

La sûreté des réacteurs RBMK: mise en place du cadre technique

Le programme coopératif de l'AIEA rationalise la base technique de la sûreté des réacteurs de Tchernobyl

par
Luis Lederman

En avril 1986, l'unité 4 de la centrale de Tchernobyl, en Ukraine, a été détruite par le pire accident de toute l'histoire du nucléaire. Ce réacteur de conception soviétique, désigné par le sigle russe RBMK, avait été mis en service en 1983.

Il avait été conçu à partir des réacteurs soviétiques à l'uranium-graphite prévus pour la production de plutonium. Le premier réacteur de ce type a été mis en service en 1948. Six ans plus tard, un RBMK de démonstration de 5 MWe a démarré à Obninsk pour produire de l'électricité. Par la suite, une série de RBMK modérés au graphite et refroidis à l'eau par un réseau de canaux a été mise au point.

Actuellement, 15 RBMK électrogènes sont exploités dans trois Etats: 11 en Russie, deux en Lituanie et deux en Ukraine. A part les deux unités d'Ignalina, en Lituanie, de 1 300 MWe, tous les RBMK ont une puissance nominale de 1 000 MWe.

Ils ont tous été connectés au réseau entre 1973 (Leningrad-1) et 1990 (Smolensk-3). Ils appartiennent à plusieurs générations ayant des caractéristiques de sûreté sensiblement différentes.

Six unités sont de la «première génération» (Leningrad-1 et 2, Koursk-1 et 2 et Tchernobyl-1 et 2). Elles ont été conçues et mises au point dans la première moitié des années 70, avant l'adoption en Union soviétique des nouvelles normes de conception et de construction des réacteurs (OPB-82). Les réacteurs installés depuis la fin des années 70 et les premières années 80 sont généralement classés comme «deuxième génération» (Leningrad-3 et 4, Koursk-3 et 4, Ignalina-1, Tchernobyl-3 et Smolensk-1 et 2). Ignalina-2 incorpore des caractéristiques de sûreté allant au-delà de celles des autres réacteurs de la deuxième génération, lesquels ont été conçus et construits conformément à des normes révisées publiées en 1982.

M. Lederman est chef par intérim de la Section de l'évaluation de la sûreté, Département de la sûreté nucléaire de l'AIEA.

Après l'accident de Tchernobyl, les normes de sûreté soviétiques ont été revues une fois encore (OPB-88). Le RBMK Smolensk-3 a été construit selon ces normes de «troisième génération». De nouvelles modifications de conception sont apportées à l'unité Koursk-5, en construction.

Depuis une dizaine d'années, les exploitants russes font un gros effort pour améliorer la sûreté des RBMK et supprimer les causes de l'accident de Tchernobyl. D'importantes modifications de la conception et des conditions d'exploitation en ont résulté. La sûreté demeure néanmoins un souci majeur, notamment en ce qui concerne les unités de la première génération.

Nous parlerons ici des principales initiatives visant l'amélioration de la sûreté des réacteurs RBMK, qui s'inscrivent dans le cadre d'un programme coopératif de l'AIEA lancé en 1992 (voir l'encadré, page 12). Il s'agira en particulier des conclusions techniques des examens de sûreté aux niveaux de la conception et de l'exploitation des installations, et de la documentation à l'appui extraite d'une base de données de l'Agence destinée à faciliter la coordination sur le plan technique des activités nationales et internationales en cours concernant l'amélioration de la sûreté des RBMK.

Portée du programme de sûreté pour les RBMK

Le programme entend regrouper les résultats des diverses activités nationales, bi- et multilatérales, pour aboutir à un consensus international sur les améliorations indispensables de la sûreté et les priorités connexes. Il assiste les organismes de réglementation et les exploitants et fournit la base des décisions techniques et financières à prendre. Il porte sur un large éventail d'activités, et plusieurs examens et évaluations ont eu lieu depuis 1992. Les RBMK Smolensk-3 et Ignalina-2 ont été

Centrales nucléaires RBMK

En service:

Fédération de Russie. Onze unités de 1 000 MWe: 4 à Koursk; 4 à Leningrad; 3 à Smolensk. *Mise en service:* Koursk-1, 1977; Koursk-2, 1979; Koursk-3, 1984; Koursk-4, 1986; Leningrad-1, 1974; Leningrad-2, 1976; Leningrad-3, 1980; Leningrad-4, 1981; Smolensk-1, 1983; Smolensk-2, 1985; Smolensk-3, 1990.

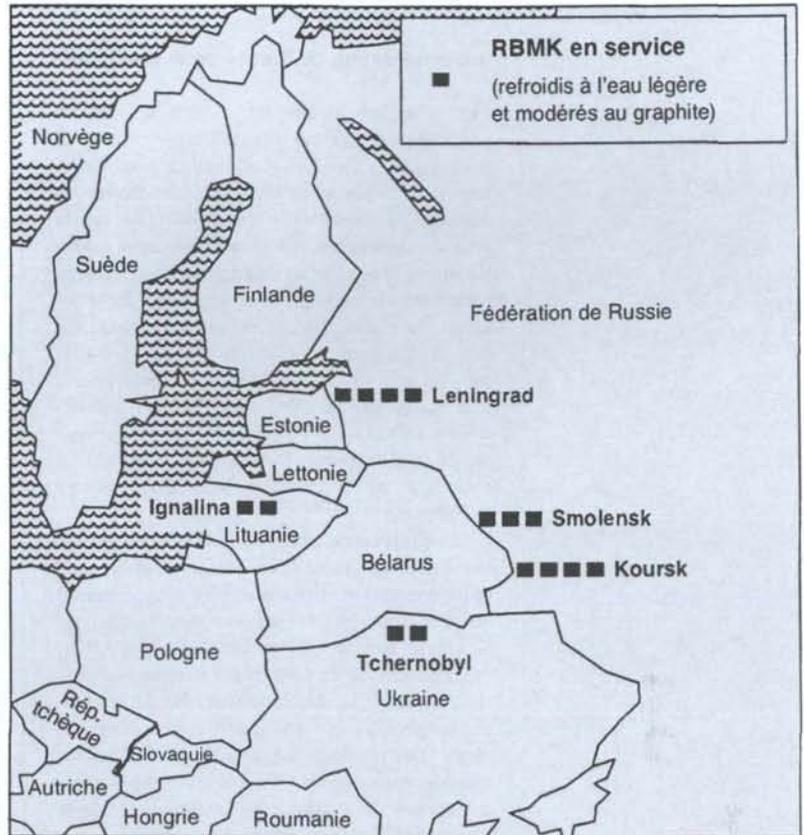
Lituanie. Deux unités de 1 300 MWe à Ignalina. *Mise en service:* Ignalina-1, 1984; Ignalina-2, 1987.

Ukraine. Deux unités à Tchernobyl. *Mise en service:* Tchernobyl-1 (780 MWe), 1978; Tchernobyl-3 (1 000 MWe), 1982.

Note: Tchernobyl-2, unité mise à l'arrêt en 1991; Tchernobyl-4, unité détruite en avril 1986 par un accident.

En construction:

Fédération de Russie. Koursk-5, unité de 1 000 MWe mise en chantier en décembre 1985.



pris comme référence pendant la première phase du programme.

L'AIEA a procédé à un premier examen des améliorations de la sûreté proposées pour les RBMK en octobre 1992. En juin 1993 a eu lieu une évaluation de la sûreté des solutions techniques et des propositions d'amélioration de la sûreté pour Smolensk-3. Elle a été confiée à un groupe international d'experts et de fonctionnaires de l'AIEA et a duré deux semaines dans l'installation. Ce réacteur est le plus perfectionné des RBMK et comporte des améliorations de la sûreté déduites des analyses de l'accident de Tchernobyl et autres études. Un examen analogue a été mené à Ignalina en octobre 1994.

En outre, les équipes d'analyse des événements importants pour la sûreté (ASSET) de l'AIEA ont examiné l'expérience d'exploitation de chaque centrale RBMK. Une équipe d'examen de la sûreté d'exploitation (OSART) s'est également rendue à Ignalina en septembre 1995.

Des experts ont par ailleurs examiné la conception des dispositifs de mise à l'arrêt de Smolensk-3. Cet examen, qui a fait l'objet d'une réunion de consultants de l'AIEA en Suisse en décembre 1993, s'est fondé sur les Normes de sûreté nucléaire de l'AIEA (NUSS), sur des normes nationales russes, allemandes et canadiennes, et sur les pratiques réglementaires fixées par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE).

Les experts internationaux ont pleinement approuvé l'intention des concepteurs russes d'améliorer les systèmes de mise à l'arrêt des RBMK.

On a accordé beaucoup d'attention également à l'analyse des ruptures multiples de tubes de force dans les RBMK. Lors d'une réunion à Moscou, en janvier 1994, les participants ont examiné les aspects pertinents de la réglementation des Etats Membres qui exploitent des réacteurs à canaux et passé en revue les méthodes, critères et résultats des analyses de sûreté. Ils ont conclu qu'il était urgent de valider des codes informatiques pour l'étude des scénarios d'accident par perte de fluide de refroidissement (LOCA) dans les RBMK. En novembre 1994, des consultants de l'AIEA réunis au Japon ont établi une matrice de validation pour le calcul de codes et l'AIEA a organisé en 1995 un exercice international fondé sur les résultats expérimentaux communiqués par le Japon.

Les activités du programme de sûreté de l'AIEA pour les RBMK sont coordonnées avec celles d'un consortium sur la sûreté de conception et d'exploitation des centrales équipées de réacteurs RBMK, constitué sous les auspices de la Commission européenne. Les deux programmes utilisent les mêmes RBMK de référence.

Une étape importante a été franchie avec l'achèvement, en 1994, des examens de sûreté de Smolensk-3 et d'Ignalina-2. Pour communiquer les

Le programme de sûreté pour les RBMK

Au début des années 90, l'AIEA a lancé un programme d'aide aux pays d'Europe centrale et orientale et à l'ex-Union soviétique pour l'évaluation de la sûreté de leurs centrales nucléaires équipées de réacteurs VVER-440/230 de la première génération. Ce programme avait essentiellement pour objet de déterminer les principaux problèmes de conception et de sûreté d'exploitation, de réaliser un consensus international sur les améliorations prioritaires de la sûreté et de s'assurer de la qualité des mesures prises. Il a été étendu en 1992 aux réacteurs RBMK, VVER-440/213 et VVER-1000 en exploitation ou en construction. Des projets nationaux et régionaux de coopération technique viennent le compléter.

Le programme comporte notamment des examens de la sûreté de chaque centrale pour juger de la conception et des pratiques d'exploitation; des évaluations des événements significatifs pour la sûreté par le service ASSET de l'AIEA; des examens de la conception des installations, avec études de la sûreté antisismique; et des réunions spéciales sur des questions générales de sûreté. Des missions complémentaires visitent les centrales pour vérifier l'application des recommandations de l'AIEA; les améliorations de la sûreté exécutées ou proposées sont évaluées; les études de sûreté sont revues par des homologues; une assistance est prévue pour renforcer les organismes de réglementation; et des ateliers de formation sont organisés. Une base de données consigne les problèmes techniques de sûreté relevés dans chaque installation ainsi que l'état d'avancement des améliorations.

Le programme, extrabudgétaire, est tributaire des contributions volontaires des Etats Membres de l'AIEA. Des comités directeurs coordonnent et guident l'étude des questions techniques et facilitent l'échange d'informations avec la Commission européenne et d'autres organisations internationales et financières. Le programme tient compte des résultats des activités nationales, bi- et multilatérales pertinentes, préparant ainsi le terrain pour un consensus international sur la base technique d'une amélioration de la sûreté des réacteurs VVER et RBMK. L'AIEA donne aussi des avis techniques dans le cadre de la coordination organisée par le Groupe des 24 de l'OCDE sous l'autorité de la Commission européenne.

Les résultats, recommandations et conclusions issus du programme sont uniquement destinés à aider les dirigeants nationaux, seuls responsables de la réglementation, de l'amélioration et de la sûreté d'exploitation de leurs centrales nucléaires. Le programme facilite mais ne remplace pas les évaluations globales de la sûreté nécessaires dans le cadre des formalités nationales d'homologation.

résultats à la communauté technique internationale, l'AIEA a organisé en mai-juin 1995 une réunion à laquelle ont été présentés les résultats de son propre programme et ceux du programme de la Commission européenne, rendant ainsi compte de l'effort considérable déployé par les experts internationaux et les organismes russes pour examiner la sûreté des centrales équipées de RBMK.

Les deux projets ont abouti à maintes recommandations visant à renforcer la sûreté de cette filière, dont la plupart sont en accord avec les mesures prévues par les programmes nationaux sur les RBMK en cours d'exécution en Russie, en Lituanie et en Ukraine.

A partir des premiers résultats de son programme, l'AIEA a établi une liste récapitulative des problèmes de sûreté de conception et d'exploitation des réacteurs en cause, à l'aide d'une base de données dans laquelle elle avait groupé par sujet toutes les conclusions et recommandations des diverses réunions techniques, des examens de sûreté de Smolensk et d'Ignalina, et des rapports d'évaluation du consortium international de la Commission européenne, ainsi que les renseignements sur la sûreté de chaque centrale communiqués par le principal bureau d'études des réacteurs RBMK de Moscou.

La base de données de l'Agence est reliée à la banque de données du groupe de coordination G-24 sur la sûreté nucléaire, ce qui facilite l'étude en commun des problèmes et des projets d'assistance.

Résultats du programme de l'AIEA

Le programme a relevé 58 problèmes de sûreté dans les centrales RBMK et les a classés sous sept rubriques distinctes. Six éléments de conception posent des problèmes classés selon la perception de leur impact sur la sûreté de l'installation. Les problèmes relatifs aux modalités d'exploitation, notamment la recherche d'une haute culture de sûreté, sont tous jugés très importants.

Le classement d'un problème n'implique pas nécessairement que toutes les recommandations présentées ont un même degré d'urgence. Celles-ci doivent en effet être revues compte tenu des particularités de chaque centrale.

Deux problèmes généraux concernant l'assurance de la qualité et les questions de réglementation ne sont pas classés sous une rubrique particulière, car on estime qu'ils relèvent de toutes les rubriques. Au niveau de l'assurance de la qualité, on veille spécialement à se fonder sur les conditions et la configuration réelles de l'installation pour procéder aux diverses analyses, aux examens de la sûreté et aux améliorations de celle-ci. On veille aussi à ce que les plans soient mis à jour à mesure que la configuration de la centrale est modifiée et améliorée. Il est donc de la plus haute importance que les services responsables appellent l'attention sur les

Aperçu technique d'un RBMK

Le cœur du réacteur est formé de blocs de graphite étroitement empilés en colonnes et percés d'un conduit axial pour loger les canaux de combustible et les «canaux spéciaux» réservés à l'instrumentation et à la commande, par exemple. Cet empilement de graphite est enfermé dans une cuve cylindrique en acier de 14 mètres de diamètre qui assure sa cohésion et contient aussi le mélange hélium-azote.

La masse totale de graphite pèse 1 700 tonnes. Environ 6 % de l'énergie thermique du réacteur est produite dans le graphite. Le mélange hélium-azote facilite le transfert de chaleur entre le graphite et les canaux, et protège le graphite contre l'oxydation — la température de travail est d'environ 650°C. Des échantillons du mélange gazeux sont prélevés pour surveiller l'intégrité.

Les conduits verticaux sont prévus pour 1 661 canaux de combustible en alliage zirconium-niobium, de 88 millimètres de diamètre. Ces canaux contiennent chacun deux assemblages combustibles insérés bout à bout et composés chacun de 18 barreaux de combustible, de 13,6 millimètres de diamètre et recouverts d'une gaine en zirconium-niobium. La longueur totale de la charge de combustible du cœur est d'environ sept mètres.

Nombre et classement des problèmes de sûreté des RBMK

Rubrique	Nombre de problèmes relevés	Nombre de problèmes par catégorie		
		Graves	Moyens	Mineurs
Conception et surveillance du cœur	6	5	1	0
Instrumentation et commande	7	2	5	0
Intégrité du circuit primaire	7	4	2	1
Analyse des accidents	10	3	7	0
Systèmes de sûreté et auxiliaires	10	4	6	0
Protection contre les feux	5	1	3	1
Sûreté d'exploitation	13*	—	—	—
Total	58	19	24	2

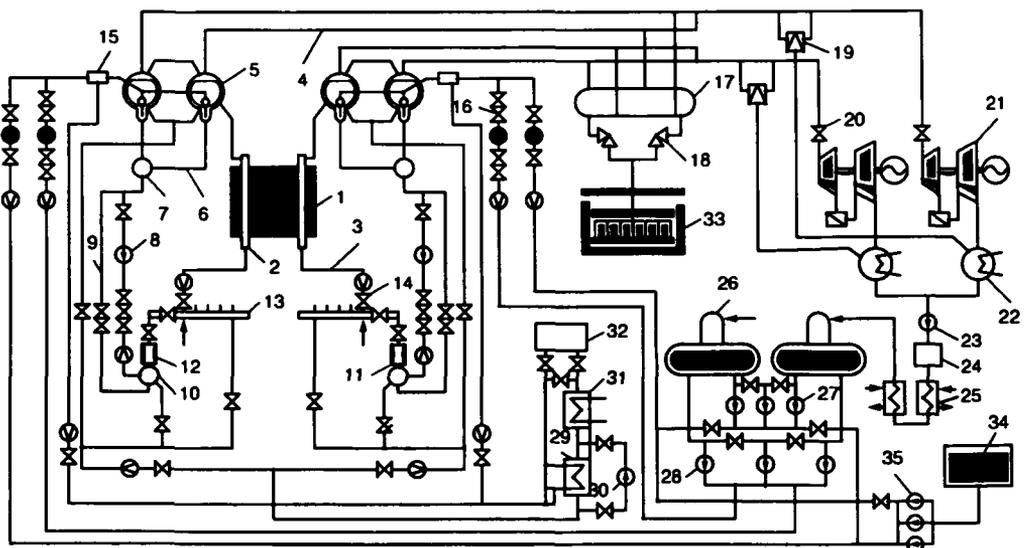
* Non classés par rubrique, mais jugés très importants, les améliorations devant être incorporées aux modifications de la conception.

Graves: Problèmes résultant d'une défense en profondeur insuffisante ayant une forte incidence sur la sûreté de l'installation. Des mesures doivent être prises à brève échéance pour améliorer la sûreté selon les besoins de chaque centrale, jusqu'à ce que le défaut soit totalement corrigé.

Moyens: Problèmes résultant d'une défense en profondeur insuffisante ayant une incidence significative sur la sûreté de l'installation. Pourraient exiger des mesures à brève échéance pour améliorer la sûreté selon les besoins de chaque centrale, jusqu'à ce que le défaut soit totalement corrigé.

Mineurs: Problèmes résultant d'une défense en profondeur insuffisante mais ayant une faible incidence sur la sûreté de l'installation. Il est souhaitable de prendre des mesures pour améliorer la défense en profondeur si le rapport coût-avantage le justifie.

- 1 Réacteur
- 2 Canal de combustible
- 3 Conduites d'eau
- 4 Conduites de vapeur
- 5 Séparateur de vapeur
- 6 Colonne descendante
- 7 Collecteur d'aspiration
- 8 Pompe de circulation principale
- 9 Dérivation entre collecteurs
- 10 Collecteur de pression
- 11 Filtre mécanique
- 12 Régulateur de débit
- 13 Collecteur de distribution
- 14 Vanne d'isolement et de réglage
- 15 Mélangeur
- 16 Vanne d'alimentation en eau
- 17 Collecteurs de vapeur
- 18 Vanne de décharge principale
- 19 Vanne de décharge de vapeur
- 20 Vanne d'arrêt turbine
- 21 Turboalternateur
- 22 Condenseur
- 23 Pompe à condensat
- 24 Epuration du condensat
- 25 Réchauffeur
- 26 Dégazeur
- 27 Pompe auxiliaire d'alimentation en eau
- 28 Pompe d'alimentation en eau
- 29 Régénérateur de purge



- 30 Pompe de refroidissement
- 31 Chaleur résiduelle de purge
- 32 Epuration par dérivation

- 33 Bassin du SLA
- 34 Réservoir d'eau de secours
- 35 Pompe d'alimentation de secours

Amélioration de la conception fondamentale de la sûreté des RBMK

Depuis l'accident de Tchernobyl d'avril 1986, d'importantes améliorations ont été apportées à la sûreté des réacteurs RBMK. Elles visent à la fois les causes directes de l'accident et d'autres défauts de sûreté décelés lors de diverses analyses.

Cœur du réacteur. Les modifications résultant directement de l'accident de Tchernobyl concernent essentiellement le coefficient de vide et l'amélioration de la conception des barres de commande. Elles ont été faites dans tous les RBMK. Les principales mesures pour réduire le coefficient de vide sont:

- Mettre en place des absorbeurs supplémentaires. Leur nombre peut varier de 85 à 103 selon le réacteur. Les spécifications techniques exigent au moins 81 absorbeurs supplémentaires.
- Porter l'enrichissement du combustible de 2,0 à 2,4 %.
- Contrôler la marge de réactivité en exploitation. Elle est obtenue par insertion totale de 43 à 48 barres de commande équivalentes.

Système de protection d'urgence (SPU). Trois modifications ont été faites pour améliorer l'efficacité et la vitesse de réponse du système. Les barres de commande manuelles ont été remplacées par des barres mieux conçues, après élimination de la colonne d'eau au fond des canaux du système de commande et de protection du réacteur, et accroissement de la section d'absorption des neutrons. L'entraînement des barres a également été modifié afin de réduire de 19 à 12 secondes le temps d'insertion total des barres dans le cœur. Ces deux mesures ont amélioré la réponse du SPU pendant les premières secondes de l'insertion des barres. Comme troisième mesure, un SPU rapide a été mis au point et installé dans tous les réacteurs en exploitation. Il permet d'insérer totalement 24 barres de commande en moins de 2,5 secondes, ou en 7 secondes selon l'alarme déclenchée.

Système de commande et de surveillance. D'autres mesures ont été prises pour améliorer le système, dont une mise à l'arrêt manuelle du réacteur quand sa puissance baisse à moins de 700 mégawatts thermiques et une autre mise à l'arrêt manuelle lorsque la marge de réactivité en exploitation est inférieure à 30 barres de commande équivalentes.

Circuit primaire. Deux boucles indépendantes assurent le refroidissement du cœur par moitié. Chacune est équipée de quatre pompes principales et des tubulures associées. La pression du système est de 7 MPa.

Système de refroidissement d'urgence du cœur (SRUC). Pour Smolensk-3, l'accident de référence déclenchant le SRUC est une double rupture totale d'une conduite de 900 mm avec coupure d'électricité hors du site. Cela implique la rupture des collecteurs de pression ou du collecteur d'aspiration de la pompe de circulation principale. Dans cette éventualité, le SRUC assure à la fois le refroidissement immédiat

du cœur et l'évacuation à long terme de la chaleur de désintégration avec six pompes alimentées par le système de localisation des accidents pour refroidir la moitié endommagée du cœur et trois pompes alimentées par les réservoirs de condensat épuré pour refroidir la moitié non endommagée du réacteur. Ces deux batteries de pompes fonctionnent électriquement; un groupe électrogène diesel de secours est prévu.

Des modifications de conception non liées aux causes de l'accident de Tchernobyl sont faites sur les RBMK de la première et de la deuxième génération. Il s'agit notamment de porter de trois à cinq le nombre des pompes d'alimentation d'urgence en eau et de prévoir un double circuit pour le SRUC; de monter des pompes supplémentaires sur ces circuits (trois pour le refroidissement de la partie endommagée du cœur et trois pour celui de la partie non endommagée) avec leurs trois circuits correspondants; d'installer des vannes régulatrices entre les collecteurs du groupe de distribution et le collecteur de refoulement de la pompe principale du circuit de refroidissement, et des accumulateurs de grande capacité.

Système de localisation des accidents (SLA). Les RBMK sont protégés par le SLA. Celui-ci, détenteur de pression, englobe une partie du circuit de circulation principal et se compose de compartiments étanches. Toutes les conduites principales, les collecteurs et les composants porteurs d'eau de refroidissement sont inclus dans le SLA, lequel est conçu très différemment d'une installation à l'autre. Par exemple, le circuit de refroidissement des réacteurs RBMK de la première génération n'est pas inclus dans un SLA étanche, contrairement à celui des autres RBMK qui, de toute façon, n'est que partiellement confiné par un SLA à compartiments étanches.

Système de protection contre les surpressions dans le caisson du réacteur. C'est un élément important du système de sûreté des RBMK. Comme cause de surpression, on postule une rupture de tube de force à l'intérieur du caisson. La détente est assurée par des tubes qui relient le caisson au SLA par l'intermédiaire d'une garde hydraulique. L'accident de référence pour les analyses de la sûreté des RBMK est la rupture d'un des tubes. Le système peut accepter la rupture de deux ou trois tubes de force (pour le réacteur de la première et de la deuxième génération respectivement), ce qui donne une marge de sécurité par rapport à l'accident de référence. Pour les réacteurs de la première génération, le système de décompression libère le mélange vapeur/gaz du caisson vers un condenseur, le gaz étant ultérieurement retenu et rejeté par la cheminée.

Pour améliorer la capacité du système, le travail se fait par étapes sur toutes les unités. Le système actuel qui est du type Smolensk-3 peut déjà supporter la rupture simultanée d'un maximum de neuf tubes de force, dans le pire des cas.

problèmes de sûreté, les évaluent dans les meilleurs délais et prennent en temps voulu les mesures qui s'imposent.

C'est aux exploitants et aux organismes de réglementation qu'il appartient de préciser quand et comment les problèmes de sûreté doivent être abordés. Les examens de sûreté par l'AIEA mettent des compétences internationales à leur disposition pour leur faciliter la tâche. Ces examens se fondent sur les publications de la série NUSS, sur la réglementation russe et sur les pratiques nationales. Les recommandations et conclusions ont pour seul objet d'offrir une information technique complémentaire en vue des décisions à prendre pour améliorer la sûreté des RBMK. Les autorités nationales sont seules responsables de la réglementation et de la sûreté d'exploitation de leurs centrales nucléaires. Les résultats obtenus ne peuvent donc se substituer aux évaluations de la sûreté que prévoient les procédures nationales d'homologation.

Synthèse des conclusions techniques

Conception et surveillance du cœur. Les causes immédiates de l'accident de Tchernobyl ont été attribuées à la conception du cœur du réacteur. On a donc commencé par remédier aux défauts avérés de la physique du cœur.

Jusqu'à présent, un gros effort a porté sur la réduction du coefficient de vide et sur l'efficacité du système de mise à l'arrêt. Il reste néanmoins à résoudre d'importants problèmes, dont celui du coefficient de vide associé à la perte de caloripporteur au niveau des canaux du système de commande et de protection, et celui de la mise à l'arrêt indépendante par divers moyens. Les experts internationaux ont donc pleinement approuvé l'intention des concepteurs russes d'améliorer et de moderniser les RBMK à cet égard pour relever le niveau de sûreté.

La marge de réactivité en exploitation est aussi très importante du point de vue de la sûreté. Elle doit être contrôlée afin de maintenir le coefficient de vide, l'efficacité du système de mise à l'arrêt et la distribution de la puissance dans des limites précises. Avec les réacteurs actuels, c'est à l'opérateur seul qu'il incombe de maintenir cette marge dans les limites prescrites. Les experts du programme de l'AIEA ont recommandé que la mise à l'arrêt devienne automatique lorsque la marge de réactivité est inférieure aux valeurs limites pour la sûreté.

Le processus d'analyse de la conception et de la sûreté des RBMK a aussi son importance. Des analyses ont été faites à l'époque avec des outils (des codes informatiques, par exemple) qui ne permettaient pas de modéliser convenablement les interactions spatiales entre les phénomènes neutroniques et thermohydrauliques. C'est pourquoi on cherche à mettre au point des méthodes tridimensionnelles pour analyser les champs neutroniques, la densité du

réfrigérant et la distribution des températures dans le combustible et le graphite. Les experts du programme de l'AIEA ont recommandé de recourir à ces méthodes pour confirmer les résultats des précédentes analyses de sûreté et procéder à de nouvelles études.

Instrumentation et commande. Le principal problème était celui de la séparation des dispositifs électroniques et du degré de diversification des systèmes et des composants les plus importants. Par exemple, le système de régulation des débits a de nombreux éléments en commun avec le système de mise à l'arrêt. Bien que l'ensemble soit très souple grâce à une grande redondance, les deux systèmes seraient très vulnérables en cas de défaillance de mode commun qui pourrait entraîner la perte simultanée des fonctions de commande et de protection. Le système de refroidissement d'urgence du cœur est déclenché par une combinaison de signaux. On n'est cependant pas suffisamment assuré que le système répondra promptement ou que les organes d'entraînement sont protégés contre les défaillances uniques.

Le remplacement des ordinateurs principaux de la centrale est classé comme problème de sûreté «moyen», mais la situation diffère d'une centrale à l'autre. A Ignalina, par exemple, le matériel donne des signes certains de vieillissement avec déformation de plaques sous l'effet de la chaleur et fragilisation de connecteurs en matière plastique.

Plusieurs autres défauts pourraient être corrigés sur place, notamment au niveau des procédures d'essai et de maintenance, et de l'enregistrement et de l'exploitation des données sur les défaillances.

Intégrité du circuit primaire. Quelques composants et autres tuyauteries du circuit primaire de refroidissement sont situés en dehors du système de localisation des accidents. Dans les RBMK de la première génération, la rupture ouverte d'une conduite peut endommager des structures civiles. L'application du principe de la fuite avant rupture réduirait le risque de défaillance du circuit primaire. On a entrepris de démontrer que le principe peut s'appliquer dans le cas des RBMK et on met en œuvre les techniques appropriées.

Jusqu'à présent, on a relevé trois ruptures de canaux dues à un blocage de la circulation d'eau ou à un déséquilibre du rapport débit/puissance. Il est donc recommandé d'étudier et d'effectuer, si possible, une réduction sur les circuits du nombre de composants dont la défaillance pourrait bloquer la circulation.

Les examens de la sûreté par l'AIEA indiquent que certaines centrales ont été maintenues en exploitation alors même que la fréquence et le nombre des inspections du circuit primaire exigés par la réglementation nationale ne sont pas respectés, ou que leurs résultats ne sont pas satisfaisants. Les calendriers en vigueur pour l'exécution des modifications, les analyses complémentaires et l'enregistrement de

l'information ne sont pas toujours suivis. En pareils cas, les critères limitatifs de l'exploitation ne sont pas fixés.

Dans la pratique, les inspections nécessaires en cours d'exploitation ne sont pas toutes faites. Dans certains cas, le nombre requis de canaux de combustible n'est pas contrôlé. Les dispositions prises dans les centrales RBMK pour corriger les défauts relevés diffèrent de l'approche prévisionnelle adoptée ailleurs. Les résultats des inspections avant mise en service et les données prévisionnelles en cours d'exploitation ne sont pas consignés. Le matériel et les méthodes utilisés ne permettent pas d'obtenir des mesures reproductibles des petits défauts inférieurs au niveau critique.

Analyse des accidents. Le schéma d'analyse des accidents hypothétiques que donne la justification technique de la sûreté pour les RBMK était fixé par la réglementation nationale en vigueur lorsque la justification technique a été publiée. On l'a jugé limitatif comparé aux pratiques courantes et l'information obtenue ne donne généralement pas une description précise des hypothèses retenues pour l'analyse. Les codes informatiques utilisés à l'époque où les RBMK ont été conçus avaient un pouvoir de modélisation limité. L'absence d'une base de données expérimentales sur les ruptures de tuyaux du circuit caloripporteur primaire réduisait les possibilités de validation intégrale des codes. Des codes russes plus modernes et quelques codes occidentaux sont actuellement utilisés, mais ils n'ont pas été suffisamment validés pour modéliser les RBMK.

L'examen a permis en outre de constater que plusieurs points sont insuffisamment traités, notamment l'analyse des accidents de référence; la qualité des codes, de la base de données, de la validation et de la documentation pour l'analyse des accidents par perte de fluide de refroidissement; et la sensibilité aux variations et incertitudes des paramètres. Les transitoires sans chute de barres ont été jugées d'une extrême importance pour la sûreté et doivent être analysées.

Il est indispensable que cette analyse soit exhaustive si l'on veut garantir la sûreté de la conception. Elle devrait détecter des insuffisances éventuelles de la conception actuelle et se faire par des méthodes modernes spécifiques. A mesure que des modifications sont apportées à la conception de l'installation, elle doit être mise à jour. Tel est le cas du rapport d'analyse de la sûreté concernant la centrale d'Ignalina.

L'analyse probabiliste de la sûreté est un moyen utile de définir les faiblesses et les améliorations prioritaires. Aussi est-il recommandé, pour tous les RBMK, de soumettre l'analyse probabiliste de chaque installation à un examen par des homologues.

Systèmes de sûreté et auxiliaires. On a constaté que la forte redondance que comportent plusieurs systèmes de sûreté de première ligne n'est pas aussi généreuse dans les systèmes auxiliaires, tels les

circuits d'eau brute ou de refroidissement intermédiaire. Quoi qu'il en soit, cette forte redondance n'est pas toujours une garantie, vu les défaillances de mode commun toujours possibles.

La fiabilité des systèmes de sûreté dépend de leur conception, de leur concordance et des paramètres d'exploitation, tels que les procédures de maintenance, d'essai et d'exploitation en cas d'urgence. Par conséquent, il faut toujours y penser lorsque l'on étudie des procédures d'essai et d'exploitation en cas d'urgence.

La plupart des installations sont si différentes les unes des autres que les recommandations dans ce domaine doivent tenir compte des particularités de chacune d'elles.

Protection contre les feux. Une protection passive contre l'incendie peut être très efficace. Elle comporte toutes les dispositions prises avant la mise en exploitation et n'exige normalement aucune intervention humaine ou mécanique en cas d'incendie. La prévention consiste à réduire au minimum les quantités de substances inflammables et les charges calorifiques. Il est évidemment préférable d'éliminer totalement les matières inflammables mais, si c'est impossible, il faut répartir la charge calorifique entre divers compartiments, ce qui consiste à séparer les uns des autres les organes importants pour la sûreté et à les isoler des matières dangereuses. Les compartiments devraient être séparés par des coupe-feu tels que murs, sols et plafonds, avec joints d'isolement pour les pénétrations mécaniques et électriques. De même, dans chaque compartiment, il faudrait éventuellement prévoir des coupe-feu entre éléments importants, par espacement ou cloisonnement.

Les risques d'incendie n'ont pas suffisamment été pris en considération lors de la conception des RBMK, alors qu'il eût été facile d'adopter des solutions passives. Un gros travail a cependant été fait par la suite. Petit à petit, on élimine les charges calorifiques les plus importantes ainsi que les revêtements de sol plastiques. Le compartimentage a été amélioré: portes blindées, pénétration avec joints d'isolement, et protection des câbles par un revêtement ignifuge.

Ces problèmes sont résolus en partie dans certaines centrales RBMK, tandis que dans d'autres leur solution passe par un remaniement de la conception, par les programmes nationaux de modernisation ou par une assistance bilatérale ou internationale.

Dans une centrale, toutes les zones où se trouvent des matières inflammables devraient être protégées par des détecteurs d'incendie reliés à un système d'alarme. Les systèmes actuels sont incomplets et doivent être améliorés. Certaines centrales ont pris des dispositions de leur propre initiative, tandis que d'autres comptent sur les programmes bilatéraux ou internationaux.

Les centrales nucléaires de l'ex-Union soviétique sont généralement bien dotées en moyens manuels de lutte contre l'incendie, en ce qui concerne tant les

effectifs que la formation des équipes de pompiers. Toutefois, l'équipement individuel de protection, les moyens de communication et le matériel d'intervention, comme les extincteurs, les manches et les lances, laissent à désirer.

Il existe aussi des dispositifs automatiques d'aspersion et de noyage ainsi que des systèmes à base de neige carbonique ou de mousse. Il conviendrait d'évaluer la fiabilité et le déploiement de tous ces matériels, et de prévoir des asperseurs automatiques fixes dans certains compartiments qui ne sont pas encore efficacement protégés.

L'approvisionnement en eau est suffisant pour assurer le bon fonctionnement de tous les moyens manuels et automatiques de lutte contre l'incendie. Cependant, des différences entre centrales et entre générations de RBMK appellent des mesures d'un ordre différent.

Sûreté d'exploitation. L'expérience d'exploitation des centrales nucléaires confirme le rôle important du personnel dans la sûreté. On s'est beaucoup soucié d'étudier les facteurs humains intervenant dans l'exploitation. Il faudrait améliorer la sûreté d'exploitation des RBMK. Les divers problèmes notés concernent la formation des opérateurs, les modalités d'exploitation et de gestion des urgences, ainsi que la surveillance, la maintenance et le contrôle des modifications apportées aux centrales. Des recommandations ont été formulées à cet

égard et devraient être mises en œuvre parallèlement aux améliorations proposées pour la conception et la sûreté.

Fondement technique solide

A partir des examens de sûreté nationaux et multilatéraux, les principaux problèmes de sûreté des plus récentes centrales RBMK ont été définis et les améliorations nécessaires ont été agréées.

Malgré les mesures prises jusqu'à présent, des problèmes demeurent, notamment dans les unités de la première génération. Dorénavant, l'AIEA s'efforcera surtout de contribuer à l'examen des installations de cette filière et de rationaliser la solution des problèmes généraux de sûreté.

Il est essentiel de disposer d'une information à jour sur chacun des RBMK en exploitation pour échanger utilement les renseignements techniques et coordonner les activités nationales et internationales visant à améliorer la sûreté. La base de données constituée par l'AIEA est un excellent moyen d'y parvenir. Ce qui reste à faire permettra d'acquérir davantage d'information sur les différentes centrales dans le but de suivre l'avancement des améliorations de la sûreté et de préciser les domaines méritant un effort supplémentaire.



Participants à l'examen de sûreté de la centrale de Smolensk au titre du programme extrabudgétaire de l'AIEA sur la sûreté des RBMK.