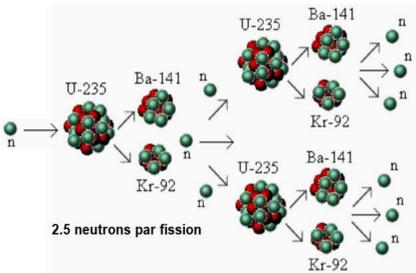


## Introduction

Après l'accident de Tchernobyl, en France et plus largement dans la communauté nucléaire mondiale, plusieurs recherches ont été élaborées, afin de tirer tous les enseignements de cette catastrophe. En effet, les codes de simulation restent un moyen efficace pour évaluer ou anticiper les accidents en matière de sûreté nucléaire. En se basant sur les anciens codes dans les années 70. L'organisme français, L'IRSN a développé depuis le début des années 90 le code SCANAIR (Système de Codes pour l'Analyse d'Accidents d'Insertion de Réactivité) pour simuler le comportement thermomécanique d'un crayon combustible dans un réacteur à eau sous pression (REP). Comment la simulation peut elle prévenir un accident de réactivité ?

## L'accident d'insertion de réactivité (RIA):



Facteur de multiplication effectif  $k$  c'est la grandeur caractéristique de l'état «neutronique» :

$$k = \frac{N_f(t+1)}{N_f(t)} = \frac{\text{Production}}{\text{Absorption} + \text{Fuite}}$$

Réactivité  $\rho$  :  $\rho = \frac{k-1}{k}$

- Si  $k < 1$  : le régime est sous-critique ; la réaction s'éteint.
- Si  $k = 1$  : le régime est critique ; c'est l'état d'équilibre dans un réacteur nucléaire (réaction maîtrisée).
- Si  $k > 1$  : le régime est sur-critique ; c'est l'état correspondant à un accident de criticité.

L'accident de réactivité (ou excursion de puissance) : augmentation incontrôlée de la réactivité dans un cœur qui résulte de l'éjection des grappes qui est due à la grande différence de pression entre la cuve et l'enveloppe [1].

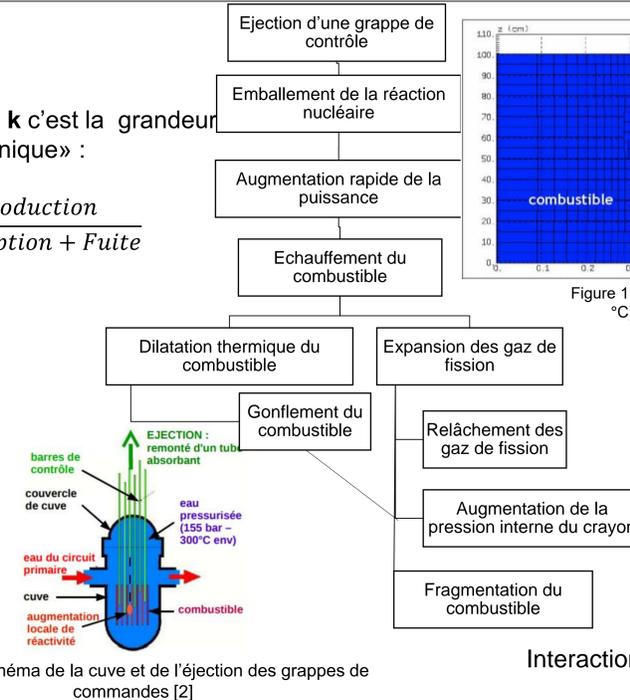


Figure 3 : Schéma de la cuve et de l'éjection des grappes de commandes [2]

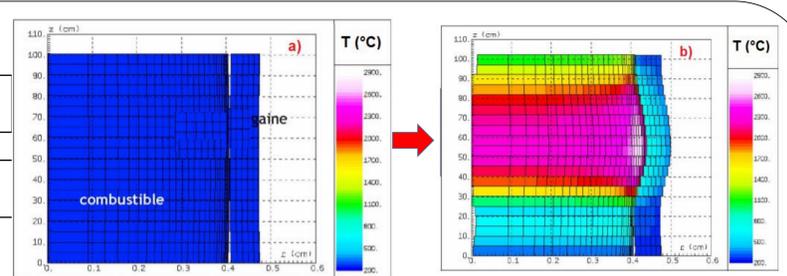


Figure 1 : Représentation du combustible et la gaine à l'état initial a) (à t=0 et T=280 °C) et à l'état après échauffement rapide b) (t=0,1s et T=2300 °C dans le combustible) [1]

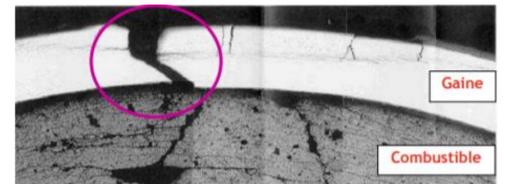


Figure 2 : Rupture d'un crayon combustible et de la gaine lors d'un essai dans le réacteur CABRI [3]

Interaction mécanique pastille - gaine → Risque de rupture

## Code SCANAIR :

Depuis le début des années 90, L'IRSN a développé le logiciel de sûreté SCANAIR afin de simuler le comportement d'un crayon combustible soumis à un RIA du début de l'insertion de puissance jusqu'à la rupture éventuelle de la gaine en prenant notamment en compte les phénomènes spécifiques au combustible irradié (fig. 4).

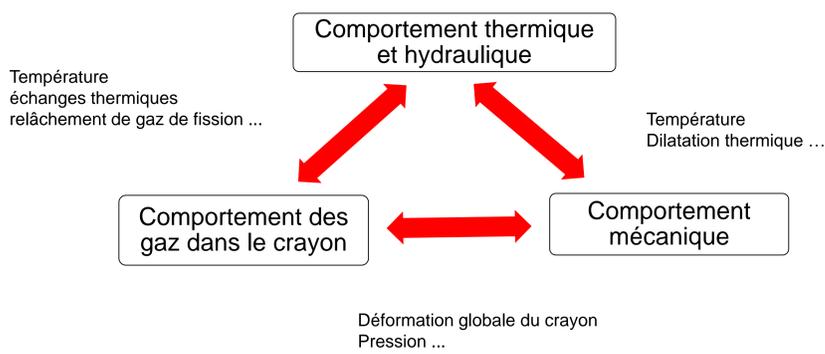


Figure 4 : Schéma simplifié du code SCANAIR

## Résultats

les critères de sûreté sont empiriques et établis à partir d'essais réalisés en réacteurs expérimentaux. Dans ce contexte, Voici quelques résultats de programmes de recherche développés par l'IRSN dans le réacteur de recherche CABRI à Cadarache.

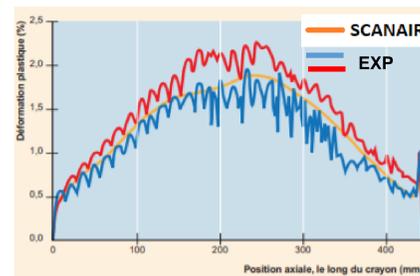


Figure 5 : Déformation d'un crayon combustible, lors d'un essai dans le réacteur CABRI et comparaison avec code SCANAIR [5]

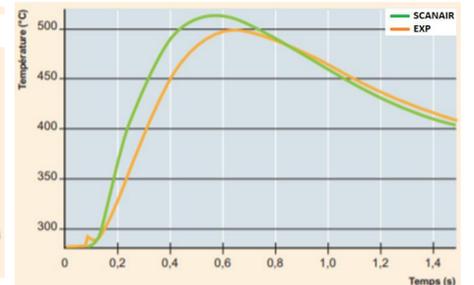


Figure 6 : Transitoire de température sur la face externe du crayon combustible lors d'un essai dans le réacteur CABRI et comparaison avec le code SCANAIR [5]

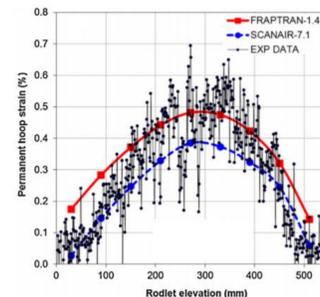


Figure 8 : Profil du diamètre extérieur lors d'un essai avec le réacteur CABRI, comparaison avec SCANAIR et FRAPTRAN [6]

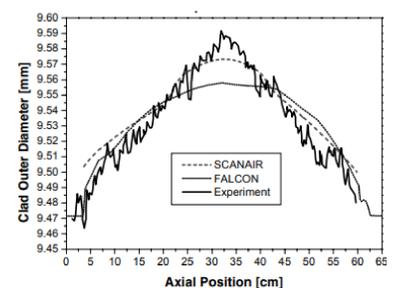


Figure 7 : Profil du diamètre extérieur lors d'un essai avec le réacteur CABRI, comparaison avec SCANAIR et FLACON

L'ensemble des observations a été confronté aux prédictions du code SCANAIR, qui calcule la thermique du système (évolution de la température, en fonction du temps dans le crayon et dans le caloporteur) (fig. 5), le comportement mécanique du crayon (déformations) (fig. 6, 7 et 8).

L'accord théorie-expérience est bon. Ces essais ont permis de mieux cerner les marges de résistance du combustible REP, vis-à-vis d'un transitoire de puissance.

## Conclusion

- Le code SCANAIR est un logiciel de sûreté validé par les expériences sur le réacteur CABRI.
- Il permet de simuler des accidents de réactivité, il modélise les interactions thermo-hydraulique, mécaniques et des gaz de fission entre les pastilles de combustible (UO<sub>2</sub>, MOX) et les gaines.
- Le code ne prend pas en compte l'interaction combustible-réfrigérant, après rupture de gaine [5].
- Il permet de contribuer à l'analyse de nouveaux critères de sûreté

## Bibliographie

- [1] Ribeiro F., IRSN, n.d. Codes Multiéchelles et sûreté Nucléaire : Cas du RIA
- [2] Bosso, E., 2015. Comportement du Zircaloy-4 recristallisé : identification du comportement anisotrope pour application à la situation d'accident de réactivité (Thèse de doctorat). 'École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris.
- [3] <https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/outils-scientifiques/Codes-de-calcul/Pages/logiciel-calcul-Scanair.aspx#.X85tss30IPY>
- [4] Micaelli, J.-C., 2017. Recherche en sûreté nucléaire - Plateformes expérimentales et logiciels. Techniques de l'ingénieur - Réf. : BN3836V1 " Énergies | Génie nucléaire "
- [5] CEA, n.d. Étudier les situations accidentelles " Les réacteurs nucléaires expérimentaux "
- [6] Sagrado, I.C., Herranz, L.E., 2014. Modeling RIA benchmark cases with FRAPTRAN and SCANAIR: A comparative exercise. Nuclear Engineering and Design. 150-162