

Le réacteur à eau légère de demain en Russie

Les centrales à l'étude seront différentes

Les graves accidents qui se sont produits aux centrales nucléaires de Three Mile Island et de Tchernobyl sont devenus des jalons historiques qui divisent l'ère nucléaire en deux phases extrêmement différentes.

Au cours de la première phase, le développement de l'énergie nucléaire s'est fait dans un climat favorable d'acceptation par le public. Dans certains pays, il a même été marqué par un climat de confiance et d'euphorie.

A la phase suivante, l'opinion publique dans le monde entier s'est rapidement tournée vers la sûreté des centrales nucléaires, alors que des mouvements anti-nucléaires puissants se formaient et que la stratégie du développement du nucléaire était examinée de façon très critique.

Cette évolution, qui a commencé à l'Ouest, a atteint les pays de l'Europe orientale après l'accident de Tchernobyl. Il en résulte que, à la fin du siècle, la puissance installée totale des centrales nucléaires de la Communauté des Etats indépendants (CEI) ne pourra même pas atteindre le tiers de l'objectif fixé par le programme nucléaire soviétique adopté au début des années 80. Dans l'ensemble, les travaux ont été arrêtés sur 39 sites prévus pour des centrales d'une puissance nominale totale de 109 gigawatts (GW).

Dans les pays occidentaux, le développement de l'énergie nucléaire semblait être également au point mort. Dans certains de ces pays, la construction de centrales nucléaires a été complètement ou partiellement suspendue.

En dépit de ces conditions, les fortes motivations économiques et écologiques pour l'établissement d'un secteur d'énergie électrique d'origine nucléaire dans le bilan combustible-énergie ne se sont pas pour autant évaporées. En fait, elles ne font qu'augmenter. Les études systématiques sur les coûts spécifiques de l'électricité produite par les centrales nucléaires ou les centrales au charbon dans

les pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) indiquent un avantage constant du nucléaire tout au long des années 80. Les études menées pour la CEI confirment la même tendance. La substitution du pétrole et du gaz au charbon renforce encore la position concurrentielle de l'énergie nucléaire.

La fin des années 80 peut également se définir comme une époque durant laquelle le grand public a commencé à se rendre compte du risque écologique que représente l'utilisation des combustibles organiques. Ces préoccupations sans cesse croissantes ont fait naître des signes de réveil de l'énergie nucléaire.

Tendances des réacteurs avancés

Les conceptions de réacteurs avancés pouvant répondre aux exigences d'une sûreté acceptable, ou même optimale, peuvent être envisagées par les physiciens qui se consacrent au développement de l'énergie nucléaire comme solution des difficultés actuelles.

Aujourd'hui, dans le monde entier, le développement nucléaire évolue nettement vers la mise au point des réacteurs à eau légère (LWR) pour les 25 ans à venir. On peut constater deux tendances fondamentales dans ce processus évolutif fondé sur l'expérience acquise avec les centrales à eau ordinaire en exploitation.

La première est d'intégrer les solutions éprouvées au point de vue technique dans des conceptions nouvelles, de manière à supprimer la nécessité de construire une centrale de démonstration. Ce type de conceptions peut ouvrir la voie au développement de l'énergie nucléaire dans un proche avenir.

La manière de s'y prendre est entièrement différente quand il s'agit des LWR avancés de taille moyenne et de grande taille. Dans le cas des grandes centrales, la démarche normale est de poursuivre l'amélioration des mesures visant à garantir la sûreté, et cette voie mène, jusqu'à un certain point, à des complications de la conception.

Pour ce qui est des LWR de taille moyenne, la puissance du réacteur et la puissance massique du cœur sont réduites, avec simplification de la concep-

par
A.Yu. Gagarinski,
V.V. Ignatiev,
V.M. Novikov et
S.A. Subbotin

M. Gagarinski est directeur adjoint et M. Novikov est chef, Problèmes d'énergie nucléaire à l'Institut Kourchatov, 123182 Moscou, Square Kourchatov. M. Ignatiev et M. Subbotin sont des membres de la haute direction de l'Institut.

tion et utilisation maximale des moyens de sûreté passifs.

De nombreux projets s'efforcent naturellement de conjuguer ces deux approches. Par exemple, des dispositifs passifs supplémentaires sont incorporés dans les projets de grands réacteurs, tels que les projets russes VVER-88 et VVER-92.

La deuxième tendance notable du développement des centrales nucléaires avancées est de porter au plus haut point possible l'autoprotection du réacteur. Pour y parvenir, les caractéristiques de sûreté inhérentes sont principalement combinées aux moyens de sûreté passive.

Il est tout naturel qu'il manque une vérification expérimentale suffisante pour un grand nombre de ces dispositifs. Certains d'entre eux sont encore au stade du concept physique. Par conséquent, pour aboutir, ces innovations doivent franchir le stade du prototype. La date probable de la mise en œuvre du projet serait donc au moins reportée jusqu'au début du siècle prochain. Il faut pourtant admettre qu'en matière de simplicité physique ces projets innovateurs ont de meilleures chances de gagner la faveur du public.

La pluralité des approches, toutefois, comporte la menace d'un excès de diversification et d'un éparpillement des efforts. Il semble très important de maintenir la diversification dans des limites raisonnables. Pour cela, il est nécessaire de poursuivre les travaux analytiques à tous les niveaux, d'effectuer une validation expérimentale et de garantir la fiabilité.

On est en droit de supposer que ces analyses, en mettant à jour les avantages des différents projets, faciliteraient la formulation des spécifications d'un projet éventuel de LWR avancé Est-Ouest. Ce projet pourrait comprendre les réalisations techniques du LWR occidental et du VVER russe (réacteur de puissance utilisant l'eau comme fluide de refroidissement et modérateur) et pourrait offrir un bon moyen d'intégration internationale dans le domaine de l'énergie nucléaire.

Nous allons présenter brièvement certaines caractéristiques des LWR avancés actuellement mis au point en Russie.

Projets de grandes centrales nucléaires

Les premières études en vue d'une nouvelle génération de centrales nucléaires dotées d'une sûreté améliorée et fondées sur un réacteur VVER-1000 ont été menées voici quelques années dans le cadre du concept VVER-88 (voir le tableau). Pour améliorer la sûreté, le réacteur a été équipé de systèmes supplémentaires. Ceux-ci comportent un système passif d'évacuation de la chaleur de désintégration avec un échangeur de chaleur et d'air monté à l'extérieur de l'enceinte de confinement, un système de filtration destiné à détendre la pression dans l'enceinte de confinement dans des conditions d'accident dépas-

sant celles d'un événement de référence, et des accumulateurs supplémentaires pour le refroidissement d'urgence du cœur.

Dans le cadre de ces travaux, la firme russe Hydropress a entrepris l'étude d'un nouveau VVER-92 (V-410) (voir le schéma). Ce projet, contrairement au concept antérieur, recommande une simplification radicale de la centrale nucléaire (y compris les systèmes de sûreté actifs), une amélioration du rendement du système passif et une réduction possible de la puissance du cœur.

Ce projet envisage une configuration du circuit primaire à quatre boucles et des générateurs de vapeurs verticaux. Une pompe primaire d'un modèle nouveau serait utilisée. Des réservoirs d'eau supplémentaires s'ajoutent pour le refroidissement d'urgence du cœur. La centrale serait dotée d'un système passif d'évacuation de la chaleur de désintégration constitué de quatre boucles, une pour chaque générateur de vapeur. L'enceinte de confinement est double, et l'enveloppe intérieure de 42 mètres de diamètre est en béton armé.

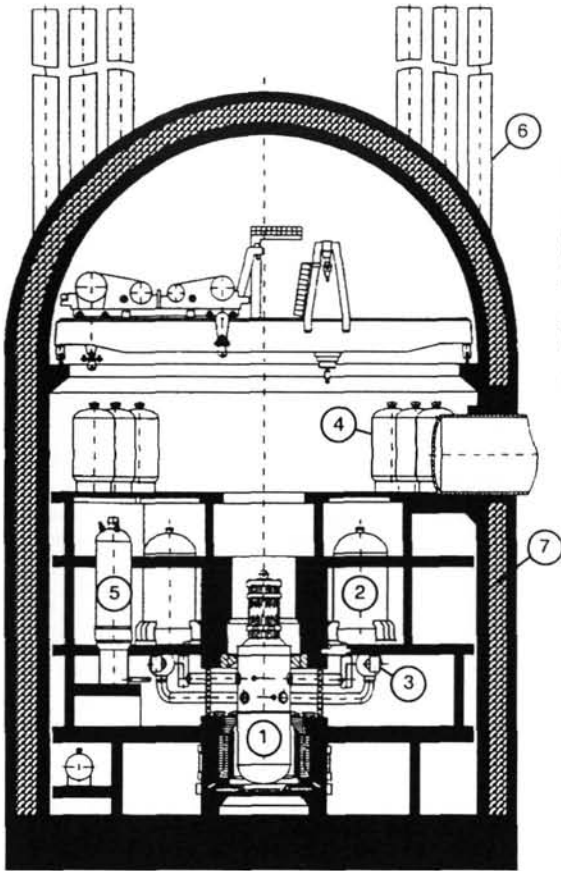
L'amélioration de la sûreté par des moyens passifs est mise au premier plan. Il faut remarquer que dans les autres modèles de PWR avancés les systèmes passifs ne sont utilisés que dans les réacteurs de puissance moyenne (jusqu'à 600 mégawatts) et la puissance du cœur est réduite considérablement. En outre, il semble qu'une validation expérimentale complète est nécessaire.

Projets de centrales de taille moyenne

Hydropress et d'autres firmes russes étudient en ce moment un réacteur de puissance de taille moyenne, le VVER-500/600. Le circuit primaire comporte les quatre boucles habituelles et des générateurs de vapeur horizontaux dont la construction est semblable à celle des générateurs qui ont présenté un bon rendement dans les VVER-440 en exploitation. La cuve du réacteur est semblable à celle du VVER-1000 (V-320).

La conception du VVER-500/600 se concentre sur l'amélioration de la fiabilité d'exploitation et mise principalement sur une plus grande fiabilité du matériel et une optimisation des systèmes de sûreté.

Il faut noter que les solutions adoptées pour ce projet sont conformes aux tendances mondiales d'amélioration de la sûreté des réacteurs à boucles de moyenne puissance. Parmi ces solutions figurent la réduction de la puissance du réacteur et de la puissance massique du cœur, les systèmes passifs à convection naturelle pour l'évacuation de la chaleur de désintégration, l'utilisation d'un système de dépressurisation du circuit primaire, la mise en œuvre d'un système passif destiné à compenser la perte d'eau des générateurs de vapeur et l'utilisation du refroidissement extérieur par convection naturelle de l'enceinte de confinement en acier.

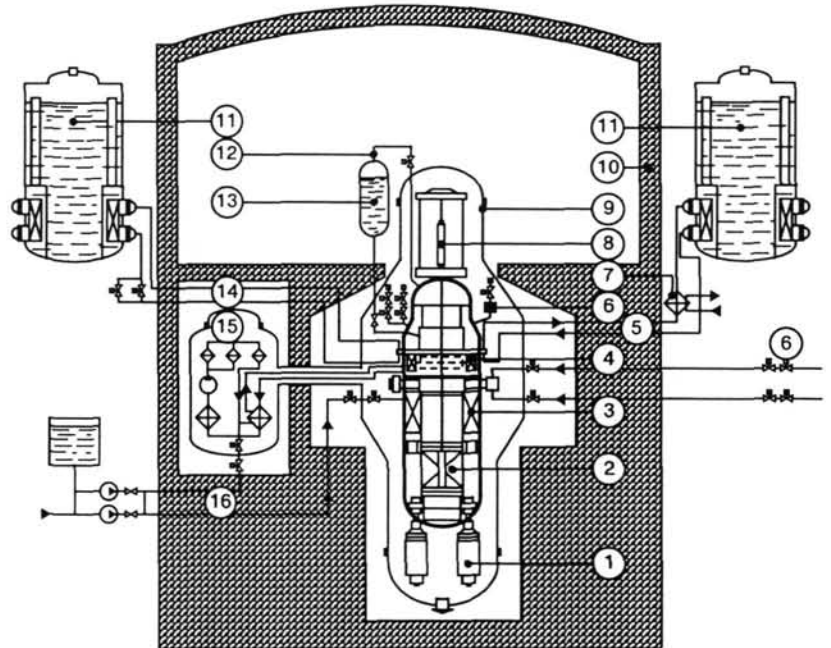


Elévation du bâtiment réacteur VVER-92

1. Réacteur
2. Générateur de vapeur
3. Pompe primaire
4. Réservoir d'eau du système de refroidissement d'urgence du cœur
5. Pressuriseur
6. Système (passif) d'évacuation de la chaleur de désintégration
7. Enceinte de confinement

Schéma de circulation de la centrale VPBER-600

1. Pompe du circuit primaire
2. Réacteur
3. Générateur de vapeur
4. Echangeur de chaleur-condenseur
5. Système d'évacuation de la chaleur en continu
6. Vannes automatiques
7. Echangeur de chaleur intermédiaire
8. Entraînement des barres de commande
9. Cuve de protection
10. Enceinte de confinement
11. Echangeur de chaleur
12. Injection d'absorbeur
13. Solution de bore
14. Système passif d'évacuation de la chaleur
15. Système de régulation du réacteur par le bore et d'épuration du caloporteur
16. Alimentation d'appoint du circuit primaire



Projets innovateurs: VPBER-600

Un projet de centrale nucléaire encore plus innovateur est étudié par OKBM (Nijni Novgorod) en Russie. Un certain nombre de variantes de ce réacteur, appelé VPBER-600, ont atteint maintenant différents stades de mise au point.

Contrairement aux PWR en exploitation, tous les composants du VPBER-600 sont disposés dans une seule cuve sous pression. Cette construction simplifie considérablement le circuit primaire en éliminant les grandes conduites (voir le schéma et le tableau). Cette configuration intégrée se distingue par l'emplacement du générateur de vapeur, du

**Spécifications des
réacteurs avancés
à l'étude en Russie**

	VPBER-600	VVER-500/600 (V-407)	VVER-88 (V-392)	VVER-92 (V-410)
Durée utile du réacteur	60 ans	60 ans	40 ans	60 ans
Puissance thermique nominale	1800 MW	1800 MW	3000 MW	3000 MW
Puissance électrique	600 MWe	635 MWe	1000 MWe	1100 MWe
Nombre de boucles	Intégral	4	4	4
Pression du circuit	15,7 MPa	15,7 MPa	15,7 MPa	15,7 MPa
Température				
entrée/sortie du cœur	294°/325°C	296°/327°C	290°/320°C	296°/330°C
Puissance massique du cœur	69,4 kW/t	69,4 kW/t	106 kW/t	118,9 (76,6) kW/t
Nombre				
d'assemblages combustibles	151	163	163	199-211
Débit nominal				
de convection naturelle	17-20%	10-15%	10-15%	10-15%
Hauteur hors-tout de la cuve	22,5 m	14,1 m	14,1 m	14,9 m
Diamètre extérieur de la cuve	6,03 m	4,57 m	4,57 m	4,57 (5,83) m
Pompes primaires	6/verticales à rotor noyé, sur la cuve	4/verticales à rotor noyé	4/verticales monocellulaires à joint d'arbre	4/verticales monocellulaires à joint d'arbre
Générateurs de vapeur	12/verticaux tubes droits	4/horizontaux	4/horizontaux	4/verticaux
Nombre de				
systèmes passifs				
d'évacuation de	2 + 2	4 + 4	4	4 réservoirs de
la chaleur de désintégration				1000 m ³

pressuriseur et des échangeurs de chaleur pour les systèmes de refroidissement d'urgence du cœur, à l'intérieur de la cuve du réacteur. Les pompes primaires sont montées sur le fond du réacteur. Le réacteur et les systèmes primaires se trouvent à l'intérieur d'une cuve de sûreté (ou de protection). Cette cuve secondaire protège le cœur de telle sorte qu'en cas de perte maximale de fluide de refroidissement le cœur demeure baigné dans celui-ci. Le système de refroidissement d'urgence du cœur comporte deux systèmes indépendants dont chacun comprend deux boucles d'évacuation de chaleur à convection, également indépendantes. Aucune intervention de l'opérateur n'est nécessaire dans les 72 heures qui suivent l'accident. L'enceinte de confinement est constituée d'une seule structure cylindrique en béton armé.

Etant donné que certains des dispositifs du VPBER-600 sont très innovateurs, une analyse théorique et une validation expérimentale en profondeur seront probablement nécessaires et l'autorisation du projet peut donner lieu à quelques difficultés. Des travaux importants seraient requis pour perfectionner le cœur de tous les réacteurs LWR avancés russes, car pour le moment il semble que ce soit le composant le plus traditionnel de ces modèles. Mais il faut noter que toute modification des éléments et des assemblages combustibles ou des procédés de fabrication, par exemple, impliquerait une longue étude expérimentale.

Bibliographie technique

Advanced Light-Water Reactors: Analysis of New Approaches and Ideas, monographie préparée pour la Société nucléaire russe, par A.Yu. Gagarinski, V.V. Ignatiev, V.M. Novikov et S.A. Subbotin, Moscou (1992).

«Nuclear Power: Status and Prospects», par A.Yu. Gagarinski, compte rendu d'un séminaire scientifique sur l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire, Moscou (2-3 décembre 1991).

«Economic Aspects of Ecological Risk due to Nuclear and Coal-fired Electricity Production (general comparison related to the former USSR)», mémoire de V.M. Novikov, B. Wahlstrom, V.V. Ignatiev et coll., CP-91-004, IIAAS, Laxenburg, Autriche (Mai 1991).

Projected Costs of Generating Electricity from Power Stations for Commissioning in the Period 1995-2000, AEN/OCDE, Paris (1989).

«Modernizing the WWER: A Soviet Perspective», par V.P. Denisov, V.V. Stekolnikov et V.A. Voznesenskii, *Nuclear Engineering International*, p. 16-22 (Juillet 1991).

«The Development of WWER-type Advanced Reactor Facilities and Additional Safety Systems», par K.B. Kosourov, V.A. Gorbaev et G.I. Lunin, mémoire présenté à un groupe de travail de l'AIEA sur le rôle de l'Agence dans l'étude des réacteurs avancés, AIEA, Vienne (18-21 novembre 1991).

«Advanced Enhanced Safety Pressurized Water Reactors of the New Generation», par F.M. Mitenkov et A.B. Samoilov, mémoire présenté à un groupe de travail de l'AIEA sur le rôle de l'Agence dans l'étude des réacteurs avancés, AIEA, Vienne (18-21 novembre 1991).