

Ce document est une traduction.

OCTOBRE 2018
LES PONTS JACQUES CARTIER ET CHAMPLAIN INCORPORÉE (PJCCI)

PONT CHAMPLAIN

IMPACTS RÉSULTANT DE RETARDS POSSIBLES DANS L'OUVERTURE DU NOUVEAU
PONT – MISE À JOUR



COWI



ADDRESS COWI North America Ltd
138 13th Street East
Suite 400
North Vancouver, BC V7L 0E5
Canada
TEL +1 604 986 1222
FAX +1 604 986 1302
www cowi-na .com

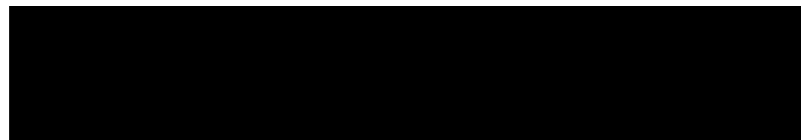
OCTOBER 2018
JACQUES CARTIER AND CHAMPLAIN BRIDGES INCORPORATED (JCCBI)

CHAMPLAIN BRIDGE

IMPACTS DUE TO POSSIBLE DELAYS OF NEW BRIDGE OPENING - UPDATE

PROJECT NO DOCUMENT NO
2038 2038-RPT-GEN-012

VERSION DATE OF ISSUE DESCRIPTION
0 30 Oct 2018



Andrew Griezic, Eng. Darryl Matson, P.Eng. Darryl Matson, P.Eng.

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Le 26 juillet 2017, Infrastructure Canada a informé Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée (PJCCI) que le remplacement de l'actuel pont Champlain pourrait être retardé. Infrastructure Canada avait alors demandé à PJCCI d'examiner les conséquences de deux scénarios de retard, soit l'un de 12 mois et l'autre de 24 mois, au-delà de la date du 1^{er} décembre 2018 initialement prévue pour la mise hors service de l'actuel pont Champlain. En septembre 2017, COWI a produit un rapport, intitulé « Pont Champlain – Impacts résultant de retards possibles dans l'ouverture du nouveau pont », lequel résumait les risques pour le pont et comprenait le plan d'atténuation des risques recommandé pour faire face aux scénarios de retards possibles dans la date prévue pour la mise hors service. À l'automne 2018, Infrastructure Canada a fourni une nouvelle estimation des retards dans l'ouverture du nouveau pont Champlain. Sur la base de cette nouvelle estimation, JCCBI a demandé à COWI de mettre à jour son rapport de septembre 2017, en tenant pour acquis que la mise hors service du pont Champlain existant serait retardée de six à douze mois (c'est-à-dire qu'elle serait réalisée entre le 1^{er} juin 2019 et le 1^{er} décembre 2019).

Depuis de nombreuses années, PJCCI réussit à atténuer le risque associé au pont et c'est sur une base régulière que cette dernière fait face à de nouveaux problèmes en raison de l'incertitude quant à la nature de la détérioration. **Les détails de conception et les caractéristiques du matériau de béton intégré au pont d'origine ne permettent cependant pas d'éliminer les problèmes, et des mesures de réhabilitation sont conçues pour, au mieux, réduire le risque.** Le présent rapport présente un plan d'atténuation des risques mis à jour ayant pour objectif de prolonger la durée de vie du pont Champlain existant jusqu'au 1^{er} décembre 2019 afin de faire face à un retard possible de six à douze mois. Les mesures d'atténuation des risques recommandées prennent en considération la détérioration continue de la structure ainsi que les projets de réhabilitation qui ont été achevés et les inspections qui ont été effectuées au cours de la dernière année.

Le pont Champlain actuel comporte plusieurs composantes différentes, dont certaines sont plus détériorées que d'autres. En 2013, dans le but de faire face aux niveaux croissants de détérioration et de maintenir un niveau de sécurité structurale acceptable jusqu'à la mise hors service du pont prévue en 2018, un plan quinquennal d'atténuation des risques a été mis en place par PJCCI. Au cours des cinq dernières années, ce plan a été mis à jour sur une base régulière et mis en œuvre de manière efficace. Il a même été confronté à la défaillance d'une poutre, survenue en 2013 et qui a entraîné la fermeture partielle du pont pendant plusieurs semaines. En

septembre 2017, en raison d'un retard possible de 12 ou 24 mois dans l'ouverture du nouveau pont, il a été recommandé que le plan d'atténuation soit mis à jour. **PJCCI a mis en œuvre et complété toutes les mesures d'atténuation recommandées en 2017, ce qui a permis de réduire certains risques et d'en contrôler d'autres.** Cependant, en raison de la détérioration continue du pont, **il s'avère nécessaire de réviser le plan d'atténuation des risques, et des mesures supplémentaires se doivent maintenant d'être mises en œuvre afin de maintenir un niveau de sécurité structurale acceptable pendant les six à douze mois suivant décembre 2018 jusqu'à l'ouverture du nouveau pont.**

Il est essentiel, pour gérer les risques et maintenir un niveau acceptable de sécurité publique, de suivre le plan d'atténuation 2018, mais ceci ne peut, cependant, éliminer la possibilité d'une défaillance structurale. Par conséquent, même en procédant à la réhabilitation sur une base continue, **des risques considérables subsisteront, incluant le risque de fermetures de voies et de fermetures complètes du pont à long terme, et même la possibilité d'un effondrement d'une section du pont. Ces risques augmenteront avec le temps en raison de la détérioration continue.** La fermeture du pont aurait un impact dévastateur sur les usagers et sur l'économie de la région de Montréal.

En raison des incertitudes quant à l'état actuel du pont et à la progression de la détérioration, il s'avère très difficile d'estimer le montant du financement qui sera requis afin de maintenir un niveau acceptable de sécurité publique jusqu'à l'ouverture du nouveau pont à la circulation par le biais de la réhabilitation, de la surveillance et des inspections. COWI recommande toutefois que PJCCI dispose d'un financement de 20 millions de dollars si le nouveau pont accuse un retard allant jusqu'à 12 mois. La zone d'incertitude potentielle la plus importante est l'état des fondations des piles, sur lesquelles un programme de carottage est en cours de réalisation parallèlement à des travaux de réhabilitation, le tout afin de mieux définir les risques associés à ces composantes. Il est à noter que les résultats du programme de carottage sous-marin pourraient avoir un impact significatif sur le montant du budget requis pour sécuriser le pont.

COWI est d'avis que PJCCI doit continuer à être vigilante en inspectant, en surveillant, en évaluant et, lorsque nécessaire, en renforçant le pont.

CONTENU

1	Objectif.....	9
2	Description de la structure.....	10
3	Risques liés au pont.....	11
3.1	Section 6 – Travées de treillis en acier.....	11
3.2	Sections 5 et 7 – Travées en béton.....	11
3.3	Sections 5 et 7 – Dalle du tablier routier.....	12
3.4	3.4 Sections 5 et 7 – Poutres en béton.....	14
3.5	Sections 5 et 7 – Diaphragmes en béton.....	17
3.6	Sections 5 & 7 – Chevêtres.....	18
3.7	Sections 5 & 7 – Les fûts.....	20
3.8	Sections 5 & 7 – Bases et semelles.....	20
4	Mesures d’atténuation des risques.....	21
4.1	Mesures d’atténuation recommandées-septembre 2017.....	21
4.2	Plan d’atténuation des risques 2018 recommandé.....	23
5	Conclusion.....	24

ANNEXES

	Annexe A Description du pont actuel.....	27
A.1	Description de la structure.....	27
A.2	Section 6 – Travées de treillis en acier.....	27
A.3	Sections 5 et 7– Travées en béton.....	28

1 Objectif

Le 26 juillet 2017, Infrastructure Canada a informé PJCCI que le remplacement de l'actuel pont Champlain pourrait être retardé. Infrastructure Canada avait alors demandé à PJCCI d'examiner les conséquences de deux scénarios de retard, soit l'un de 12 mois et l'autre de 24 mois, au-delà de la date du 1^{er} décembre 2018 initialement prévue pour la mise hors service de l'actuel pont Champlain.

Depuis 1991, COWI a, pour le compte de PJCCI, exécuté de nombreuses tâches d'ingénierie sur le pont Champlain. Au cours des cinq dernières années, COWI a été mandatée par PJCCI pour procéder à l'évaluation de la structure, assumer la responsabilité de la coordination générale du programme d'atténuation des risques de PJCCI et pour agir, de concert avec Stantec, à titre d'ingénieur désigné pour les mesures de réhabilitation visant à maintenir le pont sécuritaire pour le public.

En septembre 2017, COWI a produit un rapport, intitulé "Pont Champlain – Impacts résultant de retards possibles dans l'ouverture du nouveau pont" (Notre référence : 2038-RPT-GEN-011-FR, daté le 14 septembre 2017), lequel résumait les risques pour le pont et comprenait le plan d'atténuation des risques recommandé pour faire face aux scénarios de retards possibles dans la date prévue pour la mise hors service.

À l'automne 2018, Infrastructure Canada a fourni une nouvelle estimation des retards dans l'ouverture du nouveau pont Champlain. Sur la base de cette nouvelle estimation, PJCCI a demandé à COWI de mettre à jour son rapport¹ du 14 septembre 2017, en tenant pour acquis que la mise hors service du pont Champlain existant serait retardée de six à douze mois (c'est-à-dire qu'elle serait réalisée entre le 1^{er} juin 2019 et le 1^{er} décembre 2019).

Le présent rapport résume le statut du plan d'atténuation des risques de PJCCI suite aux recommandations de 2017 et présente les mesures d'atténuation recommandées par COWI pour faire face à un retard possible de six à douze mois.

¹ Champlain Bridge - Impacts Due to Possible Delays of New Bridge Opening, dated 2017 September 14

2 Description de la structure

L'actuel pont Champlain a été ouvert à la circulation en 1962. Il s'agit d'une structure de 3,4 km de longueur comprenant sept travées de treillis en acier (collectivement appelées la « section 6 ») et 50 travées de poutres en béton (sections 5 et 7). Le pont compte six voies de circulation, trois dans chaque direction. Voir la figure 1 pour un aperçu de l'ensemble du pont. L'annexe A comprend une description plus détaillée du pont.



Figure 1 – Vue d'ensemble du pont Champlain

3 Risques liés au pont

COWI a révisé son évaluation du niveau de risque pour chacune des composantes majeures du pont présentées dans le rapport 2017 de COWI², en prenant en considération les mesures d'atténuation des risques prises par PJCCI à ce jour et la manière dont les risques évoluent en fonction des scénarios de retard de six et de douze mois.

Cette partie du rapport est séparée en sections qui portent sur chacune des composantes majeures du pont. Pour chacune de ces composantes, COWI a inclus une évaluation du niveau de risque ainsi que la façon dont ces risques pourraient évoluer en fonction des différents scénarios de retard, le tout dans le but de donner au lecteur une idée de la gravité de chacun des risques.

3.1 Section 6 – Travées de treillis en acier

Sur la base des informations issues de l'inspection annuelle de la section 6, les travées de treillis en acier sont considérées comme étant en bon état. Les treillis présentent peu de corrosion, le tablier a été remplacé au début des années 90 et continue de bien performer et les piles ont récemment été réparées et ne présentent aucun signe majeur de détérioration ou de détresse.

Des inspections supplémentaires ont été entreprises pour évaluer l'état de la section 6 et sont présentement en cours. COWI a, de plus, réalisé une évaluation de la capacité portante qui intégrait les effets de la corrosion identifiés lors des inspections de 2017. Cette évaluation a établi que les travées de treillis en acier ne présentaient aucun problème structural majeur.

COWI estime par conséquent que le risque associé à la performance de n'importe laquelle des composantes de la section 6 est faible. Ce niveau de risque ne devrait pas changer advenant un délai de six ou douze mois dans l'ouverture du nouveau pont.

3.2 Sections 5 et 7 – Travées en béton

Une grave détérioration s'est produite dans les sections 5 et 7 du pont. Depuis de nombreuses années, PJCCI a déployé beaucoup d'efforts pour réparer et réhabiliter ces sections du pont. En 2013, COWI a étudié l'état général des poutres de rive des travées en béton du pont Champlain. À l'époque, COWI avait recommandé un plan d'action stratégique, lequel avait été mis en place par PJCCI, afin de pallier l'état du pont et de maintenir un niveau acceptable de risque pour la structure jusqu'à la mise hors service du pont. Ce plan d'action incluait ce qui suit :

- > des mesures de renforcement d'urgence devant être mises en place au plus tard à la fin septembre 2013;
- > des actions à court terme devant être complétées avant la fin de 2014;
- > un plan quinquennal devant être complété avant la fin de 2018.

² Champlain Bridge - Impacts Due to Possible Delays of New Bridge Opening, dated 2017 September 14

Au cours des cinq dernières années, le plan d'action élaboré en 2013 a été mis à jour de façon continue et des mesures supplémentaires ont été requises en raison de l'accélération exponentielle de la détérioration des poutres et des piles. La figure 2 montre le nombre d'interventions sur les poutres ainsi que le total des dépenses consacrées, sur une base annuelle, aux réparations générales au pont Champlain depuis les premières interventions en 1986. Cette figure montre l'augmentation du nombre d'interventions sur les poutres du pont Champlain qui ont, au fil du temps, été requises afin de maintenir la sécurité des usagers et aussi de maintenir le pont ouvert à la circulation. La figure montre aussi l'importance des montants investis par PJCCI dans la réhabilitation du pont depuis la défaillance, en 2013, de l'une des poutres de rive, laquelle a été occasionnée par la corrosion continue et la détérioration de la structure.

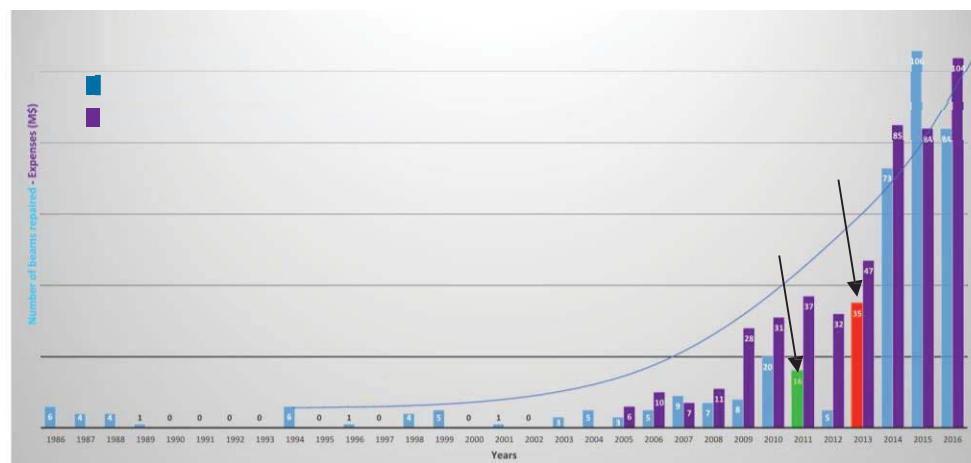


Figure 2 – Historique de réhabilitation des poutres du pont Champlain de 1986 à 2016

3.3 Sections 5 et 7 – Dalle du tablier routier

La dalle du tablier routier des travées en béton est le tablier en béton précontraint original. Elle présente des signes de détérioration importante et, compte tenu des détails structuraux, très peu de choses peuvent être faites pour réparer en permanence les endroits gravement corrodés. Dans ces circonstances, PJCCI continue à réparer le tablier localement lorsqu'apparaissent des signes de détérioration.

La figure 3 montre des signes typiques de détérioration observés sur le soffite des dalles intercalaires du tablier. À certains endroits, on constate des signes de corrosion des câbles de post-tension transversale dans le tablier et ces câbles sont essentiels pour assurer l'intégrité transversale de la dalle de tablier.

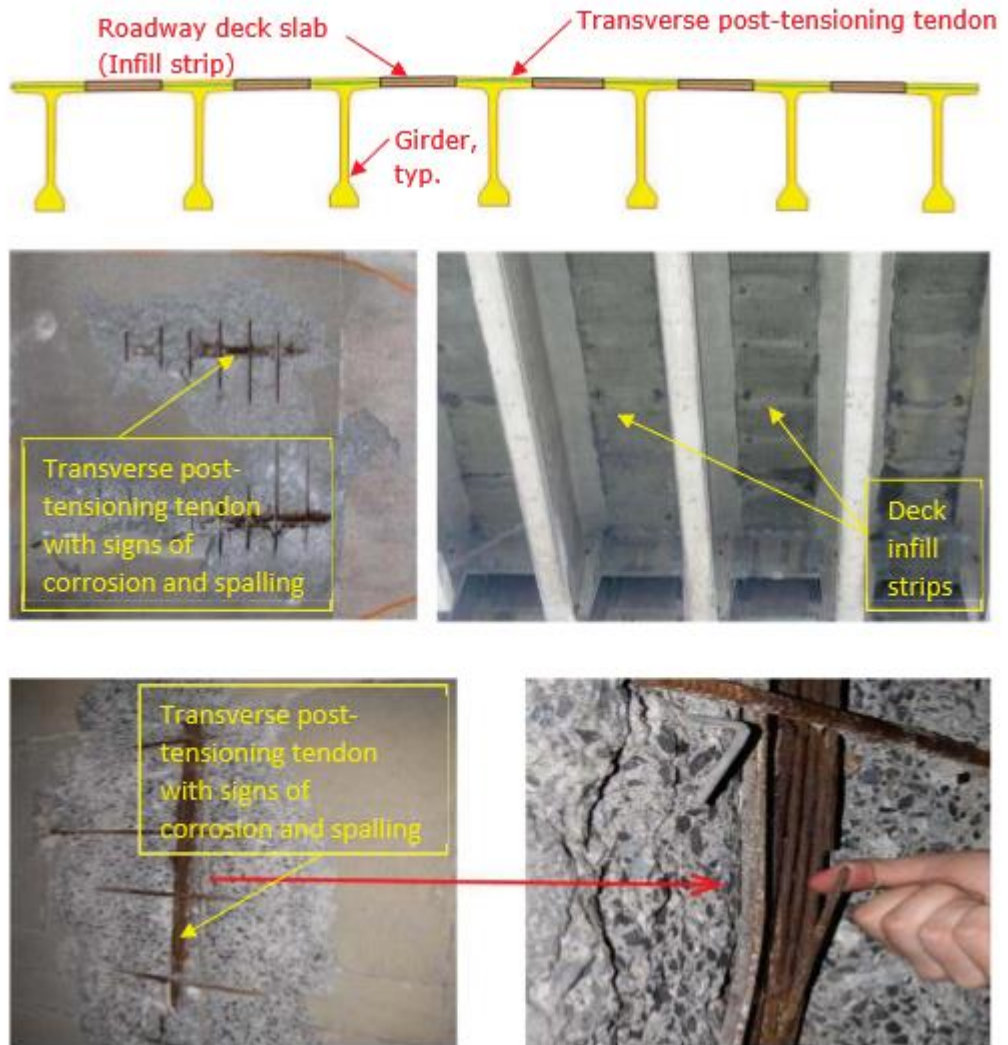


Figure 3 – Signes de détérioration observés sur le soffite de la dalle de tablier

COWI prévoit qu'au fil du temps, le nombre de réparations localisées requises sur le tablier sur une base annuelle continuera à augmenter.

Le risque associé au tablier si un problème grave n'est pas identifié par l'équipe d'inspection de PJCCI est une défaillance locale dans le tablier. Le résultat le plus probable d'une telle défaillance serait la fermeture à court terme d'une ou de deux voies de circulation (dépendant de l'ampleur de la défaillance locale).

Des inspections sont en cours sur le tablier pour aider à gérer les risques. COWI croit que le risque de défaillance locale est faible et qu'il devrait le demeurer dans les deux scénarios de retard, soit celui de six mois et celui de douze mois. Cependant, plus l'ouverture du nouveau pont sera retardée, plus le nombre de défaillances locales nécessitant des réparations augmentera.

3.4 Sections 5 et 7 – Poutres en béton

Les 50 travées des sections 5 et 7 sont constituées de 350 poutres en béton et ces dernières sont parmi les composantes les plus sérieusement détériorées du pont.

L'utilisation de sels de déglacage, le manque de drainage adéquat du tablier dans les 30 premières années de service et l'absence d'une membrane d'étanchéité ont créé un environnement où l'eau chargée de sel a pénétré dans les poutres en béton, soit en provenance du tablier soit par un écoulement libre par le côté du tablier du pont sur les poutres de rive en béton. La corrosion la plus importante se retrouve dans la post-tension à l'intérieur des poutres, ce qui a entraîné une forte dégradation du béton des poutres ainsi qu'une importante perte de capacité portante : en fait, en 2013, une des poutres en béton a fait l'objet d'une défaillance et une réparation d'urgence a été requise pour sécuriser la structure.

Les signes initiaux de la détérioration du béton et de la corrosion de la post-tension ont été observés dans les années 80 et, au cours des 30 dernières années, des signes croissants de détérioration ont été observés, principalement dans les poutres de rive. Les figures 7 et 8 montrent des signes typiques de détérioration des poutres observés sur un grand nombre des 50 travées en béton. La figure 4 montre les fissures graves observées sur la surface des poutres qui ont été causées par la corrosion des câbles de post-tension. La figure 5 montre des signes de détérioration sévère et d'éclatement sur le soffite de la poutre, près de la mi-travée. La grave détérioration et la défaillance d'une partie de la post-tension ont aussi été observées par des ouvertures exploratoires dans les poutres en béton, lesquelles ont été effectuées pour évaluer l'état des câbles de post-tension.

Il est très difficile de déterminer la quantité de perte de section de la post-tension dans une poutre, car seules des ouvertures localisées ou des observations en surface sont possibles. Bien que l'on ait tenté de réaliser des essais non destructifs pour déterminer les niveaux de corrosion, il existe encore une incertitude quant à l'état réel et à la perte de section des câbles de post-tension et, par conséquent, quant à la capacité portante des poutres.

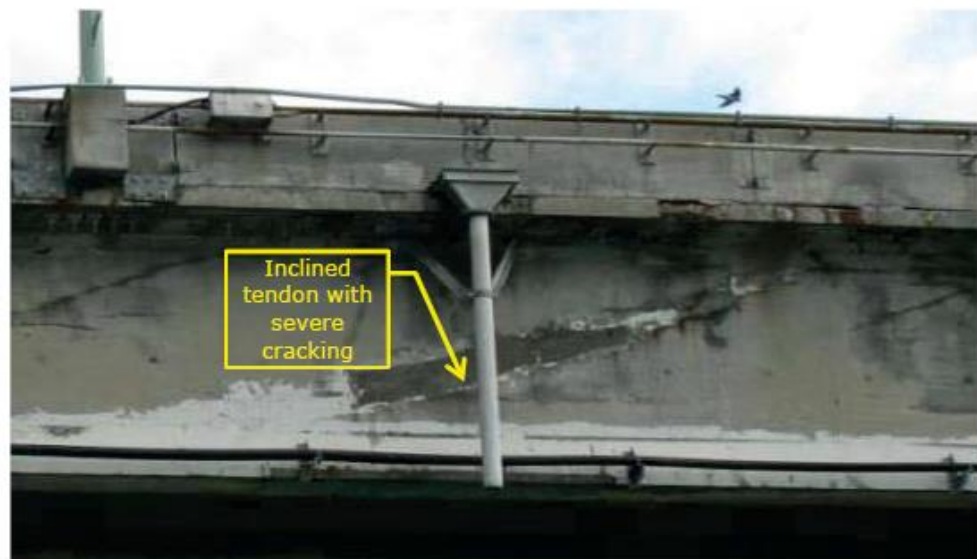


Figure 4 - Fissures graves causées par la corrosion des câbles de post-tension



Figure 5 - Signes de détérioration observés sur les poutres de rive

3.4.1 100 poutres de rive en béton

En 2013, l'une des 100 poutres de rive a fait l'objet d'une défaillance structurale très alarmante. Heureusement, dans le cadre de l'approche proactive de PJCCI pour gérer la détérioration du pont, une poutre de support en acier (« super-poutre ») avait été fabriquée en 2009 et entreposée près du pont, prête à être utilisée dans l'éventualité d'une telle défaillance. À la suite de la défaillance de ladite poutre, PJCCI a mis à jour son programme d'atténuation des risques et lancé une importante campagne de renforcement des poutres pour assurer l'intégrité structurale de l'ensemble des 100 poutres de rive.

Entre 2013 et 2017, des treillis modulaires (voir la figure 6) ont été placés sous toutes les poutres de rive en béton, à l'exception de quatre travées où d'autres systèmes de renforcement étaient plus adaptés ou plus économiques, et ces treillis ont été conçus pour supporter la totalité de la charge qui résulterait de la défaillance d'une poutre de rive. Comme l'installation des treillis a été achevée sur toutes les travées en mars 2017, le risque de défaillance d'une poutre de rive a été traité efficacement et est considéré comme très faible (et devrait le demeurer dans les deux scénarios de retard, soit celui de six mois et celui de douze mois). Cependant, COWI continue de surveiller le comportement des 100 poutres de rive en béton sur une base quotidienne à l'aide de capteurs et d'un système de surveillance sophistiqué pour évaluer tout changement dans la déformation des poutres.



Figure 6 - Treillis modulaires installés sous les poutres de rive en béton

3.4.2 250 poutres intérieures en béton

On retrouve 250 poutres intérieures en béton dans les sections 5 et 7. Certaines poutres intérieures présentent des signes de détérioration importante et, par conséquent, le risque associé à ces poutres se doit d'être géré. Des mesures de renforcement supplémentaires ont été conçues et installées en 2018 pour réhabiliter les poutres intérieures les plus critiques. PJCCI a instrumenté 44 des poutres intérieures les plus détériorées avec des jauges de déformation, et des consultants retenus par PJCCI continuent à inspecter et à surveiller ces poutres de près. COWI estime que le risque de défaillance d'une poutre intérieure est moyen et qu'il le demeurera dans les deux scénarios de retard, soit celui de six mois et celui de douze mois, si le plan d'atténuation 2018 décrit à la Section 4.2 est suivi (c'est-à-dire en veillant à ce que les 30 poutres intérieures les plus critiques soient équipées de capteurs et en augmentant la fréquence d'inspection à tous les quatre mois).

Dans l'éventualité, peu probable, d'une détresse majeure dans l'une des poutres intérieures, PJCCI a fait fabriquer trois « super-poutres » de support, à être installées au-dessus du tablier du pont, ainsi qu'un treillis modulaire universel (TMU). Ces composantes sont prêtes à être installées pour sécuriser et supporter une poutre en béton en détresse.

L'utilisation d'une super-poutre installée au-dessus du tablier du pont pour sécuriser une poutre intérieure aurait un impact important sur la circulation, entraînant la fermeture de deux ou trois voies de circulation. De plus, durant la période pendant laquelle la super-poutre se trouve sur le tablier du pont, il est probable que l'accès au pont soit interdit aux camions et que la voie réservée aux autobus ne soit pas disponible. Cette solution est acceptable en tant que solution de renfort temporaire, mais l'installation d'un treillis permanent, en dessous de la poutre défaillante et sous le tablier du pont (TMU), serait nécessaire afin de permettre le retrait de la super-poutre et de rétablir la circulation.

Le TMU est conçu pour pouvoir être installé sous une poutre intérieure dans presque toutes les travées.

3.5 Sections 5 et 7 – Diaphragmes en béton

Dans les sections 5 et 7, un grand nombre des 1 272 diaphragmes en béton entre les poutres sont en mauvais état et présentent des signes de détérioration importante (voir la figure 7). À certains endroits, la corrosion des armatures, l'éclatement du béton et des fissures ont été observés. Les diaphragmes en béton répartissent la charge entre les poutres sous la circulation et la détérioration de ces composantes augmente la demande sur les poutres et, par conséquent, le risque. Au cours des cinq dernières années, plusieurs diaphragmes ont été renforcés.

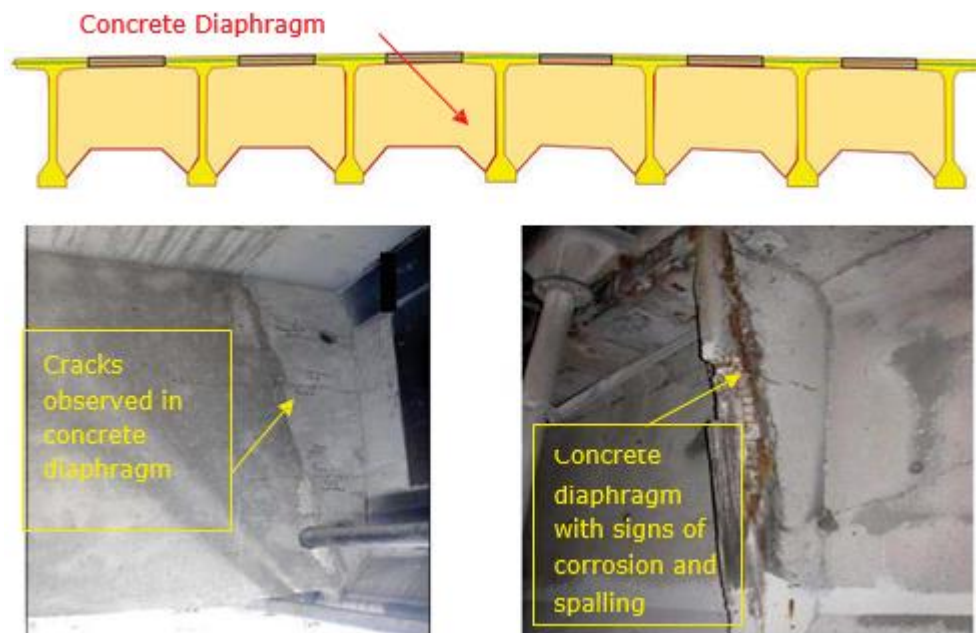


Figure 7 - Signes de détérioration observés sur les diaphragmes en béton

La défaillance d'un diaphragme en béton peut nécessiter une fermeture de voie sur le pont jusqu'à ce que le diaphragme soit réhabilité. PJCCI continue de mener fréquemment des inspections pour suivre de près les signes de détresse dans les diaphragmes. En 2018, COWI a développé un concept, appelé le « super-diaphragme », pour renforcer un diaphragme en béton en détresse afin de réduire les contraintes sur le diaphragme en détresse et sur le reste de la superstructure. Un super-diaphragme a été fabriqué et, étant entreposé dans la cour d'entretien de PJCCI, il est prêt à être installé. Dans le cadre du plan d'atténuation 2018 décrit à la Section 4.2, PJCCI prévoit émettre un appel d'offres et attribuer un contrat pour toute installation « d'urgence » qui pourrait s'avérer requise, de sorte qu'il soit possible pour un Entrepreneur de procéder rapidement à l'installation du super-diaphragme en cas de détresse d'un diaphragme.

COWI estime que le risque de défaillance d'un diaphragme en béton est moyen et qu'il le demeurera dans les deux scénarios de retard, soit celui de six mois et celui de douze mois, en raison des mesures d'atténuation qui ont été prises par PJCCI et de celles qui lui ont été recommandées en 2017 et 2018 (fabrication d'un super-diaphragme, octroi d'un contrat visant toute installation « d'urgence » qui pourrait s'avérer requise et augmentation de la fréquence d'inspection aux quatre mois).

3.6 Sections 5 & 7 – Chevêtres

Les chevêtres des travées en béton ont fait l'objet de réhabilitation à maintes reprises au fil des ans – les interventions les plus importantes ont été réalisées entre 2002 et 2013. À l'époque, une détérioration importante des chevêtres, incluant des fissures structurales, avait été observée. Des inspections des chevêtres effectuées en 2016 et au début de 2017 ont identifié des fissures qui pourraient être indicatives de détresse structurale (voir la figure 8).

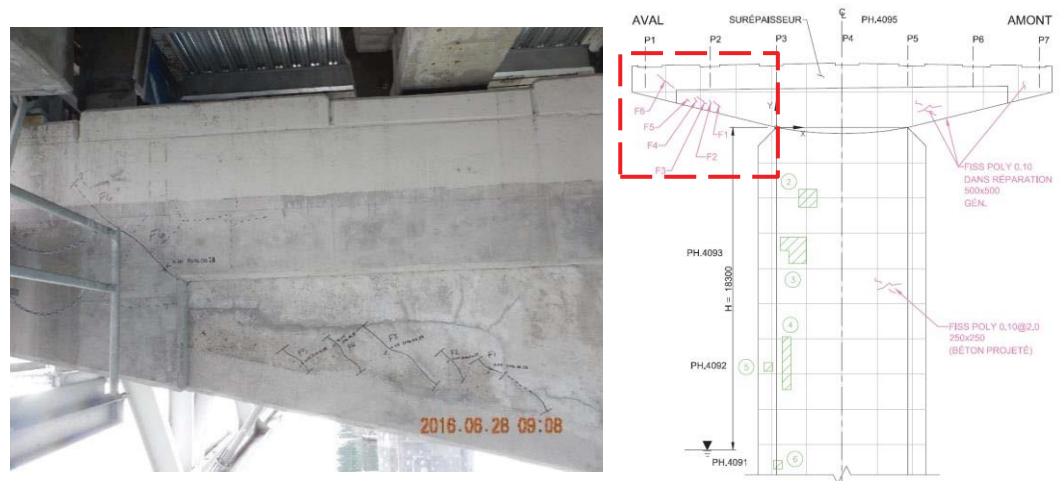


Figure 8 – Signes de détérioration observés sur les chevêtres (pile 18W)

Même avec la réhabilitation et les systèmes de renforcement qui ont été ajoutés aux chevêtres entre 2002 et 2013, ils sont très fortement sollicités. En outre, en raison de la détérioration continue, il existe une possibilité qu'il y ait, dans les chevêtres, des défauts non visibles qui pourraient potentiellement affecter leur capacité portante. Comme les chevêtres n'ont pas de redondance, la détresse grave d'un chevêtre entraînerait la fermeture complète du pont, et une défaillance totale d'un chevêtre entraînerait l'effondrement de deux travées du pont.

En septembre 2017, suite à l'annonce des retards possibles qui pourraient se prolonger jusqu'à 24 mois au-delà de la date initiale de mise en service du nouveau pont, PJCCI a pris la décision préventive de mettre en œuvre les mesures d'atténuation supplémentaires pour les chevêtres, que les retards dans l'ouverture du nouveau pont se matérialisent ou non, étant donné que le risque était tellement élevé et le fait que les retards ne pouvaient, à l'époque, être quantifiés. Ces mesures d'atténuation incluaient les suivantes :

- > installation de capteurs sur tous les chevêtres pour surveiller leur comportement;
- > conception, fabrication et installation de mesures de réhabilitation visant le renforcement des chevêtres;
- > augmentation de la fréquence d'inspection des chevêtres à une fois tous les trois mois jusqu'à ce que des mesures de réhabilitation puissent être installées.

En 2017, COWI a développé un concept de système de renforcement qui réduira les contraintes élevées que présentent les chevêtres dans les zones critiques. Le concept vise à réduire les forces de compression élevées dans les zones critiques et de permettre une installation rapide en cas de nécessité de remédier à une situation urgente. Ce système de renfort est illustré à la figure 9. En septembre 2017, COWI a estimé que le risque associé aux chevêtres était moyen et qu'il passerait à « élevé » si l'ouverture du nouveau pont accusait un retard de 12 ou de 24 mois. En conséquence, en raison de la possibilité de retards pouvant aller jusqu'à 24 mois au-delà de la date initialement prévue pour la mise en service du nouveau pont, PJCCI a décidé de faire fabriquer et installer un système de renfort sur 39 des chevêtres les plus critiques afin de réduire les contraintes sur ces composantes. Il n'est pas nécessaire d'installer de tels systèmes sur les neuf autres chevêtres, compte tenu de leur état actuel et du fait que le retard maximum prévu est de 12 mois.



Figure 9 – Système de renfort sur les chevêtres

L'installation de 39 systèmes de renfort mise en œuvre dans le cadre des mesures d'atténuation de 2017 a été complétée à la fin août 2018 et a permis de réduire à « moyen » le risque pour les chevêtres.

Les mesures supplémentaires recommandées dans le plan d'atténuation des risques 2018, soit la surveillance, sur une base quotidienne, du comportement de tous les chevêtres au moyen de capteurs et d'un système de surveillance sophistiqué afin d'évaluer tout changement, et l'inspection, effectuée sur une base plus fréquente (soit aux quatre mois), des chevêtres sur lesquels des systèmes de renfort n'ont pas été installés réduiront le niveau de risque à « bas » à compter de la fin octobre 2018.

3.7 Sections 5 & 7 – Les fûts

La partie émergée des piles (les fûts) a présenté une certaine détérioration au fil du temps et a de façon générale, été réparée. Cependant, comme la majeure partie de la charge sur les fûts est verticale, la corrosion de l'armature dans les fûts n'est pas une préoccupation majeure.

COWI estime que le risque associé à la défaillance des fûts est moyen, et qu'il devrait le demeurer une fois les réparations du brise-glace terminées dans l'éventualité d'un retard de six ou douze mois dans l'ouverture du nouveau pont. Il est à noter que ce niveau de risque est sujet aux conclusions d'inspections futures.

3.8 Sections 5 & 7 – Bases et semelles

La partie immergée des piles (la base) ainsi que les fondations de ces dernières sont difficiles à inspecter et, par conséquent, elles ne font l'objet d'une inspection qu'une fois aux cinq ans. Depuis l'automne 2017, PJCCI a procédé à des inspections sous-marines supplémentaires de 14 des piles et de leurs fondations pour s'assurer que toutes les unités de fondation avaient été inspectées au cours des cinq dernières années. Les inspections effectuées au printemps 2018 ont fait passer le niveau de risque de ces composantes de « faible » à « élevé » en raison de l'ampleur de la détérioration identifiée. Par conséquent, cinq fondations et les semelles de l'une des piles doivent faire l'objet de réhabilitation pour assurer l'intégrité structurale de ces composantes. Les travaux de réhabilitation de la base des piles et des fondations sont en cours et devraient être achevés avant la fin décembre 2018.

Sur la base des dernières informations relatives aux inspections, COWI estime que le risque associé aux bases et aux semelles est élevé et qu'il passera à « faible » une fois que les travaux de réhabilitation planifiés seront terminés. En supposant que le programme de carottage compris dans les travaux de réhabilitation et présentement en cours ne décèle aucun problème, le risque demeurera faible dans les deux scénarios de retard, soit celui de six mois et celui de douze mois. Il est à noter que ce niveau de risque pourrait changer de façon significative suite aux conclusions du programme de carottage des semelles présentement en cours et que des travaux supplémentaires de réhabilitation des piles et des fondations pourraient être requis.

4 Mesures d'atténuation des risques

Depuis de nombreuses années, PJCCI réussit à atténuer le risque associé au pont et c'est sur une base régulière que cette dernière fait face à de nouveaux problèmes en raison de l'incertitude quant à la nature de la détérioration. Les détails de conception et les caractéristiques du matériau de béton intégré dans le pont d'origine ne permettent cependant pas d'éliminer les problèmes, et des mesures de réhabilitation sont conçues pour, au mieux, réduire le risque. Maintenir le pont ouvert au-delà de la date initialement prévue pour la mise en service du nouveau pont présentera un défi et exigera des mesures d'atténuation supplémentaires, lesquelles sont résumées dans le présent rapport.

L'actuel programme stratégique d'atténuation des risques est le fruit d'une coopération étroite entre PJCCI et les consultants responsables des travaux d'évaluation (principalement COWI et Stantec), laquelle a permis une approche coordonnée et proactive du maintien du pont. Le programme stratégique d'atténuation des risques a été essentiel pour garantir avec succès un niveau acceptable de sécurité publique et permettre de maintenir le pont ouvert à la circulation.

Cette section présente le statut du plan d'atténuation des risques de PJCCI suite aux mesures d'atténuation recommandées en 2017, ainsi que le plan d'atténuation des risques 2018 recommandé par COWI pour faire face à un retard possible de six à douze mois pour l'achèvement du nouveau pont.

4.1 Mesures d'atténuation recommandées-septembre 2017

En septembre 2017, en raison d'un retard possible de 12 ou 24 mois dans l'ouverture du nouveau pont, des mesures d'atténuation supplémentaires ont été recommandées par COWI pour maximiser la possibilité de maintenir le pont ouvert à la circulation jusqu'à ce que le nouveau pont soit ouvert à la circulation. Les mesures d'atténuation recommandées en 2017 ainsi que leur statut sont résumés dans le Tableau 1. Au moment d'écrire ces lignes, toutes les mesures d'atténuation des risques présentées dans le rapport 2017 de COWI sont terminées, ou ont été mises en œuvre par PJCCI.

Tableau 1 : Statut du plan de mitigation des risques 2017 recommandé

No	2017 Mesures d'atténuation recommandées	Statut
1	Augmenter la fréquence d'inspection des poutres intérieures les plus détériorées dans les sections 5 et 7 à deux fois par année	Mis en œuvre et en cours Les poutres intérieures les plus critiques (49/250) ont été inspectées deux fois en 2017
2	Augmenter la fréquence d'inspection des chevêtres dans les sections 5 et 7 à une fois aux trois mois jusqu'à ce que des mesures de réhabilitation puissent être installées	Fréquence d'inspection augmentée jusqu'à ce que les mesures de réhabilitation soient installées Complété

3	Procéder immédiatement à la conception de mesures de réhabilitation pour tous les chevêtres dans les sections 5 et 7 (cible pour l'achèvement de la conception : au plus tard à la mi-octobre 2017)	Complété octobre 2017
4	Installation des mesures de réhabilitation pour tous les chevêtres dans les sections 5 et 7 (cible pour l'achèvement : au plus tard à la fin de 2018)	Complété août 2018
5	Fabriquer, dans les plus brefs délais, un ensemble de mesures de réhabilitation pouvant servir de réparation d'urgence pour les chevêtres dans les sections 5 et 7 dans l'éventualité où une défaillance soudaine devait être traitée (cible pour l'achèvement de la conception : au plus tard à la mi-octobre 2017 et pour la fabrication : au plus tard à la fin février 2018)	Renforcement des chevêtres amorcé et complété sur 39 piles au lieu de 45. Cet item n'est en conséquence plus requis
6	Concevoir et installer des mesures de réhabilitation pour la partie immergée des piles si des problèmes sont découverts au cours des inspections ou si des calculs d'ingénierie démontrent que des réparations sont nécessaires	Les inspections effectuées en 2018 ont identifié cinq piles/unités de fondation nécessitant des travaux de réhabilitation La construction est en cours Achèvement prévu : décembre 2018
7	Au fur et à mesure que le temps passe et que la détérioration accélère, il pourrait devenir nécessaire d'installer des instruments de mesure supplémentaires sur un plus grand nombre de poutres intérieures dans les sections 5 et 7, telles qu'identifiées par COWI (un total de 50 poutres est à prévoir, dont 31 ont déjà été équipées). Cible pour l'achèvement de l'installation : au plus tard à la fin décembre 2017	Capteurs supplémentaires installés sur 13 poutres en 2017 pour un total de 44
8	Installer des instruments de mesure sur certains des chevêtres dans les sections 5 et 7 (cible pour l'achèvement de l'installation : au plus tard à la fin décembre 2017)	À la fin décembre 2017, tous les chevêtres avaient été équipés d'instruments de mesure Complété
9	Concevoir et fabriquer, d'ici l'été 2018, un treillis modulaire universel qui sera, en cas de besoin, installé entre les piles sous une poutre intérieure	Conception et fabrication complétées
10	Concevoir et fabriquer un diaphragme de remplacement d'urgence qui sera, en cas de besoin, installé sur un diaphragme en détresse	Conception et fabrication complétées

4.2 Plan d'atténuation des risques 2018 recommandé

En raison de la détérioration continue et du retard possible de six ou douze mois dans l'ouverture du nouveau pont, des mesures d'atténuation supplémentaires ont été recommandées pour maximiser la possibilité de maintenir le pont ouvert à la circulation jusqu'à ce que le nouveau pont soit achevé. Ces mesures d'atténuation recommandées sont les suivantes :

1 Avoir retenu, par contrat, les services d'un Entrepreneur, qui doit être disponible en tout temps pour procéder, au besoin, à l'installation d'une super-poutre pour supporter n'importe quelle poutre dans les sections 5 et 7. Le contrat doit être en place au plus tard en octobre 2018;

2 Avoir retenu, par contrat, les services d'un Entrepreneur, qui doit être disponible en tout temps pour procéder, au besoin, à l'installation d'un treillis modulaire universel sous une poutre intérieure et/ou à l'installation d'un diaphragme de remplacement dans les sections 5 et 7. Le contrat doit être en place au plus tard en décembre 2018;

3 Augmenter, à compter de maintenant, la fréquence d'inspection des poutres intérieures, des diaphragmes et des chevêtres les plus détériorés dans les sections 5 et 7 de tous les six mois à tous les quatre mois. La prochaine inspection doit être prévue pour novembre 2018;

4 Veiller à ce que les 30 poutres intérieures les plus critiques soient équipées de capteurs. Comme le classement des poutres change, il pourrait s'avérer nécessaire, au fur et à mesure que le temps passe et que la détérioration accélère, d'installer des instruments de mesure supplémentaires sur un plus grand nombre de poutres intérieures dans les sections 5 et 7, telles qu'identifiées par COWI sur la base d'inspections (un total de 50 poutres est à prévoir, dont 44 ont déjà été équipées). À l'heure actuelle, deux capteurs supplémentaires sont requis sur les poutres intérieures. La date cible pour les nouvelles installations est la fin octobre 2018. La nécessité d'équiper un plus grand nombre de poutres de capteurs doit être réévaluée après chaque inspection;

5 Concevoir et installer des mesures pour réhabiliter une plus grande surface de la partie immergée des piles si les travaux de fondation en cours montrent que l'état est pire que les inspections sous-marines visuelles laissaient présager. Cible pour l'élaboration d'exigences supplémentaires : fin décembre 2018.

Comme on a pu le constater en 2013 avec la défaillance inattendue d'une poutre de rive, la capacité portante du pont peut changer très rapidement. La réhabilitation, de fréquentes inspections et la surveillance du pont sont essentielles pour gérer le risque et maintenir un niveau acceptable de sécurité publique. Ces mesures ne permettent cependant pas d'éliminer la possibilité d'une défaillance structurale. Par conséquent, même en procédant à la réhabilitation sur une base continue, des risques considérables subsisteront, incluant le risque de fermetures de voies et de fermetures complètes du pont à long terme, et même la possibilité d'un effondrement d'une section du pont. Ces risques augmenteront avec le temps en raison de la détérioration continue.

5 Conclusion

L'actuel pont Champlain a été ouvert à la circulation en 1962. Compte tenu du fait qu'il est relativement jeune, il serait raisonnable de s'attendre à ce que le pont soit en bien meilleur état qu'il ne l'est. Ce n'est malheureusement pas le cas, en raison de détails de conception et de caractéristiques du matériau de béton qui ont entraîné une détérioration prématurée dont les premiers signes se sont manifestés 25 ans après l'ouverture du pont, ce qui est beaucoup plus tôt que prévu.

Depuis de nombreuses années, PJCCI réussit à atténuer le risque associé au pont et c'est sur une base régulière que cette dernière fait face à de nouveaux problèmes en raison de l'incertitude quant à la nature de la détérioration. Les détails de conception et les caractéristiques du matériau de béton intégré au pont d'origine ne permettent cependant pas d'éliminer les problèmes, et les mesures de réhabilitation sont, au mieux, conçues pour réduire le risque. Maintenir le pont ouvert jusqu'à la mise en service initialement prévue du nouveau pont représente déjà un défi. Prolonger la vie du pont au-delà de décembre 2018 exigera des mesures d'atténuation supplémentaires, lesquelles sont résumées dans le présent rapport.

En 2013, dans le but de faire face aux niveaux croissants de détérioration et de maintenir un niveau de sécurité structurale acceptable jusqu'à la mise hors service du pont prévue en 2018, un plan quinquennal d'atténuation des risques a été mis en place par PJCCI. Au cours des cinq dernières années, ce plan a été mis à jour sur une base régulière et mis en œuvre de manière efficace. Il a même été confronté à la défaillance d'une poutre, laquelle est survenue en 2013 et a entraîné la fermeture partielle du pont pendant plusieurs semaines. En septembre 2017, en raison d'un retard possible de 12 ou 24 mois de l'ouverture du nouveau pont, il a été recommandé que le plan d'atténuation soit mis à jour. PJCCI a mis en œuvre et complété toutes les mesures d'atténuation recommandées en 2017, ce qui a permis de réduire certains risques et d'en contrôler d'autres. Cependant, en raison de la détérioration continue du pont, il s'avère nécessaire de réviser le plan d'atténuation des risques, et des mesures supplémentaires se doivent maintenant d'être mises en œuvre afin de maintenir un niveau de sécurité structurale acceptable pendant les six à douze mois suivant décembre 2018 jusqu'à l'ouverture du nouveau pont.

Le pont Champlain actuel comporte de nombreuses composantes différentes, dont certaines sont plus détériorées que d'autres. Le tableau ci-dessous résume l'évaluation par COWI du niveau de risque pour chacune des composantes majeures du pont et la façon dont ces risques pourraient évoluer en fonction des différents scénarios de retard et des différents plans d'atténuation. Les « mesures d'atténuation 2017 » sont celles qui ont été planifiées et mises en œuvre par PJCCI avant septembre 2018, alors que le « plan d'atténuation 2018 » est le plan pour maintenir le pont actuel ouvert à la circulation en raison du retard de six ou douze mois dans l'ouverture du nouveau pont.

Composante du pont	Niveau de risque ^(Voir note 1)			
	Sept. 2018	Déc. 2018	Juin 2019 Retard de 6 mois	Déc. 2019 Retard de 12 mois
Section 6 – Toutes les composantes (travées de treillis)				
Mesures d'atténuation 2017	Faible	Faible	Faible	Faible
Plan d'atténuation 2018	Faible	Faible	Faible	Faible
Sections 5 et 7 – Dalle du tablier routier				
Mesures d'atténuation 2017	Faible	Faible	Faible	Faible
Plan d'atténuation 2018	Faible	Faible	Faible	Faible
Sections 5 et 7 – 100 Poutres de rive ^(Voir note 2)				
Mesures d'atténuation 2017	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible
Plan d'atténuation 2018	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible
Sections 5 et 7 – 250 Poutres intérieures				
Mesures d'atténuation 2017	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Plan d'atténuation 2018	Moyen	Moyen ⁽³⁾	Moyen ⁽³⁾	Moyen ⁽³⁾
Sections 5 et 7 – 1 272 Diaphragmes				
Mesures d'atténuation 2017	Moyen	Moyen	Élevé	Élevé
Plan d'atténuation 2018	Moyen	Moyen ⁽³⁾	Moyen ⁽³⁾	Moyen ⁽³⁾
Sections 5 et 7 – Chevêtres				
Mesures d'atténuation 2017	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Plan d'atténuation 2018	Moyen	Faible ⁽⁴⁾	Faible ⁽⁴⁾	Faible ⁽⁴⁾
Sections 5 et 7 – Les fûts				
Mesures d'atténuation 2017	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Plan d'atténuation 2018	Moyen	Moyen ⁽⁵⁾	Moyen ⁽⁵⁾	Moyen ⁽⁵⁾
Sections 5 et 7 – Bases et semelles				
Mesures d'atténuation 2017	Élevé	Faible	Faible	Faible
Plan d'atténuation 2018	Élevé	Faible ⁽⁶⁾	Faible ⁽⁶⁾	Faible ⁽⁶⁾

Notes :

1. Les estimations des niveaux de risque futurs sont incertaines, car il est impossible de prédire avec précision les effets de la détérioration.
2. Le risque a été traité efficacement, puisque l'installation des treillis sur toutes les travées a été achevée en mars 2017.
3. Le niveau de risque demeure moyen pour le plan d'atténuation 2018 puisque PJCCI disposera d'outils pour sécuriser les composantes dans l'éventualité de détresse pour réduire le risque au-delà de décembre 2018. De plus, la fréquence d'inspection des poutres intérieures et des diaphragmes les plus critiques a été augmentée d'une fois aux six mois à une fois aux quatre mois et des capteurs seront installés sur deux poutres intérieures supplémentaires avant décembre 2018 afin de contrôler le risque.
4. Le niveau de risque sera réduit à « faible » à compter d'octobre 2018, car des systèmes de renfort ont été installés pour renforcer les chevêtres les plus critiques, le comportement de tous les chevêtres fait l'objet, sur une base quotidienne, de surveillance au moyen de capteurs et d'un système de surveillance sophistiqué afin d'évaluer tout changement, et les chevêtres sur lesquels des systèmes de renfort n'ont pas été installés sont inspectés tous les quatre mois.
5. Le niveau de risque est sujet aux conclusions d'inspections futures.
6. À l'heure actuelle, les bases et les semelles ont considérées comme présentant un niveau de risque élevé en raison de l'ampleur de la détérioration identifiée lors des inspections effectuées à l'automne 2017 et au début de 2018. Les travaux de réhabilitation des bases et des fondations des piles qui sont présentement en cours seront complétés avant la fin décembre 2018 afin de réduire les risques liés à ces composantes. En supposant que le programme de carottage compris dans les travaux de réhabilitation présentement en cours ne décèle aucun problème, le risque demeurera faible dans les deux scénarios de retard, soit celui de six mois et celui de douze mois. Il est à noter que ce niveau de risque pourrait changer de façon significative suite aux conclusions du programme de carottage sous-marin qui est présentement en cours.

COWI est d'avis que chacun des risques susmentionnés est présentement à un niveau acceptable pour que PJCCI puisse maintenir le pont ouvert à la circulation. Les mesures d'atténuation recommandées dans le présent rapport doivent être mises en œuvre pour contrôler les risques et maintenir l'intégrité de la structure. Dans l'éventualité où des inspections ou la surveillance révélaient de nouveaux défauts structuraux ou de détériorations du matériau, il pourrait devenir nécessaire de procéder à la fermeture de certaines voies ou peut-être même du pont en entier pour une durée indéterminée.

En raison des incertitudes quant à l'état actuel du pont et à la progression de la détérioration, il s'avère très difficile d'estimer le montant du financement qui sera requis afin de maintenir un niveau acceptable de sécurité publique jusqu'à l'ouverture du nouveau pont à la circulation par le biais de la réhabilitation, de la surveillance et des inspections. COWI recommande toutefois que PJCCI dispose d'un financement d'un montant de 20 millions de dollars si le nouveau pont accuse un retard allant jusqu'à 12 mois. La zone d'incertitude potentielle la plus importante est l'état des fondations des piles, sur lesquelles un programme de carottage est en cours de réalisation parallèlement à des travaux de réhabilitation, le tout afin de mieux définir les risques associés à ces composantes. Il est à noter que les résultats du programme de carottage sous-marin pourraient avoir un impact significatif sur le montant du budget requis pour sécuriser le pont.

Il est essentiel, pour gérer les risques et maintenir un niveau acceptable de sécurité publique, de suivre le plan d'atténuation, mais ceci ne peut, cependant, éliminer la possibilité d'une défaillance structurale. Par conséquent et ce, même en procédant à la réhabilitation sur une base continue, des risques considérables subsisteront, incluant le risque de fermetures de voies et de fermetures complètes du pont à long terme, et même la possibilité d'un effondrement d'une section du pont. Ces risques augmenteront avec le temps en raison de la détérioration continue. La fermeture du pont aurait un impact dévastateur sur les usagers et sur l'économie de la région de Montréal.

COWI est d'avis que PJCCI doit continuer à être vigilante en inspectant, en surveillant, en évaluant et, lorsque nécessaire, en renforçant le pont.

Annexe A Description du pont actuel

A.1 Description de la structure

L'actuel pont Champlain a été ouvert à la circulation en 1962. Il s'agit d'une structure de 3,4 km de longueur comprenant une travée principale de treillis en acier de type cantilever au-dessus de la Voie maritime du Saint-Laurent flanquée, de chaque côté, de deux travées de treillis (collectivement appelées la « section 6 »), et 50 travées en béton (sections 5 et 7). Le pont compte six voies de circulation, trois dans chaque direction. Voir la figure A10 pour un aperçu de l'ensemble du pont.



Figure A10 - Vue d'ensemble du pont Champlain

A.2 Section 6 – Travées de treillis en acier

La figure A11 montre l'agencement général de la section 6, constituée de quatre travées de treillis en acier sous le tablier et trois travées principales de treillis. Ces sept travées sont supportées par huit piles en béton (4W à 4E).



Figure A11 - Agencement général des travées de treillis en acier dans la section 6

Chacune des quatre travées de treillis sous le tablier (78,0 m pour les travées 4W-3W, 3E-4E et 78,5 m pour les travées 3W-2W et 2E-3E – voir la figure A11) est constituée de quatre treillis en acier en appui simple surmontés d'un tablier orthotrope qui supporte la circulation routière.

La travée principale du pont est constituée de trois treillis en acier de type cantilever s'étendant sur trois travées. Chaque treillis est constitué de cinq parties distinctes : deux [REDACTED] (117,5 m), [REDACTED] (48,9 m) et [REDACTED] (117,5 m) comme le montre la figure A11. La circulation est supportée par un tablier orthotrope, situé près de la membrure inférieure des treillis.

A.3 Sections 5 et 7– Travées en béton

Chacune des 50 travées en béton dans les sections 5 et 7 est un système en appui simple et possède une coupe transversale de sept poutres préfabriquées post-contraintes (voir la figure A12). La dalle du tablier entre les semelles supérieures des poutres au niveau du tablier est constituée de dalles intercalaires coulées en place. Il y a des diaphragmes entre les poutres, à la fois aux points d'appui et à l'intérieur de la travée. Le tablier est post-contraint dans la direction transversale dans la dalle et dans les diaphragmes. Les semelles supérieures des poutres et des dalles intercalaires coulées en place constituent le tablier sur lequel on retrouve une surface de roulement en asphalte. Il en résulte une structure hautement intégrée, à la fois dans la direction longitudinale et dans la direction transversale.



Figure A12 - Travée en béton typique dans les sections 5 & 7

La longueur des travées en béton varie de 51,4 m à 53,7 m. Une poutre en béton typique est renforcée avec 24 câbles internes de post-tension. Les câbles ont un profil parabolique, avec 14 câbles ancrés aux extrémités de la poutre et jusqu'à dix câbles ancrés sur le dessus de la poutre. La figure A13 montre une coupe typique du tablier du pont ainsi qu'un aperçu de l'élévation des câbles de post-tension de la poutre.



Figure A13 - Coupe transversale d'un tablier de travée en béton typique, dans les sections 5 et 7, et élévation d'un système de post-tension interne de poutre

La longueur des travées en béton varie de 51,4 m à 53,7 m. Une poutre en béton typique est renforcée avec 24 câbles internes de post-tension. Les câbles ont un profil parabolique, avec 14 câbles ancrés aux extrémités de la poutre et jusqu'à dix câbles ancrés sur le dessus de la poutre. La figure A13 montre une coupe typique du tablier du pont ainsi qu'un aperçu de l'élévation des câbles de post-tension de la poutre.