

Fontenay-aux-Roses, le 9 avril 2014

Monsieur le président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis/IRSN N° 2014-00143

Objet : Instruction des études associées au réexamen de sûreté VD3 1300 MWe
Analyse de la suffisance des études de sûreté et des modifications relatives au thème FBK1 « études de risques pour la piscine BK ».

Réf. :

- [1] Saisine ASN CODEP-DCN-2012-049637 du 17 septembre 2012.
- [2] Courrier CODEP-MEA-2010-032625 du 15 juin 2010.
- [3] Avis IRSN 2012-00033 du 31 janvier 2012.
- [4] Avis IRSN 2012-00036 du 2 février 2012.
- [5] Rapport IRSN n°679 présenté lors des réunions du GPR consacrées aux évaluations complémentaires de sûreté post-Fukushima des 8, 9 et 10 novembre 2011.

À la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a évalué la suffisance des études de sûreté et des modifications relatives au thème FBK1 « études de risques pour la piscine d'entreposage du combustible usé (piscine de désactivation) dans le Bâtiment combustible (BK) » qui constitue l'un des thèmes du réexamen de sûreté associé aux troisièmes Visites décennales des réacteurs de 1300 MWe (VD3 1300).

Les études de risques pour la piscine d'entreposage des réacteurs du palier 1300 MWe ont pour objet l'identification des scénarios de perte totale du refroidissement et de vidange accidentelle, sachant que le dénoyage d'assemblages en cours de manutention ou entreposés en piscine peut conduire à la fusion du combustible. Le bâtiment abritant la piscine ne disposant pas d'une enceinte de confinement étanche et son confinement dynamique devenant inopérant en cas de température anormalement élevée de l'eau de la piscine, il est nécessaire de tout mettre en œuvre pour réduire significativement le risque (par des dispositions adaptées) de dénoyage du combustible en piscine BK. Il en est de même si le dénoyage du combustible se produit dans le bâtiment réacteur (BR) lorsque son confinement n'est pas assuré.

Ce thème de réexamen s'inscrit dans la continuité de l'évaluation engagée en 2002 et clôturée en 2010 pour les réacteurs de 900 MWe, dans le cadre du réexamen de sûreté associé à leur troisième visite décennale. En 2010, EDF a transmis un programme général relatif aux orientations des études génériques à mener dans le cadre du réexamen de sûreté VD3 1300. Ce programme a fait l'objet d'une évaluation de la part de l'IRSN dont les conclusions ont été présentées devant les membres du

Adresse courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre B 440 546 018

Groupe permanent pour les réacteurs (GPR) lors de la réunion du 20 mai 2010. Par courrier en référence [2], l'ASN a pris position sur ce programme. À la suite, EDF a complété son dossier et a transmis les études suivantes :

- une estimation probabiliste du risque de dénoyage du combustible entreposé en piscine de désactivation à la suite d'une perte totale de son refroidissement ;
- une analyse déterministe des scénarios de vidange accidentelle rapide de la piscine BK, eu égard au risque de dénoyage d'un assemblage combustible en cours de manutention ;
- une évaluation probabiliste des risques de dénoyage d'un assemblage combustible manutentionné ou entreposé dans son rack de stockage résultant d'un scénario de vidange accidentelle rapide de la piscine de désactivation ;
- une synthèse des modifications envisagées pour faire face aux risques de vidange accidentelle rapide de la piscine de désactivation.

De l'analyse de l'IRSN, il ressort que les modifications prévues ou déjà intégrées sur les réacteurs de 1300 MWe améliorent significativement la sûreté de l'entreposage et de la manutention du combustible en piscine de désactivation. Cependant, l'IRSN considère que des dispositions complémentaires restent nécessaires dans l'objectif d'éliminer de façon pratique le risque de découverture du combustible en piscine provoqué par certains événements initiateurs à considérer dans la démonstration de sûreté. Celles-ci devront être mises en œuvre au plus tard, soit dans le cadre de la poursuite de l'exploitation des réacteurs de 1300 MWe, soit dans le cadre des modifications devant être intégrées sur l'ensemble du parc de réacteurs EDF avant 2020 à la suite des évaluations complémentaires de sûreté post-Fukushima (voir rapports IRSN en références [5] et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Evacuation de la puissance résiduelle du combustible présent en piscine de désactivation

Les systèmes de refroidissement des piscines de désactivation du parc en exploitation n'ont pas bénéficié, lors de leur conception, d'une séparation physique de leurs voies de refroidissement. Ceci conduit à un risque de perte totale de ce système en cas d'agression telle qu'un incendie. En conséquence, le GPR a jugé particulièrement important qu'EDF soit en mesure d'exclure tout risque de perte concomitante du système de refroidissement de l'eau des piscines (système PTR) et des moyens d'appoint de secours à la piscine de désactivation.

En réponse, EDF a indiqué qu'en cas de perte simultanée des deux pompes PTR à la suite d'un incendie affectant le contrôle-commande, les câbles de puissance ou les pompes elles-mêmes, le poste de vannage de l'appoint de secours à la piscine reste fonctionnel et accessible. Toutefois, EDF précise que sur le train de réacteurs de type P4, l'escalier permettant l'accès au poste de vannage nécessite l'utilisation d'un appareil respiratoire autonome. En effet, cet escalier traverse une zone de secteur de feu dont les portes de séparation avec les locaux adjacents ne possèdent pas de joints coupe-fumée.

L'IRSN constate que la mise en œuvre des moyens d'appoint à la piscine de désactivation des réacteurs du train P4 sera potentiellement difficile en cas d'incendie susceptible de conduire à une perte totale du refroidissement de la piscine d'entreposage. En conséquence, l'IRSN estime qu'EDF doit prendre des dispositions visant à limiter le transfert des fumées entre les zones de feu de sécurité abritant respectivement les pompes de refroidissement et le poste de vannage des moyens

d'appoint à la piscine de désactivation. Ceci amène l'IRSN à formuler la recommandation figurant en annexe.

Redémarrage d'une voie du circuit de refroidissement à la suite d'une ébullition en piscine

À la suite d'une réunion du GPR consacrée à la sûreté de l'entreposage du combustible en piscine de désactivation (tenue fin 2002), EDF a étudié le comportement thermohydraulique d'une piscine d'entreposage en situation de perte totale de refroidissement à l'aide d'un logiciel de calcul de mécanique des fluides monophasique à trois dimensions de type CFD (Computational fluid dynamic). Selon EDF, la simulation met en évidence l'existence de grandes boucles de convection dans la piscine. Ces cellules convectives concourent à une bonne homogénéité de la température. Pour EDF, la température de saturation de l'eau n'est donc atteinte qu'à proximité directe de la surface.

Lors du redémarrage d'une voie de refroidissement du circuit PTR, l'injection d'eau froide dans le fond de la piscine perturbe l'écoulement de la convection naturelle établie lors de la situation de perte totale de refroidissement. Selon les modélisations réalisées par EDF, la zone d'ébullition continue à se concentrer sous la surface libre lors de cette phase de reprise du refroidissement. Ces modélisations ont été réalisées pour une piscine d'un réacteur de type 900 MWe CPY équipée de ses râteliers d'entreposage actuels. Toutefois, l'un des constructeurs consultés pour la réalisation d'un projet de densification de ces râteliers a effectué une modélisation plus précise que celle d'EDF, toujours à partir d'un logiciel CFD 3D monophasique. En particulier, cette modélisation représente de façon plus réaliste la plaque de fond des râteliers (voir l'avis de l'IRSN en référence [3]). Selon cette modélisation, le débit transverse d'eau froide injecté lors de la reprise du refroidissement dans le fond de la piscine entraîne une diminution importante et rapide du débit d'eau ascendant dans les alvéoles. Ceci provoque une forte augmentation de la température l'eau qui se vaporise, pendant environ 20 minutes, en deux zones de la piscine : en partie haute des assemblages de forte puissance et au niveau de la surface libre.

Ces deux études (EDF et constructeur), similaires au niveau des principes de modélisation physique, mais différant par la précision de la représentation géométrique, mettent en évidence la complexité de ce type de calculs et la sensibilité des résultats obtenus à certains détails de simulation.

Or l'IRSN signale que, pour le palier de réacteurs de 1300 MWe, EDF a transposé les résultats obtenus sur le palier CPY, la transposition consistant à modifier un nombre restreint de grandeurs caractéristiques de façon à les faire correspondre à celles rencontrées sur les deux types de réacteurs de 1300 MWe (train P4 et train P'4). Au vu de la sensibilité de ces calculs aux données de modélisation, l'IRSN estime que la démarche d'EDF ne permet pas de conclure qu'il n'existe pas de risque d'ébullition au voisinage de la tuyauterie d'aspiration du circuit PTR.

De surcroît, dans son avis en référence [3] concernant le projet de densification des râteliers des piscines de 900 MWe (projet « rerackage »), l'IRSN souligne que ces modélisations sont monophasiques et, de ce fait, forcent artificiellement l'évacuation de l'énergie au niveau de la surface libre. Les phénomènes physiques de nature diphasique tels que la baisse de niveau engendrée par une ébullition, la formation importante de bulles en sortie des alvéoles ou l'intensité de la recondensation, ne sont pas pris en compte. **En conséquence, l'ASN a considéré que les choix de**

modélisation retenus par EDF ne sont pas appropriés pour les situations accidentelles entraînant une ébullition de la piscine d'entreposage.

Le comportement thermohydraulique d'une piscine à l'ébullition a également fait l'objet d'échanges entre l'IRSN et EDF dans le cadre de la future mise en service du réacteur de Flamanville 3. Au regard des délais associés à la mise en œuvre d'une étude diphasique, EDF a proposé d'avoir de nouveau recours à une modélisation monophasique mais en y apportant des adaptations visant à répondre aux remarques de l'IRSN et de l'ASN émises dans le cadre du projet « rerackage ».

L'IRSN retient de ce contexte d'une part que les études thermohydrauliques réalisées sur les piscines des réacteurs de 1300 MWe ne permettent pas d'exclure la formation de colonnes de vapeur dans ou au-dessus des râteliers d'entreposage, notamment lors de la remise en service d'une voie du circuit de refroidissement sur une piscine en ébullition, d'autre part que cette incertitude risque de perdurer à plus ou moins long terme. Or l'aspiration d'une poche de vapeur lors de la reprise du refroidissement conduirait à un risque d'endommagement ou de désamorçage des pompes PTR, compromettant ainsi le retour à un état sûr de l'installation. **En conséquence, l'IRSN formule l'observation n° 1 exposée en annexe.**

Risques de vidange accidentelle en cas de défaillance du tube de transfert

Les piscines du BR et du BK sont reliées par un tube de transfert pour permettre le déchargement et le rechargement du réacteur. Son diamètre interne est d'environ 500 mm. Lorsque le réacteur se trouve en Arrêt pour rechargement (APR), une brèche sur ce tube est susceptible de provoquer une vidange rapide des piscines, laquelle conduirait au dénoyage de tout assemblage en cours de manutention.

Le tube de transfert est fixé par un fourreau métallique au voile en béton de l'enceinte interne du bâtiment réacteur et est relié à la peau métallique d'étanchéité de chacune des piscines BR et BK par des compensateurs métalliques. Ces derniers assurent les degrés de liberté nécessaires aux dilatations thermiques et aux déplacements différentiels entre le BK et le BR.

Dans le cadre du réexamen de sûreté VD3 1300, EDF a vérifié la tenue sismique du tube de transfert et de ses équipements au Séisme majoré de sûreté (SMS) en prenant notamment en compte les tassements différentiels observés entre le BR et le BK. L'IRSN estime que ces évaluations théoriques sont nécessaires mais non suffisantes, car elles doivent être confrontées à l'état réel des tubes de transfert qui, depuis le démarrage des réacteurs, n'ont jamais été inspectés.

En conséquence, dans son rapport en référence [5], l'IRSN a recommandé qu'EDF définisse un programme de contrôle de la conformité des éléments sensibles et des tolérances géométriques qui assurent l'intégrité et la résistance mécanique du tube et de ses compensateurs, notamment sous séisme, en précisant que ce programme de contrôle de la conformité des tubes de transfert du parc devra servir de base à un programme d'inspection en service.

À la suite de ce rapport et de sa présentation devant le GPR, l'ASN a émis des prescriptions demandant notamment à EDF de réaliser une étude des modifications matérielles ou des conditions d'exploitation envisageables pour prévenir le dénoyage des assemblages en cours de manutention et résultant d'une brèche du tube de transfert.

En réponse, EDF a indiqué avoir engagé des études de faisabilité de modifications, consistant soit à adjoindre une seconde enveloppe démontable autour du tube de transfert dans les zones où celui-ci est directement visitable, soit à utiliser les locaux traversés par le tube comme des rétentions, en conservant l'accès à ces locaux. EDF estime, sous réserve de l'aboutissement favorable des essais de qualification qui seront menés dans la phase d'avant-projet détaillé, que la faisabilité de ces deux solutions est acquise. Par contre, EDF a signalé que, compte tenu de l'intégration à terme de ces modifications, il n'envisage pas un renforcement des contrôles en exploitation sur le tube de transfert (limité pour le moment au contrôle de manchettes d'étanchéité en caoutchouc qui vieillissent sous irradiation).

Or les dispositions envisagées dans le cadre du noyau dur post Fukushima constituent une ligne de défense ultime destinée à pallier la défaillance d'équipements à la suite d'une agression extrême d'un niveau d'intensité supérieur à celui pris en compte lors du dimensionnement. **La surveillance en exploitation du tube de transfert et de ses équipements reste nécessaire afin de garantir les niveaux 1 (prévention des incidents) et 2 (détection et correction des anomalies) de la défense en profondeur. Ceci amène l'IRSN à maintenir la recommandation formulée dans son rapport en référence [5].**

Risques de vidange accidentelle par siphonnage du compartiment d'entreposage

Une vidange complète de la piscine d'entreposage est envisageable en cas de brèche ou d'erreur de lignage sur la tuyauterie de refoulement du circuit de refroidissement PTR qui plonge jusqu'au fond du compartiment d'entreposage du combustible. Pour éviter une vidange importante de ce compartiment, un dispositif casse-siphon a été installé sur cette ligne. Les études réalisées dans le cadre de ce réexamen de sûreté ont conduit EDF à revoir le dimensionnement de ce dispositif de protection. Ainsi, le diamètre interne des casse-siphons, qui permet de créer une entrée d'air destinée à enrayer une vidange, a été porté à 50 mm (contre environ 10 mm actuellement sur les réacteurs du train P4 et 20 mm sur les réacteurs du train P'4), à la suite des prescriptions émises par l'ASN dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté post-Fukushima.

Toutefois, le retour d'expérience national et international montre qu'une conception prévoyant la présence d'un casse-siphon sur la ligne de refoulement du circuit PTR ne garantit pas l'absence effective de risque de vidange complète par siphonnage de la piscine d'entreposage (voir l'avis de l'IRSN en référence [4] concernant l'absence de deux dispositifs casse-siphon constatée sur la centrale de Cattenom). En outre, EDF a signalé ne pas être en mesure de requalifier fonctionnellement ce dispositif après redimensionnement.

Aussi, dans son avis en référence [4], l'IRSN a recommandé qu'EDF retienne dans les études des modifications devant être engagées dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté, la possibilité d'une défaillance à la sollicitation d'un dispositif casse-siphon lors d'une vidange accidentelle de la piscine de désactivation. L'IRSN estime que la modification qui sera retenue à l'issue de ces études - par exemple l'ajout d'un clapet anti-retour dans la partie finale de la ligne de refoulement du circuit PTR - conditionne la poursuite de l'exploitation des réacteurs.

Qualification des modifications envisagées aux conditions accidentelles

L'instrumentation de niveau d'eau équipant actuellement les piscines d'entreposage ne fournit des informations que sur le franchissement de seuils de niveau positionnés en partie haute de la piscine. Cette conception ne permet pas aux opérateurs en salle de commande de connaître le niveau d'eau réel en-dessous du seuil de niveau le plus bas (situé à un peu plus d'un mètre sous le niveau nominal d'une piscine d'une profondeur totale d'environ 13 m).

En outre, les capteurs de température de l'eau de la piscine ne sont pas secourus électriquement, ne sont pas réputés fonctionnels dans des conditions hygrométriques dégradées et, à l'exception d'une sonde analogique de température, ils sont tous situés à proximité de la surface de la piscine.

Dans le cadre de ce réexamen de sûreté, EDF a prévu d'implanter un capteur de niveau analogique permettant de mesurer le niveau de la piscine sur toute la hauteur située au-dessus des assemblages. Cette modification, satisfaisante dans son principe, s'appuie sur un capteur à technologie de type radar. Des capteurs de cette technologie ont commencé à être implantés sur les piscines du palier CPY, mais le retour d'expérience montre que leur fonctionnement pourrait être erratique en situation d'ébullition. **Ce capteur est donc inexploitable en condition accidentelle.** Dans le cadre des évaluations de sûreté post-Fukushima, EDF a indiqué qu'il envisageait de changer la technologie de ce capteur de niveau en adoptant une technologie de type « bulle à bulle ».

De façon générale, l'IRSN souligne qu'EDF doit s'assurer que les dispositions matérielles permettant de gérer un accident en piscine restent fonctionnelles dans les conditions accidentelles enveloppes à envisager.

Conclusion

L'IRSN estime que les modifications prévues ou déjà intégrées sur les réacteurs de 1300 MWe, dans le cadre de réexamens ou d'évaluations complémentaires de la sûreté (prenant notamment en compte les premiers enseignements de l'accident nucléaire de Fukushima), améliorent significativement la sûreté de l'entreposage et de la manutention du combustible en piscine.

Toutefois, l'IRSN considère que l'intégration de dispositions complémentaires, dans l'objectif de réduire significativement le risque de découverture du combustible en piscine provoqué par certains événements initiateurs reste nécessaire. Ces dispositions complémentaires font notamment l'objet de la recommandation exposée en annexe ainsi que celles déjà exprimées dans l'avis et le rapport de l'IRSN en références [4] et [5] et relevant aujourd'hui des suites des évaluations complémentaires de sûreté.

Il convient par ailleurs de souligner que les éléments d'analyse présentés dans cet avis ne sont pas exhaustifs. En effet, dans le cadre du développement des études probabilistes de sûreté sur les réacteurs de 1300 MWe, EDF a récemment fourni une étude de vulnérabilité aux agressions (incendie, explosion, inondation interne et séisme) des structures et des systèmes participant à la sûreté de l'entreposage et de la manutention du combustible. **L'IRSN signale que l'évaluation de ces éléments est nécessaire pour statuer in fine sur la suffisance des modifications à apporter aux installations et aux règles d'exploitation des réacteurs de 1300 MWe.**

Enfin, l'IRSN signale avoir récemment mis en avant des enseignements issus du retour d'expérience qui sont révélateurs de la nécessité de renforcer certaines prescriptions d'exploitation. Ces enseignements seront traités par l'IRSN dans des cadres dédiés, tels que la révision des règles générales d'exploitation ou la prise en compte du retour d'expérience en exploitation.

Pour le directeur général
et par délégation

FRANCK BIGOT

Recommandation n° 1 :

Sur les réacteurs du train P4, l'IRSN recommande qu'EDF modifie l'installation afin d'éviter la propagation de fumée entre le local des pompes du système de refroidissement de la piscine de désactivation et le poste de vannage permettant l'appoint en eau de secours dans cette dernière. Du fait de l'importance pour la sûreté de maintenir l'inventaire en eau la piscine d'entreposage du combustible en situation accidentelle, cette modification devra être réalisée sur l'ensemble de ces réacteurs sous un an.

Observation n° 1 :

Compte tenu des incertitudes actuellement importantes sur le comportement thermohydraulique d'une piscine d'entreposage du combustible à l'ébullition, l'IRSN considère qu'EDF devrait mettre en œuvre des mesures complémentaires afin de diminuer le risque d'aspiration de vapeur d'eau par le système de refroidissement de la piscine de désactivation lors de sa récupération. Ces dispositions pourraient consister en une limitation de la puissance résiduelle du massif d'assemblages positionné à l'aplomb de la tuyauterie d'aspiration.