

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

> Contexte industriel

- L'utilisation de panneaux verticaux en béton armé de grandes dimensions s'est aujourd'hui généralisée dans les constructions industrielles ou de stockage pour obtenir des volumes plus importants. Face aux exigences de la réglementation incendie, les panneaux doivent tenir au feu pour une durée minimale pour que l'intervention des pompiers permettent d'évacuer tous les occupants.
- Les modèles de calcul et de dimensionnement existants sont adaptés aux panneaux de petites dimensions dont le comportement au feu diffère très sensiblement de celui des panneaux de grandes dimensions.

> De nouvelles problématiques relatives aux panneaux de grandes dimensions

- D'une part, soumis à un fort gradient thermique associé à l'incendie, le panneau subit des déplacements hors plan plus importants dû au moment de flexion associé à l'excentricité du poids propre.
- D'autre part, un tel changement de géométrie de panneau est associé à une dégradation des propriétés du matériau sous l'élévation de température.
- Ces deux effets couplés peuvent conduire à la rupture des panneaux de grandes dimensions.

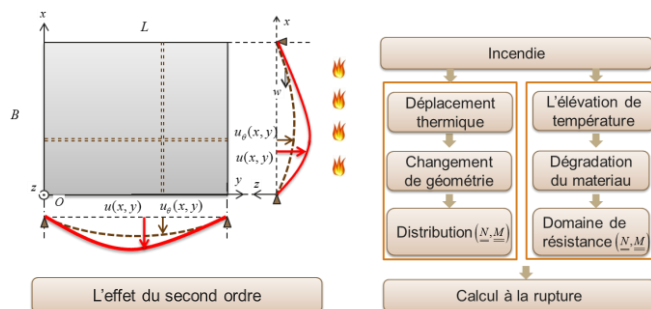
Objectif

La thèse comporte deux volets complémentaires.

Le premier volet concerne un développement théorique.

- Calcul de la déformée de plaque basée sur le modèle de von Karman en prenant en compte **l'effet du second ordre** pour trouver la distribution des efforts généralisés (N, M)
- Calcul du **domaine de résistance potentiellement supportable** des efforts généralisés (N, M) .
- Evaluation de la résistance du panneau déformé dans le cadre de **calcul à la rupture**.

Le deuxième volet concerne un essai expérimental. Un essai d'un mur de 9 mètres de hauteur est testé sur le Vulcain pour valider le calcul de la déformée.



PRINCIPAUX RÉSULTATS

1. L'essai expérimental

- > Pour l'essai de mur de 9 mètres de hauteur à l'échelle 1 exposé au feu pour 1h30min, le déplacement maximal mesuré est de 345 mm.

2. Développement théorique: modèle de poutre

- > La solution pour le champ de déplacement d'une plaque modélisée comme une poutre est obtenue par la proposition suivante:

$$w(x) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin\left(\frac{n\pi x}{H}\right) - \frac{1}{2} \frac{BN^T + AM^T}{AD - B^2} (x^2 - Hx)$$

avec A, B, D les constants caractérisant la rigidité de la plaque et N^T l'effort normal thermique et M^T le moment de flexion thermique.

$$(A, B, D) = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{E(x_3)}{1-\nu^2} (1, x_3, x_3^2) \cdot dx_3; (N^T, M^T) = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{E(x_3) \cdot \epsilon^{\theta}(x_3)}{1-\nu} \cdot (-1, x_3) \cdot dx_3$$

- > Le déplacement maximal prévu par cette solution analytique est de 395mm.

ETAT D'AVANCEMENT

Modèle de plaque de von Karman

- > Equations d'équilibre

$$\text{div}(\text{div} \underline{M}) - \underline{N} : \nabla (\nabla u_3) - w \cdot u_{3,1} = 0$$

$$\text{div} \underline{N} + p_a \underline{\epsilon}_a = 0$$

avec w un constant caractérisant la charge du poids propre par unité de surface.

- > Loi de comportement thermoélastique

$$\begin{pmatrix} N_{11} \\ N_{22} \\ N_{12} \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\nu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{22} \\ \epsilon_{12} \end{pmatrix} - B \begin{pmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\nu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \chi_{11} \\ \chi_{22} \\ \chi_{12} \end{pmatrix} + N^T \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} M_{11} \\ M_{22} \\ M_{12} \end{pmatrix} = -B \begin{pmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\nu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{22} \\ \epsilon_{12} \end{pmatrix} + D \begin{pmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\nu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \chi_{11} \\ \chi_{22} \\ \chi_{12} \end{pmatrix} + M^T \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

avec $\underline{\epsilon}$, $\underline{\chi}$ respectivement le tenseur de déformation membrane et le tenseur de courbure de la plaque.

- > Conditions aux limites

- Simple appuyé sur les quatres cotés

Hypothèse

- > Distribution de l'effort normal connue

$$N_{11} = w(x-H), N_{12} = 0, N_{22} = 0$$

Calcul de la déformée de la plaque par la méthode du déplacement

1. Equation gouvernante

$$\frac{AD - B^2}{A} \Delta \Delta u_3 - w(x-H) \frac{\partial^2 u_3}{\partial x_1^2} - w \frac{\partial u_3}{\partial x_1} = 0$$

avec $\Delta \Delta$ l'opérateur biharmonique.

- Les conditions aux limites associées sont :

$$x_1 = 0, a: u_3 = 0, \frac{\partial^2 u_3}{\partial x_1^2} = \chi^T; \quad x_2 = 0, b: u_3 = 0, \frac{\partial^2 u_3}{\partial x_2^2} = \chi^T$$

avec χ^T la courbure thermique définie par: $\chi^T = -(BN^T + AM^T) / (AD - B^2)$

2. Proposition d'un champ de déplacement cinématiquement admissible avec des conditions aux limites (Série de Levy)

$$u_3 = \sum_m Y_m(y) \cdot \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) + \frac{\chi^T}{2} (x^2 - Hx)$$

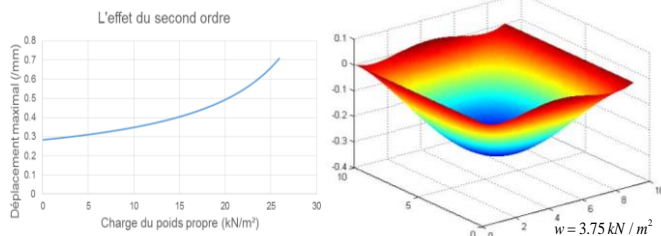
Pour $m=1$, la solution générale de la fonction $Y_m(y)$ est du type:

$$Y(y) = C_1 \cdot e^{\alpha_1 y} + C_2 \cdot e^{\alpha_2 y} + C_3 \cdot e^{\alpha_3 y} + C_4 \cdot e^{\alpha_4 y} + Y_0$$

- $C_1 - C_4$ sont des constants définis par les conditions aux limites.
- $\alpha_1 - \alpha_4$ et Y_0 sont respectivement des valeurs propres et la solution particulière de l'EDO associée pour $Y(y)$.

3. Exemple numérique

Pour une plaque de 10 mètres de largeur et 9 mètres de hauteur, son déplacement maximal augmente en fonction de la charge du poids propre.



PERSPECTIVES

1. Introduction de la variabilité de la distribution des efforts normaux afin de identifier l'effet de couplage entre les efforts normaux et les moments de flexion.
2. Application du calcul à la rupture pour évaluer la résistance maximale de panneau.

Encadrants – CSTB: Duc Toan PHAM
Directeur – ENPC: Patrick de BUHAN
Contact – mingguan.yang@cstb.fr