

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2019-00282

Objet	EDF - Réacteurs du Bugey du palier CP0 Examen des études agressions et des EPS des réacteurs du Bugey en vue de leur quatrième réexamen périodique (VD4 900 MWe CP0)
Réf(s)	1. Lettre ASN - CODEP-DCN-2013-013464 du 28 juin 2013 2. Lettre ASN - CODEP-DCN-2016-007286 du 20 avril 2016 3. Avis IRSN - 2019-00019 du 6 février 2019 4. Lettre ASN - CODEP-DCN-2019-043480 du 24 octobre 2019 5. Avis IRSN - 2019-00250 du 13 novembre 2019 6. Avis IRSN - 2019-00142 du 26 juin 2019
Nbre de page(s)...	12

En vue de l'autorisation de poursuivre l'exploitation des réacteurs de 900 MWe du palier CP0 de la centrale du Bugey au-delà de leur quatrième visite décennale (VD4), Électricité de France (EDF) a transmis à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) le rapport de sûreté (RDS) correspondant ainsi que les notes d'études associées.

Les VD4 des réacteurs de 900 MWe s'inscrivent dans un contexte particulier puisqu'EDF a fait part, en 2009, de sa volonté de prolonger la durée de fonctionnement de ces réacteurs au-delà de 40 ans. À la suite d'une consultation du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) portant sur le programme de travail d'EDF associé au projet d'extension de la durée de fonctionnement des réacteurs, l'ASN a notamment estimé, par lettre citée en référence [1], que le niveau de sûreté des réacteurs actuels devait être amélioré, en particulier au regard des exigences de sûreté renforcées appliquées aux nouveaux réacteurs. En 2016, à l'issue de la consultation du GPR sur les orientations du programme de travail d'EDF associé au quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe (réexamen VD4-900), l'ASN a statué, par lettre citée en référence [2], sur ces orientations et a défini les éléments complémentaires qu'EDF devait transmettre afin d'apporter la démonstration de sûreté attendue dans le cadre de ce réexamen.

Le réexamen VD4-900 doit ainsi permettre d'améliorer le niveau de sûreté des réacteurs de 900 MWe avec des objectifs visant à se rapprocher de ceux applicables aux nouveaux réacteurs, comme l'EPR Flamanville 3 (EPR-FA3), en tenant compte du retour d'expérience acquis, tant sur le parc électronucléaire français qu'à l'international, ainsi que, plus généralement, de l'évolution des connaissances et des pratiques.

Le renforcement de la robustesse des réacteurs pour ce qui concerne les agressions d'origines interne et externe figure parmi les objectifs retenus par EDF dans le cadre du réexamen

Adresse CourrierBP 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

VD4-900. Dans son avis [3], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné les études d'agressions déterministes réalisées par EDF pour les réacteurs de 900 MWe du palier CPY. Dans ce cadre, un certain nombre d'études relatives aux réacteurs du Bugey ont été examinées afin de vérifier le caractère suffisant des dispositions de protection actuelles, complétées par les modifications prévues dans le cadre du réexamen VD4-900, pour maîtriser ces risques.

Par lettre citée en référence [4], l'ASN souhaite, pour les agressions restant à instruire, à savoir l'incendie, les inondations internes et externes, et les missiles internes, recueillir l'avis de de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), sur les scénarios et les résultats des études de ces agressions, ainsi que sur les enseignements apportés par ces études et le caractère suffisant des éventuelles modifications proposées par EDF pour le réexamen VD4-900. Les agressions d'origine malveillante ainsi que le séisme et l'explosion interne, traités dans des cadres spécifiques, ne relèvent pas de la présente expertise.

Le renforcement des moyens de prévention de la fusion du combustible et des moyens de limitation des conséquences des accidents graves figure parmi les objectifs retenus par EDF dans le cadre du réexamen VD4-900.

Le développement des études probabilistes de sûreté (EPS) constitue un des éléments sur lesquels s'appuie la démarche de réévaluation de sûreté d'EDF pour ce réexamen.

Ainsi, l'évaluation par les EPS du risque de fusion du combustible, dans le cœur du réacteur ou dans la piscine de désactivation du combustible usé (piscine BK), et du risque de rejets radioactifs complète l'appréciation du niveau de sûreté des installations s'appuyant sur les études déterministes et permet d'identifier d'éventuels besoins d'amélioration des dispositions de conception ou d'exploitation. Dans ce cadre, EDF retient les objectifs suivants pour le réexamen VD4-900 :

- viser une fréquence globale de fusion du cœur, incluant les agressions, inférieure à quelques 10^{-5} /année-réacteur (a.r.) ;
- rendre le découverture des assemblages de combustible, lors de vidanges accidentelles ou de pertes de refroidissement, extrêmement improbable ;
- rendre le risque de rejets précoces et importants extrêmement improbable.

Par lettre citée en référence [4], l'ASN souhaite, pour les EPS, recueillir l'avis de l'IRSN sur les scénarios et les méthodes lorsqu'ils sont différents de ceux du palier CPY, sur les résultats des EPS, sur leurs enseignements et sur la suffisance des modifications proposées par EDF pour le réexamen VD4-900.

L'ASN demande également à l'IRSN de tenir compte des questions relatives au site du Bugey, posées au cours du dialogue technique organisé avec l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (ANCCLI) qui montrent un besoin particulier d'information et d'explications (réurrence de la thématique abordée par la question, risque fort perçu par le public).

Cet avis présente les conclusions de l'expertise menée par l'IRSN sur les études d'agressions (incendie, inondations internes et externes, et missiles internes) et les études probabilistes de sûreté.

1 ÉTUDES D'AGRESSIONS

1.1 Inondations externes

Pour le réexamen VD4-900, EDF a appliqué les préconisations du guide ASN n°13 publié en 2013, relatif à la protection des installations nucléaires contre les inondations externes. Ce guide définit notamment les situations de référence pour le risque d'inondation (SRI) à retenir pour le dimensionnement des protections.

L'expertise de l'IRSN n'a toutefois porté que sur la démonstration présentée par EDF de la maîtrise des risques d'inondation externe associée à la situation de référence pour le risque d'inondation (SRI) « dégradations ou dysfonctionnement d'ouvrages, de circuits ou d'équipements (DDOCE) ». Les autres SRI seront examinées de manière transverse ultérieurement.

Sous réserve de la prise en compte des évolutions relatives aux règles générales d'exploitation qu'EDF s'est engagé à apporter [5], l'IRSN estime que l'application du guide n° 13 de l'ASN pour la SRI DDOCE ainsi que les dispositions de protection en place ou prévues par EDF, pour le site du Bugey, permettent d'atteindre les objectifs fixés pour le réexamen VD4-900 à l'égard de la maîtrise des risques liés à cette SRI.

1.2 Incendie interne

Pour le réexamen VD4-900, l'IRSN considère que les évolutions de méthodes proposées par EDF constituent une avancée significative pour la maîtrise des risques liés à l'incendie. Leur déclinaison aux réacteurs du Bugey reste toutefois à finaliser. À cette occasion, EDF devra décliner la nouvelle méthode de justification de la sectorisation incendie (appelée PEPSSI) aux locaux munis d'un système fixe d'extinction identifiés à fort enjeu pour la sûreté, afin d'apprécier le dimensionnement de leur sectorisation incendie en cas d'impossibilité d'un tel système.

Pour ce qui concerne la prise en compte des effets des fumées d'incendie, l'IRSN considère que la méthode proposée par EDF permet d'identifier les situations pour lesquelles l'agression concomitante de plusieurs équipements par les fumées présenterait un impact significatif sur la sûreté. EDF s'est engagé à transmettre les études correspondantes pour les bâtiments de l'îlot nucléaire en 2020.

Pour ce qui concerne la prise en compte d'un aggravant dans les études d'incendie, EDF a pour l'instant uniquement proposé la fiabilisation de certaines portes coupe-feu en limite de volume de feu de sûreté. L'IRSN considère que la démarche basée sur l'exploitation de l'EPS « incendie », telle que proposée par EDF, devrait permettre d'identifier des dispositions de protection contre l'incendie supplémentaires dont la défaillance en cas d'incendie présente un fort enjeu de sûreté. Une attention particulière devra toutefois être portée à la pertinence des modifications qui seront définies à l'issue de ces études.

Pour ce qui concerne l'étude de sensibilité à l'allongement du délai opérateur, l'IRSN estime que les conclusions sont globalement satisfaisantes. EDF n'a toutefois pas présenté d'analyse quantifiée relative à l'allongement du délai opérateur dans le bâtiment réacteur.

1.3 Défaillances de tuyauteries - Inondations internes et ruptures de tuyauterie haute énergie (RTHE)

Dans le cadre du réexamen VD4-900, EDF a présenté, pour les réacteurs du Bugey, des études détaillées des risques induits par des inondations internes et des défaillances de tuyauteries. Ces études sont basées sur la même méthodologie que celle retenue dans les études du palier CPY, que l'IRSN a jugée globalement acceptable [5]. Elles intègrent désormais un aggravant ainsi que les scénarios d'inondation induite par une RTHE.

Pour ce qui concerne la déclinaison de cette méthodologie sur les différents bâtiments, les études relatives à l'îlot conventionnel sont satisfaisantes dans leur ensemble. Des compléments sont néanmoins attendus dans la documentation d'exploitation pour la gestion d'une rupture d'une tuyauterie du circuit d'eau brute secourue (SEC) survenant dans une galerie l'abritant, ce à quoi EDF s'est engagé. Des précisions concernant les modifications retenues, qu'EDF s'est engagé à fournir, sont également nécessaires pour conclure sur le caractère suffisant des protections.

Toutefois, l'analyse présentée ci-avant ne couvre pas les études relatives à l'îlot nucléaire, compte tenu de leur transmission tardive.

1.4 Défaillances de réservoirs, pompes et vannes - Projectiles internes

Dans le cadre du réexamen VD4-900, EDF a présenté, pour les réacteurs du Bugey, des études détaillées des risques induits par la défaillance de réservoirs, pompes et vannes générant des projectiles internes (aussi appelés missiles), qui sont basées sur la même méthodologie que celle retenue dans les études du palier CPY, que l'IRSN a jugée globalement acceptable [3].

Quelques compléments, qu'EDF s'est engagé à fournir dans le cadre du réexamen VD4-900, sont néanmoins nécessaires pour conclure sur le caractère suffisant des protections.

1.5 Conclusion

L'IRSN souligne l'ampleur des études d'agressions menées par EDF dans le cadre du réexamen VD4-900, ainsi que les améliorations qui ont été apportées à la plupart de ces études par rapport au réexamen précédent des réacteurs de 900 MWe. Sur la base des études expertisées et compte tenu des compléments qu'EDF s'est engagé à apporter, l'IRSN considère que les dispositions de protection existantes et les modifications prévues par EDF à la suite de ces études devraient permettre d'atteindre les objectifs fixés pour le réexamen VD4-900 à l'égard des agressions.

L'IRSN souligne néanmoins l'importance des compléments attendus de la part d'EDF pour finaliser les démonstrations de sûreté relatives aux incendies, inondations internes et missiles internes, et pour permettre de justifier le caractère suffisant des dispositions de protection associées.

2 ÉTUDES PROBABILISTES DE SÛRETÉ

2.1 Périmètre des EPS développées par EDF pour le réexamen VD4-900

Dans le cadre du réexamen VD4-900, EDF a réalisé, pour les réacteurs du Bugey, plusieurs études EPS de niveau 1 (permettant d'évaluer les risques de fusion du cœur et de découverture des assemblages de combustible dans la piscine BK) et de niveau 2 (permettant d'évaluer les risques de rejets radioactifs) :

- pour les événements internes :
 - une EPS de niveau 1 couvrant le réacteur et la piscine BK,
 - une EPS de niveau 2 ;
- pour les agressions d'origine interne aux installations :
 - une EPS incendie de niveau 1 couvrant le réacteur et la piscine BK,
 - une EPS incendie de niveau 2,
 - une EPS inondation interne de niveau 1 couvrant le réacteur et la piscine BK,
 - une EPS inondation interne de niveau 2,
 - une EPS explosion de niveau 1 couvrant le réacteur et la piscine BK ;
- pour les agressions d'origine externe aux installations :
 - une EPS séisme de niveaux 1 et 2 couvrant le réacteur et la piscine BK,
 - une évaluation probabiliste des risques d'inondation externe, couvrant le réacteur et la piscine BK.

L'IRSN souligne que, depuis le réexamen VD3-900 et en cohérence avec les orientations du réexamen VD4-900, **EDF a largement étendu le périmètre de ses études probabilistes**. Ainsi, certaines EPS ont été développées par EDF pour la première fois pour les réacteurs en exploitation : l'EPS explosion interne de niveau 1, les EPS incendie et inondation interne de niveau 2, une EPS séisme complète de niveaux 1 et 2, ainsi qu'une analyse probabiliste relative aux risques d'inondation externe.

L'IRSN estime que les EPS développées par EDF et la prise en compte de leurs enseignements pour le réexamen VD4-900 constituent un progrès important pour l'évaluation du niveau de sûreté des installations, en complément des études déterministes, en particulier pour les agressions d'origines interne et externe. L'IRSN souligne, notamment en réponse à des questions posées au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI, que ces EPS permettent de disposer d'un éclairage pertinent sur les risques associés aux différents événements initiateurs et d'apprécier, d'une part leur évolution par rapport aux risques évalués lors des précédents réexamens périodiques, d'autre

part leur positionnement par rapport à ceux estimés pour le réacteur EPR de Flamanville, compte tenu de l'objectif de « *tendre vers l'EPR* » retenu pour ce réexamen VD4-900.

Ces EPS sont réalisées en considérant un état technique des réacteurs post-réexamen VD3-900 en termes de modifications de conception et d'exploitation. Certaines de ces EPS intègrent déjà des modifications prévues lors du réexamen VD4-900. Pour les autres, EDF a transmis, au cours de l'expertise, des analyses de sensibilité afin d'apprécier l'apport de ces modifications en termes de maîtrise des risques évalués. Il est à noter que les modifications prévues lors du réexamen VD4-900 pour les réacteurs du Bugey seront déployées en deux phases (phases A et B), la première lors de la visite décennale de chaque réacteur.

2.2 Évaluation probabiliste des risques liés aux événements internes

EPS de niveau 1 « événements internes » pour le réacteur

L'IRSN estime que la démarche mise en œuvre et le périmètre de cette étude sont globalement satisfaisants et respectent la règle fondamentale de sûreté relative à l'utilisation des études probabilistes pour la sûreté des installations nucléaires de base (RFS 2002-01 du 26 décembre 2002).

Lors du développement de son étude probabiliste, EDF a identifié des besoins d'améliorations de sûreté et a ainsi proposé de mettre en œuvre deux modifications lors des VD4 (le remplacement des contacteurs des ventilateurs du système assurant le refroidissement des locaux électriques par des contacteurs à accrochage et l'installation de batteries froides sur ce système de ventilation) ; ces modifications, déjà intégrées à l'étude transmise lors de l'expertise, permettent de réduire le risque de fusion du cœur. Les résultats présentés par EDF (fréquence de fusion du cœur pour tous les événements internes de $5,0 \cdot 10^{-6}$ /a.r.) respectent les objectifs retenus pour le réexamen VD4-900. L'étude n'intégrant à ce stade que les modifications prévues d'être déployées lors de la phase A du réexamen VD4-900, EDF s'est engagé à la mettre à jour pour y intégrer également les modifications VD4 prévues en phase B. À cette occasion, EDF présentera en outre l'évaluation des scénarios accidentels survenant dans le domaine d'exploitation « arrêt pour rechargement » qui n'a pas été traité dans l'étude actuelle.

Cependant, l'IRSN a identifié, comme sur les autres réacteurs de 900 MWe, un scénario pouvant mener à la fusion du cœur avec bipasse du confinement en cas de perte totale des alimentations électriques cumulée à la défaillance de l'injection aux joints des pompes primaires, du fait de la réouverture, au cours de l'accident, des vannes pneumatiques situées sur la ligne de retour des joints n°1. **La problématique étant la même pour tous les réacteurs de 900 MWe, l'IRSN formule la recommandation n°1 en annexe, qui est la reconduction, pour les réacteurs du Bugey, de la recommandation n°1 formulée dans son avis [6] relatif aux réacteurs du palier CPY.**

L'IRSN considère également que des justifications et compléments d'étude sont nécessaires dans le cadre du réexamen VD4-900 concernant notamment :

- l'évaluation du risque induit par une perte du système de ventilation DVL assurant le refroidissement des locaux électriques, actuellement non considéré par EDF dans son EPS ; EDF s'est engagé à apporter des éléments montrant l'absence de conséquences fonctionnelles importantes d'un tel initiateur ;
- les possibilités d'isoler les barrières thermiques des motopompes primaires en cas de leur rupture survenant lorsque le réacteur est en arrêt normal refroidi par le circuit de refroidissement à l'arrêt ; EDF s'est engagé, à l'échéance de la phase B du réexamen, à apporter un complément d'étude sur ce point.

Enfin, pour les initiateurs de perte de la source froide, l'IRSN tient à souligner la spécificité de conception de la source froide des réacteurs du Bugey, qui ne permet pas d'utiliser l'inertie thermique de la bache PTR, ce qui conduit à une fréquence de fusion du cœur plus élevée par rapport aux réacteurs du palier CPY.

EPS de niveau 1 « événements internes » relative à la piscine BK

Cette EPS évalue le risque de découverture, d'une part des assemblages de combustible entreposés dans la piscine BK, d'autre part d'un assemblage de combustible en cours de manutention, dans les différentes situations accidentelles de perte de refroidissement ou de vidange de la piscine. L'IRSN estime que la démarche mise en œuvre et le périmètre de cette étude sont satisfaisants.

Cette étude conduit à une fréquence de découverture des assemblages de combustible, pour l'ensemble des situations considérées, inférieure à 10^{-8} /a.r. Les résultats de cette évaluation sont cohérents avec l'objectif de rendre extrêmement improbable le risque de découverture des assemblages dans la piscine BK et conduisent EDF à ne pas proposer de modification supplémentaire par rapport à celles décidées à l'issue du troisième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe et des évaluations complémentaires de sûreté.

Néanmoins, l'expertise de l'IRSN a mis en évidence que des justifications étaient encore nécessaires pour conforter certaines hypothèses utilisées et ainsi consolider les résultats présentés par EDF, plus particulièrement pour ce qui concerne le scénario d'effacement des tapes GV, ce à quoi EDF s'est engagé à échéance de mai 2020.

Par ailleurs, les EPS relatives au réacteur et à la piscine BK, développées par EDF séparément, ne permettent pas d'apprécier l'impact, sur les risques ainsi évalués, des dépendances existant entre certains moyens utilisés pour gérer les accidents, d'une part pour le réacteur, d'autre part pour la piscine BK. EDF s'est engagé, à échéance de la phase B de la VD4-900, à analyser les scénarios accidentels affectant à la fois le réacteur et la piscine en tenant compte de leur impact sur les matériels et missions humaines valorisés dans l'EPS relative à la piscine BK.

EPS de niveau 2 « événements internes »

Comme pour les réacteurs du palier CPY, EDF a présenté, pour les réacteurs du Bugey, une EPS de niveau 2 quantifiant les fréquences d'occurrence de différentes catégories de rejets en cas d'événements internes.

Les principales spécificités des réacteurs du Bugey vis-à-vis des réacteurs du palier CPY affectant les accidents graves et intégrées par EDF dans son EPS sont :

- le radier silico-calcaire des réacteurs du Bugey permettant un délai plus important pour le renoyage du corium après étalement à sec, par rapport à certains réacteurs du palier CPY dont le radier est constitué d'un béton plus siliceux ;
- la courbe de fragilité de l'enceinte de confinement.

Néanmoins, d'autres spécificités des réacteurs du Bugey ne sont pas prises en compte par EDF dans son étude. L'IRSN considère que les spécificités suivantes doivent être prises en compte dans la gestion des accidents graves et/ou dans les EPS de niveau 2 :

- le système d'aspersion dans l'enceinte (EAS) possède son propre circuit d'eau brute (sans circuit intermédiaire). EDF s'est engagé à évaluer « *l'intérêt d'ajouter une conduite spécifique en cas de pollution de l'eau brute du circuit EAS* » pour la phase B du réexamen VD4-900 ;
- la manœuvrabilité des vannes EAS d'aspiration au puisard de l'enceinte au-delà d'une pression dans l'enceinte de 5,3 bar abs n'est pas garantie. EDF s'est engagé à prendre en compte cette spécificité dans la stratégie de conduite de la mitigation de l'accident grave ;
- le radier alvéolaire conduit à des rejets aériens en cas de percement. EDF s'est engagé à mettre à jour les résultats de son EPS2 en prenant en compte cette spécificité, à échéance de janvier 2020.

EDF s'est fixé pour objectif de rendre extrêmement improbable le risque de rejets précoces et importants en voie air en VD4-900. Selon les dernières estimations d'EDF, la fréquence des rejets précoces importants est réduite à $2,7 \cdot 10^{-7}$ /a.r. sur le palier CPY et à $3,1 \cdot 10^{-7}$ /a.r. pour les réacteurs du Bugey, grâce au secours électrique des vannes motorisées d'isolement de l'enceinte et à la disposition EASu qui limite le recours au filtre U5.

Les risques de rejets voie eau sont également très proches entre les réacteurs du palier CPY et du Bugey. Selon les dernières estimations d'EDF, la fréquence de percée du radier est réduite à $7,9.10^{-7}$ /a.r. sur le palier CPY et à $6,4.10^{-7}$ /a.r. pour les réacteurs du Bugey grâce aux dispositions de stabilisation du corium. Toutefois, comme pour le palier CPY, l'IRSN estime que le risque de percée du radier en VD4 reste encore relativement élevé au regard des objectifs du réexamen VD4-900. **De plus, la spécificité du radier alvéolaire des réacteurs du Bugey induit des rejets voie air non filtrés en cas de percée du radier. Ainsi, les conséquences d'une percée du radier sur un réacteur du Bugey sont aggravées par rapport aux réacteurs du palier CPY. Compte tenu de l'objectif affiché par EDF en VD4-900 d'éviter les effets durables dans l'environnement en cas de fusion du cœur, l'IRSN formule la recommandation n°2 présentée en annexe.**

En réponse à une question de l'ANCCLI sur l'objectif de « *tendre vers l'EPR* », l'IRSN précise que la comparaison des résultats obtenus pour le réexamen VD4-900 avec ceux du réacteur EPR-FA3 est à mener avec prudence dans la mesure où chaque étude probabiliste intègre un grand nombre d'hypothèses et de méthodes qui évoluent au fil des progrès réalisés dans ce domaine.

L'IRSN a toutefois examiné, dans son avis [6], les différences entre le réacteur EPR de Flamanville et les réacteurs de 900 MWe du palier CPY ayant un impact sur les risques de percement du radier et de rejets précoces. À l'issue de son examen, l'IRSN a considéré pour les réacteurs de 900 MWe du palier CPY que, compte tenu des contraintes liées à l'amélioration d'un réacteur en exploitation conçu à l'origine sans prendre en compte les accidents de fusion du cœur d'une part, du niveau atteint grâce aux modifications mises en œuvre dans le cadre du réexamen VD4-900 d'autre part, les résultats obtenus pour les risques de percement du radier et de rejets précoces sont acceptables. Les résultats entre les réacteurs du Bugey et ceux du palier CPY restant relativement proches, cette conclusion est également valable pour les réacteurs du Bugey.

2.3 Risques liés aux agressions d'origine interne

EPS de niveau 1 « explosion » pour le réacteur et la piscine BK

L'EPS « explosion » développée par EDF pour le réexamen VD4 des réacteurs du Bugey permet d'évaluer le risque de génération d'une atmosphère explosive dans les locaux et la fréquence de fusion du combustible pouvant en résulter. Le périmètre de l'étude et la méthodologie utilisée sont satisfaisants.

Lors du développement de cette étude, EDF a identifié un besoin d'amélioration de sûreté visant à réduire le risque de fusion du cœur induit par une explosion d'hydrogène dans les locaux des batteries. Bien que la nature précise de cette modification ne soit pas encore définie, les résultats de l'EPS transmise par EDF valorisent d'ores et déjà une modification des conditions d'exploitation (plan de coupure des batteries). Compte tenu de cette amélioration, la fréquence de fusion du cœur associée au risque d'explosion interne est évaluée à environ 2.10^{-6} /a.r. et celle de découverture des assemblages de combustible dans la piscine BK à 5.10^{-9} /a.r. Ces résultats sont cohérents avec les objectifs retenus pour le réexamen VD4-900. L'analyse des conséquences fonctionnelles d'une explosion dans les locaux de l'îlot nucléaire, utilisée dans l'EPS, repose toutefois sur une modélisation qui a déjà fait l'objet d'une expertise dans le cadre de la préparation de la réunion du GP consacrée aux études déterministes d'agressions pour le réexamen VD4-900. À cette occasion, une erreur de modélisation avait été identifiée par l'IRSN et EDF s'est engagé à analyser pour fin 2019 son impact sur les résultats de l'EPS « explosion ». Ces éléments permettront de consolider les résultats de l'EPS « explosion » présentés par EDF, et donc de s'assurer de la suffisance des dispositions prévues à l'égard de cette agression.

EPS de niveau 1 « incendie » pour le réacteur et la piscine BK

EDF a présenté, pour le réexamen VD4 des réacteurs du Bugey, une EPS « incendie » évaluant les risques de fusion du cœur et de découverture des assemblages de combustible entreposés dans la piscine de désactivation induits par un incendie. Le périmètre et la méthodologie de cette étude apparaissent globalement satisfaisants, les sous-conservatismes que l'IRSN a

identifiés pour certaines hypothèses n'étant pas de nature à remettre en cause l'ordre de grandeur du risque évalué par EDF.

La fréquence de fusion du cœur est évaluée à $1,1 \cdot 10^{-5}$ /a.r, avec une contribution dominante des incendies survenant dans des volumes de feu situés dans le bâtiment électrique. Cette fréquence a été réévaluée par EDF à $7 \cdot 10^{-6}$ /a.r. en valorisant certaines dispositions du noyau dur et en levant certains conservatismes du modèle. Ces évaluations tiennent d'ores et déjà compte de plusieurs modifications qu'EDF a identifiées lors du développement de son étude probabiliste et qu'il propose de mettre en œuvre lors de la VD4-900. Ces modifications visent, soit à exclure certains scénarios accidentels prépondérants (évolution du contrôle-commande des soupapes SEBIM pour éviter l'envoi d'un ordre intempestif d'ouverture de ces soupapes), soit à fiabiliser certaines parades importantes en situation d'incendie (évolution de la commande de la turbopompe ASG pour éviter son déclenchement intempestif, protection par enrubannage de plusieurs câbles nécessaires à la commande de la turbopompe ASG ainsi qu'au basculement TS/TA). Pour ce qui concerne cette dernière modification, un complément d'étude, qu'EDF s'est engagé à réaliser pour fin 2019, est encore nécessaire pour consolider la liste des câbles à protéger. EDF a également confirmé le besoin, identifié par l'IRSN, d'une protection des câbles d'alimentation de l'armoire LLS200AR situés dans des volumes de feu prépondérants de l'EPS incendie. L'analyse de faisabilité de cette protection est en cours.

L'IRSN constate que, en dépit de l'ensemble des modifications proposées par EDF lors des VD4-900, la fréquence de fusion du cœur reste élevée, et que, parmi les événements et agressions internes à l'installation, l'incendie représente le risque prépondérant. Bien qu'il ne remette pas en cause l'objectif pour le réexamen VD4 en termes de risque de fusion du cœur, un tel résultat induit des fréquences de rejet élevées.

La fréquence de découverture des assemblages de combustible entreposés dans la piscine de désactivation est, quant à elle, évaluée à $2 \cdot 10^{-8}$ /a.r. Ce résultat est cohérent avec l'objectif retenu pour le réexamen VD4-900, d'autant que la valorisation des dispositions du noyau dur et de la force d'action rapide nucléaire (FARN) serait de nature à réduire significativement ce risque.

EPS de niveau 1 « inondation interne » pour le réacteur et la piscine BK

EDF a présenté, pour le réexamen VD4 des réacteurs du Bugey, une EPS « inondation interne » évaluant les risques de fusion du cœur et de découverture des assemblages de combustible entreposés dans la piscine de désactivation induits par une inondation interne. La démarche et le périmètre, identiques à ceux de l'étude développée pour les réacteurs de 900 MWe du palier CPY, sont satisfaisants.

Cette étude évalue la fréquence de fusion du cœur à $2,7 \cdot 10^{-6}$ /a.r., avec une contribution dominante des inondations survenant dans le bâtiment électrique et dans la zone dite « radier commun » du bâtiment périphérique. EDF a tiré les enseignements de son étude de manière satisfaisante, en proposant une modification matérielle qui est déjà valorisée dans l'étude présentée (réalisation d'un carottage associé à un siphon de sol dans les locaux des tableaux électriques de la voie A permettant d'empêcher la propagation de l'inondation vers les locaux de la voie B). Compte tenu de ce résultat, EDF conclut que l'objectif retenu pour le réexamen VD4-900 en termes de fréquence de fusion du cœur est respecté.

Cependant, l'IRSN a relevé que l'étude d'EDF, à l'instar de celle qui avait été réalisée pour les réacteurs du palier CPY, n'a pas permis, du fait de l'hypothèse retenue quant à l'effacement de la totalité des trémies de plancher pour une hauteur d'eau supérieure à 15 cm, d'identifier et a fortiori d'évaluer tous les scénarios d'inondation par propagation horizontale. Ainsi, certains scénarios d'inondation dans le bâtiment électrique ou dans la zone non contrôlée du bâtiment périphérique n'ont pas été étudiés par EDF alors qu'ils présentent un enjeu de sûreté, au vu des matériels qui seraient affectés et des fréquences potentiellement significatives. EDF s'est engagé à fournir un complément d'évaluation probabiliste pour ces scénarios. L'IRSN estime qu'EDF devra alors confirmer que les dispositions matérielles prévues à l'état VD4 à l'égard du risque d'inondation interne sont suffisantes pour respecter l'objectif de fréquence de fusion du cœur pour le réexamen VD4-900, en considérant l'ensemble des scénarios d'inondation.

La fréquence de découverture des assemblages de combustible dans la piscine BK est évaluée par EDF à $1,6 \cdot 10^{-8}$ /a.r. L'IRSN a toutefois relevé que ce résultat ne prend pas en compte certains scénarios entraînant une perte du refroidissement de la piscine et une

inondation du local abritant le poste de vannage. EDF s'est engagé à fournir un complément d'évaluation probabiliste pour ces scénarios. L'IRSN estime qu'EDF devra confirmer, sur la base du complément d'évaluation qu'il s'est engagé à réaliser en tenant compte de l'apport de certains moyens actuellement non valorisés (dispositions du noyau dur et de la force d'action rapide nucléaire (FARN), modifications spécifiques à l'inondation interne déployées en VD4), que ce risque est résiduel. De plus, pour les initiateurs de rupture de tuyauterie conduisant à une vidange accidentelle de la piscine, l'IRSN estime qu'EDF doit encore vérifier que toutes les parades valorisées dans l'étude spécifique aux réacteurs du Bugey ne sont pas affectées par l'inondation induite par l'initiateur, ce à quoi EDF s'est engagé.

EPS de niveau 2 « agressions internes »

Comme pour le palier CPY, EDF a présenté, pour les réacteurs du Bugey, une EPS de niveau 2 quantifiant les fréquences d'occurrence de différentes catégories de rejets en cas d'agressions internes (incendie et inondation). L'IRSN considère que cet exercice constitue une avancée significative de la démonstration de sûreté des réacteurs du Bugey. Toutefois, comme pour les réacteurs de 900 MWe du palier CPY, EDF n'a pas évalué les fréquences des rejets aériens en cas d'accident de fusion du cœur résultant d'une agression interne pour les réacteurs du Bugey à l'état VD4. Ce point a fait l'objet d'une recommandation de la part de l'IRSN dans son avis [6] pour laquelle EDF a précisé que sa réponse couvrira également les réacteurs du Bugey. L'IRSN en prend note mais reste à ce stade dans l'attente des résultats de la quantification de la fréquence des rejets aériens précoces et importants en cas d'accident de fusion du cœur résultant d'une agression interne sur le palier CPY à l'état VD4. L'IRSN n'est donc pas en mesure de se positionner sur le caractère acceptable des dispositions retenues afin de rendre extrêmement improbable le risque de rejets précoces et importants pour les scénarios d'accident grave initiés par une agression interne.

2.4 Risques liés aux agressions d'origine externe

EPS de niveau 1 « inondation externe » pour le réacteur et la piscine BK

Dans le cadre du réexamen VD4-900, EDF a présenté une étude portant sur le risque de crue fluviale pour les réacteurs du Bugey et évaluant les fréquences induites de fusion du cœur et de découverture des assemblages de combustible dans la piscine BK.

L'IRSN estime que la méthodologie utilisée pour déterminer la fréquence d'occurrence des niveaux d'eau au droit du site, ainsi que pour construire et quantifier les scénarios accidentels apparaît simplifiée, mais acceptable dans le cadre d'une première évaluation probabiliste de sûreté.

La fréquence de fusion du cœur est évaluée par EDF à $1,1 \cdot 10^{-5}$ /a.r. La fréquence de découverture des assemblages de combustible dans la piscine BK est évaluée quant à elle à $1,1 \cdot 10^{-8}$ /a.r. Ces résultats, bien que relativement élevés pour ce qui concerne le risque de fusion du cœur, ne remettent pas en cause les objectifs de sûreté fixés pour le réexamen VD4-900. Cette étude, tout comme les études fournies pour le palier CPY, a en revanche mis en évidence l'importance, pour respecter ces objectifs, des dispositions du noyau dur, qui permettent une protection contre des niveaux d'inondation plus sévères que ceux retenus pour le dimensionnement, ainsi que de l'intervention de la FARN pour les scénarios accidentels liés à la piscine BK.

S'agissant des hypothèses relatives à la conduite en cas d'inondation utilisées dans son étude probabiliste, elles devront si besoin être mises en cohérence avec les principes qui figureront in fine dans les règles particulières de conduite à l'état VD4. Le cas échéant, cette étude devra être mise à jour ainsi que les enseignements tirés pour le réexamen, ce à quoi EDF s'est engagé. L'IRSN estime en outre nécessaire qu'EDF vérifie que les dispositions matérielles identifiées comme nécessaires à la prévention des risques de bipasse des protections (périphériques et volumétriques) dans son EPS inondation externe, et dont la très bonne fiabilité est postulée dans le cadre de son évaluation, font effectivement toutes l'objet d'un suivi systématique en exploitation.

Le risque d'inondation induit par une rupture du circuit d'eau de refroidissement du condenseur (CRF) en salle des machines sur le site du Bugey n'a pas été étudié. EDF s'est

engagé à réaliser une analyse de type screening¹ du risque associé à la rupture d'une tuyauterie du circuit CRF en salle des machines, et à compléter, si le risque ne peut être écarté, par une analyse probabiliste détaillée.

EPS « séisme » de niveaux 1 et 2 pour le réacteur et la piscine BK

EDF a présenté, pour les réacteurs du site du Bugey, une EPS évaluant les risques de fusion du cœur et de découverture des assemblages de combustible dans la piscine BK, ainsi que de rejets induits par un séisme.

Le périmètre de cette étude et la démarche mise en œuvre sont globalement satisfaisants. L'IRSN souligne les efforts significatifs d'EDF pour développer l'EPS séisme pour le site du Bugey et estime que l'étude est globalement pertinente, les limitations qu'il a identifiées n'étant pas de nature à remettre en cause l'ordre de grandeur du risque évalué par EDF.

Cette EPS « séisme » montre l'apport notable des dispositions du noyau dur pour la sûreté de l'installation, conduisant à une réduction de la fréquence de fusion du cœur de 56% pour des niveaux sismiques inférieurs ou égaux au SND. De même, les dispositions du noyau dur valorisées en prévention et en mitigation de la fusion permettent de limiter notablement les risques de rejets importants « voie air » et « voie eau » associés aux niveaux sismiques inférieurs ou égaux au niveau SND.

Par ailleurs, lors du développement de cette étude, EDF a identifié le besoin de renforcer les bâches à fioul des groupes électrogènes à moteur Diesel de chaque réacteur, pour réduire les risques associés aux scénarios de perte des alimentations électriques.

La fréquence de fusion du cœur est évaluée, en tenant compte de cette modification, à $1,3 \cdot 10^{-5}$ /a.r. L'IRSN constate que, malgré les dispositions du noyau dur et le renforcement des bâches à fioul, la fréquence de fusion du cœur évaluée par EDF est élevée. Toutefois, le risque de fusion du cœur porté par les niveaux d'accélération sismique inférieurs ou égaux au SND ne représente que 7 % du risque global, ce qui montre la robustesse de l'installation pour ces niveaux de séisme.

La fréquence de découverture des assemblages de combustible dans la piscine BK est évaluée à $2,2 \cdot 10^{-6}$ /a.r. Elle apparaît élevée au regard de l'objectif de rendre ce risque résiduel. Toutefois, le risque de découverture porté par les niveaux d'accélération sismique inférieurs ou égaux au SND ne représente que 5 % du risque global, ce qui montre, pour ces niveaux de séisme, la robustesse de l'installation. Pour les niveaux de séisme plus élevés, le risque provient principalement de la défaillance de structures.

Pour l'EPS de niveau 2 « séisme », les risques de rejets aériens précoces et importants d'une part, et de percée du radier d'autre part sont de l'ordre de respectivement $7 \cdot 10^{-6}$ /a.r. et $1 \cdot 10^{-5}$ /a.r. Ces rejets sont portés par des niveaux de séisme supérieurs au niveau SND, pour lesquels les rejets sont majoritairement induits par la défaillance des structures. Pour les niveaux de séisme allant jusqu'au niveau SND, la défaillance des structures n'est pas le contributeur prédominant, et les risques sont de l'ordre de $4 \cdot 10^{-8}$ /a.r pour les rejets précoces et importants, et de $7 \cdot 10^{-8}$ /a.r pour la percée du radier, le renforcement des bâches à fioul et l'optimisation du planning de maintenance des systèmes, structures et composants du noyau dur contribuant à la robustesse de l'installation pour ces niveaux de séisme. L'IRSN estime cependant que ces conclusions doivent être nuancées, étant données les limites identifiées lors de l'expertise de l'étude (sous-évaluation de la fréquence des rejets aériens tardifs non filtrés notamment).

¹ Analyse systématique qui, sur la base de critères qualitatifs et quantitatifs, permet d'exclure un risque.

2.5 Conclusion

Dans le cadre du réexamen VD4-900 des réacteurs du Bugey, l'IRSN a examiné les études probabilistes de sûreté développées par EDF pour les événements internes ainsi que pour les agressions d'origines interne et externe aux installations. Le périmètre de ces études a été notablement étendu, en particulier pour les agressions, en comparaison de celui des EPS réalisées lors des précédents réexamens périodiques des réacteurs en exploitation ainsi que de celles développées à la conception du réacteur EPR de Flamanville. Les méthodologies mises en œuvre ainsi que les données et hypothèses utilisées dans ces études apparaissent globalement satisfaisantes, y compris pour les nouvelles EPS développées pour la première fois par EDF, même si l'expertise a mis en évidence un certain nombre de points qui mériteraient d'être améliorés dans les EPS qui seront développées pour les prochains réexamens. Les EPS réalisées pour le réexamen VD4-900 permettent ainsi de disposer d'un éclairage probabiliste pertinent, en complément des études déterministes relatives aux situations accidentelles, aux accidents graves ainsi qu'aux risques d'agressions, pour permettre d'apprécier l'atteinte des objectifs de sûreté fixés pour ce réexamen. Ces objectifs visent notamment à améliorer la prévention de la fusion du cœur (fréquence de fusion du cœur globale, incluant les agressions, inférieure à quelques 10^{-5} /a.r.) et à rendre extrêmement improbables le risque de découverte des assemblages de combustible entreposés dans la piscine de désactivation du combustible et le risque de rejets précoces et importants.

Malgré les améliorations importantes prévues par EDF dans le cadre du réexamen VD4-900, les résultats obtenus apparaissent globalement plus élevés que ceux estimés par EDF dans les EPS qu'il a développées pour le réacteur EPR, l'écart persistant s'expliquant par un certain nombre de dispositions à fort impact retenues dès la conception de l'EPR (prise en compte des accidents graves, intégration de l'objectif « d'élimination pratique » des situations conduisant à des rejets importants et précoces, conception à quatre divisions séparées géographiquement et autres dispositions favorables à l'égard des agressions...). En tout état de cause, les modifications prévues d'être déployées pour les VD4-900 des réacteurs du Bugey, notamment les dispositions du noyau dur ainsi que les modifications identifiées par EDF lors de son processus de développement des EPS pour réduire les risques associés à certains scénarios, se traduisent par des gains significatifs dans les résultats des EPS pour le réexamen VD4-900 par rapport à ceux obtenus lors des précédents réexamens ; certains de ces résultats nécessitent encore d'être consolidés au moyen d'évaluations et de justifications complémentaires, qu'EDF s'est engagé à apporter pour le réexamen VD4-900.

L'expertise de ces EPS a toutefois conduit l'IRSN à identifier certains risques qui méritent encore d'être réduits afin de pouvoir considérer que les objectifs fixés pour le réexamen sont complètement atteints. Ces besoins d'améliorations complémentaires font l'objet des recommandations formulées par l'IRSN en annexe.

Pour le Directeur général et par délégation,
Frédérique PICHEREAU
Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe à l'avis IRSN n° 2019-00282 du 13 décembre 2019

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF mette en œuvre sur les réacteurs du Bugey des modifications de conception permettant la fermeture et le maintien en position fermée de la ligne de retour des joints n°1 des pompes primaires lors d'une situation de perte totale des alimentations électriques avec défaillance de l'injection aux joints, de manière à préserver l'intégrité du circuit RCV et ainsi d'éviter tout risque de fusion du cœur avec bipasse du confinement.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF prévoie, pour les réacteurs du Bugey, un dispositif supplémentaire qui permette un appoint d'eau borée vers le puits de cuve ou vers les puisards du fond de l'enceinte, de manière à éviter la percée du radier en cas de défaillance du système EASu à court terme. Ce dispositif fixe ou mobile devra être suffisamment indépendant de l'EASu et de ses systèmes support.