

LA NEUTRONOGRAPHIE
APPLIQUEE AUX CONTROLES NON DESTRUCTIFS D'ELEMENTS COMBUSTIBLES
AVANT ET APRES IRRADIATION

R. BARBALAT, G. BAYON, A. LAPORTE
C.E.A., Services des Piles de Saclay (France)

R E S U M E

Pour répondre aux besoins d'examens non destructifs de combustibles et de composants exprimés par l'industrie nucléaire, les Services des Piles de Saclay se sont équipé de plusieurs installations de neutronographie dont les caractéristiques de conception et d'utilisation sont décrites ci-après.

I - INTRODUCTION.

La difficulté de résoudre, par les moyens propres à l'industrie traditionnelle, les problèmes posés par l'industrie nucléaire (fortes absorptions, densité élevée, radioactivité) a conduit certaines équipes d'exploitation de réacteurs expérimentaux à se doter d'installations de neutronographie. Il n'est peut-être pas inutile de rappeler que la neutronographie est un moyen de contrôle non destructif par transparence, analogue dans son principe à la radiographie, les neutrons remplaçant les rayons X. Les images obtenues par ces deux procédés sont différentes du fait de l'interaction "particule-matière" qui a lieu sur le cortège électronique dans le cas de la radiographie et sur les noyaux dans le cas de la neutronographie.

Ces dispositifs ont été très largement développés au Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay en utilisant, comme source neutronique, des faisceaux intenses de neutrons collimatés, guidés ou extraits au voisinage du coeur des réacteurs. Il existe donc trois types d'installations implantées respectivement sur le site de Saclay auprès des réacteurs OSIRIS, ISIS et ORPHEE :

. Une installation immergée en piscine pour le contrôle des dispositifs expérimentaux avant, pendant et après irradiation auprès du coeur. Elle permet, par la méthode de transfert, la prise de clichés de pièces fortement radioactives.

. La seconde installation à sec est utilisée pour le contrôle de combustibles P.W.R. actifs à l'aide d'un dispositif par défilement et de films en nitrate de cellulose.

. La troisième installation effectue les contrôles sur matériel inactif en provenance de l'industrie.

Du fait de l'utilisation des neutrons, l'examen neutronographique est bien adapté au contrôle dans le domaine nucléaire. On peut, grâce à cette technique, obtenir des renseignements très intéressants, aussi bien qualitatifs que quantitatifs en ce qui concerne les poisons neutroniques (bore et gadolinium) et les éléments combustibles avant et après irradiation.

II - INSTALLATIONS IMMERGEES (OSIRIS - ISIS).

Les réacteurs piscine OSIRIS et ISIS de Saclay sont équipés de postes de neutronographie immergés permettant la surveillance régulière des dispositifs d'irradiation en pile. Ces postes se composent d'une collimation de forme pyramidale, de longueur totale 250 cm environ. Le diaphragme d'entrée est un carré de 1,6 cm délivrant un flux moyen de neutrons, non perturbé, de quelques 5.10^7 n/cm².sec au niveau d'une plage image de 10 cm de largeur sur 65 cm de hauteur. La valeur et le spectre de ce flux peuvent être adaptés en faisant varier, au moyen d'une commande manuelle, la distance séparant le nez du collimateur de la source de neutrons.

Le principe utilisé est celui de la méthode de transfert de convertisseurs de dysprosium ou d'indium. Cette opération est conduite dans des conditions de sécurité totale en utilisant une cassette spéciale permettant d'effectuer l'irradiation des convertisseurs et l'exposition des films, en bénéficiant en permanence de la protection biologique de l'eau de la piscine. Par ailleurs, en ce qui concerne l'élimination de l'eau autour de la capsule à examiner, un système de circulation d'azote liquide permet d'établir rapidement un joint de glace entre cette capsule et un conteneur. Cette étanchéité étant réalisée, on vidange par une pression d'air, l'eau préalablement présente dans le conteneur.

L'ensemble des opérations ci-dessus, comprenant l'élimination de l'eau sur la trajectoire du faisceau de neutrons, l'irradiation du convertisseur et l'exposition du film à haut contraste et à grains très fins, est réalisé en moins de deux heures. L'image obtenue est ensuite exploitée par les moyens habituels, propres aux films radiographiques classiques.

III - INSTALLATION PAR DEFILEMENT (ISIS).

Pour permettre l'examen très détaillé de combustibles de grande longueur, en provenance de centrales électrogènes, un dispositif de neutronographie a été construit, en utilisant un faisceau de neutrons, sorti du réacteur ISIS. Ce faisceau possède un rapport de collimation supérieur à 100 et une faible divergence, le diamètre d'entrée du flux collimaté étant de 4 cm et la place image de 10x15 cm pour une longueur de collimation de plus de 4 mètres.

Le faisceau de neutrons horizontal ainsi défini coupe à angle droit un puits vertical de 8 mètres sur lequel prend place un château de plomb contenant 5 éléments combustibles placés côte à côte dans un cadre. Lors de la prise de clichés, ces éléments défilent automatiquement, de manière séquentielle devant la plage image, derrière laquelle est positionnée une caméra chargée d'un film de nitrocellulose et dont le fonctionnement est asservi aux déplacements du cadre. La fluence, d'environ 5.10^9 n/cm² nécessaire pour chaque séquence, est compatible avec la réalisation, en 3 heures, des 35 clichés successifs correspondant à un cadre chargé de 5 crayons combustibles de 4 m de longueur.

Les conditions de fonctionnement de cette installation sont très différentes de celles des systèmes habituels mettant en oeuvre des films argentiques. Le film de nitrocellulose utilisé ici ne comporte aucune émulsion et n'est donc sensible à aucun type de rayonnement parasite y compris celui de la lumière visible. Il ne sera impressionné que par des particules alpha émises par un convertisseur (n, α) spécial à base de bore ou de lithium mis en contact étroit avec le film pendant les quelques 5 minutes de durée de l'exposition de chaque cliché.

En fin de séquence, le film est aussitôt développé dans une cuve à spirale, le traitement en plein jour permettant de contrôler le développement et en conséquence d'optimiser les caractéristiques de l'image. En effet, la nitrocellulose peut être facilement développée par stades successifs faisant apparaître progressivement l'image superficielle, moyenne et profonde.

A la suite de chaque stade, un contretypage peut être réalisé en très peu de temps, l'ensemble du processus conduisant à l'obtention de détails très différents à partir d'une seule prise de clichés par cette méthode de neutronographie.

La nitrocellulose, qui est un intégrateur à réponse linéaire en flux, peut recevoir des taux d'irradiation variant d'un facteur 10, selon l'absorption propre à l'objet à examiner, sans altération des dimensions réelles de l'objet, mesurées au niveau de l'image.

Cette particularité, ainsi que la possibilité de développement progressif permettent une grande souplesse dans l'obtention du négatif. Ce négatif, dont le contraste et la densité optique sont faibles, pourra être exploité soit directement sur un projecteur de profil ou sur un micro-densitomètre, soit par recopie sur une émulsion argentique contrastée, transparente, qui se prêtera à tous les examens visuels classiques sur négatoscope.

Du fait de l'aspect dépoli de l'image négative, la recopie sur film argentique devra être faite au moyen d'un agrandisseur. Cette particularité donne la possibilité d'obtenir des images positives à l'échelle 1 exacte de l'objet ou de réaliser des agrandissements.

Une adaptation de l'intensité lumineuse de l'agrandisseur et du bain de développement utilisé, donne une très bonne latitude d'optimisation du contraste de l'image finale dont la finesse est, par ailleurs, comparable à celle des meilleurs films radiographiques.

IV.1 - INSTALLATION INDUSTRIELLE ORPHEE.

Le poste de neutronographie ORPHEE est situé à 70 mètres du réacteur, à l'extrémité d'un guide à neutrons utilisé principalement pour la recherche fondamentale ; plusieurs interruptions du guide permettant d'extraire des faisceaux secondaires utilisés par des physiciens.

La plage utile d'irradiation, de 150 mm x 25 mm, nécessite de travailler par défilement, un moteur pas à pas entraînant les pièces à contrôler et le système de détection devant le faisceau. Le flux délivré est de $9 \cdot 10^8$ n/cm².s, l'énergie la plus probable étant de $6 \cdot 10^{-3}$ eV, soit $\lambda = 3,5 \text{ \AA}$ (neutrons froids). La pollution gamma du faisceau est nulle grâce à l'emploi d'un guide courbe.

Un ensemble, constitué d'une cellule d'exposition, d'un laboratoire de traitement des films (machine de développement automatique) et de divers moyens, permet d'effectuer des contrôles de type industriel c'est-à-dire en grandes séries.

De plus, l'emploi d'un système de détection à haute définition d'un convertisseur en gadolinium et de films argentiques à grains très fins de radiographie industrielle du type Kodak SR ou Gevaert D2, contribue à l'obtention de clichés de haute qualité.

L'installation de neutronographie ORPHEE effectue des contrôles sur matériaux inactifs au sens de la radioprotection. On y pratique de nombreux examens sur des pièces provenant de l'industrie, notamment dans le domaine spatial.

IV.2 - CONTROLES EFFECTUES PAR LE DISPOSITIF ORPHEE.

L'examen systématique de plaques de rive entrant dans la composition des éléments combustibles des réacteurs de recherche est un des contrôles courants intéressant les applications nucléaires.

Ces plaques contiennent du bore utilisé comme poison neutronique [réaction (n, α) $\sigma_C = 785$ barns] qui disparaît au cours du cycle de fonctionnement du réacteur. On procède à deux types de contrôle sur des éléments d'aluminium chargés en bore.

IV.2.1 - barrettes de poison pour le réacteur RHF de Grenoble :
(fournisseurs : COGEMA / CERCA - NUKEM)

On se contente, pour cet examen, de fournir des clichés sur lesquels figurent avec les échantillons, deux étalons ayant des teneurs en bore correspondant aux critères d'acceptation. On peut juger visuellement de la répartition et de la teneur en bore ($\sim 26 \text{ mg/cm}^2$) par comparaison avec les étalons. Une mesure optique éventuelle complète cet examen en cas de doute.

IV.2.2 - plaques d'assemblage des éléments combustibles du réacteur ORPHEE :

(fournisseurs : COGEMA / CERCA)

L'examen neutronographique permet de résoudre deux problèmes :

- a) localisation du coeur boré à l'intérieur de la plaque : la plaque étant obtenue par colaminage, la localisation du coeur boré est déterminante pour usiner définitivement les bords de plaque et centrer ainsi le coeur boré en face de la zone uranifère des plaques combustibles.
- b) estimation quantitative de la teneur en bore : on recherche à connaître en tous points la teneur en bore et apprécier ainsi sa répartition. Cette information est obtenue grâce à l'emploi d'un système automatique de mesure de densité optique sur le film. L'emploi d'une surface de mesure de l'ordre du cm^2 permet de pallier l'inconvénient éventuel de l'agglomérat de grains de bore. Ici encore, l'emploi d'étalons représentatifs permet d'avoir une bonne précision sur l'estimation de la teneur ($\sim 6 \text{ mg de bore/cm}^2$).

IV.2.3 - Mesures quantitatives :

La haute définition des clichés fournis par cette installation permet d'effectuer des mesures dimensionnelles sur film tandis que le contraste est compatible avec la détermination, par mesure densitométrique, de concentration de matériaux absorbants. Dans le cadre de ces mesures, un densitomètre, couplé à un micro-ordinateur permettant de traiter automatiquement des films de $1\text{m} \times 25 \text{ cm}$ a été développé.

Une étude actuellement en cours donnera les limites de cette méthode en ce qui concerne la précision des mesures dans certains cas particuliers comme, par exemple, pour déterminer teneur et dispersion de matériaux absorbants, voire fissiles.

V - CONCLUSION.

Avec trois installations fondamentalement différentes dans leur conception, leur fonctionnement et leur utilisation, les Services des Piles de Saclay offrent à leurs utilisateurs un potentiel de possibilités de contrôle par neutronographie susceptible de résoudre de nombreux problèmes posés par l'industrie, notamment nucléaire.