belvédère permet également d'offrir un point de vue intéressant sur le nouveau pont. Des tables d'interprétation peuvent être aménagées sur le belvédère afin de fournir plus d'information aux visiteurs sur les caractéristiques et la construction du pont.

Les figures 3 et 5 illustrent les recommandations pour les tranchées et les belvédères (Pour référence, voir annexe 7).

7.3.4 Le pont suspendu (secteur 4)

Le type de pont suspendu retenu par l'équipe du volet technique a d'abord été sélectionné en raison de la configuration particulière du fjord du Saguenay et des contraintes techniques dues à ce milieu (largeur du cours d'eau, relief fortement escarpé des rives, forts vents, zone sismique très élevée, etc.)

En raison de la longueur de sa travée, ce pont constituera le cinquième plus long pont suspendu au monde et le plus long en Amérique du Nord, ce qui en fait un attrait touristique majeur aux niveaux régional et international.

En raison de ses propriétés, l'aluminium est employé seulement dans un but esthétique plutôt que structural. À cet effet, des éléments décoratifs sont intégrés à la structure du pont combinés avec les éléments d'éclairage architectural afin de renforcer la continuité visuelle de la thématique retenue pour l'ensemble du parcours.

En plein jour, le pont agit en capteur de lumière et change d'apparence au fil des heures. Afin d'intégrer le pont au paysage de façon harmonieuse, toutes ses composantes doivent être de couleur gris clair; ceci permet aussi de rendre plus efficace la réflexion de l'éclairage nocturne sur la structure. De plus, la couleur grise favorise l'intégration visuelle en établissant un lien avec l'aluminium en autant que les surfaces soient mates.

La nuit, le pont continue d'être un élément important de l'environnement naturel et culturel de la région. Dans cette perspective, la stratégie lumière du projet doit tenir compte de l'environnement particulier du site. La lumière doit s'intégrer à l'environnement nocturne et sa gestion doit être strictement contrôlée. Par exemple, la voilure peut être exprimée à volonté pour des raisons fonctionnelles (sécurité des usagers, migrations aviaires, etc.), festives ou signalétiques (présence discrète quotidienne). La traversée doit être soulignée d'un geste fort mais discret. La programmation des instruments qui composent la ligne peut permettre d'en varier la forme et la couleur à volonté selon les événements. Le mobilier d'éclairage tente pour sa part d'exprimer l'échelle d'un mammifère marin. La stratégie d'illumination doit ainsi conjuguer de la manière la plus efficace la mise en valeur de la voilure, de la corde haute et des pylônes

La figure 4 illustre les recommandations pour le pont (Pour référence, voir annexe 7).

7.3.5 Le viaduc (secteur 6)

Le viaduc est un élément très important à tenir compte, car il sera perçu au niveau visuel comme un prolongement du pont suspendu. À cet effet, la forme effilée des piles a été choisie de manière à diminuer l'impact visuel sur le paysage. Afin d'animer le passage sur le viaduc et l'approche du pont, un alignement d'éléments verticaux dynamiques comme des bannières ou des sculptures modulées par la force du vent sont installées de chaque côté de la route. Les thèmes marins peuvent être évoqués à travers ces structures. Grâce à la courbure proposée dans le tracé du viaduc, ces éléments dynamiques peuvent être vus autant comme un ensemble que comme des éléments ponctuels.

La figure 6 illustre les recommandations pour le viaduc (Pour référence, voir annexe 7).

7.3.6 Les aires d'arrêt des camions

Situées à l'extérieur des carrefours d'accès aux municipalités, les aires d'arrêt sont conçues exclusivement pour permettre aux camions de faire un arrêt en cas de fermeture temporaire du pont. Elles constitueront les premiers éléments visuels perçus par les usagers avant les carrefours et deviendront ainsi les premiers points de repère signalant l'approche du pont.

Pour ces raisons, les aires d'arrêt des camions doivent s'intégrer au paysage environnant de façon harmonieuse. L'harmonisation avec le paysage doit se faire en conservant une bande boisée autour des aires de stationnement, en effectuant un nivellement harmonisé au relief naturel et par l'ajout de plantations. Les bâtiments qui en feront partie doivent recevoir un traitement architectural particulier représentatif de l'architecture typique des municipalités de la région.

Les recommandations pour les aires d'arrêt sont illustrées à l'annexe 7.

7.3.7 Mise en valeur des municipalités

La stratégie finale de mise en lumière du pont doit prendre en compte les possibilités de s'intégrer à une offre touristique plus large. Des projets de mise en valeur du tissu architectural et du paysage grâce à la lumière doivent faire partie d'une stratégie de renouvellement de l'offre touristique de la région tout comme la construction et l'illumination du pont.

Les recommandations pour la mise en lumière des municipalités sont illustrées à l'annexe 7.

7.4 Simulations visuelles

La production d'animations 3D et de photos-simulations s'est réalisée conjointement avec le concept de mise en valeur. Les simulations ont pour but de visualiser la variante sélectionnée dans le paysage de la zone d'étude et illustrer les champs visuels des différents observateurs du milieu tels que ceux des usagers circulant sur la voie routière, sur la voie maritime, par voie aérienne ainsi que les champs visuels des résidents et des touristes situés à différents points de vue d'intérêt. Pour ce faire, la modélisation de la zone d'étude a été réalisée dès le début du projet. Les simulations animées comprennent une animation du parcours dans les deux sens de l'usager sur la voie routière illustrant l'ensemble des composantes du projet sauf les carrefours, une animation à partir du fleuve pour illustrer le champ visuel des usagers sur la voie maritime et une animation en surplomb pour illustrer le projet vu à vol d'oiseau. Les simulations fixes illustrent les champs visuels des observateurs situés à différents endroits significatifs de la zone d'étude tels que l'halte routière, l'hôtel Tadoussac, Pointe Noire, etc. À partir d'un synopsis, les simulations visuelles ont fait l'objet d'un DVD afin de permettre la présentation aux différents intervenants du projet (le DVD se trouve à la fin de ce rapport).

Les simulations visuelles fixes sont illustrées à l'annexe 7.

En conclusion, d'autres interventions de mise en valeur à l'extérieur du parcours peuvent aussi être examinées afin de compléter les efforts d'harmonisation visuelle de l'ensemble de ce projet. Par exemple, il serait intéressant que les belvédères et les autres sites d'observation à vocation touristique situés dans les municipalités et les parcs environnants intègrent des panneaux d'information et des éléments signalétiques basés sur la thématique retenue pour le parcours du pont. Il faudrait aussi amorcer une discussion concernant la mise en valeur des quais actuels du traversier. Par exemple, l'historique des types de traversée sur le Saguenay jusqu'à la construction du pont peut être une thématique intéressante à explorer. Dans la même optique, un tour guidé du pont et des municipalités de Tadoussac et Baie-Sainte-Catherine peut devenir un moyen de contrebalancer l'effet de contournement du pont puisqu'il exploiterait l'effet attractif du pont tout en intégrant les municipalités à travers un circuit touristique.

Il sera aussi très important que l'équipe d'exécution des plans et devis du pont et de son parcours soit multidisciplinaire (ingénieur, architecte, architecte paysagiste, spécialiste en éclairage architectural, aménagiste, spécialiste en illustration touristique, etc.) afin de pouvoir concrétiser l'harmonisation et la mise en valeur tel que proposé dans le présent chapitre. De plus, l'établissement d'un processus de concertation avec les résidants et les différents intervenants du milieu devrait aussi être prévu à travers les différentes étapes d'exécution des plans et devis.

8. ESTIMATION BUDGÉTAIRE ET ÉCHÉANCIER

Toutes les estimations sont en dollar constant 2004.

8.1 Estimation budgétaire

Le tableau 8.1 présente le coût du projet à deux voies appelé phase 1. Le tableau 8.2 présente le coût de la phase 2. La phase 2 consiste à modifier le projet exécuté en phase 1 pour en faire un projet à quatre voies.

Dans la phase 2, l'élargissement du tablier du viaduc du tracé N-1 se fera par l'ajout d'un caisson de chaque côté du tablier existant. Cette solution demandera aussi la construction de piles de chaque côté des piles existantes. Pour le tracé S-1, un pont similaire à celui proposé sera requis au-dessus du ruisseau Ste-Catherine.

Le tableau 8.3 présente le coût du projet à quatre voies exécuté en deux phases, soit la phase 1 plus la phase 2.

Le tableau 8.4 présente le coût du projet à quatre voies effectué en une seule phase.

Le projet à deux voies permet une réduction de 7% du coût par rapport à un projet à quatre voies. La construction d'un projet à quatre voies en deux phases amène un accroissement de 3% sur le coût d'un projet à quatre voies exécuté en une seule phase. Par ailleurs, les débits de circulation actuels et futurs justifient difficilement ou pas du tout une route à quatre voies. Toutefois, une route à quatre voies est plus sécuritaire qu'une route à deux voies. Mais est-il raisonnable d'augmenter les nombres de voies quand les besoins ne le justifient pas et spécialement dans un environnement qui requiert le minimum d'impact.

Tableau 8.1 Estimation budgétaire, Phase 1 (2 voies)

Routes et ouvrages d'art	Études géotechniques	Plans et devis	Surveillance des travaux	Construction	Total
Pont Suspendu*	910 000 \$	13 000 000 \$	18 000 000 \$	680 600 000 \$	712 510 000 \$
Viaduc et pont					
• Tracé N-1	190 000 \$	1 830 000 \$	4 720 000 \$	47 194 000 \$	53 934 000 \$
• Tracé S-1	40 000 \$	170 000 \$	422 000 \$	4 220 000 \$	4 852 000 \$
Routes					
• Tracé N-1	80 000 \$	500 000 \$	998 000 \$	12 682 200 \$	14 260 200 \$
• Tracé S-1	140 000 \$	1 100 000 \$	2 250 000 \$	25 791 200 \$	29 281 200 \$
Total	1 360 000 \$	16 600 000 \$	26 390 000 \$	770 487 400 \$	814 837 400 \$

* Le pont suspendu est toujours conçu pour 4 voies.

Tableau 8.2 Estimation budgétaire, Phase 2 (élargissement du tracé à 4 voies)

Routes et ouvrages d'art	Études géotechniques	Plans et devis	Surveillance des travaux	Construction	Total
Viaduc et pont					
• Tracé N-1	150 000 \$	2 300 000 \$	5 900 000 \$	59 000 000 \$	67 350 000 \$
• Tracé S-1	45 000 \$	197 000 \$	450 000 \$	4 220 000 \$	4 912 000 \$
Routes					
• Tracé N-1	30 000 \$	205 000 \$	410 000 \$	4 100 000 \$	4 745 000 \$
• Tracé S-1	60 000 \$	455 000 \$	910 000 \$	9 300 000 \$	10 725 000 \$
Total	285 000 \$	3 157 000 \$	7 670 000 \$	76 620 000 \$	87 732 000 \$

Tableau 8.3 Estimation budgétaire (Tracé à 4 voies, phase 1 + phase 2)

Routes et ouvrages d'art	Études géotechniques	Plans et devis	Surveillance des travaux	Construction	Total
Pont Suspendu	910 000 \$	13 000 000 \$	18 000 000 \$	680 600 000 \$	712 510 000 \$
Viaduc et pont					
• Tracé N-1	340 000 \$	4 130 000 \$	10 620 000 \$	106 194 000 \$	121 284 000 \$
• Tracé S-1	85 000 \$	367 000 \$	872 000 \$	8 440 000 \$	9 764 000 \$
Routes					
• Tracé N-1	110 000 \$	705 000 \$	1 408 000 \$	16 782 200 \$	19 005 200 \$
• Tracé S-1	200 000 \$	1 555 000 \$	3 160 000 \$	35 091 200 \$	40 006 200 \$
Total	1 645 000 \$	19 757 000 \$	34 060 000 \$	847 107 400 \$	902 569 400 \$

Tableau 8.4 Estimation budgétaire (Tracé à 4 voies)

Routes et ouvrages d'art	Études géotechniques	Plans et devis	Surveillance des travaux	Construction	Total
Pont Suspendu	910 000 \$	13 000 000 \$	18 000 000 \$	680 600 000 \$	712 510 000 \$
Viaduc et pont					
• Tracé N-1	160 000 \$	3 400 000 \$	8 700 000 \$	87 000 000 \$	99 260 000 \$
• Tracé S-1	60 000 \$	300 000 \$	800 000 \$	8 000 000 \$	9 160 000 \$
Routes					
• Tracé N-1	88 000 \$	630 000 \$	1 260 000 \$	15 256 700 \$	17 234 700 \$
• Tracé S-1	180 000 \$	1 450 000 \$	2 925 000 \$	32 531 700 \$	37 086 700 \$
Total	1 398 000 \$	18 780 000 \$	31 685 000 \$	823 388 400 \$	875 251 400 \$

8.2 Échéancier de réalisation

Deux scénarios A et B ont été étudiés pour la réalisation des travaux de la phase 1 (2 voies). L'échéancier de ces deux scénarios est montré aux tableaux 8.5 et 8.6.

Les échéanciers des deux scénarios ont été montés en considérant qu'il n'y aurait pas de travaux durant la période hivernale, étant donné les conditions climatiques durant l'hiver, grands vents, froid intense, les travaux seront réalisés en hauteur.

L'entrepreneur choisi pourrait décider de travailler durant ces mois d'hiver s'il juge que c'est profitable. L'échéancier pourra alors être comprimé et la mise en service du pont devancée.

8.2.1 Scénario A

Ce scénario consiste à confier dans un seul contrat les travaux de routes, viaduc et pont suspendu.

8.2.2 Scénario B

Ce scénario consiste à octroyer deux contrats distincts. Le premier comprend la route et le viaduc. Le second comprend le pont suspendu.

La construction pour le second contrat débutera une fois que celle du premier est complétée.

