PROBLÈMES DE SÛRETÉ RADIOLOGIQUE AUPRÈS DU RÉACTEUR DE RECHERCHE DE L'UNIVERSITÉ DE TÉHÉRAN*

M. SARRAM (**)

(Manuscrit reçu le 4 novembre 1974)

RÉSUMÉ

Le réacteur de recherche de l'Université de Téhéran (T.U.R.R.) est un réacteur de 5 MW qui a divergé en novembre 1967. Après la première opération à pleine puissance la piscine du réacteur présenta une fuite importante. Un gainage d'acier inoxydable 304 L fut installé à l'intérieur de la piscine pour arrêter la fuite. Ce gainage nécessita l'évacuation de l'eau et le transfert des éléments combustibles radioactifs dans une nouvelle géométrie de sécurité.

On présente les problèmes de sûreté posés par le transfert des éléments combustibles du cœur. Le gainage de la piscine demanda presque deux ans. Les éléments combustibles furent placés dans la piscine et on fit alors monter le réacteur à pleine puissance. Bien que la piscine ait été rendue complètement étanche à l'eau, le gainage introduisit quelques problèmes de risque radioactif, les plus importants étant le flux gamma en provenance de l'espace situé entre le mur de la piscine et le gainage, et la naissance de bulles au niveau de la pièce de plomb située devant la colonne thermique.

ABSTRACT

The Tehran University Research Reactor (T.U.R.R.) is a 5 MW reactor which went critical in November 1967. The reactor pool experienced a high leakage rate after the first operation at full power. A lining of stainless steel 304-L was installed inside the pool to stop the leakage. Lining of the pool called for the drainage of water and transfer of radioactive fuel elements into a new safe geometry.

Safety features for the transfer of fuel elements from the core are presented. The lining of the pool took almost two years. The fuel elements were returned back to the pool and the reactor was taken to

(*) La Commission des Publications de la S.F.R.P. remercie tout particulièrement Madame Anne-Marie Chapuis (Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses, D.Pr S.T.E.P.P.A.) qui a assuré la traduction en français du texte de notre collègue iranien.

(**) Centre d'Etudes Nucléaires de l'Université de Téhéran, Téhéran (Iran).

full power. Although the pool was made completely watertight, however, the lining created a few radiation hazard problems. The more important problems being the gamma streaming problem from the gap between the wall and the lining, also the bubbling effect from the lead piece in front of the thermal column was a serious radiation safety problem.

Details of these and other problems are discussed in the paper.

Le réacteur de recherche de l'Université de Téhéran (T.U.R.R.) est un réacteur piscine de 5 MW qui a divergé le 4 novembre 1967. Le T.U.R.R. est le seul établissement nucléaire du pays et est donc utilisé pour la production d'isotopes, pour les recherches universitaires, etc.

Immédiatement après la divergence, on commença un programme complet d'étalonnage. On a mesuré différents paramètres du réacteur et, après qu'une sûreté suffisante ait été obtenue, le réacteur fut poussé à sa pleine puissance de 5 MW le 19 janvier 1968.

Immédiatement après un fonctionnement à pleine puissance, pendant environ 3 h, on nota une fuite de la piscine du réacteur. La fuite, de plus de 800 l/j, créait des problèmes techniques pour le personnel dans la zone du canal expérimental du réacteur. Plusieurs solutions furent envisagées pour réduire ou arrêter la fuite. L'injection de produits chimiques dans les murs en béton, qui est très utilisée dans les réacteurs ayant des problèmes de fuite, semblait une solution trop provisoire pour notre cas. Comme solution définitive, on décida de recouvrir la piscine d'une gaine métallique.

Comme gaine métallique, on avait le choix entre l'aluminium et l'acier inoxydable, chacun ayant ses propres avantages et inconvénients. En dehors du prix, l'acier inoxydable se trouve avoir plus d'avantages à long terme à cause de ses propriétés de résistance mécanique, de stabilité et de résistance à la corrosion.

Dans notre cas, on a choisi l'acier inoxydable 304 L essentiellement pour sa faible teneur en cobalt (seulement 20 ppm).

Le gainage de la piscine a nécessité l'évacuation complète de l'eau, le transfert des éléments combustibles radioactifs, du réseau, des canaux, etc., chacun créant son propre problème de risque radioactif. L'enlèvement des éléments combustibles chauds hors du cœur et leur stockage dans une géométrie sûre nécessiterent une attention particulière. Le cœur était constitué de 23 éléments combustibles M.T.R. contenant au total 3 900 g d'uranium très enrichi (93 %). Heureusement, comme le réacteur n'avait pas fonctionné longtemps à forte puissance, le niveau de rayonnement en provenance des éléments combustibles était par élément d'environ 25 R/h à 30 cm. Le problème de protection n'était donc pas très important, mais il fallait surtout trouver une géométrie sous-critique sûre pour stocker les 3,9 kg d'uranium enrichi.

Fig. 1. — Réservoir de stockage des combustibles
Coupe A-A

Le problème du rangement des combustibles fut résolu par l'étude, à T.U.R.R., d'un double réservoir spécial. Les principales caractéristiques de cet ensemble sont les suivantes :

a) un réservoir extérieur en acier de 3 m de long, 1,5 m de large, 2 m de haut ;

b) un réservoir intérieur en aluminium pur de 2,54 m de long, 1,00 m de large, 1,97 m de haut, qui peut se placer à l'intérieur du réservoir d'acier ;

c) un réseau de 3 sur 10 constitué par des cylindres d'aluminium pur de diamètre 140 mm espacés de 120 mm en longueur et de 180 mm en largeur. Chacun de ces cylindres peut recevoir un élément combustible. Le réseau de 3 sur 10 est monté à l'intérieur du réservoir intérieur en aluminium ;

FIG. 2. — Réservoir de stockage des combustibles
Coupe B-B

d) un système spécial de circulation d'eau déminéralisée pour les réservoirs intérieur et extérieur.

La figure 1 montre la coupe A-A du réservoir et donne une vue d'ensemble du système. Pour éviter la corrosion des éléments combustibles un système spécial de circulation a été mis au point de manière que l'eau en provenance du déminéralisateur et entrant dans le réservoir intérieur monte le long des éléments combustibles. Pour le retour vers le déminéralisateur, l'eau est prise en haut du réservoir. La figure 1 montre également les tubes fins placés sous chaque cylindre qui permettent la circulation de l'eau près de chaque élément combustible.

La figure 2 montre la coupe B-B du réservoir avec les cotes.

La figure 3 qui montre la coupe C-C indique le chargement réel du combustible dans le réservoir. La lettre S se rapporte à un élément combustible standard de 196 g d'uranium et la lettre C à l'élément de contrôle de 98 g d'uranium.

FIG. 3. — Réservoir de stockage des combustibles
Coupe C-C

La figure 4 montre le circuit de canalisation pour le réservoir de stockage.

FIG. 4. — Schéma des canalisations

I. — CALCUL DE RÉACTIVITÉ ET MESURES

La distance de 120 mm entre 2 éléments combustibles consécutifs a été calculée pour être plus que suffisante pour que le système soit sous-critique.

Cependant, pendant le chargement des éléments dans le réservoir, on a réalisé une expérience sous-critique pour s'assurer que le système était en fait sous-critique avec une bonne marge de sécurité. Les résultats de cette expérience sous-critique montrèrent que le système avait une réactivité négative d'au moins 25,5 % $(\Delta K)/K$. Il faut noter que, quand ces mêmes 23 éléments combustibles sont assemblés dans le cœur du réacteur en opération normale, la réactivité négative du cœur est seulement de 6,5 % $(\Delta K)/K$. Ainsi les calculs théoriques comme les résultats expérimentaux montrent que le réservoir à combustible est sous-critique avec une bonne marge de sécurité. Nous présentons dans le tableau I le taux de comptage mesuré pour les éléments combustibles placés dans le réservoir au moment de l'expérience sous-critique.

Le pré-chargement consiste en 9 éléments combustibles, 3 standards et 6 de contrôle. Bien sûr on a tenu compte du bruit de fond dans les calculs de réactivité.

II. — EXPOSITION ET PROTECTION

Les éléments combustibles furent transférés du cœur dans le réservoir le 12 septembre 1968.

Pour que le personnel soit exposé le moins possible, plusieurs outils spéciaux de manutention furent fabriqués à T.U.R.R. Pendant le transfert des éléments combustibles qui a duré près de 10 h, l'exposition maximale, pour 2 personnes, a été de 150 mR. Le réservoir était placé dans la zone du canal expérimental du réacteur. Un mur de béton d'une épaisseur de

TABLEAU I

Taux de comptage en fonction du chargement	
CPM source	Chargement
15	Pré-chargement
16	S-3
18	S-4
21	S-5
22	S-6
26	S-7
27	S-8
31	S-9
37	S-11
40	S-12
41	S-13
42	S-14
47	S-15
50	S-17
52	S-18

30 cm a été construit autour du réservoir pour réduire l'irradiation gamma. Il faut noter qu'il existe une épaisseur de 24 cm d'eau entre les réservoirs intérieur et extérieur, qui constitue en elle-même un bon écran pour les rayonnements gamma. Comme protection supplémentaire, on a placé une barrière à 10 m du mur en béton. Le débit de dose au niveau de la barrière était négligeable.

III. — RÉPARATION DE LA PISCINE

L'installation du gainage dans la piscine et son contrôle prirent environ 20 mois. Les éléments combustibles restèrent dans le réservoir de stockage pendant toute cette période. On fit régulièrement les contrôles habituels de l'eau — conductivité et pH — pour s'assurer du bon état des éléments combustibles. On n'observa aucun problème d'aucune sorte pendant cette période de stockage.

Après le gainage de la piscine avec de l'acier inoxydable 304 L, plusieurs contrôles furent effectués pour s'assurer que la piscine était complètement étanche à l'eau. Tous les contrôles confirmèrent l'étanchéité du gainage. Les éléments combustibles furent remis en place dans la piscine le 25 mai 1970 et le réacteur divergea début juin 1970. Depuis lors, le réacteur fonctionne normalement selon les demandes.

Le gainage de la piscine avec de l'acier inoxydable créa quelques problèmes de risques radioactifs, que nous discutons maintenant.

IV. — CONSÉQUENCES DU GAINAGE DE LA PISCINE - RISQUES RADIOACTIFS -

IV.1. FLUX DE RAYONNEMENT GAMMA AU NIVEAU DE LA SURFACE DE LA PISCINE

La fabrication du gainage de la piscine en acier inoxydable nécessite les épaisseurs suivantes :

- a) du fond de la piscine jusqu'à une hauteur de 5 m, l'épaisseur est de 5 mm ;
- b) d'une hauteur de 5 m jusqu'à la surface, l'épaisseur est de 3 mm ;
- c) dans la région en face de la colonne thermique de la salle d'irradiation gamma et de la salle de neutrothérapie, l'épaisseur n'est que de 1 mm pour éviter l'atténuation du rayonnement.

Le gainage de la piscine est fait de telle manière qu'il existe un espace de 1,5 mm entre le mur de la piscine et le gainage d'acier inoxydable. Quand le réacteur fonctionne à forte puissance, le rayonnement gamma passant à travers la colonne thermique est diffusé vers le haut et crée une source de rayonnement gamma au niveau de la surface de la piscine.

FIG. 5. — Ecran de plomb pour la protection contre le rayonnement gamma

A la puissance maximale de 5 MW le flux de rayonnement gamma en provenance de l'intervalle donne, juste au-dessus de celui-ci, un débit de dose de 150 mrad/h.

Ce débit de dose gamma est suffisamment élevé pour justifier une protection gamma destinée à le réduire ou le supprimer.

On a choisi des plaques de fer épaisses de 2 mm pour fabriquer le coffrage de l'écran en plomb. Les calculs ont montré qu'il fallait environ 8 cm de plomb juste au-dessus de l'intervalle pour réduire le débit de dose de 150 mrad/h à un débit acceptable de l'ordre de quelques mrad/h.

250 kg de plomb ont été fondus et versés dans le coffrage en fer sur une épaisseur de 2 cm sauf pour la région de 5×8 cm au-dessus du trou. Ainsi qu'on l'a mentionné, le choix des dimensions de l'écran de plomb était limité par la place disponible sous le pont où il devait être monté (fig. 5).

Après fabrication l'écran de plomb fut placé au-dessus du trou pour le couvrir complètement. Pour plus de sécurité et pour supporter le poids de la partie verticale de la protection, celle-ci fut vissée au bord de la piscine. On monta alors le réacteur en puissance et on mesura le débit de dose au-dessus du trou. Le débit de dose maximal était alors de 5 mrad/h, valeur qui est à comparer à 150 mrad/h sans protection. Ainsi, l'écran de plomb étudié donnait une protection suffisante du point de vue de la protection du personnel du réacteur vis-à-vis du flux de rayonnement gamma.

IV.2. BULLES AU NIVEAU DE LA PIÈCE DE PLOMB DE LA COLONNE THERMIQUE

Quand la piscine fut gainée d'acier inoxydable, la pièce de plomb nue de 15 cm, située devant la colonne thermique, fut recouverte d'aluminium pour éviter la formation ultérieure d'oxydes et la corrosion.

Quand on monta le réacteur à pleine puissance dans le fond de la piscine (dans cette position, le cœur est presque au contact de la pièce de plomb), on observa des bulles de vapeur sortant des joints de la pièce de plomb.

L'enquête montra que l'échauffement du plomb par le rayonnement gamma faisait bouillir l'eau qui entraînait dans la pièce de plomb par les deux petits trous où étaient situés les boulons de soutien. Apparemment la soudure n'était pas bonne au niveau de ces deux joints.

Pendant la marche du réacteur, les bulles de vapeur en provenance des joints de la pièce de plomb montaient vers la surface de la piscine ou descendaient le long des éléments combustibles avec l'eau de refroidissement, selon leur taille. Ce flux continuels ascendant et descendant de bulles de vapeur a été considéré comme un problème sérieux de sécurité et de risque radioactif.

Le fonctionnement du réacteur a été stoppé, car les bulles éclatant à la surface de la piscine contribuaient d'une manière notable à l'activité

de l'air de l'enceinte du réacteur et les bulles descendant le long des éléments combustibles pouvaient y déposer des oxydes de plomb.

En fonction de ces problèmes, on décida de modifier la pièce de plomb et de la ressouder. La pièce, moyennement radioactive, fut retirée du cœur. Sa modification et la soudure prirent quelques jours. La dose reçue par le personnel pendant ce travail de réparation fut de l'ordre de 100 mrad pour 3 personnes. Le fonctionnement du réacteur à pleine puissance confirma que les petits trous avaient été bien bouchés et qu'il n'y avait plus de bulles en provenance de la pièce de plomb.

Il faut noter qu'il n'y a que quelques réacteurs de recherche au monde ayant un gainage d'acier inoxydable et que les expériences que nous y avons faites concernant l'émission de rayonnement gamma ainsi que l'effet de bulles sont certainement uniques. Le problème de l'émission gamma est une conséquence directe du gainage de la piscine.

Nous espérons que d'autres réacteurs de recherche ayant des problèmes de fuite d'eau pourront bénéficier de notre expérience au réacteur de recherche de l'Université de Téhéran.