

Validation de la fluence reçue par la cuve N. Thiollay

▶ To cite this version:

N. Thiollay. Validation de la fluence reçue par la cuve : Poursuivre le fonctionnement des réacteurs nucléaires après 40 ans. Journée Technique SFEN "Poursuivre le fonctionnement des réacteurs nucléaires après 40 ans", Nov 2019, Paris, France. cea-02614139

HAL Id: cea-02614139 https://cea.hal.science/cea-02614139

Submitted on 20 May 2020

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.





DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

Validation de la fluence reçue par la cuve

Poursuivre le fonctionnement des réacteurs nucléaires après 40 ans

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives - www.cea.fr

DEN/CAD/DER/SPESI - Nicolas THIOLLAY – Journée Technique SFEN du 27 novembre 2017

PLAN DE LA PRÉSENTATION

- Vieillissement des aciers de cuve
- Programme de Surveillance des effets de l'Irradiation
 - Capsules de surveillance
 - o Dosimétrie / Ajustement de spectre
 - Simulation
 - Hypothèses / Limitations
- Eléments de validation

Benchmarks (SAINT LAURENT B1 et NOGENT 2)
FLUOLE (1300 MWe) et FLUOLE-2 (900 & 1450 MWe)

VIEILLISSEMENT DES ACIERS DE CUVE

Evolution des propriétés de la cuve sous irradiation



- Confinement
- Non remplaçable
- θ et P
- Propriétés mécaniques (thermique, neutronique)
- Ténacité des matériaux
- Risque de rupture fragile brutale

Formule empirique de prédiction de la fragilisation basée sur des mesures



362 données sur des matériaux de référence 65 expériences en réacteurs de recherche $\Delta RT_{ndt} = f(\Phi_{>1MeV}, impuretés)$

PROGRAMME DE SURVEILLANCE DES EFFETS DE L'IRRADIATION



PROGRAMME DE SURVEILLANCE DES EFFETS DE L'IRRADIATION



Dosimètres et leurs gammes d'énergie

Dosimètre	Père	Réaction	Fils	Seuil	T1⁄2
Cobalt	⁵⁹ Co	(n,γ)	⁶⁰ Co	thermique	5,27 a
Cobalt/Cd	⁵⁹ Co	(n,γ)	⁶⁰ Co	>0,74 eV	5,27 a
Neptunium	²³⁷ Np	(n,f)	¹³⁷ Cs	575 keV	30 a
Niobium	⁹³ Nb	(n,n')	^{93m} Nb	1,2 MeV	16,1 a
Uranium	²³⁸ U	(n,f)	¹³⁷ Cs	1,4 MeV	30 a
Fer	⁵⁴ Fe	(n,p)	⁵⁴ Mn	2,7 MeV	312 ј
Nickel	⁵⁸ Ni	(n,p)	⁵⁸ Co	2,8 MeV	71 j
Cuivre	⁶³ Cu	(n,α)	⁶⁰ Co	6,1 MeV	5,27 a

Les dosimètres par activation sont pesés très précisément (incertitude ~ 0%) U et Np ~ 20 mg - AlCo 25 mg - Ni 130 mg - Fe 70mg - Cu 60 mg - **Nb 0.5 mg**

PROGRAMME DE SURVEILLANCE DES EFFETS DE L'IRRADIATION

La plate-forme MADERE (spectrométrie γ et X)



Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives - DEN/CAD/DER/SPESI

PROGRAMME DE SURVEILLANCE DES EFFETS DE L'IRRADIATION

Couverture spectrale

Spectre neutronique type à la capsule d'un REP 900

Champ d'action des dosimètres (effet de recouvrement/tuilage)



Simulation des irradiations de capsules

- Un calcul de référence Monte Carlo <u>par palier</u>

 Sources d'un chargement de référence
 Données technologiques
 Données nucléaires
- Un calcul de suivi de l'irradiation par tranche et par carte de puissance

 \circ Sources réelles

Un calcul de la fluence <u>par capsule</u>

 Activités des dosimètres
 Historique de puissance

Fondements de la simulation

Trois hypothèses essentielles

La forme du spectre neutronique à la capsule varie peu
Le spectre à la cuve diffère peu de celui à la capsule
La simulation à la cuve est aussi précise et convergée qu'à la capsule

Sources d'incertitudes à la cuve
 Evolution des sources du cœur
 Données technologiques

Nécessité de disposer d'éléments de validation



Evolution des sources neutroniques

- Benchmarks sur deux géométries de REP

 ST LAURENT B1 (900 MWe)
 NOGENT 2 (1300 MWe)
- Une unique campagne d'irradiation (env. 15 mois)
- Instrumentation dosimétrique
 - Capsule interne
 - Capsule externe
- Simulation de référence Monte Carlo avec sources réelles

Objectif : valider le recalage de la source de référence aux sources réelles

Données technologiques

- Expériences sur la maquette EOLE

 FLUOLE (1300 MWe) en 2006-2007
 FLUOLE-2 (900 et 1450 MWe) en 2014-2015
- Incertitude minimale sur les données technologiques

 Température contrôlée
 Compositions isotopiques maîtrisées
 Métrologie fine
- Instrumentation dosimétrique étoffée
 - Capsules de surveillance
 - Cuve du réacteur

Objectif : valider le transport neutronique Monte Carlo



Expérience FLUOLE : conception





Cea Eléments de Validation

Expérience FLUOLE : synthèse des mesures

- Instrumentation

 CF (puissance du cœur)
 Dosimètres à activation
- Emplacements

 Capsules de surveillance
 Entrée de cuve
- Source neutronique
 OUO₂









Expérience FLUOLE-2 : conception



- Instrumentation : CF (puis. du cœur) + dosimétrie
- Emplacements : Capsule + Entrée cuve + Sortie cuve
- Source neutronique : UOX + MOX



Expérience FLUOLE-2 : maquette sur mesure









Expérience FLUOLE-2 : configurations étudiées



Cea Eléments de Validation (résultats fluole)

Distribution des sources neutroniques (TRIPOLI-4[®] vs spectrométrie gamma)



Validation du calcul des sources neutroniques dans le coeur

C22 ELÉMENTS DE VALIDATION (RÉSULTATS FLUOLE)

Propagation des sources neutroniques (TRIPOLI-4[®] + DARWIN vs mesures d'activité MADERE)



Validation de la propagation des sources vers la capsule et la cuve

Ajustement du spectre neutronique calculé à partir des mesures d'activité : reduction de l'incertitude sur le spectre rapide

Cea Eléments de Validation (résultats fluole-2)

Distribution des sources neutroniques par TRIPOLI-4[®]



Analysis of hafnium configuration of FLUOLE-2 program, S. Bourganel, CEA/DANS/DM2S, RPSD 2018

Distribution des sources neutroniques (TRIPOLI-4[®] vs spectrométrie gamma)



Analysis of hafnium configuration of FLUOLE-2 program, S. Bourganel, CEA/DANS/DM2S, RPSD 2018

CEO ELÉMENTS DE VALIDATION (RÉSULTATS FLUOLE-2)

Propagation des sources neutroniques (TRIPOLI-4[®] + DARWIN vs mesures d'activité MADERE)

Bon accord pour les dosimètres du PSI (Ni, Fe, Co)

Bon accord pour la dosimétrie classique (Au, Ti, In)





Bon accord pour Al et Va, témoins des neutrons de haute énergie

Ecarts pour deux dosimètres prospectifs Sn (section efficace ⇒ <u>calcul</u>) Rh (données nucléaires ⇒ <u>mesure</u>)

Analysis of hafnium configuration of FLUOLE-2 program, S. Bourganel, CEA/DANS/DM2S, RPSD 2018

Cea Eléments de Validation (Synthèse Globale)

1300 MWe

Validation de la distribution en cœur des sources U Validation du transport de la source vers la capsule et la cuve

900 MWe et 1450 MWe

Validation de la distribution en cœur des sources U et Pu Validation du transport de la source vers la capsule et la cuve (entrée et sortie)

Validation de la réduction de flux rapide grâce aux crayons hafnium en périphérie du cœur



MERCI DE VOTRE ATTENTION

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives - <u>www.cea.fr</u> DEN/CAD/DER/SPESI