



**HAL**  
open science

## Modélisation du comportement élastique des matériaux nanoporeux : application au combustible UO<sub>2</sub>

Xavier Haller, Yann Monerie, Stéphane Pagano, Pierre-Guy Vincent

### ► To cite this version:

Xavier Haller, Yann Monerie, Stéphane Pagano, Pierre-Guy Vincent. Modélisation du comportement élastique des matériaux nanoporeux : application au combustible UO<sub>2</sub>. Workshop MIST 2015 : Friction, Fracture, Failure, Oct 2015, Montpellier, France. , 2015. hal-01247775

**HAL Id: hal-01247775**

**<https://hal.science/hal-01247775>**

Submitted on 22 Dec 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Modélisation du comportement élastique des matériaux nanoporeux : application au combustible $UO_2$

X. HALLER<sup>1,2</sup>

Y. MONERIE<sup>2,3</sup>

S. PAGANO<sup>2,3</sup>

P.-G. VINCENT<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, B.P. 3, 13115 Saint-Paul-lez-Durance Cedex, France

<sup>2</sup> Laboratoire de Micromécanique et Intégrité des Structures, IRSN-CNRS-Université de Montpellier, France

<sup>3</sup> Laboratoire de Mécanique et Génie Civil, Université de Montpellier, CC 048, 34095 Montpellier Cedex, France

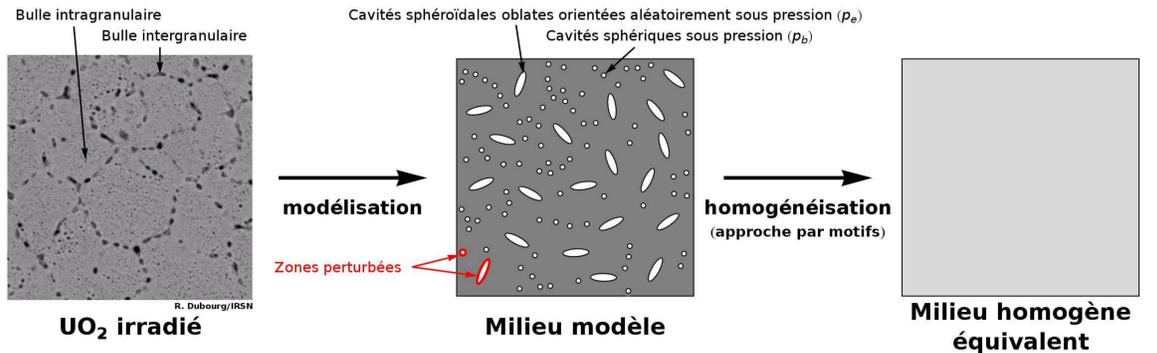
L' $UO_2$  irradié contient deux populations de cavités saturées par des gaz de fission (« bulles ») :

- des **cavités intergranulaires** dont la taille varie de quelques dizaines à plusieurs centaines de nanomètres ;
- des **cavités intragranulaires** plutôt sphériques, dont la taille est de l'ordre du nanomètre.

Des travaux récents ont montré qu'il existe un **effet de surface à l'échelle des cavités nanométriques** qui modifie le comportement élastique effectif du combustible [Jelea et al., 2011][Colbert, 2012].

Ce travail propose un **modèle micromécanique analytique capable de tenir compte de cette microstructure hétérogène ainsi que de l'effet de surface** afin de décrire le comportement élastique macroscopique de l' $UO_2$  irradié.

## Objectif et démarche



## Techniques et modèles mis en œuvre

Modèle d'interface imparfaite cohérente [Gurtin & Murdoch, 1975]

Zones perturbées décrites par des surfaces matérielles

Hypothèses : discontinuité du vecteur contrainte et continuité du déplacement

Equation d'équilibre surfacique

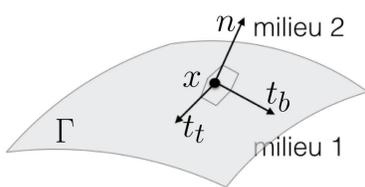
$$[\sigma] \cdot n + (\sigma_s : b)n + \text{div}_s \sigma_s = 0$$

Loi de comportement surfacique

$$\sigma_s = \gamma_s \dot{i}_T + C_s : \epsilon_s$$

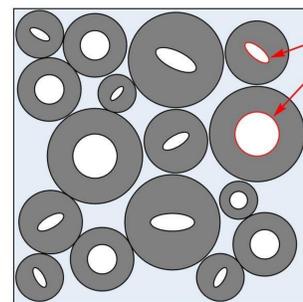
$$\text{où } C_s = 2(k_s \mathbb{J}_T + \mu_s \mathbb{K}_T)$$

$$\text{et } \epsilon_s(x) = \mathbb{I}_T(x) : \epsilon^{(1)}(x) = \mathbb{I}_T(x) : \epsilon^{(2)}(x)$$



Approche par motifs morphologiques représentatifs [Stolz & Zaoui, 1991]

$$\Sigma = [3\tilde{k}\mathbb{J} + 2\tilde{\mu}\mathbb{K}] : E - [p_b B_b + p_e B_e - \gamma_b G_b - \gamma_e G_e] i$$



Milieu infini  $C_0$

Résolution exacte [Duan et al., 2005b]

Problèmes auxiliaires

Milieu infini  $C_0$

Résolution approchée [Cherkaoui et al., 1995]

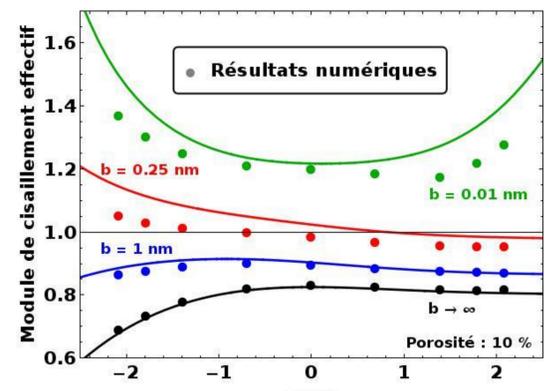
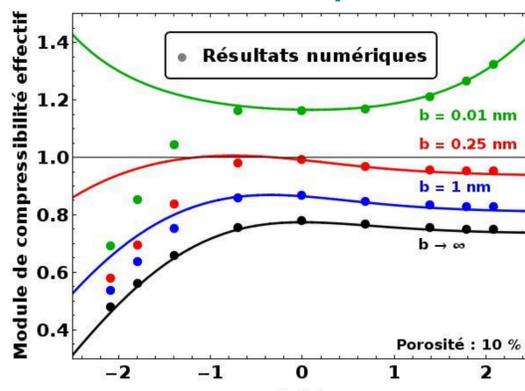
lorsque  $C_0 = C_m$

➔ Développement d'un modèle micromécanique analytique permettant de décrire le comportement élastique des matériaux nanoporeux à cavités sphériques et sphéroïdales sous pressions.

## Validation numérique

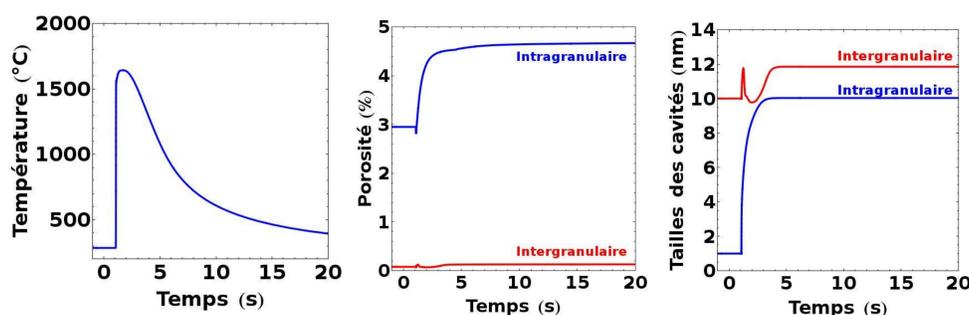
Afin d'obtenir un modèle analytique, la résolution du problème auxiliaire relatif aux cavités sphéroïdales s'appuie sur des **hypothèses simplificatrices**. De façon à vérifier la pertinence de ces hypothèses et à identifier leurs limites, ce problème a également été résolu numériquement à partir de **simulations de type éléments finis**. La présence d'interfaces imparfaites cohérentes a nécessité l'implémentation d'une **formulation spécifique** [Yvonne et al., 2011] dans la plateforme numérique XPER développée à l'IRSN [Perales et al., 2010].

L'approche par motifs a ensuite été appliquée à partir de ces résultats numériques. Les propriétés effectives ainsi obtenues ont été comparées à celles issues du modèle micromécanique analytique proposé.

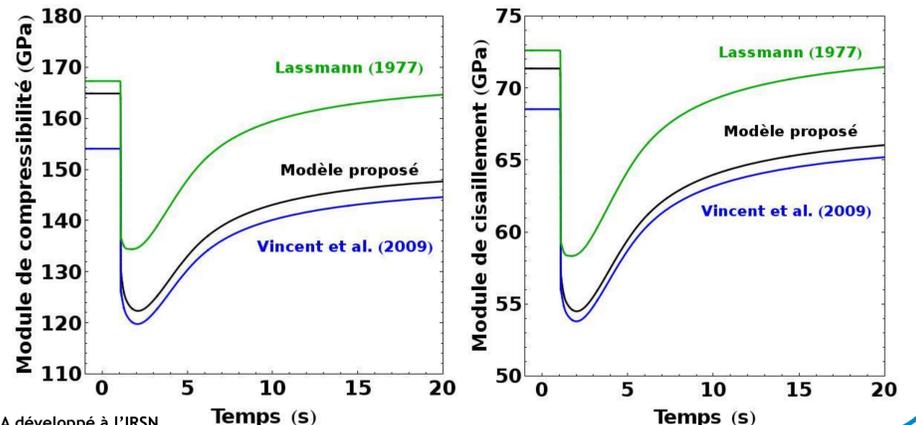


## Comportement élastique de l' $UO_2$ irradié en situation accidentelle

Evolution des paramètres du modèle au cours d'un transitoire accidentel de type RIA (excursion de puissance) issues d'une simulation SCANAIR\* de l'essai REP-Na 3



\* Code de simulation du comportement thermomécanique d'un crayon combustible de REP lors d'un transitoire de type RIA développé à l'IRSN



## Conclusion

- Modèle micromécanique analytique pour les matériaux nanoporeux à cavités sphériques et sphéroïdales :
- fondé sur l'approche par motifs et le modèle d'interface imparfaite cohérente ;
  - validé numériquement (simulations par éléments finis avec XPER) ;
  - appliqué à l' $UO_2$  en situation accidentelle (RIA).

## Perspectives

- Identification des propriétés de surface de l' $UO_2$  (dynamique moléculaire) ;
- Modélisation du comportement non linéaire (plasticité) ;
- Implémentation du modèle dans SCANAIR ;
- Validation « globale » du modèle à l'aide de « VER numériques ».