



MINISTÈRE DES TRANSPORTS



PROJET DE CONSTRUCTION DU NOUVEAU PONT DE L'ÎLE D'ORLÉANS – N° DE DOSSIER 3211- 02-302 AU MELCC

Réponses aux questions pour donner suites aux séances
publiques du 13 et 14 décembre 2021

2021-12-16

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	I
SÉANCES PUBLIQUES DE CONSULTATION CIBLÉE BAPE.....	2
QUESTIONS SOUMISES 13 DÉCEMBRE	2
Question 1	2
Question 2	3
Question 3.	3
ANNEXE	5

SÉANCES PUBLIQUES DE CONSULTATION CIBLÉE BAPE

La présente est pour faire suite aux séances publiques tenues par le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) tenues à l'Hôtel Ambassadeur Québec les 13 et 14 décembre 2021 concernant les enjeux ciblés dans la lettre mandat du ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques portant sur le projet de construction du nouveau pont de l'île d'Orléans.

Lors de ces audiences, une brève description du projet ainsi que les enjeux ciblés dans la lettre mandat ont été présentés par le porte-parole du ministère des Transports (Ministère). Lors de la période de questions, la plupart ont été répondues en direct par le porte-parole et les experts aux séances. Cependant, certaines questions ont nécessité la consultation d'autres experts ou de documentation qui n'était pas disponible lors de la séance et n'ont pas pu être répondues à ce moment.

Ce document a pour but de répondre à ces questions.

QUESTIONS SOUMISES

Question 1

Est-ce que d'autres types de ponts avaient été étudiés outre celui sélectionné? Pouvez-vous nous les présenter?

Le Ministère a procédé à une série d'analyses dans le cadre du projet avant de recommander l'option de construction d'un nouveau pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent. Voici la liste des types de ponts étudiés à l'étude des solutions :

- Réfection du pont existant avec maintien des fondations actuelles
- **Réfection du pont existant avec réhabilitation avec des fondations profondes**
- Mise en place de traversier
- Construction d'une jetée (digue)
- Construction d'une jetée-pont
- **Construction d'un pont à haubans**
- Construction d'un pont suspendu
- Construction d'un pont à poutre (pont à voussoirs)
- Construction d'un pont à travées conventionnelles
- Construction d'un tunnel déposé avec caisson immergé
- Construction d'un tunnel déposé coulé sur place
- Construction d'un tunnel foré dans le roc
- **Construction d'un tunnel foré dans le roc et le mort terrain**

Les options en gras sont celles qui ont été sélectionnées pour l'analyse détaillée à la suite de l'analyse par facteur. Les facteurs déterminants considérés dans l'analyse sont :

- la faisabilité et la constructibilité;
- la fluidité de la circulation ainsi que la sécurité et le confort des usagers;
- l'impact sur le milieu biophysique;

- l'impact sur le milieu humain;
- le respect du patrimoine;
- la résistance à un séisme majeur.

L'analyse a été effectuée par un comité technique composé de spécialistes dans les domaines d'expertise suivants : structures, géotechnique, géométrie routière, circulation et sécurité routière, climat sonore, biologie, aménagement du territoire et urbanisme, architecture de paysage et patrimoine.

Question 2

Veillez fournir un résumé des types de ponts (question 1) et des emplacements qui ont été étudiés et ce qui a fait qu'ils n'ont pas été retenus.

Voir annexe 1

Question 3.

Des études sur l'impact de la réalisation de travaux sur le pont actuel ont été faites. Veuillez fournir ces documents, en entier si possible, sinon les conclusions de ces études. En outre, veuillez expliquer les raisons techniques qui justifient de maintenir une distance de 120 m entre le futur pont et celui actuel.

Pendant l'audience, le Ministère a fait référence aux études réalisées lors des travaux de densification des sols pour les fondations du pilier 12 réalisés en 2009 par le ministère des Transports¹. Le contenu du rapport présente les analyses sismiques réalisées préalablement aux travaux, mais également les analyses structurales réalisées à la suite des travaux sur le pilier 12. Les conclusions et recommandations de cette étude sont présentées à l'annexe 2.

Cette étude permet d'établir que les importants travaux de forages des nouvelles fondations à proximité des fondations du pont existant occasionneraient un impact tout aussi important que celui observé dans le cadre des travaux de densification du pilier 12. Pour éviter tout risque sur la structure existante, déjà à la fin de sa vie utile, une certaine distance est requise entre les travaux du nouveau pont et le pont existant.

La raison principale qui a guidé le choix du Ministère de maintenir une distance minimale de 120 mètres entre l'axe du nouveau pont et le pont existant est d'éviter tout risque d'effondrement potentiel de la structure existante sur le nouveau pont (ou la zone de chantier) en cas de séisme extraordinaire. La distance de 120 mètres permet de neutraliser complètement le risque qu'un des pylônes du pont actuel, d'une hauteur d'environ 100 m, chute à proximité du nouveau pont, ce qui aurait des impacts majeurs.

Cette distance entre les deux ponts présente également plusieurs avantages :

- Permet d'éviter tout effort additionnel sur les fondations du pont existant puisque l'aménagement des jetées de construction et de déconstruction requiert un certain espace libre compte tenu de la hauteur requise des jetées et des pentes sécuritaires de talus soumises aux glaces et aux marées.

¹ LEBOEUF, D. et CHAALLAL, O. (2009), « Densification des fondations du pilier 12 du Pont de l'Île-d'Orléans : étude et optimisation », Québec, Université Laval, décembre 2009;

- Permet d'éviter tout risque que la construction des fondations profondes (de l'ordre de 80 à 90 m) pour les unités de fondation en rive nord endommage les fondations du pont existant.
- Permet de minimiser les contraintes qui pourraient être applicables à la construction des fondations du nouveau pont.
- Permet de dégager un espace suffisant, en rive sud et nord, pour l'installation des aires de chantier requises à la limite du pont pour assembler et pousser le pont. Une distance minimale est requise pour permettre à l'entrepreneur de manipuler les pièces du nouveau pont tout en assurant la circulation sur le pont existant en tout temps.

La distance de 120 m entre le nouveau pont et le pont existant a principalement été établie pour des raisons de sécurité entre les deux ouvrages. Toutefois, cette distance permettra aussi d'assurer un espace suffisant pour la réalisation des travaux et de divers aménagements fonctionnels et fauniques ainsi que pour assurer les déplacements en transport actif qui sont prévus dans les limites du projet.

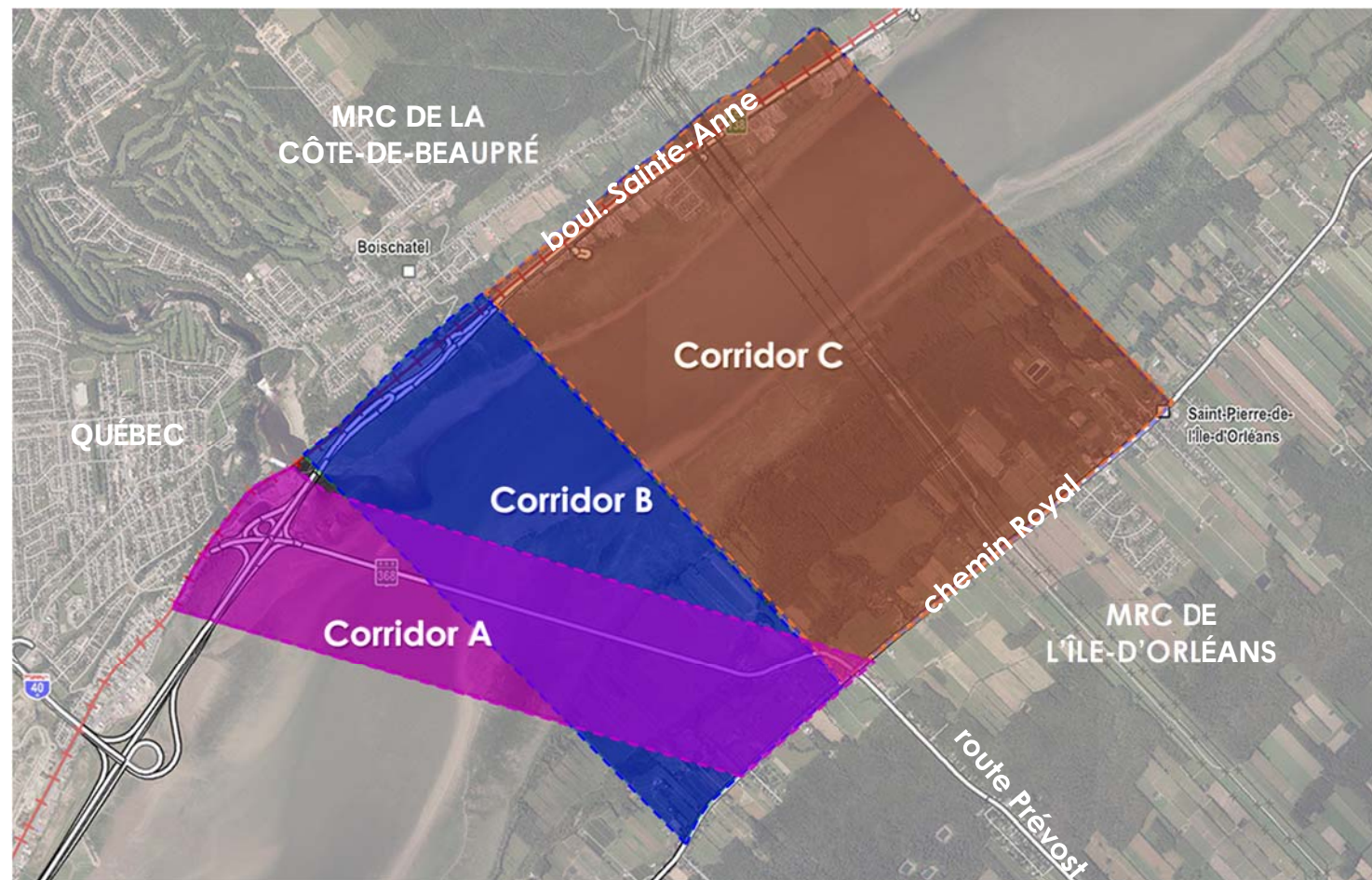
ANNEXES



2. CORRIDORS POTENTIELS POUR L'IMPLANTATION D'UN NOUVEAU PONT

Afin de faciliter le développement de variantes de tracés, la zone d'étude a été découpée en trois corridors distincts illustrés à la figure 10.

Figure 10 : Corridors à l'étude



Source : MTQ, 2015

Corridor A : Pont actuel

- Axe du pont actuel inclus;
- Localisation à l'ouest de la rivière Montmorency;
- Raccordements possibles au réseau routier actuel similaires aux raccordements existants;
- Traversée du fleuve en diagonale : environ 2,1 km entre les 2 rives;
- Chenal navigable d'une largeur moyenne de 300 mètres disponible.

Corridor B : Boischatel

- Localisation à l'est de la rivière Montmorency;
- Raccordements au réseau routier actuel :
 - o Sur la rive nord : nouveau raccordement avec le réseau routier à concevoir;
 - o Sur l'île d'Orléans : raccordement possible au réseau routier actuel.
- Traversée perpendiculaire au fleuve : environ 2 km entre les 2 rives;
- Chenal navigable d'une largeur moyenne de 250 mètres disponible.

Corridor C : Lignes hydroélectriques

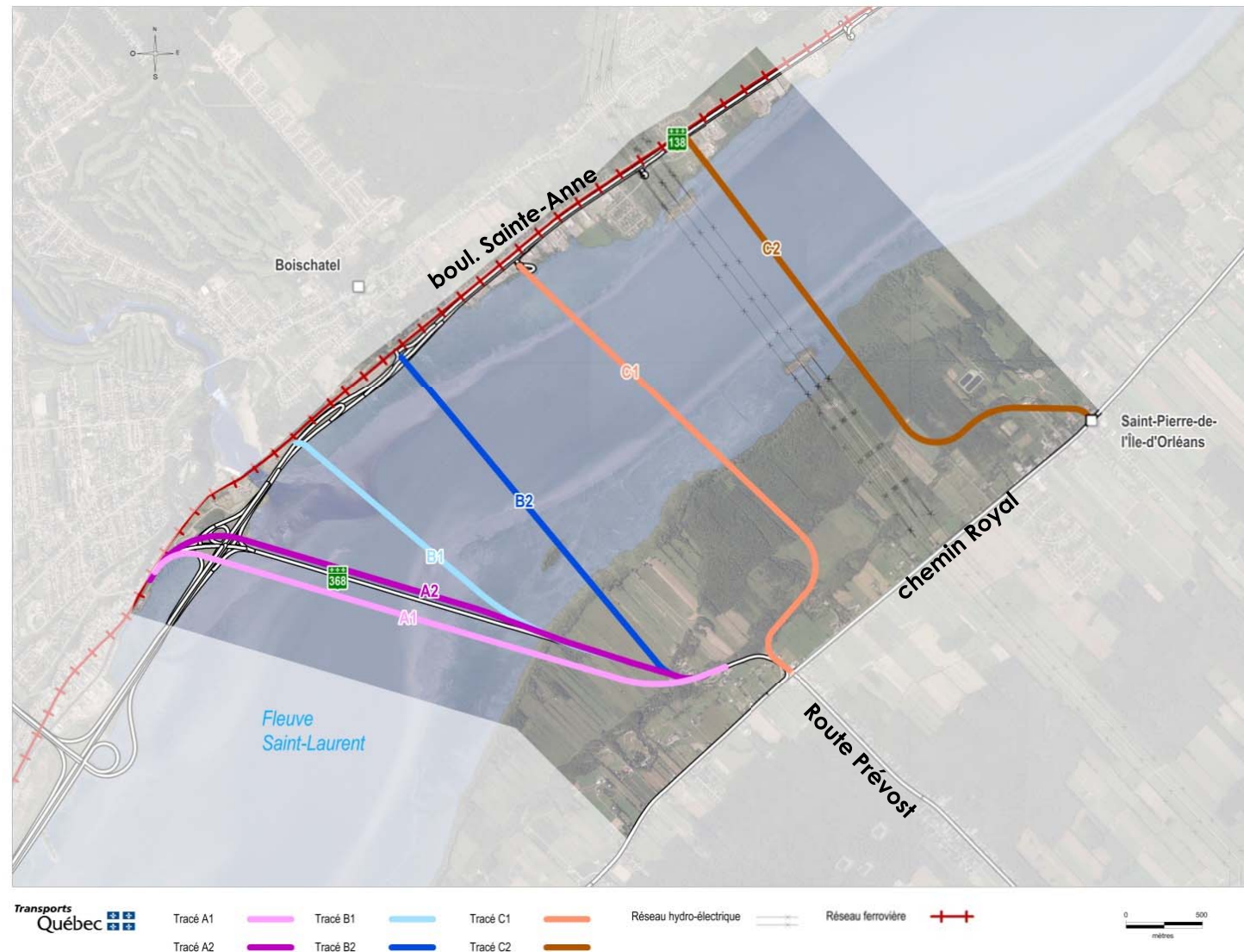
- Endroit le plus étroit du secteur à l'étude;
- Lignes hydroélectriques inclus;
- Nouveaux raccordements au réseau routier actuel à concevoir sur les 2 rives :
 - o Rive nord : espace disponible limité par la présence de la voie ferrée et de la falaise; nouvelle géométrie de la route 138 à construire;
 - o Île d'Orléans : nouvelle route à construire jusqu'au chemin Royal (route 368).
- Traversée perpendiculaire au fleuve : environ 1,6 km entre les 2 rives;
- Chenal navigable d'une largeur moyenne de 500 mètres disponible
- Espace minimal à considérer entre les lignes hydroélectriques et le nouveau pont : 200 mètres (tours hydroélectriques : hauteur de 122 mètres);
- Résultats partiels dans ce secteur pour les profondeurs de roc.



4. COMPARAISONS DES VARIANTES DE TRACÉS

La figure ci-dessous illustre l'ensemble des variantes de tracés à l'étude pour les trois corridors.

Figure 18 : Présentation des six tracés



Source : MTQ, 2015

4.1 ANALYSE MULTICRITÈRE

Afin de déterminer les tracés qui répondent le mieux aux objectifs du projet, une analyse multicritère a été réalisée. Les sections suivantes présentent la méthodologie utilisée pour cette analyse ainsi que les faits saillants des résultats.

4.1.1 MÉTHODOLOGIE

Le tableau D-1 en annexe présente l'ensemble des critères évalués en lien avec les objectifs jugés déterminants dans le choix du tracé optimal. Les objectifs que tous les tracés répondent adéquatement n'ont pas été considérés pour la présente analyse. C'est le cas, entre autres, de la résistance aux séismes et du maintien de la voie navigable qui sont assurés pour tous les tracés. Les critères ont été classés selon trois familles d'enjeux soit :

- Enjeux techniques;
- Enjeux biophysiques;
- Enjeux humains.

Comme l'avenir du pont patrimonial fera l'objet d'une décision gouvernementale ultérieurement, l'analyse multicritère considère chacun des tracés avec ou sans le pont actuel.

Pour faciliter leur comparaison, tous les tracés sont présentés à la figure 18. Les faits saillants de l'analyse multicritère sont détaillés dans la section 4.1.2.

4.1.2 FAITS SAILLANTS DES RÉSULTATS

Tracés dans le corridor A

Bien que la distance entre les deux rives soit la plus grande des trois corridors (environ 2,1 km), ce qui implique un pont plus long, plusieurs avantages sont notés. Du point de vue biophysique, le secteur étant déjà marqué par la présence du pont patrimonial, les impacts additionnels liés à la construction d'un nouveau pont sont faibles. De plus, ce tracé occasionne peu de modifications dans les habitudes de déplacement des usagers et les raccordements au réseau routier existant sont relativement simples.



DÉMONSTRATION

ÉTUDE DES TRACÉS

Les deux tracés du corridor A constituent des scénarios plus simples pour la faisabilité et la constructibilité de l'ouvrage. Par contre, comme le tracé A1 permet une distance plus grande (environ 120 mètres) avec le pont patrimonial, il est plus simple à mettre en œuvre lors de la construction que le tracé A2 (environ 50 mètres). En effet, pour le tracé A2, la proximité avec le pont actuel entraîne des contraintes supplémentaires : risque d'instabilité, risque en cas d'effondrement du pont actuel et maintien de la circulation plus difficile en raison de la superposition des tracés actuels et projetés sur l'île d'Orléans.

Le tracé A2 présente également plus de contraintes que le tracé A1 en ce qui a trait à l'aménagement des raccordements. Effectivement, sur la rive nord, l'espace pour l'aménagement des raccordements est plus restreint du côté est en raison de la proximité de la rivière Montmorency. Par ailleurs, la géométrie du tracé A2 oblige l'aménagement de courbes renversées (en « S ») à l'extrémité sud du pont, ce qui est non souhaitable pour la sécurité des usagers.

Enfin, les impacts sur le paysage seraient minimisés avec les tracés A1 et A2. Par contre, vu la proximité de ces tracés avec le pont actuel, advenant la conservation de celui-ci, l'envergure des ouvrages d'art prévus pourrait nuire à la perception de la structure actuelle et pourrait affecter son statut de pont patrimonial. Par ailleurs, le tracé A2 présente une contrainte patrimoniale supplémentaire puisqu'il occasionne des travaux dans le site patrimonial de la Chute-Montmorency.

Tracés dans le corridor B

Ce corridor a l'avantage d'être proche du pont existant et de permettre la traversée à angle droit entre les deux rives, ce qui réduit légèrement la longueur du pont (environ 100 mètres de moins que les tracés A). Toutefois, la complexité technique des infrastructures à construire est peu avantageuse. En effet, les deux tracés nécessitent la construction d'un échangeur complexe sur la rive nord en raison du peu d'espace disponible et de la présence de la voie ferrée. De plus, le tracé B1 implique une courbe sur les travées d'approche du pont et à l'échangeur nord. L'échangeur nord du tracé B2 est peu performant en termes de circulation et occasionne un impact majeur sur le secteur de la côte de l'Église.

Du point de vue biophysique, le tracé B1 risque d'occasionner une détérioration des habitats aquatiques dans le chenal de la rivière Montmorency en raison de sa proximité tandis que le tracé B2 génère la perte d'habitats forestiers sur l'île d'Orléans.

Finalement, advenant la conservation du pont patrimonial, le fait que le nouvel ouvrage ne soit pas parallèle à l'ancien occasionne une perception visuelle dérangeante, d'autant plus forte pour B1 à cause de la proximité des 2 ponts et de l'envergure de la structure projetée. Le statut patrimonial du

pont pourrait en être affecté. L'ajout d'un nouvel échangeur sur le boulevard Saint-Anne aurait également un impact sur le paysage, notamment en créant une barrière visuelle sur la perspective vers Québec et le Cap-Diamant. Pour le tracé B2, l'aménagement d'un nouvel échangeur imposant près de la côte de l'Église aurait des impacts majeurs sur le milieu humain. En effet, en plus de modifier le paysage des usagers et des riverains, l'aménagement de l'échangeur nécessiterait des acquisitions et augmenterait le bruit routier dans le secteur.

Tracés dans le corridor C

Les ponts les plus courts (environ 1,6 km) se trouvent dans le corridor C car les deux rives y sont les plus rapprochées. Toutefois, les débits importants générés sur le boulevard Sainte-Anne par le déplacement du pont vers l'est impliquent une requalification complète du boulevard. En effet, il doit être transformé en autoroute jusqu'au nouveau pont, soit sur plus de 3 km, afin d'offrir un niveau de service acceptable. La conversion des intersections en échangeurs et la fermeture de tous les accès en bordure de la nouvelle autoroute ont un impact majeur sur les propriétés riveraines, que ce soit en termes d'acquisition, de bruit routier ou de modification au paysage.

Du côté de l'île d'Orléans, la relocalisation de la côte de l'île est requise pour les deux tracés, ce qui entraînera des impacts importants sur les milieux biologiques, les terres agricoles, les résidences et la qualité de vie des riverains touchés. Le tracé C2 occasionnerait des impacts encore plus importants puisqu'il implique une transformation du cœur villageois de Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans et un bouleversement du paysage de l'entrée de l'île d'Orléans.

Finalement, tous les types d'usagers subiraient une modification importante de leurs habitudes de déplacement, notamment pour le tracé C2 qui prévoit le déplacement de l'entrée de l'île d'Orléans.

Détails de l'analyse

Afin de permettre l'analyse de certains critères, les tracés à l'étude ont été superposés avec des données spatialement localisées. Toutes les figures sont présentées à l'annexe C.

Le tableau 5 résume la réponse aux critères pour chaque tracé. La justification détaillée des cotes attribuées est présentée à l'annexe D.



DÉMONSTRATION

ÉTUDE DES TRACÉS

Tableau 5 : Résumé de l'analyse multicritère

	CRITÈRES	A1		A2		B1		B2		C1		C2	
		N	N+P	N	N+P	N	N+P	N	N+P	N	N+P	N	N+P
Enjeux techniques	Faisabilité et constructibilité	5 Scénario simple à réaliser considérant les contraintes du projet.		4 Nouveau pont à 50 m du pont existant et courbe renversée à l'extrémité sud du pont.		4 Courbe à l'extrémité sud du pont et espace restreint pour aménager l'échangeur du côté nord.		3.5 Incertitude profondeur de roc et échangeur nord très complexe.		2.5 Incertitude profondeur de roc. Nouvelle côte du pont requise. Conversion du boulevard Sainte-Anne en autoroute.		2 Incertitude profondeur de roc. Nouvelle côte du pont et intersection sur l'île requise. Conversion du boulevard Sainte-Anne en autoroute.	
	Fluidité, sécurité et confort des usagers	5 Déplacements comparables à aujourd'hui et nouvel échangeur performant.		4.5 Déplacements comparables à aujourd'hui et nouvel échangeur performant. Courbe sur le tablier du pont à l'approche sud.		4 Impacts marginaux sur les déplacements. Nouvel échangeur performant pour les mouvements principaux.		2 Problématiques de fluidité et de sécurité associées au raccordement du côté nord en raison des contraintes du site.		3.5 Nouvelle configuration permettant de maintenir un niveau de service adéquat du côté nord. Légère détérioration de la sécurité sur l'île d'Orléans (tracé plus sinueux).		2 Impacts importants sur la fluidité et la sécurité du chemin Royal en raison du déplacement de l'entrée de l'île.	
Enjeux biophysiques	Respect du milieu physique	4 Site du pont actuel potentiellement contaminé.	5 Aucun impact.	4 Site du pont actuel potentiellement contaminé.	5 Aucun impact.	4 Site du pont actuel potentiellement contaminé	4.5 Interférence avec le régime d'écoulement de la rivière Montmorency	4.5 Site du pont actuel potentiellement contaminé mais aucun impact sur le régime d'écoulement de la rivière Montmorency.	5 Aucun impact.	3.5 Passage du nouvel axe sur le site de 2 stations de service.		4.5 Site du pont actuel potentiellement contaminé mais aucun impact sur le régime d'écoulement.	5 Aucun impact.
	Respect du milieu biologique	4.5 Secteur déjà anthropique donc impacts marginaux sur le milieu biologique.		4 Secteur déjà anthropique, mais rapprochement d'un site de fraie.		4 Risque de détérioration des habitats dans le chenal de la rivière Montmorency.		4 Traversée de nouveaux habitats forestiers sur l'île d'Orléans. Compensation possible pour les milieux humides dans le secteur du pont existant après sa démolition.	3.5 Traversée de nouveaux habitats forestiers sur l'île d'Orléans. Compensation en créant une banque ailleurs	3.5 Traversée de nouveaux habitats (battures et forestiers) sur l'île d'Orléans. Impacts sur les milieux humides terrestres, mais compensation possible dans le secteur du pont existant après sa démolition.	3 Traversée de nouveaux habitats (battures et forestiers) sur l'île d'Orléans. Impacts sur les milieux humides terrestres Compensation en créant une banque ailleurs	3,5 Traversée de nouveaux habitats (battures et forestiers) sur l'île d'Orléans. Impacts sur les milieux humides terrestres, mais compensation possible dans le secteur du pont existant après sa démolition.	3 Traversée de nouveaux habitats (battures et forestiers) sur l'île d'Orléans. Impacts sur les milieux humides terrestres. Compensation en créant une banque ailleurs



DÉMONSTRATION

ÉTUDE DES TRACÉS

	CRITÈRES	A1		A2		B1		B2		C1		C2	
		N	N+P	N	N+P	N	N+P	N	N+P	N	N+P	N	N+P
Enjeux humains	Qualité de vie des riverains et acceptabilité sociale	4.5 Impacts sur quelques propriétés résidentielles et agricoles sur l'île d'Orléans.		5 Impact marginal sur les propriétés riveraines.		4.5 Raccordement nord sur une partie d'un terrain non-bâti de la SEPAQ (acquisition et bruit).		3 Impacts majeurs pour les riverains dans le secteur de la côte de l'Église pour aménager le nouvel échangeur (acquisitions et bruit).		1.5 Allongements notables des temps de parcours. Nombreuses acquisitions sur l'île et la rive nord.		1.5 Allongement très significatif des temps de parcours. Nombreuses acquisitions sur l'île et la rive nord.	
	Respect des infrastructures patrimoniales, sites protégés et sites à vocation touristique	3 Démolition du pont patrimonial. Peu d'impacts sur les sites protégés.	4 Interférence dans l'aire de protection du pont patrimonial.	3 Démolition du pont patrimonial. Peu d'impacts sur les sites protégés.	2.5 Interférence majeure dans l'aire de protection du pont patrimonial.	2 Démolition du pont patrimonial. Léger empiètement dans le site du Parc de la Chute-Montmorency.	2.5 Léger empiètement dans le site du Parc de la Chute-Montmorency. Interférence dans l'aire de protection du pont patrimonial.	2.5 Démolition du pont patrimonial. Impacts sur le site patrimonial de l'île d'Orléans.	4.5 Faible interférence avec le pont patrimonial.	2.5 Démolition du pont patrimonial. Impacts sur les sites touristiques actuellement avantagés par la localisation du pont patrimonial.	3.5 Assez faible interférence avec le pont patrimonial.	1.5 Démolition du pont patrimonial. Transformation majeure du cœur villageois de Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans.	2.5 Faible interférence avec le pont patrimonial. Transformation majeure du cœur villageois de Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans.
	Intégration paysagère de l'ouvrage	4.5 Peu de changements dans le paysage pour l'usager si l'architecture du nouveau pont est exemplaire.	3.5 Envergure des deux ponts disproportionnée.	4.5 Peu de changements dans le paysage pour l'usager si l'architecture du nouveau pont est exemplaire.	2 Envergure des deux ponts disproportionnée et très rapprochés.	2 Nouvel échangeur du côté nord crée une barrière visuelle.	1.5 Nouveau pont non parallèle à l'ancien et très rapproché côté sud	2 Nouvel échangeur massif à la côte de l'Église. Crée une barrière visuelle.	2.5 Angle du nouveau pont avec le pont patrimonial peu souhaitable mais le nouveau pont est plus éloigné que B1.	2 Perte d'un attrait visuel important dans le secteur de la Chute-Montmorency (démolition du pont patrimonial).	3 Perte de vues sur le fleuve pour certains riverains du côté nord.	1.5 Bouleversement du paysage d'entrée de l'île. Perte d'un attrait visuel important dans le secteur de la Chute-Montmorency (démolition du pont patrimonial).	2 Bouleversement du paysage d'entrée de l'île. Perte de vues sur le fleuve pour les riverains du côté nord. L'usager longe les fils électriques.

Légende : N : Nouveau pont seulement, N+P : Nouveau pont ET pont Patrimonial

0 à 1,5 : Ne répond pas au critère

1,6 à 2,5 : Répond plutôt mal au critère

2,6 à 3,5 : Réponse mitigée au critère

3,6 à 4,5 : Répond plutôt bien au critère

4,6 à 5 : Répond parfaitement au critère

CONCLUSIONS et RECOMMANDATIONS

6.0 CONCLUSIONS et RECOMMANDATIONS

Ce rapport fait suite à un mandat du Service des projets (Module des structures) de la Direction de la Capitale-Nationale du Ministère des transports du Québec au département de génie civil de l'Université Laval pour réaliser le projet No: 154980714 portant sur l'étude d'analyse et d'optimisation suite aux essais de densification du pilier 12 du pont de l'Ile d'Orléans.

Ce document constitue le rapport final de ce projet. L'objectif général du mandat était de procéder à des calculs dynamiques pour étudier et optimiser les solutions de densification par vibro-remplacement proposées pour le pilier no. 12.

La stabilité structurale et géotechnique du pilier no. 12 sur fondations traitées et non-traitées a été vérifiée pour des sollicitations sismiques compatibles avec les prescriptions du Code national du bâtiment du Canada (2005) et ayant une période de retour de 1: 2475 ans (2% en 50 ans).

Les résultats de cette étude ne peuvent pas s'appliquer à l'étude des vibrations causées par le trafic ou le milieu ambiant.

Notre étude a traité de façon plus spécifique les volets suivants:

1. la ré-analyse du risque sismique en tenant compte des récents développements scientifiques dans le domaine;
2. la génération d'une série d'accélérogrammes synthétiques compatibles avec la nouvelle loi d'atténuation d'Atkinson et Boore (2006);
3. l'analyse des nouvelles données géotechniques (forages et sondages effectués en 2008 et 2009, incluant notamment la réalisation de deux essais *SCPT_H* au piézocône sismique) et la préparation

et l'interprétation des données géotechniques statiques et dynamiques nécessaires aux simulations numériques du système pilier-sol;

4. l'analyse structurale du pilier no. 12;
5. le calcul dynamique non-linéaire et à la rupture du système sol-pilier (no. 12) pour des conditions pré- et post-traitement.

Une approche progressive de l'évaluation parasismique des fondations du pont, allant du scénario plausible le plus optimiste au scénario plausible le plus pessimiste, avait été initialement envisagée. Les calculs ont d'abord été faits avec le jeu plausible de paramètres le plus optimiste (donc, un choix le moins conservateur possible – i.e. *valeurs élevées (mais plausibles) assignées aux résistances des sols*). Nous n'avons finalement, pas jugé nécessaire ou utile de faire un calcul sur la base d'un scénario conservateur (i.e. – i.e. *valeurs faibles assignées aux résistances des sols*).

Voici les principales conclusions de cette étude:

1. Les calculs structuraux montrent que le pilier no. 12 peut résister aux forces dynamiques générés par les signaux considérés pour autant que le sol ne subit pas de rupture ou une liquéfaction, phénomènes qui ne sont pas capturés dans le cadre des analyses faits au chapitre quatre.
2. **Les calculs dynamiques non-linéaires en interaction dynamique sol-structure effectués pour quatre signaux sismiques représentatifs de la sollicitation sismique définie pour le pont de l'Île d'Orléans nous amènent à conclure que le pilier no. 12 avec des fondations stabilisées (ou non) par vibro-remplacement ne répond pas aux exigences de sécurité sismique.**
3. Le mode de rupture observé est celui du poinçonnement du pilier dans le sol non-traité situé sous le pilier; sous l'action des forces sismiques, les déplacements permanents calculés peuvent atteindre 0,8 m, ce qui est inacceptable pour une structure comme celle du pont de l'Île.
4. Le sol naturel situé en profondeur, sous les massifs traités par vibro-remplacement, reste de faible compacité et très vulnérable à la liquéfaction et aux effets des séismes.
5. La construction d'un massif de colonnes ballastées en périphérie du pilier 12 a permis, à toutes fins pratiques, permis d'éliminer le risque de rupture du pilier par cisaillement généralisé (basculement) de la fondation, ce qui est une contribution significative à la réduction significative du risque sismique pour le pilier.

Recommandations

- Dans le secteur actuel du pont de l'Île d'Orléans, le sol devra être densifiée, traitée ou consolidée jusqu'au roc (ou tout près du roc), si ce sol doit avoir une fonction mécanique quelconque dans l'aménagement d'une nouvelle structure ou la réhabilitation de la structure actuelle. Cet aspect devra être pris en compte par le concepteur.
- Il sera cependant possible d'optimiser l'épaisseur de la zone à traiter dans les secteurs du fleuve où les formations alluvionnaires sont très épaisses.
- Le sol naturel non-traité situé en profondeur ou en périphérie des massifs traités ou densifiés restera toujours vulnérable à la liquéfaction, aux déplacements ou aux mouvements de sol ("*lateral spreads*") en cas de séismes. Ces phénomènes pourraient avoir deux conséquences sur les fondations profondes d'une structure située dans ce secteur: 1) en présence d'une dénivellation du fond marin (même faible), le sol liquéfié peut se déplacer et ainsi engendrer des poussées latérales très importantes sur des fondations profondes; 2) sans dénivellation du fonds marin, la liquéfaction sismique va entraîner un ramollissement du sol et, conséquemment, une réduction de sa rigidité horizontale et de sa capacité de support latéral.
- Les conditions bathymétriques doivent être précisées au moyen d'investigations supplémentaires.



