

Caractérisation et modélisation des mécanismes d'endommagement de tubes composites SiC/SiC

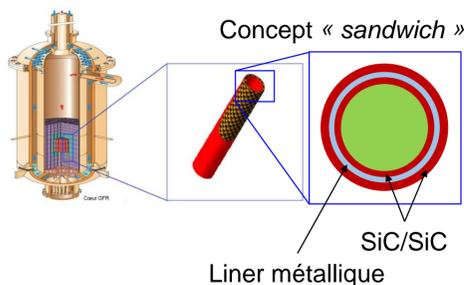
Yang Chen^{1,2}, Lionel Gélébart¹, Michel Bornert², Camille Chateau²

¹ CEA Saclay /DEN/DMN/SRMA/LC2M; ² Université Paris-Est, Laboratoire Navier UMR 8205, Ecole des Ponts ParisTech, IFSTTAR, CNRS UMR 8205

Contexte & objectif

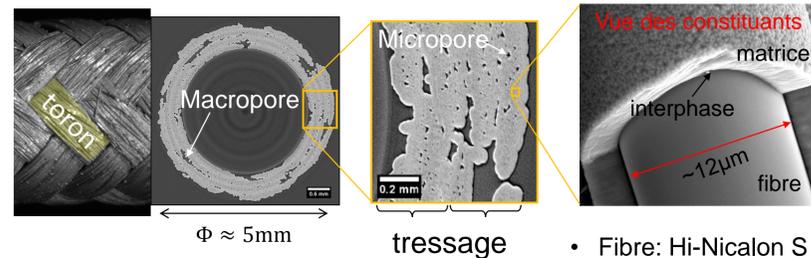
Contexte industriel

Gainage du combustible nucléaire dans les réacteurs rapides à gaz



Matériau étudié: Tube composite SiC/SiC

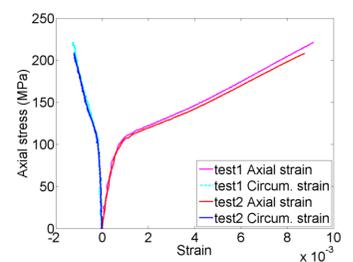
➤ Matériau poreux, multi-échelle



- Fibre: Hi-Nicalon S
- Matrice: SiC
- Interphase: PyC (~30nm)

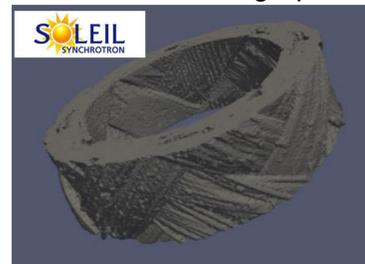
Objectif: Caractérisation 3D des mécanismes d'endommagement

Non-linéarité ⇔ Microfissuration ?



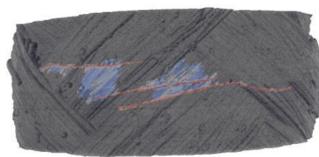
Essais in situ sous tomographie à rayons X

Essais in situ tomographie X



Mesure de champs (DVC)

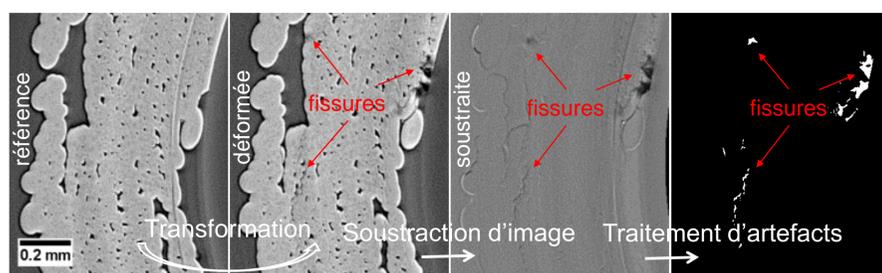
Traitement d'image



Caractérisation 3D:

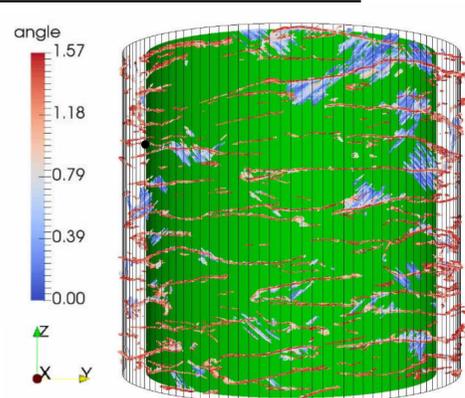
- Microstructure
- Déformation
- Fissures

Détection de fissures



Corrélation d'image volumique

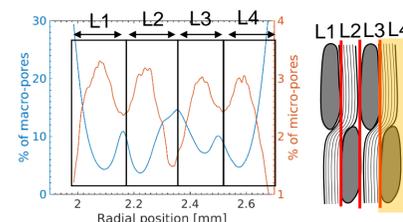
Orientation locale des fissures



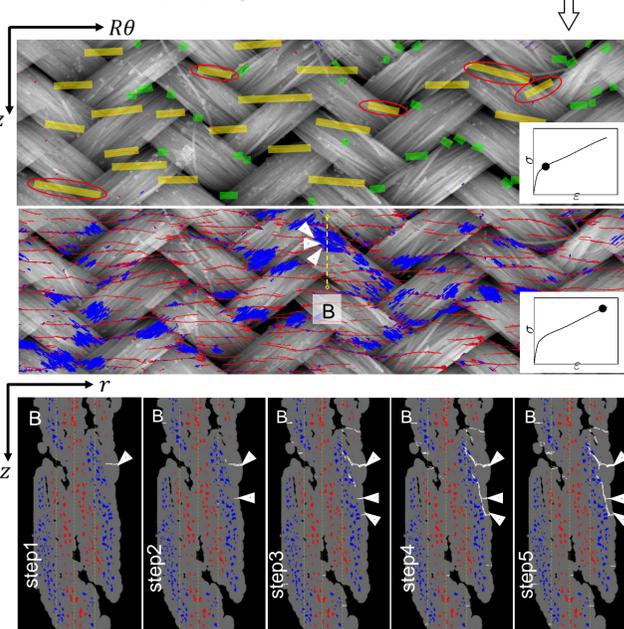
Deux familles de fissures:

- Circonférentielles
- Dans le plan

Projection selon la direction radiale

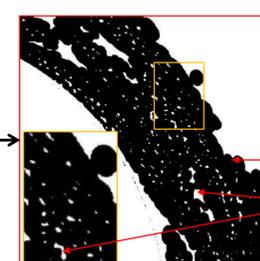
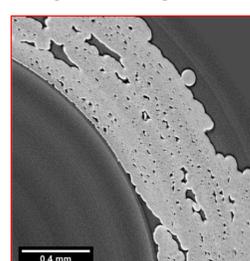


Initiation & propagation des fissures



Simulation numérique par la méthode FFT

Image tomographique sur le tube non-endommagé

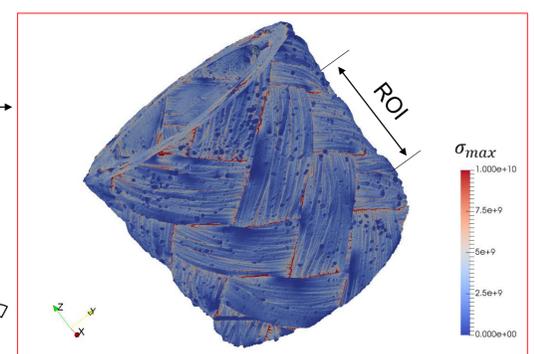


SiC: $E = 400\text{GPa}$, $\nu = 0,2$
Vide: propriétés nulles

- Loi élastique isotrope
- Chargement: traction uniaxiale $E_{zz} = 1\%$
- Conditions aux limites périodiques

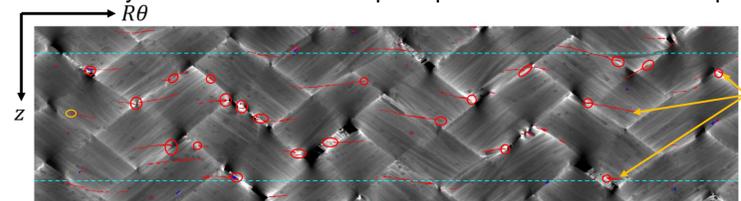
Code massivement parallélisé
AMITEX_FFTP

Contrainte principale maximale



- Forte concentration de contrainte liée à la microstructure du tressage

Valeur moyenne des contraintes principales maximales dans la phase solide



- Concentration de contrainte ⇔ Bords des torons
- Fissures détectées → connectées aux zones de concentration de contrainte

Conclusion

- Essais in situ sous tomographie X fournissent des observations sur les phénomènes d'endommagement en volume
 - ➔ Initiation des fissures
 - ➔ Chemin de propagation des fissures
 - ➔ Géométries 3D des fissures
 - Simulation numérique par la méthode FFT
 - ➔ Distribution de contrainte
 - ➔ Initiation des fissures
- Bon accord

Remerciement

Le travail a été soutenu par le programme du CNRS « défi NEEDS Matériaux »