ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2024

Note au sujet de la propriété intellectuelle des modèles d'examen de l'Ordre des ingénieurs du Québec
Les modèles d'examen se trouvant sur le site internet de l'Ordre des ingénieurs du Québec sont la propriété exclusive de l'Ordre et leur utilisation est strictement limitée à des fins académiques et personnelles. Toute reproduction, distribution ou utilisation commerciale non autorisée de ces modèles constitue une violation de la propriété intellectuelle et est strictement interdite. L'Ordre se réserve le droit de prendre toutes les mesures légales appropriées contre toute utilisation non autorisée de ses modèles d'examen.

Toute documentation permise
Calculatrices : modèles autorisés seulement
Durée de l'examen : 3 heures
L'examen comporte quatre questions sur cinq pages

16-CI-A2 Conception structurale élémentaire

Notes :

1. Les calculs doivent être conformes au Code national du bâtiment – Canada CNBC 2005.

1. Les structures en bois doivent être conformes à la norme CAN/CSA-O86-09.

2. Les structures en acier doivent être conformes à la norme CAN/CSA-S16-09.

3. Les structures en béton doivent être conformes à la norme CAN/CSA-A23.3-04.

1. Code national du bâtiment

Problème 1 (25%)

Considérer la charpente métallique, à deux niveaux, montrée à la Figure 1. La structure est constituée par un atelier rectangulaire de dimensions 20 m x 9 m x 6 m (longueur x largeur x hauteur) et un petit bâtiment administratif collé en contrebas de dimensions 10 m x 4 m x 4 m (longueur x largeur x hauteur). La structure est située à Montréal-Est (région urbaine).

On demande de déterminer la surcharge totale due à la neige, en kPa, conformément au Code national du bâtiment – Canada CNBC, sur les toits A (supérieur) et B (inférieur), en tenant compte de l'amoncellement de neige provenant du toit A supérieur. Considérer que les 2 toits sont plats et qu'il n'y a pas de parapets. La structure est exposée au vent selon une seule direction, tel que montré à la Figure 1.

On donne :
Poids volumique de la neige : $\gamma = 3$ kN/m^3; Catégorie de risque normale à l'état limite ultime

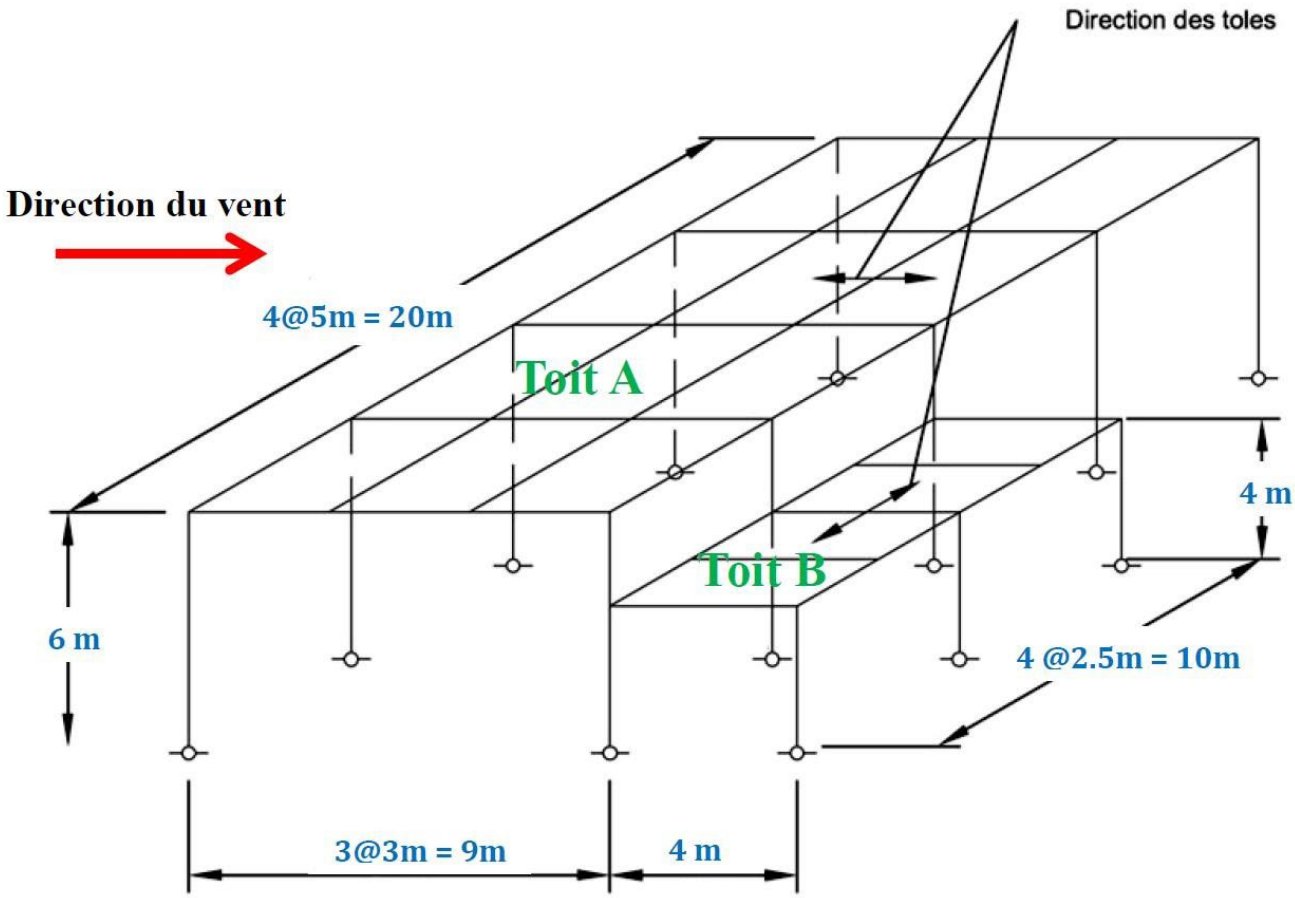

Figure 1 : Charpente métallique à deux niveaux

2. Structures en béton armé

Problème 2 (25%)

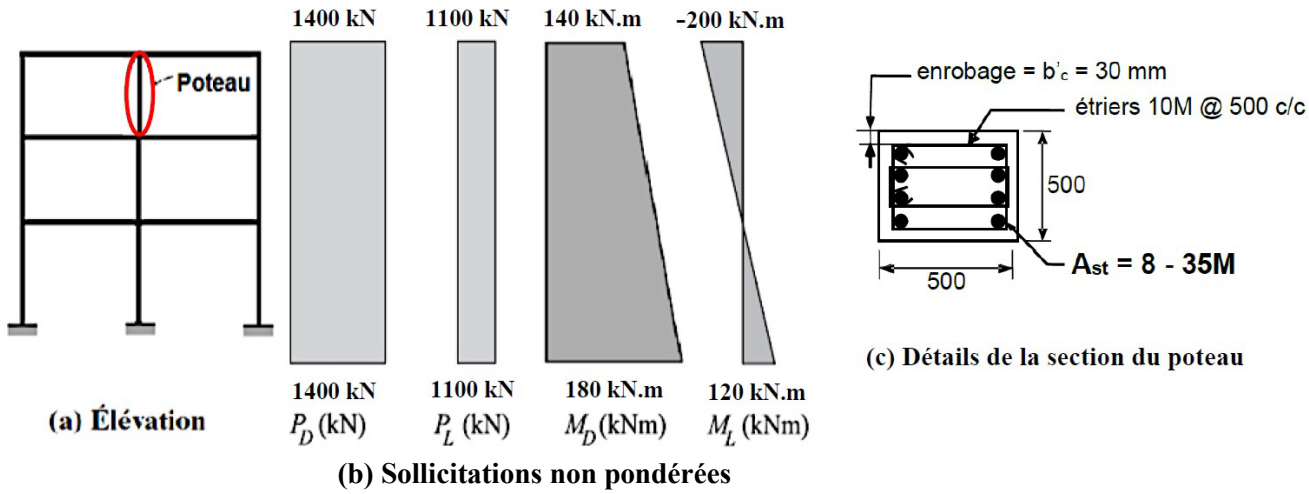

Figure 2.1 : Poteau - Élévation, sollicitations et détails de section (pas à l'échelle)

Considérer un poteau carré, de dimensions 500 mm x 500 mm et de longueur libre non soutenue l_u = 8750 mm faisant partie de la structure montrée à la Figure 2.1 (a), où il est situé au dernier étage. Le poteau est soumis à des charges axiales de compression permanentes, P_D, et d'exploitation, P_L, non pondérées, et à des moments d'extrémités M_D (permanentes) et M_L (d'exploitation) non pondérés, montrées à la Figure 2.1 (b).

Ces sollicitations ont été obtenues par une analyse élastique exacte et non pas par une méthode approximative. Considérer que le poteau sous étude ne fait pas partie du système de contreventement de la structure, non montré à la Figure 2.1 (a).

La section transversale du poteau incluant les détails des armatures d'acier est donnée à la Figure 2.1 (c).

On donne : Béton ordinaire de poids volumique γ_c= 24 kN/m³; Résistance du béton en compression à 28 jours: f'_c = 25 MPa; limite de résistance élastique des barres d'armature f_y = 400 MPa; Enrobage b'_c = 30 mm; Étriers transversaux 10M @ 500 mm c/c; Barres d'armature verticales 8-35M (Aire d'une barre 35M = 1000 mm^2).

On demande, conformément à la norme CSA-A23.3, de :

a) Calculer la charge axiale maximale pondérée, P_f, et les valeurs pondérées des moments d'extrémité $M_{f,inf}$ et $M_{f,sup}$. (**3 pts**)

b) Vérifier si le poteau est élancé ou court. (**5 pts**)

Pour la suite du problème, considérer que <u>le poteau est élancé</u> (même si votre réponse en b est différente).

c) Calculer le coefficient d'amplification $\boldsymbol{\delta}$ pour le calcul du moment pondéré $\boldsymbol{M_c}$, tenant compte de l'élancement du poteau. Utiliser le diagramme d'interaction fourni à la Figure 2.2 (voir la page suivante), et <u>obligatoirement</u> la valeur de $\mathbf{EI_{19}}$ (voir Figure 2.2 à la page suivante) pour calculer la charge d'Euler $\boldsymbol{P_c}$. Déterminer ensuite le moment $\boldsymbol{M_c}$. (**10 pts**)

d) Calculer la résistance en compression $\boldsymbol{P_r}$ (en kN) et le moment résistant $\boldsymbol{M_r}$ (en kN·m), en utilisant le diagramme d'interaction fourni à la Figure 2.2 ci-dessous, et vérifier si la section du poteau est adéquate pour résister à la flexion composée (compression et flexion). (**7 pts**)

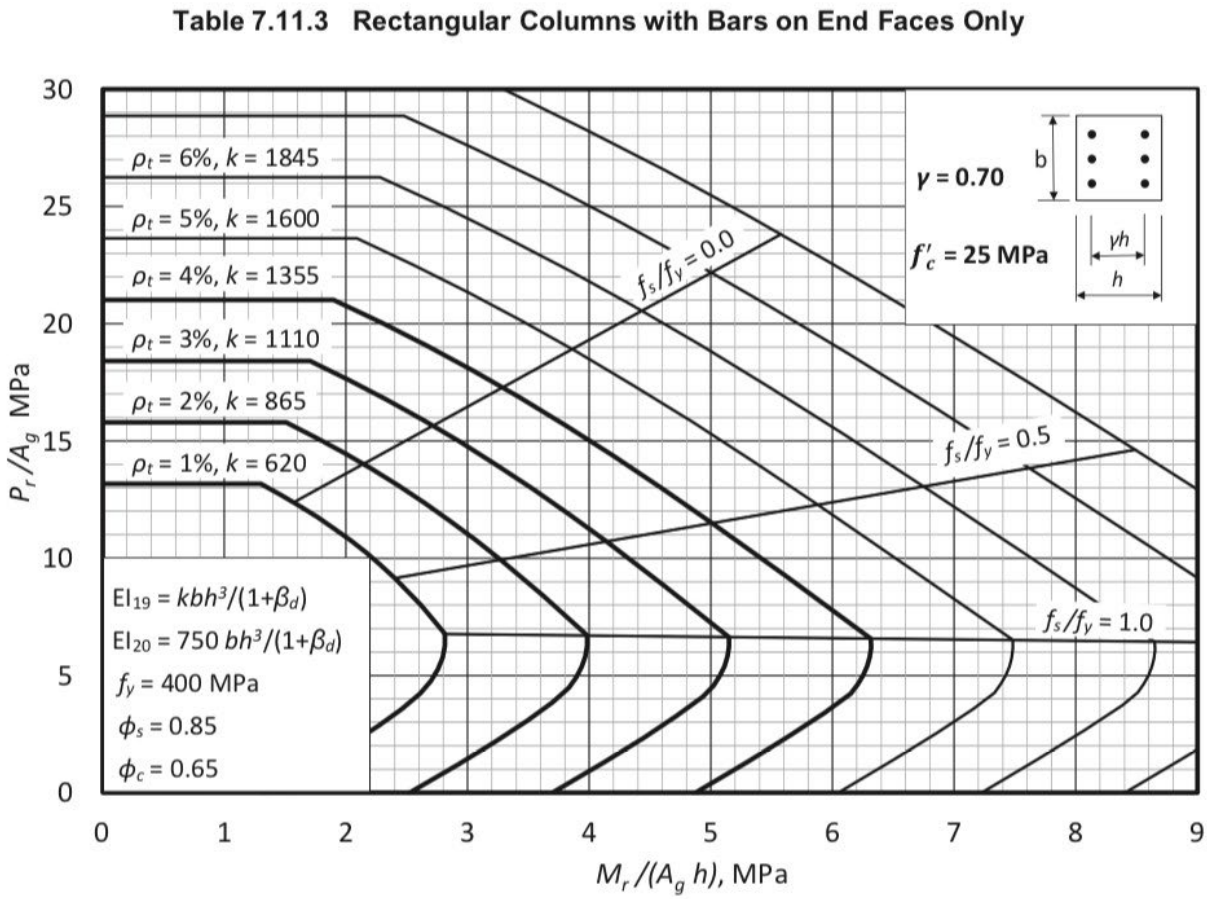

Figure 2.2 : Diagramme d'interaction pour le poteau rectangulaire avec armature sur les 2 faces d'extrémité (Tiré du Concrete Design Handbook)

3. Structures en acier

Problème 3 (25%)

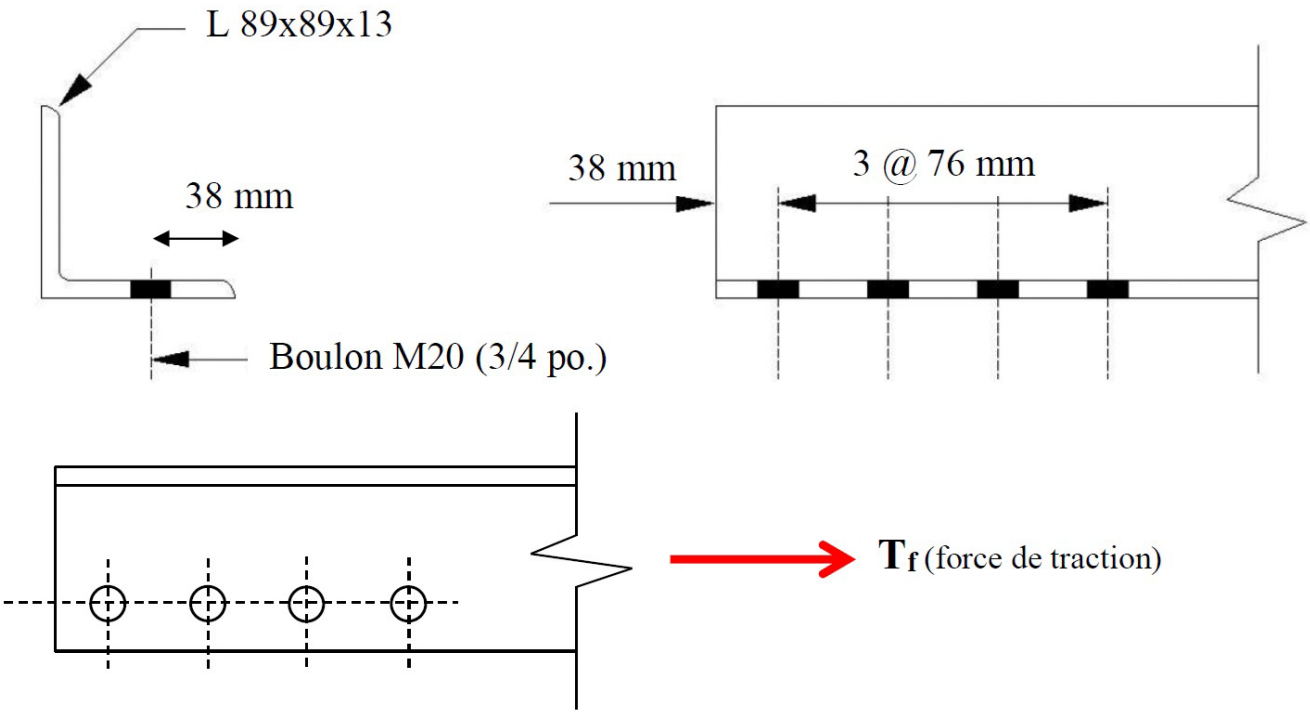

Figure 3 : Détails d'assemblage de la cornière (pas à l'échelle)

Considérer la cornière (angle) L89x89x13 CSA G40.21- 300W, montré à la Figure 3, avec un assemblage constitué d'une rangée de 4 boulons M20 d'un seul côté de la cornière et dans des trous poinçonnés de diamètre spécifié de 22 mm. La cornière est soumise à la traction directe (section transversale de la cornière normale à la charge appliquée), comprenant une charge permanente non pondérée de 140 kN et une surcharge d'exploitation non pondérée de 240 kN.

Supposer que les états limites de rupture des boulons et aux connexions des boulons ne sont pas déterminants.

On demande de déterminer et de vérifier la résistance de la cornière et de l'assemblage, en kN, conformément à la norme CSA-S16, aux états limites ultimes suivants : a) Plastification de la cornière. (**5 pts**)

b) Rupture par traction de la surface nette de la cornière (bris à l'assemblage – cassure); (**10pts**)

c) Rupture par traction combinée à la plastification ou à la rupture par cisaillement sur la longueur du bloc/coin connecté (bris à l'assemblage - déchirure). (**10 pts**)

On donne :

Propriétés de la cornière : Aire de la section **A** = 2100 mm^2 et épaisseur **t** = 12,7 mm;
Résistance à la plastification d'acier $\mathbf{F_y}$ = 300 MPa; Résistance ultime à la traction $\mathbf{F_u}$ = 450 MPa.

4. Structures en bois

Problème 4 (25%)

Déterminer et vérifier la résistance à la flexion et au cisaillement de la section de la poutre simplement appuyée (Figure 4), à l'état limite ultime conformément à la norme CSA-O86. La poutre est en bois lamellé-collé Douglas-mélèze de classe 20f-E, de dimensions 175 mm x 760 mm et de portée L = 8,5 m.

La poutre est soumise à une charge permanente totale non pondérée de 2,2 kPa (les cloisons et le poids propre y sont inclus) et une surcharge d'exploitation non pondérée de 2,4 kPa. Considérer une largeur tributaire des charges de 6 m. La rive comprimée de la poutre est soutenue latéralement sur toute sa longueur par des solives espacées de 400 mm centre à centre.

À l'état limite de service (charges non pondérées), valider que la flèche élastique maximale : a) ne dépasse pas L/180 sous la charge totale, et b) ne dépasse pas L/360 sous la surcharge d'exploitation, où L est la portée de la poutre.

Considérer les conditions suivantes :

- Réduction des charges d'utilisation peut être ignorée dans les calculs des charges. - Bois non traité.
- Utilisation en milieu sec.
- Durée normale d'application des charges.
- Résistance admissible au point d'appui a déjà été vérifiée.
- Poutre sans entailles

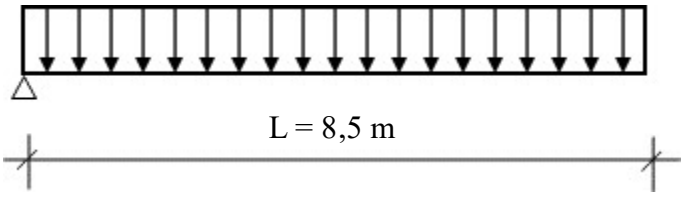

Figure 4 : Poutre simplement appuyée en bois lamellé-collé (pas à l'échelle)