

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Un accident spécifique aux réacteurs d'expérimentation : le BORAX

Présenté par Sophie PIGNET / Direction de la Sûreté
des Réacteurs

Journée scientifique - 06 novembre 2008



Système de management
de la qualité IRSN certifié

Plan de la présentation

1. Introduction : les réacteurs d'expérimentation et quelques éléments sur la démonstration de sûreté
2. Les travaux sur le BORAX à l'IRSN
3. Les adaptations du code SIMMER aux réacteurs d'expérimentation
4. La validation
 1. Analytique
 2. Intégrale : la base expérimentale - premiers résultats de simulation
5. Premières applications réacteurs
6. Conclusion

Introduction

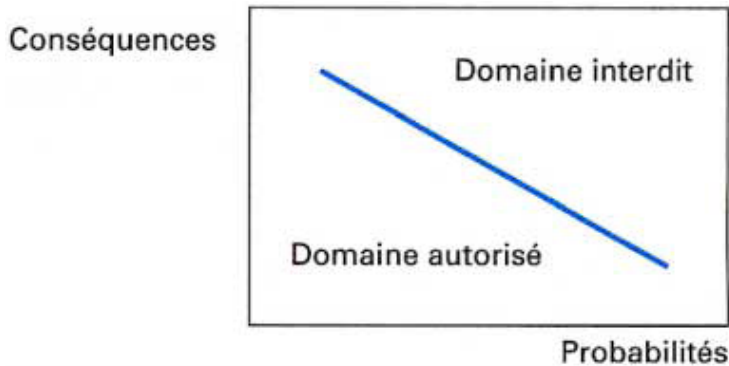


- **Les réacteurs d'expérimentation :**
 - Réacteurs nucléaires à neutrons thermiques
 - Le cœur du réacteur est situé dans une piscine d'eau légère qui assure le refroidissement du cœur et la modération des neutrons
 - Le combustible est sous forme de plaques constituées d'une gaine en aluminium et d'une âme à base d'aluminium contenant l'Uranium fissile.

- **Ce type de réacteur est utilisé par exemple pour tester le comportement de divers matériaux ou combustibles sous irradiation**

- **L'accident grave étudié, pour ce type de réacteur, est un accident de réactivité à caractère explosif appelé BORAX, il est pris en compte dans le dimensionnement**

Démarches de sûreté sur les réacteurs



- La démonstration de sûreté d'un réacteur repose en partie sur la classification des situations de fonctionnement en fonction de leur probabilité d'occurrence.
 - Le BORAX est un accident grave dont la probabilité d'occurrence est très faible ($<10^{-6}$ par an et par réacteur)
-
- L'initiateur est l'éjection d'une barre de commande, ce qui suppose la rupture du mécanisme de commande de la barre. **Toutes les mesures de prévention et de surveillance sont prises pour s'assurer de la tenue des mécanismes de commande.**
 - Néanmoins, il est pris en compte dans le dimensionnement de l'installation pour ne pas conduire à des rejets radioactifs dans l'environnement.
 - L'étude de l'accident (et en particulier sa simulation) permet de prédire les conséquences

Les travaux sur le BORAX à l'IRSN

OBJECTIF

Prédire les conséquences d'un accident de type BORAX



MOYENS

Adaptation/utilisation d'outils de simulation numérique



DEMARCHE SUR SIMMER

Adaptation
du code de calcul
SIMMER aux
réacteurs
expérimentaux



Validation
analytique



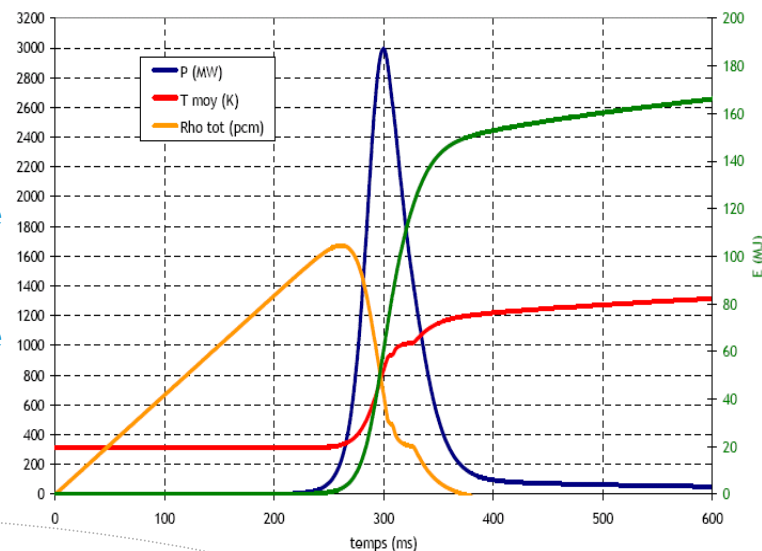
Validation sur des
cas intégraux



Application aux
cas réacteur

Phénoménologie

- Extraction rapide d'une barre de commande
- Insertion rapide de réactivité (réacteur prompt-critique)
- Augmentation rapide de puissance, puis baisse de puissance due aux contre-réactions
- Si la puissance est montée suffisamment haut, fusion de l'âme des plaques combustible
- Intéraction combustible-eau : explosion vapeur



Transitoire de puissance nucléaire

- injection de réactivité
- la distribution de puissance dans le cœur
- effet des contre-réactions

Dégradation du cœur

Thermohydraulique cœur + thermique combustible

- densité de l'eau
- température combustible

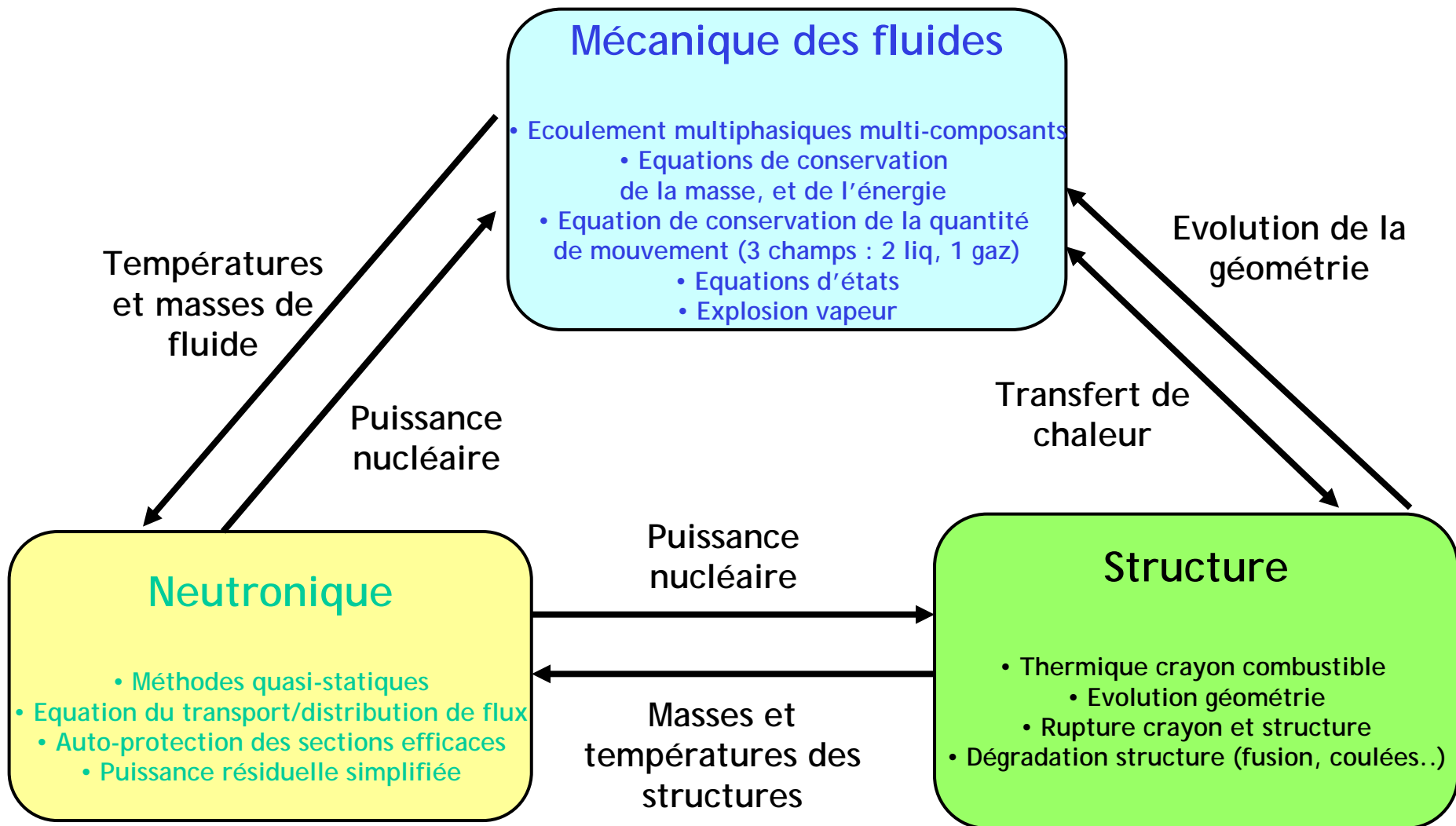
Chargement des structures (piscine + enceinte de confinement)

Interaction combustible-eau

SIMMER

IRSN

SIMMER III : code dédié aux accidents graves



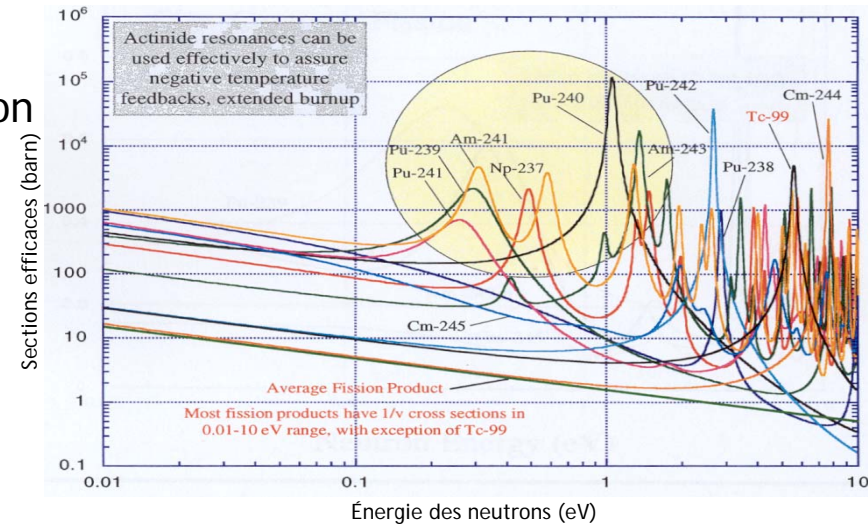
Adaptation de SIMMER pour l'étude du BORAX

- en collaboration avec FZK (Karlsruhe, Allemagne) -

■ Neutronique :

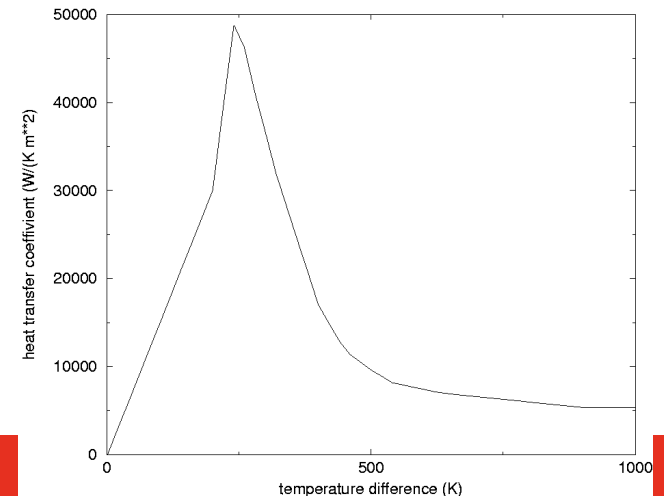
Prise en compte de coefficients de pondération des milieux pour tenir compte des hétérogénéités de la « cellule élémentaire » (modérateur + plaques combustible) et des résonances des sections efficaces sur toute la gamme d'énergie (2MeV jusqu'à 0.2eV).

Création des tables de coefficients pour les sections efficaces macroscopiques discrétisées en 40 groupes d'énergies



■ Thermohydraulique : modélisation des échanges paroi-eau en transitoire de puissance rapide (type RIA)

La courbe d'ébullition et les coefficients d'échanges ont été adaptés sur la base d'essais réalisés dans le réacteur japonais NSRR.



Validation analytique du code modifié

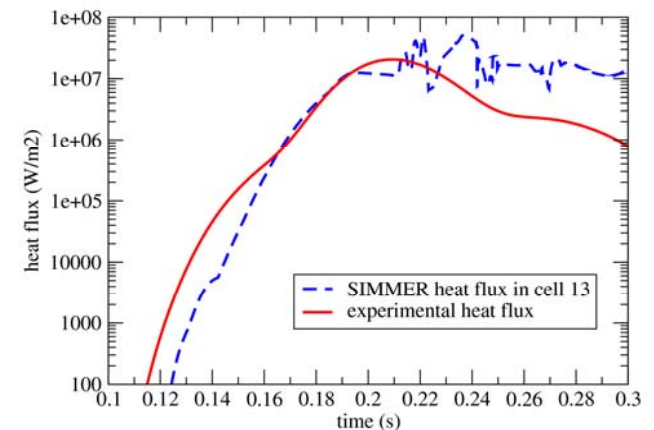
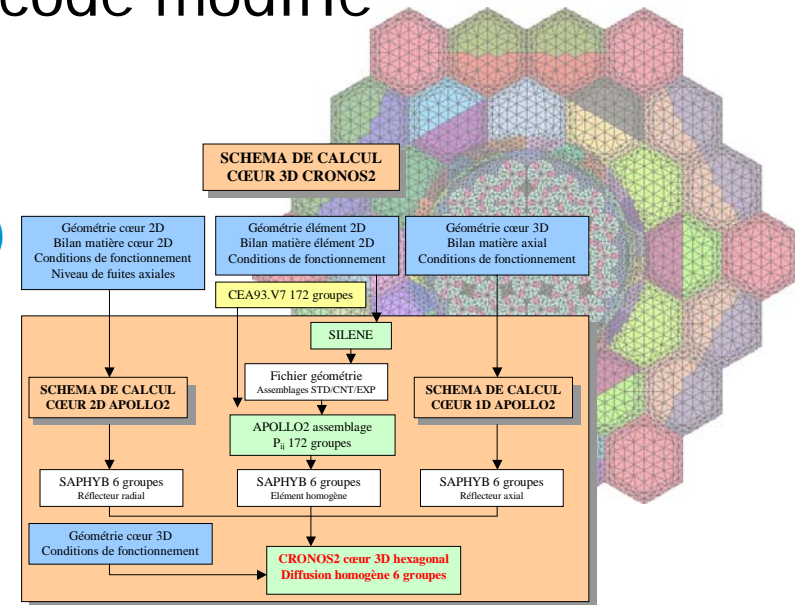
■ Neutronique : comparaison à un schéma de référence (en collaboration avec le CEA)

comparaison du schéma de référence (APOLLO2 + maillage de référence) à un schéma simplifié avec le même code

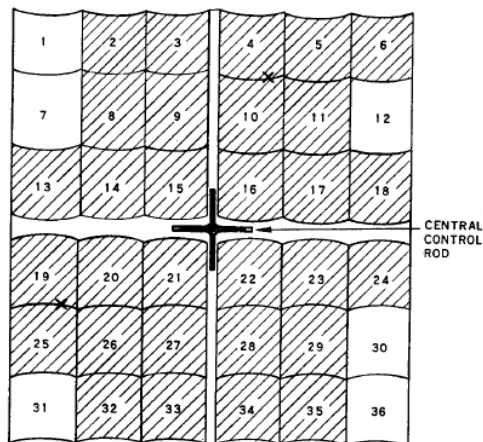
comparaison du schéma simplifié au calcul SIMMER

■ Thermohydraulique : validation sur l'expérience PATRICIA (en collaboration avec FZK)

Ce travail de validation a permis d'étudier le maillage nécessaire et cohérent avec l'algorithme de résolution de SIMMER



LA BASE EXPERIMENTALE (1): BORAX-I



X - INDICATES POSITION OF FOIL HOLDERS

- L'objectif est d'étudier les transitoires d'injection de réactivité et en particulier l'effet de la contre-réaction due à la vaporisation de l'eau
- 1953 : des essais d'injection de réactivité de plus en plus importante (jusqu'à 2100 pcm) ont fragilisé les plaques combustible du réacteur
- 1954 un dernier essai est programmé avec une injection de réactivité nettement plus importante (3960 pcm) qui devait conduire à :
 - Une injection d'énergie de 80 MJ
 - La fusion de 4% du combustible

- L'essai a généré une explosion qui a détruit le réacteur
- L'énergie injectée dans le combustible est estimée à 135 MJ
- Fusion d'une grande partie du cœur
- Pic de pression estimé à 700 bars



LA BASE EXPERIMENTALE (2): SPERT-I

54 essais ont été réalisés avec des injections de réactivité entre 1\$ et 3.5 \$ (période minimum de 4.6 ms) : résultats prévisibles, dégâts toujours réparables (3% cœur fondu), pas de pic violent de pression.

1 essai destructif programmé
objectif :

- Energie de 33 MJ
- Pic de puissance de 2.3 GW

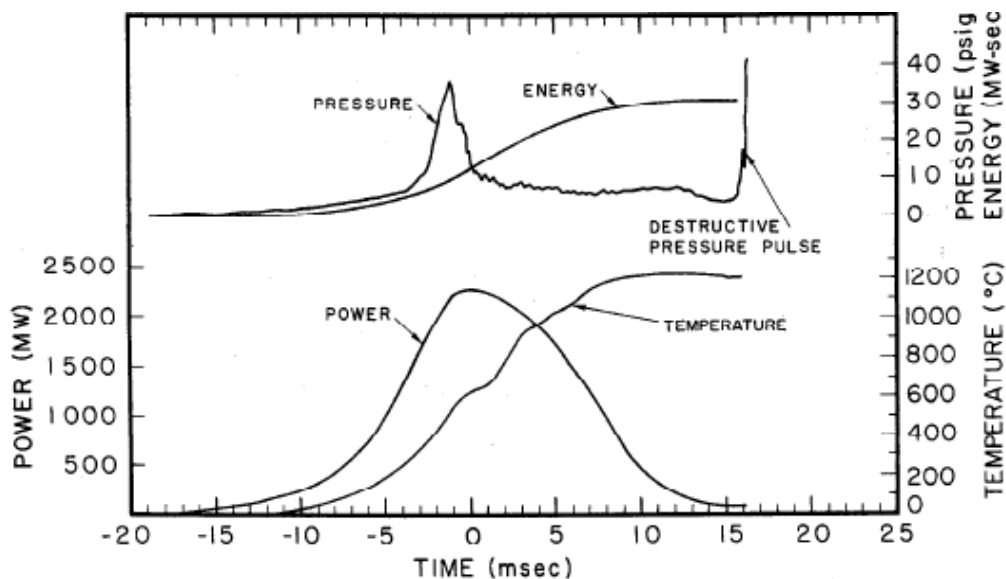
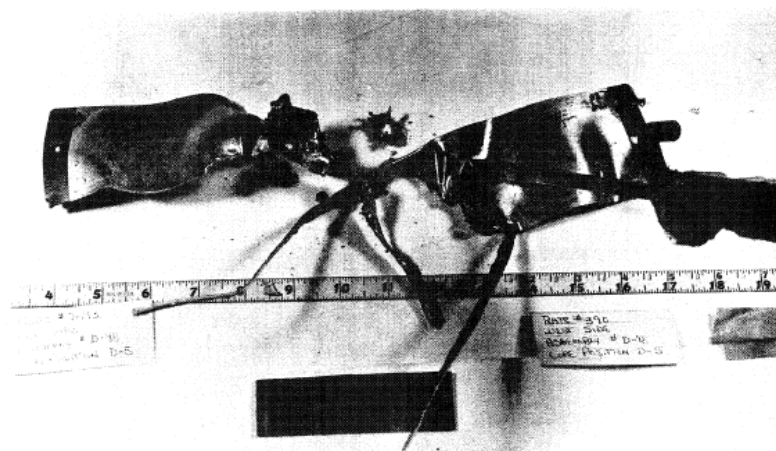


Fig. 40 Plot of data from Run 54, the destructive test.

Fig. 39 Fuel plate end fragments from assembly D8.



Résultats :

Une explosion s'est produite, et a conduit à la destruction du réacteur

Une gerbe d'eau a jailli hors du bâtiment réacteur

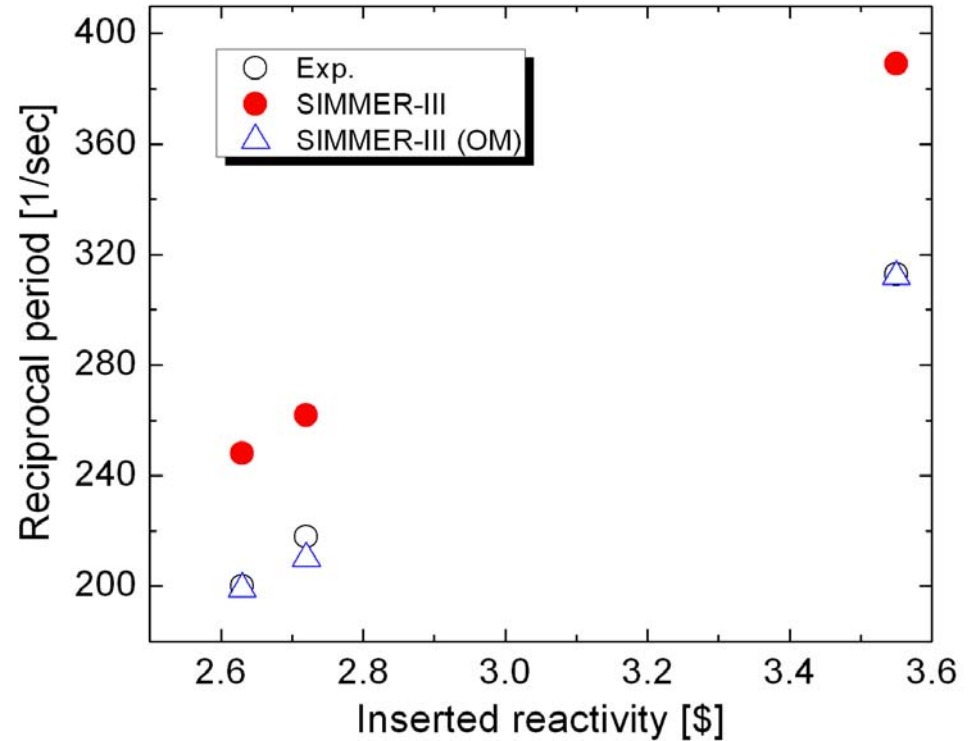
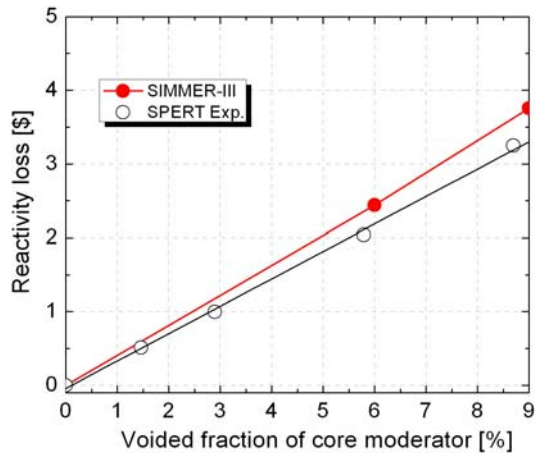
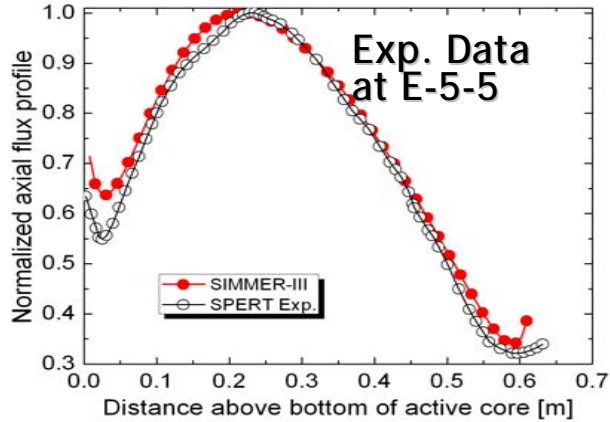
Injection d'énergie d'origine nucléaire dans le combustible a été d'environ 31 MJ

Pic de puissance : 2.3 GW

L'explosion s'est produite nettement après le pulse de puissance

Validation intégrale de SIMMER sur SPERT

- en collaboration avec FZK -

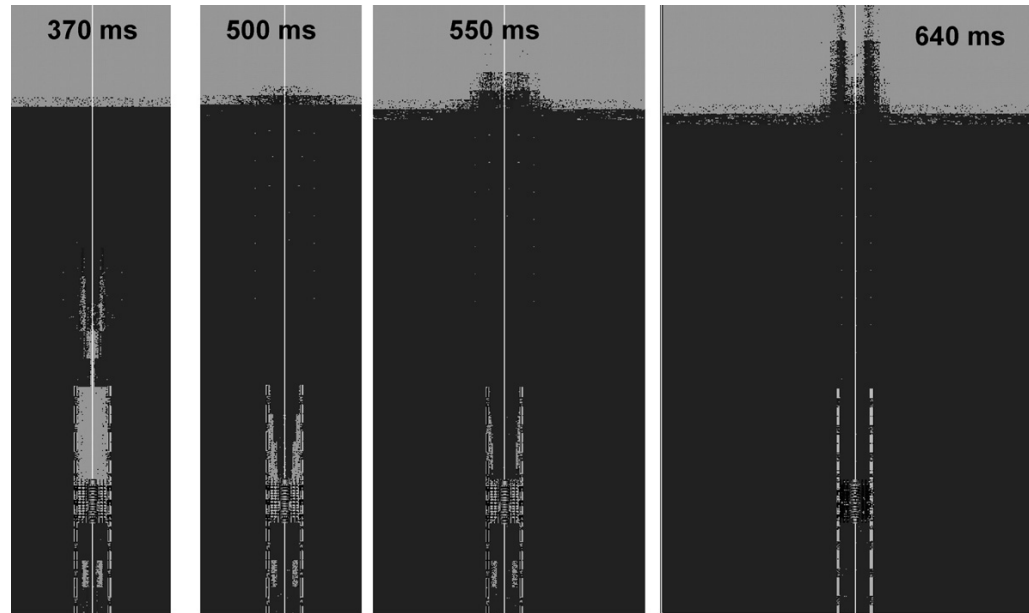
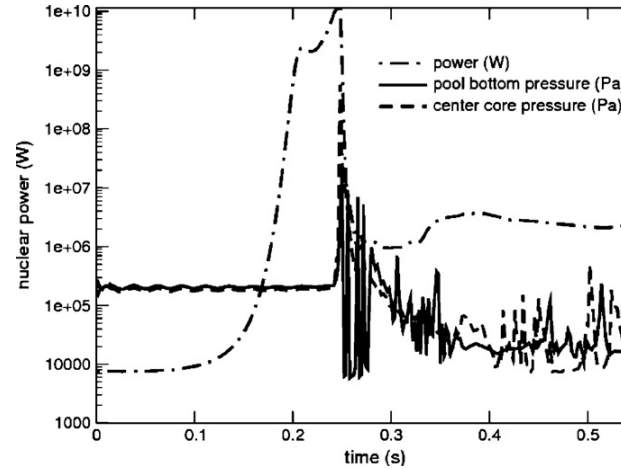
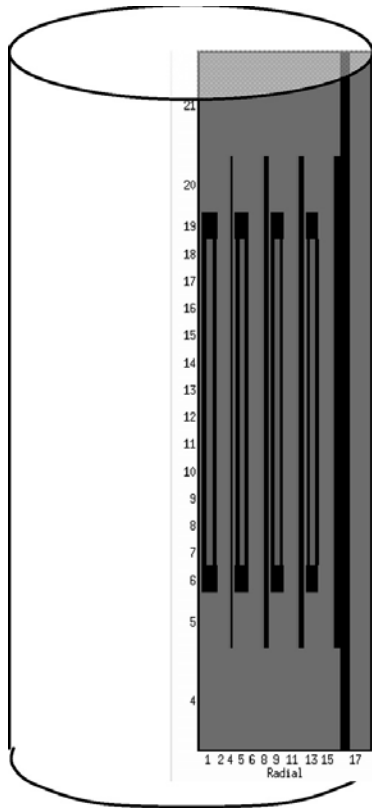


SIMMER-III: $\bar{\beta} = 841 pcm$ Fuel meat volume changes 0.095%/K

SIMMER-III (OM): $\bar{\beta} = 673 pcm$ Fuel meat volume changes 0.06%/K

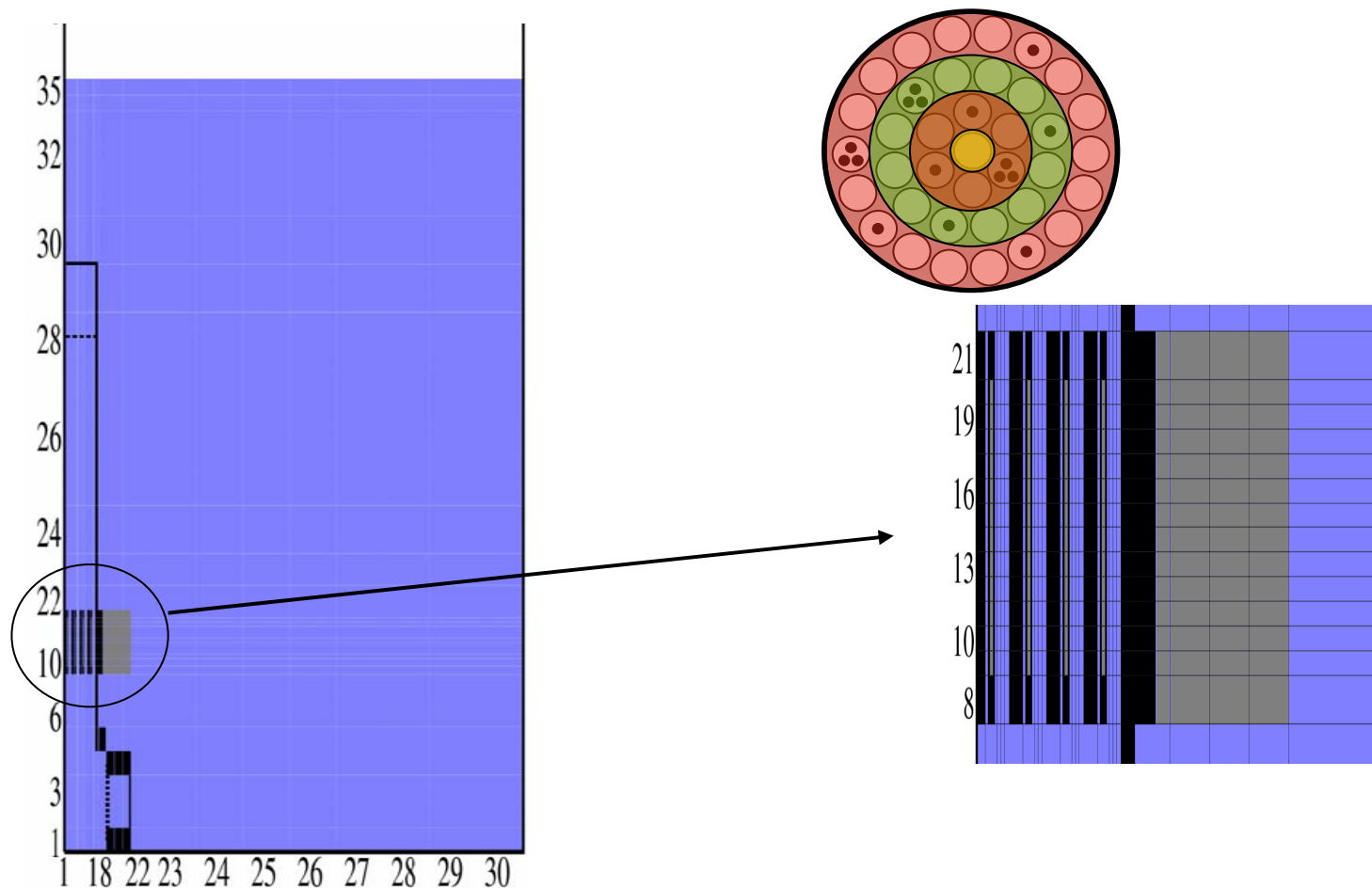
Premiers exemples d'applications réacteur

- **OSIRIS** : Étude de faisabilité sur le réacteur OSIRIS (Saclay)



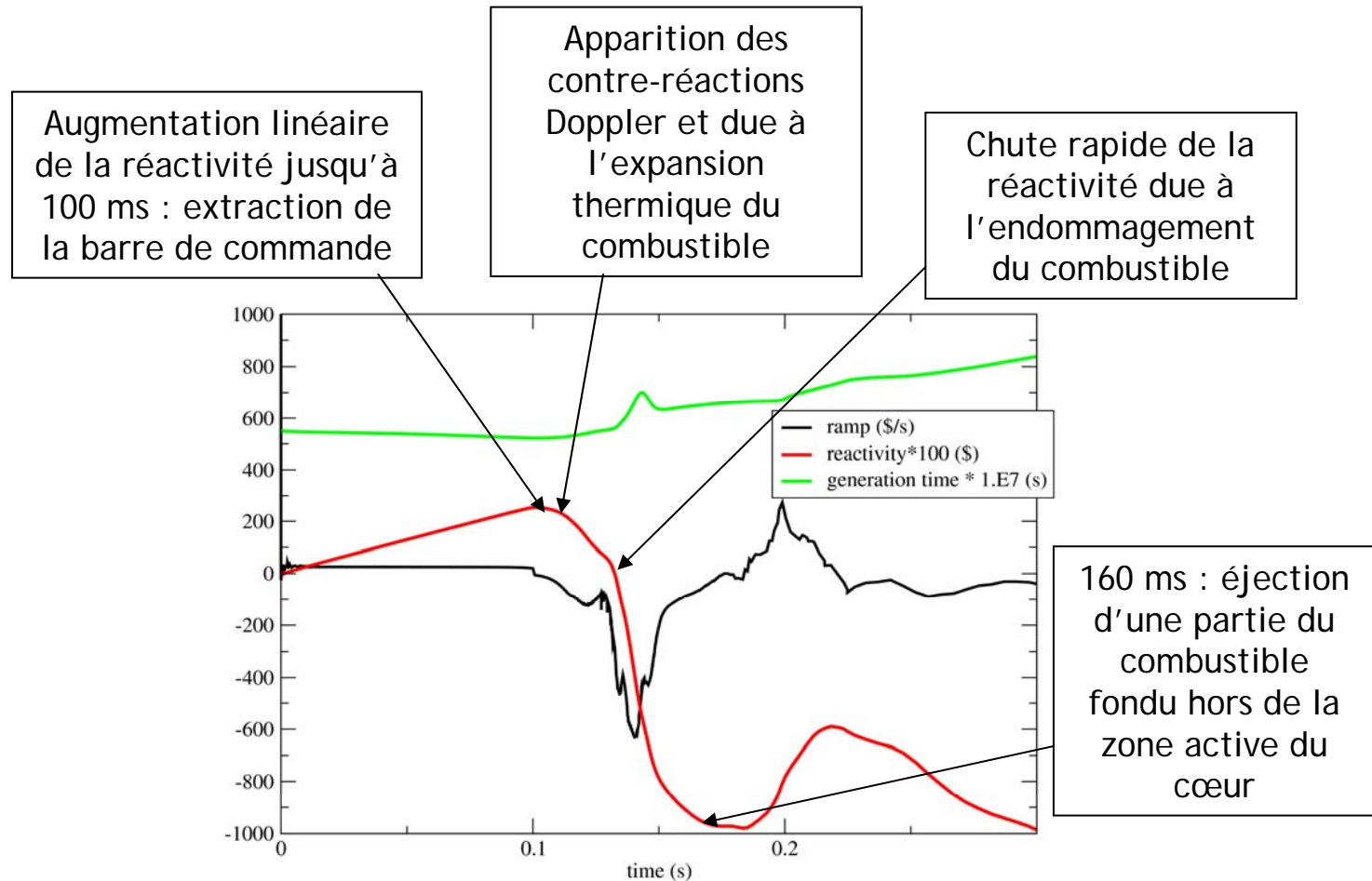
Premiers exemples d'applications réacteur

■ Modélisation du RJH (projet de réacteur d'irradiation à Cadarache)



Premiers exemples d'applications réacteur

■ RJH : premières tendances



CONCLUSION

- Le programme d'étude mis en œuvre par l'IRSN sur l'accident BORAX a pour objectif de prédire les conséquences d'un accident de type BORAX sur un réacteur d'expérimentation grâce à la simulation numérique.
- Un des enjeux majeurs de ce programme est lié aux interactions entre les différents phénomènes physiques. Pour cette raison, le code de calcul SIMMER a été modifié, un important travail de validation est en cours de finalisation, les premiers calculs sur des cas réacteurs sont prometteurs.
- Une échéance importante de ce programme est l'analyse de sûreté du réacteur RJH à l'occasion de l'examen par l'IRSN de son Rapport Provisoire de Sûreté en 2012

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Conclusion de la journée

Dominique Gobin, Directeur scientifique



Système de management
de la qualité IRSN certifié