

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE
MAITRISE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION

PAR :
Hocine MERAH

CONCEPTION PARASISMIQUE ET COMPORTEMENT DYNAMIQUE DES PONTS
EN BÉTON ARMÉ

MONTRÉAL, LE 14 MAI 2009

© Merah hocine , 2009

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Saad Bennis, ing , Ph.D. , directeur du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Omar Chaalal, ing , Ph.D., membre et directeur de mémoire .
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Nikolay Velev, ing , M.Sc.A : membre du jury

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon père et ma mère pour leurs encouragements et leurs supports. J'exprime ma reconnaissance envers le professeur Omar Chaalal, ing , Ph.D. pour ses conseils et son appui. Je ne peux oublier aussi de remercier Monsieur Nikolay Velev, ing, M.Sc.A du Groupe Conseil Dessau Inc, département « Ponts et ouvrages d'art » pour les conseils et le soutien qu'il m'a accordé durant la réalisation de ce projet.

CONCEPTION PARASISMIQUE ET COMPORTEMENT DYNAMIQUE DES PONTS EN BÉTON ARMÉ

MERAH, Hocine

RÉSUMÉ

Les connaissances et les méthodes de conception des ponts sont en constante évolution. Afin de suivre cette évolution qui est due aux nouvelles exigences des codes et normes et aux nouvelles approches de calcul et dimensionnement, l'ingénieur concepteur doit se doter d'outils efficaces et détaillés dans le processus complexe de la conception des ponts.

L'objectif de cette étude est de présenter une revue des méthodes d'analyse parasismique ainsi que les démarches nécessaires pour la conception et le dimensionnement des ponts suivant les exigences du code CSA/S6-06 afin de faciliter l'interprétation et l'application de ces méthodes par les ingénieurs.

Cette étude est divisée en quatre chapitres. Le premier chapitre présente un aperçu du code CSA/S6-06 et montre les exigences et le domaine d'application de ce même code. Dans le chapitre 2 on explore les différentes charges et combinaisons de charges appliquées sur les structures des ponts. Le chapitre 3 aborde la conception sismique des ponts avec une description détaillée des méthodes proposées par le code pour le calcul des charges sismiques, la classification des ponts, les exigences pour la conception et le dimensionnement des piles, le concept d'isolation sismique à la base et les systèmes de dissipation d'énergie. Enfin, dans le chapitre 4 une conception sismique pour deux catégories de pont avec les méthodes d'analyse préconisées par le code S6-06 est présentée ainsi que le logiciel «Advance Design America (VisualDesign)» qui a été utilisé pour l'élaboration des modèles lors de l'analyse statique.

CONCEPTION PARASISMIQUE ET COMPORTEMENT DYNAMIQUE DES PONTS EN BÉTON ARMÉ

MERAH, Hocine

ABSTRACT

Knowledge and methods of designing bridges are constantly evolving. In order to follow this evolution which is due to new requirements of codes, standards and new approaches of calculation and design, the design engineer must develop and use effective tools in the complex process of bridge design.

The objective of this etude is to present a review of analytical methods as well as the required approaches for designing and proportioning bridges according to the CSA/S6-06 code. The present report is aimed at facilitates interpretation and application of these methods.

This etude is divided in four chapters. The first chapter provides an overview of the CSA/S6-06 code and shows its requirements as well as its scope. In chapter 2 we explore the various loads and combinations of loads applied on the bridge structures. Chapter 3 identifies the seismic design of bridges along with a detailed description of the methods proposed by the code for the calculation of seismic loads, the classification of bridges, the requirements for the design and sizing of piers, the concept of seismic isolation at the base and energy dissipation systems. Finally, in chapter 4 we present a seismic design for two categories of bridges with methods of analysis recommended by the code as well as the «Advance Design America (VisualDesign)» software which has been used to develop models in the static analysis.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	6
CHAPITRE 1 INTRODUCTION ET GÉNÉRALITÉS	7
1.1 Évolution du code CSA/S6	7
1.2 Méthodologie et exigences de conception selon le code S6-06.....	8
1.2.1 La sécurité	8
1.2.2 Calcul aux états limites	8
1.2.3 Classe de route	8
CHAPITRE 2 LES CHARGES ET LES COMBINAISONS DES CHARGES.....	10
2.1 Introduction.....	10
2.2 Les charges permanentes	10
2.2.1 Le poids propre	10
2.3 Les surcharges.....	12
2.3.1 Évolution des surcharges routières	12
2.3.2 La surcharge du camion CL-625.....	12
2.3.3 La surcharge de voie CL-W.....	12
2.3.4 Les exigences de l'application de la surcharge.....	16
2.3.5 Voies de calcul.....	16
2.3.6 Voies multiples chargées	16
2.4 Majoration dynamique des surcharges.....	18
2.5 Surcharges piétonnières	19
2.6 Force de freinage.....	19
2.7 Force de centrifuge	19
2.8 Charges dues au vent	20
2.8.1 Charge de traînée horizontale	20
2.8.2 Charge de portance	21
2.8.3 Charge due au vent sur la surcharge routière.....	22
2.8.4 Charges dues au vent transmises par l'ossature	22
2.8.5 Charges dues au vent appliquées sur les piles	23
2.9 Déformations imposées.....	24
2.10 Effet de la température.....	24
2.10.1 Domaine des températures effectives	25

2.10.2	La température effective au moment des travaux	26
2.10.3	Effets des gradients thermiques	26
2.11	Coefficient de dilatation thermique linéaire	27
2.12	Charges de construction	28
2.13	Coefficients de pondération des charges et combinaisons	28
CHAPITRE 3 CONCEPTION ET DESIGN SISMIQUE		32
3.1	Introduction	32
3.2	Le comportement sismique des ponts	33
3.3	Le concept de la ductilité	33
3.4	Les dommages causés par les séismes	34
3.5	Méthodes d'analyse	37
3.5.1	La zone de rendement sismique (ZRS)	37
3.5.2	La catégorie d'importance	37
3.5.3	Rapport d'accélération de la zone A	38
3.5.4	Ponts réguliers et irréguliers	39
3.6	Coefficients de modification de réponse R	39
3.7	Effets du site	40
3.8	Coefficient de réponse sismique élastique C_{sm}	43
3.9	Choix de la méthode d'analyse	44
3.9.1	Méthode de la charge uniforme CU	44
3.9.2	Méthode d'analyse spectrale unimodale	45
3.9.3	Méthode spectrale multimodale (MM)	47
3.9.4	Méthode des diagrammes d'évolution (MD)	47
3.10	Longueur d'appui minimale	47
3.11	Exigences du code S6-06 relatives à la conception des poteaux	50
3.11.1	Armature longitudinale	50
3.11.2	Cisaillement dans les zones de rotules plastiques	50
3.11.3	Armature de confinement aux zones de rotule plastique	50
3.11.4	Chargement biaxial	52
3.12	Exigences du code relatives à la conception des piles-murs	52
3.13	Isolation sismique à la base	53
3.13.1	Système d'isolation à la base d'élastomère	53
3.13.2	Système d'isolation à base de glissement	54
3.13.3	Méthodes d'analyse pour les ponts isolés à la base	55
3.13.4	Essais requis du système d'isolation	57

CHAPITRE 4 EXEMPLES DE DESIGN SISMIQUE	58
4.1 Présentation du pont à deux travées.....	58
4.1.1 Données.....	59
4.1.1.1 Les paramètres du site.....	59
4.1.1.2 Les paramètres sismiques du pont	60
4.1.1.3 Propriétés des matériaux	60
4.1.2 Calcul du poids effectif du pont.....	60
4.1.3 Calcul de la rigidité de la pile	61
4.1.4 Calcul des charges sismiques.....	62
4.1.4.1 Force sismique suivant la direction transversale	62
4.1.4.2 Force sismique suivant la direction longitudinale	63
4.1.5 La méthode unimodale.....	63
4.1.6 Conception de la pile	65
4.1.6.1 Réduction des efforts sismiques.....	65
4.1.6.2 Calcul de l'armature longitudinale.....	65
4.1.6.3 Calcul de l'armature transversale dans la zone de rotule plastique	66
4.1.6.4 Vérification de la résistance de la pile en flexion biaxiale	67
4.1.6.5 Calcul de l'effort tranchant.	68
4.1.7 Longueur d'appui minimale.....	69
4.2 Présentation du pont à trois travées	70
4.2.1 Données.....	70
4.2.1.1 Les paramètres du site.....	70
4.2.1.2 Les paramètres sismiques du pont	70
4.2.1.3 Propriétés des matériaux	70
4.2.2 Calcul du poids effectif du pont.....	71
4.2.3 Calcul de la rigidité de la pile	72
4.2.4 Calcul des charges sismiques.....	73
4.2.4.1 Force sismique suivant la direction transversale	73
4.2.4.2 Force sismique suivant la direction longitudinale	73
4.2.5 La méthode multimodale (MM).....	75
4.2.6 Conception de la pile	75

4.2.6.1	Réduction des efforts sismique	75
4.2.6.2	Calcul de l'armature longitudinale	75
4.2.6.3	Calcul de l'armature transversale dans la zone de rotule plastique	75
4.2.6.4	Vérification de la résistance de la pile en flexion biaxiale	75
4.2.6.5	Calcul de l'effort tranchant	75
4.2.7	Longueur d'appui minimale.....	80
CONCLUSION.....		81
ANNEXE I	EFFORTS SISMIQUES ET MOMENTS DE FLEXION DANS LES DEUX DIRECTIONS (PONT À DEUX TRAVÉE).....	82
ANNEXE II	FERRAILLAGE DE LA PILE (COUPE AA).....	83
ANNEXE III	LE CHARGEMENT ET LES RÉSULTATS D'ANALYSE (PONT À DEUX TRAVÉES) MÉTHODE CU.....	84
ANNEXE IV	CHARGEMENT ET RÉSULTATS D'ANALYSE (PONT À DEUX TRAVÉES) MÉTHODE MU	87
ANNEXE V	EFFORTS SISMIQUES ET MOMENTS DE FLEXION DANS LES DEUX DIRECTIONS (PONT À TROIS TRAVÉES)	90
ANNEXE VI	FERRAILLAGE DE LA PILE (COUPE BB).....	91
ANNEXE VII	CHARGEMENT ET RÉSULTATS D'ANALYSE (PONT À TROIS TRAVÉES) MÉTHODE MU	92
ANNEXE VIII	RÉSULTATS D'ANALYSE MÉTHODE MM (PONT À TROIS TRAVÉES).....	95
LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		97