

Protection-Incendie

CONSEIL CANADIEN DE LA CONSTRUCTION EN ACIER

201 Consumers Road, Suite 300
Willowdale, Ontario, M2J 4G8

RÉSISTANCE AU FEU DES POTEAUX TUBULAIRES EN ACIER REMPLIS DE BÉTON AVEC BARRES D'ARMATURE

INTRODUCTION

Le Conseil national de recherches Canada (CNR), en collaboration avec le Conseil canadien de la construction en acier (CCCA), et avec le soutien de l'American Iron and Steel Institute (AISI) et IPSCO Inc., a complété récemment la seconde phase du programme de recherches sur la résistance au feu des poteaux tubulaires (HSS) remplis de béton.

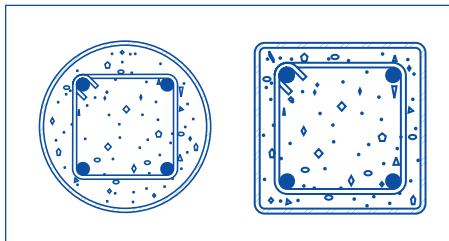
La première phase du projet a étudié le comportement des poteaux tubulaires à sections ronde et carrée remplis de béton ordinaire (i.e. sans barres d'armature), soumis à des charges concentriques; les résultats ont fait l'objet du bulletin de Protection-Incendie No 21. Les formules et courbes de calcul ont été publiées par la suite dans l'Annexe D du Code national du bâtiment - Canada 1995, qui constitue un guide de calcul du degré de résistance au feu des matériaux de construction.

La présente étude introduit les barres d'armature comme moyen d'augmenter la résistance en compression et la résistance au feu. L'Institut de recherche en construction (IRC) et le CCCA ont publié plusieurs rapports [réf. 1, 2 et 3] décrivant les résultats d'un grand nombre d'essais de chargement à pleine échelle et d'études analytiques approfondies.

PROGRAMME D'ESSAIS

Les recherches sur les poteaux tubulaires remplis de béton avec barres d'armature, soumis à des charges

concentriques, ont été complétées en 1995. Un article intitulé "Fire Resistance of Steel Columns Filled with Bar-Reinforced Concrete", par T.T. Lie et V.K.R. Kodur a été publié en janvier 1996 dans le Journal of Structural Engineering de l'ASCE [réf. 4]. Les résultats de 29 essais à pleine échelle effectués sur des poteaux ont servi à vérifier un modèle numérique incorporant des relations contraintes-déformations réalistes et les propriétés thermiques de l'acier de charpente, du béton et de l'acier d'armature à température élevée [réf. 5 et 6]. À l'aide de ce modèle, des essais de résistance au feu simulés par ordinateur ont été effectués pour déterminer l'influence de divers facteurs sur le degré de résistance au feu. Les résultats ont servi à développer une formule de calcul simplifiée.



COMPORTEMENT DES POTEAUX

À la température ambiante, le noyau de béton et le profilé en acier résistent tous deux à l'effort axial dans un poteau. À température élevée, c'est principalement le noyau de béton qui résiste à l'effort axial, le profilé en acier exerçant alors un effet de retenue. Les facteurs qui influencent la résistance au feu et la résistance en compression des poteaux tubulaires remplis de béton incluent généralement les dimensions de la section, la longueur du poteau, la résistance du béton et son type de granulat. Le bulletin de Protection-Incendie No 21 présente une discussion générale du comportement. La présente discussion se limite aux deux nouveaux

[Suite à la page 4](#)

FORMULE ET COURBES DE CALCUL

Les poteaux tubulaires en acier remplis de béton avec barres d'armature, soumis à des charges concentriques, fabriqués et montés selon les tolérances stipulées dans la norme CAN/CSA-S16.1, "Règles de calcul aux états limites des charpentes en acier", ont un degré de résistance au feu R , à condition que:

$$C \leq C_{max}$$

où

C = effort de compression axiale dû aux surcharges et aux charges permanentes sans coefficients de charge, kN,

$$C_{max} = \left(\frac{a (f'_c + 20) D^{2.5}}{R (KL - 1000)} \right)^2 \text{ mais ne doit pas dépasser}$$

1,7 fois la résistance pondérée à la compression du noyau de béton, C_r , conformément à la norme CAN/CSA-S16.1,

a = constante (voir Tableau 1)

f'_c = résistance à la compression prévue du béton conformément à la norme CSA-A23.3, "Calcul des ouvrages en béton", MPa,

D = diamètre extérieur d'un poteau rond ou largeur extérieure d'un poteau carré, mm,

R = degré de résistance au feu, min.,

KL = longueur efficace du poteau telle que définie dans la norme CAN/CSA-S16.1, mm;

sous réserve des limites suivantes:

f'_c 20 MPa à 55 MPa,

D 165 mm à 410 mm pour les poteaux ronds, 175 mm à 305 mm pour les poteaux carrés, l'armature longitudinale entre 1,5% et 5%; la dimension, le nombre et l'espacement des barres et des étriers sont conformes aux limites de la norme CSA A23.3,

25 mm de recouvrement de béton autour des barres d'armature longitudinales,

$R \leq 180$ minutes,

KL 2000 mm à 4500 mm, et les profilés tubulaires doivent être de classe 1, 2 ou 3, conformément à la norme CAN/CSA-S16.1.

Tableau 1 - Valeurs de a

Type de granulat*	Armature en acier	Poteaux ronds	Poteaux carrés
S	1,5%-3%	0,080	0,070
S	3%-5%	0,085	0,075
N	1,5%-3%	0,090	0,080
N	3%-5%	0,095	0,085

* Le béton de type S est composé de gros granulats siliceux; Le béton de type N est composé de gros granulats carbonés.

Dans le cas des profilés tubulaires communément disponibles au Canada, la valeur de C_{max} pour les

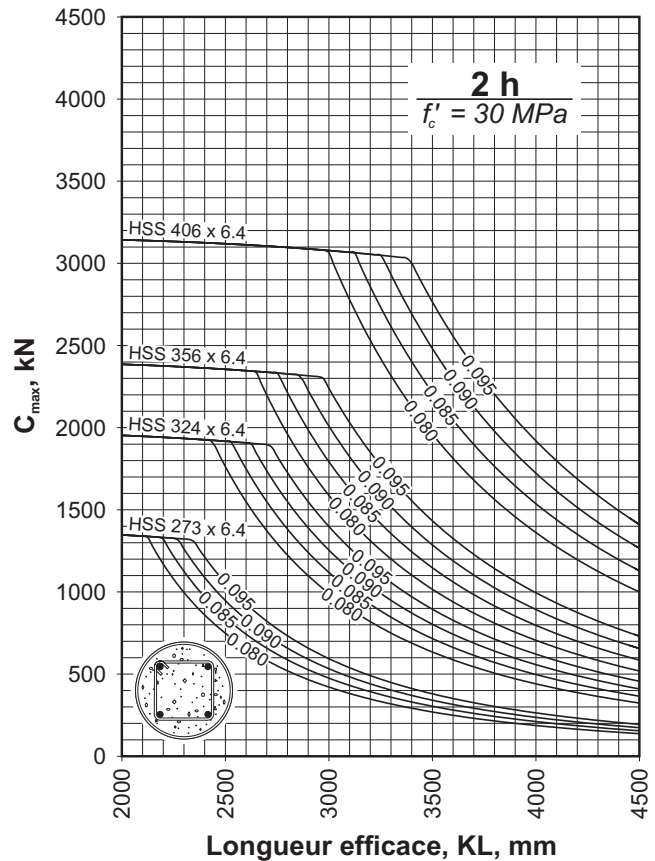


Figure 1: Poteaux tubulaires ronds avec béton de 30 MPa et degré de résistance au feu de 2 h

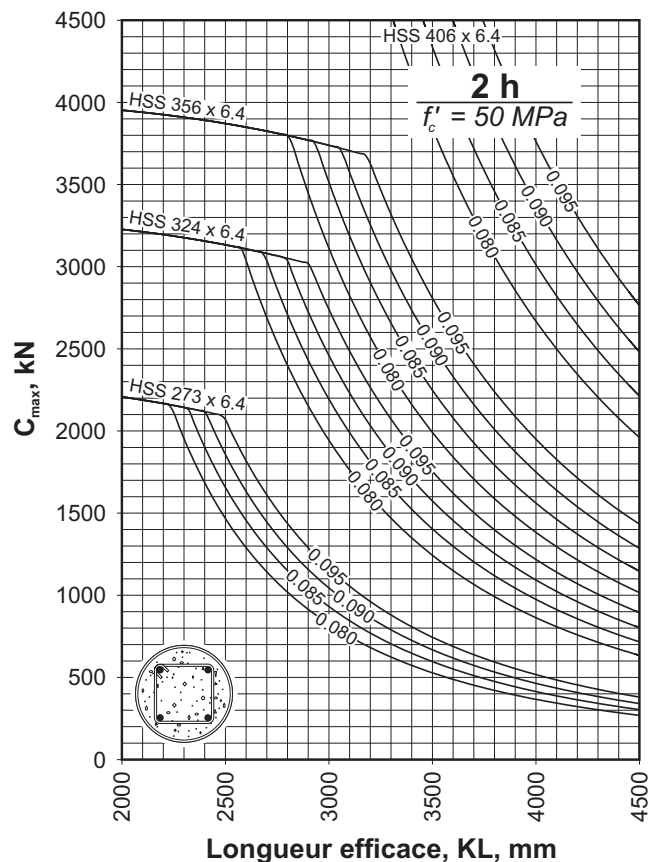


Figure 2: Poteaux tubulaires ronds avec béton de 50 MPa et degré de résistance au feu de 2 h

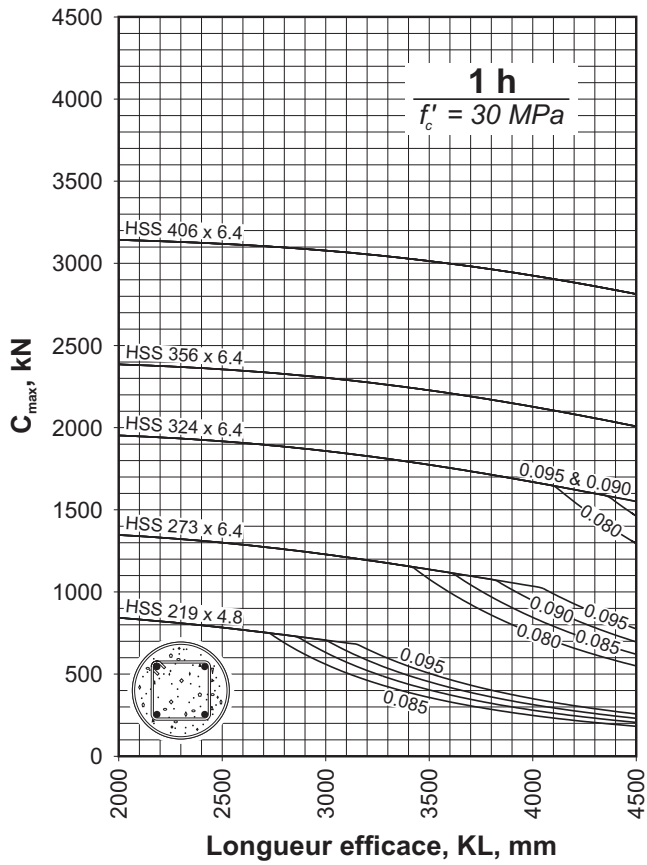


Figure 3: Poteaux tubulaires ronds avec béton de 30 MPa et degré de résistance au feu de 1 h

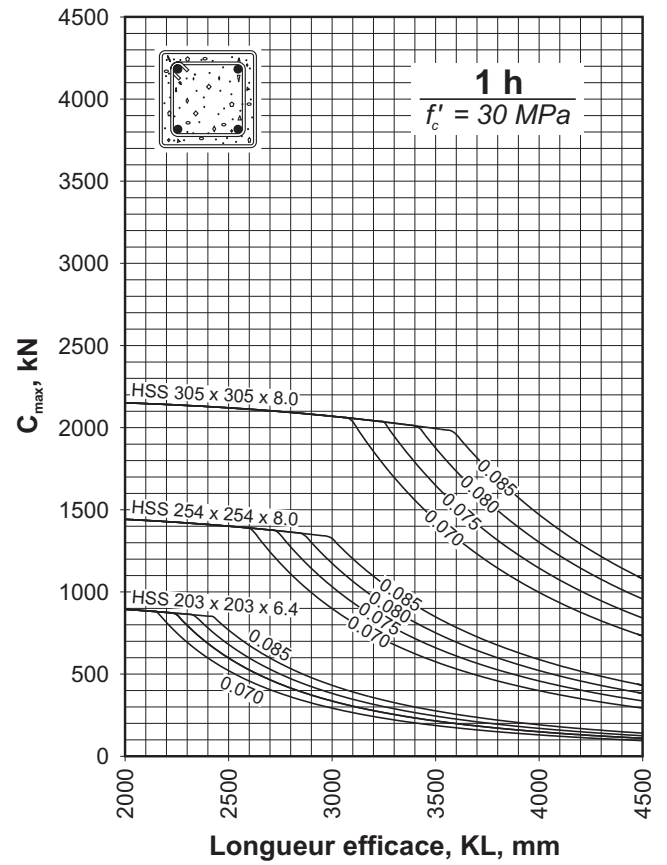


Figure 5: Poteaux tubulaires carrés avec béton de 30 MPa et degré de résistance au feu de 1 h

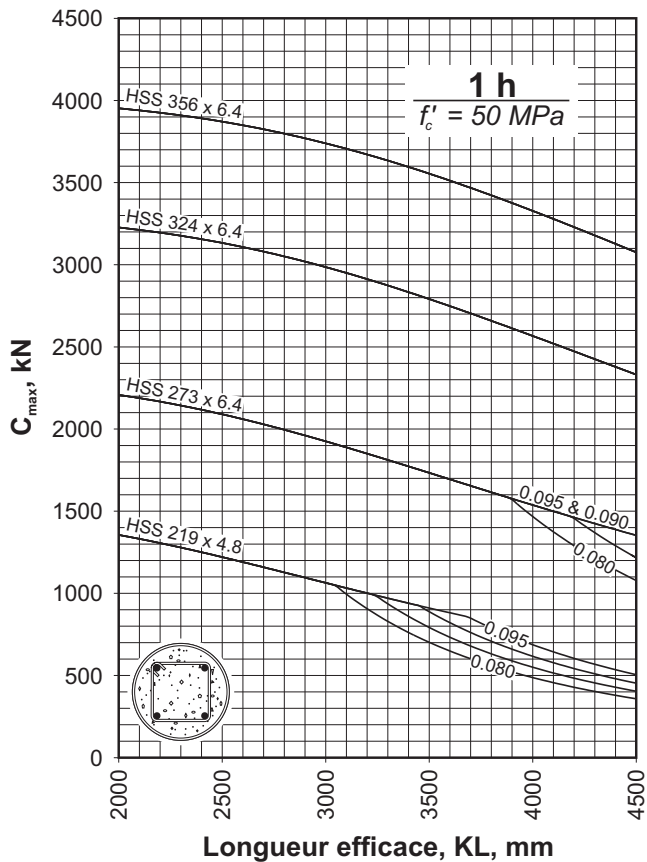


Figure 4: Poteaux tubulaires ronds avec béton de 50 MPa et degré de résistance au feu de 1 h

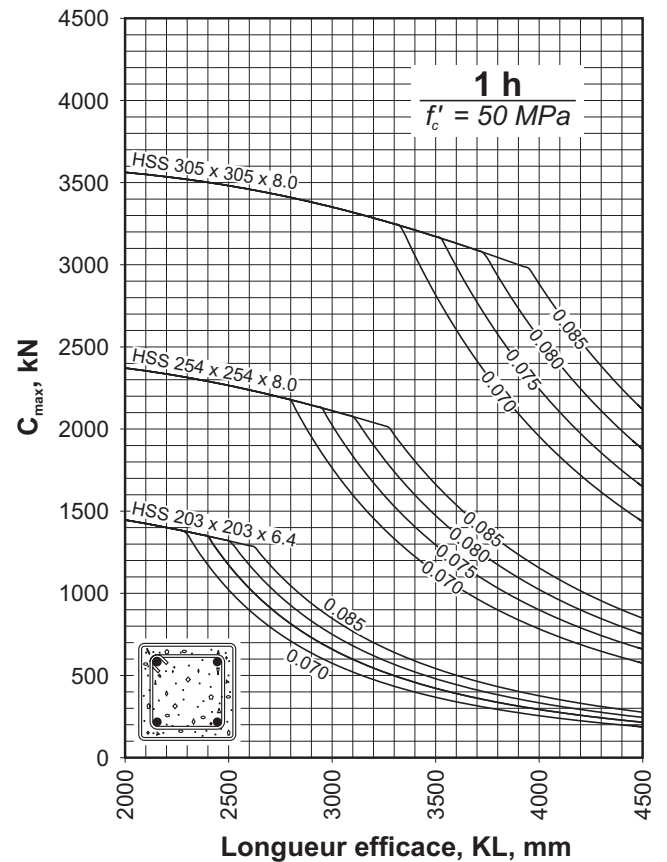


Figure 6: Poteaux tubulaires carrés avec béton de 50 MPa et degré de résistance au feu de 1 h

paramètres introduits dans l'étude actuelle: le pourcentage d'acier d'armature et l'épaisseur du recouvrement de béton autour des barres d'armature.

Trois pourcentages d'armature en acier ont été étudiés, soit 1,5%, 3% et 5%, représentant des niveaux faible, moyen et élevé d'armature. Bien que la résistance au feu augmente très peu avec l'augmentation du pourcentage d'armature, la présence des barres d'armature procure au noyau de béton une retenue additionnelle à température élevée. En plus, la durée d'exposition au feu et la résistance en compression du poteau sont largement supérieures comparativement au cas des poteaux remplis de béton ordinaire. Les barres d'armature permettent d'obtenir des degrés de résistance au feu atteignant 3 heures.

Deux valeurs d'épaisseur de recouvrement ont été étudiées, soit 20 mm et 50 mm. L'étude a démontré que l'augmentation de l'épaisseur de recouvrement au-delà de la valeur minimale a peu d'effet sur la résistance au feu ou la résistance en compression. On a supposé l'épaisseur de recouvrement minimale en vue de simplifier l'étude.

Les essais [réf. 1] et les comparaisons avec les résistances au feu calculées [réf. 5] ont démontré que la résistance au feu demeure prévisible et sans défaillance subite pour les charges atteignant jusqu'à 1,7 fois la résistance du noyau de béton sans armature, et pour les longueurs efficaces de poteaux jusqu'à 4500 mm.

À température élevée, l'humidité présente dans le noyau de béton se transforme en vapeur. Il existe un risque d'explosion si la vapeur n'est pas libérée dans l'atmosphère. Afin de prévenir une défaillance catastrophique, des trous de ventilation doivent être fournis, tel que décrit à la note 3.

FORMULE DE CALCUL

L'étude actuelle, de même que la précédente, a conclu que le degré de résistance au feu d'un poteau tubulaire rempli de béton avec barres d'armature est essentiellement une fonction de sa dimension, du rapport d'élançement, de la résistance et du type de béton, du pourcentage d'armature et de la charge (non-pondérée) appliquée [réf. 7]. La formule de calcul, exprimée en termes d'une charge limite appliquée au poteau pour un degré de résistance au feu prescrit, est donnée à la page 2. Le texte est fondé sur l'article D-2.6.6. du CNBC 1995 afin de représenter l'approche qui sera proposée pour le CNBC 2001 relativement aux poteaux tubulaires remplis de béton armé. Les courbes de calcul données aux pages 2 et 3 ont été tracées à

l'aide de la formule proposée, pour une série de profilés tubulaires à sections ronde et carrée. Les notes suivantes s'appliquent:

Notes se référant aux figures 1 à 6:

- (1) C_c est calculé conformément à l'article 18.4 de la norme CAN/CSA S16.1-94, en supposant un béton de densité normale et $S/T = 0,25$, où S est la charge à court terme et T la charge totale appliquée sur le poteau. Les effets de retenue sont négligés en prescrivant $\tau = \tau' = 1,0$ [réf. 8].
- (2) Les désignations et les dimensions des profilés tubulaires (HSS) sont conformes à la norme CAN/CSA-G312.3 et sont données dans le Handbook of Steel Construction de l'ISCA [réf. 9].
- (3) Deux trous de ventilation libres, chacun d'au moins 12,7 mm de diamètre, doivent être fournis aux extrémités opposées du poteau et à chaque plancher intermédiaire en vue de dégager la vapeur. Les trous doivent être situés à 150 mm d'une plaque d'assise, d'une plaque de transfert ou d'une dalle de béton. Les paires de trous doivent avoir une orientation telle que les paires voisines soient perpendiculaires [réf. 10].

RÉFÉRENCES

1. Chabot, M. et Lie, T.T., Experimental Studies on the Fire Resistance of Hollow Steel Columns Filled with Bar-Reinforced Concrete, IRC, rapport interne no. 628, Conseil national de recherches Canada, Institut de recherche en construction, Ottawa, Ontario, 1992.
2. Lie, T.T. et Denham, E.M.A., Factors Affecting the Fire Resistance of Square Hollow Steel Columns Filled with Bar-Reinforced Concrete, IRC, rapport interne no. 650, Conseil national de recherches Canada, Institut de recherche en construction, Ottawa, Ontario, 1993.
3. Lie, T.T. et Denham, E.M.A., Factors Affecting the Fire Resistance of Circular Hollow Steel Columns Filled with Bar-Reinforced Concrete, IRC, rapport interne no. 651, Conseil national de recherches Canada, Institut de recherche en construction, Ottawa, Ontario, 1993.
4. Lie, T.T. et Kodur, V.K.R., Fire Resistance of Steel Columns Filled with Bar-Reinforced Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, volume 120, no. 5, janvier 1996, pp. 30-36.
5. Lie, T.T., Fire Resistance of Circular Steel Columns Filled with Bar-Reinforced Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, volume 120, no. 5, mai 1994, pp. 1489-1509.
6. Lie, T.T. et Irwin R.J., Fire Resistance of Rectangular Steel Columns Filled with Bar-Reinforced Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, volume 121, no. 5, mai 1995, pp. 797-805.
7. Kodur, V.K.R. et Lie, T.T., Fire Performance of Concrete-Filled Hollow Steel Columns, Journal of Fire Protection Engineering, volume 7, no. 3, 1995, pp. 89-98.
8. Association canadienne de normalisation, Règles de calcul aux états limites des charpentes en acier, CAN/CSA-S16.1-94, Rexdale, Ontario, 1994.
9. Institut canadien de la construction en acier, Handbook of Steel Construction, 6e édition, Willowdale, Ontario, 1995.
10. Lie, T.T. et Kodur, V.K.R., Fire Protection of Hollow Steel Columns Through Concrete Filling, Compte-rendu du Congrès annuel de la SCGC, volume 3, 1995, pp. 215-224.