

Prise en compte du risque incendie en tunnel : la démarche de dimensionnement des structures et les différentes options

L. D'Aloia, B. Moreau, C. Larive
(CETU)



Introduction

Cadre réglementaire :

- **Instruction technique n°2000-63** relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national
- Directive Européenne 2004/54/CE

La **résistance au feu** :

- capacité d'un élément structurel à conserver son rôle malgré le déroulement du feu (portance, étanchéité, isolation...)

IT => niveaux de résistance au feu : N1, N2, N3

- → +

Introduction

- Dimensionnement au feu des tunnels neufs
- Vérification de la stabilité au feu des tunnels existants

1. Calcul au feu : les principes
2. L'écaillage du béton à haute température
3. Les protections passives



Calcul au feu - Principes

3 étapes :

Définition de l'incendie

- Courbes $T(t)$
- CN, HCM



Analyse thermique

- Températures dans la structure



Analyse structurelle

- Prop mécanique (T,t)
- Contraintes
- Résistance



Calcul au feu – L'incendie

Définition de l'incendie

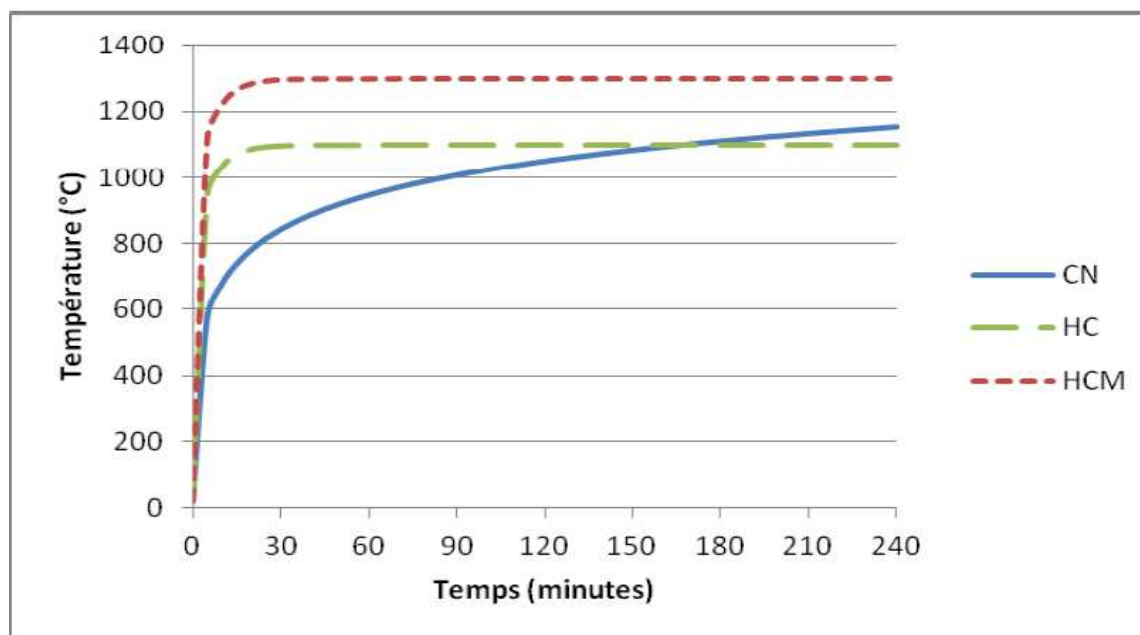
- Courbes $T(t)$
- CN, HCM

Analyse thermique

- Températures dans la structure

Analyse structurelle

- Prop mécanique (T, t)
- Contraintes
- Résistance



Courbes température-temps

Calcul au feu – Analyse thermique

Définition de l'incendie

- Courbes T(t)
- CN, HCM



Analyse thermique

- Températures dans la structure



Analyse structurale

- Prop mécanique (T,t)
- Contraintes
- Résistance

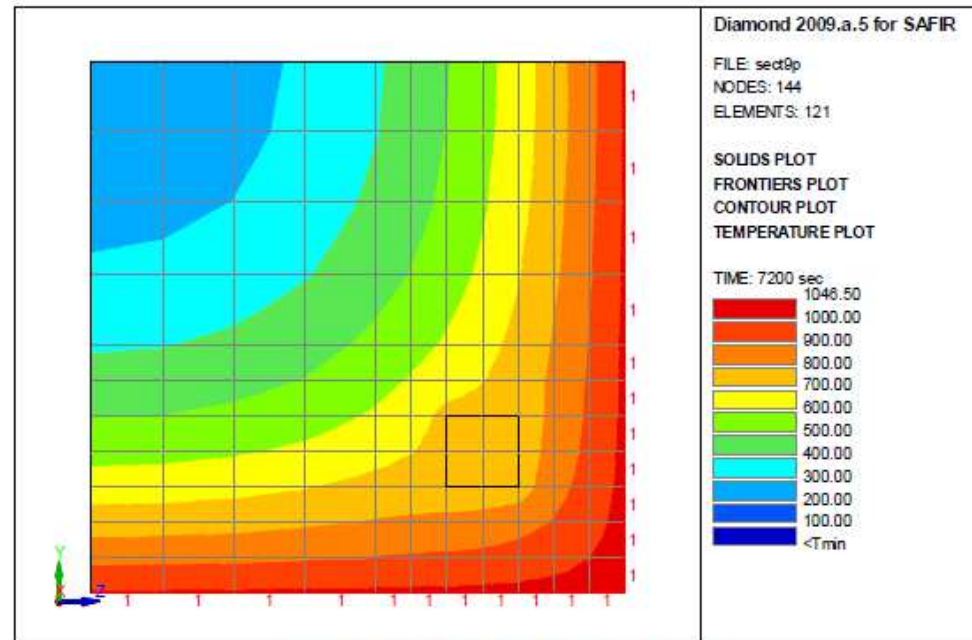


Figure 6: 1/4 of a reinforced concrete section

Calcul au feu – Analyse structurelle

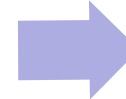
Définition de l'incendie

- Courbes T(t)
- CN, HCM



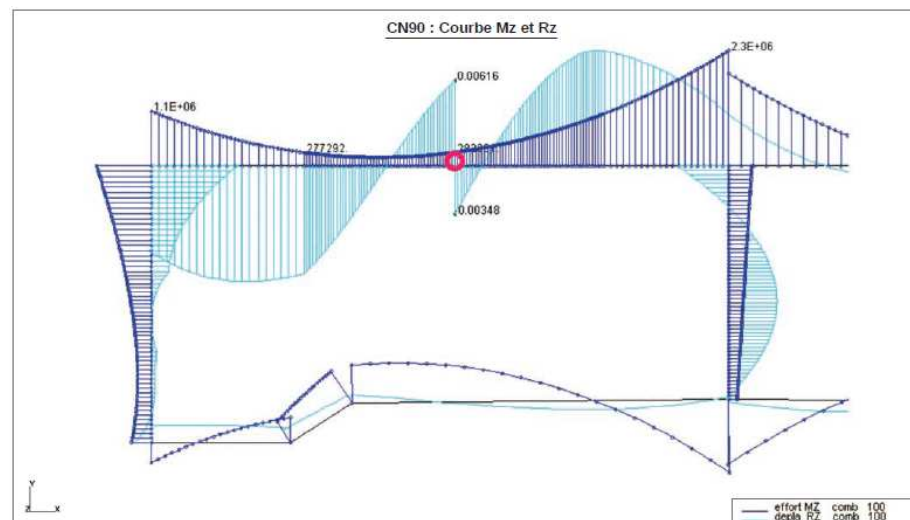
Analyse thermique

- Températures dans la structure



Analyse structurelle

- Prop mécanique (T,t)
- Contraintes
- Résistance



Méthodes d'analyse plus ou moins complexes : valeurs tabulées, modèles linéaires, modèles non-linéaire....

Calcul au feu – Analyse structurelle

Combinaison d'action (EC0) :

- À froid : $1,35 G + 1,5 Q$ (ELU)
- À chaud : $G + 0,6 Q + T$ (ELU Accidentel)

Justification de la résistance

- Analyse linéaire : $E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}$
- Analyse non-linéaire : Plastification des sections, introduction de **rotules plastiques** et vérification de leur capacité de rotation

Effets directs de l'incendie :

- **Échauffement des matériaux** => modification des propriétés thermiques et mécaniques, (EC2-1-2)

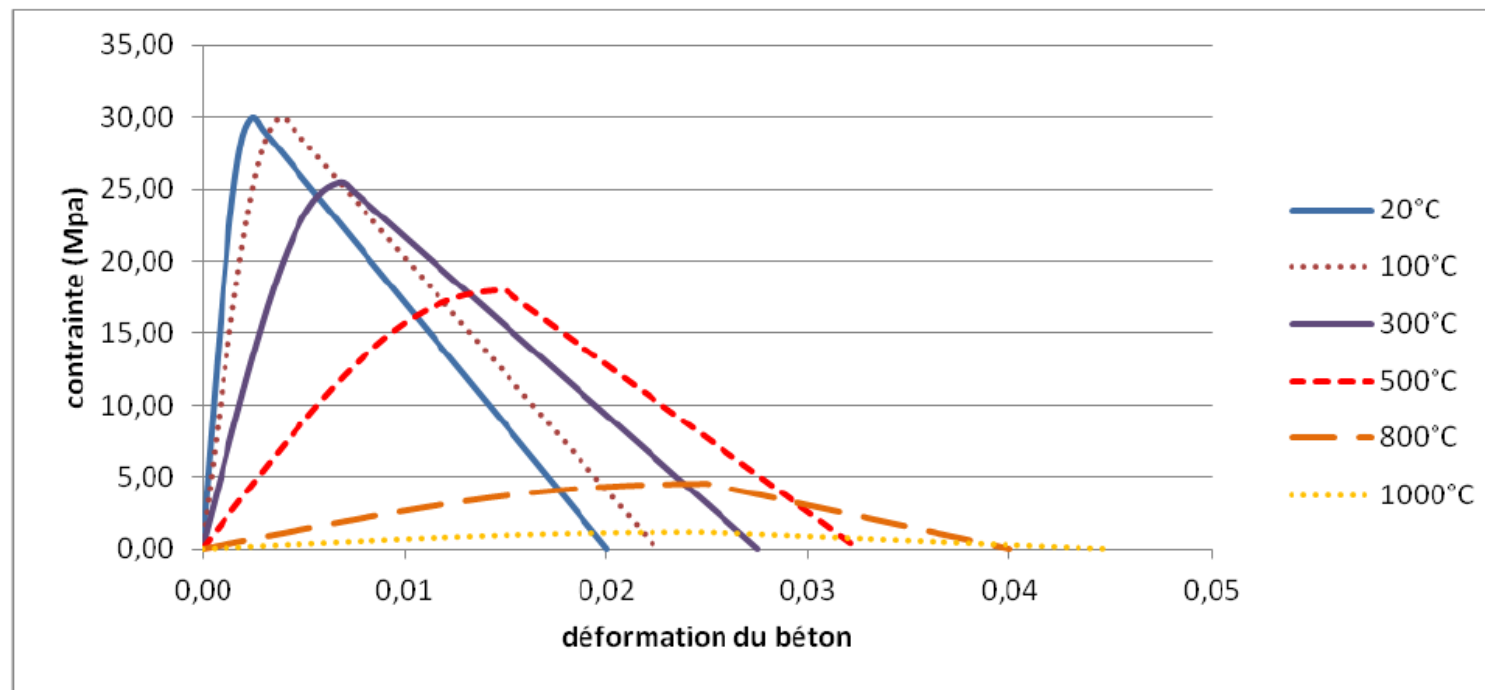


Figure 2 : Diagramme contrainte-déformation du béton ($f_{ck} = 30\text{MPa}$) à hautes température d'après [2].

Effets directs de l'incendie :

- **Échauffement des matériaux** => modification des propriétés thermiques et mécaniques (EC2-1-2)

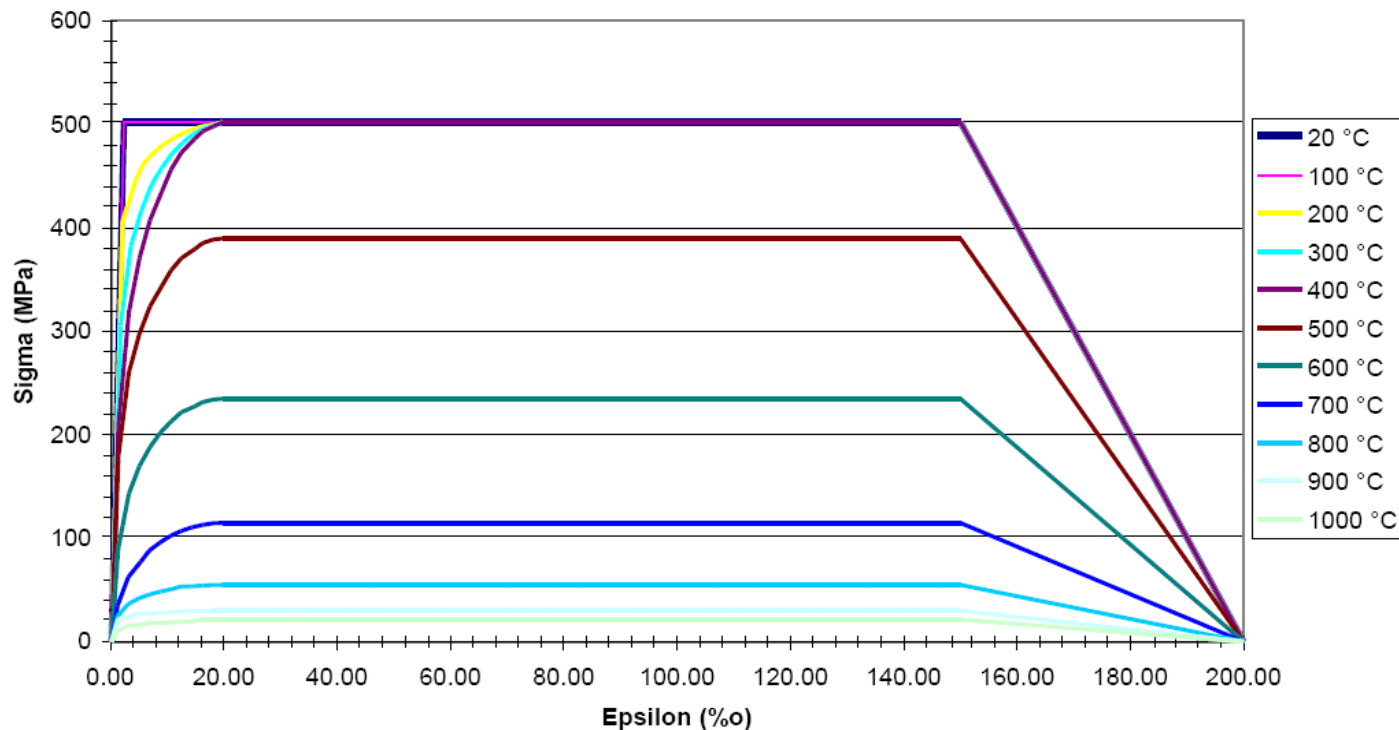


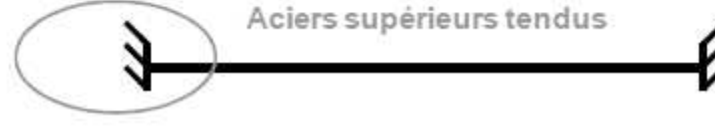
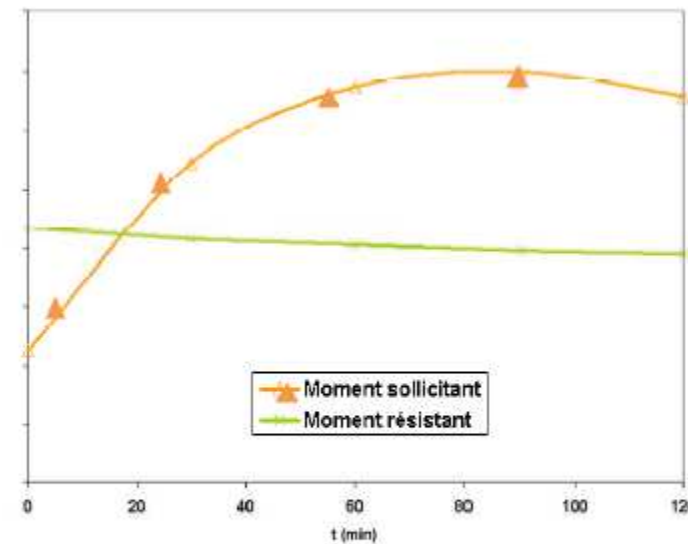
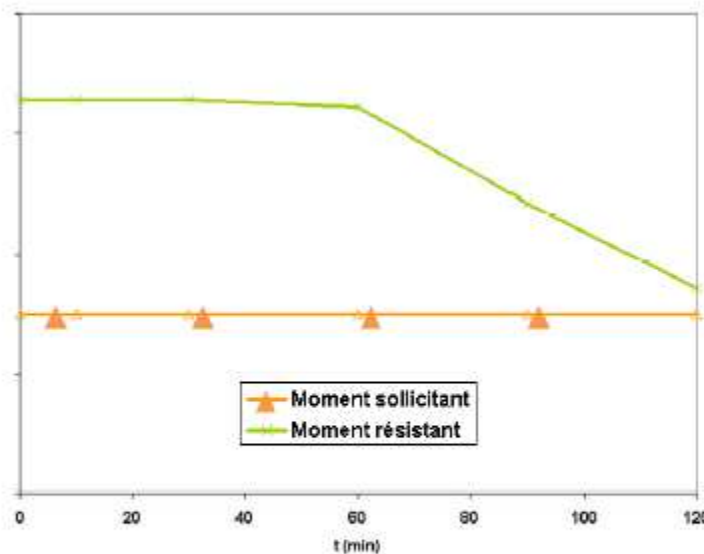
Diagramme contrainte-déformation de l'acier

Effets indirects de l'incendie :

- **Apparition de contraintes** : contrainte de compression, courbure thermique

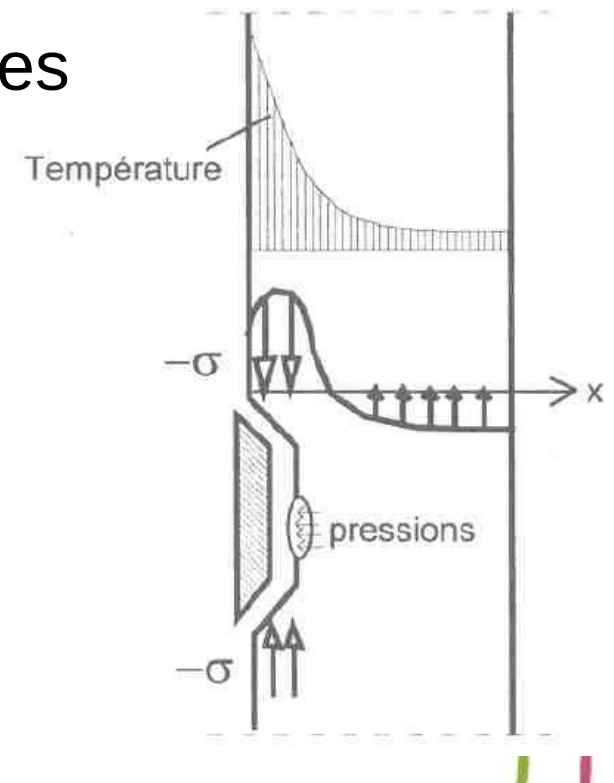
Ex : cas isostatique

cas hyperstatique



L'écaillage du béton

- **Écaillage** : Perte de matière due à l'effet combiné de la pression dans les pores et des contraintes thermiques



- **Prise en compte dans le calcul :**

Diminution de l'enrobage/section de béton au début de l'incendie (hypothèse sécuritaire)

L'écaillage du béton

- Évaluation de l'écaillage par **essai**
 - (pas de modèle théorique à l'heure actuelle)
 - structure existante : four mobile
 - structure neuve : essai en laboratoire



L'écaillage du béton

Formulation d'un béton résistant à l'écaillage (OA neuf)

- Essai de sélection (si étude de formulation)
- Essai de vérification (optionnel)
- Essai de convenance

Béton non fibré / béton fibré (polypropylène)



Les protections passives

2 types de protections passives :

- les protections par **plaques**
- les protections par **matériaux projetés**



Les protections passives

Dans quel cas a-t-on recours aux protections ?

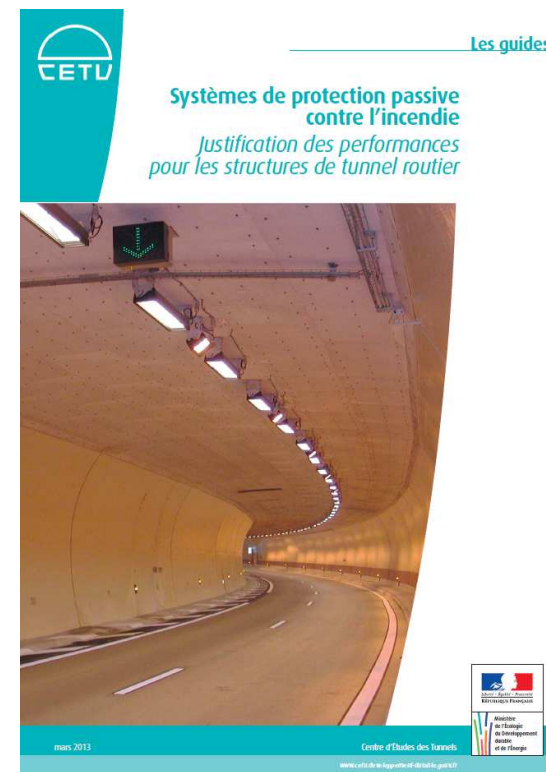
- Tunnels existants :
 - Durée de stabilité au feu non atteinte
 - Impossibilité de calculer la tenue au feu
 - Impossibilité d'évaluer l'écaillage
- Tunnels neufs :
 - Analyse technique et économique entre des protections ou la mise au point d'un béton résistant au feu
 - Problème de surdimensionnement, contraintes de gabarit...



Les protections passives

Justification des performances par un essai :

- S'assurer de l'intégrité de la protection passive
- Caractériser le système de protection (température admissible de la structure)



Conclusion

Un domaine qui évolue

- Vérification et protection des tunnels existants : recours à des matériaux répondant aux nouvelles exigences
- Dimensionnement et formulation de bétons pour les nouveaux ouvrages
- Capitalisation de résultats d'essais → règles de formulation
- Développement d'outils numériques pour le dimensionnement au feu
- Recherche sur les outils de prédiction de l'écaillage



Merci
de votre attention

