

A0001177

le résumé

Qualification de l'efficacité neutronique de l'erbium au temps zéro

Jacques PORTA, Stéfano BALDI (1)
Jean Pierre CHAUVIN, Philippe FOUGERAS (2)



(1) CEA/DRN/DER/SERSI Bât 212
(2) CEA/DRN/DER/SPEX Bât 238
CE Cadarache, 13108 St. Paul lez Durance Cedex, France
Tel. : +33 4 42 25 36 31, Fax : +33 4 42 25 40 46, e-mail : jporta@cea.fr

RESUME

L'erbium, poison consommable alternatif au gadolinium, présente l'avantage par rapport à celui-ci, de posséder une section efficace d'absorption thermique beaucoup plus faible, ce qui contribue à lui donner une cinétique de consommation plus lente que celle du gadolinium, et également à générer des perturbations dans la distribution de puissance beaucoup plus faibles. Les calculs réalisés au moyen du code APOLLO et de sa bibliothèque associée, doivent être qualifiés et validés par rapport à l'expérience si on veut obtenir un degré de confiance suffisant pour envisager une application industrielle de ce poison.

C'est dans ce but que dans le cadre du programme EROÏNE les expériences MIRTE UOX et MIRTE MOX dans le réacteur critique EOLE à Cadarache ont été réalisées.

Ces expériences consistent en une pesée neutronique d'un crayon UO_2/Er_2O_3 dans un massif représentatif d'un réseau REP avec rapport de modération accru avec des crayons UOX et MOX.

Le réseau est décrit, ainsi que les techniques expérimentales mises en oeuvre pour les mesures. Les comparaisons expériences calculs sont présentées et discutées. On montre que le code APOLLO2 associé à sa bibliothèque APOLLIB CEA 96 est parfaitement qualifié pour le temps zéro. Une analyse des comportements isotopiques de l'erbium vis-à-vis de la réactivité montre que, d'une part, il est nécessaire de prévoir des mesures des sections efficaces des isotopes séparés 166 et 167 afin de mieux cerner la pénalité résiduelle de l'erbium et de définir des expériences d'oscillations dans le réacteur MINERVE, et d'autre part, d'avoir une validation de la cinétique de consommation des isotopes 166 et 167 en interprétant les expériences TANOX CCE effectuées dans le réacteur SILOE.

1. INTRODUCTION

On a vu, dans un papier compagnon [1] que l'erbium, comme poison alternatif au gadolinium et comme additif de stabilisation pour le Zirconium, mais aussi comme poison introduit dans les alliages base Zr présentait un fort potentiel d'intérêt et se prêtait bien à des innovations dans le domaine du contrôle neutronique.

A part les travaux menés par CE pour la qualification de Er à un niveau industriel et qui ne sont pour des raisons commerciales évidentes, pas d'un accès libre, les travaux au niveau européen ont été très réduits jusque dans les années 1992. Après la thèse [2] initiée par le CEA en collaboration avec FRAGEMMA, les travaux se sont orientés vers la mise au point d'une bibliothèque neutronique, exploitable par le code APOLLO et il a fallu attendre 1996 pour qu'une bibliothèque, issue de JEF2 puisse enfin servir de base aux calculs neutroniques. Dans le même temps, les aspects fabrications étaient maîtrisés [3] et les irradiations en vue de la compréhension du comportement de la matière et tentatives des mesures de cinétiques de l'erbium [4,] étaient engagées dans le réacteur SILOE.

Dès 1996, les expériences MIRTE UOX et MIRTE MOX du programme EROINE étaient lancées afin d'apporter une qualification aux méthodes de calcul et/ou à la toute nouvelle bibliothèque de l'erbium.

2. REACTEUR EOLE - EXPERIENCE

Les expériences MIRTE1 (UOX) et MIRTE (MOX) font partie du programme expérimental EROINE réalisé dans le réacteur EOLE et visant d'une part à qualifier l'efficacité initiale (temps 0) de l'erbium en réseau UOX et réseau MOX et, d'autre part, à vérifier le bon calcul de la perturbation (supposée faible) du flux neutronique autour du crayon empoisonné.

Le réacteur EOLE est une maquette critique permettant l'étude des coeurs de réacteurs à eau pressurisée. Les flux de neutrons peuvent atteindre 10^9 n/cm²/sec. La cuve en AG3 de 2,3 m de diamètre pour une hauteur de 3 mètres peut accueillir différents types de coeurs et les barres de commandes sont adaptables au coeur étudié.

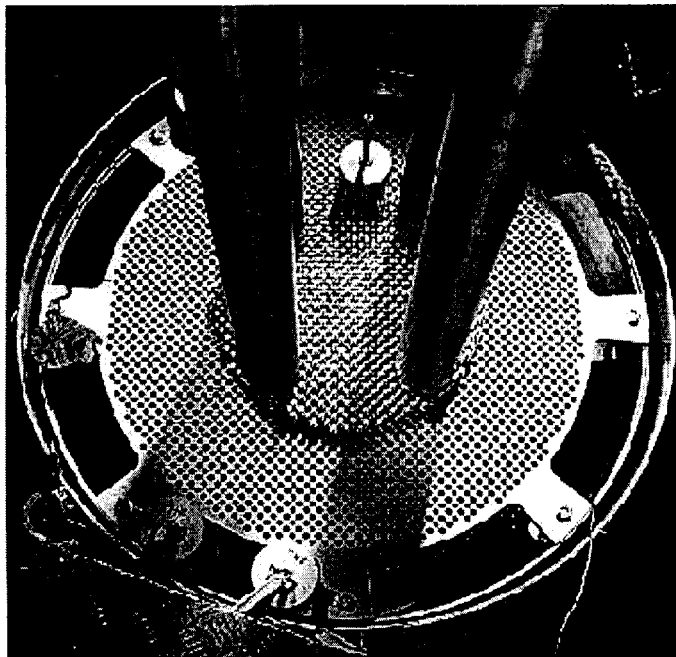
L'expérience MIRTE1 est réalisée dans le coeur homogène et régulier MISTRAL1 (voir figure N°1) qui comporte :

- 644 crayons UO₂ enrichis à 3,7 % en ²³⁵U,
- 16 tubes guides pour les barres sécurité et contrôle,
- 1 tube guide pour la barre de pilotage.

La puissance du coeur est de 30 W (« puissance nulle ») et la température de l'eau est de 20.0°C±0.1°C. A la hauteur près (80 cm), les crayons sont identiques à ceux des REP de puissance. Toutefois, afin d'avoir un rapport de modération « à chaud » à la température ambiante, ils sont surgainés par une gaine en AG3 n'ayant que le rôle de remplacer l'eau pour simuler le rapport de modération à 306°C.

Le principe de l'expérience consiste en la mesure de la variation de la réactivité par la connaissance précise de l'état de référence tout UO₂ et l'état dit perturbé où le crayon central est remplacé par un crayon UO₂-Er₂O₃ (fabriqué avec la même poudre UO₂ que le crayon central référencé mais dopé avec 2 % de Er₂O₃).

Figure N°1 Vue de la configuration MISTRAL1 dans la cuve EOLE



MIRTE1

La mesure de réactivité a été faite par deux méthodes :

- méthode critique : détermination d'état critique : nombre de crayon combustible, température du modérateur, concentration en bore soluble de la solution, temps de doublement pendant la divergence et donc la réactivité résiduelle obtenue par Nordheim. L'effet en réactivité de la perturbation est obtenu par la comparaison des états critiques que l'on nomme ici par la méthode d'équivalence du bore :

$$\Delta\rho^{Abs} = (\Delta\rho / \Delta C_B) * (C_B^{ref} - C_B^{Abs}) + (\Delta\rho / \Delta T) * (T^{ref} - T^{Abs}) - (\rho_{resid.}^{ref} - \rho_{resid.}^{Abs})$$

with :

- $\Delta\rho/\Delta C_B$: differential coefficient in reactivity of soluble boron (\$/ppm),
- $\Delta\rho/\Delta T$: differential coefficient in reactivity of the temperature (\$/°C),
- C_B : critical concentration of soluble boron (ppm)
- T : core temperature (°C)
- $\rho_{resid.}$: excess reactivity of the core (\$)
- ref : reference configuration
- Abs : perturbed configuration (with absorber).

- par la méthode sous-critique : comparaison de la sous-criticité obtenue par enfoncement de la barre de pilotage dans les états . La méthode utilisée est la méthode de l'amplification de la source inhérente. La cohérence des résultats obtenus avec les deux méthodes nous donne une confiance dans nos résultats de l'ordre de 2%.

Les résultats obtenus

	$\Delta\rho$ (pcm)	Ecart expérience calcul (pcm)
Méthode critique	- 89,4 ± 3,6	0,8
Méthode sous-critique	- 91,1 ± 3,6	1,1
Moyenne	- 90,4 ± 3,6	0,2
APOLLO/CALCUL	- 90,2	

Ces résultats excellents indiquent la validité des méthodes et de la bibliothèque pour le calcul de l'efficacité centrale de l'Er en réseau UOX.

Ces valeurs sont à rapprocher des valeurs obtenues dans [2] avec la première bibliothèque 180 pcm/crayon avec 2 % d'erbium, ce qui était avec les moyens de l'époque, remarquable.

Les mesures des cartes de puissance montrent que seule la première rangée de crayons au contact avec le crayon perturbé enregistre une perturbation et elle est vraiment très faible (moins de 2%). Le tableau suivant montre que l'approximation utilisée pour la représentation du calcul du flux est validé.

Cellule	$\Delta\rho/\rho$ exp	$\Delta\rho/\rho$ APOLLO
Centrale	5,2 %	8,5 %
Face	1,8 %	1,6 %
Coin	0,7 %	1,1 %

avec toutefois un moins bon accord sur le crayon central lui-même, du au fait qu'il est la référence de normalisation des deux états du réacteur.

MIRTE2

Les mêmes mesures ont été réalisées dans les mêmes conditions mais avec un réseau MOX, les mêmes résultats sont obtenus, à savoir un excellent accord calcul - expérience avec une incertitude moyenne liée à l'expérience de 1 pcm sur la mesure.

CONCLUSIONS

On constate, tant en réseau UOX qu'en réseau MOX, la précision des calculs, tant sur l'efficacité initiale que sur les distributions de puissance, est bonne et d'un niveau largement suffisant pour une utilisation industrielle.

Cependant, si nous examinons le tableau suivant :

Isotopes	$\Delta\rho$ (pcm)	Contribution %
¹⁶⁶ Er	- 4,6	5 %
¹⁶⁷ Er	- 84,6	94 %
¹⁶⁸ Er + ¹⁷⁰ Er	- 0,9	1 %

On constate qu'un important écart (30 %) sur la section d'absorption de Er 166 se traduit par une dérive de $\pm 1,5$ pcm sur l'efficacité initiale, ce qui est à l'intérieur des marges expérimentales. En ce qui concerne la fin de vie, en considérant une pénalité résiduelle de l'ordre de 10 à 15 pcm/crayon [2], mais cette fois ci une pondération de 90 % de l'effet en réactivité du à ¹⁶⁶Er l'ordre de grandeur serait alors mesurable car de l'ordre de 10 à 15 pcm. Une incertitude de 30 % sur la section efficace serait alors mesurable (~ 5 à 6 pcm) Cet écart sur la pénalité résiduelle représente un facteur important pour le contrôle et l'économie du cœur.

Seule une expérience d'oscillation dans le réacteur MINERVE d'échantillons d'isotopes séparés de Er (166 et 167), associée à l'interprétation de l'expérience TANOX CCE visant à mesurer la cinétique de combustion de l'erbium, permettrait d'obtenir cette qualification de la pénalité résiduelle.

REFERENCES

- [1] J. PORTA, M. ASOU, Proc. 6th IMF-EMRS Symp. B, Strasbourg, June 2000
 [2] M. ASOU, PhD Thesis, University of Orsay, May 1995

[3] Ph. DEHAUDT, G. EMINET, Proc. Séminaire CEA/DRN, Lyon, Dec. 1996

[4] J. PORTA, J.Y. DORIATH, S. BALDI, B. GUIGON, Ph. DEHAUDT, A. MOCELLIN, C. AILLAUD, IAEA TECDOC 1122 331-339