Protection-Incendie

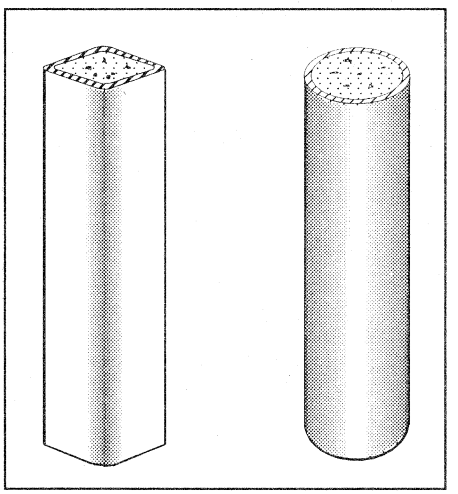
CONSEIL CANADIEN DE LA CONSTRUCTION EN ACIER

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

RÉSISTANCE AU FEU DES POTEAUX TUBULAIRES EN ACIER REMPLIS DE BÉTON ORDINAIRE

INTRODUCTION

En 1983, le Conseil national de recherches Canada (CNR), en collaboration avec le Conseil canadien de la construction en acier (CCCA) et avec l'appui de l'American Iron and Steel Institute (AISI), a entrepris un programme de recherches détaillé sur la résistance au feu des poteaux tubulaires remplis de béton. L'Institut de recherche en construction (IRC) et le CCCA ont publié plusieurs rapports [réf. 2, 10, 12, 13] décrivant les résultats d'un grand nombre d'essais à pleine échelle et les résultats d'études analytiques. Les recherches se poursuivent actuellement en Europe, où plusieurs articles ont déjà été publiés [réf. 4 - 9].



PROGRAMME D'ESSAIS

Au CNR, les recherches sur les poteaux tubulaires remplis de béton ordinaire (i.e. sans barres d'armature) ont pris fin en 1993. Un rapport intitulé 'Assessment of the Fire Resistance of Steel Hollow Structural Section Columns Filled with Plain Concrete', par T.T. Lie et D.C. Stringer a été publié en mai 1993 [Rapport du CNR no. 644, réf. 2]. Dans leur rapport, les auteurs ont supplémenté les 44 tests sur poteaux à pleine échelle effectués au CNR par des données publiées à l'étranger, et ils ont développé des formules destinées aux codes de bâtiments, pour calculer la résistance au feu des poteaux à section circulaire et carrée remplis de béton. Un article décrivant les résultats de Lie et Stringer a paru dans la Revue canadienne de génie civil en juin 1994 [réf. 1].

COMPORTEMENT DES POTEAUX

À la température ambiante, le profilé en acier et le noyau de béton contribuent tous deux à la résistance structurale du poteau mixte (i.e. $C_{rc} = C_r + C'_r$). Selon la dimension du profilé en acier, la résistance du béton, et d'autres facteurs, le noyau contribue entre 5% à 50% de la résistance totale du poteau, i.e. $0.05\ C_{rc} < C'_r < 0.5\ C_{rc}$.

Dans le cas des profilés tubulaires dont le rapport d'élancement se situe à l'intérieur des limites pratiques, les parois tubulaires en acier exercent un effet de retenue sur le noyau de béton, ce qui augmente sa résistance de

suite à la page 4

FORMULES ET COURBES DE CALCUL

Le degré de résistance au feu d'un poteau rempli de béton dépend de sa dimension, du rapport d'élancement, de la résistance et du type de béton, et de l'effort appliqué (sans coefficients de charge). Pour arriver à un certain degré de résistance au feu, l'effort axial dans le poteau doit demeurer inférieur à une certaine valeur limite. Cette valeur peut être calculée au moyen du nouvel article qui doit paraître dans le Code national du Bâtiment du Canada (CNB) 1995:

Les poteaux d'acier à section creuse remplie de béton qui sont soumis à des charges concentrées et qui sont fabriqués et mis en oeuvre selon les tolérances stipulées dans la norme CAN/CSA-S16.1, "Règles de calcul aux états limites des charpentes en acier", doivent avoir un degré de résistance au feu, R, à condition que:

$$C \leq C_{max}$$

où:

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

$$C_{max} = \left[\frac{a\,(f'_C + 20)\,D^{2.5}}{R\,(KL - 1000)} \right]^2$$

mais elle ne doit pas excéder la résistance pondérée à la compression du noyau de béton, C'_r, conformément à la norme CAN/CSA-S16.1,

a = 0.06 pour des poteaux carrés remplis de béton de type S*
0.07 pour des poteaux carrés remplis de béton de type N*
0.07 pour des poteaux circulaires remplis de béton de type S*
0.08 pour des poteaux circulaires remplis de béton de type N*

f'_C = résistance à la compression spécifiée pour le béton, conformément à la norme CAN3-A23.3, "Calcul des ouvrages en béton dans les bâtiments," MPa,

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

R = degré de résistance au feu spécifié, en min,

KL = longueur efficace du poteau telle qu'elle est définie dans la norme CAN/CSA-S16.1, en mm;

sous réserve des limites suivantes:

R: ≤ 120 min,

D: de 140 mm à 410 mm pour les poteaux circulaires, de 140 mm à 305 mm pour les poteaux carrés,

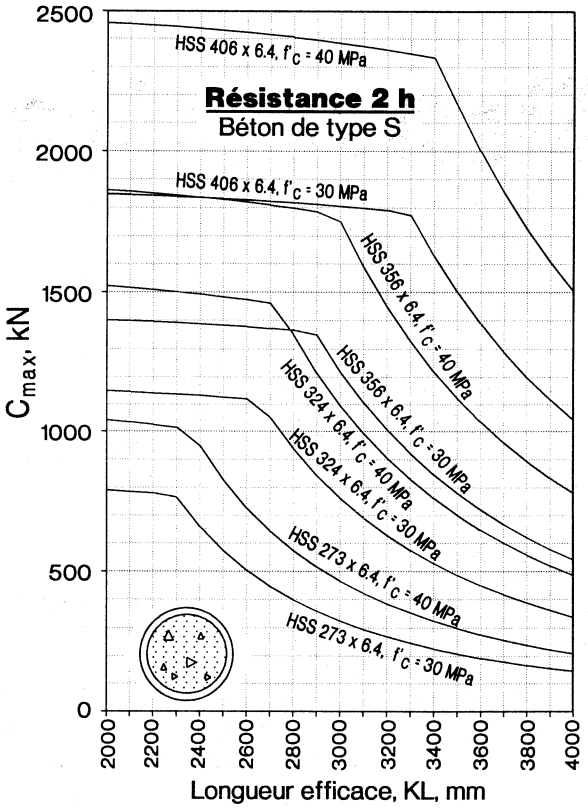
f'_C: de 20 MPa à 40 MPa,

KL: de 2000 mm à 4000 mm, et

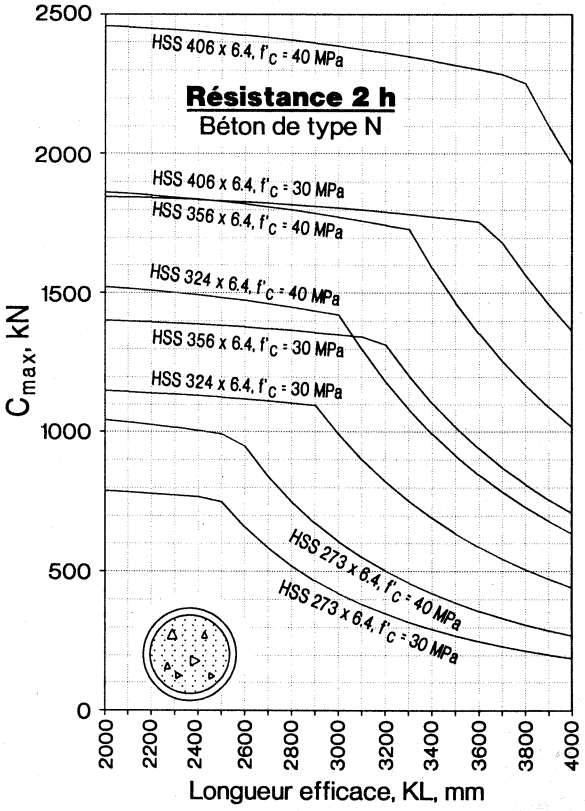
la section creuse d'acier doit être de classe 1, 2 ou 3, conformément à la norme CAN/CSA-S16.1.

En ce qui a trait aux sections creuses couramment utilisées au Canada, C_{max}, pour des résistances du béton de 30 MPa et de 40 MPa, est indiquée sur les graphiques à droite. Pour de plus amples informations sur les méthodes de calcul et sur la nomenclature relative aux sections creuses, voir les notes 1 et 2 en page 4.

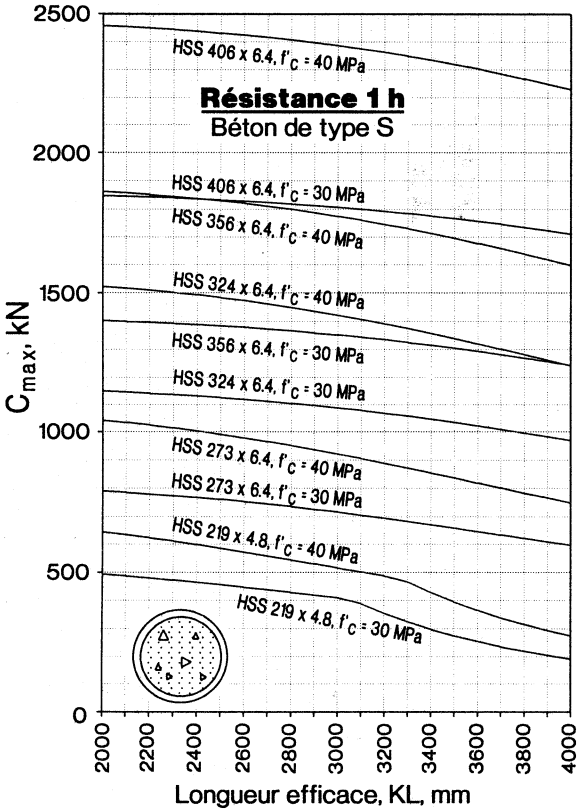
* *Le type S représente un béton composé de gros granulats siliceux; le type N représente un béton composé de gros granulats carbonés.*



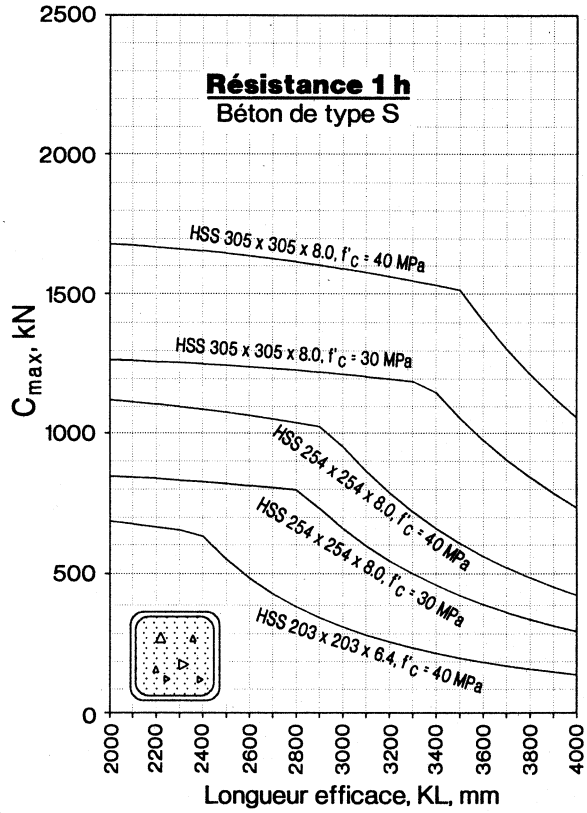
Poteaux tubulaires ronds,
Degré de résistance au feu 2 h



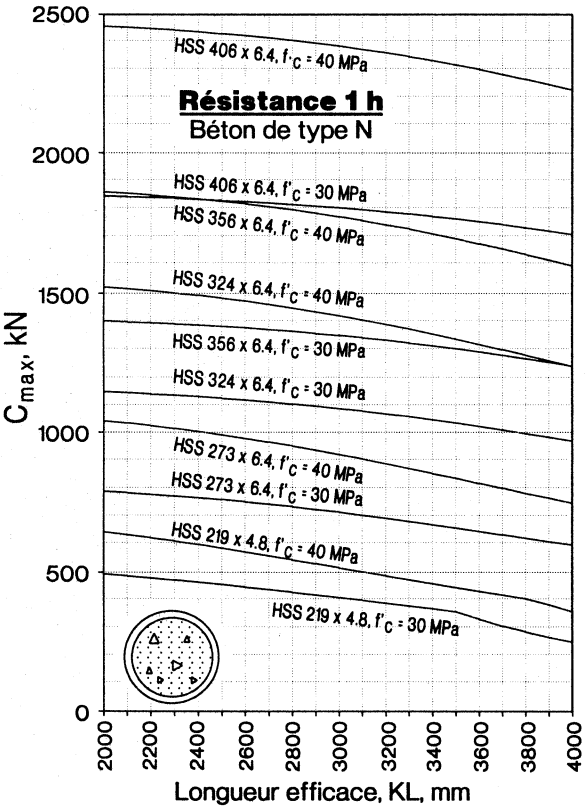
Poteaux tubulaires ronds,
Degré de résistance au feu 2 h



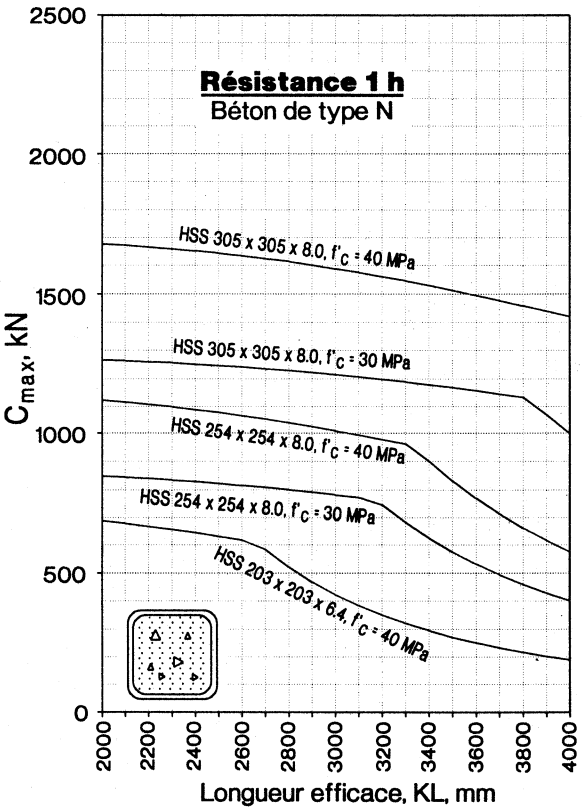
Poteaux tubulaires ronds,
Degré de résistance au feu 1 h



Poteaux tubulaires carrés,
Degré de résistance au feu 1 h



Poteaux tubulaires ronds,
Degré de résistance au feu 1 h



Poteaux tubulaires carrés,
Degré de résistance au feu 1 h

façon appréciable. La norme CAN/CSA-S16.1 [réf. 14] tient compte de cet effet de retenue en multipliant la résistance du noyau par un facteur d'amplification τ'.

À mesure que la température augmente, le poteau commence à perdre une certaine partie de sa résistance en raison de la baisse de résistance de l'acier. Cependant, l'augmentation de température de l'acier se trouve ralentie par la présence du noyau de béton qui absorbe la chaleur. Cette propriété sert de base à la méthode capacitive de protection-incendie.

Lie et d'autres chercheurs ont déterminé que les poteaux élancés perdent leur résistance en compression plus rapidement que les poteaux trapus. La résistance des poteaux carrés élancés peut être bien inférieure à celle du noyau de béton seul, C'_r. Bien que les poteaux ronds trapus peuvent maintenir une résistance supérieure à C'_r (charge observée maximale = 1.65 C'_r [réf. 10]), certaines défaillances subites ont été observées lors d'essais. Par conséquent, Lie et d'autres ont proposé comme restriction, entre autres, de limiter les efforts à une valeur maximale de C'_r pour tous les poteaux (voir page 2), afin d'assurer un comportement désirable et prévisible. L'effet de retenue est également négligé en prescrivant $\tau' = 1$.

Note 1:

Selon la norme CAN/CSA S16.1, article 18.4,

$$C'_r = 0.85\phi_c f'_c A_c \lambda_c^{-2}\left[\sqrt{1+0.25\lambda_c^{-4}} - 0.5\lambda_c^{-2}\right]$$

$$\text{où } \lambda_c = \frac{KL}{r_c}\sqrt{\frac{f'_c}{\pi^2 E_c}}$$

ϕ_c = 0.60

r_c = rayon de gyration de la section de béton, A_c

E_c = module élastique initial du béton, compte tenu des effets de chargement à long terme. Dans le cas d'un béton de densité normale, avec f'_c exprimé en MPa, le module élastique prend une valeur égale à $(1 + S/T)\ 2500\sqrt{f'_c}$,

où S représente l'effort à court terme et T représente l'effort total appliqué sur le poteau. Les courbes de calcul des pages 2 et 3 correspondent à une valeur de S/T = 0.25.

Note 2:

Sur les graphiques des pages précédentes, et selon la norme CAN/CSA- G312.3, 'Metric Dimensions for Structural Steel Shapes and Hollow Structural Sections', HSS 406 x 6.4 (par exemple) désigne un profilé tubulaire rond en acier avec un diamètre extérieur nominal de 406 mm et une épaisseur de paroi de 6.4 mm, alors que HSS 305 x 305 x 8.0 désigne un profilé tubulaire carré en acier avec une largeur extérieure nominale de 305 mm et une épaisseur de paroi de 8.0 mm.

RÉFÉRENCES

1. Lie, T.T. et Stringer, D.C., Calculation of the Fire Resistance of Steel Hollow Structural Section Columns Filled with Plain Concrete, Revue canadienne de génie civil, volume 21, no. 3, juin 1994.
2. Lie, T.T., et Stringer, D.C., Assessment of the Fire Resistance of Steel Hollow Structural Section Columns Filled with Plain Concrete, IRC rapport interne no. 644, mai 1993.
3. Flemington, R.A., Fire Protection of Hollow Structural Sections, Technical Bulletin 21, Stelco Inc., Hamilton, Ontario, 1980.
4. Granjean, G., Grimault, J.P. et Petit, L., Détermination de la durée au feu des profils creux remplis de béton, Rapport final, Commission des communautés européennes, Recherche technique acier, Luxembourg, 1981.
5. Kordina, E.H.K. et Klingsch, W., Brandverhalten von Stahlstützen im Verbund mit Beton und von massiven Stahlstützen ohne Beton, Teil 1: Bericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschulz Lerstuhl für Massivbau, Technische Universität Braunschweig, West Germany, 1983.
6. Design Manual for SHS Concrete filled Columns, British Steel Corporation, Corby Technical Centre, U.K., 1984.
7. Kruppa, J., Méthode de prévision par le calcul du comportement au feu des poteaux mixtes (Acier + Béton), Construction métallique, no. 3, 1988.
8. Twilt, L., Design Charts for the Fire Resistance of Concrete Filled HSS Columns under Centric Loading, TNO Institute for Building Materials and Structures, Netherlands, 1988.
9. Klingsch, W. et Wittbecker, F. W., Fire Resistance of Hollow Section Composite Columns of Small Cross Sections, Bergische Universität, Wuppertal, West Germany, 1988.
10. Lie, T.T. et Chabot, M., Experimental Studies on the Fire Resistance of Hollow Steel Columns Filled with Plain Concrete, IRC rapport interne no. 611, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches Canada, Ottawa, janvier 1992.
11. Lie, T.T. et Chabot, M., A Method to Predict the Fire Resistance of Circular Concrete Filled Hollow Steel Columns, Journal of Fire Protection Engineering, 1990.
12. Lie, T.T., Irwin R.J. et Chabot, M., Factors Affecting the Fire Resistance of Circular Hollow Steel Columns Filled with Plain Concrete, IRC rapport interne no. 612, 1991.
13. Lie, T.T et Dawod, J., Factors Affecting the Fire Resistance of Square Hollow Steel Columns Filled with Plain Concrete, IRC rapport interne no. 633, 1992.
14. Règles de calcul aux états limites des charpentes en acier, CAN/CSA-S16.1-M89, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1989.