

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Cours ING8901 - Méthodologie de la recherche

Proposition de recherche :

ÉTUDE DU COMPORTEMENT SISMIQUE DES
COLONNES EN ACIER EN VUE D'ASSOUPHIR LA
NORME DE CONCEPTION CAN/CSA-S16.1-94

Remis à M. Yves Comeau
Coordonnateur

Charles-Philippe Lamarche, ing. jr.
Candidat au Ph.D., # 1041827
Dept. CGM (section structures)

Introduction

Le projet de recherche proposé porte sur le comportement sismique des colonnes en acier chargées axialement. Le projet sera dirigé par M. Robert Tremblay, professeur titulaire à l'École Polytechnique de Montréal, et codirigé par M. Oreste S. Bursi, professeur à l'Université de Trento en Italie, et M. Patrick Paultre, professeur titulaire à l'Université de Sherbrooke.

Selon la philosophie de conception de la norme CAN/CSA-S16.1-94 (CSA 1994) pour la conception parasismique des structures en acier, les colonnes doivent rester dans le domaine élastique en tout temps lors d'un séisme alors que l'on admet la plastification totale des éléments du système de résistance aux charges latérales prévus pour la dissipation de l'énergie. Cette manière de procéder assure la stabilité de la structure lorsque les forces sismiques maximales sont développées, mais requiert de grossir la section des poteaux, ce qui a un impact majeur sur le coût des cadres contreventés ainsi que sur le coût des cadres résistants aux moments présents dans la grande majorité des bâtiments en acier. En réalité, les efforts de conception sismiques pour les colonnes qui découlent de cette approche se produisent très peu de fois durant un tremblement de terre. De plus, la durée d'application de ces efforts est très courte, ce qui porte à croire que les colonnes pourraient être en mesure de conserver leur stabilité, même dans le cas où il y aurait plastification momentanée partielle de la section. Un des principaux buts du projet de recherche proposé serait d'assouplir les dispositions de la norme dans l'optique de réduire les coûts liés à la conception élastique des colonnes tout en s'assurant que la structure demeure sécuritaire.

Pour tenter de mieux comprendre le comportement dynamique des colonnes étudiées, des essais pseudo dynamiques à échelle réelle et en temps réel seront effectués dans le nouveau laboratoire de structures unique au Canada de l'École Polytechnique. Les niveaux de complexité des essais et les niveaux de charges atteints dans ce projet seront sans précédents au pays et sont actuellement réalisables seulement dans une dizaine d'instituts à travers le monde. De nombreuses simulations numériques incluant de la modélisation par éléments finis seront également réalisées dans le but de mieux comprendre les divers facteurs influençant le comportement dynamique ainsi que la stabilité des colonnes.

La première phase du projet sera effectuée à l'École Polytechnique et consistera en l'élaboration d'un plan expérimental basé sur des simulations numériques et sur des essais préliminaires à échelle réduite. La deuxième phase consistera en la conception des algorithmes de contrôle utilisés lors des essais pseudo dynamiques hybrides (BURSI, MANCUSO, 2002, Pegon, Pinto, 2000, Wang, Lee, Chien-Liang, Tzen-Hun, 2001, Zhang, Sause, Ricles, Naito, 2005). Une entente a été conclue afin qu'une partie de la recherche soit effectuée en co-tutelle avec l'Université de Trento en Italie sous la direction du professeur Oreste S. Bursi qui est une sommité mondiale en la matière. Le travail en Italie sera aussi réalisé en collaboration avec le laboratoire ELSA du Centre Commun de Recherche de la Communauté Européenne, à Ispra. Les travaux qui seront effectués en Italie constitueront un transfert technologique indispensable à la réalisation du projet.

Enfin, la phase finale comprendra la réalisation des essais ainsi que l'analyse des résultats permettant l'élaboration de principes de conception pouvant s'appliquer en pratique. Le but ultime étant de proposer de nouvelles règles de conception dans la prochaine édition de la norme CAN/CSA-S16.1-94.

Objectif général du projet

L'objectif général du projet de recherche est d'assouplir les dispositions de la norme CAN/CSA-S16.1-94 dans l'optique de réduire les coûts liés à la conception élastique des colonnes en acier tout en s'assurant que la structure demeure sécuritaire.

Objectifs spécifiques du projet

Voici une liste des objectifs spécifiques relatifs au projet de recherche :

- modéliser adéquatement le comportement des colonnes par la méthode des éléments finis afin de mieux prédire le comportement sismique de ces éléments de charpente dans l'avenir ;
- élaborer un algorithme de contrôle des vérins hydrauliques en temps réel nécessaire à la réalisation des essais pseudo-dynamiques hybrides ;
- mieux comprendre l'effet de la plastification momentanée des colonnes sur la stabilité globale des bâtiments lors d'un séisme majeur.

Type de recherche

La recherche comporte deux volets :

1. Un volet *analytique* qui consiste en l'élaboration de modèles par éléments finis ainsi qu'en l'élaboration d'un algorithme de contrôle des vérins hydrauliques en temps réel nécessaire à la mise à bien des essais pseudo-dynamiques hybrides ;
2. Un volet *expérimental* qui consiste en des essais pseudo-dynamique hybrides, c-à-d qu'une seule colonne est testée en laboratoire alors que le reste de la structure (planchers, poutres, autres colonnes, fondation, etc...) est simulée artificiellement par l'entremise d'un logiciel d'éléments finis non linéaire.

Hypothèses

Voici les hypothèses principales liées au projet de recherche :

- L'implémentation d'un algorithme de type prédiction-correction à l'algorithme de contrôle des essais pseudo-dynamique existant serait susceptible de permettre la réalisation d'essais en temps réel ;
- La durée d'application des efforts sismiques conduisant à une excursion inélastique est très courte, ce qui porte à croire que les colonnes pourraient être en mesure de

conserver leur stabilité, même dans le cas où il y aurait plastification momentanée partielle de la section.

Méthodologie

La méthodologie envisagée dans le cadre de ce projet est la suivante :

1. HIV 2005 - Cours magistraux - Montréal, Québec, Canada :

Participation à trois cours magistraux dans le but d'acquérir de nouvelles connaissances pertinentes au projet de recherche (méthodologie de la recherche, stabilité des structures, méthode avancées des éléments finis) ;

2. ÉTÉ 2005 - Étude analytique - Montréal, Québec, Canada :

Rédaction de la revue de littérature, rédaction de la proposition de recherche officielle et préparation en vue de l'examen synthèse ;

Début de l'étude analytique du comportement sismique des colonnes par la méthode des éléments finis en vue d'élaborer un protocole expérimental. Des bâtiments typiques seront analysés dans le but de cerner les types de colonne posant une potentielle problématique lors d'un séisme majeur.

3. AUT 2005- Protocole expérimental - Trento, Trentino, Italie :

Suite de l'étude analytique du comportement sismique des colonnes par la méthode des éléments finis à l'Université de Trento ;

Élaboration du protocole expérimental, c.-à-d. le choix des types de colonne à tester qui permettront de représenter un large éventail de bâtiments typiques face à la problématique. Le choix des colonnes découlera des modèles par éléments finis étudiés aux points 2 et 3.

4. HIV 2006 - Algorithme de contrôle, phase I - Trento, Trentino, Italie :

Examen de synthèse et dépôt de la proposition de recherche officielle à l'École Polytechnique de Montréal ;

Début de la recherche sur l'algorithme de contrôle des vérins lié aux essais pseudo-dynamiques hybrides à l'Université de Trento. La grande expérience des Italiens sera un atout clef à la mise à bien de cet objectif spécifique.

5. ÉTÉ 2006 - Algorithme de contrôle, phase II - Ispra, Varese, Italie :

Suite de la recherche sur l'algorithme de contrôle des vérins au laboratoire ELSA du Centre Commun de Recherche de la Communauté Européenne. Les chercheurs de ce laboratoire sont des pionniers de la technique d'essai pseudo-dynamique hybride. Leur expérience en la matière sera d'une très grande utilité.

6. AUT 2006- Essais préliminaires - Ispra, Varese, Italie :

Début des essais pseudo-dynamiques hybrides préliminaires à échelle réduite en vue de faire les corrections finales sur l'algorithme de contrôle des vérins au laboratoire ELSA du Centre Commun de Recherche de la Communauté Européenne.

7. HIV 2007 - Début des Essais à l'échelle réelle - Trento, Trentino, Italie :

Début des essais pseudo dynamique hybride à échelle réelle sur des spécimens de colonne à partir du protocole d'essai élaboré au point 3.

8. ÉTÉ 2007 - Essais à l'échelle réelle - Montréal, Québec, Canada :

Retour à Montréal afin de terminer la campagne d'essais entamée à l'Université de Trento ;

Début de l'analyse des résultats : comparaisons des résultats avec la norme CAN/CSA-S16.1-94, comparaisons des résultats avec les modèles analytiques, calibration des modèles analytiques, etc...

9. AUT 2007- Analyse des résultats - Montréal, Québec, Canada :

Fin de de l'analyse des résultats et rédaction de la thèse ;

10. HIV 2008 - Dépôt de la thèse - Montréal, Québec, Canada :

Dépôt de la thèse et présentation devant un jury international.

Budget prévu

Sources de revenus

- Bourse de recherche : 20000\$/ans, 3 ans ;
- Bourse d'excellence G.J. Jackson : 15000\$, 1 an ;
- Aide financière en Italie (Oreste S. Bursi) : 20000\$, 1 an et 8 mois.

Sources de dépenses

- Les appareils ainsi que la main-d'oeuvre servant aux essais sont fournis par les divers laboratoires ;
- Les matériaux (colonnes en acier, boulons, écrous, etc) servant aux essais sont fournis en totalité par l'industrie de l'acier.

Voir également le tableau 1(a).

Faisabilité et plan de réalisation

Tel que mentionné précédemment, le projet comporte un volet analytique et un volet expérimental. Le Tableau 1(b) présente le calendrier des activités afin de réaliser le projet.

Autres collaborations

Des rencontres et visites sont également prévues avec des chercheurs de l'Université de Lehigh, de l'Université d'état de Buffalo, de l'Université du Colorado à Boulder ainsi que de l'Université de Californie à Berkeley où l'on travaille également à la réalisation d'essais semblables.

Contributions, impacts sociaux et impacts économiques

Le présent projet est financé en majeure partie par le gouvernement canadien via le CRNSG et également par Centre Commun de Recherche de la Communauté Européenne via le laboratoire ELSA et l'Université de Trento. Ceci implique donc que les découvertes seront divulguées sans réserve et seront du domaine public.

En ce qui a trait à la partie conception des algorithmes de contrôle, la contribution la plus marquée proviendra du fait que bon nombres d'essais impossibles à réaliser à ce jour en laboratoire seront maintenant réalisables. Ceci ouvrant la porte à une multitude de projets de recherche en attente que cette technologie soit développée.

La partie du projet traitant de la stabilité des colonnes permettra une meilleure compréhension du comportement sismique inélastique de ces éléments de charpente, qui est un sujet encore inexploré à ce jour. Le but ultime est de proposer de nouvelles règles de conception dans la prochaine édition de la norme CAN/CSA-S16.1-94. Ces règles de conception auraient pour effet de réduire considérablement le coût de construction des bâtiments en acier tout en s'assurant de la sécurité des occupants lors d'un séisme de forte magnitude.

Liste des références

BURSI, Oreste S., MANCUSO, M. 2002. «Analysis and performance of a predictor-multicorrector Time Discontinuous Galerkin method in non-linear elastodynamics». *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 31 :10. 1793-1814.

CSA. 1994. Limit states design of steel structures. [Rexdale, Ont.] : Canadian Standards Association. 146 p. Norme nationale du Canada CAN/CSA-S16.1-94.

PEGON, P., PINTO AV. 2000. «Pseudo-dynamic testing with substructuring at the ELSA laboratory». *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 29 :7. 905-925.

WANG, Yen-Po, LEE, Chien-Liang, YO, Tzen-Hun. 2001. «Modified state-space procedures for pseudodynamic testing». *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 30-1. 59-80.

ZHANG, Yunfeng, SAUSE, Richard, RICLES, James M., NAITO, Clay J. 2005. «Modified predictor-corrector numerical scheme for real-time pseudo dynamic tests using state-space formulation». *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 34 :3. 271-288.

Tableau 1(a): Budget (sources de revenu).

No.	Revenus	Année 1												Année 2												Année 3												An. 4	
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F
1	Bourse de recherche																																						
2	Bourse G.J. Jackson																																						
3	Bourse J.-A. Bombardier																																						
4	Aide financière (Italie)																																						

Tableau 1(b): Plan de réalisation des activités.

Étape	Activités	Année 1												Année 2												Année 3												An. 4	
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F
1	Cours magistraux																																						
2	Étude analytiques colonnes																																						
3	Examen de synthèse																																						
4	Élaboration d'un l'algorithme																																						
5	Essais préliminaires																																						
6	Essais à échelle réelle																																						
7	Analyse des résultats																																						
8	Dépôt de la thèse																																						

 Montréal
  Trento
  Ispra

Tableau 1: Échéancier détaillé de type Gantt : (a) budget, (b) plan de réalisation des activités.