

Résistance au feu des poteaux d'acier remplis de béton

par **V.K.R. Kodur**

En remplissant de béton un poteau d'acier, on augmente sa capacité portante et sa résistance au feu. Le béton renforcé de fibres ou de barres en acier offre dans ce cas des avantages par rapport au béton ordinaire. Cet article décrit les avantages que présentent les divers types de béton utilisés à cette fin, en particulier celui qui contient des fibres d'acier, au niveau de la protection incendie et sur d'autres plans.

Les poteaux d'acier creux résistent très bien à la compression et sont largement utilisés pour les charpentes de bâtiments industriels. Cependant, l'acier est vulnérable en cas d'incendie et, dans le passé, les codes du bâtiment exigeaient habituellement que ces poteaux soient protégés contre le feu. Cela empêchait les architectes de créer des ouvrages avec acier apparent.

Or, les recherches menées sur une période de dix ans par l'Institut de recherche en construction (IRC) du CNRC, au moyen d'un grand four d'essais, ont montré qu'en remplissant de béton les poteaux d'acier, on augmente leur capacité portante et leur résistance au feu. Il n'est plus nécessaire, dans ce cas, de protéger la surface de l'acier contre l'incendie, ce qui permet aux architectes et aux ingénieurs de mettre l'acier en évidence dans leurs créations — sans compromettre la sécurité incendie. Par ailleurs, l'utilisation de cette technique augmente la surface utile du bâtiment et réduit le coût de la protection incendie.

Le nouveau musée de l'aviation de Seattle (Washington), qui abrite une des plus grandes collections d'appareils au monde, doit en partie aux poteaux d'acier remplis de béton l'impression de transparence et d'ouverture qui s'en dégage. On voulait que les pièces exposées soient visibles de l'extérieur et que le ciel soit visible de l'intérieur. On y est parvenu en



Figure 1. L'impression d'ouverture et de transparence qui se dégage du musée de l'aviation de Seattle (Washington) est due en partie à sa charpente en poteaux d'acier remplis de béton armé de barres.

habillant le bâtiment de verre et en le dotant d'une ossature discrète (voir figure 1). Se rendant compte que la meilleure résistance au feu des poteaux d'acier remplis de béton leur permettrait de satisfaire à cette exigence structurale, les architectes ont utilisé les données d'essais et les programmes informatiques de l'IRC pour prouver aux responsables des codes de la région de Seattle qu'il était possible d'obtenir une résistance au feu d'une heure, ce qui est le minimum prescrit, sous des charges de calcul maximales.

Avantages démontrés

Dans le cadre d'études récentes réalisées avec l'appui de l'industrie sidérurgique nord-américaine, des chercheurs de l'IRC ont testé des profilés de charpente creux (PCC) carrés ou circulaires servant de poteaux et ils ont mis au point des modèles informatiques les concernant. Ils ont étudié l'influence de facteurs importants comme le type de remplissage (béton ordinaire, armé ou renforcé de fibres d'acier), la résistance du béton employé, le type et l'importance de la charge, les dimensions des poteaux et l'élanement.

Ces études ont montré que la tenue au feu des PCC est meilleure lorsqu'ils sont remplis de béton renforcé de fibres d'acier, plutôt que de béton ordinaire, et que ceux-ci assurent une construction plus efficace et économique. Le béton renforcé de fibres d'acier utilisé dans ce cas présente les avantages suivants :

- une meilleure résistance à la traction,
- une moindre tendance à la fissuration en service,
- une meilleure résistance à la fatigue, aux chocs, au retrait et aux contraintes thermiques.

Comportement des PCC remplis de béton lors des incendies

La performance des poteaux en acier remplis de béton est exceptionnelle. À la température ambiante, la charge est supportée à la fois par le béton et par l'acier. Lorsque le poteau est exposé au feu, c'est l'acier qui supporte la plus grande partie de la charge, au début, car le métal se dilate plus rapidement que le noyau en béton. Mais au fur et à mesure que la température s'élève, l'acier faiblit et cède peu à peu; le poteau se contracte alors rapidement, c'est-à-dire après 20 ou 30 minutes d'exposition au feu. À ce stade, le noyau de béton prend la relève et supporte une part de plus en plus grande de la charge. La résistance du béton

diminue avec le temps et, lorsque le poteau n'est plus capable de supporter la charge, il flambe ou cède par compression. C'est le temps après lequel le poteau cède qui sert à déterminer son degré de résistance au feu.

Tenue au feu de différents bétons de remplissage

Béton ordinaire

Le degré de résistance au feu des poteaux remplis de béton ordinaire n'est que de une à deux heures. La rupture est causée par la diminution de la résistance du béton à la compression sous l'effet de l'élévation de la température, ainsi que par la propagation rapide des fissures dans le béton, ce qui provoque sa ruine prématurée. On peut obtenir une résistance au feu de plus d'une heure en réduisant le niveau des charges. À remarquer que la tenue au feu des poteaux en question est fortement influencée par les charges excentrées, c'est-à-dire celles dont le point d'application ne concorde pas avec l'axe d'inertie de leur support.

Béton renforcé de fibres d'acier

On peut augmenter considérablement la résistance au feu des poteaux d'acier en les remplissant de béton renforcé de fibres d'acier au lieu de béton ordinaire (voir figure 2). Il est ainsi possible d'obtenir, sans réduction de charge, des degrés de résistance au feu atteignant trois heures. La présence des fibres d'acier (environ 2 pour cent en masse) rend le béton moins sujet à se fissurer et contribue à la résistance à la compression aux températures élevées, empêchant le noyau de béton de céder prématurément.

Ces avantages sont attribuables aux meilleures propriétés mécaniques et thermiques du béton renforcé de fibres d'acier aux températures élevées, ainsi qu'à l'effet de confinement qu'ont ces fibres sur le noyau de béton.

Le surcoût que représente l'emploi de béton renforcé de fibres au lieu du béton ordinaire, dans ce cas, est souvent compensé par les nombreux avantages qui en découlent :

- meilleure résistance à la déformation, ce qui se traduit par une rupture graduelle plutôt que soudaine (voir figure 2);
- capacité portante accrue — entre 10 et 20 pour cent;
- résistance au feu plus grande — atteignant 2 à 3 heures — même sous des charges excentrées;

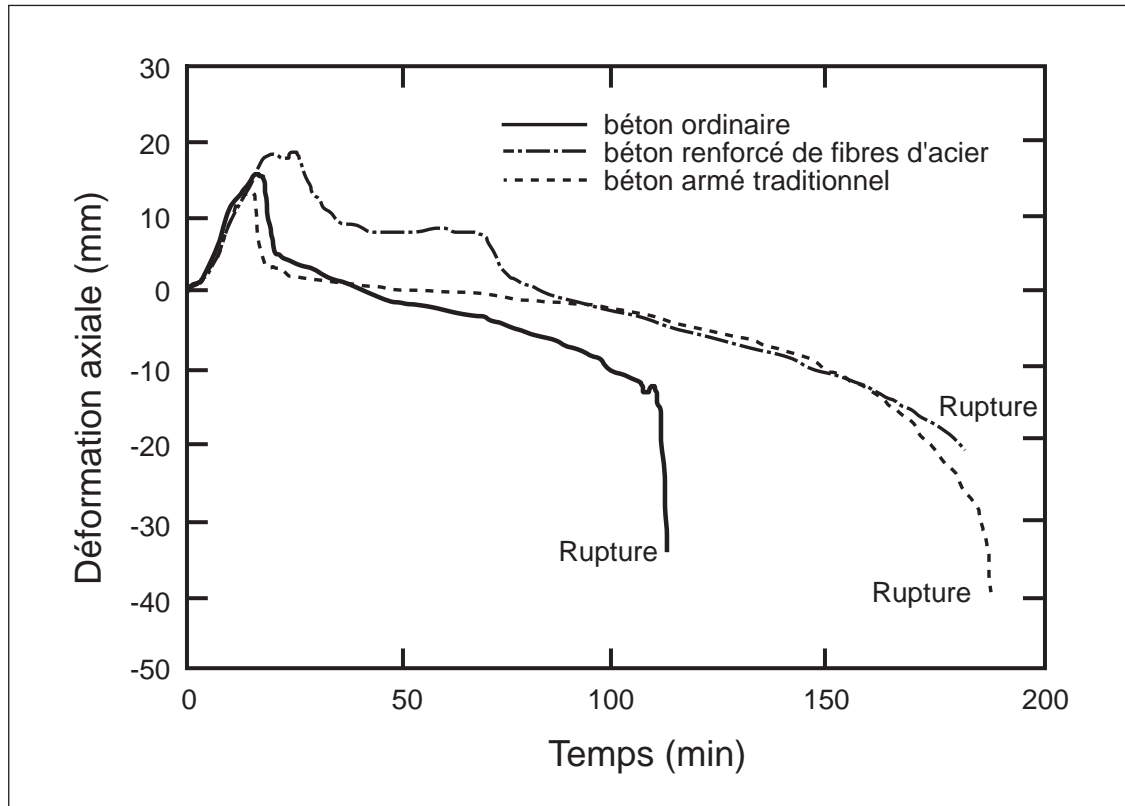


Figure 2. Cette figure indique la capacité de résistance au feu d'un PCC typique selon le type de béton employé pour le remplissage. La variation de la déformation axiale en fonction du temps d'exposition au feu témoigne de la meilleure tenue du béton renforcé de fibres d'acier (rupture ductile, c.-à-d. graduelle) par rapport au béton ordinaire (rupture fragile, c.-à-d. soudaine).

- flambage réduit;
- convient à un large éventail de dimensions de poteaux.

Béton armé traditionnel

Les poteaux remplis de béton armé traditionnel offrent en gros les mêmes avantages que ceux qui sont remplis de béton renforcé de fibres d'acier, mais le travail des ouvriers chargés de l'incorporation des barres d'armature les rend plus chers. De plus, dans les espaces réduits, ils sont plus difficiles à réaliser en assurant un enrobage correct des barres d'armature.

Prévision de la résistance au feu

Les données obtenues lors des essais de tenue au feu de l'IRC ont servi non seulement à déterminer l'influence de différents paramètres sur la résistance au feu des poteaux remplis de béton, mais aussi à valider les programmes informatiques capables de prévoir cette résistance.

On a ensuite utilisé les données issues de ces études par ordinateur pour définir des équations simples permettant de calculer la résistance au feu des PCC remplis de béton.

Dans l'annexe D (section D-2.6.6.) de l'édition 1995 du Code national du bâtiment (CNB), on reconnaît la résistance au feu des PCC remplis de béton ordinaire et on trouve des équations permettant de la calculer. Les éditions futures renfermeront probablement des équations applicables aux poteaux remplis de béton renforcé de fibres d'acier ou de béton armé traditionnel.

En simplifiant le processus de conception des ouvrages, ces équations encouragent l'utilisation des différents types de remplissage de béton. En faisant varier certains paramètres, par exemple la charge, la dimension transversale des poteaux ou la résistance du béton, on peut créer un design optimal qui soit économique et repose sur des principes rationnels de conception.



Figure 3. École récemment construite à Hamilton (Ontario); sa charpente comporte des poteaux d'acier remplis de béton armé traditionnel.

Entre-temps, les concepteurs et les responsables de la réglementation peuvent, lorsqu'il n'existe pas de données précises à ce sujet, se servir des programmes d'ordinateur mis au point par l'IRC pour évaluer la résistance au feu des poteaux remplis de béton utilisés dans les bâtiments. En plus du musée de l'aviation de Seattle, deux écoles construites récemment en Ontario (voir figure 3) et dont la charpente comporte des poteaux en acier remplis de béton armé traditionnel témoignent de la valeur des programmes informatiques de l'IRC.

Conclusion

Le remplissage des poteaux d'acier avec du béton est un moyen efficace d'augmenter leur résistance au feu et de réduire le coût de la protection incendie; il permet en outre aux architectes de concevoir, grâce à l'acier apparent, des ouvrages plaisants. Dans le cas de nombre d'immeubles élevés, il ne sera pas nécessaire d'augmenter le diamètre des poteaux supportant les étages inférieurs en raison de la plus grande capacité portante que leur donne le remplissage de béton. Par ailleurs, cette technique a l'avantage d'accroître la surface utile du bâtiment et de réduire les coûts de construction, car ce type de poteau peut être préfabriqué et mis en oeuvre par tous les temps.

V.K.R. Kodur, Ph.D., est agent de recherche au Laboratoire national de l'incendie, qui fait partie de l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches. Les essais auxquels ont été soumis récemment les poteaux d'acier creux ont été réalisés avec l'aide du Conseil canadien de la construction en acier et de l'American Iron and Steel Institute.