RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

CONTRIBUTION A LA MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU COMPORTEMENT AU FEU DES VOILES EN BÉTON ARMÉ*

Mohsen ROOSEFID**, Marie-Hélène BONHOMME, Pierre PIMIENTA

* Les résultats présentés dans cette présentation sont issus de la publication suivante :
Mohsen Roosefid, Marie Hélène Bonhomme, Pierre Pimienta, « *Modeling the structural behavior of reinforced concrete walls under ISO fire exposure* », Proceedings of the 11th International Conference on Structures in Fire, 2020, pp. 262-270.

** mohsen.roosefid@irsn.fr

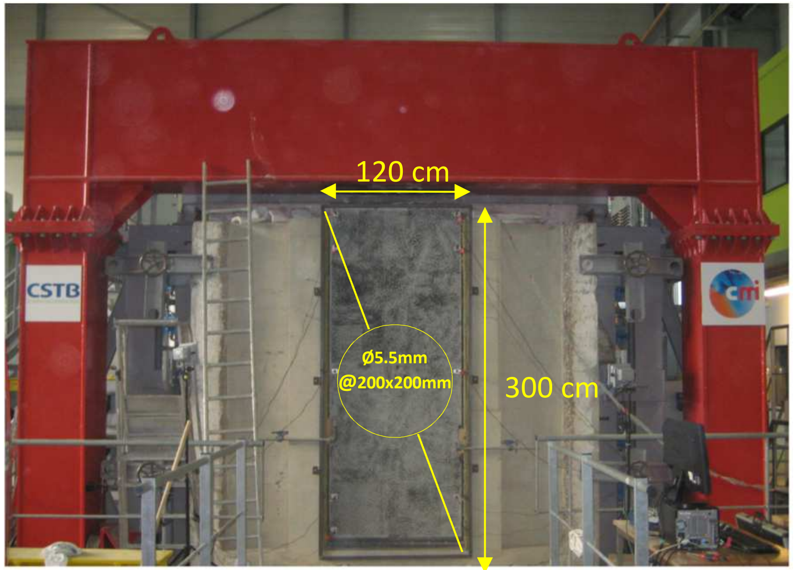
Benchmark Vulcain - CSTB

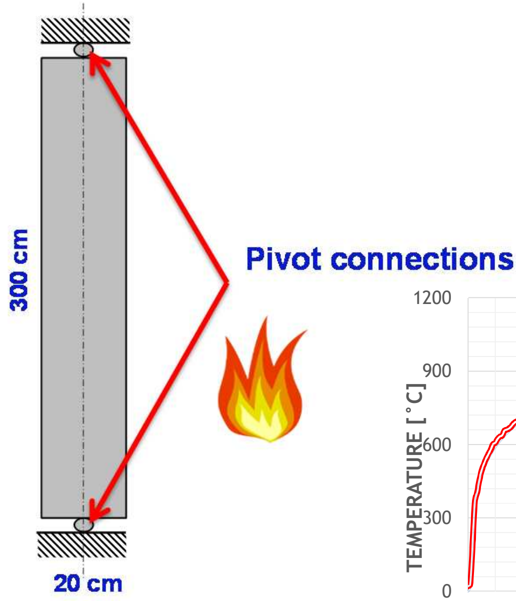
Voiles de dimensions 300 × 120 × 20 cm (ST10 @ 5 cm)

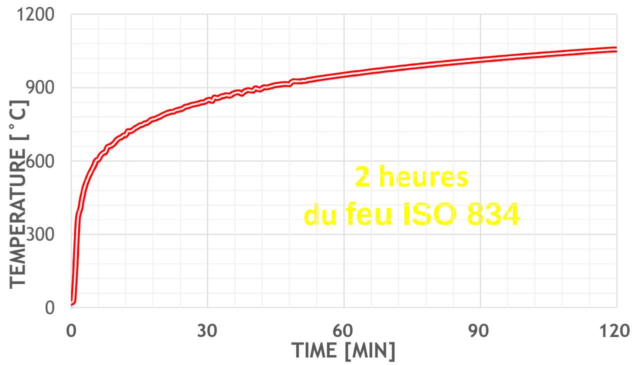
3 chargements mécaniques ≠

Essai	Charge (kN)
Voile 1	100
Voile 2	0
Voile 3	1100

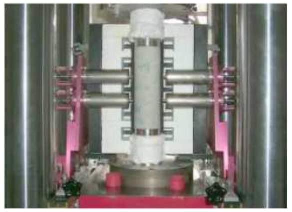
Plateforme d'essais Vulcain (CSTB)

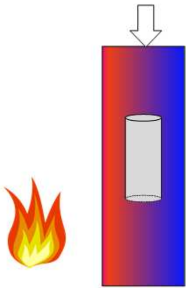




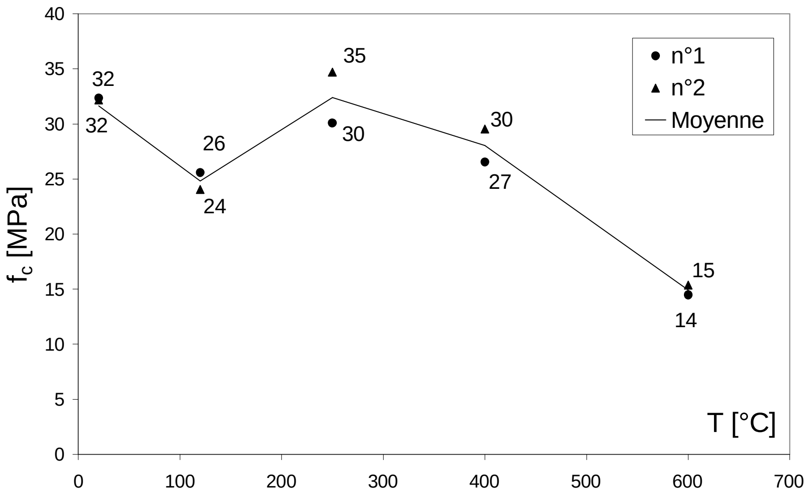


Caractéristiques thermomécaniques du béton utilisé (1)

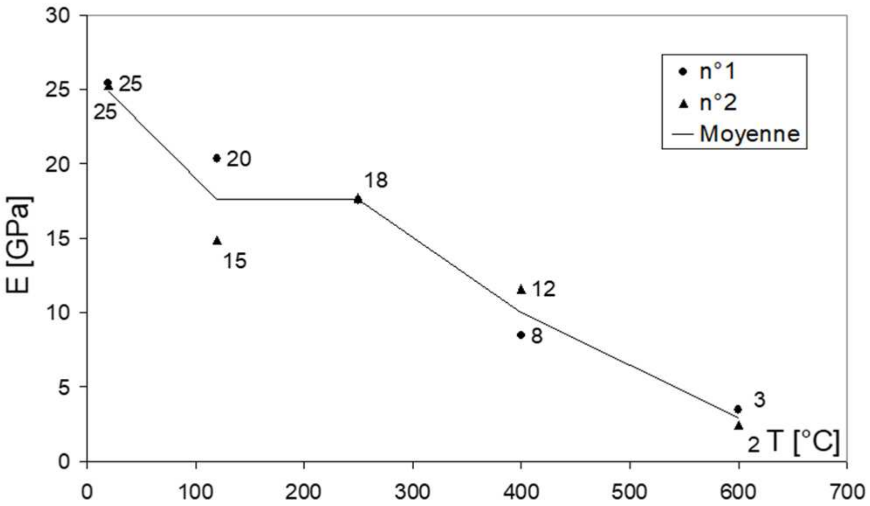




- Propriétés mécaniques du béton (fournies par le CSTB), complétées pour celles au-delà de 600°C en calquant la tendance des données de la NF EN 1992-1-2

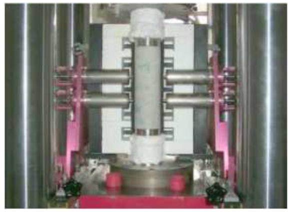


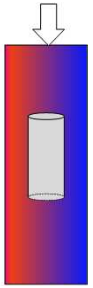
Résistance en compression



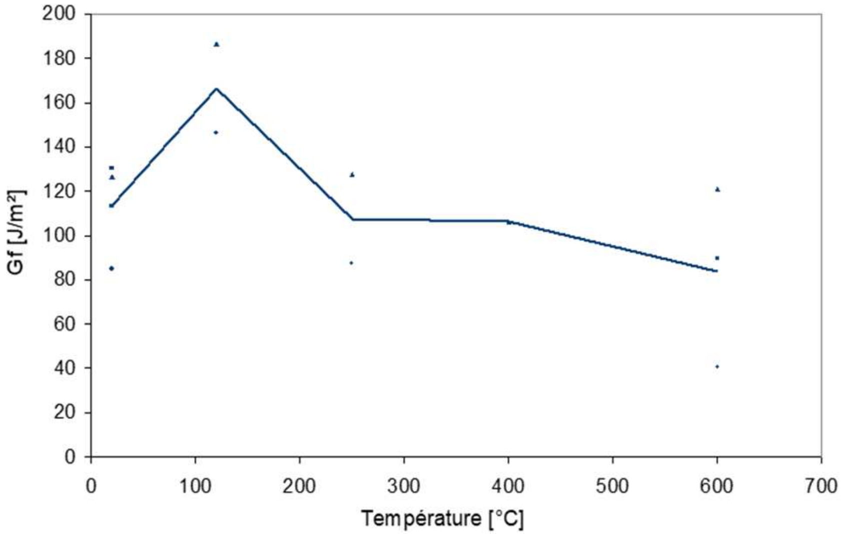
Module d'élasticité

Caractéristiques thermomécaniques du béton utilisé (2)





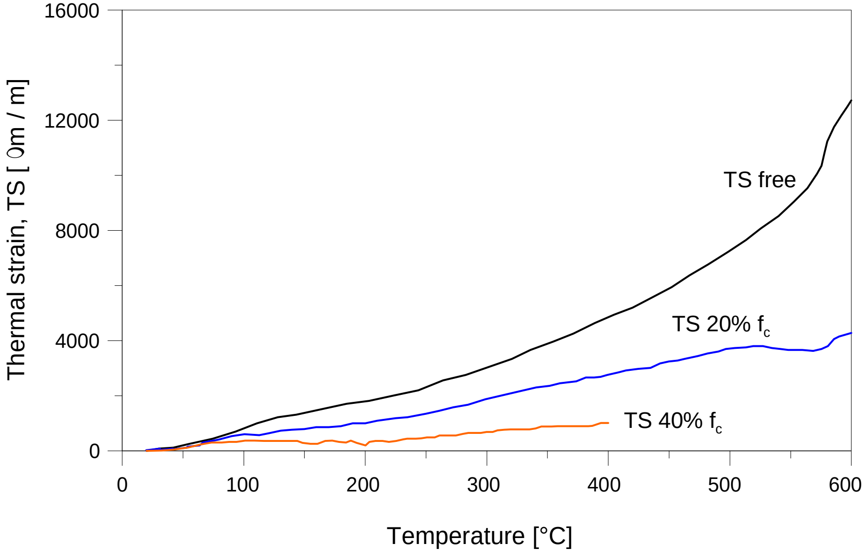
Propriétés mécaniques du béton (CSTB)



Energie de fissuration (essais de flexion 3 points)

Propriétés thermo-physiques du béton

- Caractéristiques thermiques selon NF EN 1992-1-2



Déformation thermique libre (CSTB)

Plan de la présentation

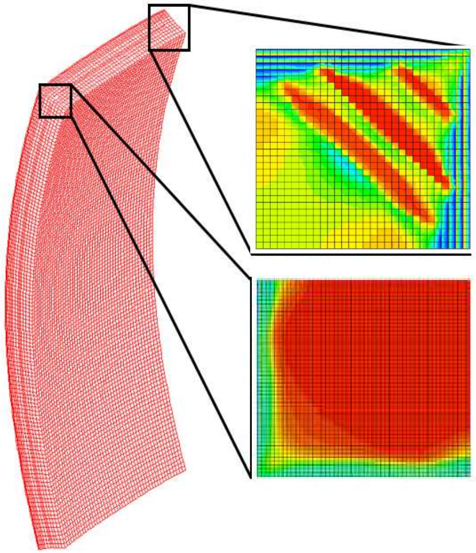
Modélisation thermomécanique du béton utilisé

→

Méthodes de régularisation

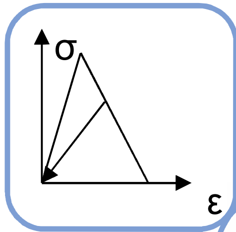
↓

Simulation numérique des voiles du benchmark Vulcain sous feu ISO

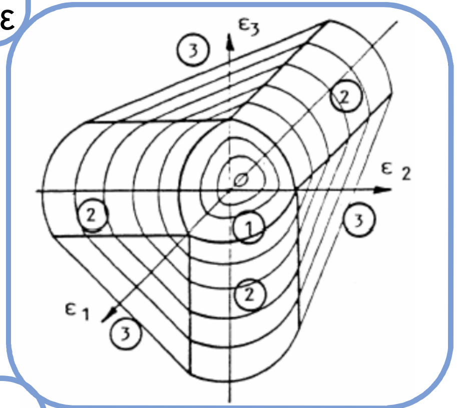


Modèle d'endommagement de Mazars

- $\sigma = (1-D).\tilde{\sigma} = E(T)\cdot(1-D)\cdot\varepsilon^e$ où $\varepsilon^e = \varepsilon - \varepsilon^{th}$



- $\tilde{\varepsilon} = \sqrt{\langle\varepsilon_1\rangle_+^2 + \langle\varepsilon_2\rangle_+^2 + \langle\varepsilon_3\rangle_+^2}$ $\quad \begin{cases} \langle\varepsilon_i\rangle_+ = \varepsilon_i & \varepsilon_i > 0 \\ \langle\varepsilon_i\rangle_+ = 0 & \varepsilon_i \leq 0 \end{cases}$

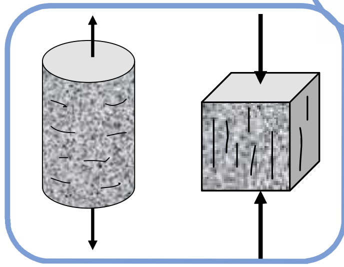


- $f(\varepsilon, D) = \tilde{\varepsilon} - K(D) = 0$

  $K(D) = \varepsilon_{D0}$ if $D = 0$ où ε_{D0} est le seuil d'endommagement ($\varepsilon_{D0} = \frac{f_t}{E}$)

- $D_t = 1 - \frac{\varepsilon_{D0}(1-A_t)}{\tilde{\varepsilon}} - \frac{A_t}{\exp[B_t(\tilde{\varepsilon}-\varepsilon_{D0})]}$

  $D_c = 1 - \frac{\varepsilon_{D0}(1-A_c)}{\tilde{\varepsilon}} - \frac{A_c}{\exp[B_c(\tilde{\varepsilon}-\varepsilon_{D0})]}$

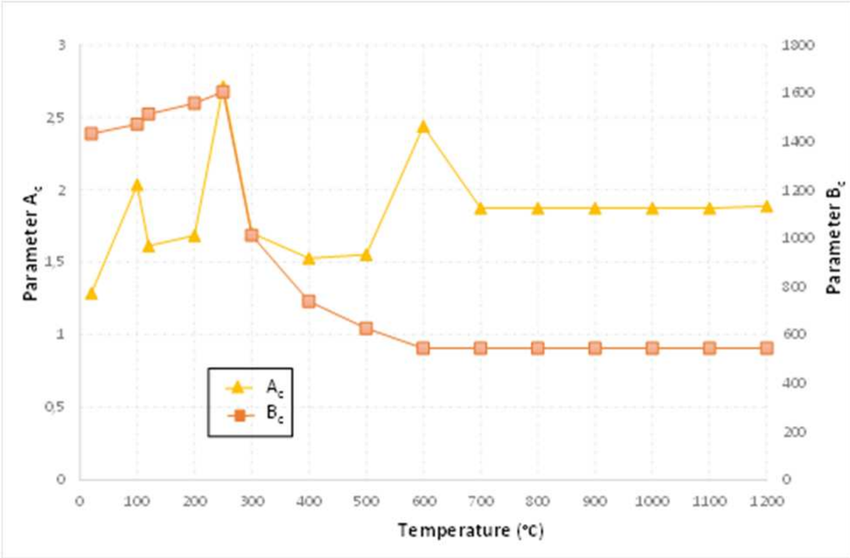


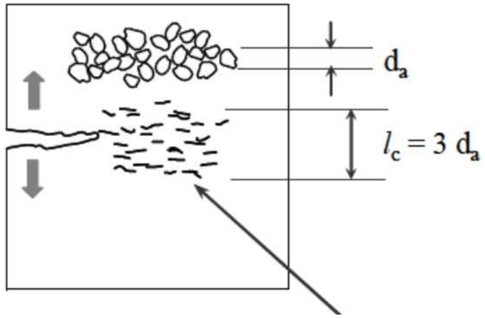
Identification des paramètres du modèle

- Compression
  - $A_c\ (T)\ \&\ B_c(T)$
    - ➢ *CAST3M (identi.procedur)*
- Traction
  - Approche de Hillerborg
    - ➢ $A_t = -10\ \&\ B_t(T) = \frac{h\, f_t(T)}{G_f(T)}$

      h *: taille des Éléments Finis*
  - Formulation non locale
    - ➢ $A_t = 0{,}8\ \&\ B_t(T) = \frac{1}{\varepsilon_{D0(T)}}$

$$\langle\tilde{\varepsilon}\rangle = \frac{1}{\left(l_c\sqrt{2\pi}\right)^3}\int \tilde{\varepsilon}\psi dx \leftrightarrow \langle\tilde{\varepsilon}\rangle - \frac{{l_c}^2}{2}\nabla^2\langle\tilde{\varepsilon}\rangle = \tilde{\varepsilon}$$

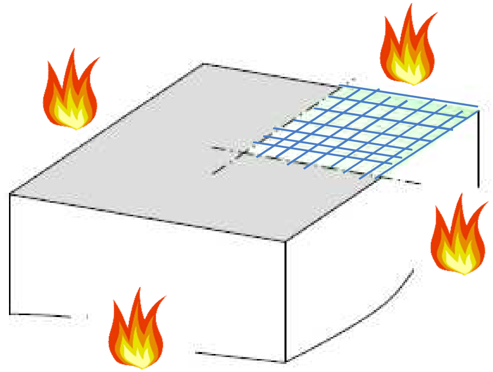


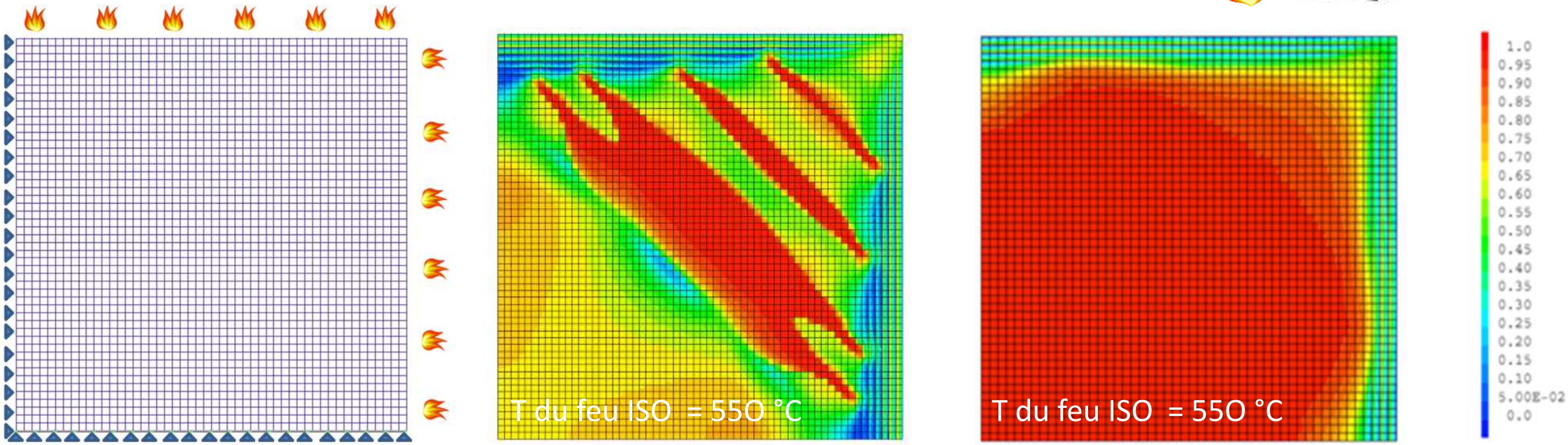


Evaluation des paramètres identifiés

- Application des méthodes de régularisation

h = 25 W/m²K
$\varepsilon = 0{,}7$



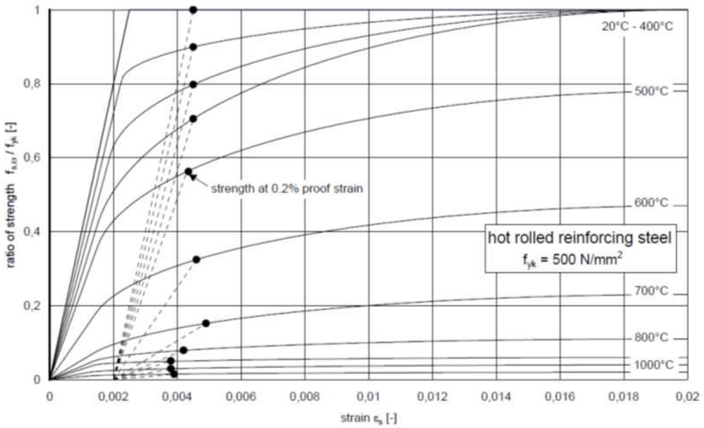


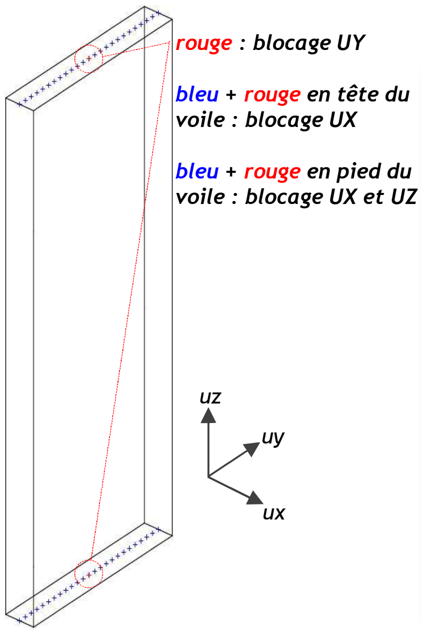
Approche de Hillerborg : At = -10

Formulation non-locale : At = 0,8

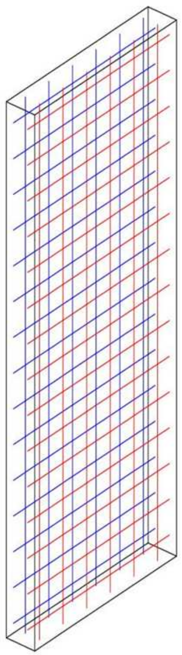
Simulations numériques des voiles Vulcain

- Béton : Modèle de Mazars
- Armatures : Modèle plastique parfait (caractéristiques selon NF EN 1992-1-2)
- Liaison acier-béton parfaite

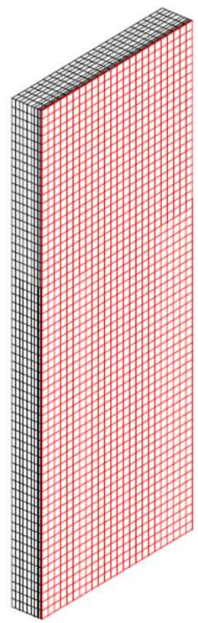




Conditions aux limites



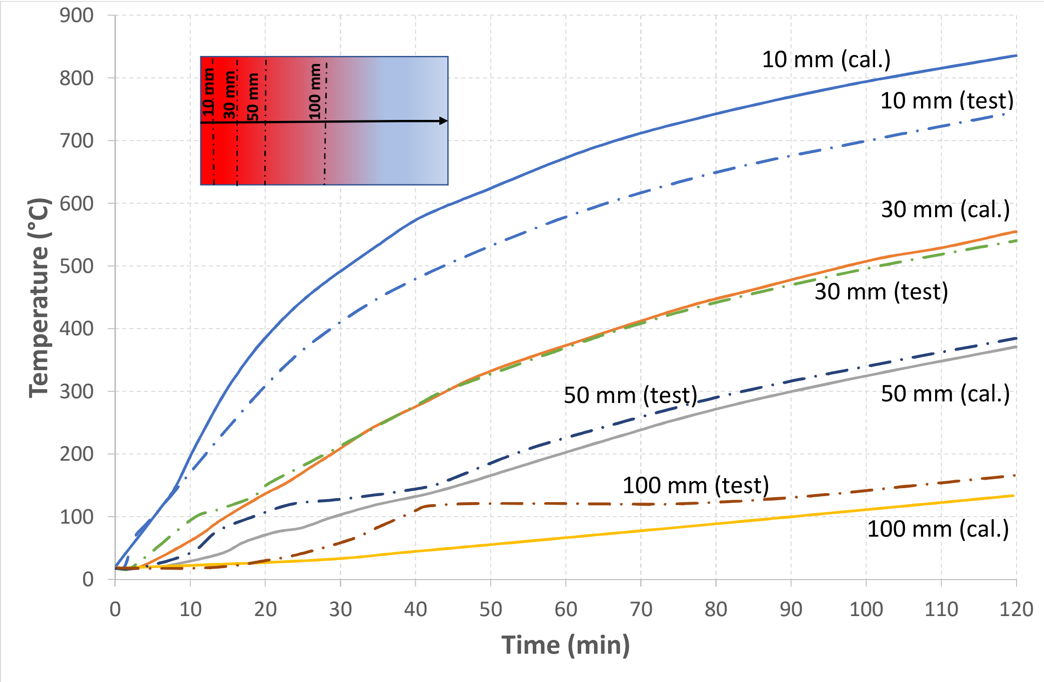
voile et maillage du treillis ST10

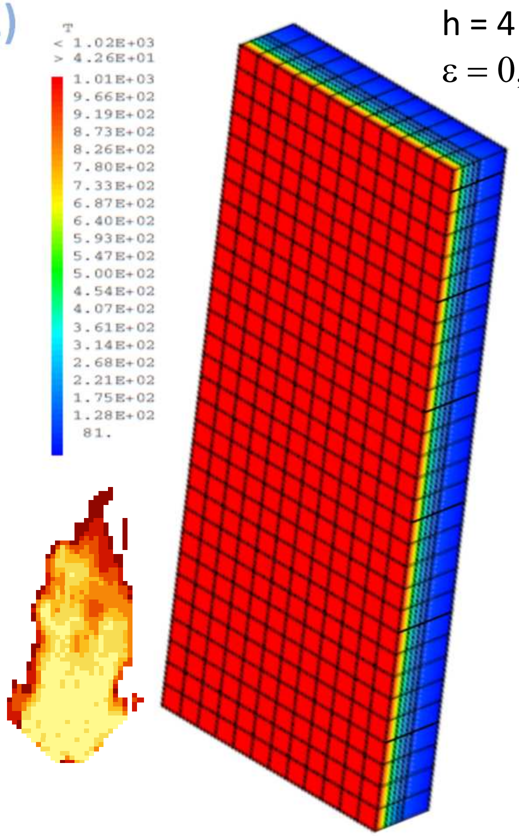


Eléments finis volumiques

Résultats des simulations numériques des voiles Vulcain (1)

Calcul de transfert thermique



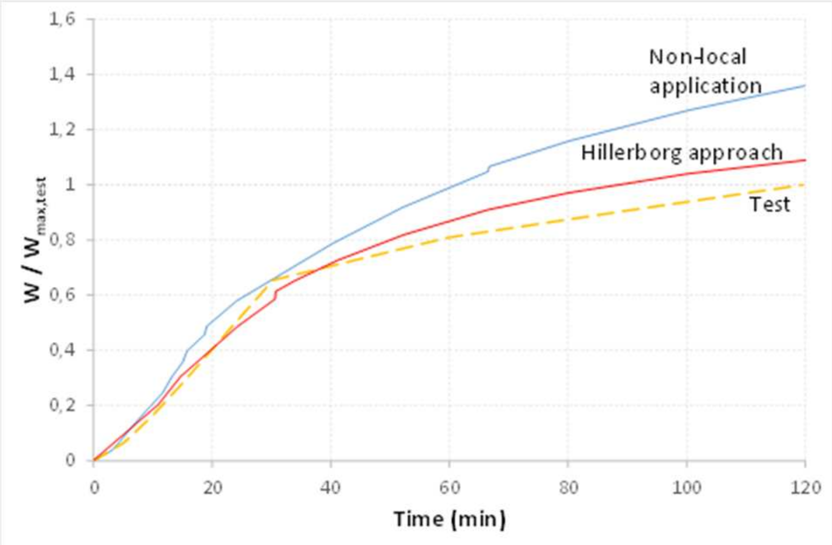


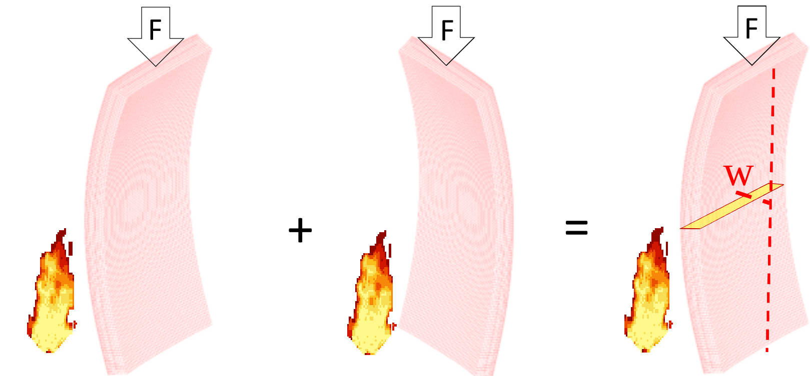
h = 4 W/m²K
$\varepsilon = 0{,}7$

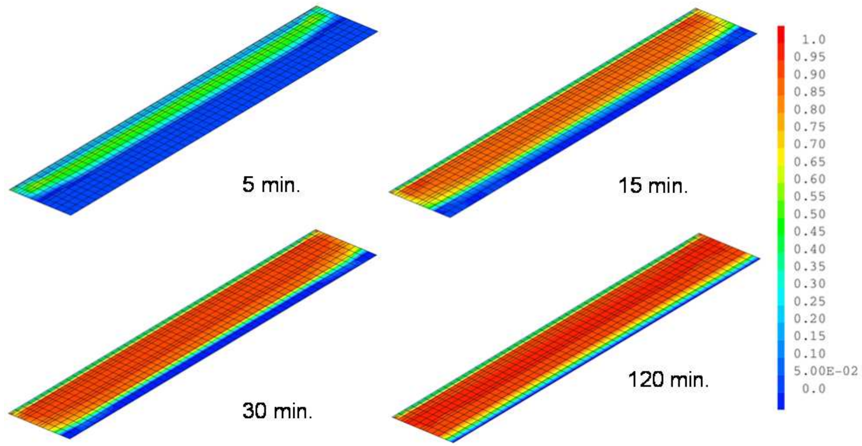
h = 25 W/m²K
$\varepsilon = 0{,}7$ (face exposée)

Résultats des simulations numériques des voiles Vulcain (2)

Voile 1 : F = 100 kN

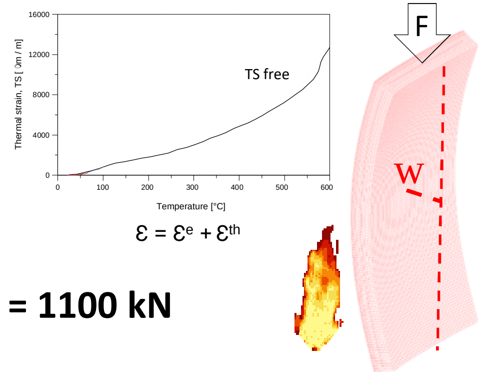




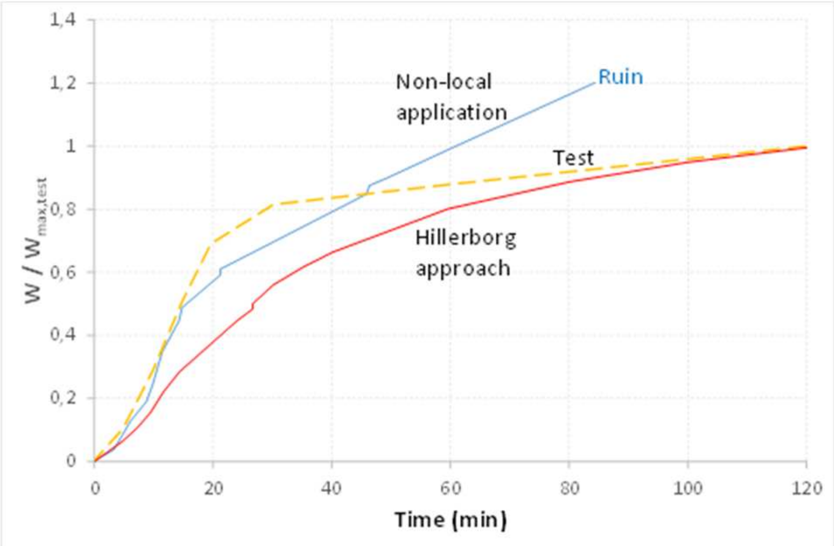


Distributions d'endommagement obtenues à mi hauteur du voile 1 en fonction du temps (A_t = -10)

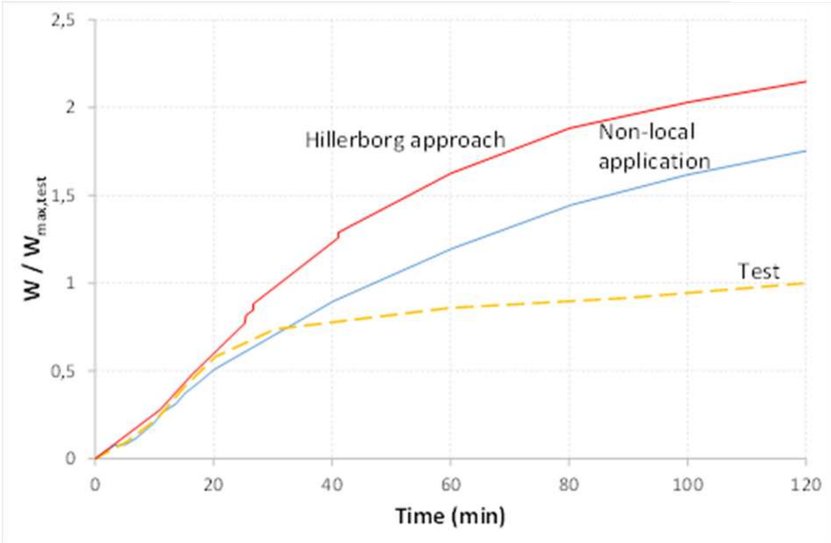
Résultats des simulations numériques des voiles Vulcain (3)



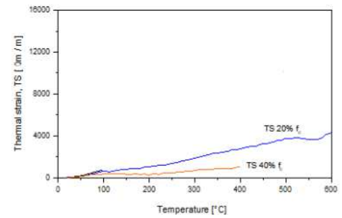
Voile 2 : F = 0 kN



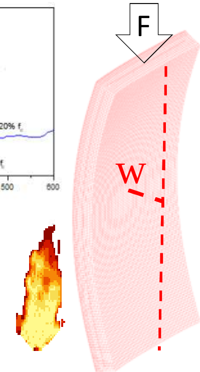
Voile 3 : F = 1100 kN



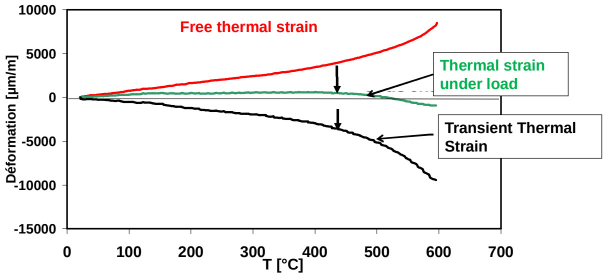
Résultats des simulations numériques des voiles Vulcain (4)

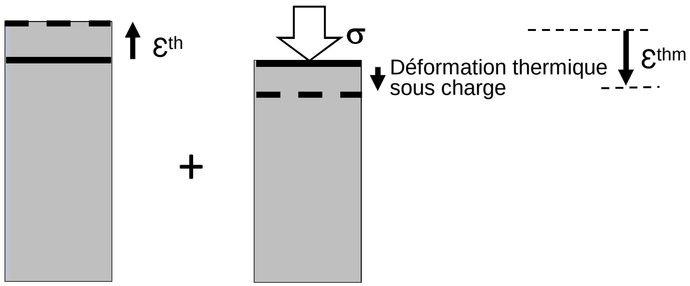


$\varepsilon = \varepsilon^{e} + \varepsilon^{th} + \varepsilon^{thm}$

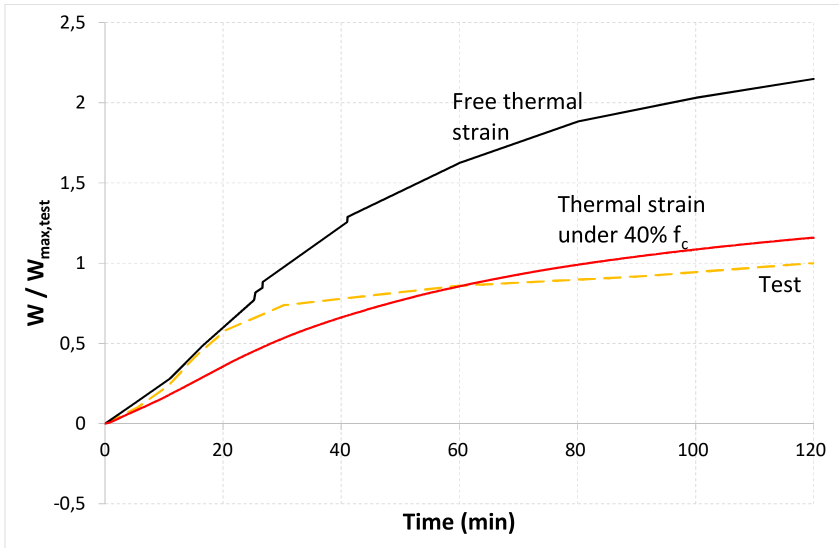


Déformation thermique transitoire





Voile 3 : F = 1100 kN (Approache d'Hillerborg)



Conclusions

- Modélisation du comportement thermomécanique non linéaire des bétons à haute température
- Modèle endommageable pour les bétons pour prendre en compte la fissuration
- Méthodes de régularisation énergétique G_f (Hillerborg) et formulation non-locale (équation Helmholtz)
- Simulation numérique des voiles du benchmark de Vulcain

➔ Modèle de Mazars est une bonne base à améliorer pour simuler de manière plus satisfaisante le comportement au feu des structures en béton armé

➔ Développer une approche numérique pour prendre en compte l'interaction thermomécanique nommée « *déformation thermique transitoire* »