

UTILISATION D'ÉQUIPEMENTS PARASISMIQUES SUR LES PONTS CONVENTIONNELS À MULTIPLES TRAVÉES : ÉTUDE PARAMÉTRIQUE

Y. Maltais, ing. Ph. D., J-F Martel, ing. et P. Moffet, ing. M.Sc.

CIMA+, 1145 boul. Lebourgneuf, bureau 300, Québec, Canada, G2K 2K8

RÉSUMÉ

Cet article discute de l'investigation du potentiel de l'isolation sismique comme méthode de mitigation des effets des tremblements de terre sur les ponts construits par le Ministère des Transports du Québec. Dans ce premier de deux volets d'étude que l'on nommera **étude paramétrique**, le potentiel est évalué de manière préliminaire, avec la méthode de la charge uniforme, en observant les effets de l'isolation parasismique sur le dimensionnement des unités de fondations. Pour ce faire, l'influence de plusieurs paramètres de conception est étudiée afin de peser le poids relatif de chacun face à la rentabilité potentielle de l'isolation sismique. L'étude paramétrique a également pour objectif de jeter les balises délimitant la plage d'intérêt de l'isolation, ciblant ce faisant le candidat pressenti comme idéal pour l'application de l'isolation sismique et son opposé, pour lequel une conception conventionnelle ductile semble plus attrayante.

Les paramètres de conception étudiés sont, notamment, l'importance du pont ainsi que sa localisation (rapport d'accélération de la zone, type de sol) et la topographie (rigidité des unités de fondation) du site. Certains choix réalisés par le concepteur ou le propriétaire de l'ouvrage influencent également la rentabilité potentielle de l'isolation sismique, notamment le type de joints utilisés et le type de superstructure (masse linéaire du tablier).

1. INTRODUCTION

Le ministère des Transports du Québec a constaté au cours des dernières années une hausse importante des coûts des systèmes structuraux conventionnels de résistance aux charges horizontales (unités de fondation, butoirs, diaphragmes d'extrémité, etc.). Cette hausse serait principalement attribuable à l'augmentation des charges sismiques données dans les deux dernières éditions (2000 et 2006) de la norme CAN/CSA-S6 comparativement aux éditions antérieures de cette même norme. Dans ce contexte, il est devenu essentiel pour le Ministère de rechercher des solutions visant à réduire l'envergure et le coût de ces systèmes de résistance aux charges latérales.

L'utilisation d'équipements spécialisés pour atténuer les effets des séismes, tels que les isolateurs sismiques, représente une solution prometteuse pour réduire de façon appréciable l'envergure des systèmes structuraux conventionnels de résistance aux charges latérales. Bien que l'utilisation de tels systèmes soit déjà répandue aux États-Unis et ailleurs dans le monde, les exemples d'utilisation sont peu nombreux au Québec, et leur potentiel, de même que les règles inhérentes à leur conception, sont méconnus de la plupart des ingénieurs concepteurs.

2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'étude réalisée par CIMA+ vise à orienter le ministère des Transports du Québec dans l'utilisation de systèmes d'isolation sismique ayant pour but d'atténuer les effets des séismes sur des ponts à multiples travées, de catégories urgence et secours, projetés par ce dernier. Chacun des ponts considérés dans cette étude sera dimensionné sans équipement parasismique puis redimensionné en considérant ce type d'équipement. Un maximum de trois (3) différents types d'isolateurs sismiques devra être considéré à chacun des ponts. Selon le nombre de paramètres retenu dans cette étude, et en accord avec le Ministère, entre trois (3) et cinq (5) ponts différents seront traités. Enfin, une comparaison des coûts relatifs à l'utilisation de différents systèmes d'isolation sismique complétera cette étude.

De façon plus spécifique, les principaux paramètres de l'étude se définissent comme suit :

- Deux conditions de fondation (semelles sur roc, semelles sur pieux);
- Ponts à trois (3) et cinq (5) travées;
- Ponts à poutres en acier (travées de l'ordre de 30 à 40 mètres) et ponts à poutres NEBT (travées de l'ordre de 35 mètres);
- Piles à poteaux simples ou colonnes multiples avec hauteur de 6 et 12 mètres;
- Catégories d'importance sismique pont de secours et pont d'urgence.

Pour chacun des ponts considérés, l'étude devra établir les coûts de construction, d'entretien et de réparation normalement nécessaires sur la durée de vie de l'ouvrage (75 ans), et les coûts à prévoir pour la réparation du pont (appareil d'appui, unités de fondation, etc.) suite à un séisme.

3. MÉTHODOLOGIE

Afin d'évaluer le potentiel des systèmes d'isolation sismique sur les ponts de type courant du Ministère, la présente étude est divisée en deux volets, soit :

- une étude paramétrique réalisée à l'aide de la méthode de la charge uniforme ;
- une étude détaillée réalisée à l'aide de méthodes d'analyse numériques multimodales, incluant notamment la méthode des diagrammes d'évolution.

L'objectif de l'étude paramétrique est de cibler les paramètres susceptibles d'avoir un impact significatif sur la conception parasismique des ponts munis ou non d'isolateurs sismiques. Pour ce faire, l'étude paramétrique a été réalisée à l'aide d'une méthode d'analyse simple et rapide d'exécution, la méthode de la charge uniforme. Cette dernière permet d'établir, de façon préliminaire, les caractéristiques que devrait avoir un pont pour être considéré comme un bon candidat à l'isolation sismique. Une fois l'importance relative de chacun des paramètres d'analyse établie, ceux-ci sont combinés afin de proposer un certain nombre de scénarios où l'utilisation d'un système d'isolation sismique pourrait conduire à une réduction de l'envergure des systèmes structuraux (diaphragmes d'extrémité, appareils d'appui, unités de fondation, etc.) et, de ce fait, à une réduction des coûts de construction. À l'opposé, cette étude paramétrique permet également d'identifier des cas où l'utilisation d'un système d'isolation sismique ne permet pas de réduire de façon significative l'envergure des systèmes structuraux.

L'étude détaillée permettra par la suite d'analyser en profondeur les cas ciblés par l'étude paramétrique. Le travail à faire comprendra notamment l'analyse de modèles numériques tridimensionnels jumelée à l'analyse coûts-bénéfices, et ce, pour des ouvrages conventionnels et isolés.

Mentionnons que cet article présente les résultats de l'étude paramétrique.

4. L'ISOLATION PARASISMIQUE

Les isolateurs sismiques sont des systèmes qui découplent la structure des mouvements du sol et/ou de ses appuis en augmentant la flexibilité de la structure, en d'autres termes en allongeant sa période fondamentale de vibration, tout en fournissant un amortissement approprié.

Puisque les dommages induits à une structure par l'effet des tremblements de terre sont essentiellement dus à la concordance entre la période naturelle de vibration d'une structure et la période dominante de la secousse sismique, l'allongement de la période de vibration de la structure permet, pour un séisme qui produit des accélérations maximales à de hautes fréquences (caractéristique propre aux séismes de l'est canadien), de réduire considérablement l'amplitude des accélérations, et par conséquent des forces qui lui sont transmises.

4.1. Rappel théorique

En cas de séisme, un isolateur permet de diminuer la force transmise à une structure, d'abord en augmentant sa période de vibration, et ensuite, mais dans une moindre mesure, en dissipant une certaine quantité d'énergie par amortissement. Le contrôle des déplacements est un enjeu important, puisqu'il est lié de près à l'allongement de la période. C'est en variant l'amortissement du système que la conception des ouvrages peut être optimisée. Ces phénomènes sont illustrés de façon schématique à la figure 1.

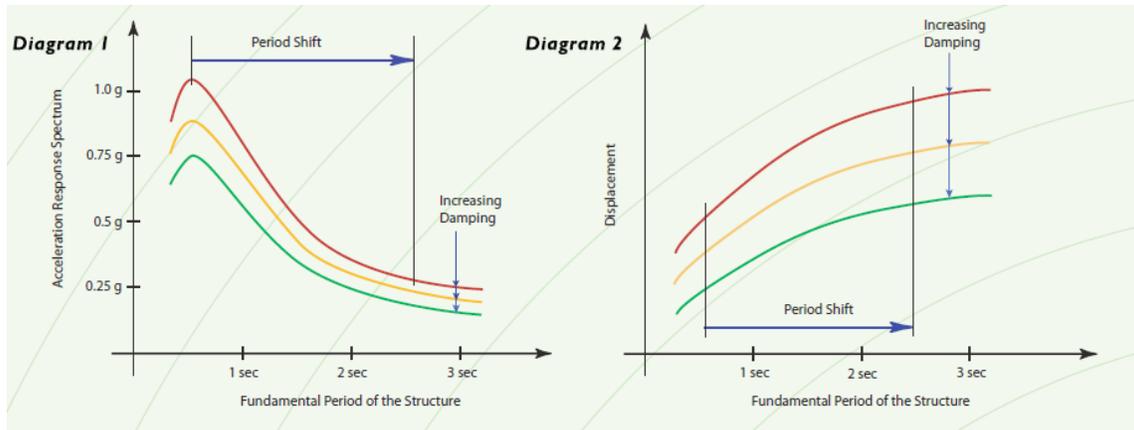


Figure 1 – Influences de l'allongement de la période et de l'amortissement sur l'accélération et le déplacement d'une structure (graphiques DIS [7])

4.2. Systèmes d'isolation

Les systèmes d'isolation sismique considérés dans cette étude sont ceux habituellement employés dans des applications similaires, notamment en Amérique du Nord et au Japon. Il s'agit des systèmes en élastomère fretté, avec noyau de plomb (voir figure 2) et de l'isolateur à base de friction (voir figure 3). Pour augmenter l'amortissement du système d'isolation, lorsque nécessaire, des amortisseurs visqueux peuvent aussi être utilisés en combinaison avec les deux types de système d'isolation considérés.



Figure 2 – Isolateur en élastomère fretté avec noyau de plomb (photo DIS)

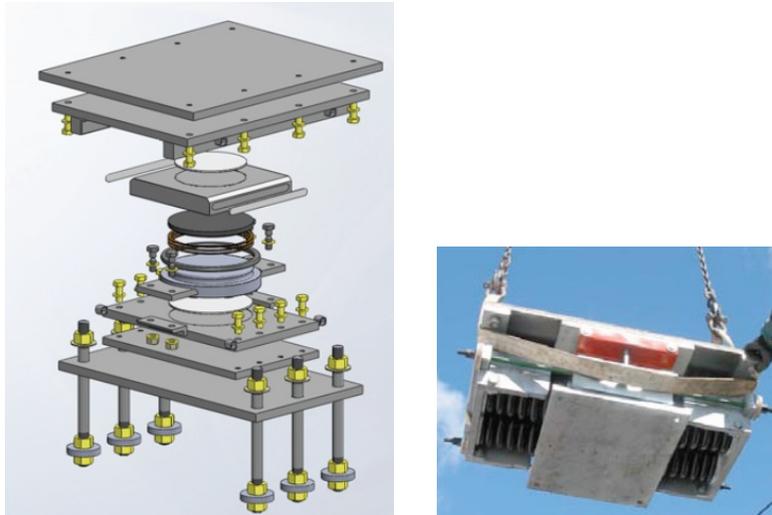


Figure 3 – Isolateurs à friction avec système de recentrage (photo Goodco Z-Tech [8])

Les isolateurs considérés dans le cadre de cette étude (élastomère fretté et système à friction) ont un comportement idéalisé de type bilinéaire qui s'apparente à celui illustré à la figure 4. Ce comportement, caractérisé par les paramètres illustrés sur cette figure, est expliqué en détail par Dion (2010). Retenons simplement, pour la suite, que la rigidité horizontale du système est fonction du module de cisaillement de l'élastomère et du diamètre du noyau de plomb, pour le système en élastomère, et de la rigidité du système de recentrage (ressorts métalliques ou polyéther-uréthanes) une fois le glissement amorcé, dans le cas du système à friction. Aussi, notons que la dissipation d'énergie associée à un cycle de mouvement correspond à la surface comprise à l'intérieur de la boucle d'hystérésis (figure 4).

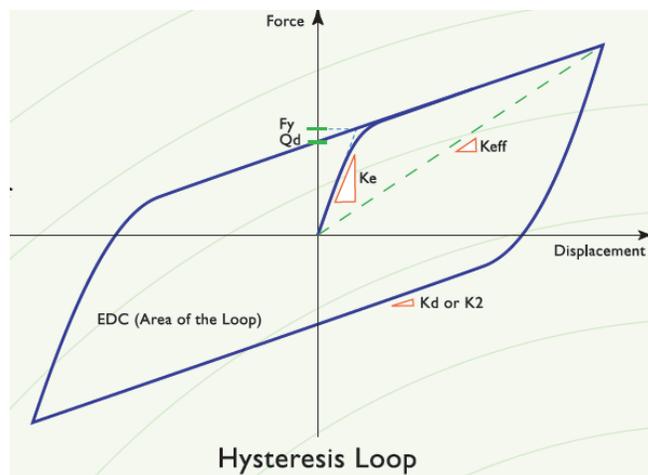


Figure 4 – Comportement de type bilinéaire (graphique DIS)

4.3. Exemples d'applications au Québec

Tel que mentionné précédemment, l'utilisation des systèmes d'isolation parasismique est peu répandue au Québec. Il existe toutefois quelques exemples d'utilisation, dont les deux suivants :

- Pont Madrid (A-20) (système d'isolation sismique dans les deux directions – projet de réhabilitation parasismique réalisé en 2007);
- Pont d'Alma (le premier pont neuf conçu avec un système d'isolation sismique au Québec – projet réalisé en 2002).

5. ÉTUDE PARAMÉTRIQUE (VOLET 1 DE L'ÉTUDE)

5.1. Objectifs spécifiques

Tel que mentionné précédemment, cet article présente les résultats obtenus dans le cadre de l'étude paramétrique qui vise à cibler les paramètres susceptibles d'avoir un impact significatif sur la conception parasismique des ponts munis (ou non) d'isolateurs sismiques.

L'ouvrage étudié dans ce qui suit est un pont conventionnel à deux travées continues. Les caractéristiques du pont (la masse linéaire du tablier, la hauteur des unités de fondation, le type de joints, etc.) sont variables en fonction des différents paramètres suivants :

- Paramètres sismiques du site (rapport d'accélération de la zone et type de sol);
- Paramètres sismiques de l'ouvrage (importance et poids de la structure) ;
- Fixité des appuis en regard du transfert des charges sismiques;
- Rigidité des unités de fondation (hauteur des piles);
- Ductilité des unités de fondation (facteur R);
- Caractéristiques du système d'isolation (β).

Les paramètres sélectionnés pour l'étude paramétrique sont donnés au tableau 1.

Tableau 1 – Paramètres d'étude sélectionnés pour le premier volet de l'étude

I	A (g)	S	w (kN/m)	β (% crit)	H (m)	Δ (mm) permis
1,5	0,10	I	155	15	6,0	50,0
3,0	0,20	II	215	25	12,0	80,0
	0,30	III				120,0
	0,40	IV				160,0

I : Facteur d'importance;

A : Rapport d'accélération de la zone;

S : Coefficient de site;

W : Poids linéaire du tablier;

β : Rapport d'amortissement visqueux du système d'isolation;

H : Hauteur de l'unité de fondation;

Δ : Déplacement maximum permis du haut de l'unité de fondation.

5.2. Rappel théorique

Cette section présente les équations prescrites par le Code canadien de calcul des ponts routiers (CAN/CSA S6-06) en matière de conception parasismique, et ce, pour la méthode de la charge statiquement équivalente (méthode de la charge uniforme).

Conception traditionnelle

$$C_{sm} = \frac{1,2AIS}{T_m^3} \leq 2,5AI \quad [1]$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}} \quad [3]$$

$$P_e = \frac{C_{sm}W}{L} \quad [5]$$

Conception isolée

$$C'_{sm} = \frac{AS_i}{BT_e} \leq 2,5 \frac{A}{B} \quad [2]$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{\sum k_{eff} * g}} \quad [4]$$

$$P_e = \frac{C'_{sm}W}{L} \quad [6]$$

où

- C_{sm} = Coefficient de réponse sismique élastique des ponts conventionnels;
- C'_{sm} = Coefficient de réponse sismique élastique des ponts isolés;
- T_m = Période de l'ouvrage du m^e mode (non isolé);
- T_e = Période de l'ouvrage muni d'isolateurs dans la direction considérée;
- k = Rigidité latérale du pont;
- k_{eff} = Somme des rigidités linéaires effectives des isolateurs et unités de fondations ;
- B = Coefficient d'amortissement effectif du système d'isolation;
- L = Longueur du tablier;
- g = Accélération due à la gravité.

Pour le calcul des coefficients de réponse sismique élastiques, on observe d'abord que la catégorie d'importance du pont ne majore pas l'effort sismique de calcul des ponts isolés, alors qu'il multiplie ce dernier pour les conceptions conventionnelles. Cependant, pour le calcul des déplacements subits par le tablier, la catégorie d'importance du pont n'a pas d'influence. La période de vibration et la charge statique équivalente se calculent de la même façon pour une conception isolée que pour une conception conventionnelle. Pour une conception conventionnelle, le calcul de la période de vibration est fait en considérant la rigidité du système comme étant la somme des rigidités des éléments composant les piles, alors que pour la conception isolée, l'influence des rigidités effectives des systèmes d'isolation est combinée à celle des éléments composant les piles.

5.3. Méthodologie détaillée

Aux fins de la présente étude paramétrique, un pont à deux travées est utilisé (voir la figure 5), puisque seul le comportement dans la direction longitudinale est étudié. Les calculs avec un pont à deux travées sont représentatifs du comportement du système de résistance aux forces horizontales dans la direction longitudinale, étant donné que les rigidités des piles peuvent être additionnées de manière linéaire pour modéliser un pont comportant plus de deux travées. Tel que souligné précédemment, l'étude est réalisée avec la méthode de la charge uniforme (MCU).

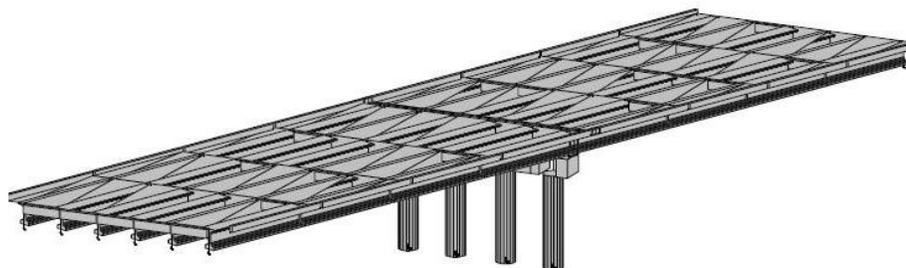


Figure 5 – Pont théorique utilisé pour l'étude paramétrique

5.4. Hypothèses retenues

Afin de réaliser l'analyse simplifiée à l'aide de la méthode de la charge uniforme (MCU), les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Pour les conceptions conventionnelles, les unités de fondation ont été principalement dimensionnées avec une ductilité correspondant à $R = 3$;
- Pour les conceptions isolées, les unités de fondation ont été dimensionnées de manière à demeurer dans le domaine élastique ;
- La comparaison des déplacements subits par l'ouvrage a été faite en utilisant des valeurs limites associées aux mouvements que peuvent accommoder les joints de dilatation usuels (joints simples : 100 mm, joints doubles : 160 mm, joints triples : 240 mm, joints quadruples : 320 mm);
- Les déplacements dus aux effets thermiques ne sont pas combinés aux déplacements dus aux sollicitations sismiques. Bien que des travaux soient en cours dans le but d'élaborer des règles à cet effet pour les prochaines éditions de la norme CAN/CSA S6, il n'est pas précisé dans l'édition actuelle de cette norme de quelle manière ces deux types de charges doivent être combinés. En pratique cependant, les ingénieurs utilisent différentes combinaisons basées sur les performances requises de l'ouvrage et sur leur expérience. Pour le prochain volet de l'étude, une combinaison sera choisie en collaboration avec le Ministère de sorte que les analyses à faire prennent en compte cette donnée;
- À des fins de simplification, l'étude paramétrique a été réalisée pour la direction longitudinale seulement. Il a été considéré qu'il n'y avait pas de gain significatif à faire sur le dimensionnement des unités de fondation en isolant la direction transversale.

En plus des hypothèses qui précèdent, mentionnons les limitations suivantes :

- L'évaluation des paramètres de cette partie de l'étude exclut les fondations profondes. Toutefois, ce paramètre sera traité dans le second volet de l'étude;
- Un sol infiniment rigide est assumé pour les calculs avec la méthode de la charge uniforme. Ce paramètre sera aussi traité dans le second volet de l'étude.

5.5. Présentation des résultats

Afin d'atteindre les objectifs discutés à la section 5.1, les paramètres donnés au tableau 1 ont été combinés les uns avec les autres. Un total de cent cinquante-six (156) combinaisons a été traité afin d'identifier celles qui présentent un intérêt relativement à la rentabilité de l'isolation parasismique, et celles qui n'en présentent que peu ou pas. Différentes courbes ont été tracées afin de visualiser l'importance des paramètres étudiés et de permettre d'établir des tendances générales.

Afin d'établir l'influence des isolateurs sismiques sur le dimensionnement du pont, un indicateur de performance est proposé. Ce dernier permet d'évaluer l'importance relative de chacun des paramètres de conception et de comparer les différentes combinaisons considérées. Comme les charges sismiques ne sont reprises longitudinalement que par la pile sur laquelle est fixé le tablier du pont considéré, l'indicateur de performance retenu est la superficie de la semelle de la pile. En considérant que la dimension des colonnes supportant le tablier ne varie généralement pas significativement (comparativement aux semelles) en fonction des charges sismiques - les charges de gravité et l'esthétisme de l'ensemble de l'ouvrage dictant pour l'essentiel la dimension de ces éléments -, la superficie de la semelle est une mesure jugée représentative de l'envergure de la pile. C'est donc cette variable qui est retenue pour mesurer, dans le cadre de ce premier volet de l'étude, la performance des systèmes d'isolation sismique. Ainsi, plus l'isolation sismique sera performante, plus la superficie (comme le coût de construction) de la semelle de la pile sera réduite.

Dans ce qui suit, la superficie de la semelle (exprimée en mètres carrés) est déterminée en faisant, pour chaque cas considéré, la somme des moments au point de renversement, et ce, tout en limitant la surface de la semelle à une valeur minimale qui vise à éviter la rupture du sol de support. Cet indicateur de performance, présenté sous forme du **rapport I/C** (mètres carrés de semelle pour la conception isolée, sur mètres carrés de semelle pour la conception conventionnelle), permet donc de prendre en compte les paramètres de conception, en plus d'être directement lié aux quantités d'excavation et de béton nécessaires pour la construction des piles. Les autres éléments susceptibles de subir l'influence de la sollicitation sismique (diaphragmes d'extrémité, etc.) n'ont pas été considérés pour l'étude paramétrique.

5.5.1

5.5.1 Identification du potentiel de réduction de la taille de la pile du pont type considéré

Dans un premier temps, les différents paramètres de conception ont été combinés afin d'établir les gains potentiels maximal et minimal sur la réduction de la superficie de la semelle de la pile du pont considéré. Les combinaisons de paramètres donnant les réductions de superficie maximale et minimale sont présentées au tableau 2. Les extremums de l'indicateur de performance sont montrés sur la figure 6. Cette dernière permet de constater que l'isolation sismique d'un pont à deux travées peut se traduire par une réduction de la dimension de la semelle de la pile allant jusqu'à près de 75 % (voir le cas 1 sur la figure 6) alors que la réduction minimale obtenue est d'environ 5 % (voir le cas 2 sur la figure 6).

Les résultats présentés au tableau 2 permettent donc d'établir que l'isolation d'un pont de secours en béton armé (poutres et dalle) avec une pile peu élancée dans une zone à forte sismicité appuyée sur le roc constitue un excellent candidat à l'isolation sismique. À l'opposé, le même type de pont (béton armé), mais de catégorie urgence et constitué d'une pile plus élancée, et localisé dans une zone de plus faible activité sismique, ne constitue pas un candidat de premier choix pour l'isolation sismique.

Tableau 2 – Combinaison de paramètres où l'indicateur de performance (rapport I/C) est le plus élevé (cas 1 : bon potentiel pour l'isolation) et le plus faible (cas 2 : peu de potentiel pour l'isolation)

Cas 1	Cas 2
I = 3,0	I = 1,5
A = 0,4	A = 0,1
Sol type I	Sol type IV
H = 6,0m	H = 12,0 m
Tablier lourd (215 kN/m)	Tablier lourd (215 kN/m)
$\beta = 25 \%$	$\beta = 15 \%$

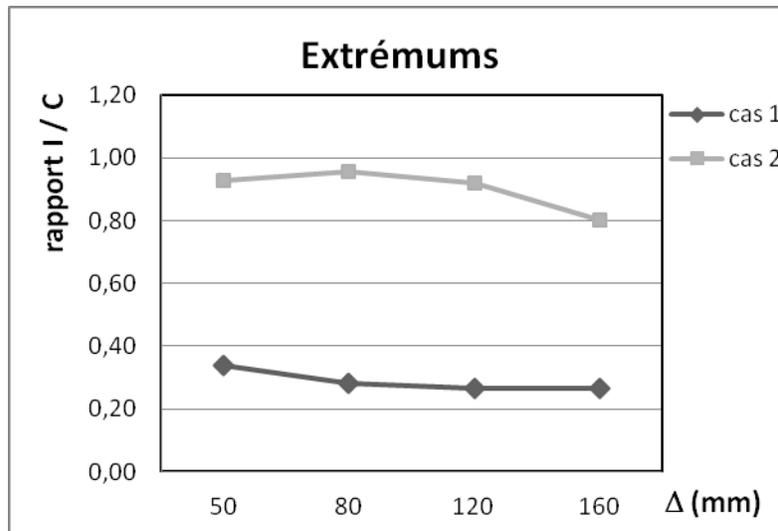


Figure 6 – Réductions maximale et minimale de la superficie de la semelle de la pile pour différents déplacements de la tête de la pile du pont considéré (combinaison de paramètres donnant les courbes extrêmes)

5.5.2 Influence de l'isolation sismique sur les forces élastiques subies par la pile du pont type considéré

Dans un second temps, l'influence de l'isolation sismique sur les forces élastiques subies par l'ouvrage en cas de séisme a été évaluée pour la moyenne des paramètres de sol et de poids linéaire indiqués au tableau 1, un amortissement de 15 % et une hauteur de pile de 6 mètres. En considérant un déplacement permis de 50 mm sous un rapport d'accélération de la zone (A) de 0,1 ou 0,2, et de 100 mm sous un rapport de 0,3 ou 0,4, on obtient les résultats montrés à la figure 7. Les forces de calcul élastiques données par la méthode de la charge uniforme pour une conception isolée (F_{EI}), selon les paramètres énoncés précédemment, sont donc limitées à environ 50 % de celles calculées pour une conception conventionnelle (F_{EC}) dans le cas d'un pont d'urgence. Pour un pont de secours, les forces de calculs élastiques transmises aux ponts isolés sont encore davantage réduites, celles-ci étant alors de l'ordre de seulement 25 % de celles obtenues pour une conception conventionnelle. Cette comparaison n'est toutefois faite qu'à titre indicatif, puisqu'en réalité, la partie hors sol des unités de fondations des ponts de conception conventionnelle est rarement conçue pour demeurer élastique. Mentionnons, à titre comparatif, que la réduction maximale des forces élastiques transmises aux unités de fondations anticipée par les fabricants de systèmes d'isolation est de l'ordre de 75 % (DIS, 2011).

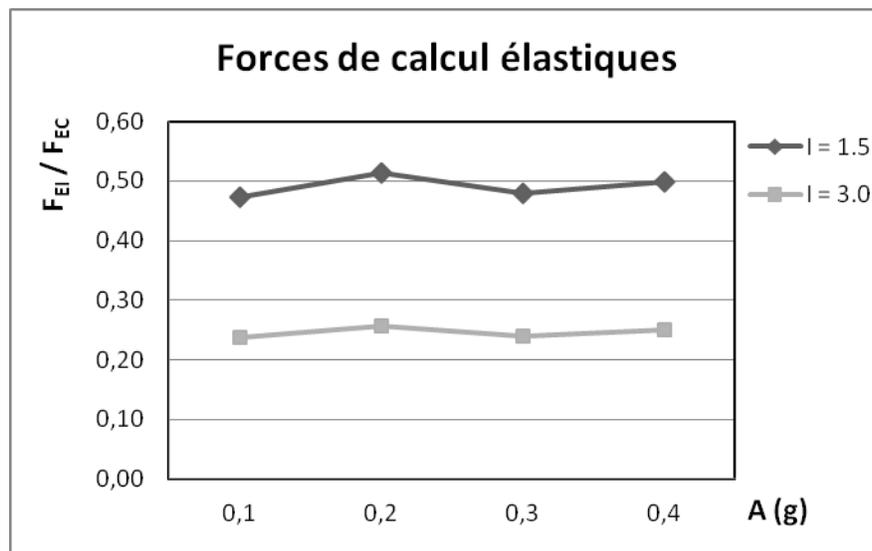


Figure 7 – Rapport des forces de calcul élastiques pour les ponts isolés (F_{EI}) et conventionnels (F_{EC})

5.5.3

5.5.3 Évaluation de la rentabilité de l'isolation sismique en fonction des déplacements permis

Étant donné que l'isolation parasismique d'un pont vise à allonger la période de vibration de l'ouvrage afin de réduire les charges qui solliciteront les unités de fondation en cas de séisme, il est attendu que le déplacement du tablier (obtenu de l'analyse simplifiée, pour le pont type à deux travées décrit précédemment) soit plus important dans une conception isolée que dans le cas d'une conception conventionnelle. Par conséquent, on peut s'attendre à ce que l'isolation des ponts présente un intérêt d'autant plus grand que les déplacements permis en cas de séisme sont importants. C'est précisément cette tendance qui est montrée à la figure 8. On observe notamment que, pour le pont à pile rigide, lorsque le déplacement permis en cas de séisme est augmenté de 50 à 160 mm, le **rapport I/C** diminue presque de moitié. Par ailleurs, la figure 8 montre aussi que, toutes autres choses étant égales, le **rapport I/C** est plus faible pour un pont de faible hauteur que pour un pont dont les piles sont élancées. Cette observation rejoint celle qui avait été faite précédemment (voir la section 5.5.1).

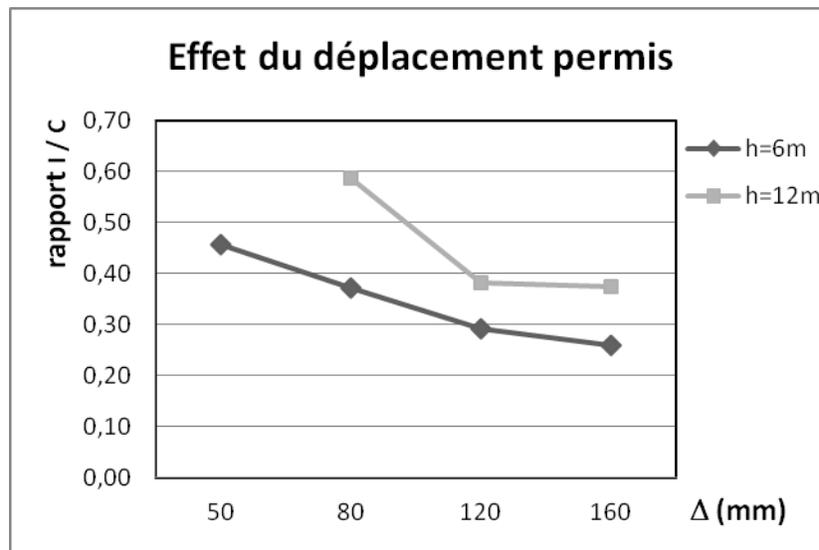


Figure 8 – Évaluation de la rentabilité de l'isolation sismique en fonction des déplacements permis

5.5.4

5.5.4 Influence de la localisation de l'ouvrage sur la rentabilité de l'isolation sismique

Parmi les paramètres d'étude énumérés précédemment au tableau 1, l'accélération de la zone est un paramètre imposé par la localisation de l'ouvrage et exerce une influence linéaire sur la force sismique élastique à considérer, et ce, pour une conception conventionnelle comme pour une conception isolée. La figure 9 illustre l'influence de ce paramètre sur la rentabilité potentielle de l'isolation sismique pour un même pont, de catégorie secours ($I = 3,0$) ou urgence ($I = 1,5$), construit dans des zones de rendement sismique différentes. L'examen des résultats montrés sur la figure 9 montre d'abord que le **rapport I/C** ne varie pas de manière proportionnelle à la force élastique subie par le pont (en effet, plus les charges horizontales sont grandes, moins les charges de gravité contrôlent le dimensionnement). Aussi, la figure 9 illustre que l'intérêt de l'isolation sismique semble généralement croître comme le rapport d'accélération et l'importance du pont augmentent. Il faut noter que si l'isolation sismique semble devenir moins intéressante dans la zone de rapport d'accélération plus importante, c'est en raison du déplacement maximal de 80 mm (joint double) considéré pour ce cas. Tel que mentionné précédemment, l'allongement de la période est nécessaire à la rentabilité de l'isolation, et cette caractéristique est accompagnée d'un déplacement plus important de la structure par rapport à ses appuis.

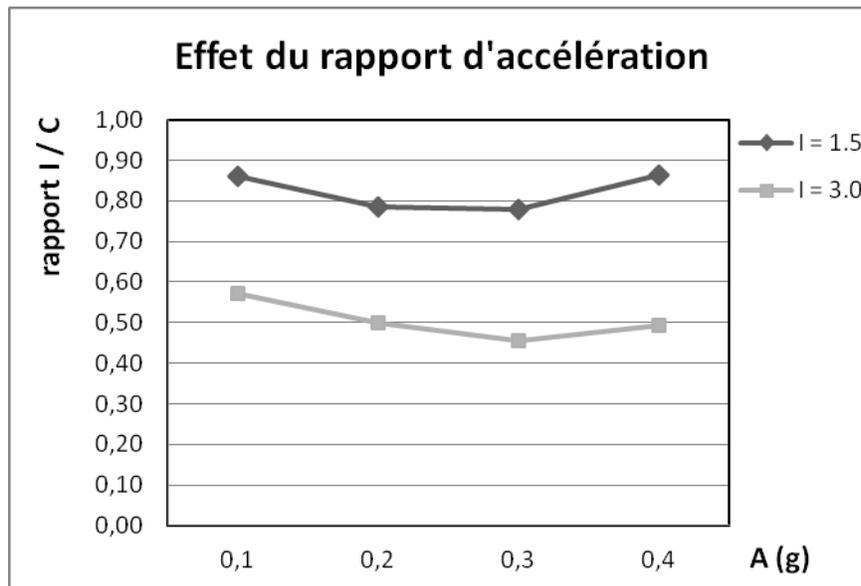


Figure 9 – Influence de la localisation de l'ouvrage sur la rentabilité de l'isolation sismique

5.6.

5.6. Discussion des résultats du premier volet de l'étude

L'analyse des résultats obtenus suite aux calculs réalisés selon la méthode de la charge uniforme permet d'avancer que les conditions favorables à la rentabilité de l'isolation parasismique des ponts semblent être les suivantes :

- Zone de sismicité élevée;
- Ouvrage rigide, donc généralement de faible hauteur;
- Pont de secours;
- Déplacements permis suffisamment importants pour augmenter significativement la période de vibration;
- Sol de bonne qualité;
- Amortissement élevé du système;

La rigidité des unités de fondation, les déplacements acceptés entre le tablier et les fondations, l'importance du pont, le rapport d'accélération de la zone et le poids linéaire du tablier sont les paramètres clés du dimensionnement. En effet, la rigidité des piles et le déplacement accepté sont des paramètres directement liés aux gains potentiels sur l'allongement de la période de vibration. Quant au rapport d'accélération de la zone et au poids linéaire du tablier, ils ont une influence relativement linéaire sur les forces et les déplacements subits par la structure, alors que l'importance du pont multiplie linéairement les forces, mais n'a pas d'impact sur les déplacements. Cependant, l'importance du pont amène des contraintes additionnelles, notamment celle de ne pas endommager le garde-grève pour un pont de secours. Les paramètres d'amortissement et de type de sol sont également à prendre en considération. Ils pourront d'ailleurs être modélisés et étudiés de manière plus satisfaisante dans le second volet de l'étude.

Il convient de noter que l'hypothèse selon laquelle les déplacements dus aux effets thermiques ne sont pas combinés aux déplacements dus à la sollicitation sismique favorise, lorsqu'une conception isolée et une conception conventionnelle sont comparées, la conception isolée, puisque les joints de dilatation du pont isolé doivent généralement accommoder de plus grands déplacements afin que l'isolation sismique soit intéressante.

6. PERSPECTIVES DE RECHERCHE POUR L'ÉTUDE DÉTAILLÉE À VENIR (VOLET 2 DE L'ÉTUDE)

Les résultats obtenus dans le cadre du premier volet de cette étude ont permis d'établir les combinaisons de paramètres qui font en sorte qu'un pont peut être considéré (ou non) comme étant un bon candidat à l'isolation sismique. Par conséquent, à partir des résultats obtenus à ce jour, et dans le but d'étudier de manière plus approfondie les combinaisons de paramètres où l'isolation sismique serait vraisemblablement la plus rentable, il est proposé que certains types de ponts soient analysés en détail lors du second volet de cette étude, soit ceux donnés au tableau 3. Notons enfin que contrairement au travail réalisé pour l'étude paramétrique, les combinaisons possibles des paramètres donnés au tableau 3 ne seront pas toutes étudiées, mais plutôt choisies en fonction de l'intérêt qu'elles présentent. Une quarantaine de combinaisons pourront être étudiées, et ce, à l'aide du logiciel d'analyse CSiBridge (voir la figure 10).

Tableau 3 – Type de ponts à considérer lors du second volet de l'étude

Paramètres	Pont type 1	Pont type 2	Pont type 3
Nombre de travées	3	5	5
Hauteur piles (m)	6	12	6 à 18
Déplacements permis (mm)	50, 80, 120	120, 160	120, 160
Importance (I)	1,5 et 3,0	1,5 et 3,0	1,5 et 3,0
Rapport d'accélération (A)	0,2, 0,3, 0,4	0,2, 0,4	0,2, 0,4
Ductilité fondation (R) conception conv.	3,0 et 5,0	3,0	3,0
Ductilité fondation (R) conception isolée	Élastique	1,5	Élastique
Poids tablier	Lourd	Lourd	Léger
% charge aux culées (cas isolé)	30, 80	50	30, 80
Appui des fondations	Roc	Roc, Pieux	Pieux

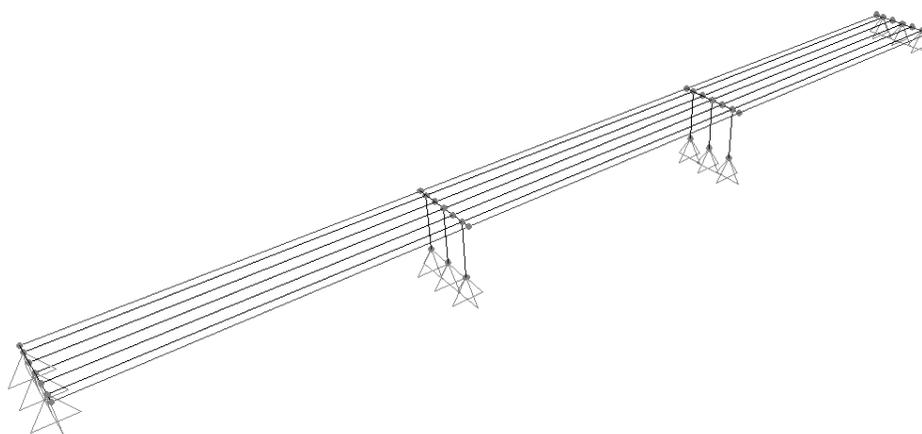


Figure 10 – Modèle CSiBridge du pont type 1

6.1. Plan de travail préliminaire de l'étude détaillée

Pour l'étude détaillée, les principales étapes et points abordés seront :

- Objectifs particuliers;
- Méthodologie;
- Conception et modélisation;
- Réponse sismique des ouvrages;
- Analyse des coûts sur le cycle de vie;

- Revue des objectifs et synthèse.

7. RÉFÉRENCES

- [1] Aviram, Ady et al. (2010). Structural response and cost characterization of bridge construction using seismic performance enhancement strategies, University of California, Berkeley;
- [2] Chen, W-F (2003). Earthquake Engineering Handbook. Hawaii;
- [3] Chopra, A. K. (2007). Dynamics of structures – Theory and applications to earthquake engineering, third edition, Californie;
- [4] CSA. (2006a) Canadian Highway Bridge Design Code. CAN/CSA S6-06 Standard;
- [5] CSA. (2006b) Commentary on CAN/CSA S6-06, Canadian Highway Bridge Design Code;
- [6] Dion, Cassandra (2010). Étude numérique et expérimentation du comportement dynamique des ponts avec isolateurs et amortisseurs sismiques;
- [7] Dynamic Isolation Systems (2011), Site internet : www.dis-inc.com/, date consulté : avril 2011;
- [8] Goodco Z-Tech (2011). Site internet : <http://www.goodcoztech.ws>, date consulté : avril 2011;
- [9] Guizani, L. (2003). Sur l'isolation sismique des ponts au Canada. 10^e colloque sur la progression de la recherche québécoise sur les ouvrages d'art, Québec;
- [10] Guizani, L. (2007). Isolation sismique et technologies parasismiques pour les ponts au Québec : Mise au point. 14^e colloque sur la progression de la recherche québécoise sur les ouvrages d'art, Québec;
- [11] LCL Bridge (2011), Site internet : www.lcl-bridge.com/, date consulté : avril 2011;
- [12] Massicotte, Bruno (2001). Notes de cours sur le calcul des ponts routiers. Montréal;
- [13] RJ Watson (2011). Site internet : www.rjwatson.com/, date consulté : avril 2011;
- [14] Taylor devices (2011), Site internet : www.taylordevices.com/, date consulté : avril 2011.