

COLLOQUE

MARDI 23 OCTOBRE 2012

Université de Cergy-Pontoise

PERFORMANCES DU BÉTON
SOUMIS À HAUTE TEMPÉRATURE :
DU MATERIAU À LA STRUCTURE



ETAT DE L'ART DU COMPORTEMENT À HAUTE TEMPÉRATURE DES BFUP

Pierre Pimienta¹, Jean-Christophe Mindegua²
Alain Simon³, Mouloud Behloul⁴
Roberto Felicetti⁵, Patrick Bamonte⁵, Pietro G. Gambarova⁵

1: CSTB

2: University of Bordeaux

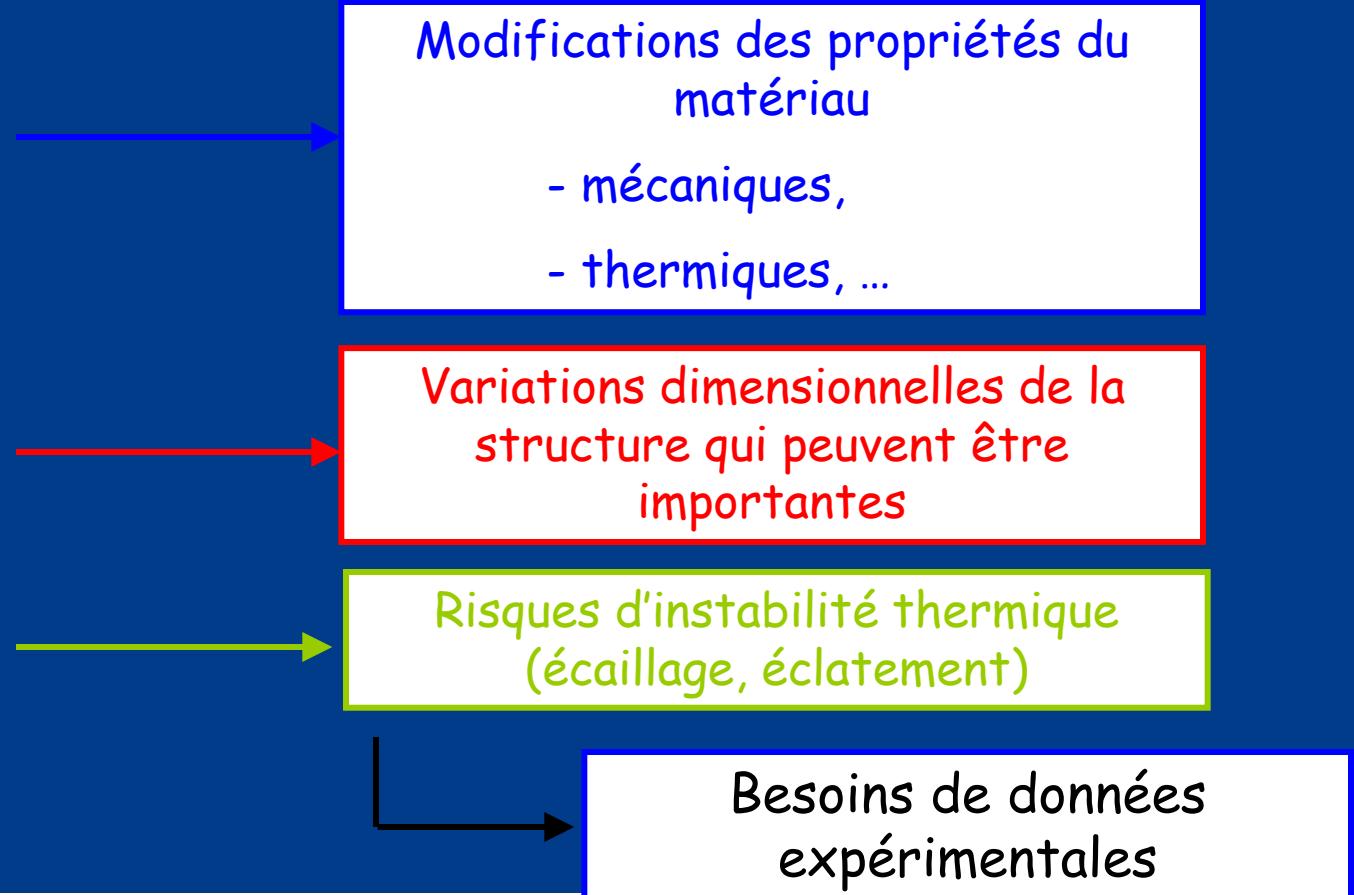
3: Eiffage TP

4: Lafarge Ciment, Paris, France

5: Politecnico di Milan

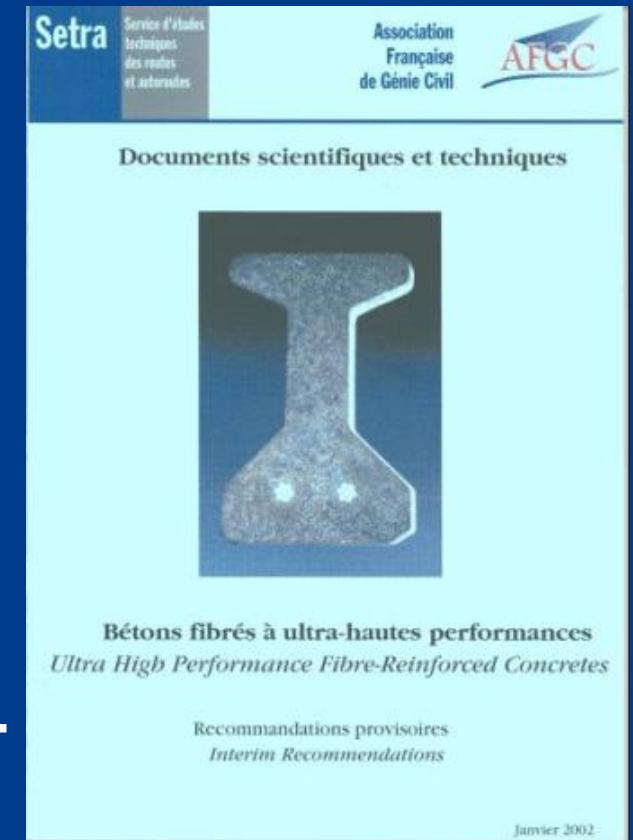
Contexte et objectifs

L'exposition au feu des structures en béton induit ...



Plan de la présentation

- Transformations physico chimiques
- Formules présentées
- Propriétés matériaux
 - Résistance en compression
 - Module d'élasticité
 - Résistance à la traction
 - Energie de fissuration
 - Dilatation thermique
 - Caractéristiques thermiques et DTT
- Résistance au feu
 - Ecaillage



**Recommendations AFCG SETRA
Révision 2012**

Transformations physico chimiques

20°C 100°C	<p>Début du départ de l'eau Départ de l'eau libre 80°C-150°C déshydratation de l'ettringite 150-170°C décomposition du gypse 171°C fusion des fibres polypropylène Début de la déshydratation du CSH</p>
200°C	<p>Augmentation de la pression interne Oxydation d'éléments métalliques</p>
300°C	<p>Clivage des granulats siliceux 374°C Température critique de l'eau</p>
400°C	<p>Décomposition de la portlandite $Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O$</p>
500°C 600°C	<p>573°C Changement des phases du quartz β-α Deuxième phase de la décomposition du gel CSH avec la formation de β-C₂S.</p>
700°C 1300°C	<p>Décomposition du carbonate de calcium $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$</p> <p>Destruction complète du béton</p>

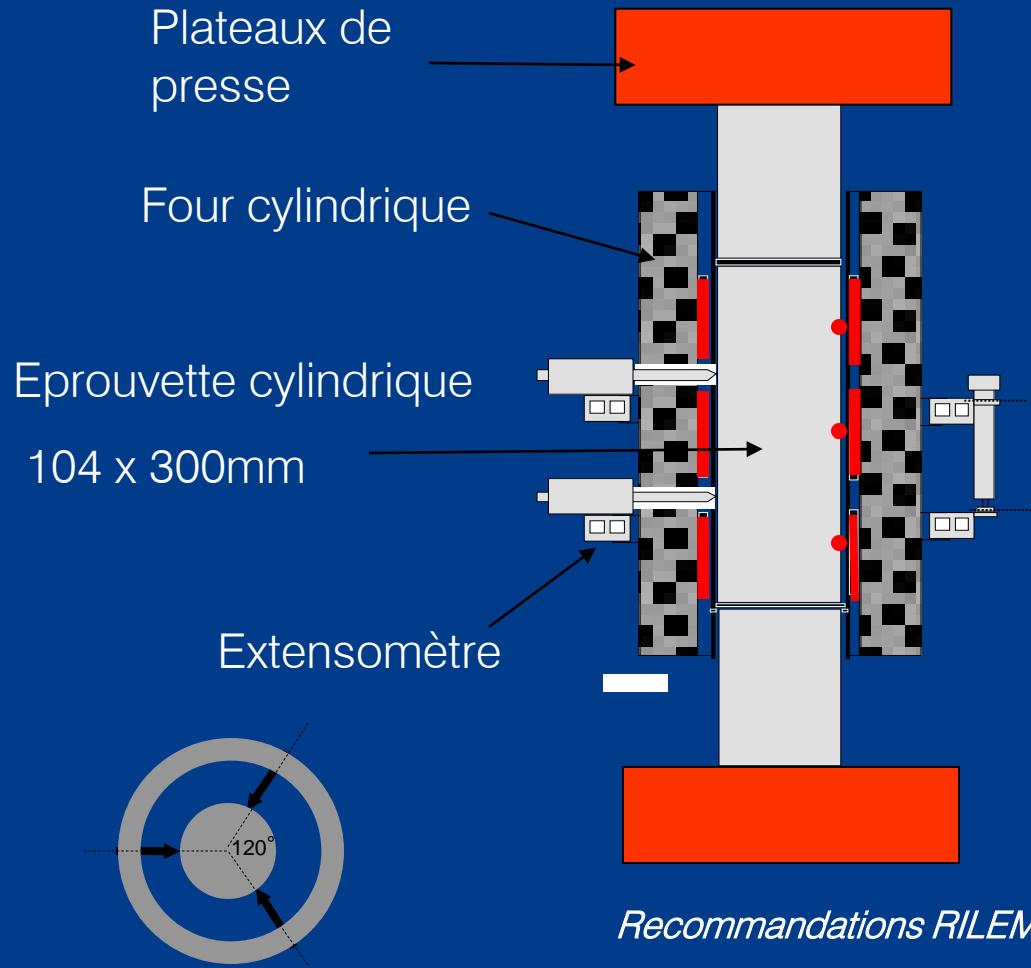
Formules présentées

- **BSI®-feu (France)** : 148 – 165 MPa
- **Ductal® -AF (France)** : 160 - 200 MPa (**traitement thermique**)
- **Ductal® RPC (France)** : 165 MPa
- **CRC (Danemark)** : 158 MPa
- **BCV (France)** : 155 MPa
- **Politecnico (Italie)** : 121 MPa (**sans fibres**)
- **CERIB UHPC I et II (France)** : 170 – 200 MPa
- **Rostock 1 et 3 (Allemagne)** : 160 – 180 MPa

Exemple équipements



Photo CSTB



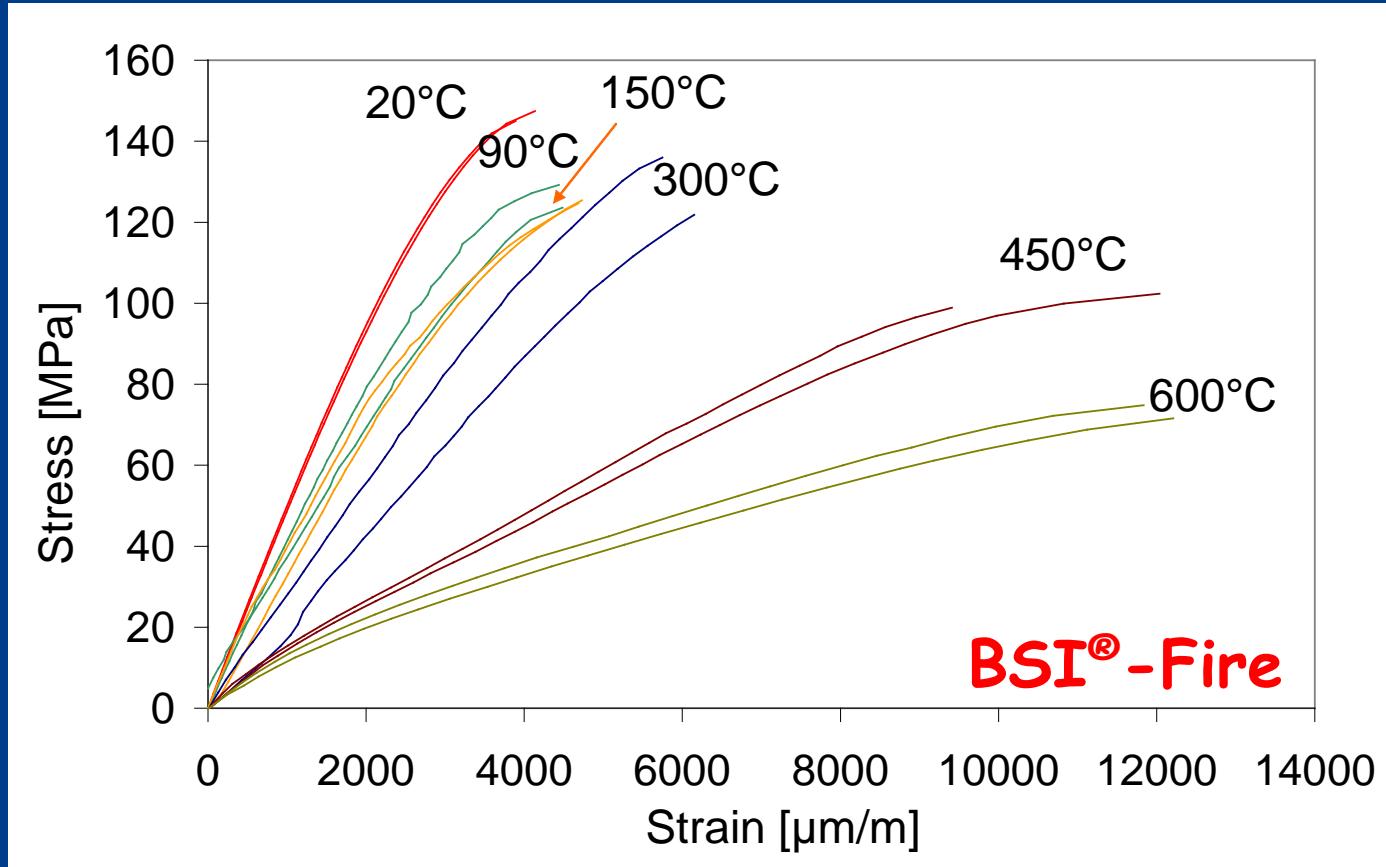
Recommandations RILEM

Essais de compression

Modes opératoires (exemple)

	BSI® - Fire	DUCTAL® - AF
Vitesse de montée en T	1 ° C/min	2 ° C/min
Temps de stabilisation	1 h (2 h at 90 ° C)	1 h
T _{tessai}	90, 150, 300, 400, 600 ° C	100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 ° C
Précharge	0 %	0 % 20 %
Essai à chaud	✓	✓
Essai résiduel	✗	✓

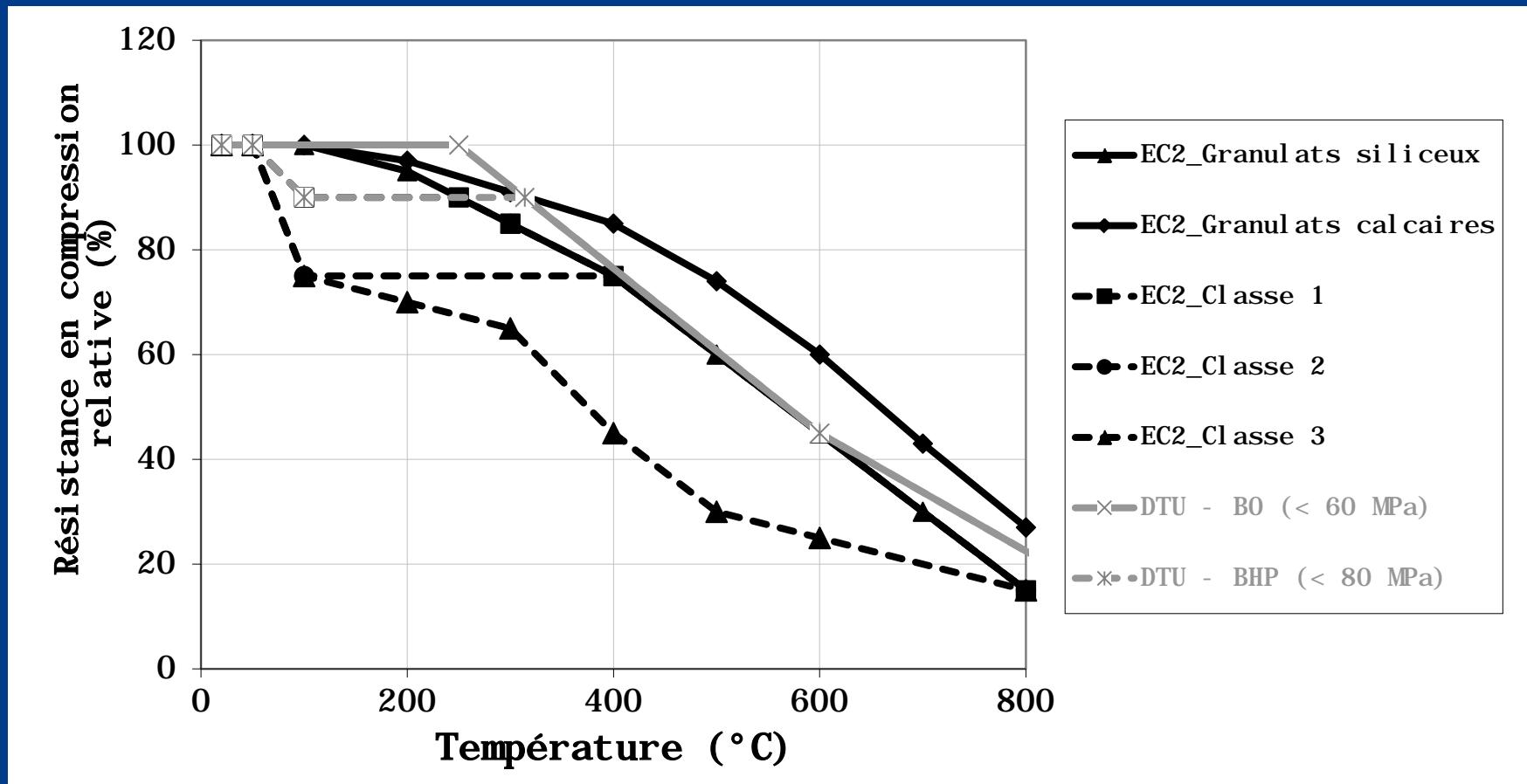
Courbes contrainte-déformation

**BSI®-Fire**

→ Bonne répétabilité

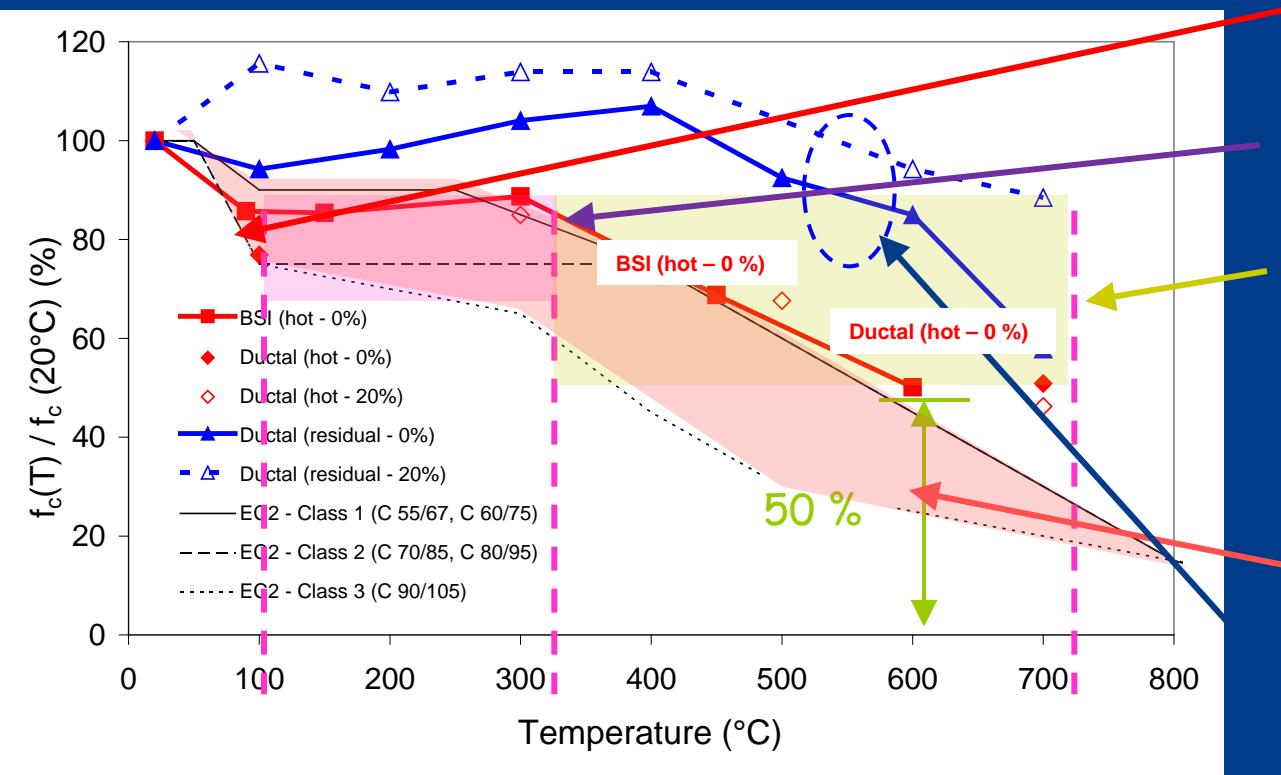
Résistance à la compression

Courbes Eurocodes et DTU



Résistance à la compression

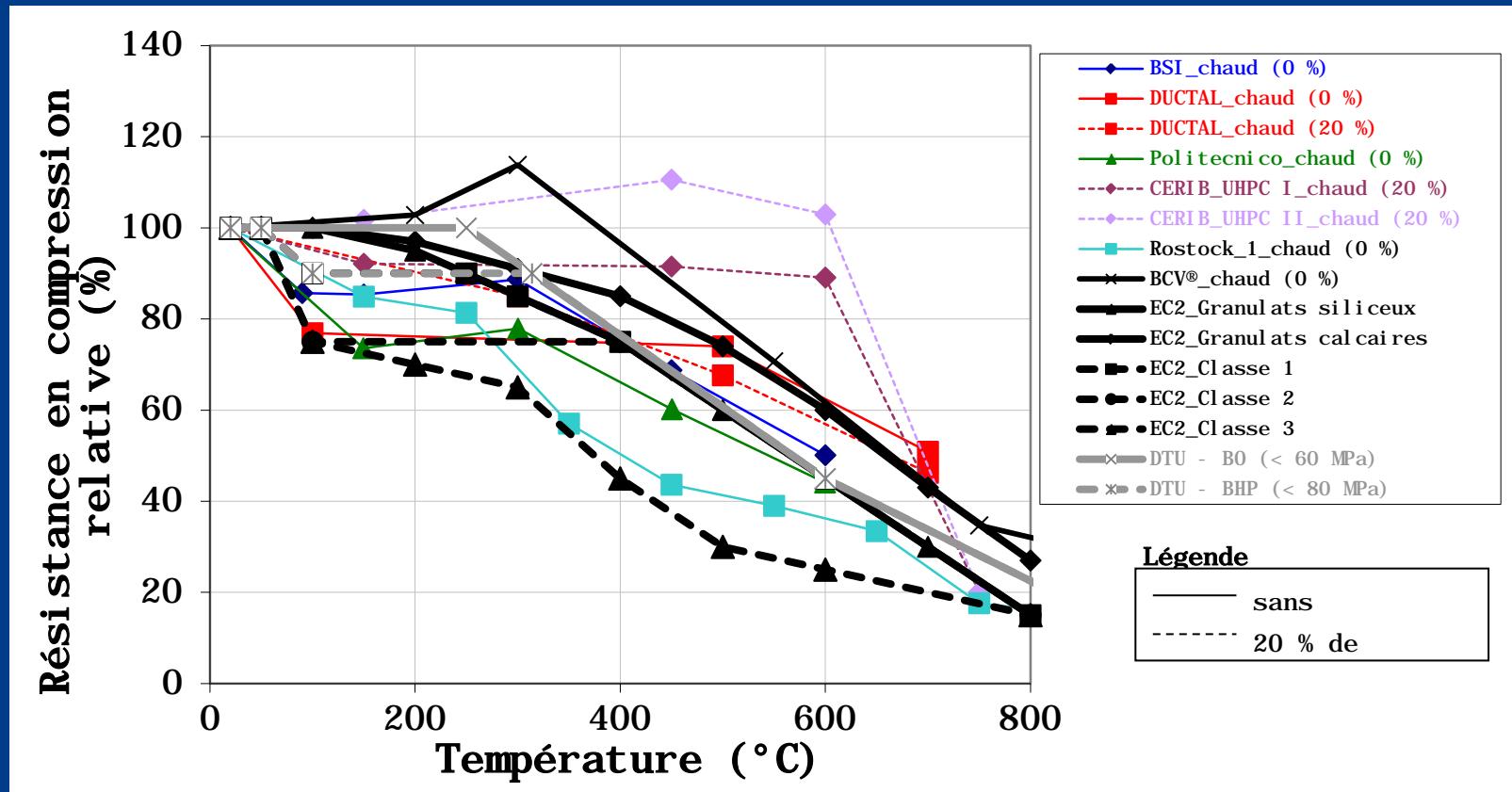
Résistance en compression relative



- 20 - 100 ° C : essais à chaud diminution de Rc (10 à 20 %)
- 100 → 300 ° C : pas de diminution
- 300 → 700 ° C : diminution régulière de Rc avec la T
- Résultats en bon accord avec EC2
- Rc résiduel > Rc à chaud

Essais à chaud – sans précharge

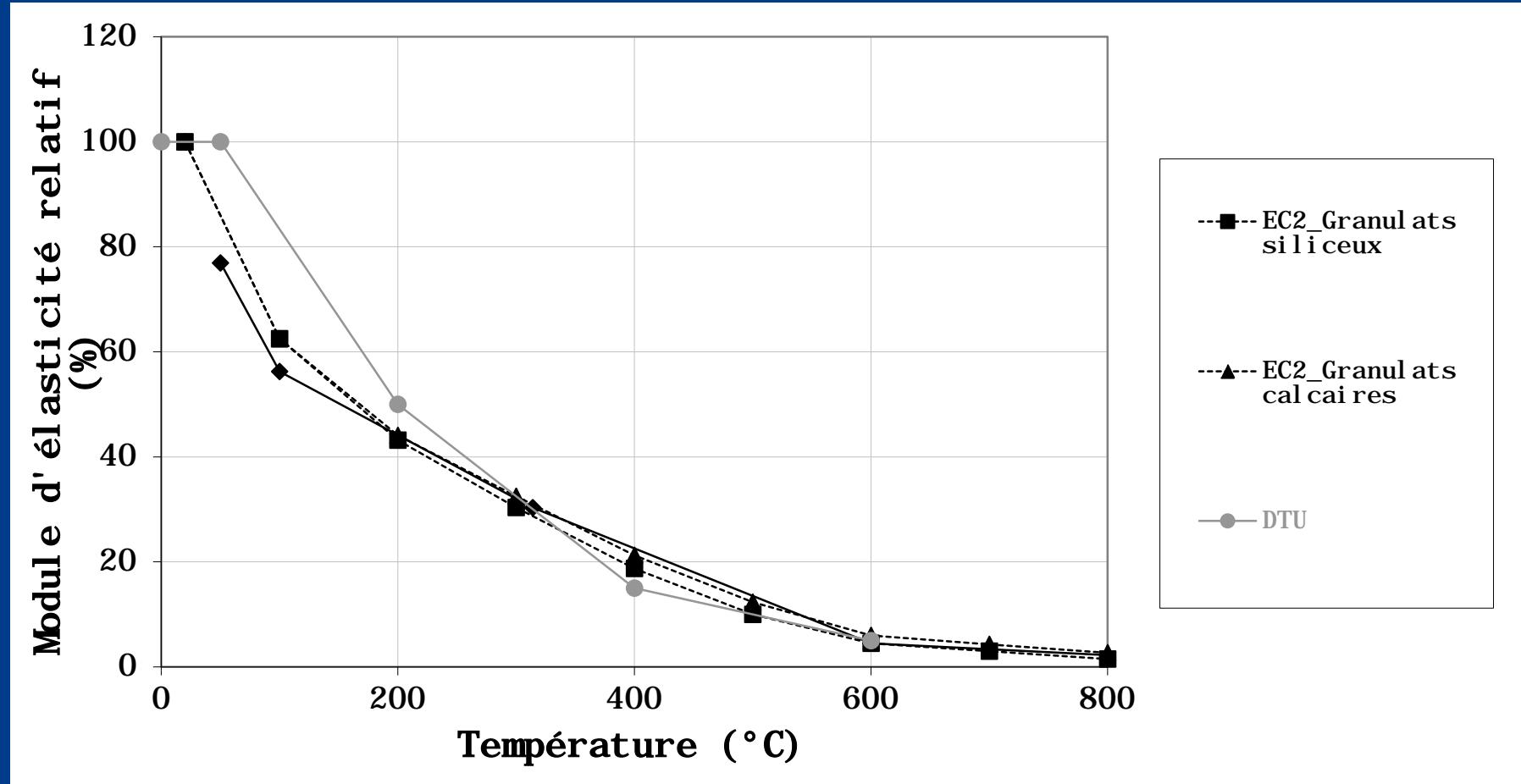
Résistance à la compression Essais à chaud



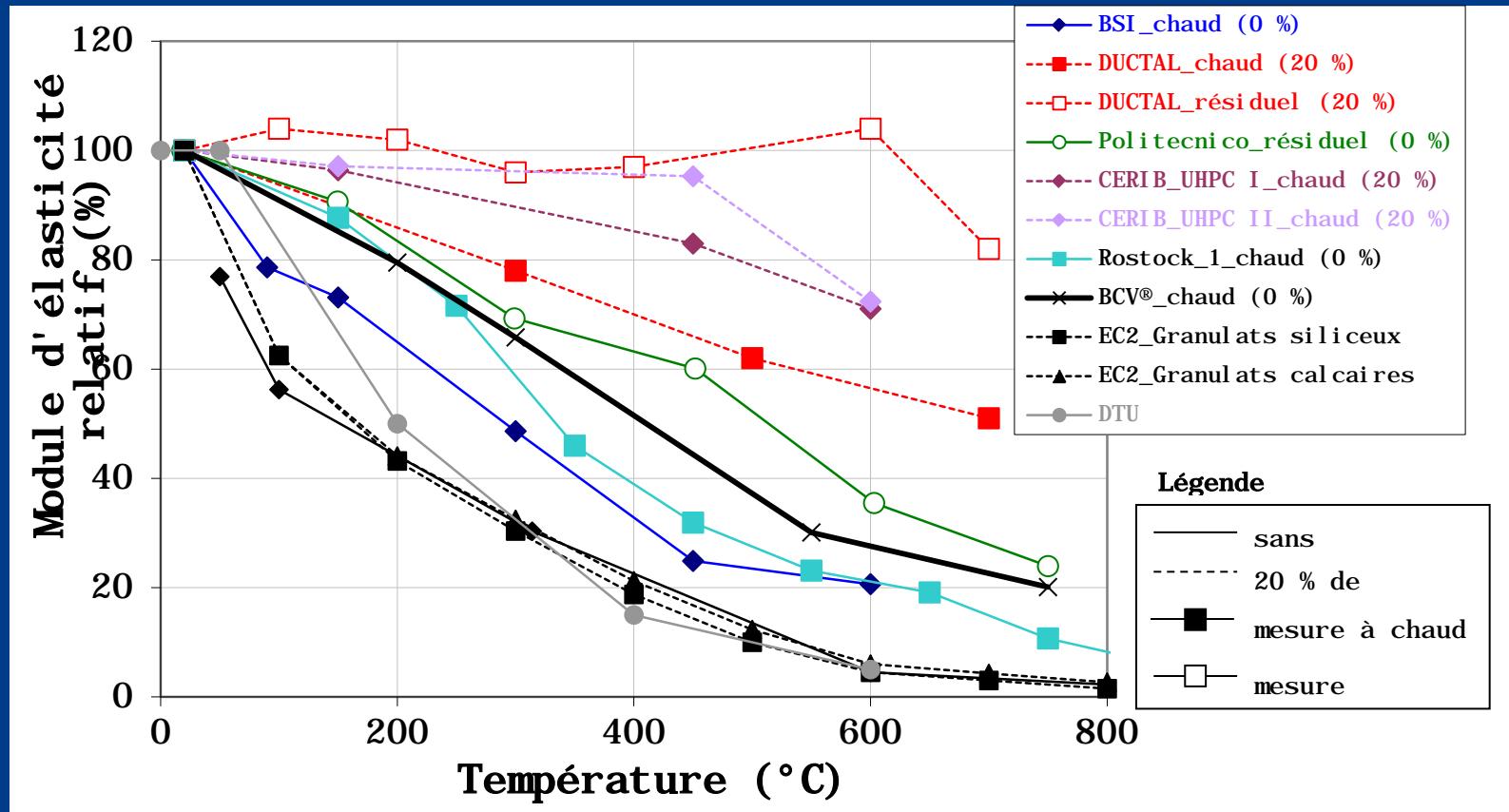
600 ° C : - 10 à -50 %
800 ° C : -80 %

→ Résultats dépendants des formules et des modes opératoires

Courbes Eurocodes et DTU



Module d'élasticité

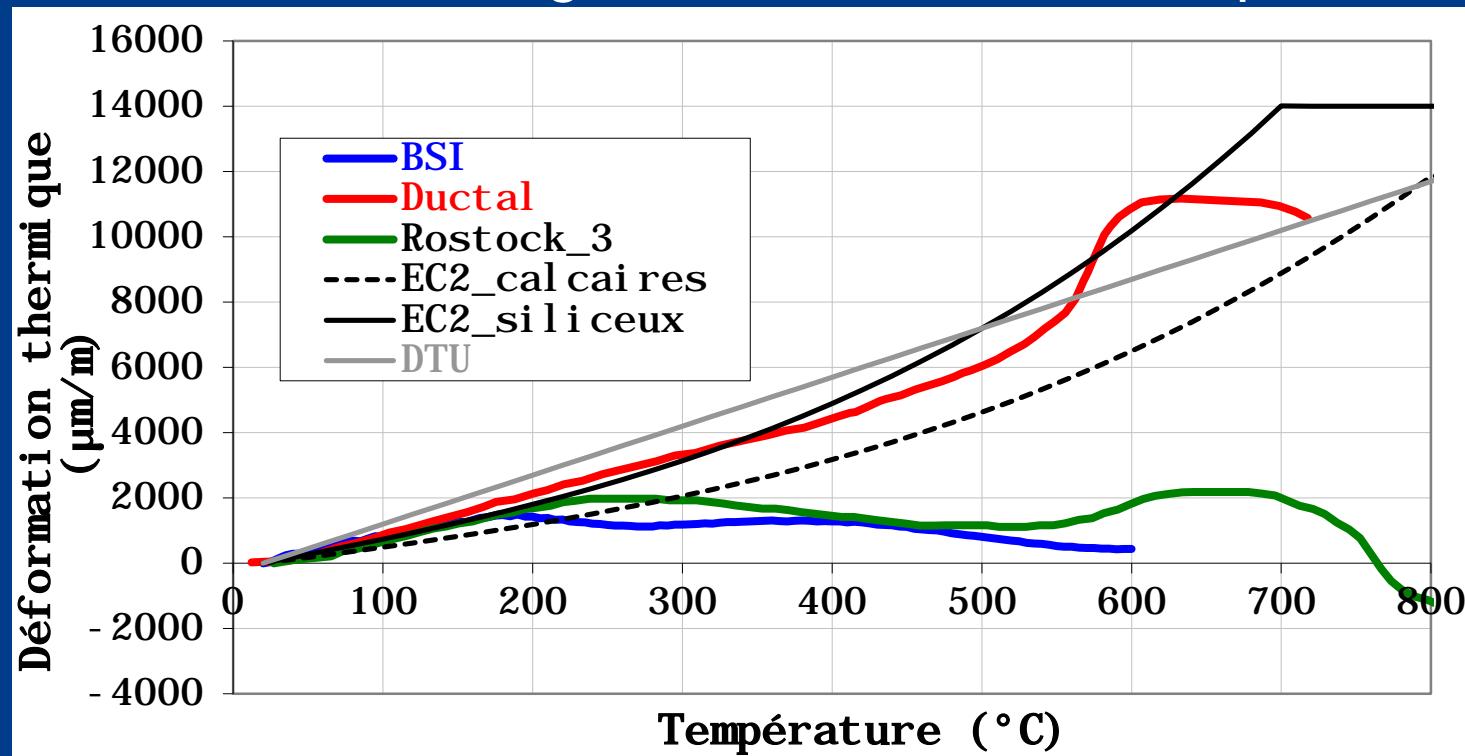


600 ° C : - 50 à -80%

→ Résultats dépendants des formules et des modes opératoires

Déformation thermique

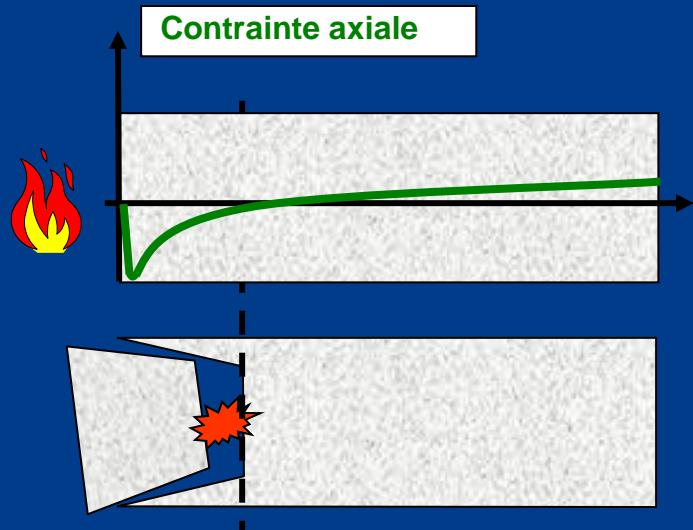
T ↗ ==> Dilatation des granulats et retrait de la pâte



➔ 2 familles de courbes
➔ Nécessité de poursuivre la recherche

Principaux modèles

Mécanisme Thermo-Mécanique



Bazant 1997

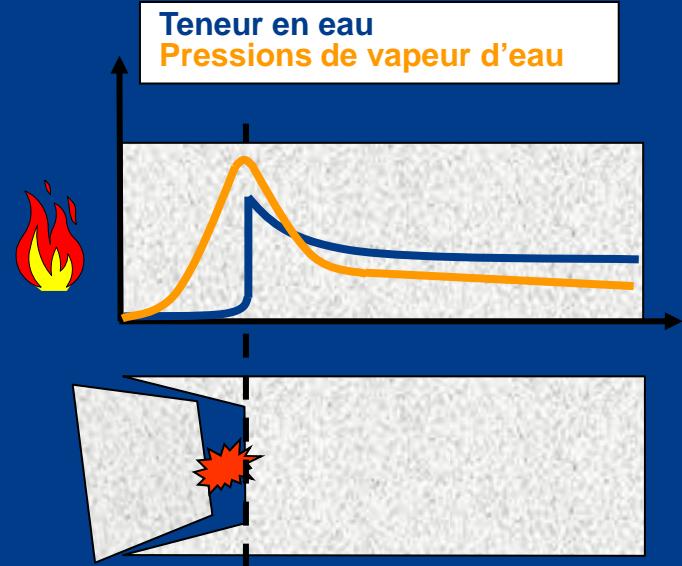
Ulm & Al. 1999

Msaad & Al. 2006

Sercombe & Al. 2006

Jansson 2008

Mécanisme Thermo-Hydrique



Harmathy 1970

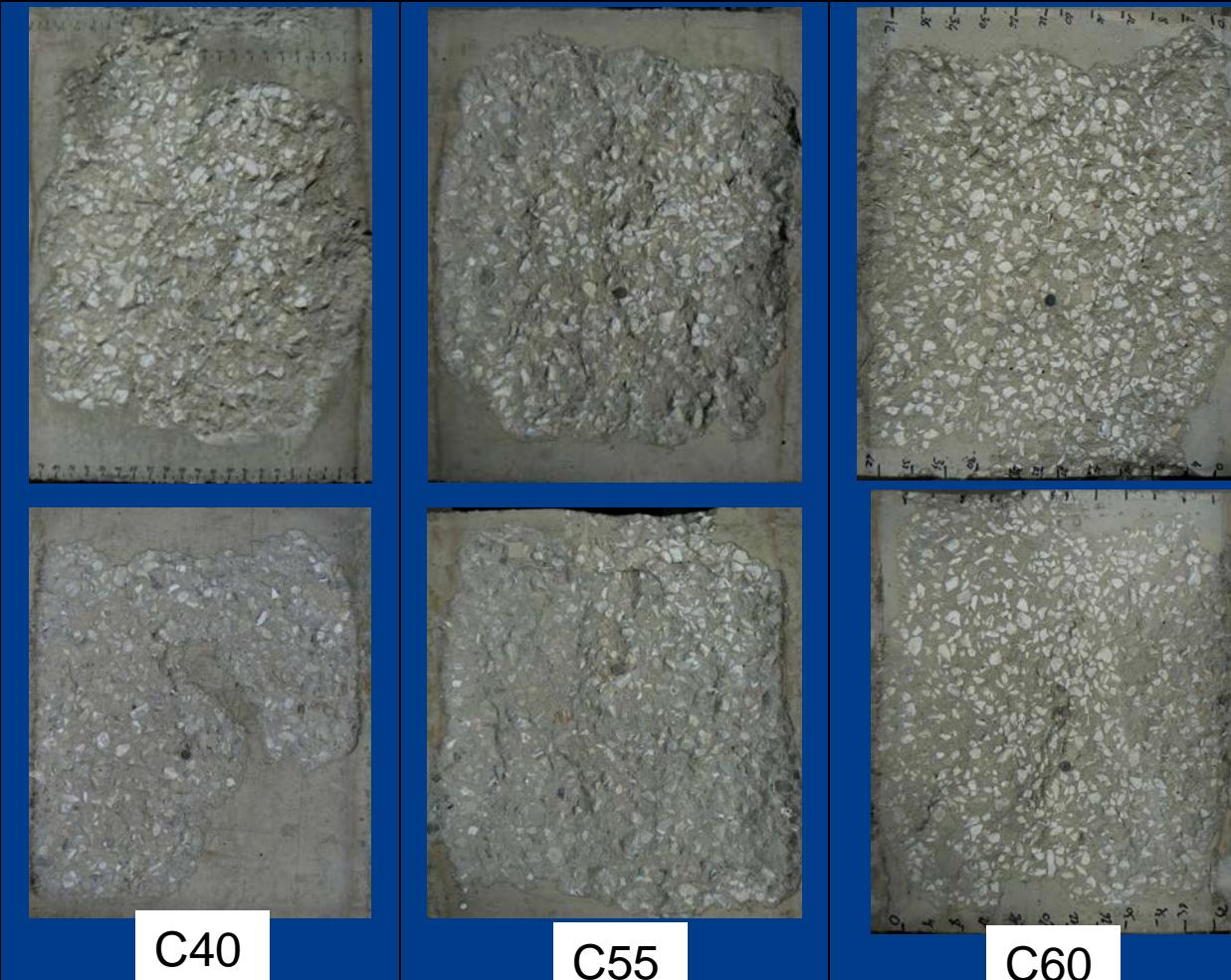
Khoylou, England 1996

Kalifa & Al. 2000

Yanko, Consolazio 2006

Instabilité thermique - Ecaillage

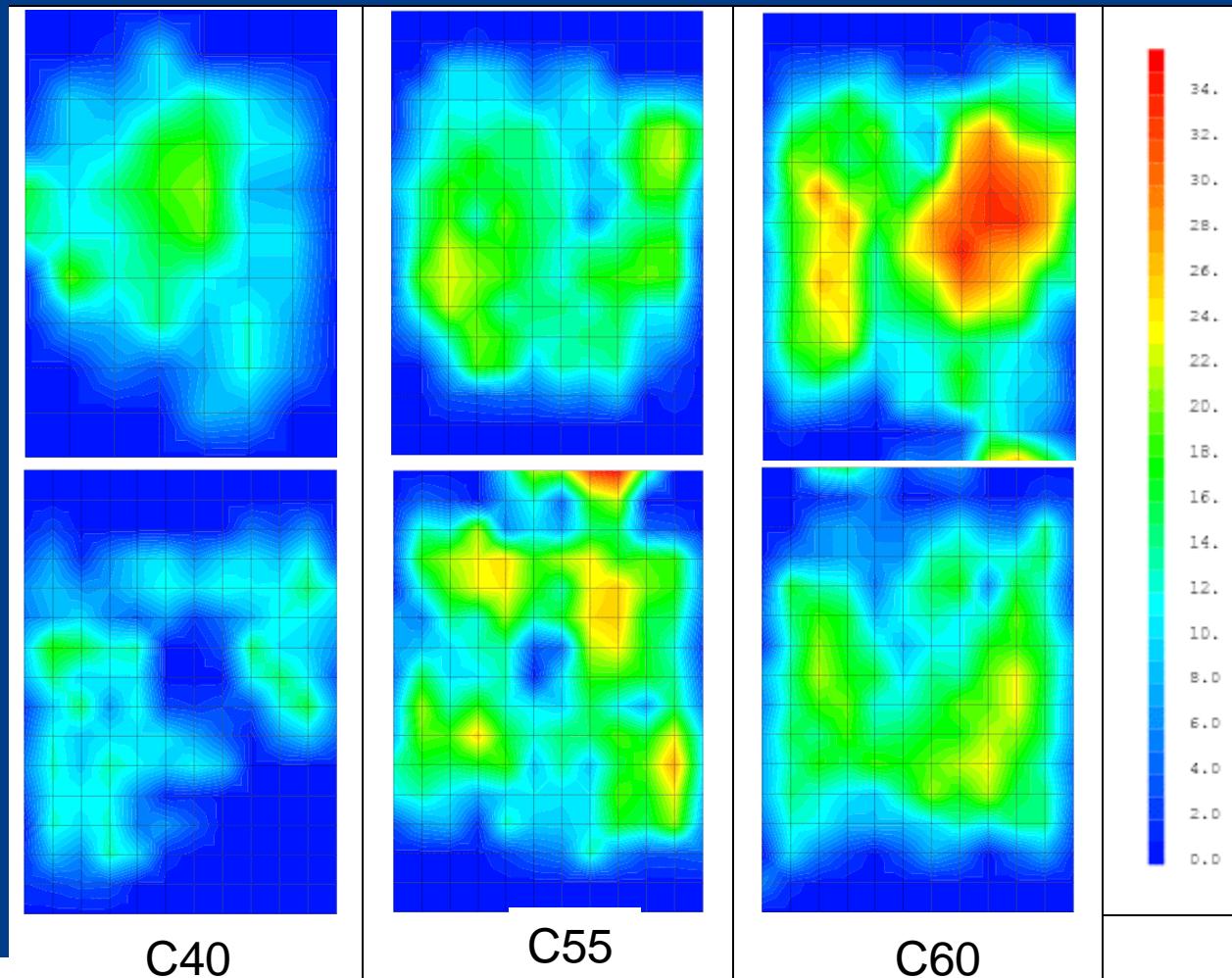
Influence de la compacité



Photos CSTB

Instabilité thermique - Ecaillage

Influence de la compacité



Instabilité thermique - Ecaillage

Essais de résistance au feu

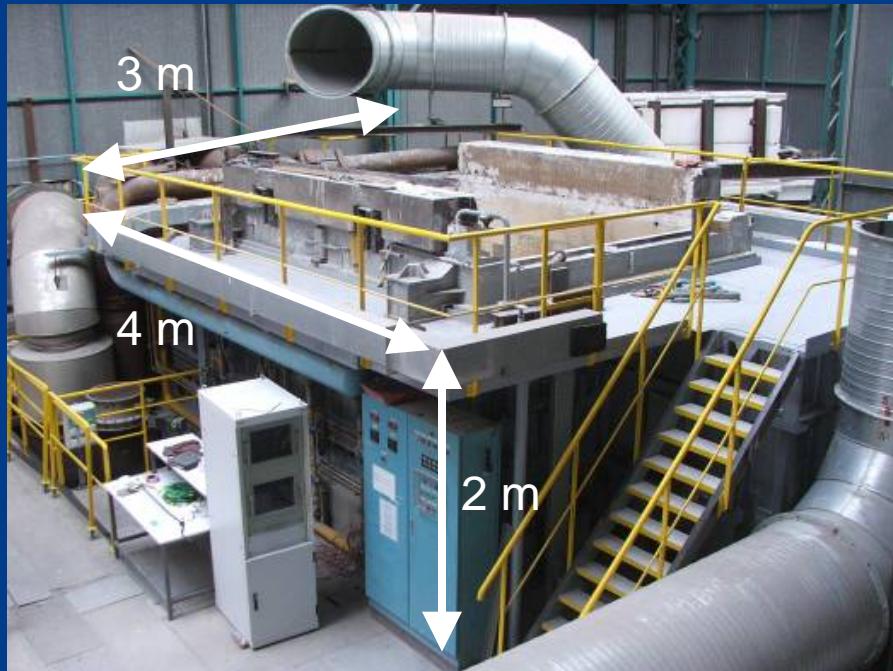
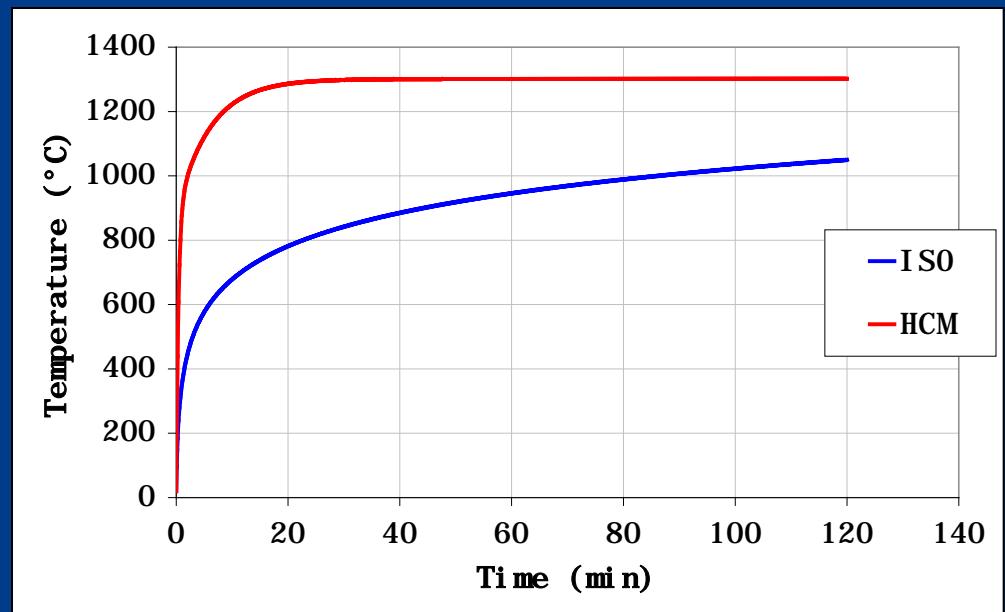
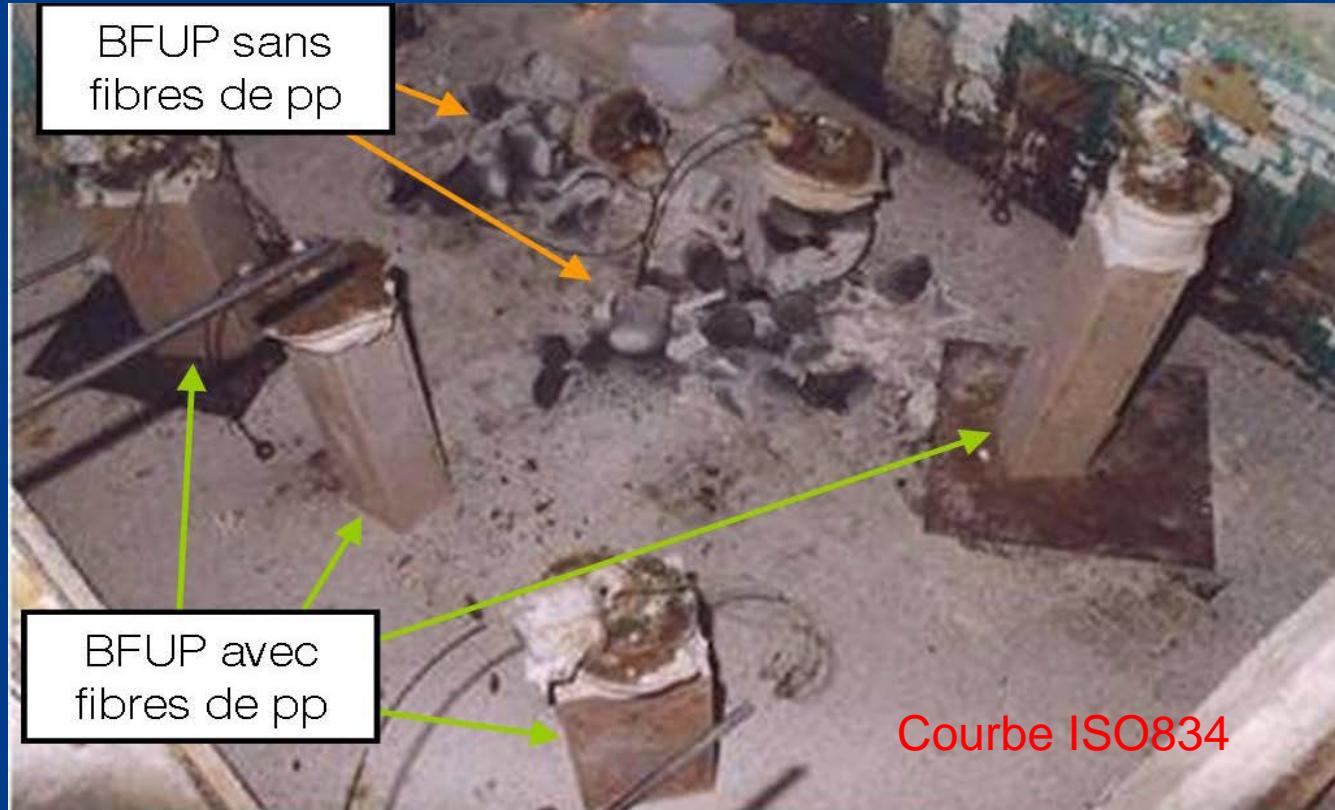


Photo CSTB



Instabilité thermique - Ecaillage



Poteaux de Ductal®-AF et de Ductal®-FO

Photo CSTB

→ Efficacité des fibres PP

Instabilité thermique - Ecaillage



BFUP CERIB UHPC II



Photos CERIB

Courbe ISO834

→ Efficacité des fibres PP

Instabilité thermique - Ecaillage

Essai exposition feu HCM petite éprouvette



BSI®

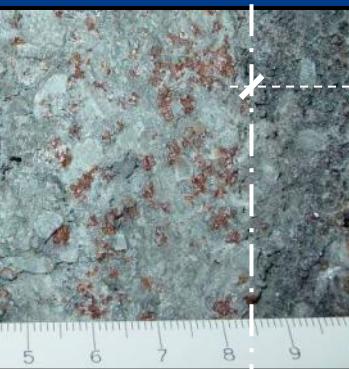
Photo CSTB



Pas d'écaillage



Feu HCM

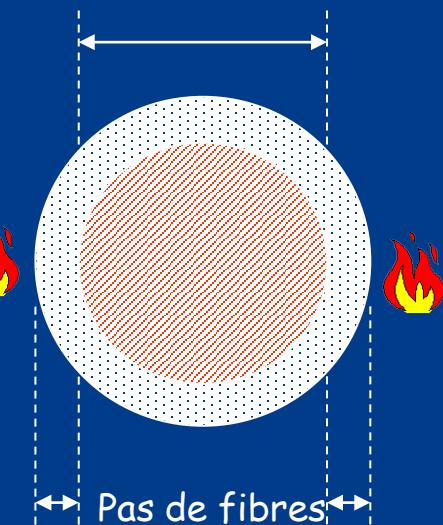


Oxydation
liée au sciage
à l'eau

Poreux
Pas de fibres
métal.

≈ 2cm

Présence de
fibres métal.



Pas de fibres

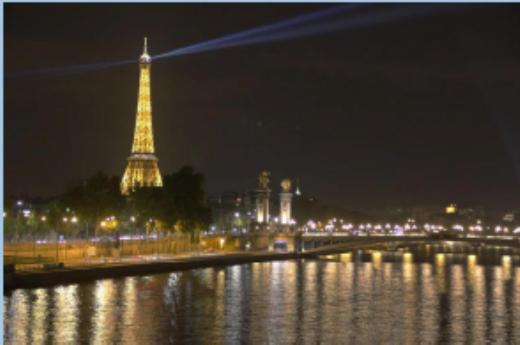
Propriétés matériaux

- Propriétés mécaniques dépendantes des formules et des modes opératoires
- 2 familles de courbes de dilatation thermique
- Résistance au feu
 - Instabilité forte si pas de dispositions particulières prises
 - Grande efficacité de l'ajout de fibres polypropylène

Merci de votre attention

CALL FOR ABSTRACTS
RILEM WORKSHOP

2013
FIRE SPALLING
3rd International Workshop on
Concrete Spalling due to
Fire Exposure



Paris - France
25 - 27 September 2013



www.FireSpalling2013.fr

Vulcain : 9 m x 3m