



Étude de la rentabilité potentielle d'équipements servant à atténuer les effets des séismes sur les ponts

Y. Maltais, ing. Ph. D. et J.-F. Martel, ing. jr



CIMA
Partenaire de génie

Introduction

- Le ministère des Transports du Québec a constaté au cours des dernières années une **hausse importante des coûts des systèmes structureaux conventionnels** (unités de fondation, butoirs, diaphragmes d'extrémité, etc.).
- Une partie appréciable de cette hausse serait attribuable à l'**augmentation des charges sismiques** données par la norme CAN/CSA-S6 (éditions 2000 et 2006).
- Dans ce contexte, le ministère des Transports du Québec est donc à la **recherche de solutions pour réduire l'envergure des systèmes structureaux conventionnels.**

Objectif de l'étude

- Cette étude vise à orienter le ministère des Transports du Québec dans l'utilisation de **systèmes d'isolation sismique** afin d'**atténuer les effets des séismes** sur les ponts à travées multiples (catégories urgence et secours) projetés par ce dernier.
- Plus particulièrement, les principaux paramètres de l'étude sont définis comme suit :
 - Deux conditions de fondation (semelles et pieux);
 - Ponts à 3 et 5 travées;
 - Ponts à poutres en acier ou béton;
 - Piles à poteaux simples ou colonnes multiples avec hauteur de 6 et 12 mètres.

3

Objectif de l'étude

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

4

Méthodologie

- Afin d'établir la configuration des ponts à étudier ainsi que les caractéristiques des équipements d'isolation à considérer, l'étude a été divisée en deux grandes parties :
- **Étude paramétrique** (réalisée à partir de la méthode de la charge uniforme) (*hiver et printemps 2011*);
- **Étude détaillée** réalisée à l'aide de méthodes d'analyses raffinées (méthodes données dans la norme CAN/CSA S6-06) (*été et automne 2011*).

5

Étude paramétrique

- L'objectif de cette étude est de **cibler les paramètres susceptibles d'avoir un impact significatif** sur la conception parasismique et les coûts de construction d'un pont isolé :
- Paramètres sismiques du site (accélération de la zone et type de sol);
- Paramètres sismiques de l'ouvrage (importance et poids de la structure);
- Configuration des appuis et joints;
- Rigidité des unités de fondation;
- Ductilité des unités de fondation;
- Caractéristiques du système d'isolation.

6

Étude paramétrique

- Une fois l'importance relative des paramètres d'analyse établie, ceux-ci seront alors combinés pour **identifier des scénarios où l'isolation sismique présente une rentabilité potentielle intéressante.**
- À l'opposé, l'étude paramétrique permettra aussi d'établir des scénarios où l'isolation sismique ne permet pas de réduire de façon significative les coûts de construction des ouvrages.
- Les scénarios les plus prometteurs seront ceux retenus pour la seconde partie de l'étude (étude détaillée de 3 à 5 points).

Rappel théorique

Conception conventionnelle Conception avec isolation

coefficient de réponse sismique élastique

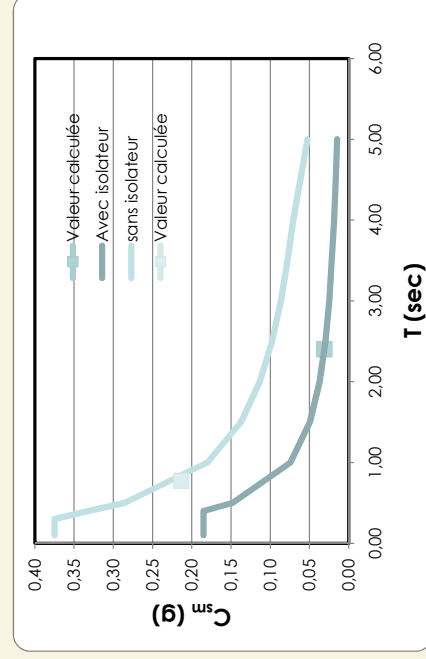
$$C_{sm} = \frac{1,2A/S}{T_m^{2/3}} \leq 2,5A$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{W}{gK}}$$

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

$$T_e = 2\pi\sqrt{\frac{W}{\Sigma k_{eff} g}}$$

$$P_e = \frac{C_{sm} W}{L}$$

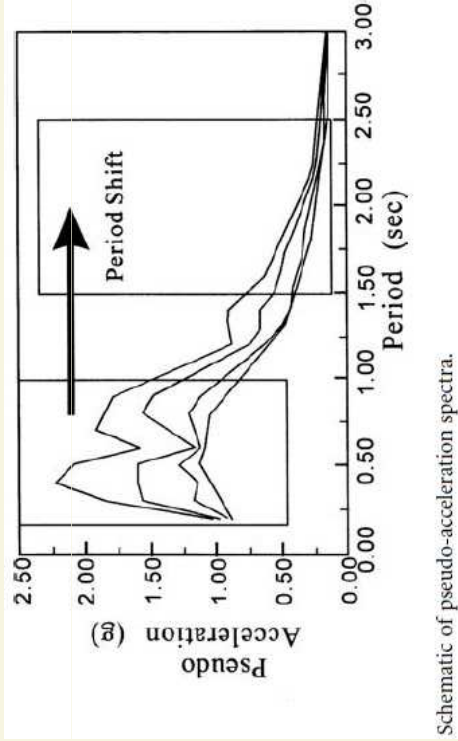


$$P_e = \frac{C_{sm} W}{L}$$

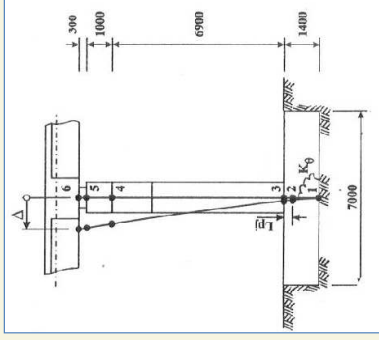
Rappel théorique

Effet sur la période de vibration

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{W}{\sum k_{eff} g}}$$



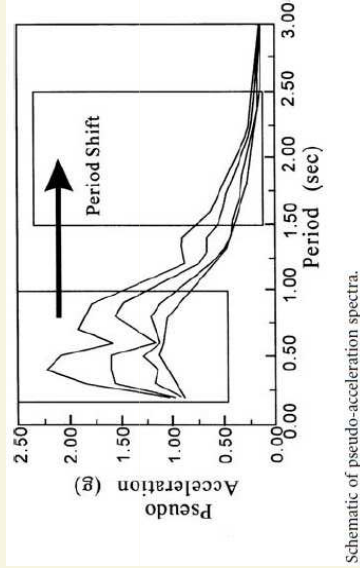
Schematic of pseudo-acceleration spectra.



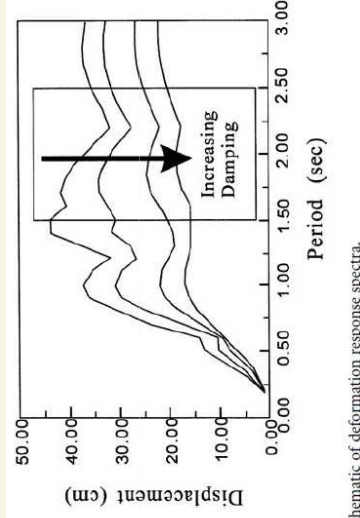
Rappel théorique

$$C_{sm} = \frac{1,2A/S}{T_m^{2/3}} \leq 2,5A I$$

$$C'_{sm} = \frac{AS_j}{BT_e} \leq 2,5 \frac{A}{B}$$



Schematic of pseudo-acceleration spectra.



Schematic of deformation response spectra.

Références : Earthquake Engineering Handbook, 2003



Rappel théorique

Esprit de la norme CAN/CSA S6-06

Déplacements permis

1. Calculés avec les forces élastiques réelles appliquées au pont;
2. Pour un pont isolé, addition du déplacement élastique de la pile et du déplacement de l'isolateur.

Forces de calcul

1. Construction conventionnelle :
 1. Proportionnelles au facteur d'importance du pont, variant entre 1,0 et 3,0;
 2. On permet la dissipation d'énergie par le mécanisme de rotule plastique afin de réduire les forces, sous réserve de respecter certaines exigences.
2. Construction isolée :
 1. Pas de facteur d'importance.

11

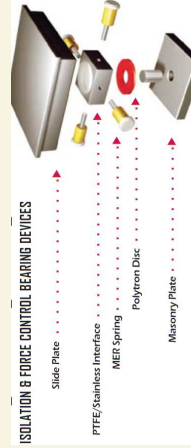
Hypothèses et limites de l'étude

- Pour le dimensionnement des unités de fondation, ductilité de la pile $R = 3$;
- Pour la comparaison des déplacements, la limite considérée est celle donnée par le mouvement que peut accommoder le joint de dilatation, et ce, tant pour un pont d'urgence que pour un pont de secours;
- Direction longitudinale seulement;
- Simule un pont avec des piles d'égales longueurs;
- Ne considère pas la disposition des appuis et ne transfère pas de charge aux éléments rigides (culées);
- L'évaluation des paramètres exclut les fondations profondes;
- Sol infiniment rigide.

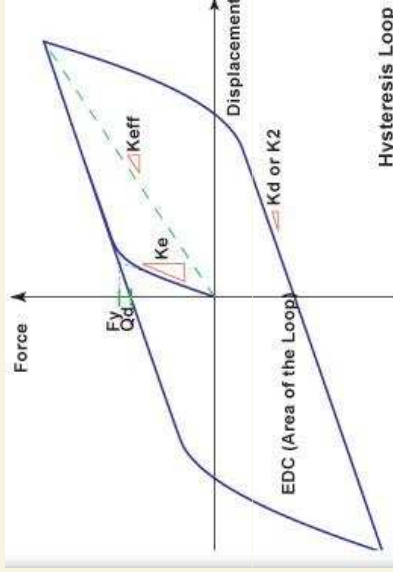
12

Isolateurs

- Les isolateurs utilisés pour l'étude ont un comportement de type bilinéaire;
- Isolateurs en élastomère;
- Isolateurs à friction;
- Amortisseurs visqueux.



ISOLATION & FORCE CONTROL BEARING DEVICES



Hysteresis Loop

$$k_{eff} = \frac{F_p - F_n}{\Delta_p - \Delta_n}$$

$$\beta = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\text{Surface totale}}{\Sigma k_{max} d_f^2}$$

Images REF : Dynamic Isolation Systems,
www.dis-inc.com/ et RJ Watson,
rjwatson.com/

Paramètres

- Les paramètres suivants ont été combinés dans le but d'évaluer leur poids et de trouver des combinaisons de paramètres optimales :

PARAMÈTRES						
I	A (g)	Sol	w (kN/m)	β (% crit)	Hauteur (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

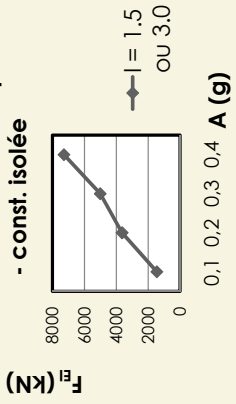
Résultats

Force élastique horizontale

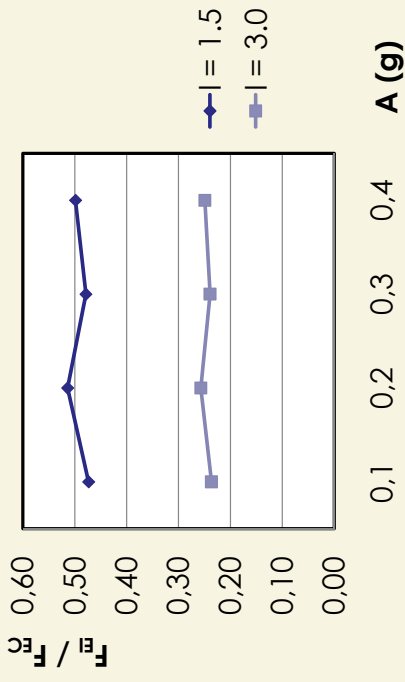
Données

Forces de calcul élastiques - const. isolée

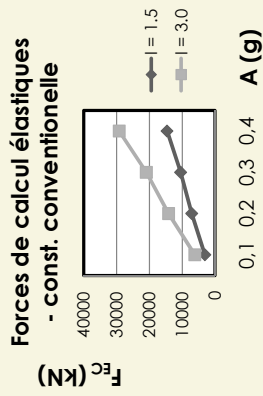
Moyenne des w, sol, β , H = 6m
Déplacements permis : 50 et 80 mm



Forces de calcul élastiques



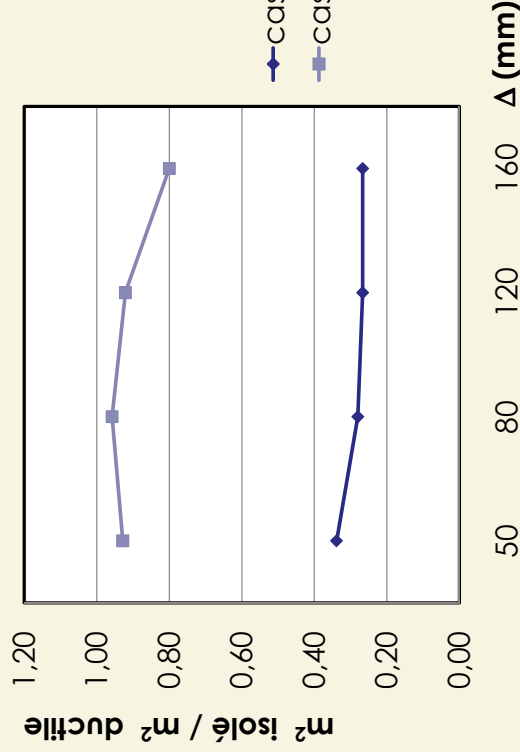
Forces de calcul élastiques - const. conventionnelle



Résultats

m^2 semelle (Δ) – valeurs extrêmes

m^2 de semelle



Cas 1

Conv.	Isolé
$l = 3.0$	F (kN) 5518
A = 0.4	7968
Sol type I	6720
H = 6.0 m	6720

Tablier lourd (215 kN/m)

$\beta = 25 \%$

Cas 2

Conv.	Isolé
$l = 1.5$	F (kN) 2453
A = 0.1	1385
Sol type IV	1158
H = 12.0 m	997

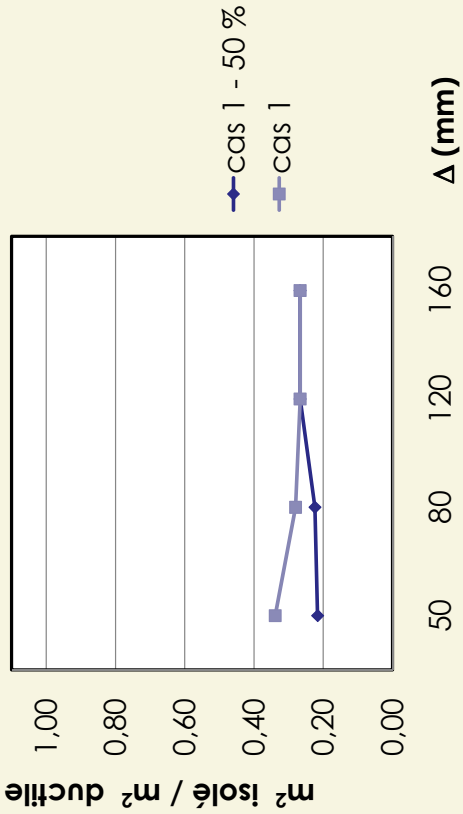
Tablier lourd (215 kN/m)

$\beta = 15 \%$

Résultats

m² semelle (Δ) avec 50 % de la charge à la culée

m² de semelle



Cas 1		Isolé	
Conv.	F (kN)	F (kN)	F (kN)
	10162	5518	
	7968	2806	
	6720	1829	
	6720	1335	

Tablier lourd (215 kN/m)
β = 25 %

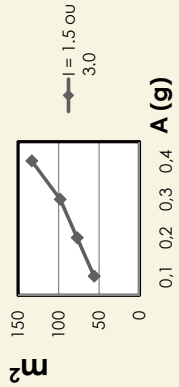
Cas 1 -50%		Isolé	
Conv.	F (kN)	F (kN)	F (kN)
	10162	2759	
	7968	1403	
	6720	915	
	6720	668	

Tablier lourd (215 kN/m)
β = 25 %

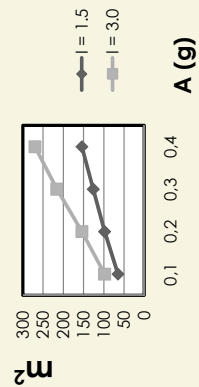
Résultats

m² semelle (A)

m² semelle - const. isolée



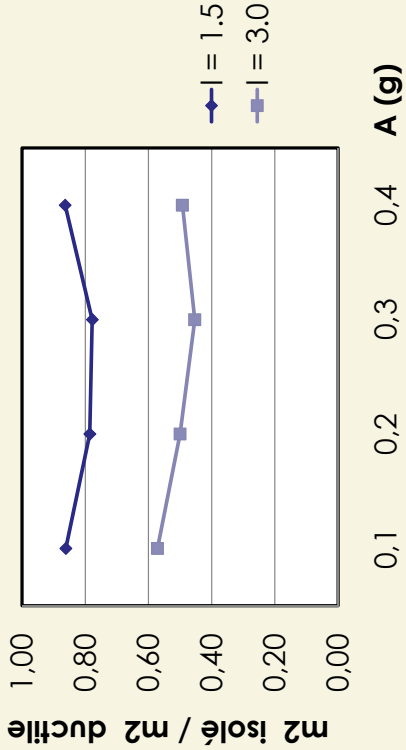
m² semelle - const. conv.



Données

Moyenne des w, sol, β
Déplacements permis : 50 et 80mm,
H = 6m

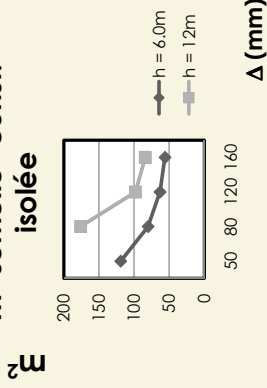
m² de semelle



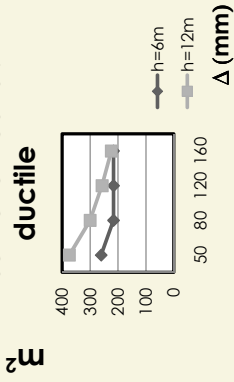
Résultats

m^2 semelle (Δ) pour $h = 6\text{ m}$ et $h = 12\text{ m}$ – cas spécifique

m^2 semelle-const. isolée



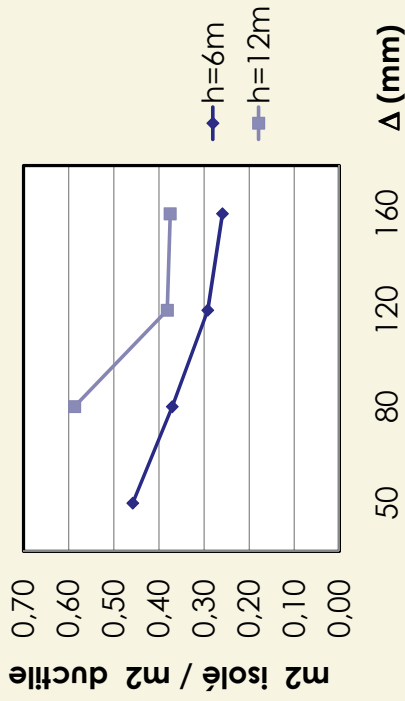
m^2 semelle - const. ductile



Données

$l = 3.0$, $A = 0.3$, sol type II, $w = 215\text{ kN/m}$, $\beta = 25\%$

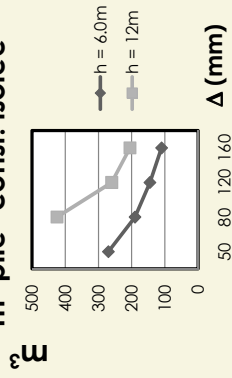
m^2 de semelle



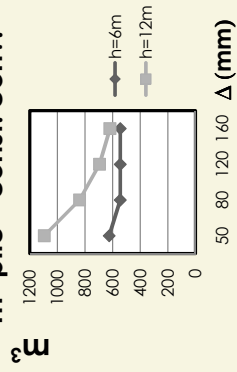
Résultats

m^3 béton (Δ) pour $h = 6\text{ m}$ et $h = 12\text{ m}$ – cas spécifique

m^3 pile-const. isolée



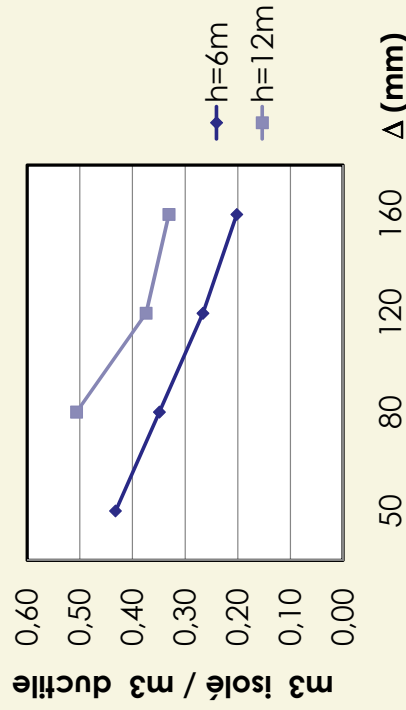
m^3 pile - const. conv.



Données

$l = 3.0$, $A = 0.3$, sol type II, $w = 215\text{ kN/m}$, $\beta = 25\%$

m^3 béton pile



Discussion

Conditions favorables à la rentabilité de l'isolation de la base :

- Zone de sismicité élevée;
- Ouvrage rigide (de faible hauteur);
- Pont de secours;
- Déplacements permis suffisamment importants pour augmenter de façon significative la période de vibration;
- Sol de bonne qualité;
- Amortissement élevé du système;
- Tablier lourd.

21



Questions

