

ESSAIS DE CHARGEMENT ET ÉVALUATION D'UN PONT EN BÉTON ARMÉ

Jean-Philippe PERRON, Marc JOLIN et Josée BASTIEN
Département de génie civil, Université Laval, Québec
contact : jean-philippe.perron@gci.ulaval.ca

Résumé

De nombreux ponts en béton montrent des signes importants de détérioration attribuables aux conditions d'exploitation sévères auxquelles ils font face. À la suite de l'évaluation normative de leur capacité portante, il arrive fréquemment que ces ponts soient jugés déficients et que des mesures particulières soient nécessaires afin d'assurer leur maintien en service. Parmi celles-ci, il est possible de limiter la charge maximale admise sur le pont, de procéder à un renforcement ou encore, de fermer la structure à la circulation. Parallèlement, il semble de plus en plus évident que les méthodes conventionnelles d'évaluation des ponts proposées par les normes et basées sur des hypothèses simples et générales tendent, dans bien des cas, à sous-estimer leur capacité portante. Dans ce contexte, les essais de chargement sont devenus un moyen de plus en plus utilisé afin de mieux connaître le comportement d'un ouvrage en service tout en incluant un ensemble de paramètres souvent non pris en compte dans les procédures normatives d'évaluation. Cet article présente l'approche analytique utilisée pour le traitement des résultats issus d'essais de chargement statique et dynamique réalisés sur un pont en béton armé.

1. Introduction

L'état des infrastructures en béton est un sujet grandement discuté dans la littérature et les conférences scientifiques. En effet, une grande proportion des ponts sont âgés et nécessitent des interventions à court terme. La détérioration dans le temps de ces ponts est principalement attribuable aux conditions d'exploitation de plus en plus exigeantes. L'environnement agressif et l'augmentation de l'intensité et du volume des surcharges routières sont en majeure partie responsables de l'accélération du processus de dégradation, d'autant plus que la majorité des ponts de la côte est nord-américaine ont été construits entre les années 1950 et 1970 et conçus selon des charges de conception significativement plus faibles. Dans ce contexte, de plus en plus de ponts ne répondent plus aux exigences actuelles à la suite de l'évaluation de leur capacité portante. Des démarches doivent donc être entreprises pour renforcer et/ou restreindre l'exploitation de ces structures afin d'éviter leur fermeture complète.

Entre-temps, on semble reconnaître dans la littérature [1-7] et dans la norme canadienne [8] que les ponts en béton armé (spécialement ceux de courte portée) possèdent une capacité portante supérieure à celle généralement prédite par la théorie. En effet, suite à leur évaluation, il arrive fréquemment que ces ouvrages soient jugés déficients sans posséder de défauts majeurs apparents permettant d'appréhender de tels résultats. Il s'avère donc que la méthode d'évaluation prescrite par la norme canadienne [9] éprouve quelques difficultés à représenter adéquatement le comportement structural et la capacité portante des ponts existants. Cette imprécision est reliée au

fait que la procédure d'évaluation est simple et souvent générale dans le but de s'adapter à plusieurs types de ponts. Les paramètres impliqués dans l'évaluation tels que les charges vives, la résistance des matériaux, la distribution des charges, etc. sont donc, par nécessité, conservateurs. De plus, dans le but de simplifier cette procédure d'évaluation, plusieurs sources de résistance secondaires sont négligées (redondance structurale, conditions de retenue particulières, éléments non structuraux, etc.). Des méthodes plus poussées doivent donc être mises en œuvre pour diminuer les sources d'imprécision et pour raffiner les modèles théoriques exploités dans la représentation du comportement réel des ouvrages.

Ce travail fait état de l'avancement d'un projet de recherche entrepris en 2002 au Département de génie civil de l'Université Laval, en étroite collaboration avec la Direction des structures du ministère des Transports du Québec. L'étude consiste, entre autres, à analyser les résultats d'essais de chargement statique et dynamique réalisés sur un pont en béton armé afin d'intégrer certaines informations supplémentaires à l'évaluation structurale de ce pont. Le but est évidemment d'en améliorer la précision et ainsi éviter les inconvénients socio-économiques engendrés par une restriction de charges ou une fermeture de l'ouvrage au trafic routier.

2. Étude de cas

Le pont étudié est une structure simplement appuyée, possédant un fort biais, qui est constituée de deux poutres en T en béton armé (Figure 1). Il fut construit en 1944 et dimensionné pour un camion de 15 tonnes. La géométrie de cet ouvrage est représentative de 76 structures similaires sur le réseau routier québécois. L'inspection visuelle de ce pont a révélé la présence de fissures de cisaillement près des extrémités des poutres, de fissures de flexion au centre des poutres ainsi qu'une large fissure longitudinale (≤ 2 mm) sous la dalle (à mi-chemin entre les poutres). De plus, des taches d'efflorescence et de la délamination sont présentes à l'extrémité des poutres ainsi que sur les diaphragmes.

L'évaluation de la capacité portante du pont par la méthode simplifiée de la norme canadienne (S6-88) montre que la structure est en mesure de reprendre qu'environ 30% de la surcharge légale autorisée sur cette route, en flexion comme en cisaillement. Il faut toutefois noter que la méthode d'analyse simplifiée a été utilisée pour évaluer la répartition transversale des charges malgré le fait que cette méthode ne soit pas rigoureusement valide pour la géométrie de ce pont (le biais étant supérieur à la limite permise). Par conséquent, une méthode d'analyse plus élaborée aurait été plus appropriée ici. De plus, les hypothèses utilisées dans les calculs d'évaluation semblent peu représentatives des conditions d'exploitation locales. En effet, les études de trafic pour ce pont ont démontré que le DJMA¹ est de 630 véhicules. Les sollicitations « recommandées » par la norme apparaissent donc inappropriées et très conservatrices pour le site à l'étude [10].

Compte tenu de l'évaluation faible et de l'impossibilité pour le milieu d'accepter une restriction de charge sur le pont, les autorités ont décidé de remplacer, à moyen terme, la structure. Toutefois, dans le contexte où l'état du pont ne laisse pas prévoir une rupture imminente, un programme de télésurveillance a été mis en place afin de déterminer le rythme de progression de

¹ Débit journalier moyen annuel

l'endommagement. Des essais de chargement ont aussi été réalisés afin de mieux connaître le comportement structural de l'ouvrage.

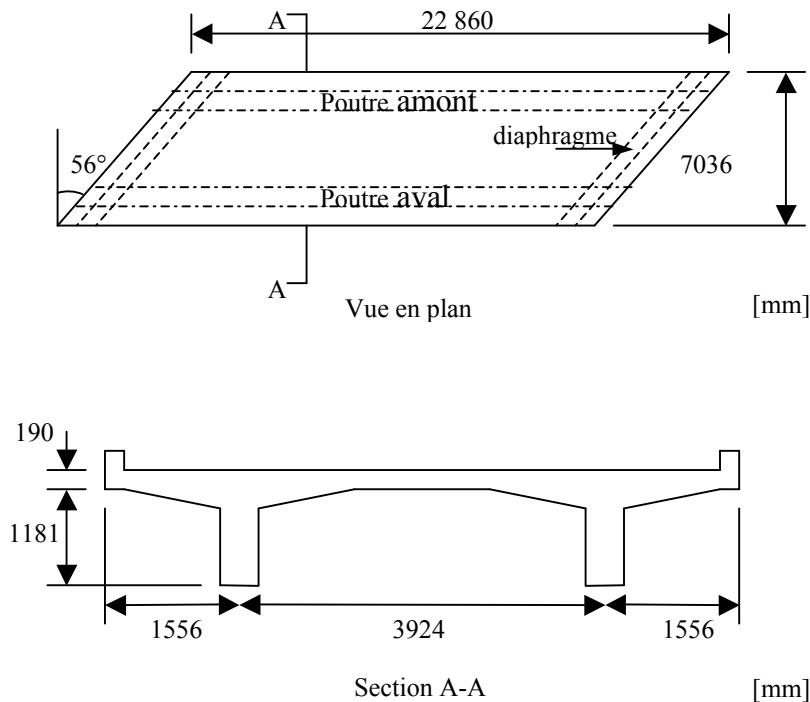


Figure 1 : Géométrie du pont à l'étude

2.1 Essais de chargement

Dans le but d'en connaître davantage sur le comportement structural du pont, des essais de chargement statique et dynamique ont été réalisés à l'automne 2002. Les essais ont été effectués avec deux camions (camion benne de type « 10 roues ») à trois essieux remplis de sable et pesant respectivement 25.58 et 27.59 tonnes.

Lors des essais de chargement statique, quatre cheminements longitudinaux différents ont été empruntés par les véhicules avec neuf positions d'arrêt prédéterminées. La figure 2 présente les différents cheminements. À noter que la position d'arrêt est mesurée par rapport au premier essieu arrière du véhicule. Des essais ont aussi été réalisés en combinant les deux camions à différents cheminements et différentes positions d'arrêt. L'acquisition de données a été réalisée au rythme de 10 lectures par secondes. La déformation maximale de traction enregistrée durant les essais de chargement statique est de $108 \mu\epsilon$ à mi-portée de la poutre amont. Ce résultat indique que, pour ces chargements, les déformations demeurent dans le domaine élastique des matériaux. De plus, le déplacement vertical maximal mesuré sous le poids des deux camions est de 4.3 mm. Cette valeur est obtenue pour une combinaison de camions dans le cheminement C. La flèche maximale atteinte est encore loin de la limite théorique en service, soit une flèche maximale permise de 28 mm.

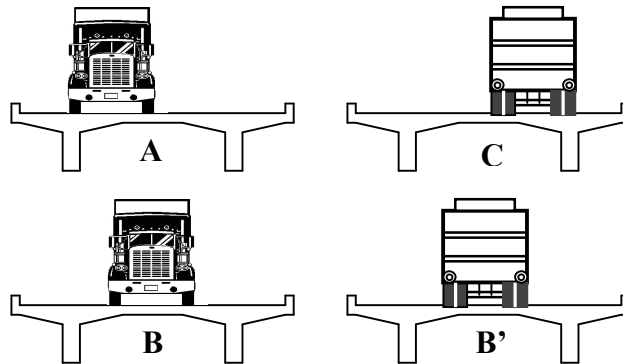


Figure 2 : Positions du camion lors des cheminement

Les capteurs utilisés pour mesurer les déformations, les déplacements et les rotations durant les essais de chargement sont :

- Quatre jauges en demi-lune (\square) mesurant les déformations longitudinales des poutres;
- Deux jauges de déformations soudées sur certaines barres d'armature des poutres;
- Deux capteurs de déplacement installés à mi-portée mesurant le déplacement vertical des membrures lors d'une sollicitation;
- Deux inclinomètres mesurant la rotation des poutres près des appuis.

Des essais dynamiques ont aussi été réalisés à différentes vitesses contrôlées (5, 30 et 50 km/h) suivant les voies de circulation normale sur le pont. Les mesures des amplitudes maximales de déplacements statiques et dynamiques ont permis de déterminer le facteur d'amplification dynamique (FAD_{\square}) lors du passage du camion (figure 3). Toutefois, plusieurs facteurs influencent la réponse dynamique d'un pont comme, entre autres, les caractéristiques dynamiques des véhicules et du pont, les conditions initiales d'application des charges, le profil de la chaussée, etc. [11]. Il faut également noter que plus la charge sur la superstructure est élevée, plus le FAD_{\square} diminue. Pour cette raison, les valeurs de FAD_{\square} obtenues expérimentalement doivent être interprétées avec discernement puisqu'elles sont spécifiques aux caractéristiques du camion utilisé pour l'essai de même qu'à l'ouvrage à l'étude.

2.2 Caractérisation des matériaux

Afin d'en connaître davantage sur les propriétés et l'état d'endommagement des matériaux en place, des essais ont été effectués sur la structure. Neuf échantillons de béton ont été prélevés dans la dalle, les poutres et les diaphragmes. Les résultats montrent que la résistance moyenne en compression du béton est de 42 MPa dans les poutres et les diaphragmes tandis que la résistance moyenne dans la dalle est de 35 MPa. Les essais ont aussi démontré que les barres d'armature ne sont pas corrodées probablement en raison de l'absence d'épandage de sels de déverglaçage sur cette route. En somme, les essais réalisés pour caractériser l'état de détérioration démontrent que les propriétés des matériaux et la structure en générale sont dans un meilleur état que celui estimé au départ.

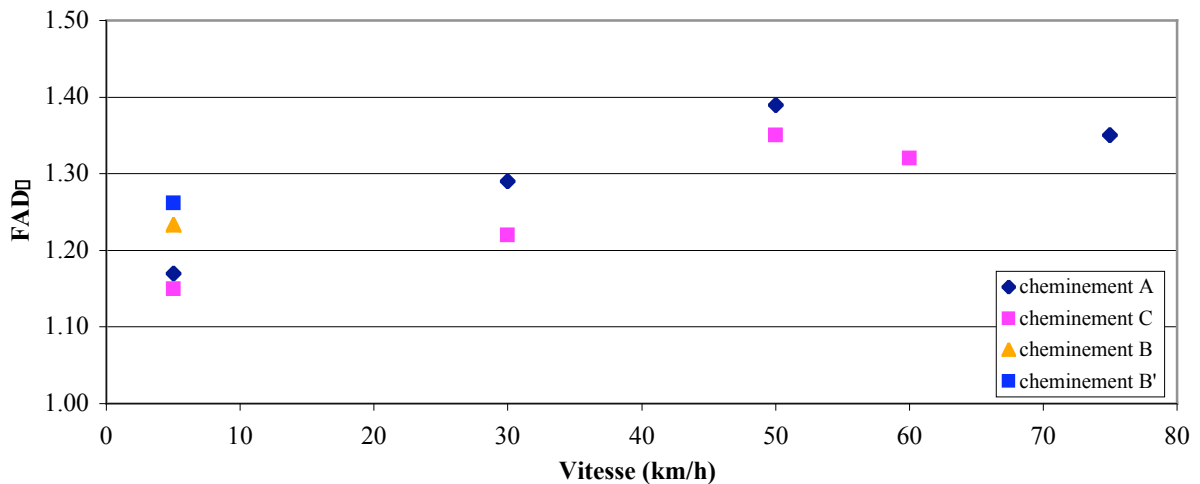


Figure 3 : Facteur d'amplification dynamique en fonction de la vitesse du camion

3. Discussion

L'analyse du comportement structural du pont n'est toujours pas terminée. Certaines difficultés au niveau de l'analyse semblent provenir de l'efficacité et de la précision de certains capteurs. Plus particulièrement, les jauges en demi-lune (\square) ne semblent pas offrir une précision suffisante lorsque les déformations sont très petites, comme ce fut le cas pour certaines positions de camion étudiées. Cette situation est problématique puisque le positionnement de ces jauges fait en sorte qu'elles sont les seules permettant de calculer l'axe neutre et les efforts internes des membrures. L'utilisation de cordes vibrantes aurait probablement permis d'obtenir de la précision requise.

Outre les problèmes associés à l'instrumentation, différentes difficultés ont compliqué l'interprétation des résultats lors de l'analyse structurale. Parmi celles-ci, le blocage des appuis et l'effet du biais sont deux phénomènes importants qui contribuent probablement à augmenter la capacité du pont :

- Le blocage des appuis (retenue horizontale) qui se manifeste aux extrémités des poutres en contact direct sur les culées diminue les efforts de flexion dû au développement d'un moment négatif résistant (effet d'arc) lors de la sollicitation du pont. Ce phénomène est toutefois complexe à traiter et difficilement quantifiable en terme de gain de capacité. Une fissure verticale à une des extrémités des poutres témoigne d'ailleurs de ce comportement.
- La géométrie particulière du pont (biais de 56°) est un paramètre important pour la distribution transversale des moments. Une augmentation de l'angle du biais réduit significativement les moments dans les poutres, et ce, particulièrement pour les biais supérieurs à 30° [12]. Par conséquent, un choix inapproprié au niveau des facteurs de distribution des charges peut mener à l'utilisation de moments très conservateurs. Un modèle linéaire par l'analogie du grillage a été réalisé pour valider l'effet du biais sur la variation du moment. Ce modèle est calibré à partir des résultats obtenus à la suite des essais de

chargement. La distribution des moments obtenue à partir du modèle indique une réduction des moments de l'ordre de 22 % à 34 % dans la poutre la moins sollicitée et de 2 % à 10 % dans la poutre la plus sollicitée. Notons cependant que l'effet du biais augmente généralement de façon importante les efforts de cisaillement au niveau du tablier du pont. La poursuite de l'analyse permettra de confirmer l'importance de ce phénomène.

Néanmoins, certaines sources d'imprécision liées aux propriétés des matériaux sont maintenant réduites à la suite des essais *in situ*. Entre autres, la résistance du béton des poutres et de la dalle est bien supérieure à celle initialement prévue. De plus, l'absence de corrosion sur les barres d'armature évite de diminuer inutilement la section de l'acier contribuant à la résistance. Par contre, l'efficacité des barres lisses et des crochets d'ancrage est questionnée. Ceci s'explique par la présence de crochets dans la zone en traction (barres longitudinales trop courtes) qui ne permet peut-être pas d'assurer un ancrage adéquat.

4. Conclusion

Les essais de chargement sont une approche permettant de recueillir de l'information pertinente afin d'améliorer les connaissances sur le comportement d'un ouvrage. L'étude de cas présentée démontre toutefois que l'analyse structurale peut s'avérer laborieuse lorsque différentes sources d'imprécision sont présentes au sein d'un même ouvrage. Malgré ces difficultés, les observations provenant de l'analyse semblent suggérer une plus grande capacité que celle prédite par la théorie. Plusieurs vérifications sont toutefois encore nécessaires avant de pouvoir affirmer avec certitude la présence de cette réserve de capacité, et surtout de la quantifier.

5. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier messieurs Marc Savard, ing. et Jean-François Laflamme, ing. de la Direction des structures du ministère des Transports du Québec pour leur précieuse collaboration. La Direction des structures du ministère des Transports du Québec est aussi chaleureusement remerciée pour son appui financier offert dans le cadre de ce projet.

6. Références

1. Al-Mahaidi, R., Taplin, G. et Giufre, A., «Load distribution and shear strength evaluation of an old concrete T-beam bridge», Transportation Research Board, vol. 1, 2000, p. 52-62.
2. Bakht, B. et Jaeger, L.G., «Evaluation by proof testing of a T-beam bridge without drawings», Structural Engineer, vol. 75, No 19, 1997, p.339-344.
3. Catbas, N., Ciloglu, K., Celebioglu, A., Popovics, J. et Aktan, E., «Fleet health monitoring of large populations: aged concrete T-beams bridges in Pennsylvania», Proceedings of SPIE, vol. 4337, 2001.
4. Casas, J.R., «Evaluation of existing concrete bridges in Spain», Concrete International, Vol. 21, No 8, August, 1999.
5. Chajes, J., Shenton III, H.W. and O'Shea, D., «Bridge-condition assessment and load rating using non-destructive evaluation methods», Transport research record, Vol. 2, No 1696, 2000, pp.83-91.

6. Chase, S.B. et Laman, J.A., «Dynamics and field testing of bridges», Transportation Research Board, Millenium Paper, Committee A2C05.
7. Middleton, C.R., «Concrete bridge assessment: an alternative approach», Structural engineer, Vol. 75, No 23-24, December, 1997.
8. Commentary on CAN/CSA-S6-00, Canadian highway bridge design code.
9. Canadian highway bridge design code (CAN/CSA-S6-00).
10. Savard, M., «Surveillance électronique du comportement en service d'un pont routier en béton armé», Rapport MTQ, 2002.
11. Akoussah, K.E., Fafard, M., Talbot, M. and Beaulieu, D., «Étude paramétrique du facteur d'amplification dynamique des charges pour des ponts à travée simple en béton armé», Canadian Journal of Civil Engineering, **24** : 313-322 (1997).
12. Ebeido, T. and Kennedy, J.B., «Girder moments in simply supported skew composite bridges», Canadian Journal of Civil Engineering, **23**: 904-916 (1996).