



Projet ANR *MEFISTO*

Bruno Capra - OXAND



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable
et de l'Énergie

18/11/2015



▶ MEFISTO : Maîtrise durable de la fissuration des infrastructures en bétons

■ Contexte

- Problématique des Maîtres d'Ouvrages

→ *Evaluation et prédiction de la performance des ouvrages vis-à-vis de la fissuration*

→ **Besoin en outils permettant de maîtriser l'impact de la fissuration du béton armé (jeune âge, service, prolongation de durée de vie...)**

► Projet National CEOS.fr



COMPORTEMENT ET ÉVALUATION DES OUVRAGES SPÉCIAUX vis-à-vis de la fissuration et du retrait

- Modélisations numériques
- Expérimentation
- Réglementation et pratiques d'ingénierie
- Recommandations

} → MEFISTO

Transfert de
technologie

Objectifs

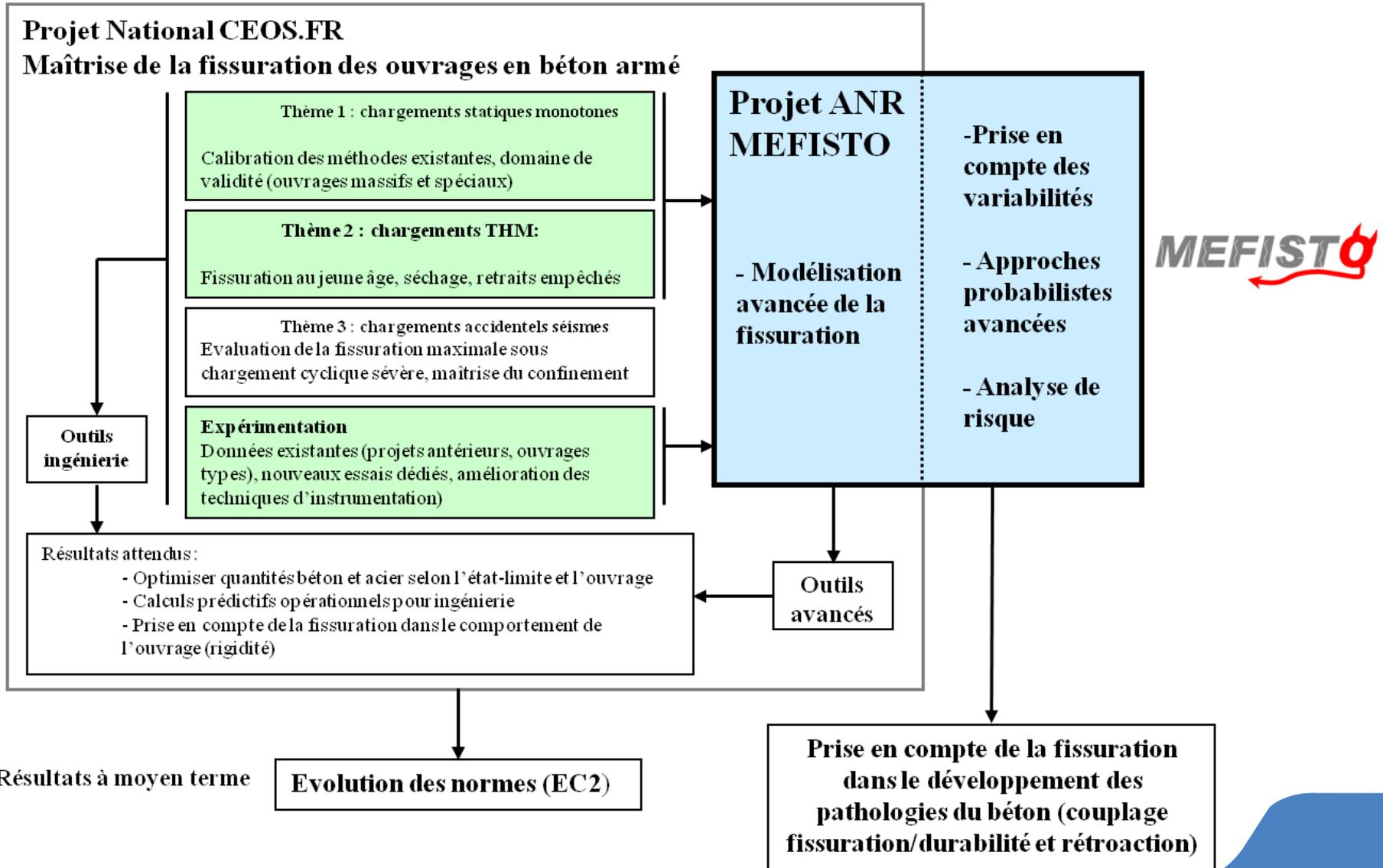
- ▶ Verrous scientifiques dans l'évaluation de la durée de vie des ouvrages :

Couplages entre la dégradation des matériaux et l'état mécanique de l'ouvrage (fissuration)

- ▶ Objectifs du projet :
 - ***Développement de nouveaux modèles de fissuration plus réalistes;***
 - ***Prise en compte des différentes sources de variabilités et études de sensibilité***

➔ Outils pour l'ingénierie – Evolution des normes

► Complémentarité MEFISTO / CEOS.fr



Partenaires du projet

MEFISTO
Maîtrise durable de la Fissuration des InfraStructures en béton

Appel à Projets ANR 2008

• Pilote : Oxand



• Labellisation :



Programme scientifique

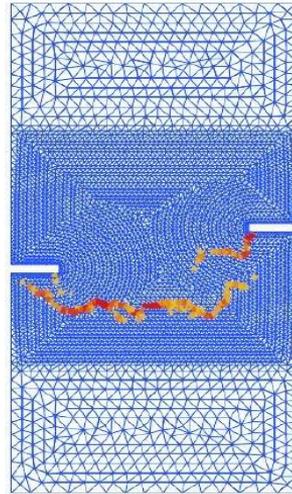
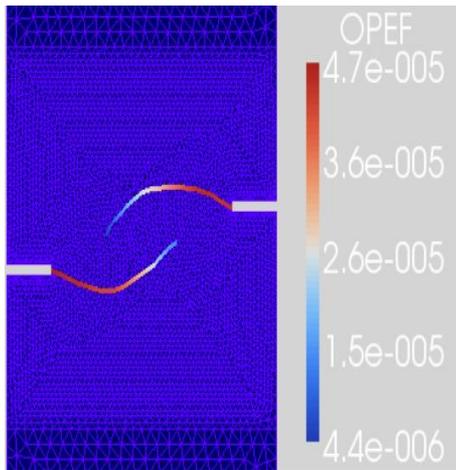
- ▶ **GT 1** : Technologies numériques de modélisation de la fissuration
(→ Chargements statiques CEOS.fr)
- ▶ **GT 2** : Fissuration sous chargements multiphysiques
(→ Comportement THM CEOS.fr)
- ▶ **GT 3** : Expérimentation – Variabilité des données
(→ Expérimentation CEOS.fr)
- ▶ **GT 4** : Analyse de sensibilité – Analyse de risque
(→ Pratique ingénierie THM CEOS.fr)

GT 1 : Technologies numériques de modélisation de la fissuration

(→ Chargements statiques CEOS.fr)

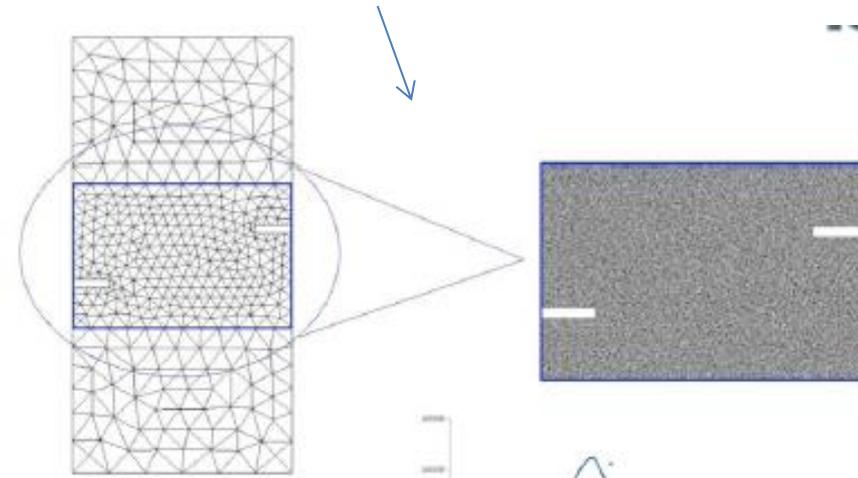
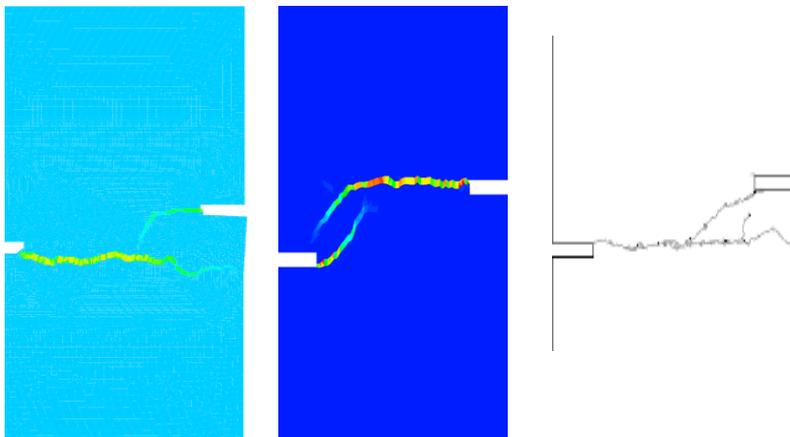
- ▶ Verrous scientifiques : Passage continu/discret :
 - localisation, ouverture, profondeur des fissures
- ▶ 2 approches principales :
 - post-traitement de modèles continus (endo.)
 - modélisation continue-discrète
- ▶ Equipes impliquées :
 - 3S-R, SIAME, LMT, GeM, LCPC, EDF

▶ GT1 – Chargement statique



Nouvelle approche non locale en mécanique de l'endommagement pour le calcul de trajet et d'ouverture de fissure (F. Dufour - 3S-R, Grenoble)

Application de la modélisation discrète au post-traitement de calculs éléments finis pour la description fine de la fissuration (A. Delaplace - LMT, Cachan)

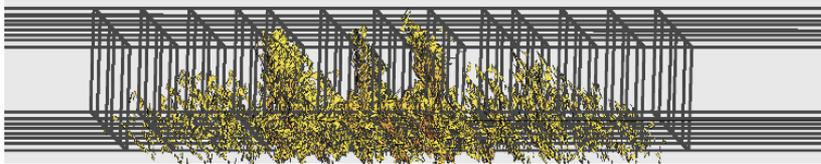
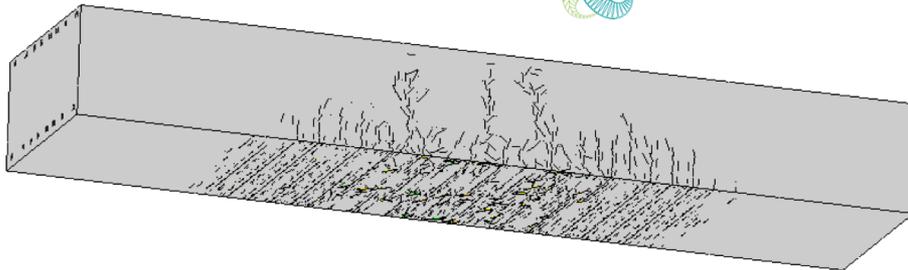


▶ GT1 – Chargement statique

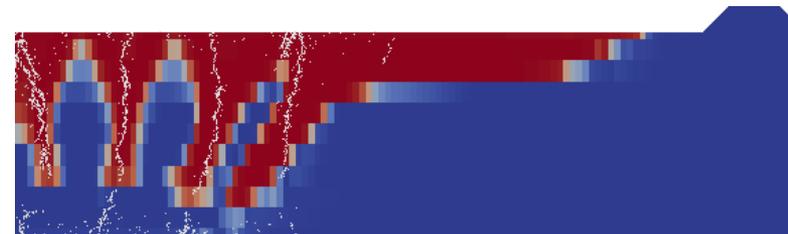
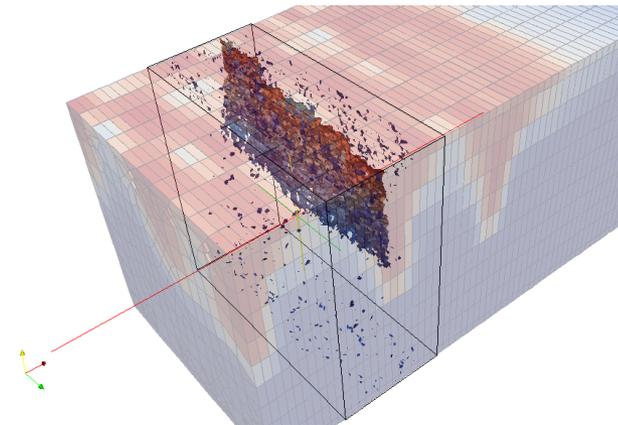
Différentes approches :

- Continues
- Mixtes continues discrètes
- Modèle probabiliste

RL1 : Etat de fissuration



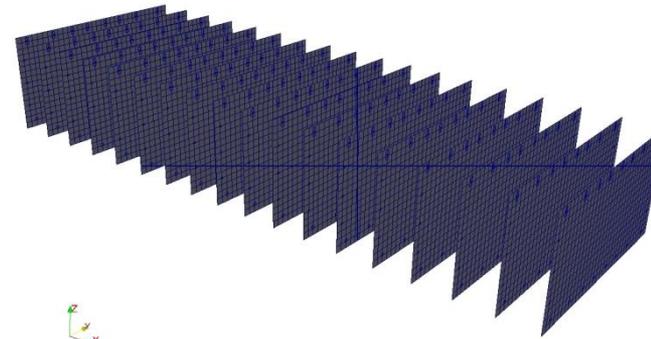
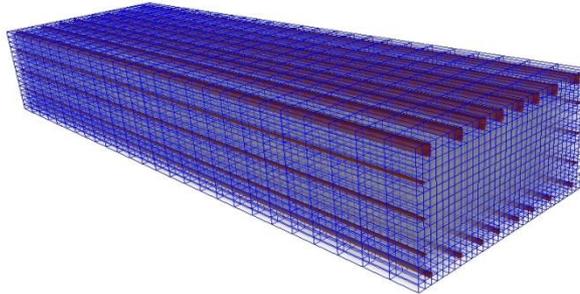
Ouverture de fissure env. 450 μm



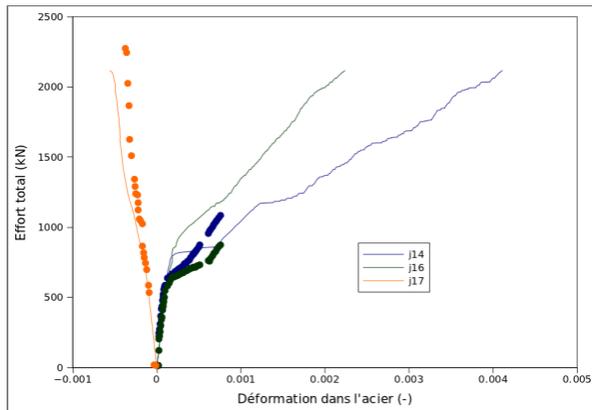
LMT

RL1 : Superposition des champs d'endommagement et de fissuration

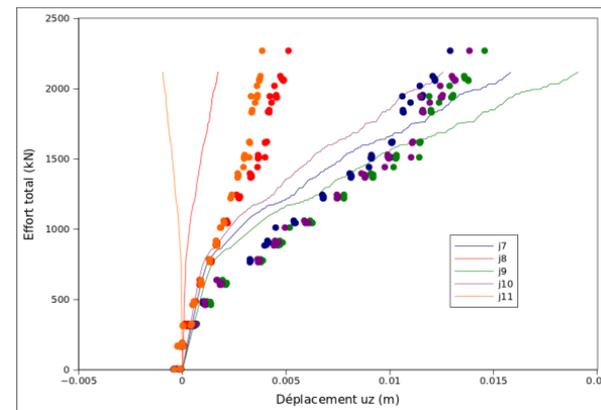
▶ GT1 – Chargement statique



3S-R : RL1 Approche poutre multi-fibres



Déformations aciers



Déplacements

SIAME : RL1 Comparaison numérique / expérimental

GT 2 : Fissuration sous chargements multiphysiques

(→ Chargements THM CEOS.fr)

▶ Verrous scientifiques :

- Modélisation des phénomènes physico-chimiques à la base du comportement au jeune âge et à long terme des ouvrages

▶ Développement et/ou enrichissement de modèles numériques :

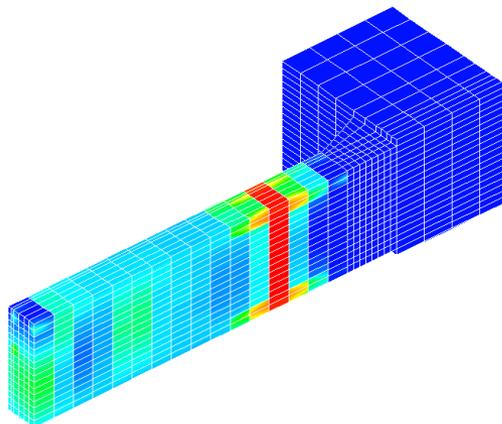
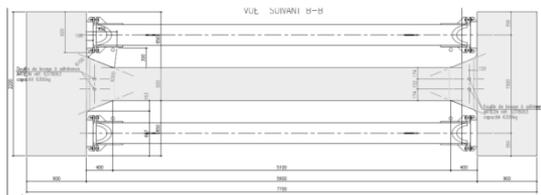
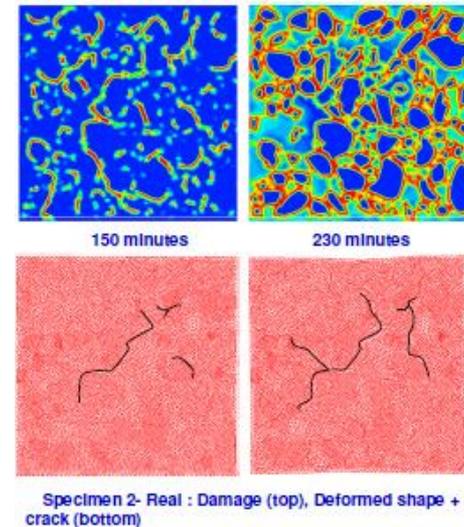
- influence de la distribution poreuse, du fluage de dessiccation
- influence des actions thermo-hydriques
- modélisation multi-échelle sous chargement THM

▶ Equipes impliquées :

- LMDC, CEA, LMT, CSTB

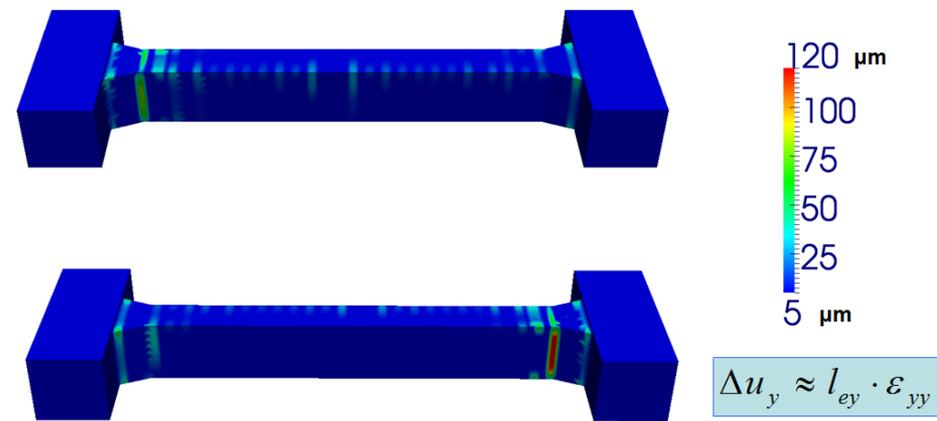
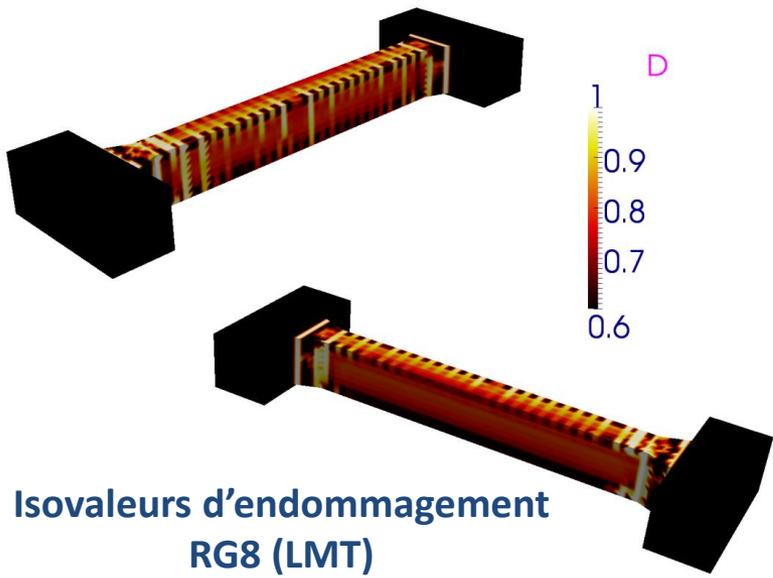
▶ GT2 – Chargements THM

- Approche mésoscopique (CSTB)
- Simulation d'ouvrages massifs (LMT)

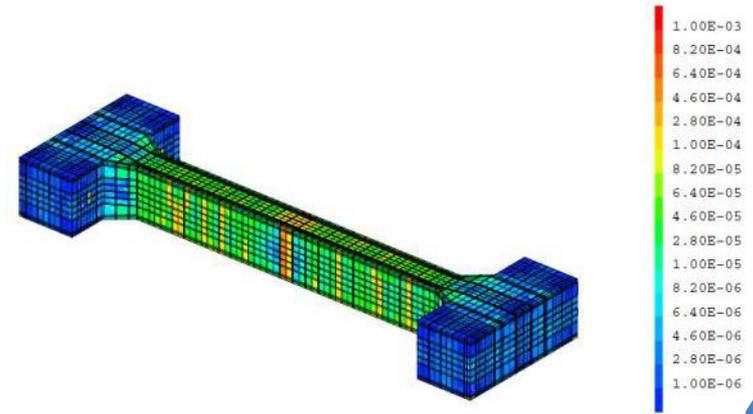
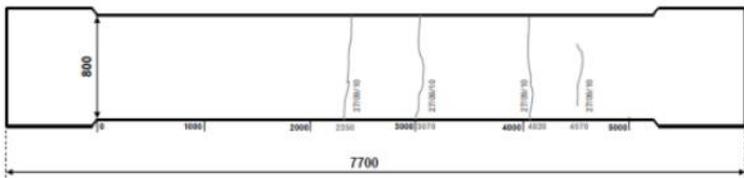


- Fissuration du béton au jeune âge : développement d'un nouvel essai à l'anneau actif (prise en compte des déformation thermique et endogène)
 - Déformations thermiques de structures massives reproduites en laboratoire
- Simulations numériques :
 - Identification du coefficient de couplage entre fluage et fissuration
 - Effet du coefficient de couplage fluage fissuration sur l'ouverture d'une structure massive

▶ GT2 – Chargements THM



Champs de fissuration essai THM (LMDC)



GT 3 : Expérimentation – Variabilité des données

(→ Expérimentation CEOS.fr)

► Verrous scientifiques :

- Suivi et mesure de la fissuration en cours de développement + essais spécifiques

► Fissuration au jeune âge due au retrait et au fluage :

- effet de la chaleur d'hydratation (LMDC, LCPC)

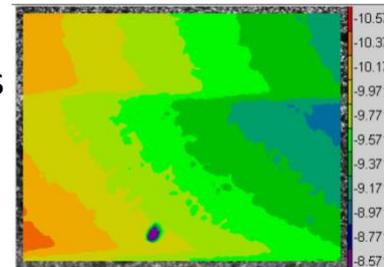
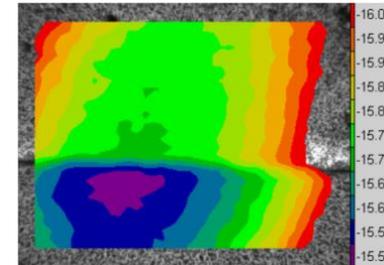
► Fissuration à long terme :

- couplage fluage propre/fissuration
- couplage fluage de dessiccation/fissuration
- mesure d'ouvertures de fissures

► Equipes impliquées :

- LMDC, LMT, GeM

Corrélation d'images et fissuration des structures en béton armé (LMT)



GT 4 : Analyse de sensibilité – Analyse de risque

(→ Pratique Ingénierie CEOS.fr)

▶ Verrous scientifiques :

- Prise en compte de la variabilité matérielle et structurale dans l'estimation de la fissuration

▶ Sélection d'outils probabilistes:

- inventaire des méthodes pertinentes et mise à disposition d'outils numériques téléchargeables

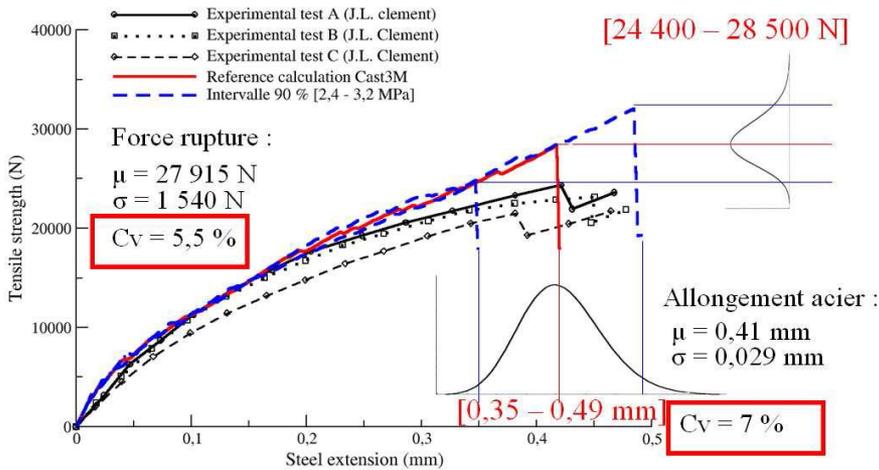
▶ Application aux modèles déterministes (Statiques et THM) :

- ▶ Caractérisation probabiliste de la fissuration de structures simples en béton (3S-R)
 - Génération de champs aléatoires corrélés pour représenter l'hétérogénéité du matériau,
 - Propagation d'incertitudes à travers le modèle
- ▶ Comparaison modèles réglementaires/essais (OXAND)
 - Prise en compte des incertitudes par une erreur de modèle
 - Approche simplifiée par courbes de fragilité

▶ Equipes impliquées : LMDC, GeM, 3S-R, Oxand

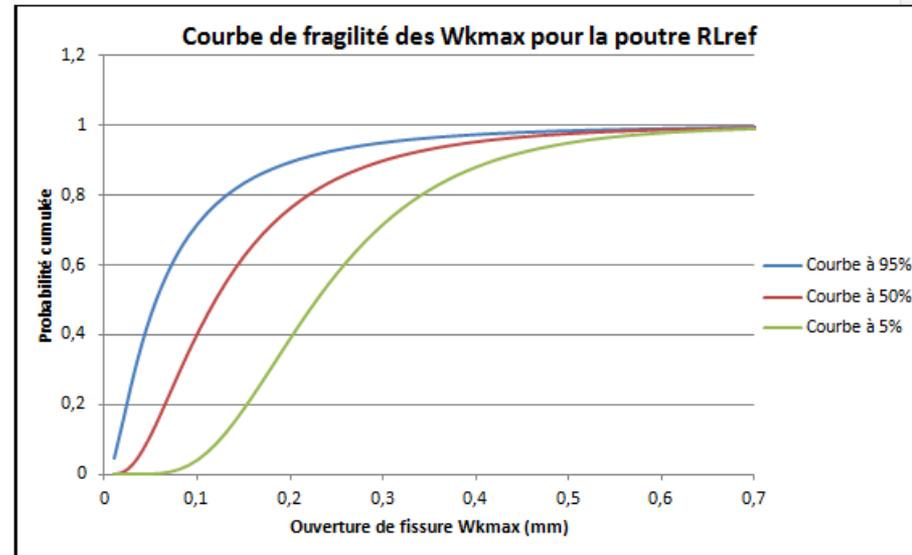
GT 4 – Approches probabilistes

3S-R : modélisation numérique de tirants



Intervalle de confiance à 90% de la force à rupture

OXAND : analyse des modèles réglementaires – erreur de modèle et courbes de fragilité



► Conclusions



- Développement de nouveaux modèles de fissuration du béton (ouverture, espacement) selon différentes approches (post-traitement endommagement, continu/discret, modèle probabiliste...)
- Comparaison avec des essais de grandes dimensions : mise en évidence des paramètres les plus influents à prendre en compte dans les modélisations
- Prise en compte des incertitudes : ouverture vers les approches probabilistes
- Collaboration importante entre les équipes et les projets (PN CEOS.fr / ANR MEFISTO) qui a permis d'orienter le projets vers des besoins concrets



► Perspectives

- Application des modèles développés pour les objectifs CEOS.fr :
 - *Sélection des modèles les plus adaptés pour l'établissement de tests numériques*
 - *Nouveaux modèles à destination de l'ingénierie*
 - *Évolution de la réglementation*
- Prise en compte de la fissuration dans le développement des pathologies du béton (couplage fissuration/durabilité et rétroaction)