

ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNÉES PROVENANT DU MONITORING DES PONTS PAR LA TECHNOLOGIE OSMOS

Chakib Kassem¹, Louis Crépeau²

¹ OSMOS Canada inc., Montréal, Québec

² OSMOS Canada inc., Montréal, Québec

RÉSUMÉ:

Cet article présente des applications de la technologie OSMOS pour le monitoring de trois ponts au Québec de juridiction municipale, provinciale et fédérale. Il s'agit du viaduc Frontenac à Sherbrooke, du pont 07191 à Coaticook et du pont Champlain. Le système de monitoring OSMOS est basé sur la technologie de la fibre optique et peut mesurer des effets statiques et dynamiques, simultanément, avec le même équipement. Ce système permet aussi la gestion à distance de la configuration des capteurs et de l'enregistrement des données. Des seuils d'alarme sur le comportement de la structure peuvent être configurés sur le système de monitoring, permettant ainsi l'envoi de messages (par courriel, SMS ou fax) en cas de dépassement de ces seuils. Les applications présentées mettent en évidence l'utilisation des mesures de déformation provenant des Cordes Optiques OSMOS pour déterminer les cycles de déformation saisonniers, la position de l'axe neutre et la distribution du facteur de charge. Ces trois paramètres de suivi sont mis à contribution pour le suivi à long terme de la structure.. Ils ont le mérite d'être facile à évaluer (mesures directes sans traitement supplémentaire) et assez simple à présenter et à comprendre.

1 INTRODUCTION

La gestion des infrastructures de transport constitue présentement un grand défi pour les propriétaires d'ouvrages publics et privés à travers le monde. Ces dernières années, l'état des infrastructures, au Québec, est devenu un enjeu majeur pour le gouvernement et la population. Le Ministère des Transports du Québec fait face à une demande croissante pour de nouvelles infrastructures ou pour réparer celles existantes. Plusieurs ponts sont déficients en raison du vieillissement de ces structures accentuées par les conditions climatiques agressives, l'usage des sels de déglacage et l'augmentation du trafic routier.

La gestion de cette situation nécessite des outils de planification et d'aide à la décision pour accompagner les interventions de réparations ou de reconstruction dans un souci d'efficacité et de rentabilité. Les procédures d'évaluation de l'état structural d'un pont ont de plus en plus besoin de nouvelles méthodes utilisant des systèmes pratiques de monitoring. Dans beaucoup de cas, le monitoring est une fin en soit et reste le seul but à réaliser, alors que l'évaluation structurale qui implique le traitement et l'analyse des données, est très peu exploiter.

OSMOS-Canada Inc. possède une technologie de pointe pour le monitoring des structures et vise à utiliser cette technologie comme un moyen d'évaluation efficace de l'état de nos infrastructures dans le but d'offrir aux gestionnaires un outil d'aide à la décision basé sur une meilleure connaissance du comportement de la structure.

Pour mieux expliciter ce concept, l'article présente des exemples d'application de la technologie OSMOS sur des projets de monitoring réalisés sur des ponts au Québec et porte une attention particulière à l'exploitation des données enregistrées.

2 PRÉSENTATION DE LA TECHNOLOGIE OSMOS

Fondée il y a plus de 20 ans en France, OSMOS (« Optical Strand Monitoring System ») est une compagnie pionnière dans le domaine du monitoring des structures. Elle compte aujourd'hui plus de 1 000 installations bénéficiant de sa technologie à travers le monde.

Le système de monitoring OSMOS exploite la technologie de la fibre optique pour mesurer des variations d'allongement. La mesure repose sur le principe de la modulation d'intensité de la lumière. Ce principe a été retenu après comparaison avec tous les autres procédés à fibres optiques. Cette technique ne requiert qu'un minimum de composants électroniques et mécaniques.

Le système de monitoring OSMOS peut mesurer simultanément les effets statiques et dynamiques avec le même équipement. Les données enregistrées sont accessibles instantanément à partir d'une simple connexion à Internet. À tout moment, l'utilisateur peut consulter l'analyse des informations collectées sous forme de tableau de bord sur son ordinateur. Il dispose aussi des données brutes lui permettant des analyses plus approfondies. Chaque capteur est muni d'un seuil d'alarme et de pré-alarme distinct dont le déclenchement transmet immédiatement un message au responsable de la structure surveillée qui peut être reçu sur son PDA (appareil numérique portable) ou son téléphone portable. Il est donc possible de détecter de manière précoce tout changement de comportement de la structure et d'en suivre l'évolution prévisible. Le système de monitoring est aussi relié à un serveur de base de données qui archive toutes les données brutes et de configuration apparues depuis la dernière liaison. La figure 1 présente une vue schématique du fonctionnement du système de monitoring OSMOS.

2.1 Prise de mesure statique et dynamique

Les données sont saisies en permanence par le système OSMOS à une fréquence de balayage de 100 Hz. A partir de ces différentes valeurs, dans un intervalle configurable entre 10 et 1 000 ms, le système calcule une moyenne, la valeur de mesure brute, qui est enregistrée dans une mémoire à 300 points. Les valeurs brutes constituent alors la base pour le calcul des valeurs de mesure. La mémoire contient donc des valeurs de mesure brutes (atténuation et température) ainsi que les valeurs de mesure (variations d'allongement). La moyenne statique est formée en permanence à partir des valeurs de mesure. L'intervalle statique peut varier entre 100 secondes et un jour. Les moyennes pour une journée sont enregistrées dans un fichier statique par journée.

Pour la mesure dynamique, un seuil dynamique est librement configurable sur système. Si la mesure dépasse ce seuil dynamique, le contenu de la mémoire et les valeurs brutes mesurées jusqu'au dépassement de la limite ainsi que les 300 mesures brutes suivantes sont enregistrés dans un fichier dynamique. Lorsqu'une valeur de mesure dépasse les seuils inférieur ou supérieur, il est possible de générer des messages par SMS, courriel, fax ou traps SMTP.

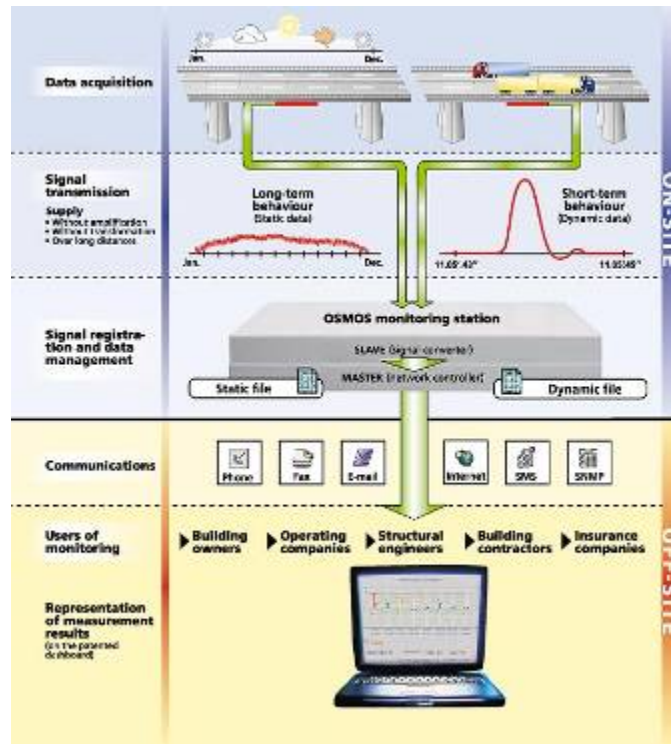


Figure 1. Fonctionnalité du système de monitoring OSMOS

2.2 La Corde Optique

La Corde Optique OSMOS est un capteur de déformation à base longue constituée par trois fibres optiques toronnées. Tout allongement ou raccourcissement du capteur pré-tensionné a pour effet une atténuation proportionnelle de la lumière selon le principe de la microcourbure. La Corde Optique peut être fournie en différentes configurations pour montage en surface ou intégration dans le béton, avec des longueurs de capteur qui varient entre 0.5m et 10m, et une précision de mesure de $2\mu\text{m}$. La température de fonctionnement de ce capteur se situe entre -40°C et $+60^{\circ}\text{C}$.



Corde Optique



Extensomètre optique

Figure 2. Corde Optique et extensomètre optique OSMOS

2.3 Extensomètre optique

L'extensomètre optique utilise directement le principe de la microcourbure. Ce capteur très compact (longueur 100 mm, largeur 45 mm, hauteur 15 mm) peut être utilisé pour mesurer des variations de longueur allant jusqu'à 5 mm. Une tige transmet le mouvement à l'intérieur de l'extensomètre où il est transformé en un signal optique, établissant une corrélation directe entre la course et l'atténuation de la lumière. La figure 2 montre une photo de l'extensomètre optique et de la Corde Optique.

3 APPLICATION DE LA TECHNOLOGIE OSMOS SUR DES PROJETS DE MONITORING AU QUÉBEC

3.1 Pont Champlain

3.1.1 Mise en situation

Le pont Champlain a été ouvert au trafic en 1962. Il est devenu avec le temps une structure névralgique pour relier l'île de Montréal à la rive sud sur le fleuve Saint-Laurent.

Le tablier des sections 5 et 7 du pont Champlain est constitué de 50 travées formées par 7 poutres en béton précontraint simplement appuyées d'une portée moyenne de 52,42 m et espacées à 3,720 m.

Depuis mai 2006, le système de monitoring OSMOS est utilisé pour l'instrumentation et le suivi du comportement de certaines travées du pont Champlain. La partie du pont instrumentée concerne les quatre (4) premières travées ouest de la section 5 du pont Champlain (travées 40W à 44W, voir figure 3).

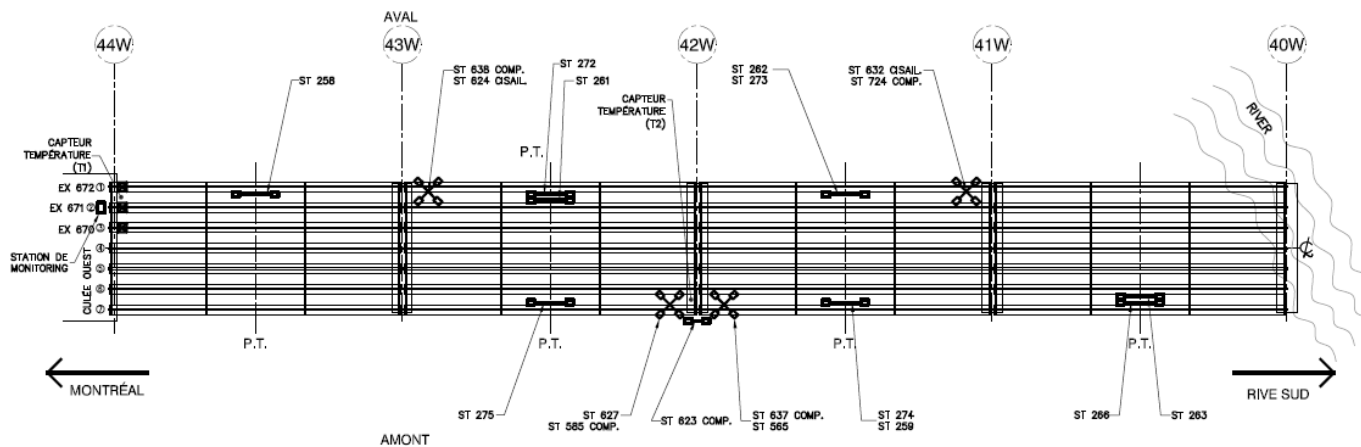


Figure 3. Emplacement des capteurs sur les travées instrumentées

Pour le suivi de la déformation en flexion, des cordes optiques de 5m de longueur sont installées, à mi-portée, sur la semelle inférieure des poutres. Les Cordes Optiques sont

fixées du côté intérieur de la travée pour ainsi réduire les possibilités d'accumulation de neige et d'impacts d'objets.

Pour l'instrumentation de la zone de cisaillement de la poutre, des cordes optiques de 2 m. de longueur sont installées aux extrémités de quatre (4) poutres des travées 41W-42W et 42W-43W. Elles sont installées en perpendiculaire afin de mesurer les déformations dans le sens de la compression et pour capter le moindre mouvement de fissuration. La figure 4 présente la configuration des cordes optiques installées.

De plus, des extensomètres optiques sont installés à la culée 44W sous les poutres #1, #2 et #3 pour capter les contraintes causées par la circulation dans les voies en direction de Montréal (Weight In Motion System).



Corde Optique 5m en zone de flexion



Cordes optiques 2 m en zone de cisaillement

Figure 4. Configuration des cordes optiques installées sur la structure

3.1.2 Suivi à long terme des déformations en flexion

La figure 5 présente le relevé des déformations statiques des cordes optiques installées, à mi portée, sur les poutres de rive des travées 41W à 44W côté aval. Nous pouvons voir que les déformations suivent les variations de la température. Nous avons reporté sur le tableau 1 l'amplitude de déformation statique pour un cycle été – hiver pour deux années consécutives. L'analyse de cette information à long terme permet d'établir un comparatif entre les poutres de rive.

Dans le cadre des opérations de renforcement par post tension extérieure des poutres de rive, le système de monitoring OSMOS a été mis à contribution pour faire le suivi de cette opération sur la poutre P7 de la travée 40W-41W. Les mesures effectuées par le système OSMOS ont permis aussi de quantifier le transfert de charge de la post tension sur la poutre P6 de la travée 40W-41W adjacente qui se trouve indirectement précontrainte. L'opération de post tension a induit une déformation en compression sur la fibre inférieure de 0,20 mm/2m pour la poutre P7 et un transfert de charge sur la poutre P6, adjacente, qui a causé une déformation de 0,13 mm/2m. La figure 6 montre le relevé des déformations lors de l'opération de post tension.

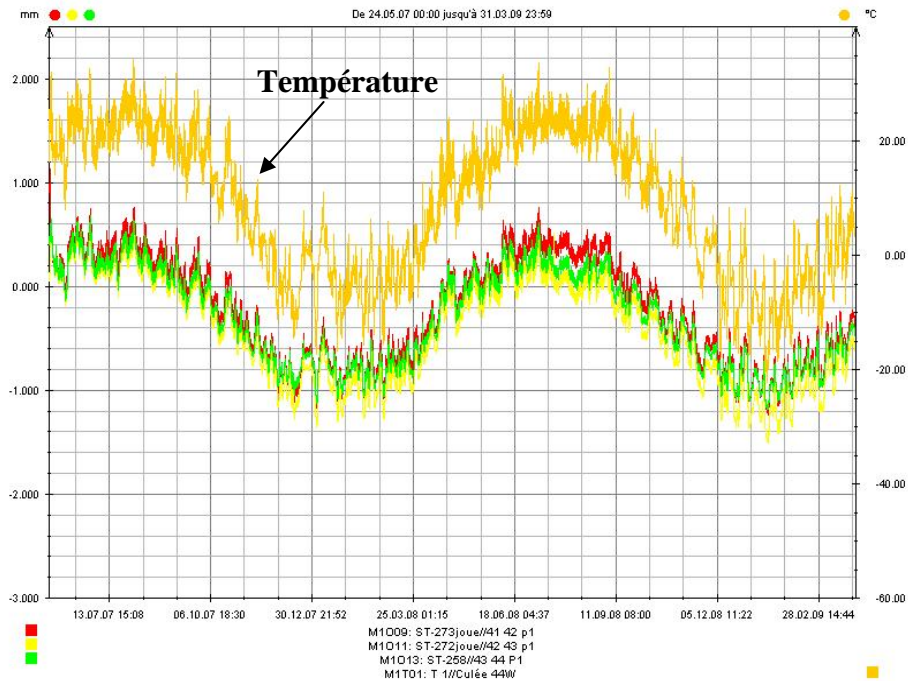


Figure 5 – Enregistrements des déformations à mi-travée pour les poutres de rive (P1) des travées 41W à 44W côté aval (entre le 24-05-2007 et le 31-03-2009)

Tableau 1 Comparaison du Comportement des poutres de rive

Comportement statique	Poutre P1 41W-42W ST-273	Poutre P7 41W-42W ST-274	Poutre P1 42W-43W ST-272	Poutre P7 42W-43W ST-275	Poutre P1 43W-44W ST-258
Amplitude de déformation statique maximum (mm/5m) mai 2007 à mars 2008	1,928	1,791	2,050	1,889	1,805
Inspection Cote d'évaluation du comportement (CEC) (année)	3 (2007)	5 (2006)	2 (2007)	4 (2006)	5 (2006)
Commentaire		PT	PT	PT	

P.T : Renforcement par post tension extérieure

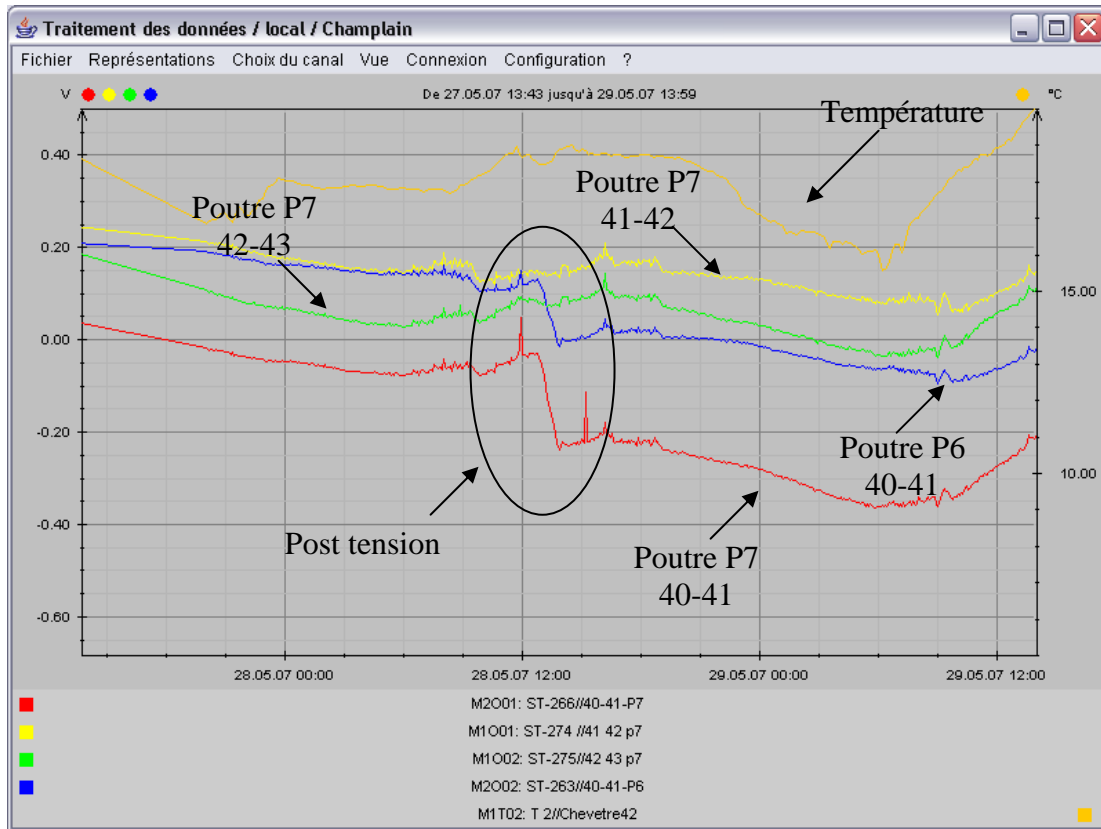


Figure 6. Relevé de mesure lors du test de post tension sur la poutre P7 de la travée 40W-41W

3.2 Pont Frontenac

3.2.1 Mise en situation

Le viaduc ferroviaire Frontenac a été construit en 1932. Il est situé au centre-ville de Sherbrooke au bas de la côte Frontenac, à environ 30 mètres passé l'intersection Frontenac Wellington nord.

Le viaduc sert au passage des trains sur la ligne du chemin de fer Saint-Laurent et Atlantique (SL&A) qui offre un service ferroviaire sur une distance de plus de 416 kilomètres entre Portland, Maine et Sainte-Rosalie, Québec.

C'est un viaduc en béton armé à deux travées continues constituées de deux poutres-dalles. Les plans de cette structure ne sont pas disponibles. Aussi, en raison du faible dégagement sous le viaduc (3,75 m), la structure a été souvent frappée par des véhicules dont le gabarit excédait le dégagement disponible. La ville de Sherbrooke a envisagé l'option du monitoring à long terme pour le suivi du comportement de cette structure. La figure 7 présente une photo du pont Frontenac.

Trois (3) cordes optiques OSMOS ont été installées aux niveaux extrados et intrados à mi-portée sur les deux travées du pont Frontenac. La figure 8 donne les détails de l'emplacement des capteurs OSMOS pour le suivi en permanence de la structure. Les trois (3) capteurs sont reliés à la centrale d'acquisition de données qui est munie d'un

système de communication à travers Internet qui permet l'accès à la station de monitoring et l'enregistrement des données en permanence. Des seuils d'alarme sur le comportement de la structure sont configurés sur le système de monitoring, permettant ainsi l'envoi de messages (par courriel) en cas de dépassement de ces seuils.



Figure 7. Photo du pont Frontenac

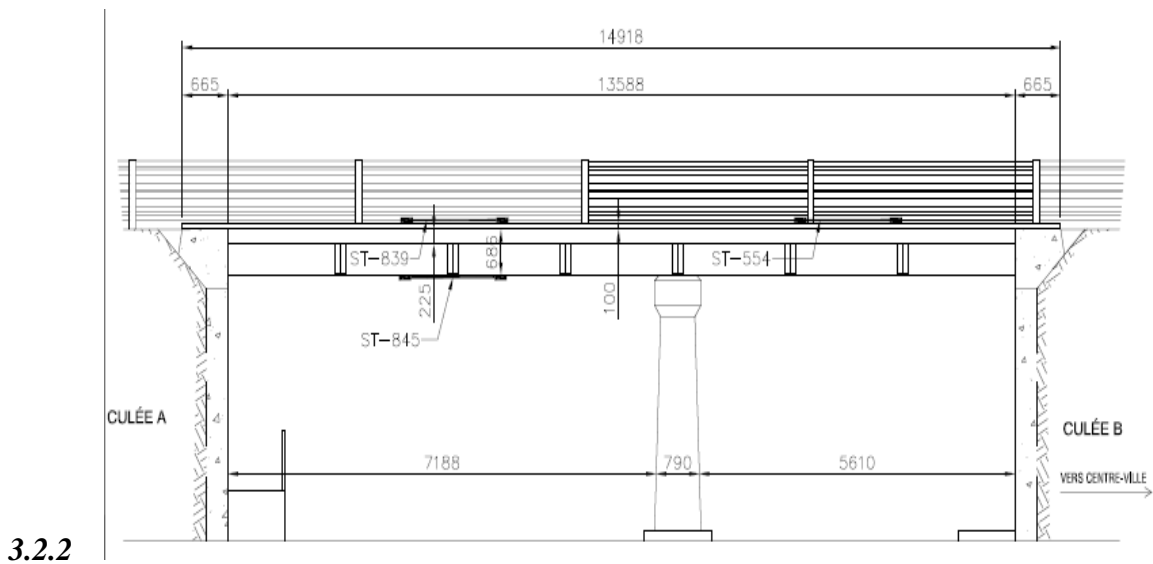


Figure 8. Emplacement des capteurs sur le viaduc Frontenac

3.2.3 Suivi de la position de l'axe neutre

Le système a été configuré pour déclencher un enregistrement dynamique au passage de chaque train. La figure 9 présente le détail d'un exemple d'enregistrement dynamique relevé le 19 février 2009 à 21 h pour un seul train. Les déformations dynamiques enregistrées par les deux capteurs installés à mi-travée en intrados et extrados de la dalle permettent de mesurer la position de l'axe neutre au passage des trains.

la figure 10 présente le suivi de la position de l'axe neutre obtenue à partir des mesures de déformations dynamiques relevées par le système OSMOS. Ces déformations dynamiques correspondent à la charge maximale d'une composante du convoi du train (wagons ou locomotives). Nous pouvons remarquer que l'axe neutre se maintient à une profondeur de 304 ± 13 mm par rapport à une section de 686 mm.

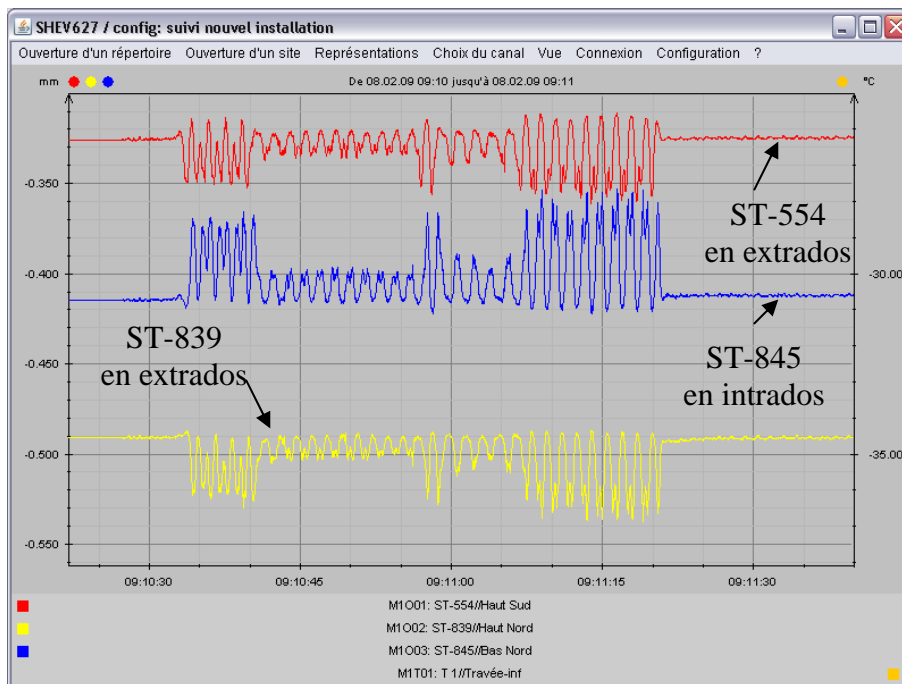


Figure 9. Enregistrement dynamique lors du passage d'un train

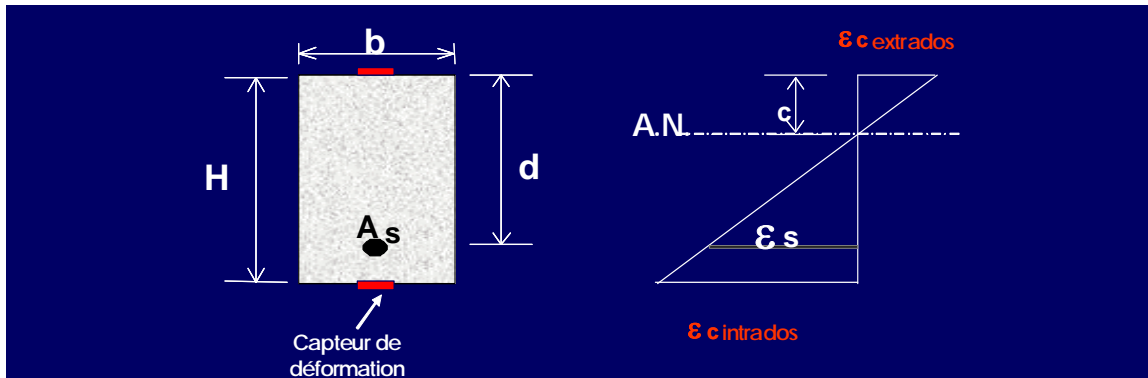
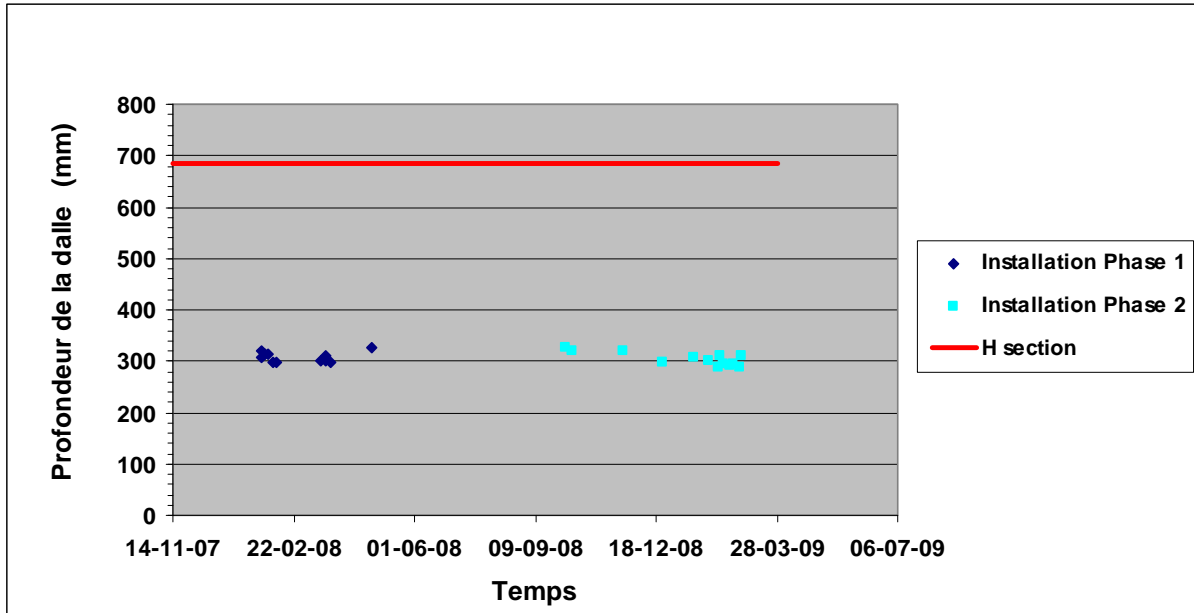


Figure 10. Suivi de la position de l'axe neutre

3.3 Pont Coaticook

3.3.1 Mise en situation

Le pont 07191 est un pont du Ministère des Transports du Québec situé à Coaticook en Estrie sur la route 141 franchissant la rivière Coaticook. Le pont est de type Pony-Warren en acier qui a été construit en 1922. Le système de monitoring OSMOS a été utilisé pour instrumenter la structure du pont et réaliser un suivi du comportement en prévision du remplacement prochain de cette structure. La figure 11 présente une photo du pont Coaticook.

Six (6) cordes optiques OSMOS de 2 m de longueur sont installées sur les membrures en acier du pont 07191 à Coaticook. Trois cordes optiques sont installées sur chacune des deux poutres triangulées de la structure du pont sur la corde supérieure et inférieure à mi-portée et sur la diagonale côté est. La figure 12 indique les détails de l'emplacement des capteurs OSMOS sur la structure. Tous les capteurs sont reliés à une centrale

d'acquisition de données munie d'un système de communication permettant l'accès en direct aux données enregistrées. Chaque capteur est configuré pour envoyer une alarme en cas de dépassement de seuils dynamique et statique affectés au système de monitoring.



Figure 11. Photo du pont 07191 à Coaticook

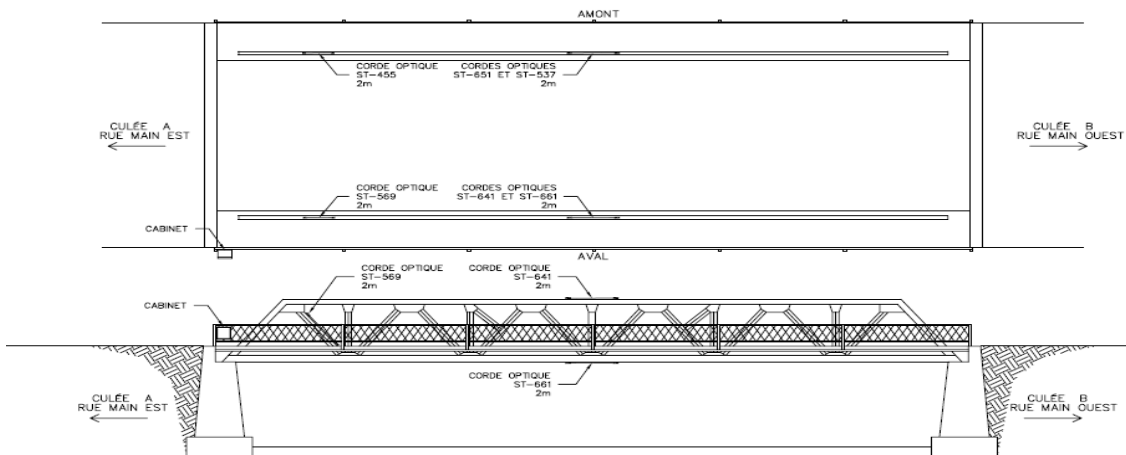


Figure 12. Emplacement des capteurs sur le pont Coaticook

3.3.2 Suivi du facteur de distribution de charge

L'installation symétrique des capteurs sur les deux poutres triangulées du pont nous permet de déterminer les facteurs de distribution de la surcharge routière sur celles-ci. Le calcul est établi à partir des déformations maximales associées au passage des véhicules sur les deux voies du pont. La figure 13 présente deux réponses dynamiques typiques des capteurs pour un passage de véhicules côté aval en direction ouest et côté amont en direction est. Le tableau 2 présente les facteurs de distribution de charge sur les deux poutres du pont Coaticook sur une période d'une année. Ce facteur se maintient à une valeur moyenne de 0,69 et représente un paramètre intéressant de suivi.

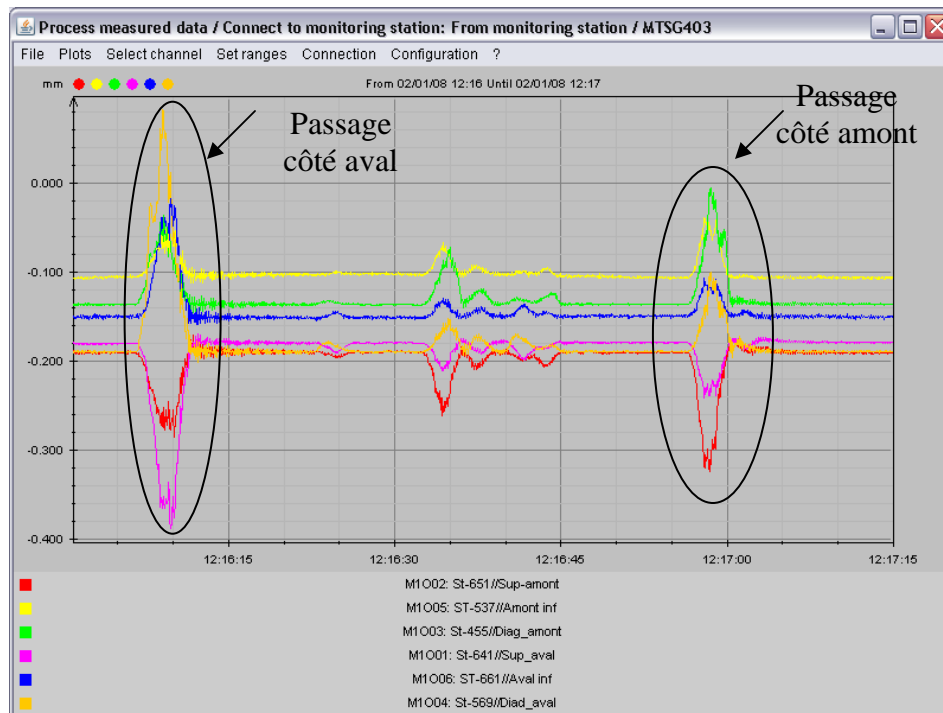


Figure 13. Passage de véhicules côté aval et amont

Tableau 2. Facteurs de distribution de charge pour le suivi du pont Coaticook

Date	Passage coté aval	Passage coté amont
11-mars-08	0,69	0,31
09-avr-08	0,69	0,31
09-avr-08	0,30	0,70
05-mai-08	0,68	0,32
05-mai-08	0,31	0,69
18-juin-08	0,29	0,71
18-juin-08	0,33	0,67
04-juil-08	0,69	0,31
19-juin-08	0,32	0,68
05-août-08	0,67	0,33
24-sept-08	0,70	0,30
24-sept-08	0,28	0,72
14-oct-08	0,68	0,32
03-déc-08	0,28	0,72
19-févr-09	0,33	0,67
19-févr-09	0,71	0,29
12-mars-09	0,32	0,68
12-mars-09	0,71	0,29
Moyenne	0,69	0,69
Écart type	0,01	0,02

CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté des applications de la technologie OSMOS pour le monitoring de trois ponts au Québec de juridiction municipale, provinciale et fédérale.

Ces applications ont mis en évidence l'utilisation des paramètres suivants comme paramètre de suivi du comportement des éléments de la structure instrumentée.

- suivi des déformations saisonnières
- suivi de la position de l'axe neutre
- suivi du facteur de distribution de charge

Ces paramètres ont le mérite d'être facile à évaluer (mesures directes sans traitement supplémentaire) et assez simple à présenter et à comprendre. Cependant, il faut garder à l'esprit que le suivi à long terme ne se limite pas à ces seuls paramètres. Ils doivent être combinés à toutes les autres informations provenant du système de monitoring.

Sur le pont Champlain, les capteurs OSMOS installés sur le pont enregistrent les déformations en permanence depuis mai 2006 sans aucune dérive. Le relevé des cycles de déformations maximales saisonniers permet de faire un comparatif entre l'état des poutres. Le système de monitoring OSMOS a servi aussi à documenter les opérations de renforcement par post tension extérieure en quantifiant le taux de transfert de charge dans les poutres adjacentes à celle subissant la précontrainte.

Sur le pont Frontenac, l'instrumentation déployée permet de vérifier la stabilité de la position de l'axe neutre. Ce paramètre fournit une information intéressante sur l'intégrité structurale de la dalle du tablier.

Sur le pont Coaticook, nous avons donné un exemple de l'utilisation du facteur de distribution de la surcharge routière, sur les deux poutres triangulées du pont, comme paramètre de suivi. Le suivi sur une année a montré une bonne stabilité de ce paramètre.

REMERCEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier monsieur Guy Mailhot de la Société des Ponts Jacques Cartier et Champlain, monsieur Sylvain Grenier de la Ville de Sherbrooke et messieurs Gilles Bourque et André Côté du Ministère des Transports du Québec pour leur support à présenter cet article.

RÉFÉRENCES

1. Cardini A. J. and DeWolf J. T. 2009. Long-term Structural Health Monitoring of a Multi-girder Steel Composite Bridge Using Strain Data. *Structural Health Monitoring*, Vol. 8, No. 1: 47-58.
2. Howell D. A. and Shenton H. W. 2006. System for In-Service Strain Monitoring of Ordinary Bridges. *Journal Of Bridge Engineering*, ASCE, Vol. 11, No. 6: 673-680.
3. Viano, C. 2002. Guide for OSMOS monitoring system. OSMOS group publications, Paris, France, 96p.
4. Viano, C. 2008. User manual for OSMOS data processing. OSMOS group publications, Paris, France, 45p.