

2
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE SACLAY
Service de Documentation
F91191 GIF SUR YVETTE CEDEX

CEA-CONF - -8001

R1

QUALIFICATION DANS MELUSINE DE L'EVOLUTION NEUTRONIQUE
DE COMBUSTIBLES DE LA FILIERE A EAU LEGERE

D. BERETZ
J. GARCIN
G. DUCROS
D. VANHUMBEECK

Service des Piles
Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble
85 X - 38041 GRENOBLE Cedex
France.

P. CHAUCHEPRAT

Laboratoire de Physique des Réacteurs
à Eau.
Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache
B.P. 1- 13115 St. PAUL LEZ DURANCE.
France

Communication présentée à : 5. ASTM-EURATOM symposium on reactor dosimetry
Geesthacht (Germany, FR)
24-28 Sep 1984

QUALIFICATION DANS MELUSINE DE L'EVOLUTION NEUTRONIQUE
DE COMBUSTIBLES DE LA FILIERE A EAU LEGERE.

D.BERETZ - J.GARCIN - G.DUCROS - D.VANHUMBEECK
Service des Piles. Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble.
85 X - 38041 GRENOBLE Cedex - France.

P.CHAUCHEPRAT
Laboratoire de Physique des Réacteurs à eau.
B.P. 1 - 13115 SAINT PAUL LEZ DURANCE. France

ABSTRACT

MELUSINE, a swimming pool type reactor, in Grenoble, for research and technological irradiations is well fitted to the neutronic evolution qualification of the LWR fuel. Several configurations have been projected for this purpose. In one of them, the experimental fuel assembly is inserted in the core itself. Thus, with an adjustment of the lattice pitch, representative neutron spectrum locations are available. The re-loading management and the regulation mode flexibility of MELUSINE lead to reproducible neutronic parameters configurations without restricting the reactor to this purpose only. Under these conditions, simple calculations can be carried out for interpretation, without taking into account the whole core. An instrumentation by Self Power Neutron Detectors (collectrons) gives on-line information on the fluxes at the periphery of the device. When required by the neutronicians, experimental pins can be unloaded during the irradiation process and scanned on a gammametry bench immersed in the reactor-pool itself, before their isotopic composition analysis. Thus, within the framework of neutronic evolution qualification, are studied fuel pins for advanced assemblies for the light water reactors or their derivatives, with large advantages over irradiations in power reactors.

I-INTRODUCTION.

La qualification de l'évolution neutronique de combustibles nouveaux, pour les réacteurs à eau sous pression (REP) demande l'irradiation prolongée d'expériences calculables, dans des conditions représentatives de la filière. De telles expériences dans les réacteurs de puissance manquent de souplesse. MELUSINE, réacteur de recherche et d'irradiation de type piscine (CEA - Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble) a des atouts qui lui permettent de mener à bien ce genre d'irradiations sans pour autant spécialiser le réacteur à ce seul usage. Ils sont basés sur l'adaptabilité du réacteur et sur l'instrumentation qui peut être associée à l'expérience. De ce fait, les calculs d'interprétation peuvent être relativement simples. Après une brève description du réacteur et de l'instrumentation associée, on illustrera, avec l'exemple de l'expérience GEDEON, les qualités du processus de qualification.

II-LE REACTEUR MELUSINE

II-1 Description.

MELUSINE est une pile de type piscine, à combustible MTR enrichi à 93% en ^{235}U . Irradiations technologiques et pour la recherche fondamentale font partie de ses missions : production de radioéléments, dopage de silicium, irradiation d'aciers, d'échantillons instrumentés, production de faisceaux sortis de neutrons (diffusion neutronique, neutronographie..). Les flux atteints sont de l'ordre de $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ et permettent d'atteindre les objectifs fixés. MELUSINE est complémentaire d'une pile voisine, de même type, SILOE, conçue pour atteindre des flux plus élevés et irradier, tant dans son coeur que dans son réflecteur (H_2O), des dispositifs complexes.

Le contrôle du coeur de MELUSINE est réalisé à l'aide de barres fourchettes en hafnium. La réfrigération forcée est de circulation descendante. Un surplus de débit primaire existant par rapport au strict nécessaire pour la réfrigération des éléments MTR, et un mode de fonctionnement souple, typiquement en cycles continus de 23 à 30 jours permettent l'irradiation de grappes de crayons combustibles occupant l'emplacement de un à neuf éléments (seize éléments moyennant quelques modifications, à faible coût, du circuit primaire), sans nécessiter de boucle de réfrigération spéciale.

II-2 Adaptation des configurations du coeur.

Le coeur de MELUSINE est adaptable aux besoins de ce type d'irradiation, tout en étant compatible avec les autres missions. L'étude de la configuration se fait selon le schéma suivant :

(i) choix, à priori, d'une géométrie répondant aux exigences de l'expérience et du réacteur (fonctionnement, sécurité,

autres irradiations).

(ii) calcul des constantes neutroniques des différents milieux par le code APOLLO /1/ : pour l'assemblage, calcul multicellule (1 cellule par crayon) ; les paramètres des éléments MTR sont tirés de calculs d'évolution jusqu'aux taux de combustion convenables.

(iii) les paramètres sont introduits, avec une description fine du coeur, dans le code NEPTUNE (code de diffusion) /2/ qui fournit : la puissance dégagée dans les crayons MTR, l'efficacité des barres de contrôle, les pics de puissance des éléments MTR, le flux en tous points du coeur et du réflecteur.

30.	30.	31.	30.	30.	30.
30.	30.	31.	30.	30.	31.
30.	0.	GEDEON		0.	31.
30.	0.	GEDEON		0.	30.
	10.	10.	0.	11.	0.
	0.	30.	30.		

x : Taux de combustion (%)

Figure 1 : configuration du coeur de MELUSINE avec l'expérience GEDEON

L'analyse de ces résultats, confrontés aux exigences de départ, permet éventuellement d'affiner la configuration : on itère alors le calcul. Pour l'expérience GEDEON /3/ était recherchée la meilleure uniformité possible de la nappe de flux : pour cela, le dispositif a été placé au centre même du coeur (figure 1). Les pics de puissance dans les éléments MTR ne sont pas majorés par rapport à un coeur compact. Les flux dans les canaux et dans le réflecteur sont peu diminués.

II-3 Stabilité et reproductibilité des flux.

Le coeur est calculé à l'équilibre : il est donc reproductible à chaque rechargement, et de ce fait la configuration neutronique également. Le niveau de puissance obtenu dans l'assemblage (figure 2) est proche de celui de la filière (170 Wcm^{-1} en moyenne dans un REP 900 MWe). Le pilotage, par cinq barres, a été adapté de façon à maintenir constante la répartition de la nappe de flux : trois d'entre elles servent à la compensation xenon et d'usure du combustible. Elles sont gérées en simili-rideau à partir de mesures de flux thermique en périphérie du dispositif (Cf § III-2).

III-EXEMPLE DE DISPOSITIF ET INSTRUMENTATION ASSOCIEE.

III-1 Dispositif

Les dispositifs d'irradiation de grappes combustibles peuvent être divers. Nous décrivons dans ce paragraphe celui qui a

été optimisé pour l'expérience GEDEON. Le boîtier qui maintient l'assemblage est conçu pour adapter la géométrie du dispositif au pas du réseau nourricier. La puissance est évacuée par l'eau du primaire. L'expérience occupe l'emplacement de quatre assemblages nourriciers (figure 1). Il comporte 161 crayons UO_2 enrichis à 3,25% en ^{235}U et 4 $UO_2-Gd_2O_3$ /4/, d'une hauteur de 496 mm. Ces derniers sont disposés de manière à rendre indépendantes leurs évolutions vis-à-vis (i) des autres crayons $UO_2-Gd_2O_3$, (ii) des variations éventuelles du spectre nourricier. La température de l'eau dans le coeur de MELUSINE étant proche de l'ambiante, le pas du réseau a été choisi de façon à retrouver le rapport de modération des REP. En vue de mesures par spectrométrie gamma, 29 crayons sont extrayables sans démontage de la grappe ; un crayon amovible supplémentaire est instrumenté en température et sert aux essais de démarrage.

III-2 Instrumentation associée.

Sur le boîtier du dispositif sont disposés douze collectrons au rhodium /6/ en trois nappes horizontales. On en tire, en continu pendant l'irradiation les flux en périphérie de l'expérience ; ceux-ci permettent d'ajuster le mouvement des barres pour conserver la répartition de puissance dans l'assemblage.

Le programme expérimental, défini par les neutroniciens, prévoit l'examen de certains crayons, par scrutation gamma, au cours de l'irradiation. Pour cela, après arrêt du réacteur, les crayons concernés, extraits de l'assemblage, sont transportés sous la protection biologique de l'eau, jusque sur le banc de mesures immergé, où l'examen débute quelques heures après la sortie du coeur. Aussitôt après les mesures, l'irradiation peut reprendre. Un pré-dépouillement partiel, "en ligne", des résultats permet de déceler des anomalies éventuelles. Le banc de scrutation permet de déplacer le râtelier (conçu pour une parfaite reproductibilité de positionnement des crayons), de façon automatique devant un système de collimation traversant le mur de la piscine (verticalement, précision de 0,1 mm pour une course de 700 mm, horizontalement précision de 0,01 mm). Le système de collimation interchangeable

	130	130	131	131	130	130	130	130	130	130	130	
130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
130	130	117	108	110	112	105	107	110	112	100	100	104
107	107	100	87	100	100	107	104	110	87	110	100	100
130	130	110	100	110	107	100	100	117	110	100	100	100
104	100	107	107	100	100	100	107	107	100	100	100	100
130	104	100	100	104	100	100	100	107	100	100	100	100
107	100	100	110	107	100	100	100	100	100	100	100	100
104	100	100	100	110	107	100	100	110	110	110	100	100
107	107	104	100	100	100	100	107	100	110	100	100	100
107	100	110	100	110	122	107	100	110	107	110	100	100
130	131	100	100	107	100	107	107	100	100	100	100	100
100	107	107	107	107	107	100	100	100	100	100	100	100

Figure 2 : puissance de fission ($W.cm^{-1}$) dans GEDEON au plan médian (1 cellule par crayon)

et très reproductible est associé à une chaîne de spectrométrie gamma utilisant un détecteur Ge(HP). Cet ensemble offre une dynamique de comptage de l'ordre de 10^5 , autorisant aussi bien le contrôle de combustible frais très actifs que la mesure sur des crayons peu actifs (par exemple, combustible empoisonné ou peu irradié).

Cette méthode permet, par la mesure quantitative des produits de fission de période s'étalant de quelques heures à plusieurs dizaines d'années, d'accéder à des résultats variés : distribution axiales et radiales dans le combustible, analyse des migrations, analyse tomographique, mesure de la puissance dégagée et du taux de combustion.

IV-DES SITUATIONS CALCULABLES ET INTERPRETABLES.

IV-1 Calculs.

Les expériences sont conçues dès l'origine avec un double objectif : une représentativité neutronique la plus fidèle possible, une interprétation précise à l'aide de calcul relativement simples. Des mesures expérimentales, notamment en début de vie, peuvent permettre d'ajuster les paramètres d'un calcul neutronique performant adapté au problème. Une procédure d'évolution plus simple, compatible avec les moyens informatiques et d'un coût raisonnable, peut être ensuite définie si nécessaire. Les résultats au temps zéro sont comparés au calcul précédent.

Pour l'expérience GEDEON par exemple, les calculs sont menés avec le code APOLLO (théorie du transport). La configuration choisie permet un calcul en symétrie 1/8. Dans la zone nourricière du cœur MELUSINE, les hétérogénéités fines sont homogénéisées ; le dispositif est discrétisé en autant de cellules que de crayons. Le domaine énergétique est réparti en sept macrogroupes et la validité de ce découpage testée par rapport à une discrétisation fine /4/. Le calcul de référence utilise le module MARSYAS du code APOLLO qui effectue un calcul exact des probabilités de collision à deux dimensions. Les résultats montrent dans la zone centrale de

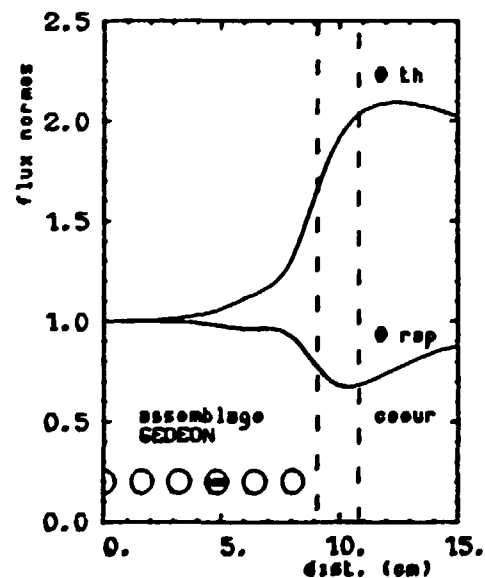


Figure 3 : traverse diagonale de flux dans GEDEON sans gadolinium (calcul APOLLO-MARSYAS)

l'assemblage (7 x 7 crayons), un flux plat et un spectre à l'équilibre (figure 3). Le spectre est proche de celui des REP. Les effets de températures sont analysés. L'interaction neutronique entre crayons gadoliniés est très faible au-delà de deux cellules UO₂ : on peut ainsi irradier et décharger plusieurs crayons expérimentaux indépendamment les uns des autres. Ce calcul est en bon accord avec celui mené pour définir le coeur (Cf § 1-2). Il est enfin comparé aux mesures effectuées par spectrométrie gamma sur le dispositif après quelques jours d'irradiation (figure 4). L'accord est satisfaisant aux emplacements expérimentaux. Les écarts en périphérie sont interprétés par des calculs portant sur les effets azimutaux (dissymétrie du coeur, barres de contrôle).

Pour les calculs en évolution, plusieurs modules du code APOLLO ont été testés en optimisant la géométrie, et les résultats au temps zéro ont été comparés aux résultats précédents. L'évolution proprement dite est menée avec un découpage énergétique suffisamment fin (99 groupes) pour rendre compte des perturbations entraînées par les crayons expérimentaux.

IV-2 Interprétation.

La qualification des données neutroniques est rendue possible grâce à une définition correcte des expériences soustendue par la représentativité des calculs.

A des instants déterminés de l'irradiation GEDEON, où la sensibilité aux erreurs potentielles du calcul d'évolution est maximale, des crayons expérimentaux sont retirés de l'assemblage. L'analyse isotopique des corps lourds (U, Pu, Nd) permet de déterminer le taux de combustion atteint. L'analyse isotopique du gadolinium est confrontée aux résultats du calcul d'évolution : ainsi est réalisée la qualification du calcul d'évolution de ce poison consommable. De la même façon, ont pu être précisées, par une expérience antérieure /6/, les sections efficaces de capture de ²³⁹Pu, ²⁴²Pu, ²⁴³Am, ²⁴⁴Cm, dans un spectre de neutrons de réacteur à eau.

					0.000
				1.238 6.7	1.200
			1.014 2.7	1.181	1.221
		0.887 -1.4	0.860	1.155	1.200
	0.904	0.901 0.0	0.978	1.119	1.205
1.000 0.0	0.887	1.004 2.0	1.043	1.126 6.1	1.207

x : puissance calculée (normée)
y : écart calc-exp./exp. (%)

— : crayon expérimental

Figure 4 : comparaison calculs (APOLLO-MARSYAS) - expérience (gammamétrie) en début de vie de GEDEON.

V-CONCLUSION.

L'expérience GEDEON est un exemple de ce qui peut être réalisé dans le réacteur MELUSINE, dans le cadre de la qualification neutronique d'évolution de combustibles pour la filière à eau légère. Le dispositif et le réacteur sont adaptés de façon à répondre aux exigences des neutroniciens concernant la représentativité à la filière et le caractère calculable; grâce à la souplesse du pilotage et à l'instrumentation qu'il est possible d'associer à l'expérience, la situation reste à tout moment calculable et interprétable. Ces caractéristiques, associées à une récupération aisée des crayons quand on le désire, sont des avantages importants par rapport à l'irradiation dans un réacteur de puissance.

REFERENCES :

- /1/ APOLLO. Code multigroupe de résolution de l'équation du transport pour les neutrons thermiques et rapides.
A.HOFFMANN et Al. Note CEA N 1610 - 1973.
- /2/ NEPTUNE, un système modulaire pour le calcul des réacteurs à eau légère.
A.KAVENOKY. - B.I.S.T. N° 212 p.7 - Mars 1976.
- /3/ GEDEON. Une expérience d'irradiation pour la qualification des calculs d'évolution des poisons consommables au gadolinium.
P. CHAUCHEPRAT et Al.
ANS Winter Meeting. WASHINGTON. Novembre 1984. A paraître.
- /4/ Contribution à la qualification du calcul du gadolinium dans les réacteurs à eau.
P. CHAUCHEPRAT. - Thèse 3ème cycle. Orsay. Juin 1982.
- /5/ Collectrons au rhodium ; sensibilité aux neutrons et aux gamma; précision. H. PETITCOLAS et Al. - A paraître.
- /6/ Détermination expérimentale des sections efficaces isotopes de Pu, Am et Cm dans un spectre de neutrons de réacteur à eau. M.DARROUZET et Al. - Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology. ANTWERP. September 1982.