



# **Modélisation numérique de la formation d'un lit débris dans un réacteur nucléaire**

Duc Hanh Nguyen

## **► To cite this version:**

Duc Hanh Nguyen. Modélisation numérique de la formation d'un lit débris dans un réacteur nucléaire. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. <hal-03444735>

**HAL Id: hal-03444735**

**<https://hal.science/hal-03444735v1>**

Submitted on 23 Nov 2021

**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.



HAL Authorization

# **Modélisation numérique de la formation d'un lit débris dans un réacteur nucléaire**

**DH. NGUYEN<sup>a</sup>, F. FICHOT<sup>a</sup>, F. PERALES<sup>a</sup>, F. RADJAI<sup>b</sup>, V. TOPIN<sup>a</sup>**

a. Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN), Pôle Sécurité Nucléaire, St Paul-  
Lez-Durance, 13115, France.

duc-hanh.nguyen@irsn.fr

b. Université de Montpellier, CNRS, LMGC, Place Eugène Bataillon, Montpellier, 34095,  
France

**Mots clefs : accident nucléaire, débris combustible, micro-structure,  
granulométrie surface spécifique**

**Résumé étendu :**

Dans un réacteur à eau sous pression, une absence prolongée de la circulation d'eau peut conduire progressivement à l'assèchement, à l'échauffement puis à une fragilisation mécanique et à l'oxydation des gaines des crayons combustibles. Si le refroidissement du cœur ne peut être rétabli, cela peut conduire à terme à une dégradation des crayons combustibles avec une fusion partielle des matériaux du cœur du réacteur. Pour parer à cette dernière éventualité, des systèmes de sécurité ont été spécialement conçus afin de réinjecter rapidement de l'eau dans la cuve (renoyage). Cependant, si le renoyage est une mesure qui peut ralentir voire arrêter la progression de la dégradation du cœur en cas d'accident, elle peut également conduire, à cause de divers effets liés à l'injection d'eau froide (augmentation de la pression dans la cuve par vaporisation de l'eau, choc thermique au niveau des crayons, oxydation des gaines), à l'effondrement des crayons de combustible fragilisés[1,2]. Dans l'éventualité d'un tel scénario, des fragments de combustible et de gaines se relocaliseraient alors dans le cœur et constitueraient un lit de débris dont la structure pourrait s'avérer très défavorable à la circulation du fluide de refroidissement. C'est ce qui a été observé lors de l'accident de Three Mile Island aux Etats-Unis. Étant donné les conditions extrêmes dans lesquelles se forment ces lits de débris, il existe peu d'informations qui permettent de les caractériser correctement. Une meilleure connaissance des propriétés de texture de ces lits, et en particulier de leur porosité, de leur perméabilité, et de leur surface spécifique est indispensable pour mieux évaluer l'efficacité d'un refroidissement par injection d'eau dans le cœur, ces grandeurs ayant une influence directe sur la pénétration de l'eau et sur les échanges de chaleur.

D'un point de vue purement granulaire, on sait que la porosité d'un milieu discret dépend fortement de la manière dont il a été généré, de la granulométrie ainsi que de la forme des particules. Cependant, peu d'études à ce jour ont permis de quantifier vraiment l'influence cumulée de ces trois paramètres sur les propriétés du milieu en dehors de configurations très spécifiques (ballast, gélules pharmaceutiques, etc) [3,4]. L'objectif principal de ce travail est d'étudier numériquement, sur la base d'un modèle discret de type dynamique des contacts, l'influence de la texture d'un lit de débris sur ses propriétés structurales. Il s'agit donc de re-crée « numériquement » un lit de débris représentatif d'un accident de réacteur nucléaire.

Les lits de débris étudiés sont composés de fragments de pastilles. Nous utilisons le logiciel LMGC90 pour simuler la formation de ces lits en faisant varier le degré de fragmentation des pastilles. Deux approches sont suivies pour générer des fragments : 1) l'approche d'Oguma, qui est une approche empirique issue d'observations sur la fragmentation des pastilles d'UO<sub>2</sub> en réacteur[5]; 2) la méthode de Voronoi, utilisée généralement pour le maillage, qui permet une meilleure maîtrise du degré de fragmentation. Les figures 1 a) et b) illustrent le résultat de ces deux méthodes de

fragmentation sur un cylindre. Les échantillons sont générés en déposant, sous l'effet de la gravité, des fragments disposés initialement aléatoirement sur un plan. Des conditions périodiques sont utilisées pour éviter les effets de bord. La figure 2 montre un exemple d'un échantillon obtenu avec une discrétisation par Voronoi.

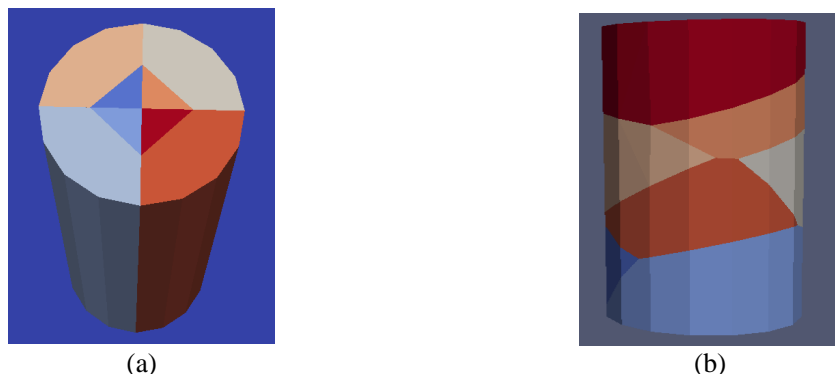


Figure 1 : Pastilles prédécoupées a) par diagramme d'Oguma, b) par diagramme de Voronoï

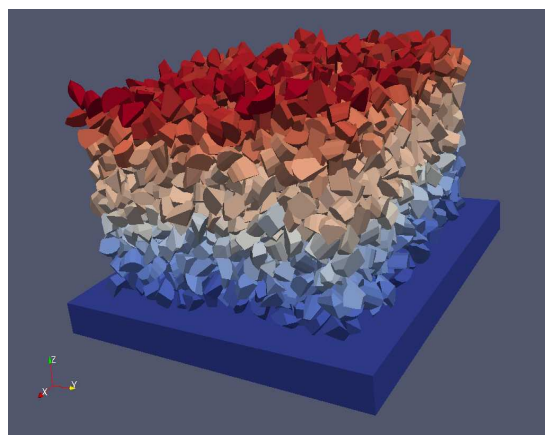


Figure 2 : Assemblage des fragments des pastilles

Les premiers résultats montrent que la compacité et la surface spécifique des lits augmentent avec le degré de fragmentation. L'étude des réseaux de contact a également permis de quantifier la part des contacts face-face qui contribuent à diminuer la surface spécifique. Des simulations en cours ont pour objectif d'étudier l'influence de l'étalement sur la granulométrie. Dans la suite de ce travail, il est prévu réaliser plusieurs échantillons réels représentatifs à l'aide d'une imprimante 3D afin de mesurer la perméabilité / perte de charge dans un dispositif expérimental existant à l'IRSN.

## Références

- [1] W. C. Müller, Review of debris bed in the TMI-2 accident. Nuclear Engineering and Design, 2006.
- [2] O. Coindreau, F. Fichot and J. Fleurot, Nuclear fuel rod fragmentation under accidental conditions, Nuclear Engineering and Design, 255, 2013.
- [3] E. Azéma, F. Radjai, G. Saussine, Quasistatic rheology, force transmission and fabric properties of a packing of irregular polyhedral particles. Mechanics of materials, 41, 2009.
- [4] CEGEO and al, Particle shape dependence in 2D granular media, A letter journal Exploring the Frontiers of Physics, 98, 2012.
- [5] M. Oguma. Cracking and relocation behaviour of nuclear fuel pellet during rise to power. Nuclear Engineering and Design, 76, 1983.