

TECHNOLOGIES PARASISMIQUES DANS LA RÉFÉCTION D'UN PONT À QUÉBEC

Rafi Loulou, ing., LCL-Ponts inc.

Pierre Maillette, ing., MTQ
&
Karim Ladicani, ing., LCL-Ponts inc.

RÉSUMÉ

Nous retraçons en premier lieu les grandes lignes du plan de réfection du pont situé sur le boulevard Henri Bourassa au dessus de L' autoroute 440 à la ville de Québec. Nous mettons en relief les implications structurales de certaines modifications apportées au pont et les moyens qui ont été pris pour accommoder ces modifications. Nous traitons surtout de l' installation de transmetteurs de chocs sismiques au niveau de certains piliers qui ont pour rôle d' assurer la fixité au niveau de ces derniers lors d' un séisme.

Nous réservons la deuxième partie de l' article au développement même du transmetteur de chocs. Un développement qui a été axé sur les conditions que le ministère des Transports a imposé pour pouvoir utiliser ce genre de produits au Québec. Nous faisons surtout référence aux conditions climatiques et le comportement à basse température des transmetteurs de chocs. Nous traitons ainsi du principe de ces systèmes et des différents essais qui ont conduit au développement d' un produit conforme aux spécifications du Ministère.

La troisième partie est réservée pour l' analyse dynamique du pont. Cette analyse a permis d' évaluer la demande sismique du pont selon la nouvelle norme S6-00. Ainsi, nous avons pu quantifier le nombre de transmetteurs requis afin de sécuriser le pont vis-à-vis des sollicitations sismiques.

PLAN DE RÉFECTION ET IMPLICATIONS

Dans le cadre de son programme de maintenance des structures existantes, le ministère des Transports a émis, à l'automne 2001, un plan de réfection pour les deux structures du pont situé sur le boulevard Henri Bourassa, au dessus de l'autoroute 440 à la ville de Québec. Le plan de réfection comprend des interventions à divers niveaux et l'ensemble des travaux a été projeté pour l'an 2002.

Les deux structures sujettes à ce plan de réfection, voie Sud et voie Nord du pont, ont été construites au début des années 1970. Chacune des structures comprend sept travées de longueurs variant entre 28 et 42 mètres. La longueur totale est d'environ 250 mètres. La largeur est de l'ordre de 11 mètres pour chacune des structures. Le tablier est du type dalle sur poutres en béton précontraint coulées sur place. Le tablier repose sur des piliers en béton armé en forme de Y. Ces derniers reposent sur des fondations sur pieux. Les mouvements du pont sont repris par trois joints de dilatation : un joint modulaire au niveau du pilier # 4 et deux joints simples au niveau des culées 1 et 8.

Les diverses inspections conduites sur les deux structures ont fait état de dommages majeurs au niveau des joints de dilatation du pilier # 4 qui sont rendus défectueux et non étanches. Ce constat a soulevé bien des inquiétudes quant à l'état des appuis confinés situés juste en dessous et à l'état des socles de béton qui les supportent. Ces inquiétudes sont d'autant plus grandes qu'il s'agit de plus de trente ans d'utilisation. En fait, ces joints qui étaient encastrés à l'intérieur du diaphragme ne permettaient pas l'accès à ces composantes pour les inspections et entretiens d'usage que le fil des années nous oblige à réaliser. La conception de ces structures qui, rappelons le, date des années 1960, paraît très «correcte» sur le plan technique mais un peu «négligente» sur les dispositions à prendre pour ce qui est de la maintenance. En général, les difficultés rencontrées sur chantier pour la réparation et la maintenance étaient innombrables. Le degré de complexité est tel que l'on pourrait comparer le pont à l'automobile dont la mécanique, quoique fiable, est «impossible à travailler» pour le garagiste. La complexité des travaux avait pour conséquence de limiter les travaux à la voie Sud et de ce fait tous les travaux prévus pour la voie Nord ont été reportés.

Sur la voie Sud qui faisait l'objet de réparations pendant l'an 2002, il a été décidé de l'enlèvement du joint au niveau du pilier # 4. Les mouvements du pont se font à partir de ce pilier pour être repris par les joints des culées 1 & 8. De là, on peut comprendre que le pilier # 4 peut être grandement sollicité s'il s'agit de forces de freinage importantes ou de sollicitations sismiques. Le cisaillement à la base au niveau du pilier # 4 peut tout simplement être très élevé alors qu'il n'est pas conçu pour reprendre des efforts d'une telle intensité.

Dans la perspective de ces changements, le Ministère devait envisager une solution pour mieux distribuer les efforts surtout lorsqu'il s'agit de sollicitations sismiques. L'idée est de profiter des capacités des piliers 3 & 6 qui ont été conçus initialement pour agir comme des piliers fixes et transmettre une certaine partie ou la totalité des efforts sismiques ou charges dynamiques à ces deux piliers. C'est ainsi que le Ministère a prévu l'installation de transmetteurs de chocs sismiques (TCS) sur les piliers 3 & 6. Ces systèmes ont le rôle de bloquer, au moment de

l'excitation sismique, le mouvement du tablier. Le tablier devient monolithique et agit comme un élément rigide. La majorité de l'effort sismique sera ainsi transmise aux piliers 3 & 6, soit la même situation qui prévalait avant l'enlèvement du joint.

ORGANISATION DU PROJET ET INTERVENANTS

S'agissant d'un projet non conventionnel et d'un nouveau produit à savoir les Transmetteurs de Chocs sismiques (TCS), il a été convenu avec le Ministère de monter une équipe de travail formée des intervenants suivants :

1. Le ministère des Transports qui agit comme consultant et maître d'ouvrage dans le projet.
2. LCL-Ponts inc. qui a eu le mandat de développer, concevoir et fabriquer les TCS.
3. Les consultants BES inc. qui ont eu le mandat d'évaluer la capacité des différents piliers et de procéder à l'analyse dynamique du pont avec la méthode des diagrammes d'évolution.
4. L'École Polytechnique qui a eu le mandat de faire les tests de développement et les tests de qualification des TCS.
5. M. Robert Tremblay, professeur à l'École Polytechnique, qui agissait comme consultant externe dans les différentes facettes du projet soit le développement du produit, l'analyse dynamique du pont et l'usage que l'on fait de ces TCS pour le pont. .

TRAVAUX SE RAPPORTANT À LA SISMICITÉ DU PONT

L'installation des TCS sur le pont avait comme premier objectif de ramener la fixité au niveau des piliers 3 & 6. C'était donc une condition à remplir et une conséquence immédiate de l'enlèvement du joint non étanche et défectueux. Cependant, et dans l'optique de sécuriser le pont vis-à-vis des sollicitations sismiques et le rendre conforme à la norme S6-00, le Ministère a procédé à une analyse exhaustive du pont. Cette analyse a permis d'évaluer en premier la capacité des divers piliers. Ensuite, l'analyse dynamique a permis d'estimer la demande sismique du pont. Ainsi, nous avons pu déterminer le nombre de TCS requis sur chaque pilier. L'analyse dynamique nous a permis aussi de voir l'avantage d'installer des amortisseurs au niveau de la culée # 8 en terme d'atténuation et de distribution d'efforts sur les divers piliers et culées.

Nous exposons ci-dessous l'ensemble des actions entreprises par le Ministère et ce en rapport à la sismicité du pont :

1. Installation de trois transmetteurs de chocs sismiques au niveau du pilier # 3 afin d'assurer la fixité de ce dernier lors de sollicitations sismiques ou d'efforts de freinage importants.
2. Installation de trois transmetteurs de chocs sismiques au niveau du pilier # 6 et ce pour les mêmes raisons énumérées dans le cas du pilier # 3.
3. Installation de 2 amortisseurs au niveau de la culée # 8 afin d'atténuer les forces sismiques et les mieux distribuer sur les divers piliers et culées.
4. Installation de 2 fixations «fusibles» au niveau du pilier # 4. Ces fixations, agissant comme des «fusibles» mécaniques, sont conçues pour rediriger, dans les conditions normales d'utilisation, les mouvements thermiques de part et d'autre du pilier # 4. Au

delà d'une certaine force qui correspond à la capacité du pilier # 4, ces fixations cèdent et donnent lieu à un tablier mobile. Ces fixations ont été conçues ainsi afin de conserver l'intégrité du pilier # 4 dans l'éventualité d'un séisme.

Ces interventions ont été résumées sur la figure 1 où l'on montre la voie Sud dans sa configuration initiale et après réparation.

TRANSMETTEURS DE CHOCS SISMIQUES

Le transmetteur de chocs sismiques (TCS) connu sous l'appellation anglaise Lock-Up Device est un produit destiné à résister aux secousses sismiques et aux charges dynamiques. Le TCS est un produit de la famille des amortisseurs mais, à la différence de ces derniers, un TCS ne dissipe pas d'énergie. Un TCS est conçu pour bloquer le mouvement et rendre monolithiques plusieurs masses ensemble. Une vue 3D du TCS est illustré à la figure 2. Il s'agit d'un ensemble cylindre-piston à double action. Le cylindre est rempli d'un fluide à base de silicone devant maintenir de bonnes propriétés de viscosité à basse température. Le comportement de l'appareil est principalement dicté par la viscosité du fluide utilisé et l'ouverture des orifices qui font évacuer le fluide de part et d'autre du piston.

Il y a très peu de compagnies qui maîtrisent la conception et la fabrication de ce genre de produits. Nous connaissons en particulier un fournisseur américain et un autre italien. LCL-Ponts se trouve à être la première compagnie canadienne à maîtriser ce savoir faire.

Le développement du produit a été basé sur les critères suivants :

1. À vitesse faible et afin d'accommoder les mouvements dus aux effets de température, le système doit générer le minimum de résistance possible. Le TCS doit, dans les conditions normales d'utilisation, permettre le mouvement du pont sans trop de restrictions.
2. À vitesse de déplacement élevée, le TCS doit mobiliser suffisamment de résistance pour bloquer le mouvement du pont sans toutefois subir des déplacements importants.
3. A basse température le système doit rester toujours stable. Le fluide à l'intérieur du cylindre doit conserver de bonnes propriétés de viscosité et ce jusqu'à -30°C Il s'agit d'adapter le système aux conditions hivernales locales.

Les deux premiers critères s'inscrivent dans la définition même du TCS et du comportement anticipé pour ces systèmes. Cependant, le troisième critère était une exigence explicite du Ministère et une condition à remplir pour pouvoir installer ces systèmes au Québec.

Il est à noter que le comportement à basse température constituait le principal défi dans le développement du produit et, à notre connaissance, tous les systèmes existants ne peuvent aller en dessous de -15°C . Il s'agit fort probablement des premiers systèmes qui peuvent assurer un comportement stable sous des températures allant jusqu'à -30°C . L'exploit est sans doute d'une grande importance.

CONCLUSION

Participer dans un tel projet était tout simplement une expérience stimulante et enrichissante. Le succès était sans doute d'un grand réconfort pour tous les partenaires et ce malgré les défis qui tournaient autour du développement du produit et la complexité du projet. Certes, nous devons ce succès à la contribution de chacun des intervenants mais, en premier, nous le devons au Ministère qui a adopté une approche tout à fait avant-gardiste et ce, en restant ouvert et intéressé à l'utilisation de nouvelles technologies dans ce projet de réfection.

RÉFÉRENCES

Bureau d'Études Spécialisées (2002) : Rapport d'analyse par diagramme d'évolution, Montréal, Québec, Canada.

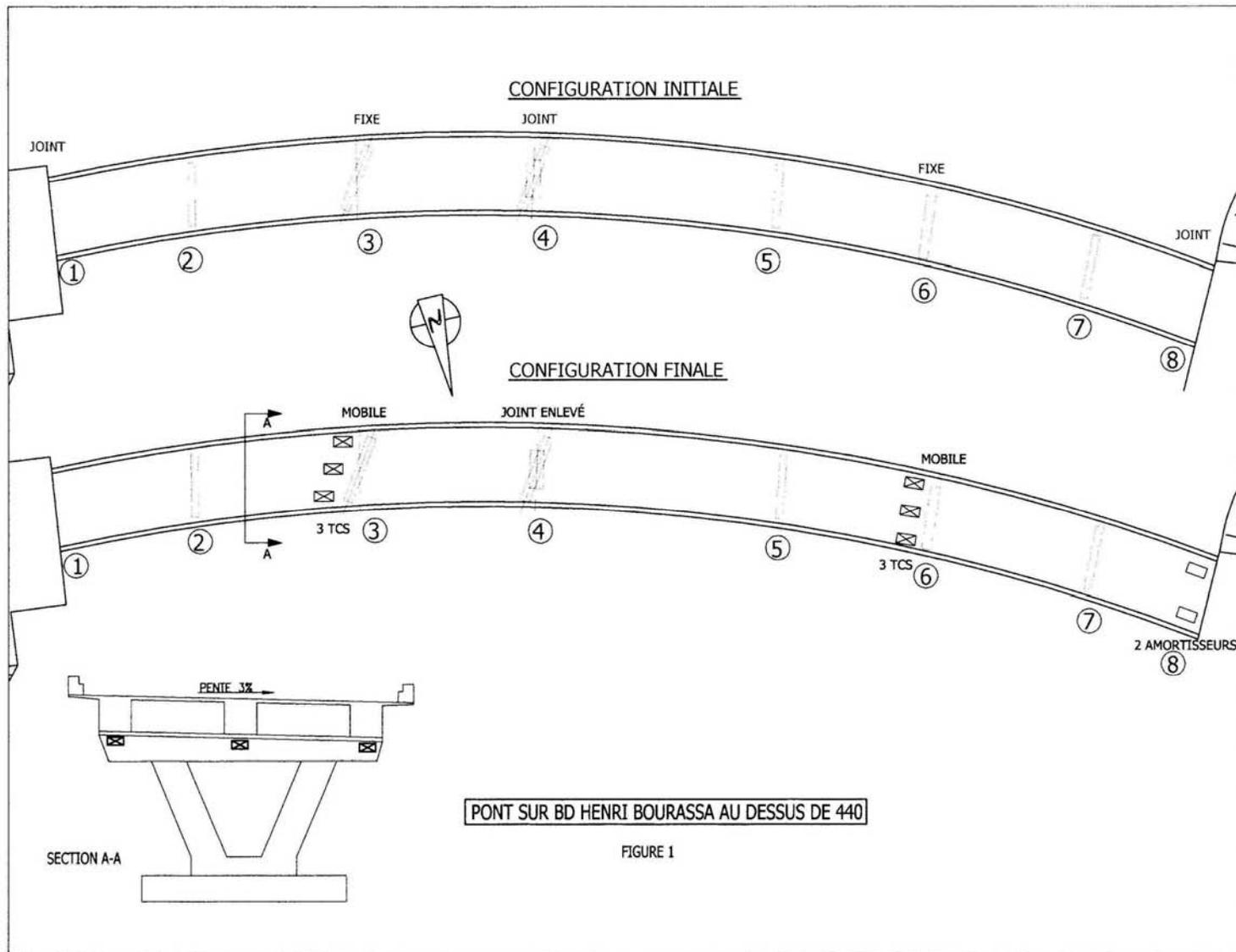
Tremblay, Robert (2002) : Essais de développement d'un transmetteur de chocs sismiques, Projet CDT – ST02 – 11, École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.

Tremblay, R., Moffatt, K. et Massicotte, B. (2003) : Essais de qualification sur transmetteurs de chocs sismiques – Pont de la voie Sud du boulevard Henri Bourassa au dessus de l'autoroute Dufferin, Québec, École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont en premier au Conseil National de la Recherche du Canada et au Ministère des Transports du Québec. Le CNRC pour son aide financière qui a permis d'entreprendre un programme de tests assez exhaustif, lequel a donné lieu au développement du produit. Le MTQ pour la confiance qu'il a témoignée envers notre compagnie pour participer à ce projet.

En deuxième lieu, nous aimerions remercier le professeur Robert Tremblay pour l'intérêt et le professionnalisme qu'il a manifesté tout le long du projet. Ces commentaires et interventions étaient en tout temps utiles et enrichissants pour tous les partenaires.



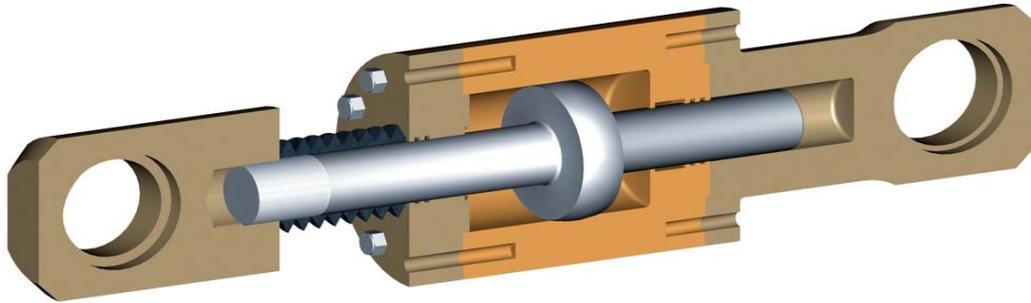


Figure 2 : Vue 3D du Transmetteur de chocs

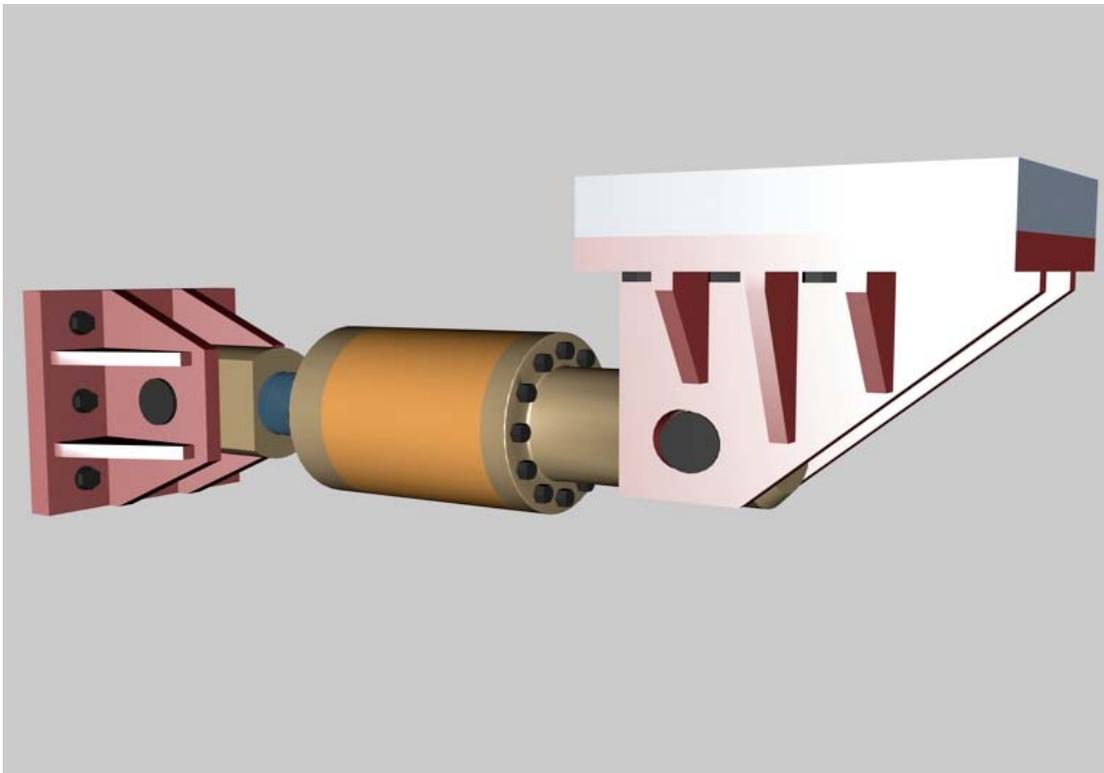


Figure 3 : Treillis de connexion pour poutre et pilier



Figure 4 : Transmetteur en phase d'assemblage



Figure 5 : Tests de validation à -30°C