

Compréhension des mécanismes de déformations de la pastille des réacteurs rapides refroidis au sodium : analyse critique des résultats expérimentaux et modélisation

T. Helfer and M. Lainet

Novembre 2011

1 Contexte

La filière des réacteurs rapides refroidis au sodium et le code *germinal* 2.0

Les réacteurs rapides refroidis au sodium (RNR-Na), réacteurs dits de quatrième génération, connaissent actuellement un regain d'intérêt en France avec le programme de construction par le CEA d'un démonstrateur industriel nommé *Astrid*. Dans ce cadre, l'une des missions du Service d'Étude des Combustibles (SESC) est de proposer une conception et un dimensionnement des éléments combustibles de ce réacteur. Pour cela, le SESC développe, au sein d'une plate-forme informatique et numérique nommée *pleiades*, le code *germinal* 2.0.

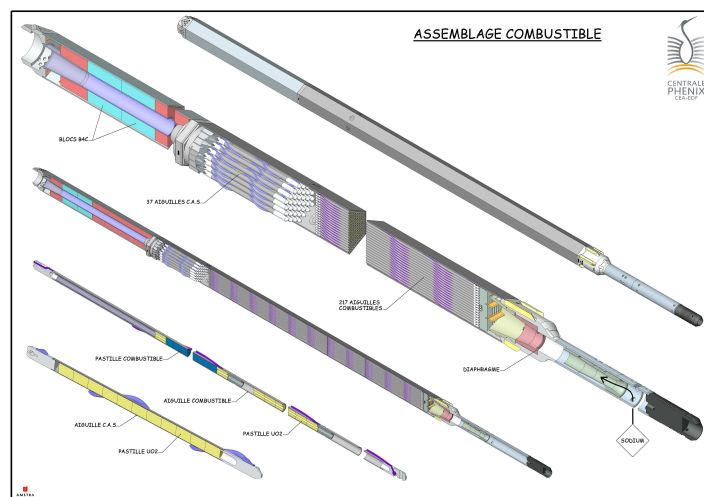


FIGURE 1 – Assemblage et aiguille combustible du réacteur rapide PHENIX.

1.1 L'aiguille combustible des RNR-Na

Le cœur des réacteurs rapides français est constitué d'un assemblage hexagonal contenant les éléments combustibles. Ceux-ci se présentent sous la forme d'un empilement de pastilles combustibles insérées dans une gaine de faible diamètre. De ce fait, ces éléments combustibles sont appelés « aiguilles combustibles ». Un schéma de principe de tels aiguilles et de leur assemblage est représenté en figure 1.

1.2 Comportement sous irradiation

D'un point de vue mécanique, la pastille subit de profonds changements au cours de l'irradiation en partie illustrés sur la figure 2 :

- au cours de la montée en puissance, la pastille se fissure sous l'effet des gradients thermiques et des fragments se forment ;

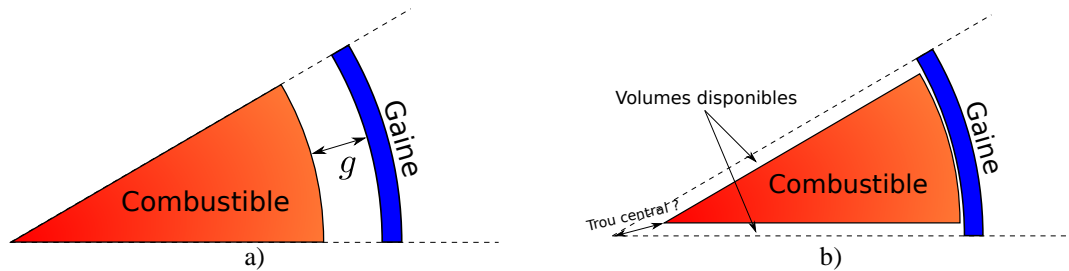


FIGURE 2 – Déformations d'un fragment de la pastille dans un plan perpendiculaire à l'axe du crayon. a) Avant délocalisation : illustration du jeu initial g b) Après délocalisation : illustration des volumes créés pour former un trou central et pour permettre l'écoulement du fragment.

- les fragments gonflent sous l'effet des réactions nucléaires (apparition de produits de fission dans le combustible qui perturbent le réseau cristallin) ;
- les fragments se délocalisent, conduisant à une réduction du rayon pastille-gaine. Cette délocalisation est modélisée par une déformation homogène dans le plan et sa cinétique pilote de nombreux phénomènes physico-chimiques ;
- dans les zones de températures élevées, il est observé après irradiation que le combustible a pris une forme annulaire. L'origine du « trou central », peut être expliqué par des phénomènes mécaniques ou par des phénomènes physico-chimiques (migration de porosité) ;
- le combustible et la gaine rentrent en contact. L'expérience montre que pour des niveaux d'irradiation suffisamment bas, le combustible ne déforme pas la gaine. Ceci s'explique par le fait que la fragmentation du combustible laisse des volumes libres dans lequel le combustible, fortement visqueux aux températures envisagées, peut s'écouler.

1.3 État de l'art

La phase de validation (comparaison entre les données expérimentales et les prédictions) du code `germinal` a démontré ses capacités prédictives. Elle a également mis en lumière des zones d'ombre, où notre compréhension des phénomènes physiques n'est que partielle. En particulier, une représentation fine des mécanismes de déformations de la pastille et de sa cinétique est encore à construire.

La formation du « trou central » et le comblement des vides résiduels sont en particulier l'objet d'interrogations qui ont conduit à ce stage.

2 Déroulement du stage

Le stage débutera par une phase d'analyse critique des grandeurs de validation du code `germinal` au regard des connaissances accumulées sur le comportement sous irradiation des combustibles de ces réacteurs, apportés essentiellement par l'exploitation des centrales `Rhapsodie`, `Phénix` et `Super-Phénix`. Une attention particulière devra être portée sur la discrimination des grandeurs effectivement observables de celles relevant d'une interprétation.

Le stage continuera en tentant de bâtir une représentation simple (en minimisant le nombre de phénomènes décrits) des mécanismes de déformations afin de consolider notre compréhension des phénomènes. Le code utilisé sera l'application de conception `licos`, également développé au sein de la plate-forme `pleiades`.

2.1 Dates et durée du stage

Le stage se déroulera en 2012 pour une durée a minima de 4 mois. Une durée de 6 mois est préférable.

2.2 Situation géographique

Le stage se déroulera sur le site du CEA Cadarache, à Saint Paul Lez Durance (Bouches du Rhône). Les stagiaires amenés à déménager pour se rapprocher du site peuvent prétendre à une aide au logement en plus de leur indemnité de stage.

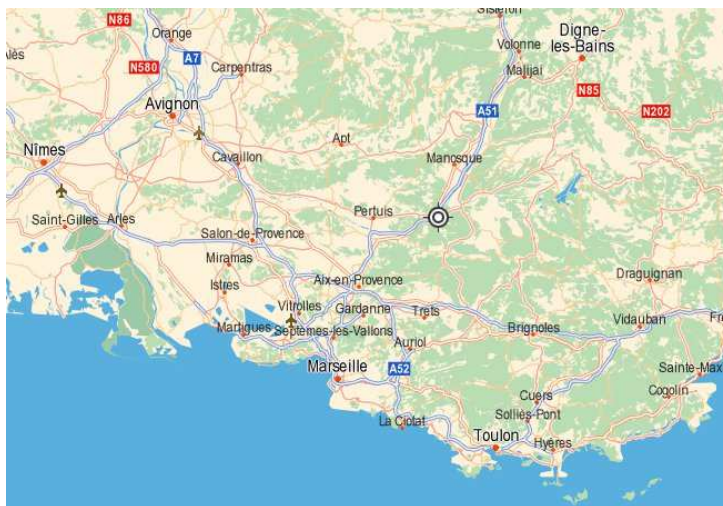


FIGURE 3 – Localisation du centre de Cadarache.

2.3 Contact

Les candidats intéressés peuvent contacter :

Thomas Helfer
CEA - Département de l'Énergie Nucléaire
CEA Cadarache - DEC/SESC/LSC
Bât. 151 pièce 31B
13108 Saint Paul lez Durance - FRANCE
thomas.helfer@cea.fr
Tél. : 04.42.25.22.67