



**HAL**  
open science

# Modélisation des mécanismes de fragmentation du combustible UO<sub>2</sub> en situation d'Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP)

Julien Bonnet, E. Muller, R. Masson, Yann Monerie

## ► To cite this version:

Julien Bonnet, E. Muller, R. Masson, Yann Monerie. Modélisation des mécanismes de fragmentation du combustible UO<sub>2</sub> en situation d'Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP). Aussois 2018 - Colloque National Mécamat "Matériaux Numériques : Microstructures et comportements thermomécaniques", Jan 2018, Aussois, France. cea-02339331

**HAL Id: cea-02339331**

**<https://cea.hal.science/cea-02339331>**

Submitted on 15 Dec 2019

**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 des mécanismes de fragmentation du combustible $UO_2$ en situation d'Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP)

J. Bonnet<sup>1,2</sup>, R. Masson<sup>1</sup>, E. Muller<sup>1</sup>, Y. Monerie<sup>2</sup>  
 Email : Julien.bonnet@cea.fr



1. CEA / DEN / DEC / SESC  
 Cadarache Saint-Paul-lez-Durance, France



2. LMG  
 860 Rue de St - Priest, 34095 Montpellier

## Contexte

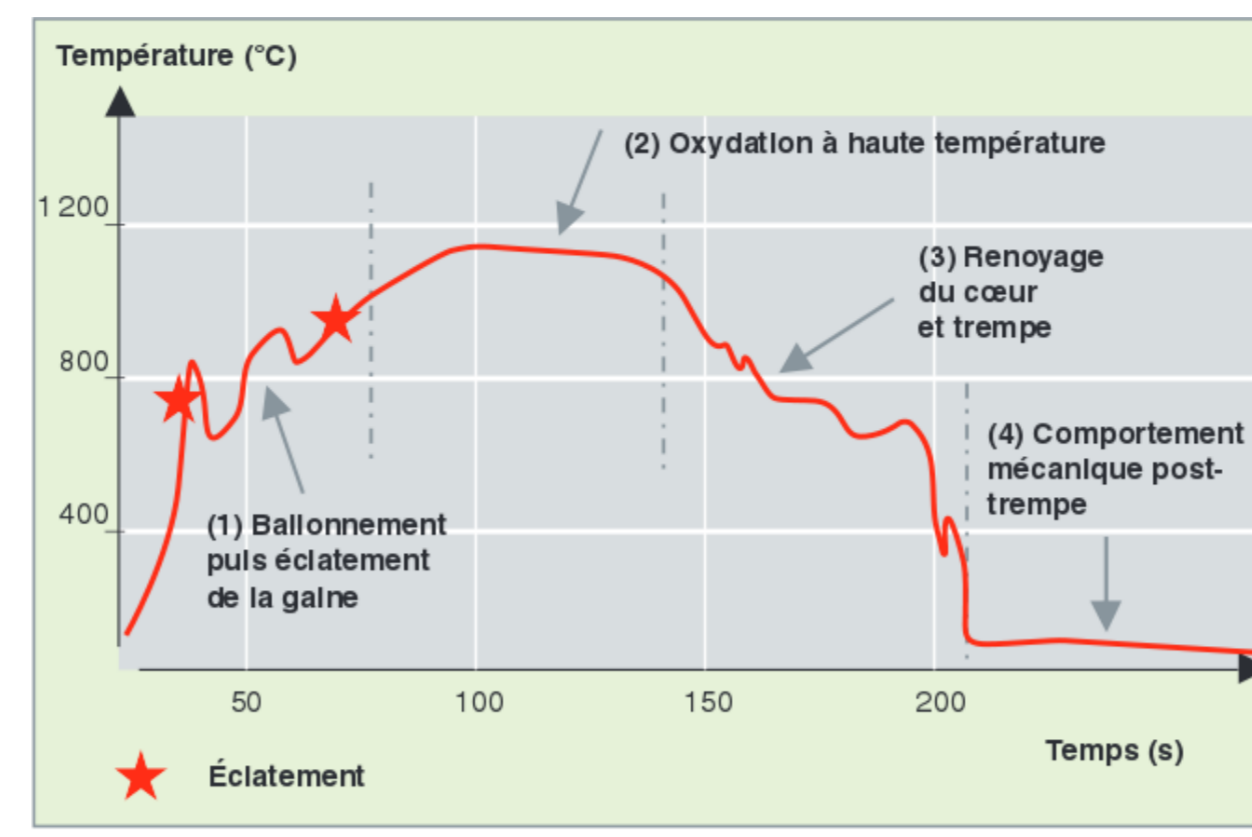
### Le combustible REP:



Empilement de pastilles combustibles dans une gaine en métal

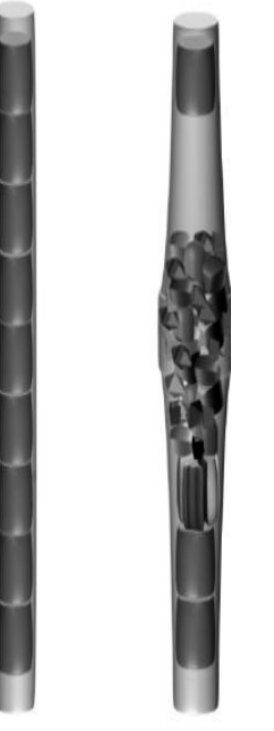
Gaine = première barrière de confinement

### L'Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP):



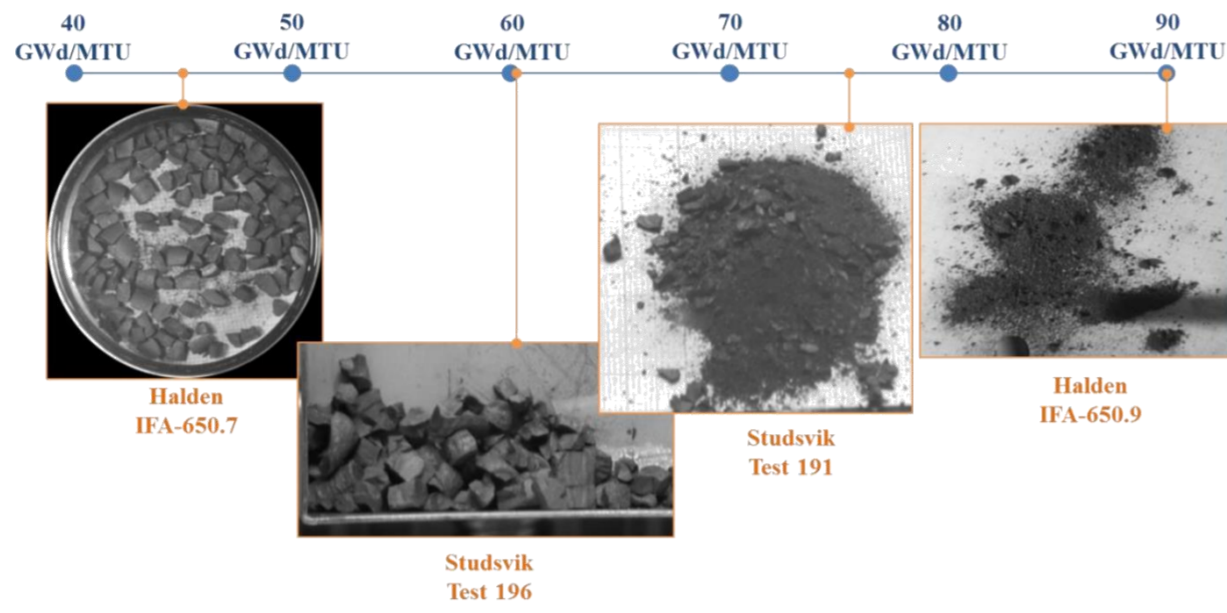
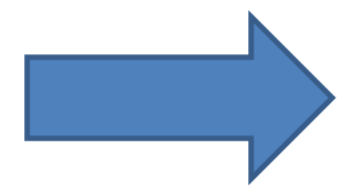
Augmentation rapide de la température  
 Fragmentation du combustible, dispersion?

Transformation de phase, Oxydation  
 Déformation de la gaine, Ballonnement voire rupture ?



### Résultats expérimentaux:

Programmes internationaux visant à étudier le comportement du combustible en APRP



Fragmentation généralisée sur du combustible  $UO_2$  fort taux de combustion

### Résultats de simulation:

Etude du comportement combustible en situation d'APRP avec le code de calcul thermomécanique ALCYONE de la plateforme PLEIADES

#### Résultats satisfaisants :

- Comportement de la gaine (instants et conditions de rupture, taille du ballon)
- État initial du crayon (inventaire gazeux, localisation des bulles de gaz)

Mise en évidence des paramètres influents :

État du combustible avant transitoire (quantité et répartition du gaz, RIM)  
 Effet système (ballonnement, brèche, ...)

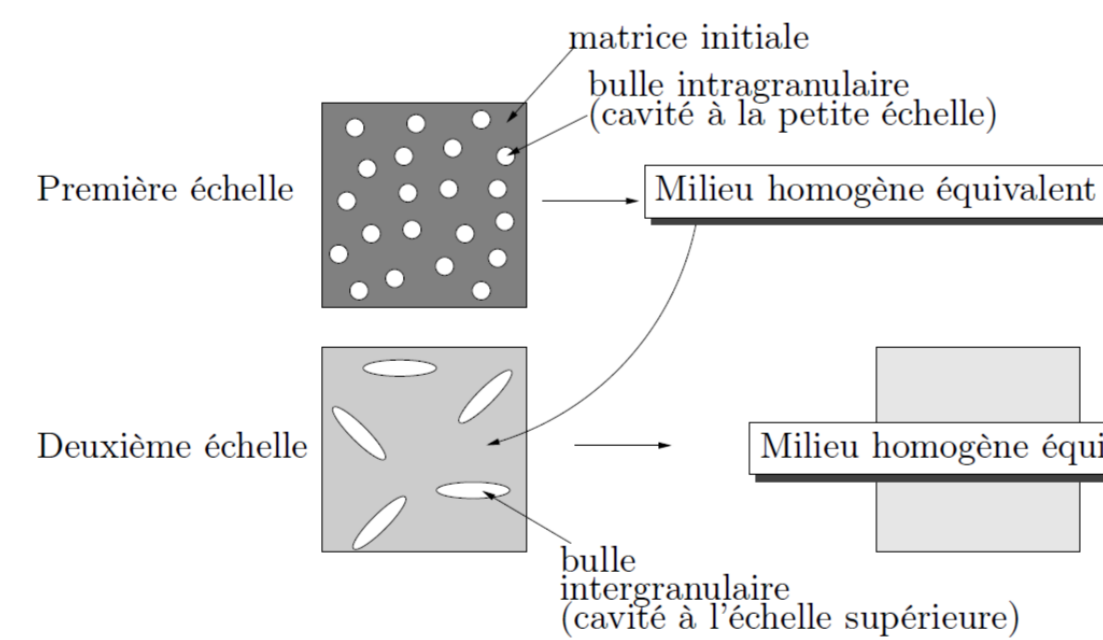
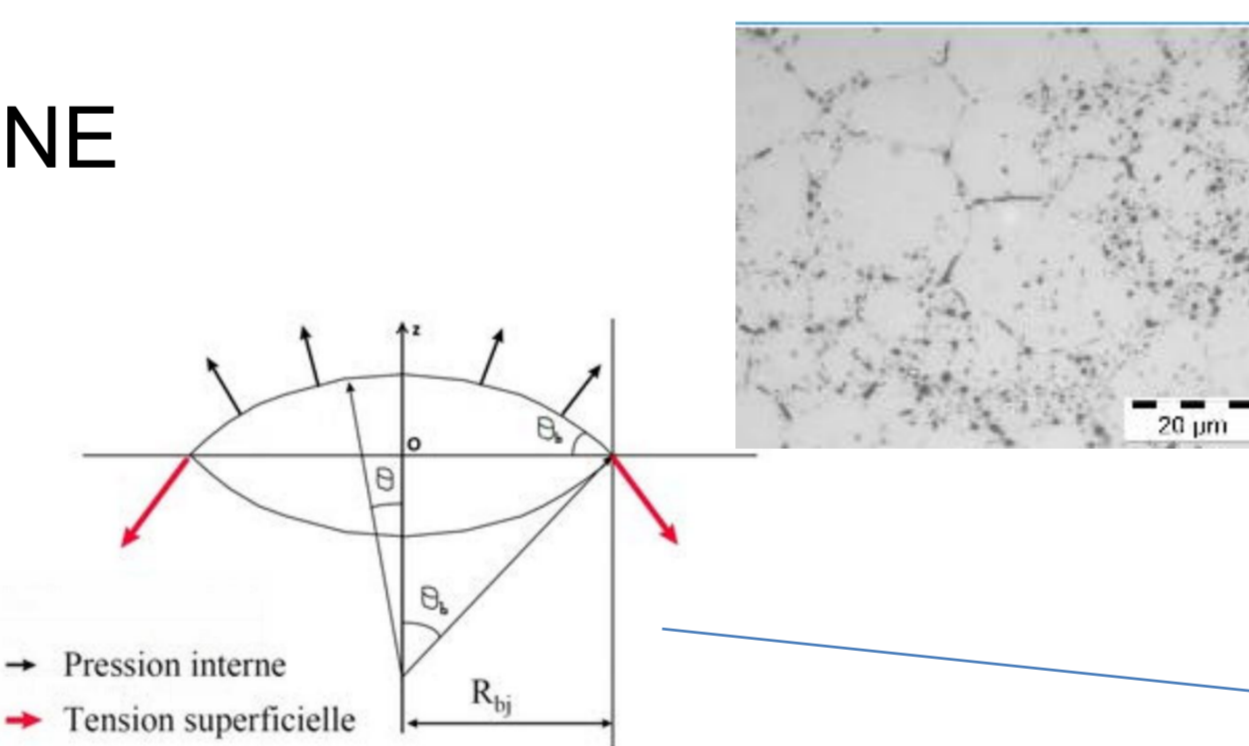
## Objectifs

La modélisation de la fragmentation du combustible dans ALCYONE reste à améliorer  
 Localisation et étendue des fragments (rôle des gaz de fission)  
 Effet système (déformation et rupture de la gaine)

Quelles sont les caractéristiques du combustible qui, associées aux conditions externes, conduisent à l'état de fragmentation observé expérimentalement lors d'un transitoire de type APRP ?

### Effet des gaz de fission sur la fragmentation du joint de grain

- Simulation de l'état initial du crayon avec ALCYONE et comparaison aux résultats expérimentaux disponibles (répartition, taille et pression dans les bulles de gaz)
- Détermination d'un critère de rupture du joint de grain
- Impact des bulles microscopiques (bulles intragranulaires et bulles intergranulaires) sur l'état de contrainte macroscopique par méthode d'homogénéisation



P.-G. Vincent - Modélisation micromécanique de la croissance et de la percolation de pores sous pression dans une matrice céramique à haute température - novembre 2007 - Thèse université Aix-Marseille (Laboratoire MIST)

Support : expériences dans les installations MEXIICO et MERARG → traitements thermiques avec pression hydrostatique imposée afin d'étudier les relâchements gazeux et la fragmentation

Simulation de traitements thermiques dédiés avec prise en compte du nouveau modèle

Modélisation proposée → Prédiction correcte des zones fragmentées et des relâchements de gaz associés

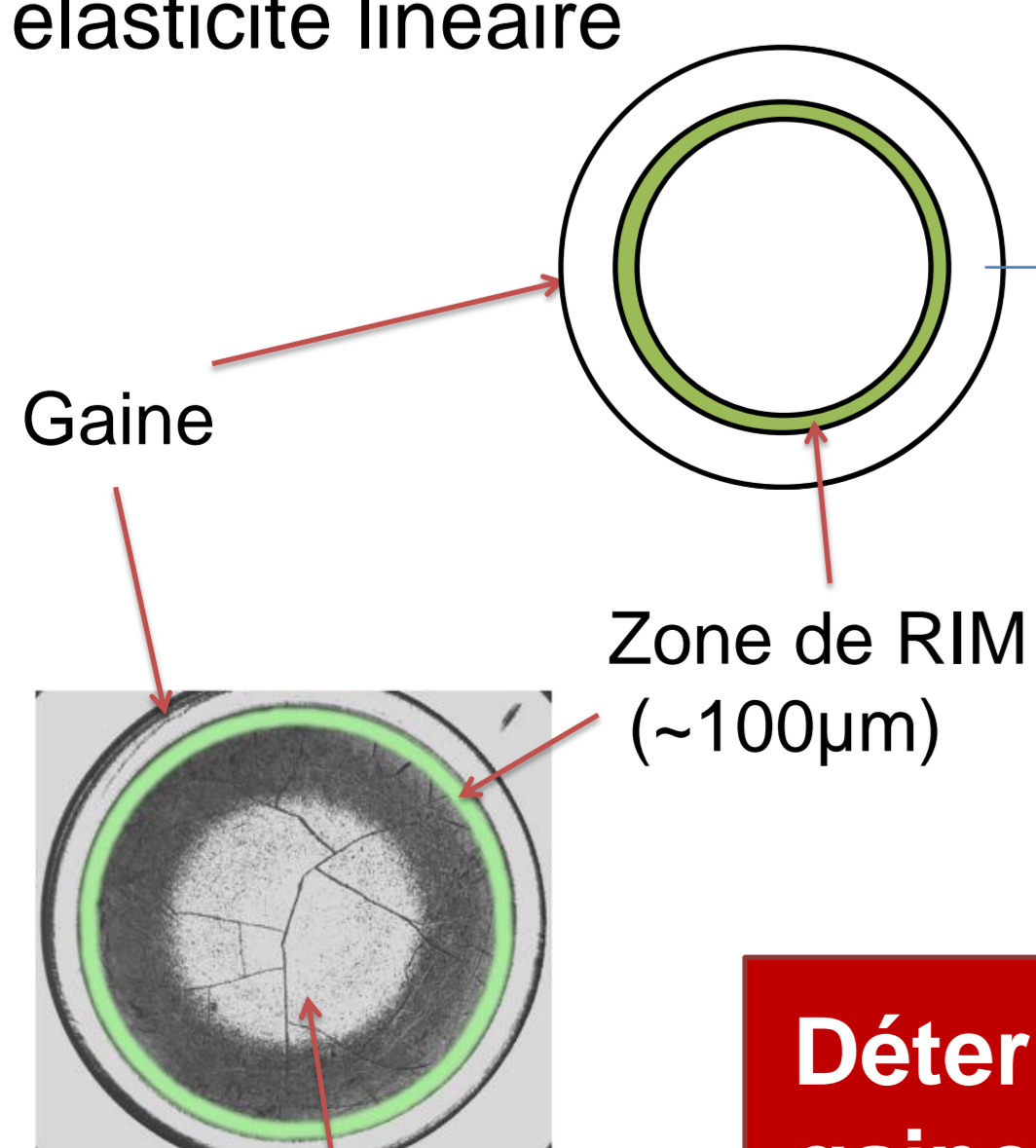
$$\sigma = C\epsilon - bp_b\delta$$

### Effet de la déformation de la gaine sur l'état de fragmentation du RIM

- Calcul en déformations planes généralisées, en axisymétrique, en élasticité linéaire

- Détermination de l'état de contrainte induit par la déformation de la gaine

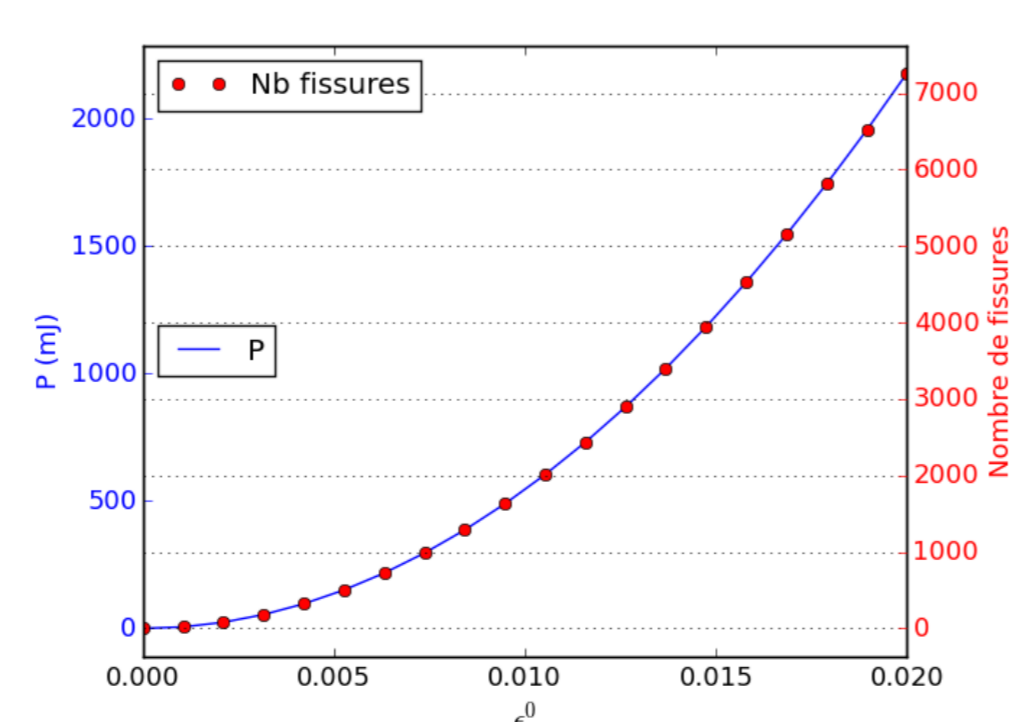
- Critère de Griffith



Déformation libre imposée dans la gaine représentant le ballonnement :

$$\epsilon^0 = \begin{pmatrix} \frac{1}{2}\epsilon^0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}\epsilon^0 & 0 \\ 0 & 0 & -\epsilon^0 \end{pmatrix}$$

Énergie potentielle et nombre de fissures fonction de la déformation de la gaine:



Détermination de la déformation de gaine nécessaire à la fragmentation totale du RIM

### Effet de la rupture de la gaine sur la surfragmentation du combustible

- Étude d'un milieu granulaire immergé dans un fluide en mouvement
- Loi d'endommagement décrivant le comportement fragile des fragments
- Détermination des paramètres aboutissant à une surfragmentation du combustible (pression interne, ténacité des fragments, taille de brèche)



L. Amarsid - Rhéologie des écoulements granulaires immergés dans un fluide visqueux - Juin 2016 - Thèse université Montpellier (Laboratoire MIST)

Calcul de la taille des nouveaux fragments et de leur relocalisation voire dispersion