

# Modélisation du comportement multiaxial du béton fibré métallique sous sollicitations complexes tenant compte de l'orientation des fibres – Application aux revêtements de tunnel

*Duc-Tam VU (EMGCU/Univ-Eiffel)*

Directeur de thèse : François TOUTLEMONDE (Univ-Eiffel)

Encadrants : Pierre MARCHAND (Cerema), Benjamin TERRADE (Univ-Eiffel) et Sébastien BOUTEILLE (CETU)

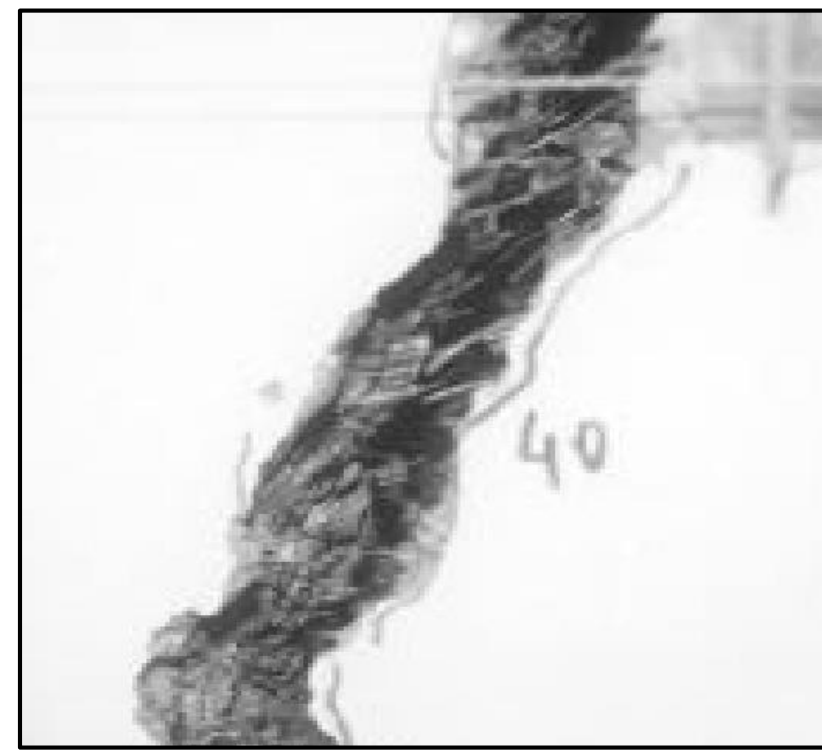
## Problématique industrielle

L'optimisation des ouvrages en béton de fibres et la valorisation de ces matériaux dans des structures complexes nécessitent de disposer d'outils de calcul avancés. L'étude d'amincissement du revêtement préfabriqué du tunnel en béton fibré métallique (BFM) proposée par la Société du Grand Paris est un exemple très prometteur. Le sujet de thèse vise à :

- ✘ Développer un modèle micromécanique du comportement post-fissuration des BFM en tenant en compte de l'effet d'orientation des fibres.
- ✘ Compléter le modèle numérique pour quantifier la résistance en cisaillement et la résistance en compression multiaxiale
- ✘ Proposer une optimisation (matériau/dimensions) dans le cas de voussoirs de tunnel



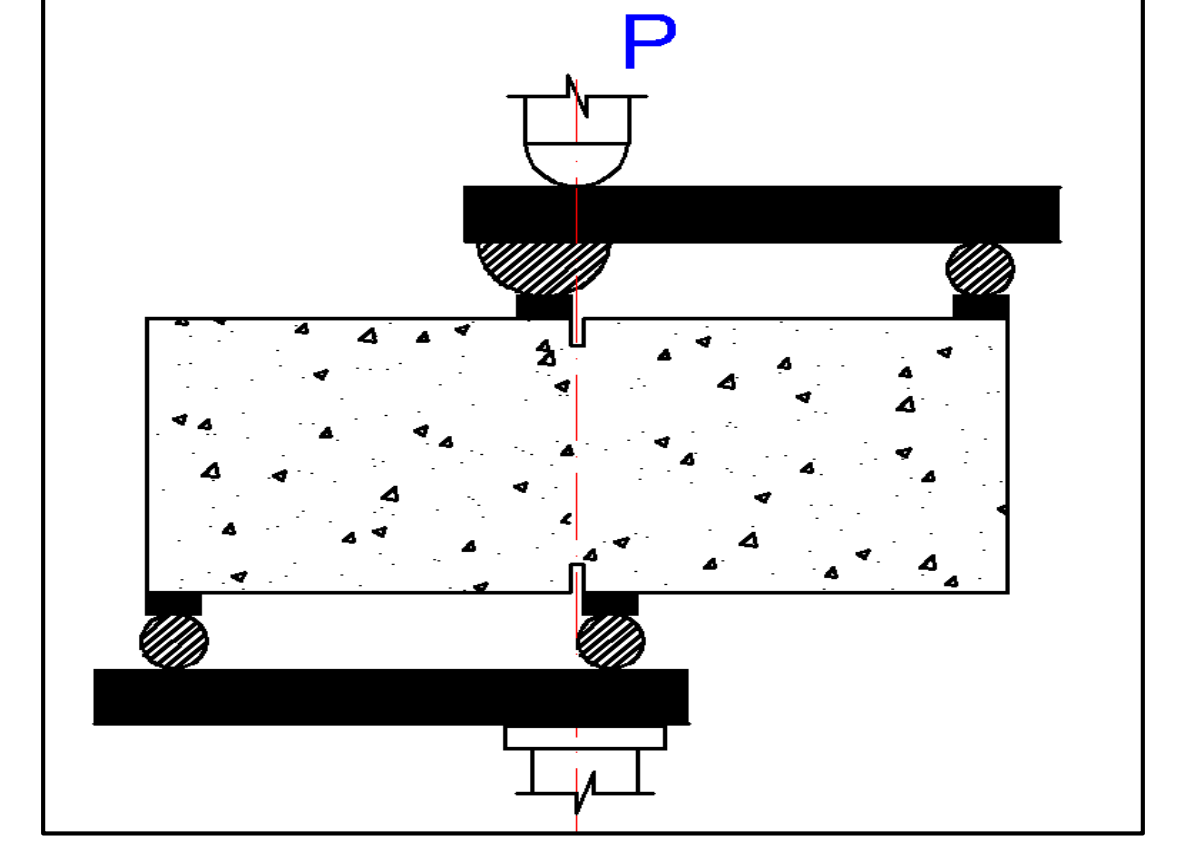
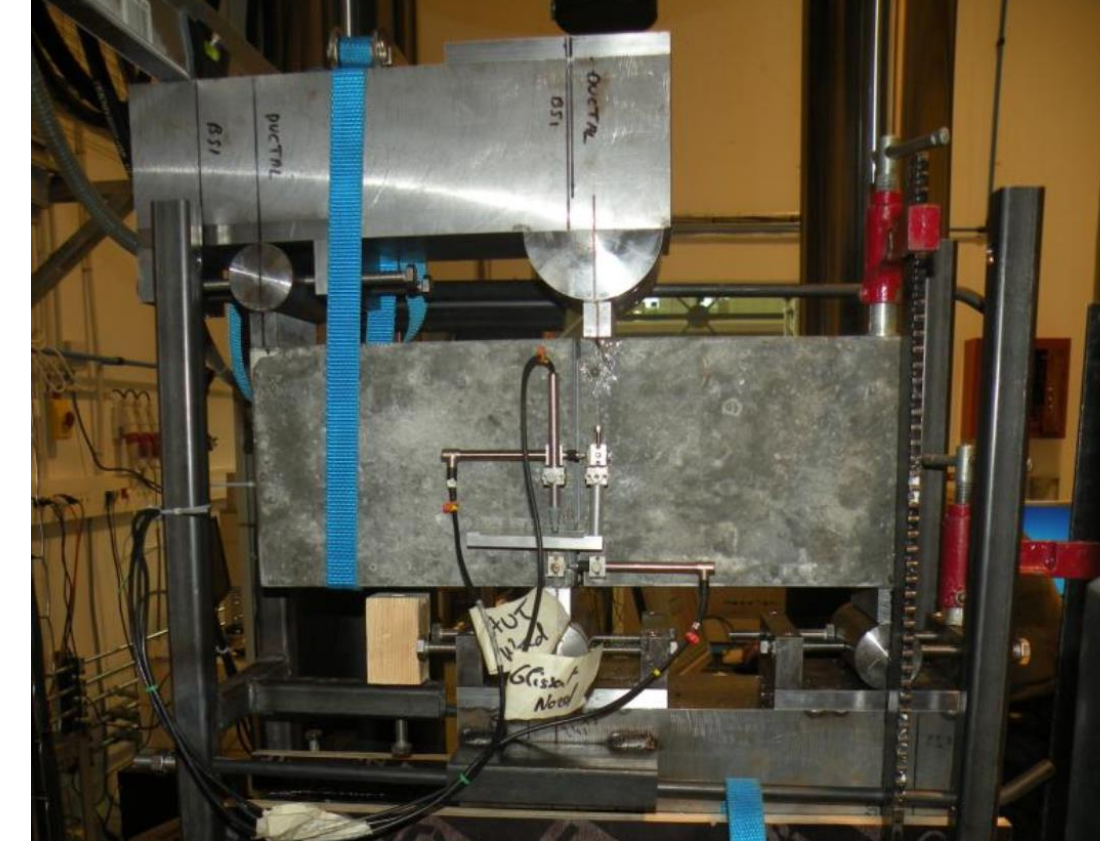
Mise en place du voussoir



Ouverture des fissures du voussoir due à la flexion composée

## Etudes expérimentales

- ✘ Des essais de cisaillement pur sur : 6 prismes de 23cm x 17cm x 65cm et 6 prismes de 17cm x 12cm x 65cm, entaillés 1.5cm à chaque côté.



- ✘ L'essai à l'échelle 1 sur le corps du voussoir serait réalisé à l'Université de Rome.



## Approche micromécanique

Loi constitutive entre la force axiale de la fibre  $F$  et le déplacement des lèvres de fissures  $\delta$  :

$$F(\delta, z, \varphi) = P \sin \alpha + N \cos \alpha$$

Avec :

$$P = \frac{2\zeta N(m \cosh ml + \zeta \sinh ml) - k_m \sinh ml}{2\zeta^2 N^2(m \cosh ml + 2\zeta \sinh ml) + k_m N m \cosh ml} + \frac{l}{N}$$

$$N = \frac{\pi d_f}{2} \sqrt{2E_f \tau_0 d_f (1 + \eta) \cdot \sqrt{\delta}} \quad \forall \delta \in [0, \delta_0]$$

$$= \pi d_f (1 + \eta) \tau_e (L - (\delta - \delta_0)) \quad \forall \delta \in \left( \delta_0, \frac{L_f}{2} \right]$$

$$\alpha = |\arccos(\cos \varphi \cdot \cos \gamma + \sin \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \cos \theta)|$$

Effet d'orientation des fibres représenté par une loi probabilité

$$p(z, \theta, \varphi) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{k_g \cdot \cosh[k_g(\cos \varphi \cdot \cos \varphi_0 - \sin \varphi \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi_0)]}{\sinh k_g}$$

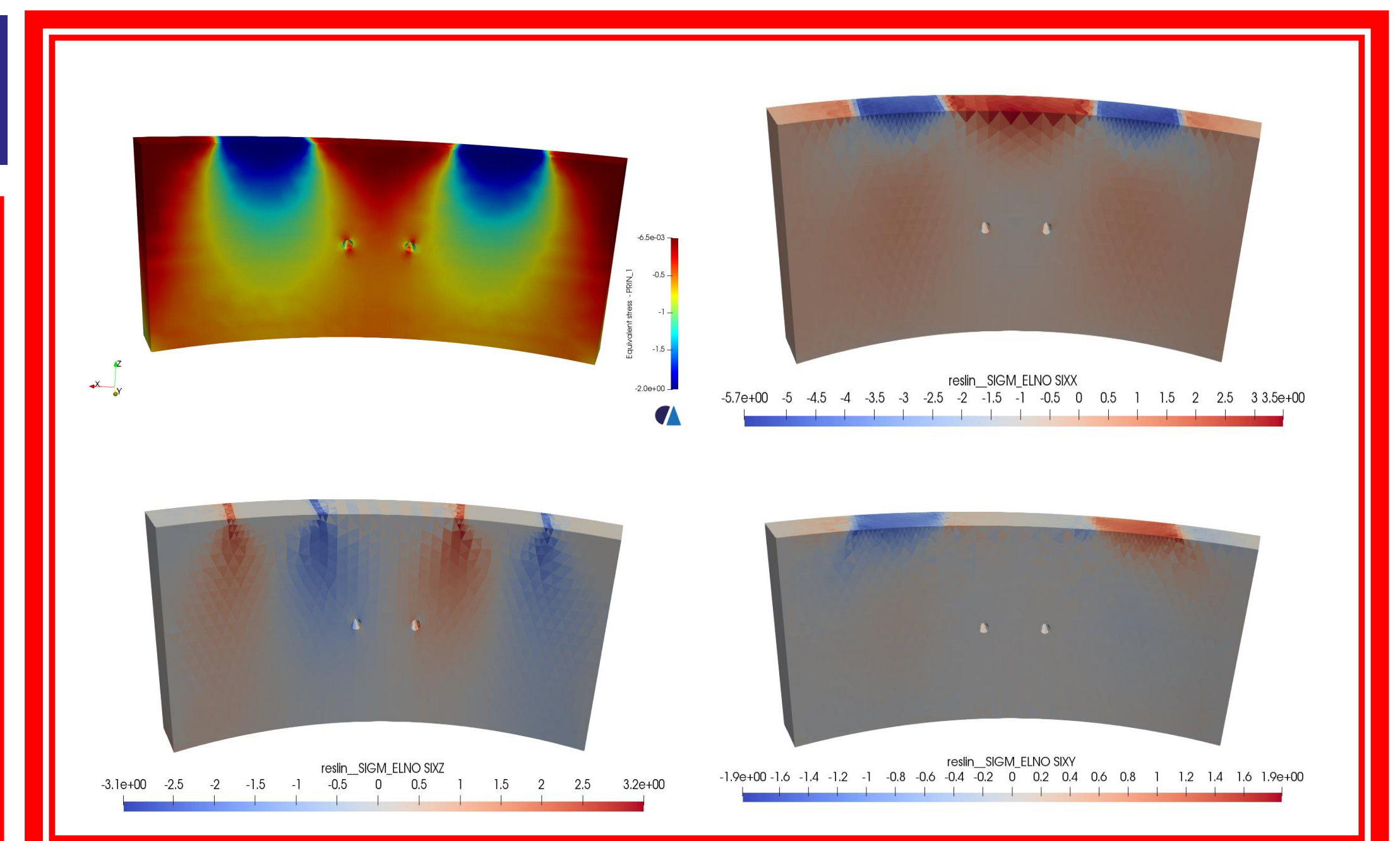
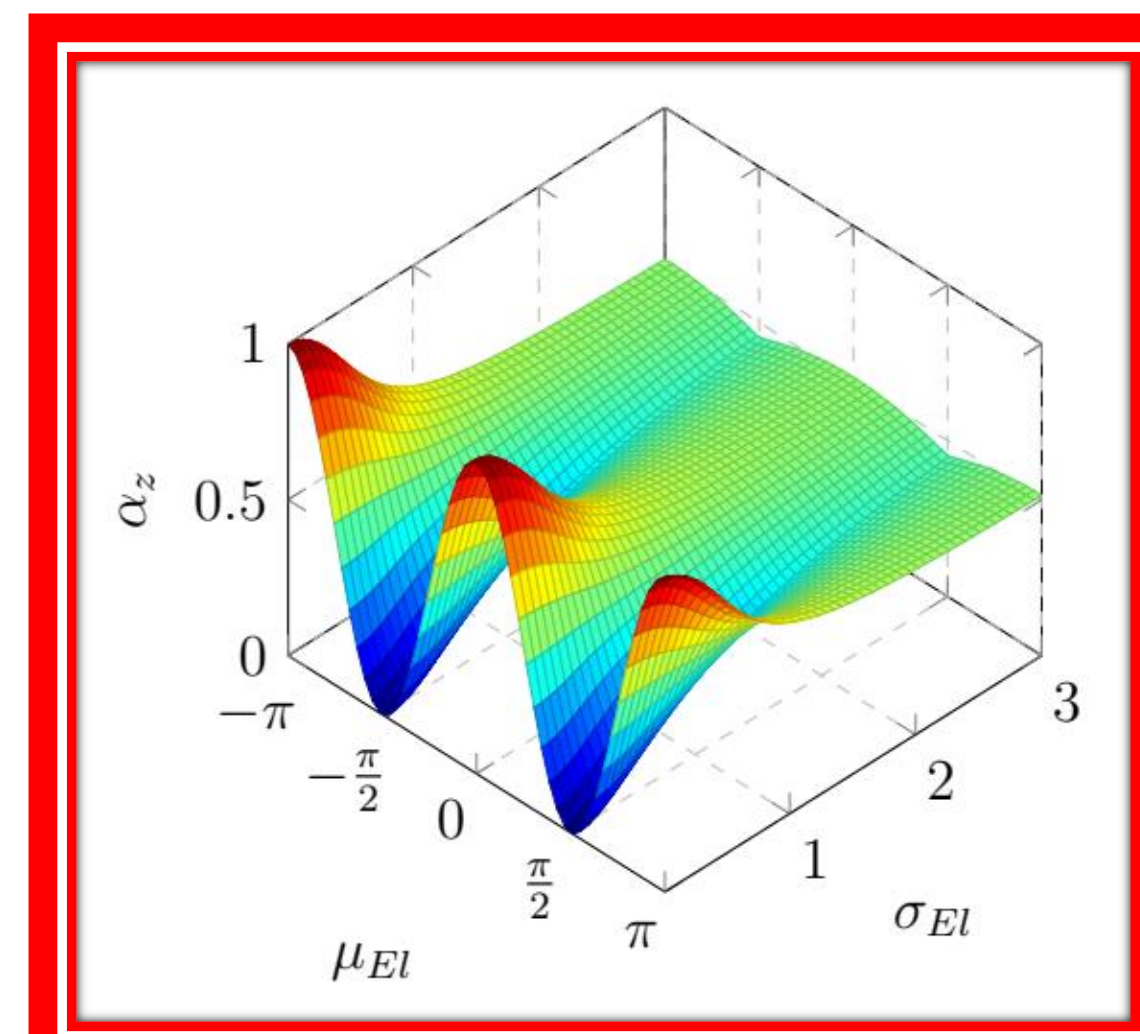
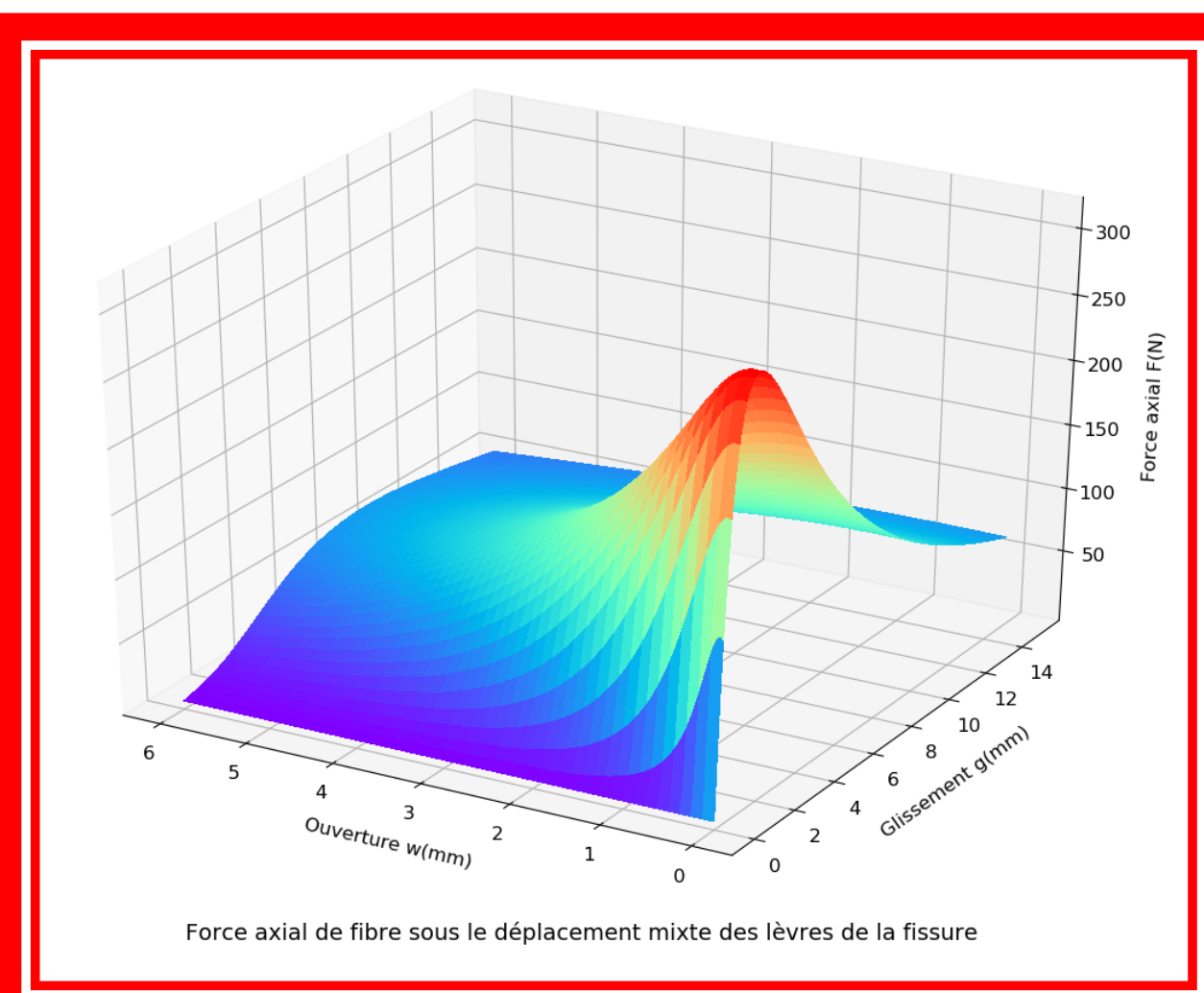
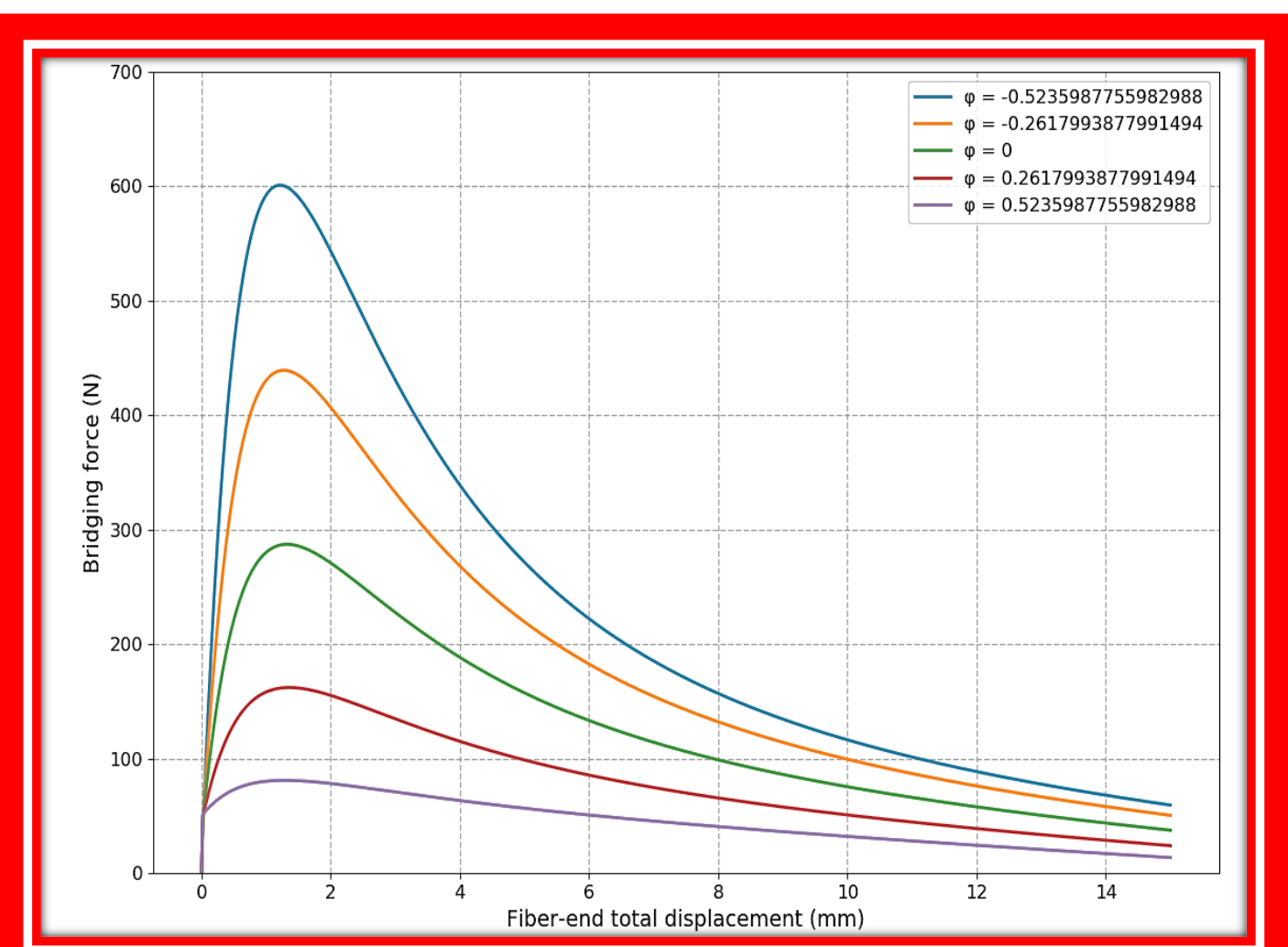
Contrainte de cohésion au travers d'une fissure

$$\sigma_c = \frac{v_f}{A_f} \int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_0^{L_f/2} \cos \varphi F(\vec{\delta}, z, \varphi) \cdot p(z, \theta, \varphi) dz d\varphi d\theta$$

Homogénéisation par l'approche énergétique en prenant en compte le modèle de mécanique de la rupture non linéaire

$$\sigma = \mathbb{C}^{MT}(\epsilon) : (\epsilon - \mathcal{P}_\epsilon \cdot e_c \cdot \mathcal{P}_\epsilon^{-1})$$

## Implémentation numérique – Code\_Aster



## Bibliographie

Guenet, T. (2016). Modélisation du comportement des bétons fibrés à ultra-hautes performances par la micromécanique : effet de l'orientation des fibres à l'échelle de la structure. PhD thesis, Université Paris-Est, Université Laval.

Lin, Z. and Li, V. C. (1997). Crack bridging in fiber reinforced cementitious composites with slip-hardening interfaces. Journal of the Mechanics and Physics of Solids.

Sorelli, L. G. and Toutlemonde, F. Finite Element Modeling of FRC/ UHPFRC in Support Of Innovative Structural Applications.