INSTRUMENTATION INTERNE DES RÉACTEURS A EAU SOUS PRESSION

Introduction

Par M. SENGLER

Chef de section essais physiques - Framatome

L'auteur évoque l'évolution des techniques d'instrumentation des cœurs des réacteurs nucléaires à eau sous pression en France. Il montre comment cette instrumentation contribue à répondre au souci d'économie de combustible et à résoudre les problèmes de sûreté relatifs à l'exploitation de ces réacteurs.

Les deux articles techniques qui suivent, concernant le développement du thermomètre gamma et l'application des techniques numériques au contrôle commande du système « incore-mobile », s'inscrivent dans le cadre plus large des évolutions de l'instrumentation des cœurs des PWR français.

En guise d'introduction à ces deux articles, nous nous proposons de rappeler brièvement dans ce qui suit de quelle manière cette instrumentation contribue à répondre au souci d'économie de combustible et à résoudre les problèmes de sûreté que pose l'exploitation de ces réacteurs.

• Tout d'abord, l'aspect économique.

Les cœurs sont chargés à intervalles de temps assez réguliers. Une partie seulement du combustible est alors remplacée par du combustible neuf. Il convient, lors de cette opération, d'effectuer les transferts de combustible économiquement les mieux appropriés : le combustible déchargé devant être le plus épuisé possible, le combustible neuf rechargé devant assurer la réserve de réactivité nécessaire et suffisante pour compenser l'épuisement global de la nouvelle campagne d'exploitation.

C'est l'un des rôles de l'instrumentation du cœur que de contribuer à l'optimisation de ces mouvements de combustible. Celle-ci passe en effet par la connaissance de la répartition des épuisements, elle-même obtenue ou confirmée par les mesures périodiques des distributions de puissance dans le cœur.

• L'aspect sûreté.

C'est probablement celui qui donne toute son importance aux systèmes de mesure affectés au cœur. La protection du réacteur doit garantir l'intégrité du combustible pour tous les fonctionnements normaux et les incidents les plus probables, et limiter les conséquences des accidents plus graves et dont la probabilité d'occurrence est très faible. Cette protection est d'autant plus importante que les conséquences d'une détérioration du cœur n'auraient pas comme unique conséquence l'indisponibilité plus ou moins longue de la tranche, mais conduiraient surtout à charger le réfrigérant primaire de produits hautement radioactifs et donc à augmenter l'irradiation de certains personnels d'exploitation et d'intervention et de faire croître les risques de contamination de l'environnement et de la population.

Les risques d'endommagement du combustible sont de plusieurs ordres. Les plus importants sont la fusion à cœur des pastilles sur dépassement d'une puissance linéique de 720 W/cm, la perte locale de refroidissement des crayons combustible qui représentent une surface d'échange d'environ 4 500 m². De plus, les distributions de puissance et les qualités du fluide caloporteur sont très hétérogènes et varient au cours du temps sur des périodes courtes en fonction de la puissance, des insertions de grappes et des distributions de poisons (xénon et samarium), et au long du cycle en fonction de l'épuisement (du combustible et des poisons consommables). De ce fait, il devient impossible de protéger efficacement le réacteur en ne faisant appel qu'à la mesure, mesure qu'il faudrait plus redondante.

Tous ces phénomènes sont potentiellement des phénomènes très locaux. Or un cœur de PWR de la classe 900 MWe par exemple est constitué de 151,7 km de crayons combustible qui représentent une surface d'échange d'environ 4 500 m². De plus, les distributions de puissance et les qualités du fluide caloporteur sont très hétérogènes et varient au cours du temps sur des périodes courtes en fonction de la puissance, des insertions de grappes et des distributions de poisons (xénon et samarium), et au long du cycle en fonction de l'épuisement (du combustible et des poisons consommables). De ce fait, il devient impossible de protéger efficacement le réacteur en ne faisant appel qu'à la mesure, mesure qu'il faudrait plus redondante.

Le PWR bénéficie cependant d'un atout majeur qu'il convient de mettre à profit : s'il existe des discontinuités de répartition de puissance ou des caractéristiques thermohydrauliques dans le cœur, ces discontinuités n'évoluent que très lentement et de manière prévisible par des calculs, ceux-ci ayant été validés sur un grand nombre de mesures (sur cœurs industriels et essais en piles). Les redistributions macroscopiques de puissance certes existent, et elles peuvent être d'amplitude importante, mais elles affectent de la même manière de très grandes zones du cœur : la structure fine n'en est que très peu affectée. Ainsi peut-on protéger efficacement un cœur en élaborant un certain nombre de lois enveloppes sur les paramètres macroscopiques susceptibles de variations instantanées ou journalières et faciles à mesurer : par exemple les insertions des grappes, la distribution axiale de puissance (caractérisée sur les cœurs 900 par le premier harmonique : soit le déséquilibre axial de puissance). Ces lois enveloppes qui sont à la base du dimensionnement des protections sont établies en simulant un très grand nombre de transitoires de fonctionnement, les distributions fines de puissance étant issues de calculs neutroniques de diffusion.

L'instrumentation interne du cœur constituée de 50 doigts de gant dans lesquels peuvent circuler 5 chambres à fission a une résolution spatiale importante. Elle permet de vérifier que les distributions radiales prises en compte dans l'élaboration de ces lois enveloppes sont bien conservatives dès le démarrage d'un cœur nouvellement chargé, et qu'elles le restent tout au long du cycle.

Une autre fonction de l'instrumentation interne a trait à

la surveillance du cœur. Celle-ci est assurée par un certain nombre de systèmes à indication continue calibrés et réglés de manière à détecter les fonctionnements perturbés ou les désalignements de grappes qui remettraient en cause les distributions de puissance théoriques ayant servi à dimensionner les protections du cœur.

Nous citerons pour mémoire les chambres neutroniques externes bi-sections (900 MWe) ou multi-sections (1 300 MWe), les 51 thermocouples disposés en sortie de cœur. Ces deux systèmes permettent de détecter des fonctionnements asymétriques et, pour ce qui concerne les thermocouples, de suivre ou surveiller plus finement les évolutions des distributions radiales de puissance. Mais il faut citer également le système de surveillance des positions de grappes qui compare à tout moment les positions demandées et les positions réelles des grappes, et prévient l'opérateur soit d'insertions trop importantes de groupes de grappes, soit du désalignement de grappes seules.

Vis-à-vis de ces systèmes de surveillance, l'instrumentation incore mobile sert de système de mesure de référence. Elle permet de les calibrer périodiquement et de trancher en cas d'indication de fonctionnement anormal, entre l'existence d'une défaillance d'une chaîne de mesure ou la présence d'une perturbation réelle du cœur.

Nous venons de passer rapidement en revue les quatre fonctions principales du système de mesure de distribution du flux, que l'on pourrait résumer comme suit :

- *vérification de la conformité du cœur ;*
- *calibrage de l'instrumentation de surveillance ;*
- *surveillance du cœur en cas d'anomalie de fonctionnement ;*
- *suivi du combustible.*

De nouveaux systèmes de détection sont en cours d'investigation ; des détecteurs fixes de flux en cœur : collectrons et thermomètres gamma. Ces deux types de capteurs ont subi, avec succès, des essais en réacteur. Les principes de leur utilisation potentielle sont en cours d'exploration.

L'article de MM. Béraud et Hourtoulle fait le point sur les derniers développements, conduits par EDF - SEPTEN, de l'expérimentation du thermomètre gamma.

L'article de M. Meyer décrit l'application des techniques du multiplexage et du traitement informatisé des signaux au pilotage et à l'exploitation des données du système d'instrumentation en cœur mobile. Il en montre l'intérêt du point de vue des aspects économiques et de la facilité d'exploitation.

Le thermomètre gamma

Un nouveau type d'instrumentation interne fixe développé par EDF

Par G. BERAUD et F. HOURTOULLE,
EDF - SEPTEN.

La recherche d'un capteur pouvant fournir une mesure permanente de la puissance nucléaire locale, qui soit robuste, rustique, fiable, a conduit EDF, dès 1976, à engager le développement d'un nouveau type de détecteur : le thermomètre gamma (THG).

Après un bref historique, cet article décrit le principe et la structure des dispositifs utilisés dans les réac-

teurs PWR d'EDF. La mise en place d'un programme expérimental important a permis de qualifier les méthodes de dépouillements, de calibration et les modèles thermiques et nucléaires établis.

Enfin, les perspectives de développement et l'avenir d'un tel capteur sont esquissées.

Introduction.

Le principe de la mesure de l'échauffement d'un matériau sous l'influence d'un rayonnement gamma est connu de longue date. L'originalité du thermomètre gamma (THG) réside dans le contrôle de l'écoulement calorifique par une disposition judicieuse de ses éléments constitutifs.

La thermométrie gamma a été utilisée avec succès, tout d'abord dans les réacteurs à eau lourde :

- dès 1953, à Savannah River, aux Etats-Unis (où 3 000 éléments de mesures ont fonctionné depuis 1961 avec un taux de panne inférieur à 3 % ;
- en 1963, à Halden, en Norvège (où une irradiation de 21 000 MWj/t a été atteinte en sept ans [1] avec moins de 3 % de défaillances).

L'intérêt potentiel de ce type de détecteur a conduit EDF, en novembre 1976, à faire examiner par la société norvégienne promotrice les possibilités d'application à ses réacteurs PWR de type Westinghouse. De cette adaptation est né le capteur RADCAL (flux RADial, CALibration électrique).

En effet, le faible pas du réseau PWR ne permettant pas d'atteindre un écart de température suffisant avec la géométrie utilisée jusqu'alors, un allongement des lignes de flux calorifique s'est avéré nécessaire et a été obtenu par la création d'une chambre thermique isolante. L'utilisation de thermocouples différentiels a éliminé les effets de dérive des caractéristiques sous irradiation. A l'initiative de Scandpower et d'EDF, un groupement international d'utilisateurs a été créé : le GTIG (Gamma Thermometer Investigation Group). Il réunit des compagnies, outre EDF et Scandpower, telles que RWE en Allemagne, Duke Power aux Etats-Unis, TVA (la plus importante compagnie américaine), SSPB