

2. Symposium on reactor dosimetry: dosimetry methods (U.S.A.)
 for fuels, cladding and structural materials.
 Palo Alto, Calif., USA, 3-7 October 1977
 CEA-CONF--4165 RUCTURE

ISIS, MAQUETTE DU REACTEUR OSIRIS

Jean-Marie CERLES, Services des piles de Saclay - C.E.N. Saclay)

I - HISTORIQUE - SITUATION.

Le réacteur ISIS fait partie de l'ensemble OSIRIS en fonctionnement au Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, depuis 1966.

Cet ensemble comprend :

- le réacteur OSIRIS proprement dit, réacteur piscine d'une puissance de 70 MW, conçu pour les irradiations de combustibles et de matériaux de structures de toutes les filières. Les niveaux de flux rapides et de flux thermiques disponibles permettent en effet une accélération très importante des effets. Les caractéristiques principales dans les emplacements d'irradiation sont les suivants :

$$\phi_{\text{rapide}} (\text{E} > 1 \text{ MeV}) = 2,7 \cdot 10^{14} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$$

$$\phi_{\text{thermique}} = 3 \cdot 10^{14} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$$

Echauffement γ : 12 W/g à l'intérieur du cœur, 2,8 W/g en périphérie.

- 2 cellules chaudes, équipées pour la mise en place et la récupération des échantillons. Ces cellules sont reliées au bassin du réacteur par un canal permettant le transfert sous eau des dispositifs radioactifs.
- la maquette neutronique ISIS.

II - LA MAQUETTE ISIS : DESCRIPTION.

2.1 - Conception :

Les principes généraux suivants ont guidé la conception d'ISIS :

. le coeur est aussi semblable que possible à celui d'OSIRIS. Il peut donc être chargé en éléments combustibles neufs ou en éléments combustibles déjà irradiés dans OSIRIS, à des taux de combustion variés.

. la puissance autorisée (800 kW) est suffisante pour permettre toutes les mesures sur maquette de dispositifs et pour un recalage correct en puissance, par bilan thermique par exemple.

. le circuit d'eau du coeur est complètement isolé de la piscine dans le but de faciliter l'empoisonnement homogène par du poison soluble : la quantité d'eau à empoisonner est limitée à 6 m³ environ.

. le réacteur est relié par canal au réacteur OSIRIS : les dispositifs irradiés peuvent ainsi être aisément transférés d'un coeur à l'autre.

2.2 - Description :

Le réacteur est installé dans une piscine de 4 x 4 x 7 m. Le coeur est isolé de cette piscine par une cheminée étanche par rapport à la piscine mais ouverte à l'air. Cette cheminée porte un batardeau étanche et amovible pour le passage du combustible et des dispositifs irradiés. Comme à OSIRIS, le combustible du coeur est disposé dans un casier alvéolé, entouré d'un écran de zircaloy. Un schéma du coeur, ainsi que les caractéristiques principales du combustible, sont reportés sur le tableau ci-après.

Le fonctionnement est possible, soit à basse puissance ($P \leq 50$ kW) avec un refroidissement en convection naturelle, soit à haute puissance ($P \leq 800$ kW) avec une circulation forcée d'eau (40 m³/h) dans le circuit du coeur. Sur ce circuit, sont disposés deux échangeurs et 2 réchauffeurs.

ELEMENTS COMBUSTIBLES

	Elément standard	Elément de commande à teneur combustible
Nombre de plaques	20	20
Longueur de la partie fissile	60 cm	60 cm
	8,74 cm	8,74 cm
Plaques	type MTR épaisseur 1,27 mm	idem
Charge en ^{235}U Uranium enrichi à 93 %	390 g	264 g

Partie absorbante de l'élément de contrôle : assemblage carré de plaquettes de Cobalt.

- Coeur :
- . Nombre d'éléments standard : ~ 33
 - . Nombre d'éléments de commande : 6
 - . Forme du coeur : coeur rectangulaire 7 x 7 à 6 emplacements expérimentaux intérieurs pour l'irradiation 1 créneau et un grand nombre d'emplacements extérieurs.

III - UTILISATION :

3.1 - Philosophie de l'utilisation :

Les principes définis lors de la conception se sont avérés très adaptés à l'utilisation effective de l'installation. Les caractéristiques qui ont découlé de ces choix initiaux donnent une grande souplesse et une gamme étendue de possibilités, comme maquette proprement dite et comme source de neutrons. On peut résumer ainsi les points principaux :

3.1.1 - Simulation au mieux du coeur d'OSIRIS :

Ceci est rendu possible par l'utilisation de combustible brûlé ou de combustible neuf. L'identité de masse d'²³⁵U entre les deux réacteurs conduit au même niveau de flux thermique moyen pour la même puissance. Dans le même temps, les expériences sont simulées par des maquettes neutroniques.

3.1.2 - Niveau maximal de la puissance :

Relativement élevé pour une maquette (800 kW). Ceci permet, lorsqu'on le désire, un recalage direct en puissance, entre les deux réacteurs, par bilan thermique, moyen qui assure certainement la meilleure comparaison globale. Un second avantage est de disposer de niveaux de flux rapides suffisants pour les mesures avec une grande quantité de détecteurs et des chambres à fission miniaturisées relativement peu sensibles.

Il faut également ajouter un niveau d'échauffement dû au rayonnement γ suffisant pour permettre les mesures directement sur ISIS, ces mesures étant parfaitement représentatives du réacteur OSIRIS, après recalage en puissance. Les calorimètres utilisés sont des calorimètres différentiels classiques.

3.1.3 - Utilisation de bore soluble :

L'acide borique introduit dans le circuit du coeur permet de compenser la totalité de la réactivité disponible entre la cote critique des barres de commande sans poison et toutes barres hautes.

On peut ainsi réaliser :

- . un étalonnage des barres dans l'ordre de montée choisi pour le réacteur OSIRIS et tester différentes séquences du point de vue de l'efficacité des barres et de la répartition des flux et des puissances,
- . une simulation de n'importe quel état du coeur entre le début et la fin du cycle pour mettre en évidence les variations locales des flux sur les combustibles ou les expériences et mesures des déformations axiales dues aux barres.

Evidemment, tout changement de configuration de coeur ne peut se faire qu'en l'absence de bore, pour des raisons évidentes de sûreté. Toute configuration doit, au préalable, être testée sans bore.

3.1.4 - Utilisation en source de neutrons :

Au niveau de puissance autorisé (800 kW), les flux neutroniques sont suffisants pour l'utilisation en source de neutrons pour la neutronographie. Deux dispositifs existent, un premier immergé dans la piscine, un second monté sur un faisceau sorti à l'extérieur de la piscine qui permet l'examen des combustibles de grande longueur. Ceci constitue un apport à l'activité du réacteur. Le niveau d'activité d'une maquette est en effet lié à l'importance et à la fréquence des modifications du coeur du réacteur principal. Ceci entraîne des périodes à programme très chargé à la mise en service et aux changements de coeur.

3.2 - Utilisation pour les études de coeur :

On peut résumer, par le tableau ci-dessous, l'ensemble des mesures réalisées :

Etalonnage des barres de commande	<ul style="list-style-type: none">. Utilisation du bore soluble. Etalonnage par divergences. Utilisation d'un réactimètre
Mesure de l'effet de la température du modérateur	Réchauffage de l'eau du circuit du coeur
Mesure de l'effet de vide	Montage mécanique sur l'élément combustible
Effet en réactivité des expériences	Utilisation éventuelle du bore soluble : <ul style="list-style-type: none">. Mesures à l'aide de détecteurs d'activation ϕ_{th} : Au, Co, Mn ; ϕ_r : Ni, Cu, Al. Mesures à l'aide de chambres à fission miniaturisées : ^{235}U, ^{238}U, ^{237}Np, ^{239}Pu.. Mesures à l'aide de collectrons : Rh, Ag.
Echauffements gamma	Calorimètres différentiels développés sur place

3.3 - Utilisation en dosimétrie pour l'expérimentation :

Les mesures de dosimétrie sont faites soit sur le dispositif d'irradiation lui-même, soit, plus fréquemment, sur une maquette neutronique. L'état du cœur d'OSIRIS est simulé au mieux. En particulier, les mesures sont faites soit pour une cote des barres représentant la cote moyenne des barres à OSIRIS au cours du cycle, soit pour plusieurs cotes des barres, de façon à prévoir l'évolution des flux au cours du temps.

Le recalage en puissance entre OSIRIS et ISIS est réalisé par des collecteurs mis au même emplacement dans la maquette et dans l'irradiation, ou par des chambres à fission mesurant le flux thermique au même emplacement à ISIS et à OSIRIS :

Les paramètres contrôlés sont :

- l'effet en réactivité,
- les flux thermique et rapide,
- la puissance dégagée dans l'irradiation.

La puissance dégagée dans l'irradiation est un paramètre essentiel, en particulier pour les irradiations de combustible. Une méthode de mesure consiste à irradier le combustible expérimental à faible puissance, à en dissoudre un échantillon et à compter l'activité des produits de fission. L'étalonnage se fait par rapport à une irradiation témoin en colonne thermique.

3.4 - Autres utilisations :

La souplesse du fonctionnement en fait un outil idéal pour certaines utilisations en source de neutrons. En particulier, pour la neutronographie, deux dispositifs existent à ISIS :

- . un dispositif dans la piscine pour les irradiations d'OSIRIS,
- . un dispositif hors piscine pour l'examen des combustibles de grande longueur des contrôles de puissance.

Une telle installation peut évidemment servir à l'enseignement.

IV - DIFFICULTES DE L'INTERPRETATION DES MESURES.

4.1 - Transposition au réacteur OSIRIS :

La difficulté essentielle réside dans la transposition des résultats d'OSIRIS à ISIS. Un premier point est le recalage des puissances entre les deux réacteurs. Ce point peut être réglé, soit par un bilan thermique soigné, soit par un recalage particulier à l'expérience mesurée (collectron, chambre à fission). Une deuxième incertitude est la validité des cartes de puissance ou de flux mesurées à basse puissance, avec ou sans poison soluble, par rapport aux cartes de puissance ou de flux en fonctionnement à la puissance d'OSIRIS. Cette incertitude est réelle. Toutefois, sur un coeur de petite taille comme ici, les poisons (Xe, Sm) et la température ont un effet suffisamment faible.

Une perturbation plus importante peut être introduite par les variations du chargement expérimental ; en particulier, les effets de voisinage peuvent avoir une importance capitale : sur le réacteur OSIRIS, la majeure partie des irradiations en périphérie du coeur sont montées sur des dispositifs à déplacement. Leur position par rapport au coeur et aux expériences voisines n'est donc pas connue a priori. Toutefois, le point essentiel est la simulation correcte de la cote des barres dont dépend la validité des mesures.

4.2 - Validité des maquettes neutroniques des expériences :

La simulation de certaines expériences pose un problème difficile. La représentation de la géométrie est en général aisée. Il n'en est pas de même, dans la mesure où l'on veut se limiter à des maquettes simples et très accessibles pour la dosimétrie, pour les conditions de température et de pression, le sodium ou le Nak. C'est en particulier le cas pour les boucles à eau pressurisée ou bouillante (température et densité de l'eau), les dispositifs d'irradiation de la filière à neutrons rapides.

La simulation est toujours un compromis entre la simplicité et la fidélité. Il reste alors une interprétation délicate des mesures à l'aide de moyens de calcul.

V - C ONCLUSION.

L'expérience de 12 années d'utilisation ont montré l'utilité de la maquette :

- . étude des configurations de coeur,
- . dosimétrie des irradiations et effet du chargement expérimental.

De même, est apparue la nécessité d'une bonne définition du rôle et du type d'utilisation prévus.

Ainsi, certaines possibilités expérimentales (borage du coeur) et les possibilités d'utiliser du combustible irradié et de fonctionner à une puissance élevée par rapport aux possibilités générales de ce type de maquette se sont révélées extrêmement utiles.

Le plan de charge varie avec les besoins du réacteur principal. De toute façon, un fonctionnement en heures ouvrables seulement est la solution la plus judicieuse.

En terminant, il faudrait également ajouter que ce type d'installation convient parfaitement à de nombreuses autres utilisations dont les principales sont la neutronographie et l'enseignement.

