

Les réacteurs RBMK, défauts et améliorations

Par Michel Chouha, IRSN

Les quatre fiches qui suivent ont été rédigées en 2006 pour le site de l'IRSN. Chargé de mission à l'IRSN, ingénieur et docteur es Sciences, leur auteur, M. Michel Chouha a dédié au cours des dernières années une bonne part de son activité aux réacteurs RBMK.

Ces fiches ont été réunies ici en un seul document, qui comprend donc quatre parties : les réacteurs RBMK, le parc des réacteurs RBMK, les principaux défauts de sûreté de la conception initiale des réacteurs RBMK et les améliorations de sûreté post-Tchernobyl des réacteurs RBMK.

Les réacteurs RBMK

Les réacteurs RBMK sont des réacteurs à neutrons thermiques utilisant le graphite comme modérateur et l'eau légère bouillante comme fluide caloporteur. Le combustible est de l'oxyde d'uranium enrichi en uranium 235. L'enrichissement d'origine était de 2 %. Il atteint aujourd'hui 2,6 %.

Chaque assemblage combustible est contenu dans un « tube de force » à l'intérieur duquel circule le fluide de refroidissement. Les tubes de force, environ 1700, sont placés verticalement dans l'empilement de graphite. L'ensemble repose sur une structure mécano-soudée contenue dans une cavité en béton. Au-dessus du réacteur, une « machine de chargement » permet le renouvellement du combustible de manière continue pendant l'exploitation. Le contrôle de la réactivité est assuré par environ 200 barres absorbantes de neutrons, réparties dans tout le cœur du réacteur. Les barres sont placées dans des tubes de force analogues à ceux qui contiennent les assemblages combustibles.

Deux boucles indépendantes assurent le refroidissement du réacteur. Chaque boucle comprend deux ballons séparateurs et quatre pompes de re-circulation (3 en fonctionnement et 1 en réserve). Le mélange d'eau et de vapeur qui sort de chaque tube de force après passage dans le réacteur arrive directement par une tuyauterie dans un des ballons séparateurs. Depuis ces ballons séparateurs, la vapeur est envoyée à la turbine alors que l'eau retourne vers les collecteurs et les pompes de re-circulation, qui alimentent les tubes de force au moyen d'un système de sous-collecteurs et de tuyauteries.

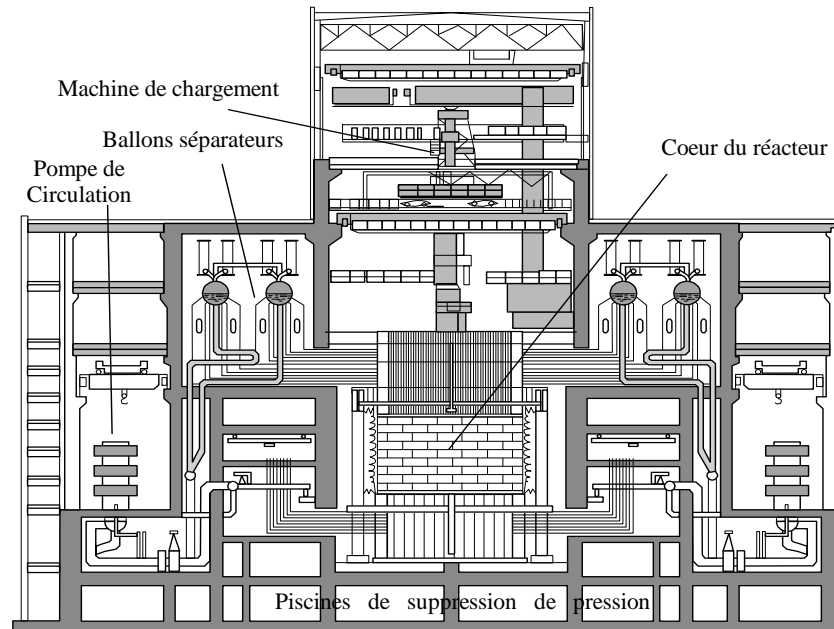
Un circuit de refroidissement de secours permet de refroidir le cœur en cas de brèche du circuit principal de refroidissement (rupture d'une tuyauterie du circuit de circulation, rupture d'un conduit de vapeur ou rupture d'une tuyauterie d'alimentation en eau).

→ **Les avantages en faveur de ce type de réacteur sont, d'après le concepteur,** l'absence de cuve sous pression, l'absence de générateur de vapeur, le renouvellement du combustible de manière continue et donc la souplesse du cycle du combustible, la possibilité de régler le débit de refroidissement canal par canal et, par conséquent, de contrôler chacun d'entre eux tant du point de vue thermique que du point de vue de l'intégrité des gaines du combustible.

→ **Les inconvénients sont** la complexité du système de distribution et de collecte du fluide de refroidissement, la forte accumulation d'énergie thermique dans les structures métalliques et le

graphite, la difficulté de contrôle du cœur et l'absence d'enceinte de confinement intégrale du type de celles qui enveloppent les REP (dans les RBMK un confinement modulaire et partiel couvre les zones les plus critiques (environ 65%) du réacteur).

Coupe simplifiée d'un réacteur RBMK de puissance 1000 MWe



Le parc des réacteurs RBMK

Au moment de l'accident de Tchernobyl, le parc des RBMK comptait 16 réacteurs en fonctionnement :

- 11 en Russie, de puissance 1000 MWe chacun, répartis sur trois centrales : Leningrad (4 réacteurs), Kursk (4 réacteurs) et Smolensk (3 réacteurs)
- 4 en Ukraine (Centrale de Tchernobyl), 1000 MWe chacun
- 1 en Lituanie (Centrale d'Ignalina), 1500 MWe.

(Le second réacteur d'Ignalina, 1500 MWe, n'était pas encore en fonctionnement au moment de l'accident de Tchernobyl. Il a été mis en service en décembre 1986).

Depuis, tous les réacteurs de Tchernobyl ont été mis à l'arrêt définitif, ainsi que le réacteur n°1 de la centrale d'Ignalina. Il reste donc, à ce jour, 12 réacteurs RBMK en exploitation : 11 en Russie et 1 en Lituanie.

Le réacteur n°2 de la centrale d'Ignalina est appelé à être mis à l'arrêt définitif vers 2009, sur la base des accords conclus lors des discussions d'adhésion de la Lituanie à l'union européenne. L'exploitation des 11 réacteurs russes sera très vraisemblablement poursuivie. Cette logique est justifiée, d'après les experts russes, par les importants programmes de modernisation. Certains de ces réacteurs ont déjà achevé leur programme de modernisation, les autres poursuivent actuellement leurs travaux d'amélioration qui doivent les mettre au même niveau de sûreté aux environs de 2010.

Les principaux défauts de sûreté de la conception initiale des réacteurs RBMK

Avant l'accident de Tchernobyl, les connaissances disponibles dans les pays occidentaux sur les réacteurs RBMK étaient très limitées. Après la catastrophe, d'importants efforts internationaux furent mis en œuvre pour comprendre la physique de ces réacteurs et apprécier leur niveau de sûreté. Les études menées ont mis en exergue de nombreuses difficultés en matière de sûreté dont les principales étaient les suivants.

→ **Coefficient (effet) positif de température** : un coefficient positif de température signifie qu'une augmentation de la température du cœur du réacteur se traduit par une augmentation de la réactivité. Cette dernière conduit à une augmentation de la puissance et donc de la température, et ainsi de suite. De cette manière, une perturbation initiale (augmentation de la puissance ou de la température) se trouve amplifiée par cet effet divergent. Il s'agit donc d'un effet « déstabilisant », qui rend difficile le contrôle du réacteur.

Dans les réacteurs à eau sous pression, qui constituent le parc français, le coefficient de température est, par conception, négatif. Ce qui lui confère un effet stabilisant. Il s'agit là d'une exigence de sûreté imposée par la réglementation.

→ **Système d'arrêt d'urgence** : Ce système est constitué de barres fortement absorbantes de neutrons, réparties dans tout le cœur du réacteur. La forte absorption de neutrons permet à ces barres d'étouffer rapidement la réaction en chaîne lors de leur insertion dans le cœur, et d'arrêter ainsi le réacteur. Dans sa conception initiale, le système d'arrêt d'urgence des RBMK présentait des caractéristiques défavorables :

- le temps d'insertion des barres était trop long au regard de la cinétique de la réaction en chaîne dans le réacteur
- l'insertion des barres absorbantes à partir d'une position haute provoquait d'abord une augmentation de la réactivité du réacteur (effet constaté à Ignalina quelques années avant l'accident de Tchernobyl)
- Fiabilité insuffisante du système dans son ensemble.

→ **Insuffisance de la capacité de dépressurisation du système de confinement** : Les RBMK ne disposent pas d'enclume de confinement comme celle qui entoure un réacteur de type REP. En revanche, ils disposent de plusieurs compartiments étanches, destinés à assurer le confinement de différentes zones du réacteur. Ce système avait été conçu pour faire face à la rupture d'un tube de force. Les ruptures multiples de tubes de force n'étaient donc pas couvertes par cette conception, du moins pour les réacteurs les plus anciens.



Les améliorations de sûreté post-Tchernobyl des réacteurs RBMK

En matière d'améliorations de sûreté post-Tchernobyl des réacteurs RBMK, il convient de distinguer principalement deux étapes : **1) les mesures post-Tchernobyl**, destinées à enrayer (ou à réduire autant que possible), dans les meilleurs délais, les défauts de conception les plus graves ; **2) les programmes de modernisation**, destinés à revoir en profondeur toutes les questions liées à la sûreté du fonctionnement de ces réacteurs : physique du cœur, systèmes de sûreté, systèmes de sauvegarde, pilotage du réacteur, facteur humain, etc.

1) Les mesures post-Tchernobyl : Mises en oeuvre immédiatement après l'accident, sur tous les réacteurs RBMK, elles devaient remédier aux principaux défauts de la conception initiale.

→ **Réduction du coefficient (effet) positif de température** : Pour réduire l'effet déstabilisant du coefficient positif de température des RBMK, les deux principales mesures ont été :

- l'ajout, dans le cœur du réacteur, d'un certain nombre de barres absorbantes fixes en remplacement d'assemblages de combustible, et
- l'augmentation progressive de l'enrichissement du combustible.

Sans rendre le coefficient négatif, ces mesures ont contribué à le réduire significativement.

→ **Modification du système d'arrêt d'urgence** : Pour remédier aux défauts de ce système, les mesures immédiates d'amélioration ont été les suivantes :

- installation d'un système d'arrêt rapide (24 nouvelles barres pouvant être complètement insérées en 2 à 3 secondes)
- modification de la conception des barres absorbantes
- installation de nouveaux signaux d'alarme pour le déclenchement de l'arrêt d'urgence.

→ **Amélioration de la capacité de dépressurisation du système de confinement** : Des modifications ont été apportées à ce système pour en augmenter la capacité d'évacuation et de dépressurisation lors de situations accidentelles. Il s'agit principalement d'un système de réduction de la pression par condensation de la vapeur.

2) Les programmes de modernisation : Au-delà des modifications génériques rappelées ci-dessus, un programme de modernisation spécifique a été conçu pour chaque réacteur. Les systèmes de sûreté les plus importants (comme par exemple le système l'arrêt d'urgence) ont été entièrement remplacés par de nouveaux systèmes plus modernes et plus fiables.

Les programmes de modernisation spécifiques de Kursk 1 et d'Ignalina 2 ont déjà été complètement achevés. Une évaluation de la sûreté de ces réacteurs après modernisation a été menée par des groupes d'experts internationaux. Les conclusions soulignent une amélioration sensible de la sûreté de leur fonctionnement par rapport à leur situation d'avant Tchernobyl. L'achèvement de l'ensemble des programmes de modernisation des autres réacteurs est prévu à l'horizon de 2010.

Les fiches originales peuvent être consultées sur le site de l'IRSN (rubrique RBMK) à l'adresse suivante : http://www.irsn.fr/FR/base_de_connaissances/Installations_nucleaires/La_surete_Nucleaire/Les-accidents-nucleaires/accident-tchernobyl-1986/consequences-industrie-nucleaire/Pages/3-Les_reacteurs_RBMK.aspx