

## Dynamique de fragmentation des pastilles de combustible en situations accidentelles

Génération et analyse d'une collection de fragments de combustible

Alexandre MARTIN, Frédéric DUBOIS, Farhang RADJAI, Yann MONERIE

Laboratoire de Mécanique et Génie Civil, UMR 5508 CNRS-Université Montpellier 2

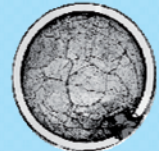
Laboratoire MIST, Micromécanique et Intégrité des Structures, IRSN - CNRS - UM2

### Contexte et Objectifs



Dans les centrales nucléaires actuelles, les crayons de combustible sont constitués de pastilles empilées dans une gaine cylindrique. Avant leur mise en réacteur, ces pastilles sont assimilables à un milieu continu. Lors de la vie en réacteur, elles se fissurent progressivement sous l'effet de différentes sollicitations (gradients thermiques et mécaniques, réactions chimiques, irradiation, etc) et un milieu fragmenté apparaît. L'analyse et la compréhension du comportement de ce milieu fragmenté est un enjeu fort de la maîtrise des conséquences d'éventuelles situations accidentelles (e.g. RIA, APRP) sur l'intégrité des réacteurs. En particulier, l'interaction combustible/caloporteur lors d'une rupture de gaine et la relocalisation du combustible lors d'un ballonnement de gaine doivent être étudiées en détail.

Les objectifs de ce travail sont: 1) Génération d'une collection réaliste de grains de combustible par **fragmentation des pastilles**. 2) **Analyse de la stabilité** du matériau fragmenté. Les fragments de combustible, confinés dans la gaine, constituent un milieu granulaire dense, à morphologie complexe. La morphologie d'un milieu granulaire n'est pas une donnée suffisante pour déterminer complètement son écoulement ; il faut lui adjoindre des conditions initiales supplémentaires : les forces de contact. Pour les obtenir, une simulation numérique de la **fissuration dynamique** de ce matériau est nécessaire.



Coupe d'un crayon de combustible après un RIA

### Fragmentation du combustible

**Objectif :** obtenir une collection de "grains" pour laquelle on connaît les conditions initiales (forces de contact), par transition d'un milieu continu à un milieu discret.

#### ➤ Traitement numérique du « milieu continu » :

- Le matériau (combustible) :
  - ✓ présente de fortes non linéarités
  - ✓ est soumis à un chargement multi-physique
  - ✓ présente des micro-fissures après quelques temps en réacteur
- Les caractéristiques intrinsèques du matériau et la nécessité d'utiliser des petits pas de temps amènent à choisir un intégrateur explicite pour la phase de fissuration.

modélisation à petits pas de temps

|           | stabilité                                                                 | coût                                   |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| implicite | inconditionnelle                                                          | boucle supplémentaire (Newton-Raphson) |
| explicite | Courant-Fredericks-Levy<br>$\Delta t \leq \Delta x \sqrt{\frac{\rho}{E}}$ | aucun                                  |

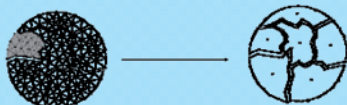
#### ➤ Transition milieu continu - milieu fracturé :

- Approche par zones cohésives frottantes



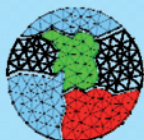
#### ➤ Transition milieu fracturé - milieu discret :

- Simplification de la représentation des grains pour faciliter l'étude de la stabilité



#### ■ Difficultés :

- ✓ Identification des fragments
- ✓ Simplification des frontières
- ✓ Écriture d'un critère pour définir quand a lieu le passage d'un groupe d'éléments finis à un nouvel élément discret



### Analyse de la stabilité

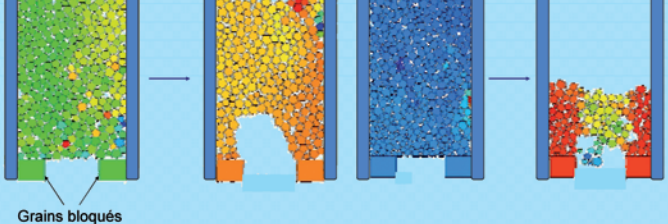
**Objectif :** étudier la stabilité d'un assemblage de grains polyédriques en fonction de sa morphologie, des conditions initiales (forces de contact), des chargements (dilatation thermique) et de la structure de confinement. Définir des indicateurs moyens pertinents.

#### ➤ Recherche des modes d'écoulement d'un assemblage de grains polyédriques par une méthode statistique :

- Motivations :
  - ✓ S'affranchir des erreurs commises lors de la génération de la collection (phénomènes négligés, erreurs numériques, etc)
  - ✓ Grande sensibilité de l'écoulement à la morphologie et aux conditions initiales

Grains de tailles quasi-homogènes: Formation d'un arc-boutement

Grains de tailles hétérogènes: Vidange de la colonne de grains



- Simulation réalisée avec la plate-forme X-Per: couplage de LMG90 (résolution du problème multi-corps), PELICANS (résolution éléments finis) et MatLib (gestion du chargement multi-physique)
  - ✓ méthode Non Smooth Contact Dynamics:
    - Dynamique non régulière basée sur une formulation en termes de mesures différentielles
    - Traitement implicite du contact

#### ➤ Développement d'une formulation co-rotationnelle:

- Motivation: obtenir un compromis entre rigide et déformable: déplacements de corps rigide importants avec petites déformations
- Principe: attacher un maillage éléments finis à un rigide
- Avantage: représentation plus riche qu'un rigide et moins coûteuse qu'un déformable en grandes transformations

Alexandre Martin, Farhang Radjai, Frédéric Dubois, Yann Monerie

## NOTES