

Fontenay-aux-Roses, le 31 mars 2020

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

15 rue Louis Lejeune

92120 MONTROUGE

Avis IRSN n° 2020-00053

Objet	EDF - Quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe Position de l'IRSN à l'issue de son expertise de la phase générique du réexamen
Réf	1) Saisine ASN CODEP-DCN-2020-021993 du 19 mars 2020. 2) Lettre ASN CODEP-DCN-2016-007286 du 20 avril 2016 : « Orientations génériques du réexamen périodique associé aux quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe d'EDF (VD4-900) ».
Nbre de pages	59

En réponse à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) citée en première référence, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a élaboré une synthèse de ses expertises relatives à la phase générique du quatrième réexamen périodique de sûreté des réacteurs de 900 MWe (RP4-900) mené par EDF. L'expertise de l'IRSN a porté sur les propositions d'EDF visant à maintenir la conformité des installations d'une part et à réévaluer leur niveau de sûreté au regard des objectifs applicables aux réacteurs de nouvelle génération d'autre part.

Concernant la conformité, l'IRSN considère que les contrôles doivent être étendus, ce dont EDF a convenu. Obtenir la conformité nécessite en particulier une bonne maîtrise des risques associés au vieillissement des installations. Dans ce domaine, EDF doit améliorer la qualité de sa maintenance, notamment pour ce qui concerne l'anticipation de la dégradation des matériels et la rapidité de détection des écarts, les analyses de risque ainsi que la qualité d'exécution des opérations de maintenance et des contrôles et requalification associés.

La volonté de se rapprocher du niveau de sûreté visé pour les réacteurs de nouvelle génération et de tenir compte du retour d'expérience de l'accident de Fukushima a conduit EDF à proposer un programme ambitieux de modifications de ses installations, décliné en plusieurs phases industrielles. L'IRSN a identifié la nécessité d'inclure des modifications supplémentaires à ce programme pour atteindre les objectifs fixés par l'ASN dans sa lettre citée en deuxième référence pour la poursuite de fonctionnement des réacteurs. En outre, des compléments significatifs doivent encore être apportés pour consolider la démonstration de sûreté des réacteurs ainsi modifiés.

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 8 440 546 018

MEMBRE DE

ETSON

EUROPEAN
TECHNICAL SAFETY
ORGANISATIONS
NETWORK

Vérification de la conformité

Le maintien de la conformité des réacteurs de 900 MWe à leurs exigences de sûreté et vis-à-vis des risques et inconvénients qu'ils présentent, présente un enjeu particulier dans la mesure où des écarts sont régulièrement détectés de manière fortuite par EDF, certains ayant conduit à la déclaration d'événements classés au niveau 2 de l'échelle INES. À cet égard, EDF a récemment complété ses dispositions par un projet national visant à vérifier sur le terrain la conformité d'équipements ou de composants présentant un retour d'expérience négatif, tels que les ancrages (au regard du risque sismique), les tuyauteries ou réservoirs (au regard des risques d'inondation interne) ou le circuit d'eau brute secouru. La mise en place de ce projet national est satisfaisante, mais l'IRSN considère qu'EDF doit poursuivre le renforcement de ses dispositions générales pour maintenir la conformité des installations ; cela concerne notamment la disponibilité des données et études de conception, le traitement des écarts, l'identification des signaux faibles, la mise à jour des référentiels de maintenance et leur prise en compte plus rapide par les sites.

Au niveau des sites nucléaires, le contour prévu par EDF pour l'examen de conformité des tranches lors de leur réexamen de sûreté est apparu trop similaire à celui défini lors des réexamens précédents qui n'ont pas réussi à empêcher la persistance de nombreux écarts de conformité. Aussi, l'examen de conformité des tranches doit être étendu, tant en termes de systèmes et d'équipements contrôlés que de nature des contrôles. EDF en a convenu et a fait des propositions dans ce sens. Ces propositions devront néanmoins être complétées par des contrôles additionnels d'équipements recommandés par l'IRSN.

La conformité de la fonction de recirculation des systèmes de sauvegarde d'injection de sécurité et d'aspersion dans l'enceinte de confinement a fait l'objet d'un examen particulier dans le cadre du réexamen RP4-900. Ces systèmes, fonctionnant en recirculation sur les puisards de l'enceinte de confinement, sont nécessaires en cas de brèche affectant le circuit primaire pour refroidir le combustible du cœur du réacteur et évacuer la chaleur hors de l'enceinte de confinement. EDF a réalisé un important programme de travail pour mieux caractériser les effets physiques et chimiques susceptibles d'affecter ces systèmes. Il importe notamment de vérifier l'absence de risque de colmatage des filtres des puisards de l'enceinte ou des assemblages de combustible du cœur ainsi que l'absence de risque de défaillance par cavitation des pompes utilisées pour la recirculation. L'IRSN considère que ce programme de travail doit être mené à son terme dans le but de statuer, moyennant le cas échéant des modifications qui restent à préciser et à mettre en œuvre, sur la conformité de la fonction de recirculation. En particulier, dans ce cadre, la possibilité de démontrer le bon fonctionnement des pompes des circuits d'injection de sécurité et d'aspersion des réacteurs du Bugey sans modification matérielle n'apparaît pas acquise à ce stade.

Par ailleurs, le plan d'action « ventilation », destiné à garantir la conformité des systèmes de ventilation aux exigences associées aux référentiels grands chauds, grands froids et risque d'explosion interne devra être mené à son terme et décliné sur chaque installation.

Enfin, plusieurs essais particuliers, en complément de ceux prévus lors de l'exploitation des installations ou des visites décennales, peuvent être réalisés à l'occasion de ce réexamen pour valider les capacités fonctionnelles de certains équipements en situation accidentelle ou pour conforter la validation des modèles utilisés dans la démonstration de sûreté. Par ailleurs, l'arrêt définitif des réacteurs de Fessenheim permettra d'effectuer des essais spécifiques ou de mener des expertises de composants prélevés pour vérifier l'absence de phénomènes de dégradation ou de vieillissement non prévus.

Maîtrise du vieillissement

La démarche de maîtrise du vieillissement mise en œuvre par EDF est fondée sur un processus d'examen des structures, systèmes ou composants et de la manière dont leur intégrité ou leur fonctionnalité peut être affectée par un mécanisme de vieillissement. Elle tient compte des dispositions d'exploitation et de maintenance en vigueur, ainsi que des difficultés de réparation ou de remplacement.

L'IRSN considère que ce processus est satisfaisant en vue de l'extension de la durée de fonctionnement des réacteurs de 900 MWe au-delà de 40 ans, même si le traitement du retour d'expérience et l'anticipation des décisions à prendre devront être améliorés (notamment la généralisation à tous les réacteurs d'enseignements provenant d'un réacteur particulier (corrosion, encrassement de tuyauterie...)).

La stratégie de maintenance d'EDF vise à décider des actions à réaliser en vue de la maîtrise du vieillissement ou de l'obsolescence des systèmes, des structures et des composants. Ces actions peuvent relever de la maintenance préventive (courante), de la maintenance exceptionnelle ou d'études anticipées de solutions de réparation ou de remplacement, intégrant le cas échéant des actions de recherche et développement. L'IRSN considère qu'EDF doit améliorer ses programmes de maintenance préventive pour mieux garantir la conformité de ses installations. Cela nécessite une meilleure anticipation, un renforcement de l'intégration des enjeux de sûreté dans les analyses de risque, une amélioration de la qualité d'exécution, des contrôles et de la requalification ainsi que de la rapidité de détection des écarts. Les engagements pris par EDF concernant la maintenance exceptionnelle sont satisfaisants, avec par exemple le remplacement des culasses des moteurs des groupes électrogènes de secours d'ici fin 2025. Enfin, concernant l'obsolescence, le processus d'EDF est de nature à garantir un traitement satisfaisant et pérenne.

Dans le cadre de l'extension de la durée de fonctionnement des réacteurs, une démarche spécifique concerne les équipements remplaçables qui resteraient en place au-delà de la durée de vie retenue lors de leur qualification initiale. EDF a défini un programme de qualification progressive qui concerne certains équipements électriques et les équipements mécaniques, ce qui est satisfaisant compte tenu des engagements pris. La démonstration complète de cette qualification progressive sera acquise une fois obtenus les résultats des expertises et essais de matériels à prélever sur site.

Certaines structures et équipements, en particulier s'ils sont non remplaçables, font l'objet d'un dossier d'aptitude à la poursuite d'exploitation. À cet égard, sur la base des dossiers examinés, l'IRSN considère que l'aptitude au service des cuves des réacteurs n°1 du Tricastin et n°2 du Bugey, premiers réacteurs concernés par le réexamen RP4-900, est démontrée pour 10 ans de fonctionnement au-delà des quatrièmes visites décennales. Pour les autres réacteurs, des compléments sont encore nécessaires pour conclure. De même, des compléments de contrôles et d'études sont prévus pour les circuits primaire et secondaire. Les éléments présentés par EDF pour les structures de génie civil, les structures internes de cuve, les groupes motopompes primaires (partie hydraulique), les câbles d'installation électrique générale, le contrôle-commande et les traversées électriques de la paroi des enceintes sont globalement satisfaisants, moyennant quelques compléments prévus par EDF. Pour les réacteurs de la centrale nucléaire du Bugey, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF mette en œuvre un programme de contrôle de l'état des vis d'enveloppe des internes de cuve.

Réévaluation de sûreté

L'IRSN souligne l'ampleur des actions entreprises par EDF dans le cadre de ce réexamen pour rapprocher le niveau de sûreté des réacteurs de 900 MWe de celui défini pour le réacteur EPR de Flamanville et mettre en place les renforcements matériels et organisationnels requis après les évaluations complémentaires de sûreté (ECS) menées après l'accident de Fukushima. Les réacteurs de 900 MWe seront par exemple équipés d'un dispositif de stabilisation du corium en cas de fusion du cœur et d'un système (EASu) permettant d'évacuer la chaleur hors de l'enceinte de confinement sans recourir au dispositif d'éventage et de filtration installé à cet effet dans le cadre des enseignements tirés de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Three Mile Island.

Les renforcements liés aux ECS doivent, grâce à un « noyau dur » d'équipements et une Force d'action rapide nucléaire (FARN), permettre la gestion de situations accidentelles, dites situations « noyau dur », qui seraient induites par des agressions d'ampleur extrême (séisme, inondation, vent...).

Cela a conduit EDF à organiser le déploiement des modifications prévues pour le réexamen RP4-900 en deux phases : la première lors de la visite décennale de chaque réacteur, la seconde lors de leur seconde visite partielle consécutive à l'arrêt pour visite décennale. Les dossiers relatifs à cette seconde phase n'ont, pour la plupart, pas encore été transmis par EDF. Ces dossiers concernent notamment la disposition « noyau dur » de refroidissement par le circuit secondaire (ASG-ND) et, de manière générale, la démonstration de la tenue au séisme des structures et des équipements du « noyau dur ». Ces dossiers et les modifications associées sont nécessaires pour montrer l'atteinte des objectifs fixés par l'ASN à l'issue des ECS.

Même si la réévaluation de sûreté conduite par EDF répond globalement aux objectifs du réexamen, l'IRSN a, lors de ses expertises, relevé un ensemble de compléments (études de sûreté ou modifications matérielles, de conduite et d'exploitation) nécessaires pour atteindre ces objectifs.

Concernant la prévention des accidents de fusion du cœur, l'IRSN considère qu'EDF doit notamment compléter les dispositions assurant la maîtrise de la réactivité en situation « noyau dur » ou dans les situations du domaine complémentaire (telles que les pertes des alimentations électriques), améliorer la conduite et réduire l'impact radiologique des accidents de rupture de tube de générateur de vapeur et compléter l'instrumentation permettant la gestion des situations « noyau dur ». Pour l'IRSN, l'installation d'une pompe d'injection d'eau borée à haute pression pour chaque réacteur, plus fiable que la pompe de test actuelle, faciliterait la conduite des transitoires accidentels. EDF doit également poursuivre la démarche de prise en compte de l'état réel des combustibles en cœur, et notamment de la déformation latérale des combustibles observée en fonctionnement normal, qui a des conséquences neutroniques, thermohydrauliques et mécaniques. Par ailleurs, EDF devra, en s'appuyant sur son programme d'essais et d'études prévu à cet effet, apporter une démonstration de la tenue mécanique des grilles des assemblages de combustible dans le cœur en situation de cumul d'une brèche du circuit primaire et d'un séisme, conformément au référentiel de sûreté en vigueur.

Concernant la fonction de confinement, l'IRSN considère que les actions prévues par EDF contribueront à renforcer le confinement des matières radioactives et relève quelques actions supplémentaires nécessaires, telles que des essais de requalification de l'étanchéité du tampon d'accès des matériels de l'enceinte de confinement et la surveillance continue des doubles enveloppes des circuits RIS et EAS. L'IRSN estime également nécessaire qu'EDF démontre que les propriétés des nouveaux joints des tampons d'accès des matériels ainsi que celles du joint des tapes des tubes de transfert de combustibles reliant les bâtiments du réacteur et du combustible permettent de garantir l'étanchéité en situation d'accident grave.

Concernant la prévention des accidents relatifs à l'entreposage ou la manutention du combustible en piscine de désactivation, l'IRSN note le bénéfice pour la sûreté des dispositions nouvelles proposées par EDF (modifications matérielles, de conduite ou de contrôle des équipements assurant l'intégrité des piscines). L'IRSN estime toutefois que plusieurs dispositions complémentaires sont nécessaires, telles que l'automatisation de la deuxième vanne d'isolement ajoutée sur la ligne d'aspiration du circuit de refroidissement (PTR), la mise en place de dispositions de protection des câbles d'alimentation électrique des pompes de ce circuit, la possibilité d'isolement d'un tronçon de tuyauterie en cas de fuite, la disponibilité de deux moyens d'appoint en eau diversifiés pour compenser les pertes en eau par ébullition en cas d'accident et des précautions en exploitation pour les opérations de ressuage ou de manutention des assemblages.

Concernant la limitation des conséquences des accidents de fusion du cœur, l'IRSN souligne que les dispositions prévues par EDF permettent effectivement de se rapprocher du niveau de sûreté visé pour les réacteurs de nouvelle génération. Certaines dispositions complémentaires apparaissent toutefois nécessaires pour limiter davantage les risques de rejets importants lors de tels accidents, notamment l'épaississement de la zone du radier dédiée à la réception d'un corium dans les bâtiments du réacteur et dont le béton est très siliceux (sont concernés les 14 réacteurs de Saint-Laurent-des-Eaux, de Chinon, du Blayais et de Dampierre), la détection et la réinjection dans le bâtiment du réacteur des effluents qui seraient présents dans le bâtiment du combustible en cas de fuite des circuits de refroidissement et l'ajout d'un moyen permettant d'injecter de l'eau dans le bâtiment du réacteur en cas de défaillance du système EASu à moyen ou long terme. Par ailleurs, une amélioration des dispositions liées aux enceintes géotechniques sur les sites apporterait une protection supplémentaire contre un transfert de contamination radioactive vers les eaux souterraines.

L'IRSN souligne également l'ampleur des études d'agressions menées par EDF dans le cadre du réexamen RP4-900, ainsi que les améliorations apportées à la plupart de ces études par rapport au réexamen précédent. Les dispositions existantes ou prévues sont de nature à permettre d'atteindre les objectifs fixés pour le réexamen RP4-900. Des compléments sont encore nécessaires : l'achèvement de l'application du guide ASN n° 13 pour les protections contre les inondations externes, la réévaluation sismique pour chaque site, la prise en compte des effets induits des agressions externes (notamment pour les équipements du noyau dur), l'achèvement des études de sûreté en situation de grands chauds (en particulier en cas de perte des alimentations électriques en situation de canicule), la réévaluation des niveaux de tornade à considérer et l'achèvement des études relatives aux dispositions de maîtrise des risques d'incendie, d'inondation interne et d'explosion.

Enfin, dans le cadre du réexamen de sûreté, EDF a étendu de manière importante le champ couvert par les études probabilistes de sûreté, qui abordent désormais les risques d'événements internes (défaillances matérielles ou humaines), d'incendie, d'inondation interne, de séisme, d'explosion interne et d'inondation externe pour certains sites (Saint-Laurent-des-Eaux, Bugey, Tricastin et Gravelines). Ces études ont conduit EDF à identifier l'intérêt de modifications portant par exemple sur le contrôle-commande des soupapes de décharge du circuit primaire (pour réduire le risque d'ordre d'ouverture intempestif en cas d'incendie), le renforcement au séisme des bâches à fioul des groupes électrogènes à moteur Diesel ou réduire les effets d'une éventuelle inondation dans les locaux électriques sensibles.

L'expertise menée par l'IRSN a conduit à mettre en évidence l'intérêt d'autres dispositions : la fermeture de la ligne de reprise de fuite des joints des pompes primaires en situation de perte totale des alimentations électriques, la présence d'un moyen d'injection d'eau borée à court terme dans l'enceinte de confinement en cas de défaillance de la disposition EASu, la disponibilité des moyens nécessaires à la limitation des conséquences d'un accident grave (notamment l'EASu), en cas d'incendie ou d'inondation dans les locaux

électriques de la voie A, la mise en œuvre de protections contre l'incendie des dispositions du noyau dur ou certaines optimisations de la gestion d'un accident grave. Ces études probabilistes de sûreté devront être mises à jour pour refléter l'état des installations une fois installées les dispositions prévues lors de la seconde phase du réexamen.

Dimensions organisationnelles et humaines

EDF a fait évoluer son organisation pour la conception, la réalisation et l'exploitation des modifications RP4 900, en tenant compte du retour d'expérience du troisième réexamen périodique de sûreté des réacteurs de 1300 MWe. L'IRSN considère que ces évolutions sont globalement satisfaisantes. Le retour d'expérience des deux réacteurs tête de série (réacteur n°1 du Tricastin et n°2 du Bugey) devra néanmoins être pris en compte.

En tout état de cause, les actions des équipes locales et nationales d'EDF en matière de rigueur d'exploitation ainsi que de qualité des actions de maintenance et d'exécution des chantiers de modification sont primordiales pour le maintien de la conformité des installations et la poursuite d'exploitation.

Conclusion

L'objectif de se rapprocher du niveau de sûreté visé pour les réacteurs de nouvelle génération et de tenir compte du retour d'expérience de l'accident de Fukushima a conduit EDF à proposer, dans le cadre du réexamen périodique associé aux quatrième visites décennales des réacteurs de 900 MWe, un programme ambitieux de modifications de ses installations dont certaines sont encore en cours de définition.

En l'état actuel des expertises menées pour la phase générique de ce réexamen, l'IRSN retient que ce programme devrait permettre à EDF de répondre aux objectifs fixés par l'ASN, moyennant des compléments significatifs à la démonstration de sûreté et des modifications d'installation jugées nécessaires. Ces actions, explicitées en annexe, ont, pour une grande partie, fait l'objet d'engagements de l'exploitant. Pour les réacteurs du Bugey, certaines attentes (notamment la maîtrise de la réactivité, le bon fonctionnement des pompes utilisées en recirculation en situation accidentelle et le bilan de puissance des groupes électrogènes de secours) sont spécifiques du fait de particularités de conception de ces réacteurs.

Des expertises restent à réaliser par l'IRSN pour quelques dossiers à venir ou transmis très récemment par EDF. De même, il restera à examiner la déclinaison à chaque réacteur de 900 MWe du programme de réexamen, notamment pour ce qui concerne les spécificités de site (par exemple la réévaluation sismique, les protections contre les agressions externes ou certaines particularités locales de conception).

Jean-Christophe NIEL
Directeur général

P. J. : 1

Annexe

Positions de l'IRSN sur la phase générique du quatrième réexamen
des réacteurs de 900 MWe réalisé par EDF

Table des matières

1. INTRODUCTION	8
2. VERIFICATION DE LA CONFORMITE	8
2.1 Processus et dispositions d'exploitation courante	8
2.2 Examen de la conformité des tranches (ÉCOT)	10
2.3 Programme d'investigations complémentaires (PIC)	11
2.4 Essais décennaux et essais particuliers à l'occasion du RP4-900	12
2.5 Conformité de la fonction de recirculation des systèmes RIS et EAS	13
2.6 Conformité des systèmes de ventilation	14
2.7 Bilan de puissance des groupes électrogène de secours	15
3. MAITRISE DU VIEILLISSEMENT, DE L'OBSOLESCENCE ET DE LA QUALIFICATION	16
3.1 Processus de maîtrise du vieillissement d'EDF	16
3.2 Aptitude de fonctionnement et surveillance des cuves	17
3.3 Dossiers de référence réglementaire du circuit primaire et des circuits secondaires principaux (ESPN)	19
3.4 Aptitude de fonctionnement et surveillance des autres équipements (hors ESPN)	20
3.5 Maintenance préventive et exceptionnelle	22
3.6 Processus de traitement de l'obsolescence des matériels et pièces de rechange	23
3.7 Maintien de la qualification	23
4. REEVALUATION DE SURETE	24
4.1 Calendrier	24
4.2 Attentes relatives à la phase B du réexamen RP4-900	25
4.3 Prévention des accidents - domaine de dimensionnement, domaine complémentaire et situations « noyau dur »	27
4.4 Dispositions relatives aux accidents graves	33
4.5 Fonction de confinement	37
4.6 Protection contre les agressions internes et externes	38
4.7 Évaluation probabiliste de sûreté	51
4.8 Entreposage du combustible en piscine de désactivation	53
4.9 Bâtiments annexes de conditionnement des déchets (BAC)	54
5. FACTEURS ORGANISATIONNELS ET HUMAINS	55
5.1 Organisation pour la conception, la réalisation et l'exploitation des modifications	55
5.2 Caractère opérationnel de l'organisation et des moyens de crise en situation extrême	56
5.3 Enjeux pour la poursuite d'exploitation	56
6. REFERENCES	57

1 INTRODUCTION

EDF a fait part, en 2009, de sa volonté de prolonger la durée de fonctionnement de ses réacteurs électronucléaires au-delà de 40 ans. À la suite d'une consultation du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) portant sur ce projet, 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 RP4-900), l'ASN a pris position [3] sur ces orientations et défini des éléments complémentaires attendus d'EDF dans le cadre de ce réexamen.

Dans la mesure où certaines études de conception renaient une durée de fonctionnement des réacteurs de 40 ans, la démonstration de l'aptitude à la poursuite d'exploitation revêt une importance particulière pour ce réexamen. De même, le retour d'expérience d'exploitation récent ayant fait apparaître de manière récurrente des non-conformités affectant des fonctions de sûreté, l'examen de conformité mené par EDF dans le cadre du réexamen RP4-900 ainsi que les processus de maîtrise du vieillissement ou de l'obsolescence sont des éléments essentiels en vue de la poursuite d'exploitation.

Le réexamen RP4-900 doit permettre d'améliorer le niveau de sûreté des réacteurs de 900 MWe pour le rapprocher de celui visé pour les réacteurs de troisième génération, comme l'EPR Flamanville 3, 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. Il doit permettre également la mise en œuvre complète des renforcements jugés nécessaires pour faire face aux risques d'agressions externes après les évaluations complémentaires de sûreté menées pour tenir compte de l'accident de Fukushima.

Les paragraphes suivants présentent les conclusions de l'IRSN à l'issue de son expertise des différents dossiers transmis par EDF concernant la vérification de la conformité des installations à leur référentiel de sûreté, la maîtrise du vieillissement, de l'obsolescence et de la qualification, la réévaluation de sûreté et les dimensions organisationnelles et humaines.

Les expertises de l'IRSN relatives au réexamen de sûreté des réacteurs de Fessenheim ne sont pas abordées compte tenu de la décision de ne pas poursuivre leur exploitation au-delà de l'année 2020.

Nota : les positions de l'IRSN présentées ci-après (texte encadré) distinguent les « modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation » et les « compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels ». Le texte *en italique* dans ces positions correspond à des engagements d'EDF.

2 VERIFICATION DE LA CONFORMITE

2.1 Processus et dispositions d'exploitation courante

À l'issue de la phase d'orientation du réexamen RP4 900 [3], l'ASN a rappelé que, malgré la démarche de vérification de la conformité des installations lors des réexamens périodiques, des constats ou écarts portant sur la conformité sont régulièrement détectés de manière fortuite. Cette situation a conduit l'ASN à s'interroger sur

la capacité de l'ensemble des processus¹ d'EDF à assurer la conformité des installations. L'ASN a ainsi estimé nécessaire qu'EDF renforce les contrôles in-situ, l'organisation mise en place et réalise des revues de conception pour certains systèmes importants pour la sûreté.

À cet égard, dans le cadre de l'avis en référence [4] émis en 2016, à l'issue de l'examen du retour d'expérience sur la période 2012-2014, l'analyse de l'IRSN mettait en exergue des aspects liés à la surveillance courante des installations, aux analyses de risques, à la qualité des interventions de maintenance et d'exploitation et au maintien de la qualification des équipements. De manière générale, l'IRSN avait mis en évidence des difficultés récurrentes rencontrées par EDF pour maintenir la conformité de ses installations à leur référentiel. Pendant et à l'issue de cette expertise, EDF s'était engagé à renforcer sensiblement ses actions en vue de maîtriser la conformité de ses installations. L'IRSN avait alors conclu que « *la maîtrise de la conformité des installations [...] nécessite un engagement significatif et dans la durée de la part d'EDF* ».

Cependant, depuis 2017, sont notamment survenus plusieurs événements classés au niveau 2 de l'échelle INES², liés à des non-conformités :

- une corrosion excessive de tuyauteries d'eau d'intervention contre l'incendie dans certaines stations de pompage, remettant en cause leur tenue au séisme (2017) ;
- plusieurs non-conformités (entre 2016 et 2019) affectant les groupes électrogènes de secours et mettant en cause leur capacité à fonctionner en cas de séisme.

Cette situation a conduit EDF à initier, début 2018, un projet intitulé « Maîtrise de la conformité des matériels EIPS³ ». Un des objectifs est de vérifier (par des visites de terrain) la conformité des matériels EIPS présentant un retour d'expérience négatif (ancrages, tuyauteries et réservoirs susceptibles d'entraîner des inondations, circuit d'eau brute secourue (SEC)).

L'IRSN a rappelé dans son avis en référence [5] l'importance du renforcement de certaines dispositions générales pour maintenir la conformité des installations.

Position n° 1 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN considère qu'EDF doit poursuivre le renforcement des dispositions d'ordre général contribuant à la maîtrise de la conformité, en particulier :

- la mise à disposition des données de conception (notes de calcul, plan...) pour tous les systèmes de sauvegarde ou la reconstitution des éléments manquants (*EDF a pris un engagement pour les systèmes RIS, EAS et ASG et leurs fonctions support*),
- la démarche de collecte des événements intéressants pour la sûreté, la mise à jour des référentiels de maintenance et l'élaboration des plans d'action pour le traitement des écarts,
- *la prise en compte des signaux dits faibles issus du retour d'expérience du terrain pour mettre à jour annuellement les référentiels de maintenance (palier et site),*

¹ Les processus reposent sur les dispositions d'exploitation courante (maintenance, gestion des modifications, règles générales d'exploitation), les dispositions de détection et traitement des écarts ainsi que sur le système de management intégré d'EDF. Ces dispositions s'appuient sur le référentiel de conception et d'exploitation.

² L'échelle INES (International Nuclear Event Scale) s'applique aux événements se produisant dans les installations nucléaires ; elle compte 8 niveaux (de 0 à 7).

³ EIPS : dénomination d'EDF des EIP relatifs à la sûreté. Au sens de l'arrêté du 7 février 2012 modifié fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (INB), un EIP est un élément important pour la protection des intérêts mentionnés à l'article L.593-1 du code de l'environnement. Cet élément contribue à la prévention des risques et des inconvénients pour la sécurité, la santé et la salubrité publiques ou la protection de la nature et de l'environnement.

- une prise en compte plus rapide sur les sites des nouvelles actions de maintenance préventive définies à partir du retour d'expérience du terrain, par exemple en procédant à un état des lieux des matériels concernés (sur le parc) par une nouvelle action de maintenance et en définissant un plan d'action de résorption des retards dans la mise à jour du référentiel d'exploitation sur les sites concernés.

Enfin, l'IRSN considère qu'EDF doit, pour poursuivre l'exploitation de ses réacteurs, mieux intégrer les enjeux du maintien de la conformité dans les valeurs communes de l'entreprise (depuis les études de conception jusqu'aux activités sur le terrain) et dans les prises de décisions opérationnelles.

Position n° 2 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Dans le cadre des dispositions générales contribuant au maintien de la conformité des installations, l'IRSN estime essentiel qu'EDF :

- applique systématiquement son intention de donner la priorité à la « réparation » par rapport à la « justification » d'un maintien en l'état d'un matériel dégradé,
- partage dans ses équipes (au niveau local et national, depuis les études de conception jusqu'au terrain) une « culture de la conformité », de manière à éviter ou à traiter plus rapidement les écarts.

2.2 Examen de la conformité des tranches (ÉCOT)

Démarche

L'ECOT constitue une part importante du réexamen périodique et vise à vérifier que chaque installation est conforme au référentiel de sûreté avant réexamen : il permet d'évaluer l'efficacité des dispositions d'exploitation courante et, si elles se révèlent insuffisantes, de les compléter. Il s'agit, pour chaque réacteur, de réaliser des contrôles qui sont, autant que possible, indépendants ou différents de ceux menés au titre des dispositions d'exploitation courante (maintenance préventive, essais périodiques ...).

Dans le cadre des quatrièmes visites décennales, EDF a proposé de faire porter l'ECOT sur les thèmes suivants : le génie civil (rétenions ultimes au titre des EIPR⁴, bâtiments des auxiliaires de conditionnement (BAC), galeries et tuyauteries du circuit d'eau brute secourue SEC), les engins de levage, les principaux organes de rejets liquides et gazeux en fonctionnement normal au titre des EIPI⁵, la qualification des matériels aux conditions accidentelles, les spécificités de conception et de réalisation des sites, le traitement des fiches d'écarts, les tuyauteries, le séisme (supportages et ancrages), le confinement et la ventilation, la protection contre les risques d'agressions (foudre, incendie, explosion, inondation interne et externe) et les moyens locaux de crise (MLC).

L'efficacité des précédents exercices d'ECOT n'est pas démontrée du fait de la persistance, sur les sites, de nombreux écarts de conformité sur des thèmes couverts par l'ECOT. Or, pour l'IRSN [5], la démarche d'ECOT, telle que proposée initialement par EDF pour le RP4-900, s'inscrivait dans la continuité des exercices précédents. Elle ne répondait donc pas à la demande de l'ASN d'un renforcement notable des contrôles ([1],[3]).

⁴ EIPR : : dénomination d'EDF des EIP relatifs à la gestion des risques liés aux incidents et accidents non radiologiques.

⁵ EIPI : dénomination d'EDF des EIP relatifs à la gestion des risques en fonctionnement normal ou dégradé

EDF a proposé de compléter l'ECOT du réacteur n°1 du Tricastin par des visites de terrain dans des locaux abritant des matériels contribuant directement au repli du réacteur et à son maintien en état sûr, à savoir les pompes ASG, les pompes SEC et les moteurs des groupes électrogènes de secours à moteur Diesel. Pour l'IRSN, la nature des contrôles complémentaires proposés (sans démontage et sans pose d'échafaudage) se rapproche de celle retenue pour la démarche « maintien de l'état exemplaire des installations », qui n'a pas empêché l'apparition de dégradations de matériels (par exemple, la corrosion de tuyauteries du système SEC). Par ailleurs, ces visites ne concernent qu'une partie réduite des systèmes retenus et ne sont menées que lorsque les systèmes sont à l'arrêt. Elles n'apporteront donc pas une vision d'ensemble de la conformité des systèmes concernés.

Position n° 3 de l'IRSN	[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]
<p>Dans le cadre de l'ECOT, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF complète ses contrôles des matériels contribuant directement au repli du réacteur et à son maintien en état sûr et que, en particulier :</p> <ul style="list-style-type: none"> • pour les visites de conformité sur le terrain, il se base sur les meilleures pratiques disponibles, • il étende les visites sur le terrain à l'ensemble des systèmes, structures et composants des systèmes d'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG), d'eau brute secourue (SEC) et des groupes électrogènes de secours à moteur Diesel (auxiliaires compris) (LH*), • <i>il mène des contrôles des systèmes pendant leur fonctionnement (EDF prévoit une analyse de l'historique des dernières activités de maintenance fortuites et programmées et des derniers résultats vibratoires des essais périodiques des pompes SEC, des pompes ASG et des moteurs Diesel).</i> 	

L'analyse de l'IRSN a en outre permis d'identifier que des actions complémentaires sont nécessaires pour garantir la conformité des installations concernant les thématiques suivantes : ancrages et supportages, tuyauteries, maîtrise du risque « incendie », maîtrise du risque « explosion », ainsi que pour certains composants de l'architecture électrique. EDF s'est engagé à réaliser certaines d'entre elles. La position suivante précise des contrôles à réaliser selon l'IRSN et non retenus par EDF ([5], [6]).

Position n° 4 de l'IRSN	[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]
<p>L'IRSN considère que les contrôles suivants, non retenus par EDF, sont également nécessaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la vérification de la non-obstruction des buses et des sprinklers des systèmes d'eau d'extinction fixes du réseau d'incendie, • des contrôles approfondis (contrôle des soudures, examens non destructifs...) des tuyauteries à enjeu de sûreté au regard des explosions pouvant survenir dans l'îlot nucléaire en cas de fuite de fluide hydrogéné en dehors des singularités démontables, • le contrôle de l'étanchéité de la vanne d'isolement du parc à gaz, • la vérification (au regard des exigences définies) du dimensionnement des fixations inter-colonnes des tableaux de distribution électrique (tableaux sources) et des tableaux de puissance ainsi que la conformité au plan de fixation inter-colonne de ces tableaux, • la vérification in situ des fixations inter-colonnes des armoires de contrôle-commande classées au séisme, afin de vérifier leur dimensionnement et leur conformité au regard des exigences de qualification aux conditions accidentelles. 	

2.3 Programme d'investigations complémentaires (PIC)

Le programme d'investigation complémentaire (PIC) a été mis en place par EDF (à la demande de l'ASN et depuis les VD2-900) pour conforter les hypothèses retenues d'absence de dégradation survenue en exploitation dans des zones non couvertes par des programmes de maintenance.

Cette méthodologie a fait l'objet d'une expertise de l'IRSN dans le cadre de la maîtrise de la conformité et du vieillissement (références [5] et [7]), qui a conduit EDF à compléter son programme d'investigation complémentaire et sa démarche de traitement des écarts.

L'IRSN considère que le programme d'investigation complémentaire d'EDF pour le réexamen RP4 900 est désormais satisfaisant.

2.4 Essais décennaux et essais particuliers à l'occasion du RP4-900

À l'issue de la phase d'orientation du réexamen RP4-900 [3], l'ASN a demandé à EDF de prévoir des essais complémentaires aux essais et contrôles prévus lors des visites décennales, dans le but de vérifier le comportement fonctionnel d'ensemble des éléments importants pour la protection de la sûreté nucléaire (EIPS) compte tenu de leurs exigences définies et pour les principales fonctions de sûreté. À cet égard, EDF a prévu des essais des groupes électrogènes de secours sur banc de charge et par grands chauds et a complété son programme après l'expertise de l'IRSN [9]. D'autres essais ou analyses complémentaires sont toutefois réalisables et permettraient de conforter la démonstration de sûreté.

Position n° 5 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

Dans l'attente d'une analyse prévue par EDF identifiant, sur la base des analyses d'exhaustivité des programmes d'essais périodiques, les exigences de sûreté ne faisant pas l'objet d'un essai périodique ou d'un contrôle équivalent, l'IRSN considère que des essais particuliers ou analyses complémentaires sont réalisables dans le cadre du réexamen RP4-900,

- soit pour valider les capacités fonctionnelles de certains équipements en situation accidentelle : *essais de fonctionnement de moteurs après ouverture d'une phase électrique sur le réseau de transport**, d'ouverture de la ligne d'éventage-filtrage U5*, de réglage du débit de la pompe RIS011PO en situation H3, de fermeture de robinets pneumatiques à manœuvre rapide, *de fonctionnement de la TPS-ASG avec un bas niveau GV (sur un réacteur du Bugey et un réacteur CPY), de fonctionnement d'une rampe d'aspersion incendie**, de mesure de l'impact thermique d'une perte fortuite de la voie A de la ventilation DVL du bâtiment électrique, de fonctionnement prolongé de la TPS ASG sans ventilation de son local, de fonctionnement prolongé de plusieurs groupes électrogène de secours, de repli d'un réacteur CPY et d'un réacteur du Bugey depuis le panneau de repli, d'autonomie des ballons d'air comprimé SAR ou d'efficacité d'échangeurs dont dépend la démonstration de sûreté ;
- soit pour mieux valider des modèles utilisés dans la démonstration de sûreté : *mesures d'effort de fermeture de robinets motorisés électriques, mesures de température dans les locaux d'un réacteur CPY en période de fortes chaleurs.*

*essais envisagés sur un réacteur de Fessenheim

Position n° 6 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère que l'arrêt définitif des réacteurs de Fessenheim doit permettre la réalisation de certains essais ou de mener des expertises de composants prélevés pour vérifier l'absence de phénomènes de dégradation ou de vieillissement non prévus (*par exemple des essais d'équipements électroniques en présence de fumée*, de mesure de dégagement d'hydrogène sur des batteries vieilles, d'autres essais devant être définis par EDF). À cet égard, EDF devra préciser les examens de matériaux, matériels ou équipements, voire essais spécifiques, à réaliser pour tirer des enseignements utiles pour l'expertise de la poursuite du fonctionnement du parc électronucléaire. Ces éléments devront être transmis au plus tard lors du dépôt de la demande de démantèlement des réacteurs de Fessenheim, afin que les opérations correspondantes puissent être prises en compte dans le processus de démantèlement. Ils devront comprendre un échéancier prévisionnel de transmission des protocoles d'essais et d'expertises et de remise des résultats.

2.5 Conformité de la fonction de recirculation des systèmes RIS et EAS

En situation de brèche affectant le circuit primaire, les systèmes RIS et EAS, fonctionnant en recirculation sur les puisards de l'enceinte de confinement après une première phase en injection directe depuis la bêche PTR, sont nécessaires pour assurer le refroidissement du combustible dans la cuve du réacteur et l'évacuation de la chaleur hors de l'enceinte de confinement. Dans une telle situation accidentelle, des débris (de calorifuge, de peinture et autres produits liés à la circulation d'eau dans l'enceinte de confinement) sont générés et transportés jusqu'au fond des puisards de l'enceinte. Ces puisards sont équipés de filtres visant à assurer une qualité d'eau suffisante pour le fonctionnement des équipements des systèmes RIS et EAS situés en aval et le refroidissement du combustible (trois technologies de filtres équipent les réacteurs de 900 MWe). L'ASN [1] a demandé à EDF de réaliser un programme de travail pour évaluer la conformité de la fonction de recirculation de ces systèmes. Ce programme de travail comporte notamment l'analyse des risques de perte de la fonction de recirculation associés aux effets physiques et chimiques en amont et en aval des filtres des puisards, et à la présence de poches d'air à l'aspiration des pompes de recirculation susceptibles de conduire à leur désamorçage.

À l'issue de son expertise présentée dans l'avis en référence [13], l'IRSN a conclu que le dossier d'EDF comportait des lacunes importantes et que la démonstration de la conformité de la fonction de filtration et de recirculation n'était pas apportée. En particulier :

- la masse et la nature des débris (provenant notamment des calorifuges et des peintures) à considérer dans l'eau de recirculation sont à consolider ;
- le risque de cavitation des pompes RIS et EAS, en tenant compte des pertes de charge aux bornes des filtres et dans le réseau hydraulique, doit être réévalué pour les réacteurs de 900 MWe et apparaît important pour les réacteurs du Bugey ;
- la caractérisation du transfert à l'aval des filtres des puisards de débris susceptibles d'avoir un impact sur le refroidissement du combustible dans la cuve du réacteur doit être consolidée ;
- la représentativité des essais de qualification des filtres des puisards ainsi que des essais de colmatage des assemblages de combustible au regard des conditions d'ambiance dans le bâtiment du réacteur et de la chimie de l'eau de recirculation n'est pas acquise.

Au regard de la sensibilité des phénomènes de colmatage des filtres et des assemblages de combustible aux caractéristiques des débris et à la température et à la chimie de l'eau des puisards, l'IRSN a estimé qu'EDF devait sans attendre rechercher les modifications permettant d'éliminer la composante fibres du terme source de débris amont des filtres et, si l'élimination complète des fibres ne pouvait pas être obtenue, de réduire les risques associés aux effets de la température et de la chimie de l'eau.

À la suite de ces conclusions, EDF s'est engagé à réaliser des études et des essais pour montrer le bon fonctionnement de la fonction de recirculation et à étudier en parallèle la faisabilité technique de modifications des installations de nature à réduire les risques de dysfonctionnement de cette fonction. L'IRSN a examiné les éléments transmis par EDF à la suite de cet engagement, en s'appuyant sur les résultats de ses propres essais [14], et considère que des modifications des installations ou de leur suivi en exploitation sont nécessaires.

Position n° 7 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Concernant les calorifuges présents dans les bâtiments du réacteur et potentiellement sources de débris en cas de brèche du circuit primaire, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF :

- retire le calorifuge poudreux encore présent au droit des traversées des puits de cuve de certains réacteurs des sites de Gravelines et du Blayais,

- mette en œuvre (sur tous les réacteurs de 900 MWe) des modifications des calorifuges permettant de réduire suffisamment la quantité de fibres susceptibles d'être générées en cas de brèche du circuit primaire.

Les calorifuges fibreux du circuit primaire pouvant être détruits sous l'effet d'une brèche de ce circuit doivent bénéficier d'exigences de suivi en exploitation adéquates. Ainsi, l'IRSN considère que les activités de remplacement de calorifuges doivent être considérées comme des activités importantes pour la protection des intérêts au sens de l'arrêté INB du 7 février 2012 et s'accompagner de la démonstration du maintien de l'efficacité de la fonction de recirculation.

Par ailleurs, l'IRSN estime que des modifications (matérielles ou de conduite) sont nécessaires pour éviter le fonctionnement en régime de cavitation des pompes RIS-BP et EAS des réacteurs du Bugey dans les situations d'accidents de perte de réfrigérant primaire.

En parallèle de l'étude de modifications destinées à réduire les risques de dysfonctionnement de la fonction de recirculation, EDF poursuit son programme d'études et d'essais, pour lequel l'IRSN estime que des compléments sont nécessaires [14].

Position n° 8 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

Dans le cadre de la démonstration du bon fonctionnement des circuits de recirculation, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF réalise, en complément de son programme :

- *des essais de désamorçage (en cas d'entrée d'air ou de cavitation) sur une pompe à échelle réelle afin de vérifier que les essais à échelle réduite sont transposables aux pompes implantées sur site,*
- *des essais complémentaires de désamorçage de pompe pour apprécier la sensibilité à la durée d'injection d'un filet d'air combiné au taux de vide du fluide aspiré,*
- *des essais permettant de caractériser les effets chimiques dans des conditions aussi représentatives que possible (présence d'acide borique, de soude, de produits de corrosion, température ...) couvrant un ensemble suffisant de configurations (technologie de filtre puisard, localisation et taille de brèche du circuit primaire, quantité de débris, divers ratios fibres/particules...).*

Par ailleurs, l'IRSN considère que la démarche de démonstration doit être complétée sur les points suivants :

- *la justification des quantités de débris de calorifuge générées par une brèche primaire à débatement limité pour chaque technologie de calorifuge ainsi que des quantités de micro-débris de peinture ;*
- *la justification des termes sources de débris en amont et en aval du filtre des puisards effectivement pénalisants au regard de l'ensemble des combinaisons de débris susceptibles d'être générées dans les différentes situations de brèche du circuit primaire (quantités générées, ratio massique particules / fibres, formation d'une peau mince sur le filtre, technologie de filtre) ;*
- *l'étude de la fonction de recirculation en cas de brèche longitudinale du circuit primaire positionnée au niveau du coude d'entrée du générateur de vapeur pour les réacteurs n°2 et n°3 du Bugey ;*
- *la justification que les essais de désamorçage, en présence d'air, des pompes à échelle réduite sont transposables à l'échelle réelle ;*
- *la poursuite de l'analyse des résultats d'essais de désamorçage de pompes avec passage d'air sous forme de poches ou de filets (compréhension des résultats obtenus en cas de passage d'air sous forme de poches, évaluation de la quantité d'air sous forme de filet conduisant au désamorçage des pompes).*

Par ailleurs, l'IRSN souligne que des essais de destruction propres aux calorifuges encapsulés d'EDF pourraient constituer une voie de réduction du TSD amont en fibres.

2.6 Conformité des systèmes de ventilation

EDF a entrepris un plan d'action « ventilation » national destiné à garantir la conformité des systèmes de ventilation en termes de performance par rapport aux exigences issues des référentiels grands chauds, grands froids et risque d'explosion interne. Ce plan d'action vise à définir les débits requis de sûreté des ventilations et

à contrôler leur respect pour chaque réacteur. La première partie de ce plan d'action a fait l'objet d'une expertise de l'IRSN en référence [17] qui conduit à la position suivante.

Position n° 9 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

Afin de montrer que les systèmes de ventilation et de conditionnement thermique permettent de garantir des températures acceptables pour les matériels de sûreté dans les locaux qui les abritent en situation de « grands chauds » ou « grands froids », l'IRSN estime nécessaire qu'EDF justifie la suffisance des conservatismes retenus dans ses études thermiques, en tenant compte des incertitudes liées aux modèles utilisés et à leurs données d'entrée.

2.7 Bilan de puissance des groupes électrogène de secours

Les réacteurs du parc nucléaire sont équipés de deux groupes électrogènes de secours à moteur Diesel, chacun d'eux desservant une des deux voies d'alimentation électrique redondantes des systèmes de sauvegarde de l'installation en cas de perte des sources électriques externes. L'IRSN a examiné l'acceptabilité au plan de la sûreté nucléaire des bilans de puissance de ces diesels de secours, en tenant compte des nouveaux équipements secourus après la mise en œuvre des modifications réalisées lors de la première phase du réexamen RP4 900 des réacteurs du palier CPY [15] et de la centrale du Bugey [16]. Cette acceptabilité est examinée en situation de température extérieure élevée, plus contraignante pour ce type d'équipement.

Pour le palier CPY, l'IRSN considère que les éléments apportés par EDF (notamment des essais réalisés en situation de grands chauds) montrent que les diesels de secours du réacteur n°1 du Tricastin (réacteur au stade RP4) sont capables d'assurer leur mission hors agression canicule. Ces éléments doivent encore être complétés pour les autres réacteurs du palier CPY et les situations de canicule. Afin de conclure sur la capacité de l'ensemble des diesels de secours du palier CPY à remplir leur mission dans tous les scénarios de manière pérenne, y compris en agression canicule, il sera nécessaire de disposer des résultats d'essais à venir et de la mise à jour par EDF de la modélisation utilisée pour calculer la puissance disponible. EDF s'est par ailleurs engagé à la réalisation de deux modifications rappelées ci-après.

Pour les diesels de secours de la centrale du Bugey, les éléments présentés à ce jour par EDF ne permettent pas d'avoir une confiance suffisante concernant les marges affichées par EDF entre la puissance disponible des groupes électrogènes diesels de secours et la puissance requise, en situation estivale (grands chauds) et pour l'agression canicule. L'IRSN considère qu'EDF doit sans tarder prendre des dispositions permettant de réduire la puissance requise ou d'augmenter la puissance disponible et procéder à des essais par température élevée sur chacun des diesels.

Position n° 10 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

Afin de conclure sur la capacité des diesels de secours du palier CPY à remplir leur mission dans tous les scénarios de manière pérenne, y compris en agression canicule, EDF devra s'appuyer sur les résultats des essais prévus par température élevée et mettre à jour la modélisation utilisée pour calculer la puissance disponible. Pour chacun des réacteurs du Bugey, EDF devra, dès la prochaine période estivale, réaliser des essais des diesels de secours à puissance nominale par température extérieure élevée pour vérifier le maintien de la performance du refroidissement, au minimum sur la voie présentant la plus faible marge.

Position n° 11 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Pour conforter les marges du bilan de puissance des groupes diesels de secours, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF :

- réalise la modification de mise en œuvre de déflecteurs d'air sous la dalle anti-missile située au-dessus des aéroréfrigérants des diesels sur l'ensemble des réacteurs du palier CPY (hormis les réacteurs du site de Cruas) (prévu par EDF avant le début de l'été 2020),
- mette en œuvre la modification d'interverrouillage des pompes du système d'alimentation de secours des générateurs de vapeur par les pompes du système de refroidissement du cœur à l'arrêt dès la 4^e visite décennale pour tous les réacteurs du palier CPY, exceptés les réacteurs n° 1 et 2 du Tricastin pour lesquels cette modification sera réalisée lors de l'arrêt de type « visite partielle » qui suit la VD4,
- mette en œuvre, pour les réacteurs de la centrale nucléaire du Bugey, une modification matérielle entraînant, en cas de perte des alimentations électriques externes, le déstaging automatique de la pompe de soulèvement du groupe turboalternateur, au plus tard lors du prochain arrêt programmé de ces réacteurs,
- étudie des modifications (matérielles ou d'exploitation) permettant de disposer d'un bilan de puissance des groupes électrogènes diesels de secours des réacteurs du Bugey présentant une marge suffisante par rapport à la puissance requise (en incluant l'amélioration du refroidissement des fluides servant au fonctionnement des diesels).

3 MAITRISE DU VIEILLISSEMENT, DE L'OBSOLESCENCE ET DE LA QUALIFICATION

Le réexamen périodique associé à la quatrième visite décennale des réacteurs de 900 MWe est une échéance particulière pour la maîtrise du vieillissement puisque certains systèmes, structures et composants (SSC) des réacteurs seront amenés à fonctionner au-delà de la durée retenue comme hypothèse initiale de conception, en particulier s'ils sont non remplaçables (cuve, enceinte). Il s'agit également pour EDF de gérer les mécanismes de vieillissement identifiés dès la conception (fragilisation de l'acier de cuve sous l'effet du flux neutronique, fatigue...) et d'autres mécanismes mis en évidence au cours de l'exploitation (vieillissement thermique, corrosion des aciers ou pathologies du béton...).

La démarche de maîtrise du vieillissement proposée par EDF lors des orientations VD4-900 s'appuie sur trois processus opérationnels pérennes :

- le processus de maîtrise du vieillissement des composants mis en œuvre à partir des VD3 et poursuivi en VD4 ;
- le processus d'inspection en service et de maintenance (préventive, dite courante, ou exceptionnelle) qui prend en compte l'hypothèse de la poursuite de l'exploitation des réacteurs jusqu'à VD4+20 ans ;
- le processus de traitement de l'obsolescence des matériels et pièces de rechange.

Ces processus sont complétés par une démarche d'extension de la qualification des équipements qui resteraient en place pendant une durée supérieure à celle prévue pour leur qualification initiale.

Le circuit primaire, comprenant la cuve – composant non remplaçable – et les circuits secondaires font l'objet d'exigences particulières.

Ces sujets ont fait l'objet de plusieurs expertises de l'IRSN dont les conclusions sont présentées ci-après.

3.1 Processus de maîtrise du vieillissement d'EDF

La démarche de maîtrise du vieillissement mise en œuvre par EDF est fondée sur un processus d'examen des SSC et de la manière dont leur intégrité ou leur fonctionnalité peut être affectée par un mécanisme de

vieillessement. Elle tient compte des dispositions d'exploitation et de maintenance en vigueur, ainsi que des difficultés de réparation ou de remplacement et s'appuie sur :

- une sélection de SSC et le recensement des mécanismes de vieillissement susceptibles de les affecter ;
- une évaluation de l'impact potentiel des mécanismes de vieillissement sur les fonctions assurées par les SSC, dont le résultat est consigné dans une fiche d'analyse du vieillissement (FAV), revue annuellement ;
- la constitution de dossiers d'aptitude à la poursuite d'exploitation (DAPE) génériques pour les SSC dont la réparation ou le remplacement est difficile, voire impossible ;
- la constitution de « DAPE de tranche » dont l'objectif est d'établir un bilan des actions à mener sur un réacteur donné afin d'en maîtriser les effets du vieillissement.

Cette démarche, qui nécessite une organisation coordonnée entre les unités de l'ingénierie, de la production (sites) et de la recherche, est mise en œuvre depuis une dizaine d'années par EDF et a fait l'objet de compléments pour le réexamen RP4-900 tels que l'extension des SSC sélectionnés. Les principes, les orientations et la démarche globale d'EDF, déjà examinés par l'IRSN lors des précédents réexamens, n'appellent pas de remarque. La solidité de la démarche repose sur l'identification exhaustive des mécanismes de vieillissement puis de leur traitement. Des critères d'aptitude à la poursuite d'exploitation sont définis dans les douze DAPE génériques traitant des composants du palier 900 MWe ou dans les FAV des autres composants ne faisant pas l'objet d'un DAPE, ce qui est satisfaisant.

Lors de son expertise [7], l'IRSN a cependant relevé des faiblesses dans le traitement à l'échelle du parc de réacteurs de constats locaux (corrosion, encrassement de conduite ...) ou dans le traitement des spécificités de réacteurs. Pour remédier à ces difficultés, EDF s'est engagé à renforcer la prise en compte des événements significatifs liés au vieillissement dans les FAV et à améliorer la rédaction des DAPE de tranche pour ce qui concerne le traitement des spécificités de réacteurs eu égard au vieillissement.

Position n° 12 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Dans le cadre du processus de maîtrise du vieillissement mis en œuvre par EDF en vue de l'extension de la durée d'exploitation des réacteurs de 900 MWe au-delà de 40 ans, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF améliore le traitement du retour d'expérience et l'anticipation des décisions à prendre. *À cet égard, EDF s'est engagé à mener des actions d'amélioration ciblées en faisant notamment évoluer la démarche d'analyse des événements significatifs liés au vieillissement et en complétant les indicateurs de performance du processus de maîtrise du vieillissement.*

3.2 Aptitude de fonctionnement et surveillance des cuves

Les cuves des réacteurs de 900 MWe sont constituées de plusieurs pièces élémentaires : viroles, anneau, brides, tubulures et calottes, fabriquées la plupart par forgeage. Ces pièces sont assemblées par soudage. La surface intérieure des cuves est revêtue d'acier inoxydable. EDF doit démontrer l'absence de dommage mécanique de la cuve en toutes circonstances. En particulier, le risque de rupture brutale doit être analysé en tenant compte de l'émission neutronique du cœur qui induit une modification progressive des propriétés de l'acier de cuve.

Les contrôles

Lors de chaque arrêt décennal d'un réacteur, EDF effectue notamment un contrôle par ultrasons des viroles de cœur, de leurs soudures ainsi que des soudures entre la cuve et les tuyauteries primaires afin de confirmer l'absence d'évolution des défauts dans ces zones et de confirmer le bien-fondé des hypothèses de défauts retenues dans les études mécaniques.

Une surveillance plus rapprochée (en dehors des visites décennales) est également prévue par EDF pour certaines zones des cuves, lorsque des dégradations y ont été constatées, par exemple au niveau des pénétrations en fond de cuve [10].

Caractéristiques des matériaux des viroles de cœur soumis au vieillissement

L'estimation des caractéristiques des matériaux dix ans après les VD4 comporte deux étapes principales. La première étape consiste à estimer les fluences neutroniques reçues par les viroles de cœur au point le plus irradié, dites « au point chaud », ainsi qu'au droit des défauts détectés. La deuxième étape vise à évaluer la fragilisation des matériaux de la cuve sous l'effet de ces fluences.

Dans l'objectif de limiter le niveau de fluence reçue par les viroles de cœur, EDF a prévu d'introduire, à l'occasion des VD4 des réacteurs de 900 MWe, en périphérie du cœur, au droit des points chauds, des grappes neutrophages en hafnium. Ceci permettrait, selon les estimations d'EDF (confirmées par celles de l'IRSN), de réduire le flux neutronique d'environ 45 % à proximité des points chauds. Cette réduction de flux devra être confirmée par une expérimentation en cours dans le réacteur n°3 du Tricastin.

Pour évaluer les effets fragilisants de l'irradiation sur le matériau de la zone de cœur de la cuve, EDF a mis en place, dès le début de l'exploitation des réacteurs, le programme de surveillance de l'irradiation (PSI) consistant à exposer des éprouvettes placées dans des capsules au sein de la cuve dans des positions où elles reçoivent un flux neutronique supérieur à celui reçu par les parois de la cuve, puis à extraire ces éprouvettes pour leur faire subir des essais mécaniques. Cela permet de déterminer en particulier le décalage de la température de transition fragile-ductile de l'acier sous l'effet de l'irradiation. La méthode retenue par EDF pour évaluer ce décalage est jugée satisfaisante par l'IRSN [11].

Démarche d'analyse du risque de rupture brutale des viroles de cœur

L'analyse du risque de rupture brutale des cuves de réacteurs de 900 MWe est réalisée par EDF pour les défauts dans les viroles de cœur et les soudures associées détectés lors des contrôles réalisés, ainsi que pour un défaut générique qui représente tout défaut potentiellement non détecté par ces contrôles, postulé à la pire position sur la cuve (flux neutronique maximal) et selon la pire orientation.

Pour prévenir la rupture brutale de la cuve, le « chargement » vu par le défaut doit rester inférieur à la résistance du matériau à l'amorçage dans la zone du défaut. Dans la pratique, EDF évalue, pour chaque situation considérée, un facteur de marge R qui représente le ratio entre la résistance à l'amorçage et le chargement appliqué. Ce facteur doit rester supérieur à 1, avec un coefficient de sécurité appliqué au chargement d'autant plus élevé que la probabilité d'occurrence de la situation est élevée. À cet égard, après expertise du dossier d'EDF par l'IRSN [11], l'ASN a demandé à EDF de maintenir l'application des coefficients de sécurité applicables aux situations de troisième catégorie pour les transitoires de petite brèche primaire de taille inférieure à la limite conventionnelle de 6 pouces [12]. La réponse d'EDF à cette demande, ainsi que le nouveau dossier transmis par EDF sur ce sujet, feront l'objet d'une expertise en 2020.

Études des transitoires thermohydrauliques

La démonstration de la tenue en service des cuves nécessite d'identifier les transitoires les plus pénalisants pour chaque catégorie de situations à laquelle un coefficient de sécurité est associé, puis de caractériser les transitoires retenus (évolutions temporelles de la pression, de la température et des débits) afin de définir les chargements thermomécaniques utilisés dans l'analyse de la résistance mécanique des viroles de cuve. De l'expertise de l'IRSN [19], il ressort que les transitoires les plus sévères ont bien été identifiés par EDF dans chaque catégorie de situation, sous réserve des compléments prévus par EDF (définition d'un transitoire enveloppe des situations de fonctionnement normal ou perturbé pour les situations de 2^e catégorie, études de sensibilité complémentaires pour des situations de 3^e catégorie (brèche primaire dénoyée)).

Conclusion sur l'analyse du risque de rupture brutale des cuves des réacteurs de 900 MWe

À l'issue de son expertise, l'IRSN estime que l'aptitude au service des cuves des réacteurs n°1 du Tricastin et n°2 du Bugey est démontrée jusqu'en VD4+10 ans.

Pour ce qui concerne les autres réacteurs de 900 MWe (hormis les réacteurs de Fessenheim définitivement arrêtés en 2020), des demandes de l'ASN ainsi que les résultats des études faisant suite à certains engagements d'EDF sont susceptibles de mettre en cause la démonstration actuelle d'absence de risque de rupture brutale des cuves concernées. Cependant, si tel était le cas, des évolutions de démarche d'étude (étude séparée de chaque virole de cuve) ou des modifications matérielles (par exemple pour augmenter la température minimale de l'eau de la bêche PTR) pourraient permettre à EDF, soit de mettre en évidence des marges, soit d'augmenter les marges au risque de rupture brutale. Des compléments sont donc nécessaires pour pouvoir conclure sur l'aptitude au service des cuves de ces réacteurs jusqu'en VD4+10 ans.

Position n° 13 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

Dans le cadre de la démonstration de l'aptitude au service des cuves jusqu'à VD4 + 10 ans, l'IRSN estime nécessaire :

- *qu'EDF transmette les résultats de l'expérimentation menée sur le réacteur n°3 du Tricastin sur la réduction de flux neutronique sur la virole de cœur par insertion de grappes en hafnium dans le cœur,*
- *transmette les analyses finalisées du risque de rupture brutale des cuves.*

3.3 Dossiers de référence réglementaire du circuit primaire et des circuits secondaires principaux (ESPN)

Les dossiers de référence réglementaire (DRR) rassemblent l'ensemble des éléments qui concourent à la justification du maintien de l'intégrité du circuit primaire principal (CPP) et des circuits secondaires principaux (CSP). Ces dossiers comportent une partie relative à l'appropriation technique par l'exploitant des dossiers relatifs à la construction des équipements (mis à jour en cas d'évolution des connaissances) et une partie relative aux dispositions de l'exploitant pour assurer le maintien dans le temps de l'intégrité des appareils. Dans le cadre de la poursuite du fonctionnement des réacteurs au-delà de leur quatrième réexamen de sûreté, EDF a proposé un programme de mise à jour des DRR jusqu'à VD4 + 20 ans. Ce programme inclut la mise à jour des caractéristiques des transitoires thermohydrauliques considérés et celle des dossiers mécaniques impactés : le dossier d'analyse du comportement et donc les études à la fatigue, mais aussi le dossier de rupture brutale et le dossier matériaux pour la prise en compte du vieillissement éventuel. À l'issue des orientations du réexamen RP4 900, l'ASN a considéré acceptable la démarche retenue par EDF pour la mise à jour des DRR, mais a formulé des demandes (demandes CONF n°11 à 29 [1]), dont les réponses ont été expertisées par l'ASN-DEP ou par

l'IRSN. À l'issue de l'application de la démarche, toutes les nouvelles zones identifiées comme sensibles à un mode de dégradation devront faire l'objet d'un contrôle au plus tard lors de la VD4 du réacteur concerné.

À ce jour, il apparaît que plusieurs actions doivent être poursuivies par EDF dans le cadre de la mise à jour des DRR.

Position n° 14 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

Dans le cadre de l'élaboration des dossiers de référence réglementaire du circuit primaire et des circuits secondaires principaux des réacteurs en vue de la poursuite d'exploitation au-delà de la VD4, l'IRSN (compte tenu de l'expertise conjointe avec l'ASN-DEP) relève qu'EDF devra mener plusieurs actions de contrôles non destructifs ou de caractérisation du vieillissement des matériaux :

- *le contrôle dans le cadre du Programme d'investigation complémentaire (PIC) de 5 viroles portetubulures de cuve supplémentaires ;*
- *le contrôle de tous les coins et arrondis de tubulure des cuves avec les nouveaux procédés de contrôle volumique et la caractérisation des éventuels défauts détectés ;*
- *le renforcement des modalités de suivi en service des soudures de liaison des GV ;*
- *l'achèvement de la caractérisation expérimentale de l'effet de l'écrouissage sur le vieillissement thermique des coudes austéno-ferritiques laissés en place après une opération de remplacement de générateur de vapeur ;*
- *l'achèvement des essais sur maquette permettant d'acquérir des données sur le vieillissement des joints soudés du circuit primaire pour tous les procédés de soudure.*

Concernant les méthodologies d'études, EDF s'est engagé à compléter les essais de fatigue environnementale en milieu primaire des aciers austénitiques, austéno-ferritiques et des alliages à base de nickel afin de valider la formulation du facteur environnemental utilisée en fatigue et à analyser le retour d'expérience d'exploitation pour compléter la démarche de prise en compte des facteurs d'environnement en milieu secondaire. L'évaluation des situations pertinentes retenues à la conception de l'EPR et de la prise en compte des délais opérateurs du référentiel de l'EPR Flamanville reste à finaliser.

3.4 Aptitude de fonctionnement et surveillance des autres équipements (hors ESPN)

L'IRSN a examiné les sept DAPE génériques relatifs à l'enceinte de confinement, aux structures de génie civil (réactions de gonflement interne du béton), aux structures internes de cuve, aux groupes motopompes primaires (partie hydraulique), aux câbles d'installation électrique générale, au contrôle-commande et aux traversées électriques de la paroi des enceintes. L'IRSN estime que les éléments présentés dans ces DAPE sont satisfaisants et permettent une bonne maîtrise du vieillissement des SSC précités. L'IRSN a toutefois relevé les points suivants, qui nécessitent des compléments de la part d'EDF.

Enceintes de confinement

Les enceintes de confinement font l'objet d'actions de maintenance préventive, d'un suivi continu et d'une épreuve périodique à la pression de conception. Pour l'IRSN [7], les dispositions d'EDF relatives aux enceintes de confinement sont globalement acceptables sous réserve des engagements rappelés ci-dessous.

Position n° 15 de l'IRSN [modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Dans le cadre de la démonstration de l'aptitude à la poursuite d'exploitation des enceintes de confinement des REP 900, l'IRSN rappelle qu'EDF s'est engagé à :

- *prendre en compte des mesures de tassement des fondations des bâtiments réacteurs dans le DAPE « enceinte »,*
- *s'assurer de l'état de propreté des ceintures toriques des enceintes (notamment pour prévenir toute infiltration d'eau au niveau des capots de précontrainte et éviter une corrosion puis une perte de tension des câbles de précontrainte),*
- *statuer sur une solution de réparation du liner en cas de fuite en zone inaccessible similaire à celle du réacteur n°5 de Bugey.*

Structures internes de cuve

L'IRSN a considéré que les éléments présentés dans le DAPE relatif aux structures internes de cuve sont satisfaisants à l'exception de la surveillance des vis de l'enveloppe du cœur des réacteurs du Bugey [7].

Position n° 16 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF mette en œuvre un programme de contrôle de l'état des vis d'enveloppe des internes de cuve des réacteurs du Bugey.

Câbles d'installation électrique générale (IEG)

L'IRSN partage la position d'EDF qui n'envisage pas un remplacement massif de câbles à ce jour. Pour l'IRSN, les dispositions mises en œuvre par EDF pour assurer la maîtrise du vieillissement des câbles IEG jusqu'à VD4 + 10 ans restent néanmoins à consolider. En particulier, des prélèvements ciblés de câbles seront nécessaires pour confirmer la cinétique de vieillissement des câbles les plus contraints.

Position n° 17 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN rappelle qu'EDF s'est engagé à poursuivre les prélèvements ciblés de câbles IEG sur site à des fins de caractérisation (électriques, mécaniques, physico-chimiques) en vue de la démonstration du maintien de la qualification des différents types de câble.

Parmi les SSC ne faisant pas l'objet d'un DAPE, l'IRSN a examiné les FAV relatives au tube de transfert des assemblages de combustible entre les piscines du bâtiment réacteur (BR) et du bâtiment combustible (BK), aux « liners » de ces piscines, aux bâches PTR⁶, aux tuyauteries ARE⁷, aux tuyauteries des systèmes de sauvegarde, à certains ouvrages de génie civil et aux groupes électrogènes de secours à moteur Diesel. Dans ce périmètre, les compléments suivants sont attendus.

Position n° 18 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Dans le cadre de la démonstration de l'aptitude à la poursuite d'exploitation, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF :

- *complète les FAV relatives aux groupes électrogènes de secours et réalise un examen de leur conformité permettant de conclure sur la suffisance des dispositions de maintenance,*
- *mette à jour les FAV relatives aux bâches PTR (corrosion par piqûres, vieillissement du tissu à fibres de carbone (TFC)) en fonction des résultats du PIC et des essais sur éprouvette du TFC,*
- *crée une FAV sur le risque de corrosion sous contrainte du liner de la piscine du bâtiment du réacteur,*
- *mette à jour la FAV relative au vieillissement thermique des manchettes en élastomère du dispositif de transfert des assemblages et examine l'opportunité de créer une FAV sur la corrosion atmosphérique du tube de transfert,*
- *mette à jour le classement de certaines FAV relatives au vieillissement des tuyauteries,*
- *réalise son programme de maintenance exceptionnelle des tuyauteries en acier revêtues compte tenu des dégradations du revêtement et des risques de vieillissement induits par la diffusion de l'eau.*

Par ailleurs, les groupes électrogènes de secours devraient faire l'objet d'un dossier d'aptitude à la poursuite d'exploitation compte tenu du nombre important de FAV les concernant.

⁶ PTR : Système de traitement et de réfrigération d'eau des piscines.

⁷ ARE : Système de régulation de l'eau alimentaire des générateurs de vapeur.

3.5 Maintenance préventive et exceptionnelle

La stratégie de maintenance d'EDF vise à décider des actions à réaliser en vue de la maîtrise du vieillissement ou de l'obsolescence des systèmes, des structures et des composants. Ces actions peuvent relever de la maintenance préventive (courante), de la maintenance exceptionnelle ou des « dossiers d'assurance » (DA) qui permettent de prédéfinir des solutions de réparation ou de remplacement, voire de la R&D.

Maintenance préventive

Depuis de nombreuses années, EDF a fait évoluer les programmes de maintenance préventive utilisés depuis le démarrage des réacteurs en intégrant le retour d'expérience national et international du comportement des SSC. Ces programmes ont aussi évolué en termes de méthode avec notamment le déploiement en 2011 de la méthode AP 913⁸, puis la mise en œuvre de démarches complémentaires visant notamment à réduire les volumes de maintenance. Les expertises de l'IRSN sur le retour d'expérience d'exploitation ont ensuite conclu à des défauts de maîtrise des actions de maintenance préventive [4] (2016).

Position n° 19 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN considère qu'EDF doit améliorer ses programmes de maintenance préventive pour garantir la conformité de ses installations. Cela concerne l'anticipation, les analyses de risque intégrant les enjeux de sûreté, la qualité d'exécution, les contrôles et la requalification et la rapidité de détection des écarts.

Maintenance exceptionnelle

À l'issue des orientations du réexamen RP4 900, l'ASN a rappelé que chaque équipement faisant l'objet d'un retour d'expérience national ou international défavorable devrait faire l'objet d'une réflexion sur la nécessité d'une maintenance exceptionnelle, les conclusions étant à reporter dans les DAPE ou dans les FAV pour les composants ne faisant pas l'objet d'un DAPE [3].

À l'issue de son expertise [5],[7], l'IRSN a relevé que les compléments suivants restaient à apporter par EDF.

Position n° 20 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Concernant le processus de maintenance exceptionnelle, l'IRSN considère que les actions suivantes d'EDF sont nécessaires :

- *la poursuite du report systématique dans les FAV et DAPE des réflexions sur les besoins de maintenance exceptionnelle en cas de retour d'expérience national ou international défavorable,*
- *l'installation d'une culasse neuve sur au moins un moteur Diesel (une des deux voies) des groupes électrogènes de secours de chaque réacteur d'ici fin 2021 et sur le moteur Diesel de la seconde voie d'ici 2025, les culasses déposées devant faire l'objet d'une expertise pour confirmer le conservatisme des données utilisées dans les simulations numériques de la fissuration,*
- *le renforcement des contrôles in-situ, en interne, pour les tuyauteries (enterrées ou faiblement accessibles, présentant des enjeux liés à l'environnement (risque de marquage de nappe) ou à la sûreté (fonction support incendie),*
- *la prise en compte des derniers résultats d'essais et d'expertises de matériels qualifiés aux conditions accidentelles.*

⁸ Advanced Process 913 : méthodologie de maintenance développée en 2001 par l'Institute of Nuclear Power Operations (INPO) avec les exploitants américains.

3.6 Processus de traitement de l'obsolescence des matériels et pièces de rechange

La prévention de l'obsolescence des équipements est fondée sur la disponibilité de pièces de rechange, par la constitution de stocks suffisants de composants ou d'équipements identiques, ou sur la mise en place d'un approvisionnement pérenne de nouveaux composants ou équipements adaptés ou qualifiés.

Pour l'IRSN [7], ce processus d'EDF a fait l'objet d'améliorations notables, se traduisant notamment par une diminution du nombre des dossiers d'obsolescence restant à traiter au niveau du parc. L'IRSN a néanmoins relevé que les outils actuellement utilisés par EDF (FAV et « DAPE de tranche ») tracent de manière incomplète le risque d'obsolescence.

L'IRSN a examiné les dispositions d'EDF concernant les matériels électriques, l'instrumentation et les matériels mécaniques [7] et considère que le processus d'EDF est de nature à garantir un traitement satisfaisant et pérenne de l'obsolescence. EDF présente désormais annuellement à l'ASN l'état des dossiers d'obsolescence, ce qui est satisfaisant.

3.7 Maintien de la qualification

La durée de vie d'un équipement constitue une hypothèse de son processus de qualification. Cette durée de vie (et le vieillissement associé) est prise en compte dans les essais de qualification en conditions accidentelles. Des prescriptions de maintenance prévoient le remplacement à périodicité fixée des équipements jugés sensibles au vieillissement.

Dans le cadre de l'extension de la durée de fonctionnement des réacteurs, une démarche complémentaire est nécessaire pour les équipements remplaçables qui resteraient en place au-delà de la durée de vie retenue lors de la qualification initiale. EDF a défini un programme de qualification progressive qui concerne les équipements électriques et les équipements mécaniques nécessitant une qualification aux conditions accidentelles (séisme inclus). En pratique, cette qualification progressive s'appuie sur des expertises d'équipements prélevés sur site, des remplacements de composants sensibles au vieillissement et sur des essais de qualification.

EDF s'est engagé à compléter les prélèvements de matériels sur site à des fins d'essai et d'expertise, ce qui est satisfaisant.

Position n° 21 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Dans le cadre de la démarche de qualification progressive des équipements qui resteraient en place au-delà de la durée de vie retenue lors de la qualification initiale, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF :

- étende l'échantillon de matériels mécaniques prélevé pour les robinets et les groupes de pompage,
- exploite les visites complètes des groupes de pompage au titre de la maintenance et présente annuellement à l'ASN ses analyses sur ces matériels,
- complète les prélèvements de matériels électriques.

De manière générale, la démonstration finalisée du maintien de la qualification des matériels mécaniques et électriques nécessite les résultats des expertises et des essais prévus de matériels à prélever sur site.

4 REEVALUATION DE SURETE

4.1 Calendrier

Pour répondre aux objectifs fixés par l'ASN dans le cadre du réexamen RP4-900 et compte tenu de l'ampleur des modifications prévues, EDF a proposé un déploiement des modifications RP4-900 sur chaque réacteur réparti entre une phase A (lors de l'arrêt décennal) et une phase B (lors de la seconde visite partielle de chaque réacteur suivant sa visite décennale).

Le calendrier du réexamen RP4-900 se juxtapose à celui des réponses d'EDF aux décisions de l'ASN ([3], [21]) faisant suite aux évaluations complémentaires de sûreté (ECS) menées en France à la suite de l'accident de Fukushima. Ces deux calendriers sont résumés ci-dessous.

Calendrier de déploiement des renforcements post-Fukushima (ECS)

En réponse aux prescriptions de l'ASN [21], EDF doit mettre en place des dispositions matérielles, organisationnelles et humaines (« noyau dur ») visant, pour les situations extrêmes étudiées, à :

- a) prévenir un accident de fusion du combustible ou en limiter la progression,
- b) limiter les rejets radioactifs massifs,
- c) permettre à l'exploitant d'assurer les missions qui lui incombent dans la gestion d'une crise.

Le déploiement de ces dispositions a été organisé par EDF en trois phases :

- la phase 1 (de 2012 à 2015) : mise en place de dispositions temporaires ou mobiles visant à renforcer la prise en compte des situations de perte totale de la source froide ou de perte des alimentations électriques (groupe électrogène, compresseur mobile, point d'appoint, flexibles d'alimentation en eau ou air...), renforcement des locaux de crise existants et des moyens de télécommunication, mise en place au niveau national de la Force d'action rapide nucléaire (FARN) capable de projeter en moins de 24 heures sur un site en difficulté du matériel et des équipes compétentes en conduite, maintenance et logistique ;
- la phase 2 (2015 à 2021) : mise en place d'équipements pérennes qui constituent les premiers éléments du noyau dur avec notamment pour chaque réacteur : un diesel d'ultime de secours (DUS), une source d'eau ultime (système SEG) (eaux souterraines ou nouvelles réserves) pour la bêche d'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG) et pour la piscine de désactivation du combustible, de manière à évacuer durablement la puissance résiduelle, un signal d'arrêt automatique des réacteurs sur séisme, une instrumentation dédiée aux accidents graves (détection du percement de la cuve, détection d'hydrogène), des renforcements sismiques (circuits hydrogénés, dispositif d'éventage-filtration U5) ou relatifs à la tenue aux vents extrêmes.

Les premiers CCL (Centres de Crise Locaux), robustes aux « situations noyau dur », sont déployés pendant cette phase 2, les derniers étant prévus à l'horizon 2024.

La phase 2 doit permettre la gestion de situations de long terme de perte de la source froide et de perte des alimentations électriques dues à des agressions externes affectant l'ensemble des réacteurs d'une centrale. Les démonstrations associées restent à transmettre par EDF ;

- la phase 3 (2019 à 2033 dans le cadre du réexamen RP4 900) : achèvement de la mise en place des éléments du noyau dur, avec notamment un dispositif de refroidissement secondaire noyau dur (ASG-ND), un dispositif (EAS-u) d'évacuation de la puissance résiduelle hors de l'enceinte de confinement sans ouverture de l'évent filtré, des dispositions de stabilisation du corium (étalement à sec, puis renoyage passif du corium) en cas d'accident de fusion du cœur conduisant à la percée de la cuve du réacteur, des dispositions de prévention du dénoyage des assemblages de combustible entreposés ou en cours de manutention dans la piscine de désactivation du combustible et les compartiments de manutention, une distribution électrique et contrôle-commande noyau dur et d'autres dispositions de protection contre les agressions extrêmes.

Calendrier de déploiement des modifications associées au réexamen RP4-900

Le déploiement des modifications RP4-900 est organisé par EDF en deux phases :

- la phase A (associée à la visite décennale) regroupe notamment les modifications liées à l'examen de conformité et à la réévaluation de sûreté pour les accidents de dimensionnement, du domaine complémentaire et avec fusion du cœur ; cette phase inclut, au titre du noyau dur, les dispositions de mitigation des accidents de fusion du cœur (disposition EASu et de stabilisation du corium hors cuve), des dispositions de protection contre les inondations externes et la disposition d'appoint et de refroidissement de la piscine de désactivation du combustible (disposition PTRbis) ;
- la phase B (prévue au 2^{ème} arrêt partiel après la visite décennale) inclut le dispositif de refroidissement secondaire noyau dur (ASG-ND) et l'achèvement des modifications de protection et des renforcements concernant les agressions extrêmes et leurs effets induits.

Compte tenu du calendrier de transmission des dossiers d'EDF relatifs à la phase B du réexamen RP4-900, les thèmes associés, notamment la prévention de la fusion du combustible en situation noyau dur, feront l'objet d'expertises ultérieures. Le paragraphe suivant précise certaines attentes de l'IRSN pour cette phase B après l'examen des premiers dossiers transmis.

4.2 Attentes relatives à la phase B du réexamen RP4-900

La solution retenue par EDF pour le refroidissement secondaire en situation noyau dur (ASG-ND) s'appuie sur le renforcement d'équipements existants (motopompe ASG voie B, bêche ASG, turbopompe ASG), la motopompe ASG voie B pouvant être alimentée par le DUS via un inverseur de source Haute Tension. L'ASN a souhaité [1] que *l'IRSN se prononce sur l'acceptabilité de l'absence de séparation physique et de l'absence de diversification des moyens permettant d'assurer la fonction « refroidissement par les générateurs de vapeur » (pompes ASG, bêche ASG...), notamment pour gérer les situations H1 et H3, éventuellement cumulées avec une agression externe noyau dur.* »

En l'état des éléments transmis et sous réserve des compléments de démonstration mentionnés dans la position ci-dessous, l'IRSN considère que la disposition ASG-ND telle que prévue par EDF est de nature à permettre l'atteinte des objectifs du RP4 900 [14].

En s'appuyant sur l'éclairage des études probabilistes, l'IRSN constate néanmoins que, pour les situations d'incendie et d'inondation interne, et plus généralement pour l'ensemble des agressions, la réduction du risque de fusion du cœur et de rejet apportée par cette solution ASG-ND pourrait être plus faible que celle qui aurait été apportée par un train ASG indépendant (pompe, bêche, alimentation électrique, locaux), solution

initialement envisagée par EDF. Ce constat est lié à l'évaluation des risques d'incendie ou d'inondation interne dans les locaux électriques et de relaying. Cela conduit à la position suivante.

Position n° 22 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère qu'EDF devra, dans le cadre de la phase B du réexamen RP4-900, démontrer que la disposition ASG-ND ne défiabilise pas la fonction d'alimentation en eau des générateurs de vapeur du fait de l'introduction de nouveaux composants sur le système ASG existant et que les risques de défaillance de cette fonction par inondation interne ou incendie (éventuellement induits par une agression externe noyau dur) font l'objet de dispositions de prévention appropriées.

Les principes de la conduite d'un réacteur en situation « noyau dur » ont fait l'objet d'une première expertise de l'IRSN [37] et de demandes de l'ASN [38]. Cette conduite prévoit, après arrêt du réacteur et chute des grappes de contrôle dans le cœur, le refroidissement du circuit primaire par les générateurs de vapeur (disposition ASG-ND) et la dépressurisation du circuit primaire par ouverture d'une ligne de décharge pour permettre une injection d'eau borée par les accumulateurs du système RIS puis la pompe EASu.

Parmi les points soulevés, le contrôle de la réactivité du cœur en situation « noyau dur » mérite une attention particulière. En cas de séisme de niveau extrême, l'IRSN considère que la chute intégrale de toutes les grappes de contrôle dans le cœur après l'arrêt d'urgence n'est pas garantie [39]. Cela peut rendre nécessaire un renforcement des moyens de maîtrise de la réactivité, avec par exemple la mise en place de grappes absorbantes supplémentaires dans le cœur ou de moyens d'injection à haute pression d'eau borée dans le circuit primaire. Cela rejoint les positions exprimées par l'IRSN dans le cadre de l'analyse des études du domaine complémentaire au chapitre 4.3.

Position n° 23 de l'IRSN [modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Dans le cadre de la conception des dispositions de prévention des accidents de fusion du cœur pour les situations « noyau dur » (prévues au lot B RP4-900), EDF devra veiller à la démonstration de la maîtrise de la réactivité en considérant l'absence de chute d'une ou plusieurs grappes de commande (incluant la grappe la plus pénalisante en termes de réactivité). En fonction des réacteurs considérés, l'ajout de grappes de commande ou une injection à haute pression d'eau fortement borée pourraient contribuer à cet objectif.

Par ailleurs, l'IRSN estime nécessaire que les équipements permettant de disposer des informations relatives à l'inventaire en eau du circuit primaire, la réactivité du cœur et l'activité à l'intérieur de l'enceinte de confinement fassent partie du noyau dur.

EDF prévoit de renforcer les moyens de refroidissement du combustible en piscine de désactivation (notamment par la disposition « PTR-bis » dont l'objectif est la restauration par la FARN d'un moyen de refroidissement lorsque le système PTR est perdu). L'IRSN estime que des compléments sont encore nécessaires, notamment l'automatisation de la deuxième vanne d'isolement ajoutée sur la ligne d'aspiration PTR qui pourrait être associée à la phase B (voir chapitre 4.8).

Par ailleurs, les principes de la conduite en situation « noyau dur » pour la piscine de désactivation ont fait l'objet d'une expertise de l'IRSN et de demandes de l'ASN en références [37] et [38].

Position n° 24 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

Pour garantir la suffisance des dispositions de prévention du découvrage des assemblages de combustible dans la piscine de désactivation en « situation noyau dur », EDF devra notamment démontrer la tenue au « séisme noyau dur » :

- des structures participant à l'intégrité des piscines BR et BK et de leur peau métallique d'étanchéité,

- du tube de transfert, en tenant compte de son état réel propre à chaque réacteur (en particulier des éventuelles indications de corrosion au niveau des jonctions soudées et du centrage du tube dans ses fourreaux compte tenu du tassement différentiel du BK et du BR),
- des lignes fixes du PTR-bis et du dispositif de fermeture automatique de la vanne d'isolement de la ligne d'aspiration PTR.

Enfin, comme rappelé dans la lettre de l'ASN en référence [24], EDF devra avoir démontré, dans le cadre de la phase B du réexamen RP4-900, la robustesse des moyens ultimes de refroidissement et d'appoint du « noyau dur » à l'ensemble des effets induits par les agressions (inondation, incendie, explosion...) pouvant se produire en « situation noyau dur ».

4.3 Prévention des accidents - domaine de dimensionnement, domaine complémentaire et situations « noyau dur »

Les études et dispositions relatives à la prévention des accidents de fusion du combustible associées au réexamen RP4-900 ont fait l'objet de plusieurs avis de l'IRSN (références [13], [14], [28], [29], [31], [32], [33], [34], [35], [36],[14]) dont les conclusions sont rappelées ci-après.

Démonstration de sûreté dans le domaine de dimensionnement

Les logiciels et méthodes utilisés pour la démonstration de sûreté dans le domaine de dimensionnement ont fait l'objet d'améliorations depuis le réexamen précédent et sont globalement adaptés au réexamen RP4-900. La nouvelle méthode d'étude de l'accident de perte de réfrigérant primaire par brèche de taille intermédiaire (méthode CathSBI) [28] nécessite toutefois des compléments.

Les études des conditions de fonctionnement de dimensionnement de catégories 2, 3 et 4 ont été mises à jour par EDF et complétées par des études dites « de robustesse ». Ces études démontrent en général le respect des critères de sûreté, moyennant certains compléments qu'EDF s'est engagé à fournir. Les hypothèses et résultats des études de conséquences radiologiques correspondantes sont globalement acceptables (à l'exception de l'accident de rupture du tube de générateur de vapeur de quatrième catégorie (RTGV4) mentionné ci-dessous).

Ces études et les expertises de l'IRSN ont conduit à identifier les dispositions rappelées ci-dessous.

Position n° 25 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Pour conforter la démonstration de sûreté pour les accidents de dimensionnement, l'IRSN considère qu'EDF doit :

- *mettre en œuvre, pour les réacteurs du palier CPY, une augmentation de la pression de remplissage des accumulateurs (prévue en phase B du réexamen RP4), une réduction de la pression de remplissage des crayons MOX (prévue en 2025), et limite le domaine autorisé de fonctionnement en attendant de pouvoir valoriser la baisse de la pression de remplissage des crayons,*
- *mettre en œuvre, pour les réacteurs du Bugey, une réduction de la pression de remplissage des crayons UO2 (prévue en 2025),*
- *modifier la conduite en cas d'accident de rupture d'un tube de générateur de vapeur pour supprimer les cycles d'arrêt et de redémarrage de l'injection de sécurité susceptibles de la rendre impossible à mettre en œuvre (cette action devant être réalisée à court terme pour l'IRSN),*
- *modifier la conduite du circuit RCV en cas de rupture d'un tube de générateur de vapeur pour le palier CPY, afin de limiter la consommation en eau au secondaire, sur le principe de celle déployée pour les réacteurs du Bugey,*
- *mettre en œuvre des mesures compensatoires compte tenu du phénomène de remontée de flux neutronique aux extrémités des colonnes fissiles des crayons de combustible MOX.*

L'IRSN considère que des compléments aux études présentées par EDF sont nécessaires.

Position n° 26 de l'IRSN

[compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère qu'EDF doit, pour les réacteurs de 900 MWe en gestion de combustible parité-MOX et pour les réacteurs du Bugey en gestion de combustible CYCLADES, compléter la démonstration de sûreté dans le domaine de dimensionnement notamment sur les points suivants :

- *la démonstration, en réalisant des essais de flux critique, de l'applicabilité de la corrélation de flux critique FC2002r en périphérie des assemblages concernés par une déformation latérale,*
- *la prise en compte déterministe du phénomène de fléchissement des crayons qui modifie localement la puissance linéique du combustible,*
- *l'étude de dilution homogène d'acide borique,*
- *l'étude d'éjection de grappe,*
- *la vérification, dans les conditions d'ambiance dégradées du bâtiment du réacteur en situation accidentelle, du respect du profil de qualification des équipements requis,*
- *la qualification à l'ambiance dégradée dans l'enceinte de la chaîne de mesure des vitesses de rotation des pompes primaires ou, si celle-ci n'était pas faisable, une révision des études d'accidents concernées sans valorisation de cette chaîne de mesure,*
- *la démonstration de l'absence de rupture de gaines de combustible en situation de rupture d'un tube de générateur de vapeur,*
- *la prise en compte des bonnes pratiques du guide ASN n°22 relatif à la conception des REP :*
 - o *en démontrant que le réacteur reste sous-critique en cas de refroidissement incontrôlé survenant alors que le réacteur est en arrêt à chaud (AAC),*
 - o *en vérifiant le respect des critères de sûreté dans le cas d'une brèche secondaire initiée en puissance cumulée avec la perte des alimentations électriques externes au moment le plus défavorable.*

Enfin, il s'avère qu'EDF n'a pas apporté la démonstration de l'absence de flambage des grilles d'assemblages en situation de cumul des effets d'un séisme et d'un accident par perte de réfrigérant primaire. Cette difficulté résulte des évolutions d'hypothèses associées au réexamen RP4-900 (correction de la valeur erronée de raideur interne des grilles d'assemblage retenue jusqu'alors, prise en compte du fonctionnement des réacteurs en prolongation de cycle, prise en compte de la déformation latérale des assemblages de combustible dans le cœur en fonctionnement normal). Or cette démonstration d'absence de flambage permet de garantir de manière

simple la chute des grappes de commande (et donc la maîtrise de la réactivité) et le refroidissement du combustible. Sans cette démonstration, la démonstration de la chute des grappes et du refroidissement des assemblages de combustible est bien plus complexe et n'a, selon l'IRSN, pas été approuvée par EDF.

Le programme de travail engagé par EDF devrait toutefois permettre de répondre aux réserves de l'IRSN sur cette démarche et de se rapprocher d'une démonstration du respect des exigences de sûreté reposant sur l'absence de flambage des grilles d'assemblage de combustible. Dans l'attente, l'IRSN estime qu'EDF doit envisager des mesures compensatoires permettant de limiter les sollicitations mécaniques des assemblages en conditions accidentelles [14].

Position n° 27 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

Pour obtenir une démonstration de l'absence de flambage des grilles d'assemblages en situation de cumul des effets d'un séisme et d'un APRP, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF réalise des essais permettant de caractériser au mieux la limite de flambage des grilles des assemblages de combustible selon un protocole plus représentatif que celui des essais actuellement référencés dans la démonstration de sûreté.

Compte tenu des incertitudes sur la possibilité de démontrer l'absence de flambage des grilles dans les situations concernées, l'IRSN estime qu'EDF doit en parallèle étudier des évolutions de conception des assemblages pour accroître leur résistance mécanique et, dans l'attente, envisager des mesures compensatoires [14].

Position n° 28 de l'IRSN [modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF recherche et mette en œuvre au plus tôt des évolutions de conception des assemblages de combustible permettant d'accroître leur résistance mécanique aux sollicitations accidentelles.

Dans l'attente de telles évolutions, l'IRSN estime qu'EDF doit envisager des mesures compensatoires, notamment d'exploitation, pour limiter les sollicitations mécaniques des assemblages en conditions accidentelles. Cela concerne en particulier le fonctionnement des réacteurs en prolongation de cycle.

Dans l'hypothèse où EDF ne parviendrait pas à démontrer l'absence de flambage des grilles, la démonstration à fournir serait alors complexe et passerait par la réalisation d'essais, par des développements de modèles validés et par des études [14].

Position n° 29 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

En cas d'impossibilité d'exclure le risque de flambage des grilles, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF :

- *adapte sa démarche de calcul du cumul des sollicitations ou des efforts d'impact du séisme et de l'APRP afin de traiter l'ensemble des cas rencontrés en conformité avec le référentiel de sûreté,*
- *réalise des essais permettant de mieux caractériser les déformations de grille et les risques d'interaction entre assemblages, résultant du flambage, à l'échelle d'une ou plusieurs rangées d'assemblages,*
- *mette au point des modèles permettant de tenir compte du flambage des grilles et des risques résultant d'interaction entre assemblages,*
- *justifie la tenue mécanique des tubes guides des assemblages de combustible, dans lesquels s'insèrent les crayons absorbants des grappes de commande,*
- *identifie les cas pénalisants à prendre en compte pour justifier de la maîtrise de la réactivité et de la capacité de refroidissement du cœur dans la démonstration de sûreté.*

Études et dispositions pour le domaine complémentaire

Le domaine complémentaire regroupe des situations et des dispositions jugées nécessaires pour la prévention de la fusion du cœur s'ajoutant au domaine de conception, mises en exergue par les études probabilistes de sûreté.

Les logiciels et méthodes utilisés pour la démonstration de sûreté dans le domaine complémentaire ont fait l'objet d'améliorations depuis le réexamen précédent et sont jugés acceptables pour ce réexamen.

Les études des conditions de fonctionnement complémentaires d'EDF sont globalement satisfaisantes moyennant certains compléments qu'EDF s'est engagé à fournir. Les hypothèses et résultats des études de conséquences radiologiques correspondantes sont acceptables.

Enfin, pour asseoir la démonstration de sûreté pour le domaine complémentaire, l'IRSN considère que plusieurs autres compléments aux études présentées par EDF sont nécessaires.

Position n° 30 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère qu'EDF doit compléter son réexamen du domaine complémentaire sur les points suivants :

- *la liste des dispositions complémentaires doit être complétée pour traiter certaines situations non considérées initialement par EDF (cela concerne notamment le secours du système RRA par le système PTR, l'ouverture automatique des soupapes de sûreté du pressuriseur pour le risque de surpression à froid, l'évacuation de la puissance hors de l'enceinte en cas de perte de la source froide en arrêt pour intervention primaire ouvert (API-SO)),*
- les conséquences des déformations latérales des assemblages de combustible doivent être évaluées dans les études du domaine complémentaire,
- les conséquences de la prise en compte des délais d'intervention de l'opérateur retenus dans le référentiel de sûreté de l'EPR de Flamanville sur les conclusions des études des conditions de fonctionnement complémentaires doivent être évaluées,
- certaines hypothèses de l'étude de l'accident par perte de réfrigérant primaire en état d'arrêt intermédiaire doivent être révisées (prise en compte de la déformation latérale des assemblages de combustible et du gradient de refroidissement pour atteindre l'état initial du transitoire, pénalisation des modèles physiques),
- les scénarios de perte totale de la source froide non initiés par la perte totale du RRI ou du SEC doivent être étudiés pour vérifier l'atteinte de l'état de repli avec la conduite actuellement prescrite (réacteurs du Bugey),
- l'absence de risque d'injection d'azote dans le circuit primaire depuis les accumulateurs doit être vérifiée pour les scénarios de perte totale des alimentations électriques avec fuite inférieure à 2 t/h au niveau des joints des pompes du circuit primaire.

Pour ce qui concerne la maîtrise de la réactivité, les réacteurs du Bugey sont caractérisés par une faible marge d'arrêt⁹, liée au nombre limité de grappes de commande (48 grappes contre jusqu'à 61 pour les réacteurs CPY). Cela se traduit notamment par des contraintes plus fortes pour la conduite des transitoires de perte totale des alimentations électriques internes et externes

Position n° 31 de l'IRSN [modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF étudie et mette en œuvre une modification matérielle pour augmenter significativement la marge d'arrêt des réacteurs du Bugey.

⁹ Marge à la criticité du cœur une fois le réacteur arrêté.

La conduite d'un réacteur de 900 MWe en situation de perte totale des alimentations électriques doit viser, dans l'attente d'une restauration des sources électriques, à replier le réacteur en maintenant une marge d'arrêt suffisante ainsi que l'intégrité du circuit primaire. Pour obtenir cette marge d'arrêt suffisante, EDF prévoit d'adapter les procédures de conduite en stabilisant le réacteur à une température de repli (en entrée du cœur) de 240 °C au lieu de 200 °C (valeur actuelle). À 240 °C, l'intégrité des joints des pompes primaires (et donc du circuit primaire) ne peut pas être garantie en cas de défaillance du refroidissement de ces joints. Or la pompe de test, capable d'injecter de l'eau borée (y compris à très haute pression) pour refroidir ces joints, présente plusieurs limites : elle est commune à une paire de réacteurs, son débit est difficile à régler et elle ne présente pas une grande fiabilité.

Position n° 32 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Pour la conduite des situations de perte totale des alimentations électriques, l'IRSN estime qu'EDF doit :

- conserver une conduite permettant le repli à une température en branche froide inférieure à la température de 200 °C sous laquelle les joints des pompes primaires conservent leur intégrité même sans refroidissement par injection d'eau,
- démontrer la faisabilité technique et la fiabilité du réglage du débit de la pompe de test aux joints des pompes primaires.

De même, pour maintenir une marge d'arrêt suffisante dans les situations d'accident par perte de réfrigérant primaire sans injection de sécurité haute pression, EDF envisage d'ouvrir une ligne de décharge du pressuriseur pour dépressuriser rapidement le circuit primaire et d'utiliser les moyens d'appoint en eau borée à moyenne et basse pression. L'IRSN considère que cette conduite pourrait ne pas être adéquate pour la maîtrise de la réactivité en cas de très petites brèches primaires.

Position n° 33 de l'IRSN

[compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN estime qu'EDF doit démontrer l'existence d'une marge d'arrêt suffisante au cours de la conduite de toutes les situations d'accident par perte de réfrigérant primaire avec défaillance de l'injection de sécurité haute pression, notamment en cas de très petite brèche du circuit primaire.

De manière générale, l'IRSN considère qu'une pompe d'injection haute pression **pour chaque réacteur**, plus fiable que la pompe de test actuelle, faciliterait la conduite des transitoires accidentels sur les réacteurs de 900 MWe.

Position n° 34 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN considère que le recours à un moyen d'injection haute pression déployé sur chaque réacteur, plus fiable que la pompe de test et assurant un apport de bore plus important, permettrait, en conduite accidentelle, de s'affranchir du risque de retour critique du réacteur à long terme tout en autorisant le repli à une température garantissant l'intégrité des joints des pompes primaires et donc l'intégrité du circuit primaire.

Ce moyen faciliterait également la maîtrise des situations de perte totale des alimentations électriques affectant tous les réacteurs d'un site.

De plus, l'intégration, dans le noyau dur, de ce moyen d'injection haute pression constituerait une réponse adaptée si certaines grappes de contrôle ne chutaient pas intégralement en cas de séisme extrême (SND) (voir chapitre 4.2).

Études justificatives particulières

EDF a présenté trois études justificatives particulières pour évaluer la robustesse des installations pour des phénomènes physiques ou des situations accidentelles non pris en compte à la conception :

- les études d'interaction entre la pastille et la gaine assistée par la corrosion sous contrainte, qui visent à définir des durées maximales autorisées en fonctionnement prolongé à puissance intermédiaire sans risque de rupture de gaine,
- l'étude d'une rupture de tuyauterie primaire principale doublement débattue (APRP 2A),
- l'étude de la dilution inhérente¹⁰ à l'APRP pour des brèches de taille intermédiaire.

L'IRSN considère que les études menées sont acceptables, moyennant des compléments attendus sur l'étude de dilution [40].

Position n° 35 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF étudie, en suivant les règles des études des conditions de fonctionnement de dimensionnement, le risque de dilution inhérente à l'accident par perte de réfrigérant primaire ou de perte du circuit de refroidissement à l'arrêt (RRA). Ces études sont en cours.

Réduction des rejets pour les accidents sans fusion du cœur

Pour répondre à l'objectif de réduire encore, autant que raisonnablement possible, l'impact radiologique des accidents et d'atteindre des niveaux de conséquences radiologiques ne nécessitant pas la mise en œuvre de contre-mesure pour la population (pas de mise à l'abri, pas d'évacuation et pas d'administration d'iode stable), EDF a proposé l'abaissement du seuil d'arrêt¹¹ du réacteur en équivalent ¹³¹I en transitoire de puissance. Cet abaissement permet une réduction notable des conséquences évaluées dans le rapport de sûreté pour des accidents survenant lorsque le réacteur est en fonctionnement et n'entraînant pas de rupture de gaines de combustible. Cela concerne en particulier l'accident de rupture d'un tube de générateur de vapeur de 4^e catégorie (RTGV4) du rapport de sûreté. Toutefois, pour cet accident, calculé avec les hypothèses pénalisantes de la démonstration de sûreté, des mesures à court terme de protection des populations s'avèrent encore nécessaires dans la zone proche du réacteur. Pour les réacteurs du Bugey, la quantité d'eau rejetée dans l'environnement, via le générateur de vapeur accidenté, est largement supérieure au cas des autres paliers.

Position n° 36 de l'IRSN [modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Afin d'atteindre l'objectif d'absence de nécessité de mesures de protection des populations pour l'accident de rupture d'un tube de générateur de vapeur de 4^e catégorie (RTGV 4), l'IRSN estime nécessaire qu'EDF :

- modifie les spécifications radiochimiques (seuils d'arrêt) du circuit primaire afin de limiter l'amplitude du pic d'iode lors des transitoires,
- mette en œuvre des modifications matérielles ou de conduite permettant de réduire les rejets liquides dans l'environnement en cas de RTGV 4.

Prise en compte des conditions accidentelles retenues à la conception de l'EPR

Un des moyens retenus pour définir des modifications permettant de rapprocher le niveau de sûreté des réacteurs de 900 MWe de celui visé pour l'EPR est l'évaluation par EDF du comportement des réacteurs de

¹⁰ La dilution inhérente à l'APRP est l'accumulation d'eau faiblement borée dans certaines parties du circuit primaire provenant de la condensation de la vapeur dans les tubes de générateur de vapeur.

¹¹ Ce seuil, prescrit dans les spécifications radiochimiques, concerne l'amplitude du pic d'iode mesurée lors d'un transitoire de puissance. Son dépassement donne lieu à une interdiction de redémarrer ou de poursuivre le fonctionnement en puissance du réacteur.

900 MWe pour les conditions accidentelles (événements et délais opérateurs) retenues à la conception de l'EPR, en appliquant les règles des études de dimensionnement, puis la recherche de dispositions en cas de dépassement des critères de sûreté [3].

Dans son avis en référence [33], l'IRSN a conclu qu'EDF avait évalué de manière satisfaisante le comportement des réacteurs de 900 MWe pour ces conditions, mais que la recherche de dispositions en cas de dépassement des critères de sûreté restait à finaliser. L'IRSN convient toutefois que ces dispositions ne doivent pas conduire à une complexification trop importante des installations ou de leur exploitation.

À ce jour, l'IRSN considère que les objectifs génériques du quatrième réexamen périodique ne sont pas encore atteints par EDF pour la prise en compte des événements et délais opérateurs retenus pour la conception de l'EPR.

Position n° 37 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Les compléments d'études de sûreté des réacteurs de 900 MWe, pour prendre en compte les événements supplémentaires et délais opérateurs allongés retenus pour la conception de l'EPR, doivent s'appuyer sur les règles usuelles des études de dimensionnement et conduire à la recherche de dispositions en cas de dépassement des critères de sûreté.

Les dispositions à rechercher concernent les accidents par perte de réfrigérant primaire dans les états d'arrêt, de dilution homogène en état d'arrêt et de perte de refroidissement ou de vidange affectant la piscine de désactivation.

Ces dispositions peuvent être des modifications matérielles ou des exigences complémentaires de disponibilité de matériels en exploitation.

Domaine des situations « noyau dur »

Comme indiqué aux chapitres 4.1 et 4.2, le déploiement des dispositions « noyau dur » relatives à la prévention de la fusion du cœur, notamment la disposition ASG-ND pour le refroidissement du réacteur par les générateurs de vapeur, est prévu par EDF en phase B du réexamen RP4-900.

De manière générale, la démonstration de sûreté en situation noyau dur pour le réacteur et le bâtiment de la piscine de désactivation du combustible sera transmise par EDF dans le cadre de la phase B et évaluée à cette occasion. Ceci concerne en particulier les dossiers relatifs à la tenue au séisme des systèmes, structures et composants faisant partie du noyau dur.

4.4 Dispositions relatives aux accidents graves

Concernant les accidents graves, l'objectif du réexamen est l'amélioration des réacteurs de 900 MWe au regard des objectifs de sûreté applicables aux réacteurs de troisième génération qui prennent en compte les accidents avec fusion du cœur dès leur conception. Un accident grave maîtrisé ne doit ainsi conduire qu'à des mesures de protection des populations très limitées en termes d'étendue et de durée. Cet objectif doit également être atteint en cas d'agression extrême considérée au titre du retour d'expérience de l'accident de Fukushima.

Pour répondre à cet objectif, EDF a conçu un nouveau système (EASu/SFu¹²) permettant l'évacuation de la chaleur hors de l'enceinte de confinement et des dispositions visant à stabiliser le corium dans le bâtiment du réacteur. Ces nouvelles dispositions, faisant partie du « noyau dur », complètent les dispositions existantes et renforcent les moyens de gestion à long terme d'un accident de fusion du cœur, notamment pour éviter les

¹² SFu : source froide ultime. Il s'agit d'un circuit de refroidissement mobile, connecté à l'échangeur EAS/SFu, qui serait, en cas d'accident, mis en place par la Force d'Action Rapide Nucléaire (FARN) d'EDF.

rejets radioactifs par l'ouverture du dispositif d'événage-filtration de l'enceinte de confinement (U5) ou des effets durables dans l'environnement en cas de percée du radier.

L'expertise de l'IRSN a porté sur les principes de ces nouvelles dispositions [40] et la démonstration de leur efficacité pour les réacteurs du palier CPY et du Bugey ([42], [44]) et, de manière plus générale, sur les études déterministes, le classement des équipements nécessaires ou utiles à la gestion d'un accident grave, leur qualification ainsi que les résultats des études probabilistes de sûreté de niveau 2 [43].

Limitation du risque de percement du radier : stabilisation du corium hors cuve

Les dispositions prévues par EDF en cas d'accident de fusion du cœur permettent l'étalement à sec du corium dans le puits de cuve et dans un local adjacent (local RIC). Cet étalement est rapidement suivi d'un noyage passif du corium par l'eau contenue dans les puisards du fond de l'enceinte, préalablement remplis. Cette eau est ensuite refroidie grâce au système EASu. La démonstration de l'efficacité de ces dispositions s'appuie sur les connaissances acquises sur les mécanismes physiques régissant les interactions entre le corium, le béton du radier de l'enceinte et l'eau de refroidissement. Elle varie suivant la nature du béton (teneur en gaz), ce qui conduit EDF à distinguer trois types de béton : silico-calcaire, siliceux et très siliceux.

Position n° 38 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN considère que les études permettent d'écartier le risque de percée du radier par le corium maintenu sous eau après étalement pour les réacteurs ayant un radier en béton silico-calcaire ou siliceux. En revanche, pour les réacteurs ayant un radier en béton très siliceux, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF épaississe le radier du puits de cuve et du local RIC avec un béton silico-calcaire.

De plus, l'IRSN estime nécessaire la mise en œuvre :

- de dispositions pour éviter le percement par le corium des voiles entre le local RIC et la zone des puisards du fond de l'enceinte de confinement,
- *d'une instrumentation permettant de détecter l'étalement du corium sur la surface totale du local RIC.*

L'efficacité de la disposition nécessite que le corium, après étalement dans le puits de cuve et le local RIC, soit submergé rapidement et durablement par de l'eau (voir Position n° 41 de l'IRSN).

Les dispositions d'étanchement du puits de cuve vont considérablement réduire la possibilité de phénomène énergétique de type explosion de vapeur dans le puits de cuve, ce qui est satisfaisant.

Évacuation de la puissance résiduelle hors de l'enceinte de confinement sans événement : conception, fiabilité et efficacité des systèmes EASu/SFu

EDF a prévu d'installer le système EASu pour évacuer la puissance résiduelle hors de l'enceinte de confinement en cas d'accident grave. Ce système injecte le contenu de la bêche PTR dans l'enceinte, puis fait recirculer l'eau, à partir des puisards de l'enceinte, en la refroidissant. Le refroidissement est assuré grâce à un échangeur qui est raccordé à la source froide par la Force d'action rapide nucléaire (FARN) qui dispose d'une pompe mobile et des tuyauteries de raccordement adaptés (SFu).

Position n° 39 de l'IRSN

[compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

Pour la fiabilité de la disposition EASu/SFu, l'IRSN estime nécessaire :

- que la pompe « noyau dur » du système EASu soit conçue selon les prescriptions du code RCC-M de niveau 2,
- *qu'EDF complète les essais de qualification des filtres des puisards aux conditions d'un accident grave.*

Des réservoirs de collecte des fuites sont prévus pour certains organes du circuit EASu. L'IRSN considère que d'autres fuites sont plausibles et ne seraient donc pas collectées. En situation d'accident grave, de telles fuites dans le bâtiment du combustible pourraient conduire à des conséquences radiologiques importantes dans l'environnement et altérer la disponibilité des équipements nécessaires à l'évacuation de la puissance dans l'enceinte et de noyage du corium.

Position n° 40 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF mette en œuvre des moyens, qualifiés aux accidents graves, de détection et de réinjection dans le bâtiment du réacteur des effluents présents dans les puisards RPE du bâtiment du combustible.

Par ailleurs, l'IRSN considère qu'il existe un risque d'atteinte, avant 24h, de la pression de dimensionnement de l'enceinte de confinement. Or, ce délai de 24h est requis pour le raccordement de la source froide (SFu) par la FARN. À cet égard, une injection supplémentaire d'eau froide borée dans l'enceinte retarderait la montée en pression et fournirait un délai supplémentaire à la FARN. De plus, un apport d'eau supplémentaire augmenterait le niveau d'eau dans le bâtiment du réacteur et par conséquent les marges sur le niveau d'eau disponible pour noyer le corium et assurer le bon fonctionnement (sans cavitation) des pompes des systèmes de recirculation.

Position n° 41 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Les nouvelles dispositions pour la maîtrise des accidents graves requièrent l'injection dans l'enceinte de confinement du volume d'eau contenu dans la bache PTR. L'IRSN considère qu'EDF doit prévoir des dispositions permettant l'injection à court terme dans l'enceinte de confinement d'un volume significatif d'eau borée supplémentaire, par exemple en réalimentant la bache PTR.

L'IRSN considère que la défaillance du système EASu ou de ses fonctions support n'est pas exclue. Ce système est en effet non redondant et non réparable. Ses défaillances peuvent intervenir à court, moyen ou long terme. Dans cette situation, la chaleur dans l'enceinte de confinement peut être évacuée après 24h par le dispositif d'éventage U5 mais, en revanche, la percée du radier sans apport d'eau supplémentaire est certaine.

Position n° 42 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF *étudie la faisabilité d'une disposition supplémentaire qui permette un appoint d'eau dans le fond de l'enceinte par des moyens mobiles pendant une durée suffisante pour limiter l'érosion du radier, en cas de défaillance de l'EASu à moyen - long terme.*

Équipements identifiés comme « nécessaires en AG »

EDF restreint la liste des équipements « nécessaires en AG » à ceux nécessaires à la démonstration de sûreté. Ces équipements font l'objet d'une qualification spécifique et d'exigences en termes de disponibilité et d'efficacité dans les règles générales d'exploitation. L'IRSN considère que cette liste est trop limitative et que d'autres équipements peuvent être nécessaires pour traiter des situations non retenues au titre de la démonstration de sûreté (par exemple, le dispositif U5 serait utilisé en cas de défaillance l'EASu/SFu), apprécier l'état de l'installation ou réduire les rejets à l'extérieur de l'installation.

Position n° 43 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère qu'EDF doit compléter :

- la liste des équipements « nécessaires en AG » par les équipements jouant un rôle important dans la réduction des conséquences radiologiques, notamment l'EAS en injection directe et le circuit d'éventage filtration U5,
- la liste des instrumentations nécessaires pour le suivi de l'état de l'installation (*détection de la rupture de la cuve, position des soupapes SEBIM, détection des fins de course des robinets d'isolement extérieur enceinte, capteurs de niveau dans chaque réservoir de collecte de fuite d'organes de l'EASu, détection de la contamination de la source froide ultime, niveau des puisards de récupération des fuites des systèmes RIS et EAS, mesure de température sur certains recombineurs d'hydrogène*).

Limitation des rejets en iode en situation d'accident grave

Évacuation de la puissance résiduelle hors de l'enceinte de confinement par éventage filtré : dispositif U5

Le dispositif U5 d'éventage-filtration des enceintes de confinement des REP 900 est constitué d'un préfiltre métallique et d'un filtre à sable permettant de retenir efficacement les aérosols radioactifs. Son efficacité est limitée pour l'iode moléculaire gazeux et faible voire inexistante pour les gaz rares et l'iode organique gazeux. Les connaissances actuelles montrent que les iodes gazeux pourraient être efficacement piégés en améliorant le dispositif existant. L'IRSN considère qu'il est techniquement envisageable de concevoir puis mettre en œuvre des modifications du dispositif U5 améliorant l'efficacité de filtration des iodes gazeux.

EDF prévoit le renforcement de ce dispositif au séisme SMHV mais pas l'amélioration de leur efficacité de filtration.

Position n° 44 de l'IRSN [modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF adapte les dispositifs d'éventage-filtration des enceintes de confinement de manière à améliorer leur efficacité de filtration des iodes gazeux.

Relâchements d'iode gazeux depuis l'eau contaminée présente dans le bâtiment du réacteur ou le bâtiment du combustible

Un pH basique de l'eau de recirculation en accident grave permet de piéger l'iode dans l'eau et ainsi d'éviter des relâchements d'iode gazeux dans les bâtiments puis l'environnement. Contrairement aux réacteurs de 1300 et de 1450 MWe, EDF ne prévoit pas de dispositif dédié sur les réacteurs de 900 MWe pour garantir un pH basique. EDF considère en effet que, pour les réacteurs de 900 MWe, des particules d'argent issues de la dégradation des barres de commande pendant la fusion du cœur permettent de piéger l'iode sous forme AgI en phase liquide. Sur la base de ses travaux de recherche, l'IRSN considère aujourd'hui que l'efficacité de ce piégeage de l'iode par les particules d'argent est surestimée par EDF et qu'un débit significatif d'iode gazeux peut être relâché dans les bâtiments concernés.

Position n° 45 de l'IRSN [modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN considère qu'EDF doit prévoir des dispositions pour réduire significativement, lors d'un accident grave, les relâchements d'iodes en phase gazeuse à partir de l'eau contaminée présente dans l'enceinte de confinement du bâtiment du réacteur ainsi que dans le bâtiment du combustible en cas de recirculation.

Parade voie eau (enceintes géotechniques)

Sur la base du dossier transmis par EDF, l'IRSN a évalué la faisabilité technique de dispositifs visant à s'opposer au transfert d'une contamination radioactive vers les eaux souterraines en cas de fuite radioactive significative dans le sol d'un îlot nucléaire, et ce pour l'ensemble des sites électronucléaires d'EDF. Ces dispositifs associent généralement une barrière statique (la paroi de l'enceinte géotechnique) à un confinement dynamique (un système de pompage). À l'issue de son expertise, l'IRSN a considéré que, pour 6 des 8 sites de réacteurs de 900 MWe, l'étanchéité de l'enceinte géotechnique existante était acquise, ou accessible au prix de travaux limités.

Position n° 46 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN estime nécessaire que, pour les sites qui disposent d'une enceinte géotechnique (Bugey, Tricastin, Gravelines, Dampierre, Blayais et Saint-Laurent-des-Eaux), EDF remette en état celles qui le nécessitent, de façon à constituer un dispositif de confinement des eaux souterraines utilisable en situation post-accidentelle.

Pour le site de Cruas, dont l'efficacité des enceintes géotechniques est limitée, il conviendrait de valoriser les encuvements existants sous les îlots nucléaires. Pour le site de Chinon, une enceinte géotechnique serait à réaliser.

Position n° 47 de l'IRSN

[compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF réalise une étude détaillée de l'implantation d'une enceinte géotechnique sur le site de Chinon, comprenant notamment un examen de la faisabilité de sa réalisation, après accident, et de son efficacité, compte tenu des spécificités du site. La comparaison de cette efficacité, selon que l'enceinte est en place avant l'accident ou réalisée après, devra être présentée.

Enfin, ces enceintes géotechniques nécessiteraient une unité de traitement des eaux contaminées dont la conception doit être anticipée.

Position n° 48 de l'IRSN

[compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF présente, dans le cadre de la préparation à la gestion d'une situation post-accidentelle, l'avant-projet détaillé d'une unité de traitement des eaux contaminées qui pourraient être pompées dans une enceinte géotechnique, voire présentes dans des bâtiments ou dans des capacités de l'installation. Cette étude devra notamment présenter, pour chaque site, l'emplacement envisagé de cette unité.

4.5 Fonction de confinement

Les dispositions prises par EDF pour assurer le confinement des matières radioactives dans les réacteurs de 900 MWe ont fait l'objet de l'avis IRSN en référence [9]. L'IRSN considère que les nombreux engagements pris par EDF dans le cadre de cette expertise devraient permettre d'améliorer sensiblement le confinement des matières radioactives pour les réacteurs du parc en exploitation. Les compléments présentés dans les positions suivantes sont toutefois jugés nécessaires par l'IRSN.

Position n° 49 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Dans le cadre de la maîtrise de la fonction confinement, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF :

- réalise un essai de requalification de l'étanchéité du tampon d'accès des matériels à chaque fermeture de celui-ci, lorsque son étanchéité est requise au titre des spécifications techniques d'exploitation, sans attendre l'essai réalisé en fin d'arrêt dans le cadre des règles générales d'exploitation,

- étudie et met en œuvre une disposition de surveillance continue de l'étanchéité des doubles enveloppes des circuits des systèmes RIS et EAS ; dans l'attente, EDF devra augmenter la périodicité des contrôles d'étanchéité en la portant de quatre cycles à un cycle,
- réalise un essai d'étanchéité avant chaque intervention de maintenance préventive susceptible d'impacter l'étanchéité d'un organe d'isolement de l'enceinte (robinet et commande), afin de mieux caractériser les fuites aux traversées de l'enceinte en fin de cycle,
- trace et analyse les actions de remise en conformité de l'installation (fermeture des portes et des vannes présentant un risque d'entrée d'air) préalables aux essais de confinement dynamique, afin d'identifier le cas échéant des besoins d'évolution de pratiques d'exploitation ou de la conception.

Position n° 50 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

Dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF démontre que les propriétés des nouveaux joints des tampons d'accès des matériels ainsi que celles des joints des tapes des tubes de transfert permettent de garantir l'étanchéité en situation d'accident grave.

L'avis en référence [9] rappelle également des attentes, telles que le classement fonctionnel de sûreté du dispositif d'auscultation des enceintes, le classement de sûreté du dispositif de surveillance en continu de l'étanchéité de l'enceinte ou la limitation des apports d'eau pouvant favoriser les pathologies des enceintes.

4.6 Protection contre les agressions internes et externes

La réévaluation des protections contre les effets des agressions internes et externes est un objectif important du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe et doit prendre en compte les connaissances nouvelles sur les agressions, le retour d'expérience de l'accident de Fukushima Dai-ichi (avec notamment la mise en œuvre du « noyau dur » d'équipements de sauvegarde protégés contre les agressions extrêmes), les attentes de la réglementation (arrêté du 7 février 2012 [21]) et les préconisations de l'association WENRA [26]. Les propositions d'EDF en matière d'agressions extrêmes à prendre en compte pour la mise en place du « noyau dur » ont fait l'objet, fin 2015, d'un avis de l'IRSN [17] et, en 2016, de demandes de l'ASN [48]. Pour le site du Tricastin, l'expertise du niveau de séisme à retenir s'est poursuivie (avis [50]) et a conduit aux demandes de l'ASN en référence [51].

L'installation complète des dispositions prévues de protection contre les agressions sera réalisée par EDF au stade des modifications lot B du réexamen RP4-900.

Les paragraphes suivants présentent les conclusions de l'expertise de l'IRSN sur la base des dossiers d'EDF transmis pendant la phase générique du réexamen [46].

Démonstrations particulières attendues

Application de l'arrêté du 7 février 2012 relatif aux installations nucléaires de base

Toutes les agressions internes et externes citées aux articles 3.5 et 3.6 de l'arrêté du 7 février 2012 [21] font l'objet d'un chapitre du rapport de sûreté et d'études d'EDF qui réévaluent les niveaux d'agressions à considérer, identifient les effets de ces agressions sur les installations et vérifient que les dispositions existantes ou complétées par des modifications prévues par EDF lors du réexamen RP4-900 permettent de maîtriser les risques liés à ces agressions.

Prise en compte des niveaux d'agressions externes d'origine naturelle préconisés par WENRA [26]

Pour définir l'intensité des agressions externes d'origine naturelle à retenir pour définir les protections (« aléas de dimensionnement »), WENRA préconise de retenir une fréquence annuelle de dépassement de cette intensité inférieure à 10^{-4} par réacteur. Cette intensité doit couvrir les événements historiques extrêmes pertinents. EDF a précisé, pour chaque agression externe d'origine naturelle, dans quelle mesure cet objectif était atteint. Pour l'IRSN, les conclusions d'EDF sont satisfaisantes pour les inondations externes, la neige et les « grands froids » et doivent faire l'objet de complément pour les « grands chauds » et les « grands vents » (voir ci-après). Pour le séisme, les renforcements au titre du noyau dur apporteront une robustesse supplémentaire.

WENRA préconise de plus de s'assurer que des agressions d'intensité supérieure à celles visées pour la vérification du dimensionnement des installations n'induisent pas d'effet falaise et d'identifier les moyens qui permettraient d'assurer la disponibilité des fonctions de sûreté dans une telle situation. L'IRSN convient que le déploiement des moyens matériels et organisationnels du noyau dur permettra de répondre de manière satisfaisante à cet objectif, même si des compléments sont également attendus pour les agressions « grands chauds » et « grands vents »

Nota : pour la neige, EDF s'est engagé à définir des dispositions de déneigement des structures qui seraient mises en œuvre avant d'atteindre des niveaux de neige dommageables, ce qui est satisfaisant.

Prise en compte d'un aggravant dans les études d'agressions (internes, externes) tel que préconisée par WENRA

L'ASN [3] a demandé à EDF de retenir dans les études d'agression « la défaillance du matériel la plus défavorable, quelle que soit la nature de ce matériel » ou, si cette défaillance est exclue, de « démontrer le haut niveau de fiabilité de l'équipement concerné [...] » dans les conditions de l'agression étudiée (interne et externe). Un tel aggravant n'était pas pris en compte à la conception des REP 900, contrairement à l'EPR pour lequel un aggravant a été pris en compte dans les études d'agressions internes.

Pour répondre à cette demande, EDF a postulé, dans les études d'agressions internes (incendie, explosion, chute de charge/collision et inondation interne) et externes (inondations externes, grands chauds, grands froids et agressions de la source froide), la défaillance d'un matériel « actif » nécessaire à la gestion de l'agression.

EDF a de plus examiné l'impact de la défaillance de certains équipements qu'il qualifie de « passifs » sur la gestion d'un incendie (portes coupe-feu) ou d'une inondation interne (siphons de sol, caniveau), l'IRSN et l'ASN considérant que ces compléments devaient être apportés en priorité.

L'IRSN considère que la prise en compte par EDF de la défaillance d'un équipement actif dans les études d'agression constitue un progrès notable du réexamen RP4 900, mais que la déclinaison de cette approche sur les équipements dits « passifs » devra être complétée par EDF. À cet égard, EDF devra poursuivre les réflexions initiées sur l'identification des équipements passifs « clés » pour la protection des installations contre les risques liés aux agressions et sur les exigences à associer à ces équipements.

Aggressions d'origine externe

Démarche de veille climatique

L'IRSN considère que la démarche de veille climatique mise en œuvre par EDF répond dans le principe à la demande de l'ASN d'actualiser les niveaux d'aléa climatiques en se basant sur l'état des connaissances

scientifiques le plus récent [3]. Cette veille est nécessaire pour anticiper les conséquences d'évolutions climatiques sur le respect des objectifs de sûreté et doit conduire à des analyses approfondies en cas d'« événement climatique majeur ».

Position n° 51 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Dans le cadre de la démarche de veille climatique, l'IRSN considère qu'EDF doit déclencher une analyse approfondie pour un « événement climatique majeur » correspondant au dépassement d'un record régional ou à la survenue d'un événement de période de retour estimée centennale.

Inondations externes

Prise en compte du guide ASN n° 13 pour les sites en bord de rivière

L'IRSN considère que les éléments transmis par EDF relatifs aux méthodes d'évaluation de situations de référence pour le risque d'inondation (SRI) sont globalement satisfaisants. L'IRSN rappelle néanmoins certains points importants du guide ASN n° 13 pour les études à venir dans la position ci-dessous.

Position n° 52 de l'IRSN

[compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

Pour les sites du parc en exploitation autres que celui du Tricastin, EDF devra, en cohérence avec les préconisations du guide ASN n° 13 :

- justifier la modélisation des brèches de digue,
- valider les modèles hydrodynamiques utilisés en régime transitoire,
- majorer de 15 % la totalité des débits de l'hydrogramme pour la SRI relative à la rupture d'un ouvrage de retenue.

Pour le site du Tricastin, les dispositions de protection existantes et prévues, incluant le confortement de la digue « gravier » du canal de Donzère Mondragon [49] et le renforcement des dispositions en cas de rupture du circuit CRF d'eau de réfrigération, permettent d'atteindre les objectifs fixés pour le réexamen RP4-900 au titre du dimensionnement¹³ pour le risque « inondation externe ».

Concernant les niveaux d'inondation à considérer pour la protection du « noyau dur », l'évaluation réalisée par EDF pour la « crue fluviale augmentée » pour le site du Tricastin, de même que les méthodes d'évaluation des ruptures multiples de barrage pour les sites de bord de rivière, sont satisfaisantes.

Pour les autres sites, des compléments doivent être apportés par EDF.

Prise en compte du guide ASN n° 13 pour les sites en bord de mer

Les niveaux marins évalués par EDF pour la protection du « noyau dur » des sites de Gravelines et du Blayais, qui seront utilisés pour dimensionner les renforcements des protections périphériques prévues par EDF sur ces sites, sont satisfaisants compte tenu des engagements pris par EDF.

Étanchéité de la protection volumétrique

Les joints inter-bâtiments participent à la protection volumétrique des bâtiments de l'îlot nucléaire, des galeries et des stations de pompage. L'ASN a demandé à EDF [3] de transmettre une synthèse des derniers contrôles de ces joints réalisés au titre de la maintenance préventive, de justifier leur étanchéité ainsi que l'étanchéité de leur réparation (mastic, lames d'étanchéité).

¹³ Par ailleurs, le renforcement de la digue au séisme noyau dur est en cours d'expertise.

L'IRSN considère convenables les justifications apportées par EDF relatives à l'étanchéité des joints inter-bâtiments, en service normal ainsi qu'en cas de séisme.

Séisme

Réévaluation des spectres de réponse du sol

Les avis de l'IRSN et les positions de l'ASN sur les études de réévaluation de l'aléa sismique d'EDF sont disponibles en références [17] [48] [50] et [51].

Les spectres de réponse des sols de type SMS¹⁴ « RP4 900 » retenus par EDF ont été jugés acceptables par l'IRSN et l'ASN, à l'exception de ceux du site de Chinon pour lequel la sélection des séismes historiques à prendre en compte doit être complétée. Des demandes complémentaires ont été formulées concernant la prise en compte d'effets de site particuliers pour les sites de Gravelines, Tricastin et Blayais.

L'IRSN et l'ASN ont de plus considéré que les spectres de réponse des sols pour le « noyau dur » transmis par EDF devaient faire l'objet d'une mise à jour pour les sites de Blayais, Bugey, Chinon, Cruas et Tricastin.

Réévaluation du comportement sismique des ouvrages de génie civil (domaines de dimensionnement)

À l'issue de l'orientation du réexamen RP4 900 [3] l'ASN a rappelé qu'« EDF doit réaliser une réévaluation sismique dès lors que les niveaux sismiques sont supérieurs à ceux retenus lors du réexamen périodique précédent [et s'] appuyer en premier lieu, sur une approche déterministe conventionnelle utilisant les coefficients et taux d'amortissement préconisés par le guide ASN 2/01. Dans le cas où les modifications et renforcements sismiques ne seraient pas jugés industriellement raisonnables en regard de l'intérêt vis-à-vis de la sûreté, des méthodes réalistes ou optimisées pourront être utilisées, sous réserves de justifications étayées auprès de l'ASN. »

L'examen de la réévaluation par EDF du comportement sismique des ouvrages de génie civil pour chaque réacteur ne relève pas de la phase générique du réexamen.

Réévaluation de la tenue au séisme des matériels (domaine de dimensionnement)

Concernant la réévaluation sismique des matériels, EDF prévoyant d'utiliser la même démarche que celle du réexamen périodique VD3-1300, l'ASN a rappelé, lors de l'orientation du réexamen RP4 900 [3], que ses demandes formulées dans son courrier en référence [54] du 20 janvier 2015 devaient être prises en compte dans le réexamen périodique RP4 900. Cela a conduit EDF à mettre à jour en 2016 sa démarche de réévaluation sismique des matériels (DERESMA) dont l'expertise par l'IRSN a été menée dans le cadre de l'avis en référence [55]. Cette expertise relevait :

- les améliorations apportées en termes de hiérarchisation des matériels, de valorisation des marges de dimensionnement et de mise en œuvre des inspections sismiques,
- la nécessité de compléments sur le classement de l'ensemble des matériels nécessaires à la maîtrise de la fonction de sûreté « confinement des substances radioactives »,
- des réserves sur la possibilité d'utiliser des méthodes dites « avancées » de justification du comportement des matériels avant d'envisager des modifications ou des renforcements.

¹⁴ Le séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV) correspond au séisme le plus pénalisant susceptible de se produire sur une durée d'environ 1000 ans, évalué sur la base des séismes historiquement connus. Le séisme majoré de sécurité (SMS) est défini en ajoutant conventionnellement 0,5 à la magnitude du SMHV ; il est retenu pour le dimensionnement aux séismes des installations nucléaires.

L'examen de la réévaluation par EDF du comportement sismique des matériels pour chaque réacteur ne relève pas de la phase générique du réexamen.

Justification du comportement sismique des systèmes, structures et composants (SSC) du noyau dur

Afin de préciser les hypothèses de conception et de vérification des SCC appartenant au noyau dur, l'ASN a édité un ensemble de prescriptions techniques complémentaires en date du 21 janvier 2014 ; en particulier, la prescription [ECS-ND9] stipule que :

« Pour la conception des SSC nouveaux du noyau dur, l'exploitant utilise des règles de conception et de construction codifiées ou, à défaut, conformes à l'état de l'art. Il démontre l'intégrité et la fonctionnalité de ces SSC au regard de la situation traitée.

Les SSC nouveaux du noyau dur non substituables par d'autres moyens font l'objet d'exigences de conception et de fabrication renforcées pour leur assurer un haut niveau de fiabilité pour remplir leurs fonctions de sûreté pour toutes les phases d'un accident, tant qu'ils sont nécessaires.

Pour les SSC existants dont la justification en situations noyau dur ne pourrait être acquise sur la base des règles de conception et de construction codifiées ou, à défaut, conformes à l'état de l'art, il justifie ces SSC sur la base de méthodes déterministes réalistes ; il utilise en tout état de cause des critères garantissant la fonctionnalité des SSC vis-à-vis des missions qu'ils ont à accomplir en situations noyau dur. Dans les cas où la justification sur la base de ces méthodes n'est pas acquise, l'exploitant étudie le remplacement ou le renforcement de ces SSC. »

Pour l'IRSN, les structures de génie civil et les équipements du noyau dur vont se répartir en deux groupes. Pour le premier groupe, le respect des critères de conception aura été démontré au séisme noyau dur alors que, pour le second groupe, la robustesse au séisme noyau dur aura été appréciée par des méthodes non conventionnelles, y compris après d'éventuels renforcements. Le niveau de confiance dans le fait que les fonctions attendues seront assurées en cas de séisme noyau dur sera plus faible pour les structures et équipements du second groupe.

Position n° 53 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN considère que la priorité d'EDF doit être le renforcement des équipements et structures existants associés au noyau dur pour pouvoir démontrer leur tenue au séisme noyau dur avec les méthodes usuelles de dimensionnement.

Pour répondre aux demandes de l'ASN, EDF a transmis un ensemble de guides méthodologiques relatifs à la justification du comportement des SSC existants appartenant au noyau dur sous l'effet d'un séisme extrême, dit « séisme noyau dur » (SND).

Pour les ouvrages de génie civil, EDF souhaite déroger aux pratiques actuelles des réexamens de sûreté en postulant des endommagements « admissibles » plus importants que ceux admis en dimensionnement, une augmentation de l'amortissement des structures et l'introduction de coefficients de ductilité des structures en béton armé et en charpente métallique. Ce sujet a fait l'objet de l'avis IRSN en référence [52] avec des réserves résumées ci-dessous.

Position n° 54 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère que le recours à des analyses complémentaires ou alternatives de type non-linéaire ne devrait pas être envisagé pour les études de réévaluation du comportement sismique des ouvrages de génie civil. La méthode prévue par EDF pour le séisme noyau dur n'est acceptable que dans certains cas et sous réserve de la réalisation préalable d'études utilisant des méthodes usuelles et de la fourniture de justifications étayées, portant notamment sur les données et critères utilisés.

Par ailleurs, EDF a élaboré des guides méthodologiques pour la justification de la tenue aux séismes extrêmes des ancrages passifs existants, des machines tournantes, de la robinetterie, des matériels électriques, des lignes de tuyauteries, des chemins de câbles, des gaines de ventilation et des matériels de manutention lourds. Ces guides ont fait l'objet de l'avis de l'IRSN en référence [53] qui conclut que le conservatisme des méthodes relatives à la résistance sismique des ancrages n'est pas acquis et que les éléments méthodologiques relatifs aux matériels sont acceptables dans leur principe moyennant des compléments pour les machines tournantes et les tuyauteries.

Position n° 55 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère qu'EDF doit amender plusieurs points de son guide méthodologique relatif à la résistance au SND des ancrages existants. Concernant les matériels, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF privilégie l'utilisation de critères de dimensionnement garantissant le comportement élastique des structures des machines tournantes avec un requis d'étanchéité ou de capacité fonctionnelle. Dans le cas des lignes de tuyauterie, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF conserve les critères utilisés lors du dimensionnement initial.

Retour d'expérience du séisme de Kashiwazaki-Kariwa

Conformément aux orientations du réexamen RP4 900 [3], EDF a réalisé des études visant à prendre en compte le retour d'expérience du séisme survenu en 2007 à proximité de la centrale nucléaire japonaise de Kashiwazaki-Kariwa.

Certains thèmes ont été traités dans le cadre des études post-Fukushima, comme l'arrêt automatique du réacteur en cas de séisme ou la tenue sismique de l'appoint à la piscine de désactivation du combustible (piscine BK).

Par ailleurs, EDF a réalisé une analyse des conséquences pour la sûreté d'un incendie d'un transformateur de taille significative (Transformateur Principal (TP), Auxiliaire (TA) ou de Soutirage (TS) sur les sites du palier 900 MWe). Sur la base des études expertisées, des compléments qu'EDF s'est engagé à apporter et compte tenu de l'automatisation de la protection contre l'incendie des transformateurs (TP, TS et TA) en cours de déploiement, l'IRSN considère [56] que les conséquences d'un incendie d'un transformateur électrique de taille significative, résultant d'un séisme, ne sont pas de nature à remettre en cause la sûreté des réacteurs du parc électronucléaire d'EDF.

Étude des inondations sismo-induites

À la demande de l'ASN, EDF a étudié les inondations internes sismo-induites causées par le déversement simultané du contenu de tous les réservoirs non dimensionnés pour résister au séisme, en incluant l'évaluation des conséquences du déversement de l'eau sur les matériels électriques situés sur le chemin de propagation de l'inondation jusqu'aux niveaux inférieurs des bâtiments. L'IRSN considère ces études satisfaisantes.

Grands vents

Lors de l'orientation du réexamen RP4 900, l'ASN a demandé à EDF, en complément de la vérification de la protection des cibles potentielles contre les effets des grands vents et des projectiles associés, d'examiner les risques de survitesse induits pour les systèmes de ventilation par les vents violents [3].

L'IRSN estime satisfaisants les principes méthodologiques présentés par EDF pour évaluer les risques induits par les grands vents et les projectiles associés au titre des agressions du dimensionnement. Pour les sites du Tricastin et du Bugey, pour lesquels EDF a d'ores et déjà décliné ces principes, l'IRSN considère que les dispositions de protection retenues par EDF sont suffisantes pour maîtriser les risques induits par les « grands vents » du dimensionnement. Les éléments apportés par EDF, en réponse à une demande de l'ASN, pour montrer l'absence de risque de survitesse des ventilateurs en cas de « grands vents » sont également satisfaisants.

En revanche, l'IRSN considère que l'aléa « grand vents WENRA » retenu par EDF pour vérifier le comportement des installations ne prend pas suffisamment en compte les incertitudes sur les vitesses de vent correspondant à une période de retour décennale et mérite d'être consolidé par les experts du domaine.

Foudre et interférences électromagnétiques externes

Depuis 2012, l'arrêté INB introduit, par l'article 3.6, la foudre et les interférences électromagnétiques (IEM) en tant qu'agressions externes à prendre en compte dans la démonstration de sûreté. À l'issue de l'examen des orientations du réexamen RP4-900 [2], l'ASN a précisé ses attentes en complément de l'évaluation des risques induits selon la norme AFNOR CEI 62305, dont les objectifs en termes de protection sont jugés insuffisants par l'ASN pour la sûreté des centrales nucléaires.

L'IRSN considère acceptable l'aléa foudre retenu dans le cadre du réexamen RP4 900 et la vérification de la protection de chaque installation contre les effets directs de la foudre et les surtensions induites. Cette vérification a conduit à une modification. L'IRSN prend note qu'EDF retient le cumul de la foudre avec des pluies de forte intensité ou un vent fort, ce qui est satisfaisant.

Concernant les dispositions de protection contre la foudre, EDF a vérifié de façon exhaustive la mise à la terre des équipements métalliques en interface entre l'intérieur et l'extérieur des bâtiments et confirmé le dimensionnement du réseau de terre au regard de la norme CEI 62305-3. De plus, EDF posera une descente externe si une perte de continuité électrique était détectée entre des armatures en acier formant les cages maillées interconnectées à des systèmes de capture.

Enfin, EDF s'est engagé à mieux étudier les effets des courants géomagnétiques induits par des tempêtes solaires d'intensité significative, ce qui est satisfaisant.

Position n° 56 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN estime satisfaisants les éléments prévus d'être déclinés par EDF à échéance de la VD4 de chaque réacteur concernant les risques liés à la foudre et aux tempêtes solaires. Toutefois, la réalisation des actions suivantes, prévues par EDF, est nécessaire à l'atteinte des objectifs du réexamen :

- compléter la démonstration de sûreté sur les effets de champ rayonnés par la foudre dans les locaux contenant des équipements importants pour la sûreté et nécessaires à la gestion d'un incendie et d'une explosion induite par la foudre dans les bâtiments,
- évaluer les effets d'un coup de foudre cumulé à la défaillance d'un parafoudre sur les lignes du réseau très haute tension au titre de la prise en compte d'un aggravant tel que préconisé par l'association WENRA,
- étudier les effets des courants géomagnétiques induits par une tempête solaire d'intensité significative, notamment sur les transformateurs (risque d'incendie).

Grands chauds

Lors des canicules de 2003 et 2006, les températures de l'eau et de l'air observées sur site ont été supérieures à celles retenues à la conception des centrales nucléaires. EDF a alors proposé un référentiel « grands chauds », visant à vérifier, pour chaque réacteur, le bon fonctionnement des équipements classés de sûreté avec des températures de l'air et de l'eau plus élevées que celles retenues à la conception, en tenant compte du réchauffement climatique. Cette vérification est menée pour les situations de fonctionnement normal, incidentel et accidentel des réacteurs, d'une part en régime permanent en période de grand chaud, d'autre part dans des situations exceptionnelles (agression canicule).

Le référentiel « grands chauds » se décline en trois étapes :

- la caractérisation des températures extérieures susceptibles d'être rencontrées en période de « grands chauds » et en agression canicule (aléa) ;
- la réalisation d'études thermiques qui visent en particulier à calculer les températures ambiantes atteintes dans les locaux contenant les matériels importants pour la sûreté, pour les différentes situations retenues ;
- la vérification de l'existence d'une marge entre les températures dans les locaux précédemment calculées et les températures maximales admissibles des matériels.

Pour ce qui concerne la caractérisation de l'aléa, l'IRSN considère qu'EDF doit revoir certains aspects de sa méthodologie, notamment la période de retour considérée pour déterminer les températures caractéristiques d'une période de canicule. De plus, pour respecter les préconisations de WENRA, EDF a défini des températures « canicule WENRA » en appliquant une marge de 2°C aux températures caractéristiques de la canicule et a vérifié que les réacteurs de 900 MWe pouvaient y faire face. Pour l'IRSN, cette marge n'est pas suffisante au regard des incertitudes sur les températures extrêmes de période de retour décennales et certaines hypothèses de la démonstration que les réacteurs peuvent faire face à une « canicule WENRA » restent à justifier (débits de ventilation, apports calorifiques, prise en compte d'un MDTE ...).

Position n° 57 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère qu'EDF doit réévaluer les températures caractéristiques d'une période de canicule à retenir pour chaque site en tenant compte :

- d'une période de retour centennale (borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70 %), permettant de couvrir l'évolution climatique jusqu'au prochain réexamen de sûreté du site ;
- de tendances climatiques justifiées par rapport aux caractéristiques d'une région pertinente pour le site d'intérêt ;
- de valeurs enveloppes du retour d'expérience pertinent pour le site.

Pour ce qui concerne les études thermiques, l'IRSN relève que de faibles marges existent entre les températures calculées dans les locaux et les températures admissibles pour de nombreux matériels, notamment de sauvegarde. Cela constitue une fragilité de la démonstration de la protection des installations contre les « grands chauds », notamment au regard des incertitudes qui existent dans les calculs thermiques réalisés par EDF.

Par ailleurs, EDF n'a pas apporté la démonstration que les réacteurs de 900 MWe pouvaient faire face à une situation du domaine complémentaire (par exemple une perte totale des alimentations électriques) dans des conditions de température extérieure élevée.

Position n° 58 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère que les actions suivantes, prévues par EDF, sont nécessaires à l'atteinte des objectifs du réexamen de sûreté RP4 900 pour les situations de « grands chauds » :

- *la reprise des études et des hypothèses de découplage pour les locaux présentant des enjeux de sûreté importants et de faibles marges en température,*
- *la définition, le cas échéant, de dispositions pour garantir le respect des températures maximales admissibles des équipements concernés,*
- *la réalisation d'une campagne de mesure de température sur un réacteur en configuration VD4 dans ce type de locaux pour confirmer le caractère enveloppe de la démarche d'étude « grands chauds »,*
- *la réalisation d'études montrant la faisabilité du repli du réacteur en état sûr en considérant la défaillance électrique de la voie B (tableau LHB) au titre de l'aggravant en situation de « grands chauds ».*

Par ailleurs, l'IRSN considère que, dans le cadre du réexamen RP4-900, EDF devra évaluer la capacité des installations à faire face aux situations du domaine complémentaire pour des conditions de température extérieure élevée et montrer que ces situations peuvent être gérées avec un taux de couverture suffisant ou mettre en œuvre les modifications nécessaires. EDF devra de plus montrer que les situations de perte totale des alimentations électriques peuvent être gérées pour les températures extérieures du référentiel « grands chauds ».

Grands froids

Les réacteurs de 900 MWe ont été conçus en considérant une température de dimensionnement de -15°C. Les températures plus basses rencontrées durant les hivers de 1985 à 1987 ayant entraîné des incidents, un « référentiel grands froids » avait été développé par EDF pour vérifier la capacité des installations à faire face à des températures plus sévères. Ce référentiel a été conforté dans le cadre du réexamen RP4-900, en prenant notamment en considération les derniers éléments de veille climatique.

Compte tenu des modifications des installations ou de leurs conditions d'exploitation prévues par EDF, l'IRSN estime que la démonstration apportée par EDF relative à la maîtrise des risques liés à cette agression (hors îlots conventionnels des réacteurs de type CP2, EDF n'ayant pas encore transmis ces études) est globalement satisfaisante. EDF a également présenté une étude « grands froids » intégrant un aggravant pour l'îlot nucléaire du palier CPY dont les hypothèses et les résultats sont satisfaisants. Enfin, l'IRSN considère qu'EDF a démontré la capacité des réacteurs de 900 MWe à faire face à un aléa « grands froids WENRA ».

Tornades

EDF retient pour le réexamen RP4-900 une tornade d'intensité EF0 et considère que celle-ci est suffisante vis-à-vis des préconisations de WENRA, compte tenu de la fréquence d'occurrence qui lui est associée. L'aléa « tornades » à retenir pour le dimensionnement et pour le « noyau dur » et les caractéristiques des projectiles à considérer font l'objet d'un avis de l'IRSN en référence [45], dont la conclusion est rappelée dans la position

suivante. Selon l'IRSN, l'intensité de tornade retenue par EDF dans son référentiel RP4-900 n'est pas suffisamment enveloppe de l'historique des tornades survenues en France.

Position n° 59 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN estime que les SSC « hors noyau dur » doivent être protégés a minima pour une tornade d'intensité EF2, définie par la vitesse moyenne des vents caractérisant cette intensité (55,5 m/s), une variation maximale de pression de 2,4 kPa et une vitesse de chute de pression associée de 0,38 kPa/s.

L'IRSN estime que les SSC « noyau dur » doivent être protégés a minima pour une tornade d'intensité EF3, définie par la vitesse moyenne des vents caractérisant cette intensité (68 m/s), une variation maximale de pression de 3,6 kPa et une vitesse de chute de pression associée de 0,62 kPa/s.

Pour le site de Gravelines, avec un retour d'expérience significatif (une tornade d'intensité EF5 et plusieurs tornades d'intensité EF4 recensées dans un rayon de 50 km), l'IRSN estime que les SSC « noyau dur » doivent être protégés a minima pour une tornade d'intensité EF4, définie par la vitesse moyenne des vents caractérisant cette intensité (81,5 m/s), une variation maximale de pression de 5,2 kPa et une vitesse de chute de pression associée de 0,85 kPa/s.

L'IRSN estime que des projectiles forfaitaires doivent être systématiquement pris en compte, dans le cadre d'analyses déterministes, de type « planche de bois » et « billes d'acier » pour les SSC « hors noyau dur » et de type « automobile », « tube d'acier » et « bille d'acier » pour les SSC noyau dur.

Agresseurs de la source froide

L'IRSN considère que les évaluations menées par EDF dans le cadre du réexamen RP4-900 à l'égard des agressions de la station de pompage (plus basses eaux de sécurité, prise en glace, envasement, ensablement, frasil, hydrocarbures ou arrivée massive de colmatants) sont satisfaisantes. Pour les risques de frasil, EDF prévoit la mise en place lors de la VD4 d'un système de recirculation d'eau chaude pour tous les sites qui n'en sont pas déjà équipés, ce que l'IRSN estime satisfaisant. L'IRSN considère que les dispositions en place et les modifications prévues permettent de réduire les risques de perte de l'alimentation en eau de la station de pompage dans ces situations d'agression.

Environnement industriel et voies de communication

Dans le cadre du réexamen VD3-1300, EDF a mis à jour sa méthodologie d'analyse des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication. Des compléments à cette méthode ont été apportés dans le cadre du réexamen RP4-900. À l'issue de l'expertise de l'IRSN [46], EDF s'est engagé à présenter des évolutions méthodologiques concernant notamment l'estimation de la probabilité conditionnelle d'apparition d'un phénomène dangereux, le calcul de la probabilité qu'une fonction de sûreté étudiée ne soit plus garantie à la suite d'un nuage toxique et l'exclusion a priori de certains phénomènes dangereux. L'IRSN considère en outre que certains paramètres de l'analyse du risque industriel sont à réviser.

Position n° 60 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère que, pour l'analyse du risque industriel, EDF doit prendre en compte les paramètres suivants :

- un seuil de 3 kW/m² pour l'étude des flux thermiques,
- la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) comme seuil de référence pour évaluer les risques liés aux nuages toxiques sur les personnels,
- un rayon de 10 km pour la zone de recensement des dangers potentiels autour de chaque centrale nucléaire.

Les études des risques induits par l'environnement industriel et les voies de communication seront transmises par EDF, pour chaque réacteur, dans le cadre de son rapport de conclusion de réexamen.

Dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté et en réponse aux prescriptions ECS14 de l'ASN, EDF a transmis une évaluation des risques générés par les installations industrielles à proximité des centrales nucléaires de Gravelines et du Tricastin. Ces études ont fait l'objet d'expertises de l'IRSN en références [58] et [59] et de demandes de compléments par l'ASN en référence [60]. L'expertise de l'IRSN a fait apparaître des besoins de compléments, en termes d'études, de dispositions de protection des personnels ou des équipements « noyau dur » et de gestion de crise coordonnée entre les installations concernées.

Position n° 61 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté, l'IRSN rappelle qu'outre l'achèvement des études des risques générés par les installations industrielles à proximité des centrales nucléaires de Gravelines et du Tricastin, EDF devra définir des dispositions de protection des personnels, de gestion de crise (information rapide entre les installations concernées) et de protection des équipements « noyau dur ».

Agressions d'origine interne

Incendie

EDF a proposé des évolutions de méthodes pour l'évaluation des risques d'incendie pour les réacteurs de 900 MWe, dont la déclinaison va constituer une avancée significative pour la maîtrise des risques d'incendie. Parmi ces méthodes, la méthode de justification du dimensionnement de la sectorisation d'incendie (appelée PEPSSI), adaptée de l'EPR, a été appliquée dans un premier temps au bâtiment électrique.

EDF a également progressé sur les effets de pression en cas d'incendie et les effets des fumées sur les équipements pour répondre aux demandes de l'ASN sur ce sujet [3]. Certaines zones à enjeu ont été identifiées pour une analyse approfondie qui reste à finaliser pour le palier CPY et pour le site du Bugey.

À l'issue de de son expertise [46], l'IRSN considère qu'EDF doit, pour atteindre les objectifs du réexamen RP4 900 sur le thème de l'incendie, poursuivre son programme d'études et, suivant les conclusions de ces études, définir les dispositions de protection contre l'incendie jugées nécessaires.

Position n° 62 de l'IRSN

[compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère que les actions suivantes sont nécessaires à l'atteinte des objectifs du réexamen de sûreté pour la maîtrise des risques d'incendie :

- *la poursuite de l'application de la méthode PEPSSI de justification du dimensionnement de la sectorisation contre l'incendie,*
- *la consolidation des courbes de performance à l'incendie retenues par EDF dans la méthode PEPSSI pour chaque équipement de sectorisation,*
- la justification du caractère suffisant des protections des câbles électriques dont l'agression par un incendie conduirait à un mode commun et des moyens minimaux de conduite du local W606 des réacteurs du palier CPY, compte tenu des enjeux de sûreté associés et du faible écart entre la performance de ces protections et l'intensité de l'incendie susceptible de se produire dans ce local,
- la justification des points suivants pour l'étude des effets de pression en cas d'incendie et des effets des fumées sur les équipements :
 - les critères permettant de classer les masses combustibles PFL ou PFG¹⁵,

¹⁵ PFL : Possibilité de feu localisé ; PFG : Possibilité de feu généralisé

- l'étendue de la zone de dommage associée aux masses PFL (1 m sous plafond et cylindre de 1 m autour du foyer pour les fumées, 4 m pour le rayonnement thermique),
- les critères de dysfonctionnement des équipements électriques ou électromécaniques,
- l'achèvement des études des effets de pression en cas d'incendie et des effets des fumées sur les équipements,
- la finalisation de la prise en compte d'un aggravant dans les études d'incendie,
- *la finalisation de la prise en compte des délais opérateurs retenus à la conception de l'EPR (30 mn depuis la salle de commande, une heure en local), en cas d'incendie dans le BR (évaluation des effets de l'incendie) et pour certains locaux de relayage.*

Explosion

Dans sa lettre relative aux orientations du réexamen RP4-900 [3], l'ASN a demandé à EDF de prendre en compte les évolutions nécessaires de la démonstration de sûreté relative aux risques liés à l'explosion, notamment pour ce qui concerne la structuration de la démarche de défense en profondeur selon une approche proportionnée aux conséquences. Cette demande complète d'autres demandes formulées dans le cadre des réexamens VD3-1300 et VD2-N4 qui s'appliquent également au réexamen RP4-900.

À l'issue de l'expertise menée par l'IRSN [46], de nombreux compléments ont été planifiés par EDF concernant la maîtrise du risque d'explosion d'origine interne.

Collision et chute de charge

Pour le réexamen RP4-900, EDF a réalisé des études de « collision ou chute de charge » et a également analysé, compte tenu des demandes formulées par l'ASN [2], la fiabilité des opérations de levage par le pont polaire des réacteurs du palier CPY et les conséquences d'une collision ou d'une chute de charge dans le bâtiment du réacteur (BR).

L'IRSN considère que la démonstration de sûreté présentée par EDF pour les bâtiments autres que le BR est satisfaisante. En revanche, afin de finaliser la démonstration pour le BR, l'IRSN estime qu'EDF doit apporter des compléments pour ce qui concerne les chutes de charges manutentionnées par le treuil principal du pont polaire du BR et analyser les conséquences des collisions lors des manutentions effectuées à l'aide du pont polaire.

Position n° 63 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère que les actions suivantes sont nécessaires à l'atteinte des objectifs du réexamen de sûreté pour la maîtrise des risques de chute de charge et de collision :

- *la démonstration de l'absence de rupture des supports de cuve en cas de chute de charge depuis le treuil principal du pont polaire,*
- *la démonstration du respect des objectifs de sûreté en cas de chute des dalles RRA lors de leur manutention par le treuil principal du pont polaire,*
- *l'étude des conséquences d'une collision au cours d'une manutention dans le bâtiment du réacteur,*
- *l'étude des risques liés à l'utilisation du levage auxiliaire de la machine de chargement du Bugey,*
- *l'affectation d'un statut d'EDA (Équipements Dispositions Agression) aux dispositifs de sécurité du pont polaire du BR (treuil principal) et du pont lourd du BK.*

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

Pour le réexamen RP4-900, EDF a introduit des évolutions méthodologiques pour l'étude des inondations internes et des défaillances de tuyauterie. L'étude intègre désormais l'analyse des conséquences de l'inondation induite

par la rupture d'une tuyauterie véhiculant un liquide et agressée par les effets de la RTHE (elle-même susceptible de générer une inondation). L'effet d'un aggravant dans les études est également considéré.

L'IRSN estime que la nouvelle méthodologie mise en œuvre par EDF est globalement satisfaisante et présente certaines améliorations par rapport à celle utilisée précédemment. Certains compléments à la démonstration de sûreté doivent néanmoins encore être apportés par EDF. L'IRSN rappelle en outre l'importance du suivi en exploitation des tuyauteries.

Position n° 64 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère que les actions suivantes sont nécessaires à l'atteinte des objectifs du réexamen de sûreté pour la maîtrise des risques liés aux défaillances de tuyauteries - Inondations internes et ruptures de tuyauterie haute énergie (RTHE) :

- *examiner les conséquences en termes d'inondation interne de la défaillance des lignes de purge de DN inférieur ou égal à 25,*
- *identifier et classer IPS-NC les traversées de plancher ou de voile bouchées considérées étanches jusqu'à une hauteur d'eau de 15 cm,*
- *procéder à des essais de certains avaloirs et siphons de sol et examiner la suffisance des exigences associées à ces équipements,*
- *identifier les armoires électriques pouvant être affectées par des suintements depuis les gaines de ventilation et les protéger le cas échéant*,*
- *vérifier que les actions d'isolement de fuite en cas d'inondation interne sont réalisables dans les délais valorisés dans les études (20 mn en salle de commande, 30 mn en local), en tenant compte du temps effectivement nécessaire, lors des différents scénarios d'inondation possibles, pour identifier l'origine de la fuite ainsi que les organes à manœuvrer, et définir le cas échéant des dispositions dédiées ou montrer que les délais réévalués ne remettent pas en cause les conclusions des études,*
- *compléter l'étude de sensibilité aux délais d'actions des opérateurs retenus pour l'EPR de Flamanville (EPR FA3) pour les locaux dont la détection d'inondation repose sur des capteurs de niveau puisard et les locaux pour lesquels un requis d'étanchéité spécifique a été attribué aux traversées,*
- *vérifier la stabilité du voile de séparation des puits SEC voies A et B en cas d'inondation*,*
- *dans le cadre de la prise en compte d'un aggravant dans les études, identifier les vannes manuelles, siphons de sol ou caniveaux à enjeu de sûreté et renforcer les exigences associées le cas échéant*,*
- *compléter la liste des Équipements Dispositions Agression (EDA) valorisés dans les études de rupture de tuyauterie,*
- *achever les études d'inondation interne relatives au bâtiment du réacteur, montrant le respect des critères de sûreté en tenant compte des évolutions de référentiel.*

*des compléments ont été transmis récemment par EDF et jugés satisfaisants par l'IRSN.

Position n° 65 de l'IRSN [modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

Pour les réacteurs du Bugey, les modifications retenues à la suite des conclusions des études relatives aux inondations internes par défaillance de tuyauterie restent à préciser par EDF.

Défaillances de réservoirs, pompes et vannes - Projectiles internes

Dans le cadre du réexamen RP4-900, EDF a présenté des études détaillées des risques induits par des défaillances de réservoirs, pompes et vannes générant des projectiles internes, qui sont basées sur une méthodologie qui apparaît globalement acceptable en ce qui concerne les projectiles types, leur vitesse d'éjection et les risques

de perforation du génie civil. Des compléments qu'EDF s'est engagé à fournir dans le cadre du réexamen RP4-900 sont néanmoins nécessaires pour certains équipements.

Interférences électromagnétiques internes

Les interférences électromagnétiques sont dites internes lorsque les perturbations électromagnétiques sont générées dans le périmètre de l'INB. Les sources de perturbations électromagnétiques à considérer sur un site sont liées principalement à l'activité humaine ou industrielle. La conséquence d'une interférence électromagnétique interne peut être une défaillance temporaire ou permanente des équipements qui ne sont pas dimensionnés pour y faire face.

L'arrêté du 7 février 2012 (arrêté INB) rend obligatoire l'évaluation par l'exploitant des risques inhérents aux interférences électromagnétiques internes. L'IRSN considère que les dispositions d'installation et de montage des équipements électriques permettent d'atteindre les objectifs de protection visés pour la poursuite d'exploitation des réacteurs de 900 MWe. En outre, l'IRSN estime satisfaisantes, d'une part les modifications qui améliorent l'immunité des équipements de contrôle-commande rénovés face à leur environnement, d'autre part la mise en œuvre d'un guide de zonage renseignant les niveaux d'interférences électromagnétiques réels auxquels les équipements devront faire face dans le cadre de futures installations ou modifications de matériels.

4.7 Évaluation probabiliste de sûreté

EDF a transmis des évaluations probabilistes de sûreté (EPS) de niveaux 1 et 2 qui évaluent respectivement les risques de fusion du combustible et de rejets radioactifs pour le cœur des réacteurs et les piscines de désactivation du combustible. En cohérence avec les orientations du réexamen RP4-900, les évaluations d'EDF couvrent désormais les risques d'événements internes, d'incendie, d'inondation interne, d'explosion interne et de séisme. Ces études distinguent les réacteurs du palier CPY et du Bugey.

De plus, EDF a réalisé des évaluations probabilistes des risques d'inondation externes pour les sites de Saint-Laurent-des-Eaux, du Bugey et du Tricastin (crue fluviale) et pour le site de Gravelines (surcote marine).

Enfin, EDF a transmis des analyses probabilistes relatives aux scénarios de longue durée ainsi qu'aux dépendances entre deux tranches d'un même site dans les situations où elles seraient affectées par un même initiateur.

EDF vise pour le réexamen RP4-900 :

- une fréquence globale de fusion du cœur, incluant les agressions, inférieure à quelques 10^{-5} /année.réacteur (a.r.) ;
- à rendre extrêmement improbable le risque de rejets précoces et importants, et à éviter les effets durables dans l'environnement en cas d'accident avec fusion du cœur ;
- à rendre extrêmement improbable le découvrage des assemblages de combustible dans la piscine de désactivation en cas d'accident de vidange ou de perte de refroidissement.

Les conclusions des expertises de l'IRSN sont présentées dans les avis en références [43] et [44]. L'IRSN considère que les évaluations probabilistes d'EDF apportent un éclairage pertinent, en complément des études déterministes, sur les risques associés aux situations accidentelles, aux agressions ainsi qu'aux accidents graves et ont permis à EDF d'identifier des renforcements supplémentaires de ses installations¹⁶ ou d'apprécier le

¹⁶ Exemples de renforcements VD4-900 issus des EPS d'EDF : le remplacement des contacteurs des ventilateurs du système DVL qui assure le refroidissement des locaux électriques, la modification des conditions d'exploitation des locaux des batteries au regard du risque d'explosion d'hydrogène, l'évolution du contrôle-commande des soupapes SEBIM au regard du risque d'ordre d'intempestif d'ouverture en cas d'incendie, l'installation de siphons de sol dans les locaux des tableaux électriques de la

bénéfice pour la sûreté des modifications prévues. En particulier, les EPS de niveau 2 montrent l'intérêt des dispositions prévues pour réduire les rejets aériens et dans le sol et les EPS séisme et inondation font apparaître le bien-fondé des dispositions « noyau dur » pour renforcer les installations face à des agressions extrêmes. Parmi les événements et agressions internes à l'installation, l'incendie représente le risque prépondérant avec une contribution dominante des incendies survenant dans le bâtiment électrique, avec des liens concernant la disponibilité du noyau dur.

En complément des conclusions d'EDF, l'expertise de l'IRSN a conduit à identifier l'intérêt de modifications matérielles ou d'exploitation pour réduire certains risques identifiés par les EPS.

Position n° 66 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

À l'issue de l'examen des EPS transmises dans le cadre du réexamen RP4-900, l'IRSN considère qu'EDF doit :

- mettre en œuvre 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 de limiter le risque de fusion du cœur avec bipasse du confinement,
- prévoir 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,
- prendre des dispositions permettant de garantir l'alimentation électrique de la ligne de mitigation des accidents graves en cas d'agression interne survenant dans les locaux électriques de la voie A ou de défaillance de la ventilation des locaux de la voie A,
- s'assurer que les dispositions matérielles identifiées comme nécessaires à la prévention des risques de bipasse des protections dans les EPS inondation externes et postulées fiables font l'objet d'un suivi systématique en exploitation,
- *compléter les protections contre l'incendie des dispositions du « noyau dur » en tenant compte des risques évalués par l'EPS incendie (pourraient être concernés : les câbles électriques de l'ASG et d'alimentation du coffret LNE36OCR par le tableau LUU003TB et les câbles de contrôle-commande (voie B) pour le lignage automatique de l'alimentation de l'armoire LLS par le tableau LUU003TB),*
- quantifier, à l'état VD4, la fréquence des rejets aériens en cas d'accident de fusion du cœur résultant d'une agression interne et identifier les éventuelles modifications complémentaires à apporter à l'installation.
- *étudier les optimisations possibles de la conduite en accident grave compte tenu des enseignements des EPS de niveau 2.*

Des compléments sont également nécessaires pour assurer la bonne représentativité des modèles probabilistes par rapport à l'état réel des installations en fin de réexamen et vérifier que les modifications prévues permettent d'atteindre les objectifs du réexamen. EDF s'est engagé à apporter ces éléments. Cela concerne par exemple l'examen des scénarios d'inondation par propagation horizontale dans le bâtiment électrique ou celui des scénarios de perte du refroidissement de la piscine BK (système PTR) en cas d'incendie survenant dans le bâtiment électrique.

Dans ce cadre, EDF a apporté une justification probabiliste de la suffisance du renforcement au séisme noyau dur d'une motopompe ASG (disposition ASG-ND) existante, sans ajout d'une troisième motopompe. Ce sujet fait l'objet d'un examen au chapitre 4.2.

voie B, le renforcement au séisme des bâches à fioul des groupes électrogènes à moteur Diesel et, pour réduire le risque en cas d'inondation interne, l'implantation de siphons de sol dans les locaux électriques sensibles ou l'installation de seuils étanches.

4.8 Entreposage du combustible en piscine de désactivation

Dans le cadre des orientations RP4-900, l'ASN a estimé [1] que, malgré les modifications apportées aux piscines de désactivation du combustible depuis leur conception, leur niveau de sûreté restait en retrait par rapport à celui exigé pour les nouvelles installations et notamment pour le réacteur EPR FA3. Ainsi, pour l'ASN, « *les études de réévaluations de la sûreté des piscines doivent être conduites au regard des objectifs de sûreté applicables aux nouveaux réacteurs et la possibilité d'étendre la durée du fonctionnement des réacteurs devra être examinée au regard de « l'élimination pratique » du risque de fusion du combustible dans le bâtiment combustible (BK) » [1].*

L'entreposage du combustible en piscine de désactivation a fait l'objet de plusieurs avis de l'IRSN pour les réacteurs CPY et du Bugey, notamment les avis en références [33], [37], [43], [44], [46] et [61]. Ces avis abordent les situations accidentelles à considérer (situation de perte de refroidissement ou de vidange de la piscine, accident au cours de la manutention d'un assemblage, chute d'un emballage de transport) et les démonstrations de sûreté associées aux différentes études (domaine de dimensionnement, domaine complémentaire, conditions accidentelles de référence retenues pour le réacteur EPR, études probabilistes de sûreté, agressions, situations noyau dur) et les besoins de modification des installations ou de leur exploitation.

Pour prévenir le découverture des assemblages de combustible dans la piscine de désactivation en « situation noyau dur », EDF a prévu des dispositions permettant d'isoler certaines lignes d'aspiration ou de vidange en cas de baisse de niveau des piscines, d'ouvrir le BK afin de le maintenir à la pression atmosphérique et éviter ainsi des mouvements d'eau entre la piscine BK et la piscine BR lorsqu'elles sont en communication, d'éviter de noyer des systèmes importants pour la sûreté en cas de débordement de la piscine BK et, en cas de perte de refroidissement, de réaliser des appoints en eau puis, à terme, d'assurer une borication des piscines et de reprendre le refroidissement grâce à un système diversifié (le « PTRbis ») raccordé à des moyens mobiles. Par ailleurs, EDF prévoit de renforcer la surveillance en exploitation des composants assurant l'intégrité des piscines (cuvelage, manchettes souples et compensateurs en acier inoxydable des tubes de transfert, tronçons de tuyauterie non isolables). Ces dispositions constituent une avancée notable pour la sûreté.

L'IRSN a relevé qu'un ensemble de dispositions d'exploitation et de modifications additionnelles méritent d'être mises en œuvre par EDF dans le cadre du réexamen RP4-900 au regard de l'objectif d'élimination pratique du risque de fusion du combustible dans le BK.

Position n° 67 de l'IRSN

[modifications matérielles, de conduite ou d'exploitation]

L'IRSN considère que les dispositions suivantes relatives à l'entreposage et à la manutention du combustible doivent être mises en œuvre par EDF :

- des exigences garantissant la disponibilité de deux moyens d'appoint en eau diversifiés, permettant de compenser les pertes en eau par ébullition en cas d'accident ;
- l'automatisation de la deuxième vanne d'isolement ajoutée sur la ligne d'aspiration PTR ;
- la mise en place d'un écran thermique entre les deux pompes PTR et des dispositions de protection des câbles d'alimentation électrique des pompes PTR voies A et B ;
- la mise en place de dispositions permettant l'isolement d'une fuite du tronçon de tuyauterie PTR 005 TY dans le local K522 (tranche impaire)/K562 (tranche paire) en aval de la vanne PTR 001 VB ;
- le décalage dans le temps des opérations de ressuage d'assemblages de combustible dont la puissance résiduelle est suffisamment importante pour présenter un risque en cas d'incident ;
- pour les réacteurs du Bugey, des dispositifs destinés à limiter la sollicitation des structures du BK en cas de chute d'un emballage dans la fosse de chargement et dans la trémie de manutention ;
- l'interdiction, pour les réacteurs CPY, de la manutention d'un emballage de transport de combustible usé en présence d'eau dans la fosse de chargement (dans l'attente de la démonstration éventuelle de la résistance des voiles entre la fosse et la piscine, notamment au niveau de la porte de séparation, en

- tenant compte de l'influence des surpressions associées à la présence d'eau dans la fosse) ;
- des dispositions pour éviter le risque de perte par cavitation de la pompe du système PTRbis au moment de son démarrage alors que la piscine est en ébullition.

Par ailleurs, l'IRSN estime que plusieurs compléments d'études sont encore nécessaires au regard de la démonstration de sûreté attendue. Ceux n'ayant pas fait l'objet d'engagements d'EDF sont rappelés ci-dessous.

Position n° 68 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère que les compléments suivants doivent être apportés par EDF [61] :

- l'étude de la faisabilité de la redondance de l'isolement automatique des lignes de filtration de la piscine BR par la motorisation d'une vanne déjà en place sur cette ligne ;
- l'étude de la faisabilité du renforcement des exigences de sûreté associées aux équipements qui participent aux isolements redondants des tronçons isolables de la ligne d'aspiration du circuit de refroidissement de la piscine et de filtration de la piscine du bâtiment du réacteur ;
- l'étude des moyens à mettre en œuvre pour rendre extrêmement improbables avec un haut degré de confiance les situations, en nombre limité, pour lesquelles une reprise du refroidissement en boucle fermée ne peut pas être obtenue avec le PTRbis ou avec une autre disposition ;
- pour les études issues des PCC EPR :
 - la définition de critères techniques d'acceptation permettant de garantir un haut degré de confiance à la démonstration de l'absence de découvrement des assemblages de combustible,
 - la justification de l'absence de prise en compte de la défaillance passive parmi les aggravants,
 - la vérification que les inondations induites par les brèches sur les tronçons isolables des circuits PTR n'affectent pas les moyens de gestion de ces accidents ;
- l'identification de l'ensemble des conditions de fonctionnement accidentelles pouvant être induites par la défaillance, en cas de séisme, d'un équipement non classé sismique et leur étude en considérant le manque de tension externe, l'aggravant le plus pénalisant et les effets potentiellement induits par le séisme (inondation, accessibilité...).

Par ailleurs, le circuit « PTRbis » étant nécessaire à la démonstration de sûreté, EDF devra préciser les exigences associées à l'ensemble de ses équipements et justifier leur respect.

Enfin, le respect de tous les engagements pris par EDF au cours de l'expertise afin de renforcer la surveillance en exploitation des piscines et des composants participant à leur intégrité constituera une avancée notable pour la maîtrise du vieillissement de ces équipements. Cela concerne en particulier les contrôles renforcés du tube de transfert et de ses composants qui ont vocation, selon l'IRSN, à être pérennisés en étant intégrés dans les programmes de maintenance périodique.

Dans le cadre des orientations RP4-900, l'ASN a par ailleurs estimé que de nouvelles modalités d'entreposage devront permettre de limiter à un niveau aussi bas que raisonnablement possible l'inventaire radioactif en cours de désactivation dans les bâtiments du combustible des réacteurs en fonctionnement, puis demandé à EDF de préciser les actions qu'il comptait entreprendre pour atteindre cet objectif.

Sur ce sujet, l'IRSN considère que la mise en service, à l'horizon 2030, d'une piscine d'entreposage centralisé du combustible usé et l'agrément d'un emballage de transport de type TN 112 susceptible d'être utilisé à sa pleine capacité pour transporter les assemblages usés de type MOX sont des éléments importants qui pourraient permettre à terme d'évacuer de façon plus précoce les assemblages entreposés dans les piscines BK.

4.9 Bâtiments annexes de conditionnement des déchets (BAC)

L'IRSN a examiné les études menées par EDF concernant le réexamen de sûreté du bâtiment des auxiliaires généraux (BANG) du centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) du Bugey et des bâtiments des auxiliaires de conditionnement (BAC) des CNPE du palier CPY. Cet examen [63] fait apparaître que les études menées par EDF pour ces bâtiments ne répondent pas aux attentes d'un dossier de réexamen de sûreté et doivent faire l'objet de compléments. Ces compléments sont notamment nécessaires pour justifier le caractère

suffisant des dispositions retenues par EDF pour la maîtrise des risques de dissémination de substances radioactives, en particulier en cas d'incendie.

Position n° 69 de l'IRSN [compléments d'études, d'essais, de qualification ou de référentiels]

L'IRSN considère que les compléments suivants doivent être apportés au dossier de réexamen des BAC des CNPE du palier CPY et du BANG du CNPE du Bugey :

- *la consolidation des inventaires radiologiques présents dans les bâtiments sur la base du retour d'expérience des dix dernières années,*
- *la démonstration du caractère suffisant du volume des rétentions pour les eaux d'extinction d'incendie,*
- *la réalisation de l'examen de conformité pour chaque EIP (identification des exigences, contrôles), en incluant notamment l'identification et la justification des exigences associées aux équipements et dispositions permettant de limiter les risques de dissémination de substances radioactives,*
- *l'identification des risques associés aux opérations de manutention et des dispositions de prévention ou de limitation des conséquences, en particulier pour les opérateurs,*
- *la définition de situations incidentelles enveloppes par type d'opération réalisé et la démonstration que les dispositions retenues pour chacune d'elles permettent de limiter les conséquences pour les opérateurs d'une dissémination de substances radioactives,*
- *la justification du caractère enveloppe des scénarios d'incendie retenus et l'évaluation des conséquences radiologiques associées avec la prise en compte d'une fraction d'activité mobilisable pour les résines échangeuses d'ions en cas d'incendie,*
- *la démonstration que les dispositions en place permettent d'éviter un feu généralisé,*
- *la prise en compte des situations de grand chaud, grands froids, neige et vent et des scénarios liés à l'environnement industriel et aux voies de communication extérieures,*
- *pour le site de Chinon, l'étude de l'absence de propagation d'un incendie de l'huilerie au BAC.*

5 FACTEURS ORGANISATIONNELS ET HUMAINS

5.1 Organisation pour la conception, la réalisation et l'exploitation des modifications

À la demande de l'ASN, l'IRSN a examiné l'organisation mise en œuvre par EDF pour la conception, la réalisation et l'exploitation des modifications RP4 900, en tenant compte du retour d'expérience du troisième réexamen périodique de sûreté des réacteurs de 1300 MWe qui a montré des difficultés au moment de la réalisation des modifications, faute d'une préparation suffisante en amont et avec des situations de co-activité non compatibles lors des travaux. Cet examen [64] a fait apparaître qu'EDF a fait évoluer son organisation pour les VD4 900, avec notamment :

- un positionnement de la division production nucléaire (DPN), exploitant au niveau national, comme responsable de la validation des évolutions de référentiel de sûreté et des installations ;
- un renforcement de la connaissance des réalités du terrain chez les concepteurs ;
- une évolution du pilotage visant à renforcer la cohérence entre modifications ;
- une évolution du pilotage visant à améliorer la préparation des arrêts de tranche ;
- une adaptation des livrables aux utilisateurs (refonte du dossier de réalisation pour l'exploitant local et l'ingénierie locale) ;
- des dispositions visant à améliorer la cohérence entre les documents d'exploitation et l'état matériel de l'installation.

Par ailleurs, EDF a créé une entité spécifique, la « *design authority* » (DESA), dont les principales missions visent à garantir que l'état de conception des installations et leurs évolutions sont conformes aux référentiels de sûreté.

L'IRSN considère que les nouvelles dispositions d'EDF sont globalement satisfaisantes et devraient notamment conduire à une meilleure maîtrise du calendrier des opérations et des risques d'interaction entre modifications. De plus, les engagements d'EDF de capitalisation du retour d'expérience devraient permettre de sécuriser le déploiement des modifications sur tous les réacteurs du palier 900 MWe, en ajustant si nécessaire l'organisation mise en place pour les têtes de série. Le retour d'expérience qui sera fait à l'issue des visites décennales des réacteurs n°1 du site du Tricastin 1 et n°2 du site du Bugey sera à cet égard particulièrement utile.

5.2 Caractère opérationnel de l'organisation et des moyens de crise en situation extrême

À la suite de l'accident survenu à la centrale de Fukushima Dai-ichi, EDF a décidé de mettre en œuvre une démarche d'ensemble pour s'assurer du caractère opérationnel en situations extrêmes des dispositions existantes et nouvelles (organisation, moyens, faisabilité des actions des équipes locales ou extérieures, notamment de la Force d'action rapide nucléaire (FARN)). EDF s'appuie notamment sur le renforcement (initié avant l'accident de Fukushima Dai-ichi) de l'effectif de l'équipe de conduite en quart par un opérateur pilote de tranche, présent en permanence en salle de commande en supervision des deux opérateurs, et vérifie, par des essais de mise en situation sur simulateur pleine échelle, que cette équipe de conduite est en capacité de remplir les missions qui lui sont confiées en situation extrême.

Cette approche est satisfaisante sur le principe, mais la validation d'ensemble ne pourra être réalisée qu'après achèvement du déploiement de toutes les dispositions du « noyau dur » prévues dans le cadre des VD4 [65] et vérification que les matériels du « noyau dur » seront accessibles et pourront être manœuvrés en situations dégradées par les agents de terrain dans le cadre de procédures de conduite dédiées.

L'IRSN considère que les dispositions et les plans d'action relatifs à la FARN (avec un recrutement de 300 équipiers répartis sur quatre CNPE d'EDF et des actions de montée en compétence et de développement des capacités de résilience) sont globalement satisfaisants et rappelle l'importance de la fréquence des entraînements et des exercices impliquant la chaîne de commandement et des dispositifs de retour d'expérience [66].

5.3 Enjeux pour la poursuite d'exploitation

Dans ce domaine, le retour d'expérience, notamment au travers de l'analyse des déclarations d'événements significatifs pour la sûreté [67], montre les enjeux de sûreté associés à la rigueur d'exploitation et au maintien de la conformité des installations. Ces événements ont souvent pour origine des « non qualités » de maintenance, d'exploitation ou d'exécution de chantiers. L'expérience du terrain illustre le fait que des réalités opérationnelles (complexité du travail et des processus, disponibilités de compétences, contextes locaux ...) peuvent mettre en cause la sûreté de l'installation. L'efficacité des processus d'EDF (maîtrise du vieillissement des installations, maintien de leur conformité, gestion des compétences, maîtrise des actions sous-traitées...) devra faire l'objet d'une surveillance et d'une mesure continue.

6 REFERENCES

- [1] Saisine ASN CODEP-DCN-2020-021993 du 19 mars 2020 « Réacteurs de 900 MWe - EDF - Avis de synthèse de l'IRSN sur les expertises menées sur les études relatives à la phase générique des quatrièmes réexamens périodiques réacteurs de 900 MWe et expertises complémentaires relatives à la fonction recirculation des systèmes RIS et EAS, la nécessité de diversifier le système ASG, la tenue mécanique des assemblages, la méthode APRP BI, l'inondation interne ».
- [2] Lettre ASN - CODEP-DCN-2013-013464 du 28 juin 2013 « Programme générique proposé par EDF pour la poursuite du fonctionnement des réacteurs en exploitation au-delà de leur quatrième réexamen de sûreté ».
- [3] Lettre ASN - CODEP-DCN-2016-007286 du 20 avril 2016 « Orientations génériques du réexamen périodique associé aux quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe d'EDF (VD4-900).
- [4] [Avis IRSN/2016-00414 du 28 décembre 2016](#) « Examen du retour d'expérience des réacteurs à eau sous pression du parc nucléaire - Période 2012-2014 ».
- [5] [Avis IRSN/2019-00048 du 6 mars 2019](#) « EDF - REP - Vérification de la conformité des réacteurs de 900 MWe et de 1450 MWe ».
- [6] [Avis IRSN-2018-00277 du 11 octobre 2018](#) « EDF - REP - Tous paliers - Prise en compte du retour d'expérience d'exploitation - Défauts de fixation inter-colonnes des tableaux sources ».
- [7] [Avis IRSN/2018-00043 du 23 février 2018](#) « Maîtrise du vieillissement dans le cadre des quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe ».
- [8] [Avis IRSN/2020-00049 du 27 mars 2020](#) « Réacteurs électronucléaires de 900 MWe - EDF - Réponse EDF à la demande CONF n°5 de la lettre ASN sur les orientations génériques du réexamen périodique associé aux quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe (VD4 900) : essais particuliers pour les quatrièmes réexamens périodiques des réacteurs de 900 MWe ».
- [9] [Avis IRSN/2019-00293 du 20 décembre 2019](#) « Réacteurs électronucléaires de 900 MWe et 1450 MWe - Avis sur le confinement des réacteurs de 900 MWe et 1450 MWe associés respectivement à leur quatrième et deuxième réexamen périodique ».
- [10] [Avis IRSN/2013-00014 du 15 janvier 2013](#) « Modalités de réparation de la pénétration de fond de cuve n°4 de Gravelines 1 ».
- [11] [Avis IRSN-2018-00295 du 8 novembre 2018](#) « Dossier cuve - Viroles de cœur - Poursuite de l'exploitation jusqu'à la VD4+10 ans du palier 900 MWe ».
- [12] Lettre ASN - CODEP-DEP-2018-058304 du 28 février 2019 : « Tenue en service de la zone de cœur des cuves de réacteurs de 900 MWe pendant la période de 10 ans suivant leur quatrième visite décennale ».
- [13] [Avis IRSN n° 2019-00002 du 11 janvier 2019](#) « EDF - Réacteurs 900 MWe du palier CPY en gestion Parité MOX - Analyse des études d'accidents associées au quatrième réexamen de sûreté des réacteurs de 900 MWe (VD4 900 MWe) ».
- [14] [Avis IRSN n°2020-00050 du 30 mars 2020](#) « EDF - REP 900 - Réexamen VD4 900 - Expertises complémentaires relatives à la fonction recirculation des systèmes RIS et EAS, à la nécessité de diversifier le système ASG en situation noyau dur, à la capacité de refroidissement du cœur en APRP BI et à la tenue mécanique des assemblages de combustible ».
- [15] [Avis IRSN n°2020-00016 du 31 janvier 2020](#) « EDF - REP - Réexamen périodique associé à la quatrième visite décennale des réacteurs de 900 MWe du palier CPY - Bilan de puissance des groupes électrogènes de secours ».
- [16] [Avis IRSN n°2020-00052 du 27 mars 2020](#) « EDF - REP - Réexamen périodique associé à la quatrième visite décennale des réacteurs de 900 MWe du Bugey (palier CP0) - Bilan de puissance des groupes électrogènes de secours ».
- [17] [Avis IRSN/2015-00421 du 22 décembre 2015](#) « Agressions externes extrêmes retenues pour la mise en place du « noyau dur » des réacteurs à eau sous pression d'EDF ».
- [18] Lettre ASN-CODEP-DCN-2019-008620 du 29 mars 2019 « Réacteurs électronucléaires - tous paliers EDF - Autorisation de modification notable- Remplacement des joints d'étanchéité des tampons d'accès matériels (TAM), des portes des sas, des hublots des sas et des petits joints de montage ».
- [19] [Avis IRSN n°2019-00221 du 2 octobre 2019](#) « Poursuite de l'exploitation des réacteurs de 900 MWe jusqu'à la VD4+10 ans. Instruction du dossier cuve - viroles de cœur ».
- [20] [Avis IRSN/2018-00281 du 19 octobre 2018](#) « EDF - REP - Méthodologie et critère d'usure des manchettes thermiques des adaptateurs de couvercle de cuve ».
- [21] Décisions ASN n°2012-DC-0274 à n°2012-DC-0292 du 26 juin 2012 suite aux ECS.
- [22] Décisions ASN n°2014-DC-0394 à 0412 du 21 janvier 2014 à la suite du GPR sur le noyau dur (ECS-1).

- [23] [Avis IRSN/2016-00373 du 01/12/2016](#) « Réacteurs électronucléaires - EDF Instruction du volet démarche générale de conception du noyau dur Prescription ND 8-II, ND 10, ND 11 du 21 janvier 2014 ».
- [24] Lettre ASN-CODEP-DCN-2018-035797 du 19/12/2018 « Réacteurs électronucléaires - Démarche générale de conception du noyau dur Prescription ND 8-II, ND 10, ND 11 du 21 janvier 2014 ».
- [25] Arrêté du 7 février 2012 modifié fixant les règles générales applicables aux installations nucléaires.
- [26] Niveaux de référence WENRA applicables aux réacteurs nucléaires existants du 24 septembre 2014.
- [27] Guide ASN n°22 du 18/07/2017 « Conception des réacteurs à eau sous pression ».
- [28] [Avis IRSN n° 2017-00168 du 22 mai 2017](#) « Critères de tenue du combustible des réacteurs à eau sous pression ».
- [29] Lettre ASN CODEP-DCN-2019-010454 « Réacteurs électronucléaires - EDF - GP - Critères de tenue du combustible des réacteurs à eau sous pression ».
- [30] Lettre ASN - CODEP-DCN-2017-001478 du 12 janvier 2017 « Réacteurs électronucléaires - EDF Nouvelle méthode d'étude de l'accident de perte de réfrigérant primaire par brèche de taille intermédiaire.
- [31] [Avis IRSN/2019-00245 du 25 octobre 2019](#) : « EDF - réacteurs 900 MWe du palier CP0 en gestion CYCLADES - Analyse des études d'accident associées au quatrième réexamen périodique des réacteurs du Bugey (VD4 900 MWe CP0) ».
- [32] [Avis IRSN/2019-00041 du 27 février 2019](#) « EDF - Réacteurs électronucléaires de 900 MWe - Demande d'autorisation de mise en œuvre du dossier d'amendement « DA VD4 900 Palier CPY PMOX - Dossier d'amendement relatif à la gestion des situations H3 de tranche ».
- [33] [Avis IRSN-2018-00217 du 30 juillet 2018](#) « Réacteurs électronucléaires - EDF - Paliers 900 et 1450 MWe - Impact des événements PCC et des délais opérateur de l'EPR FA3 appliqués aux réacteurs du parc en exploitation ».
- [34] [Avis IRSN - 2018-00196 du 13 juillet 2018](#) « EDF - REP - Palier CPY - États techniques « VD3 » et « VD4 » - Palier 1300 - États techniques « VD2 » et « VD3 » - Palier N4 - États techniques « VD2 » - Modifications PNPP i797 - Installation d'un boremètre sur la décharge RCV ».
- [35] Lettre ASN - CODEP-DCN-2015-046507 du 9 février 2015 « Réacteurs électronucléaires EDF Palier 1300 MWe - Réexamen de sûreté associé à la troisième visite décennale des réacteurs (VD3 1300) - Revue de conception du système de protection intégré numérique- prise en compte de la pénalité de fléchissement ».
- [36] [Avis IRSN/2020-00009 du 20 janvier 2020](#) « Réacteurs électronucléaires - Palier CPY - EDF - Phénomène de remontée de flux neutronique en haut et bas de colonne fissile des assemblages de combustible MOX et anomalies de fabrication du combustible MOX - Mesure compensatoire de positionnement des grappes d'arrêt et des groupes de compensation de puissance à 222 pas ».
- [37] [Avis IRSN - 2017-000002 du 3 janvier 2017](#) « EDF - Réacteurs électronucléaires - Mise en place du noyau dur post-Fukushima - Prévention et maîtrise des situations accidentelles des réacteurs en exploitation ».
- [38] Lettre ASN CODEP-DCN-2019-013282 du 14 avril 2019 « Réacteurs électronucléaires - EDF - Stratégies de conduite des dispositions du noyau dur pour la prévention de la fusion du combustible en réacteur et en piscine.
- [39] [Avis IRSN 2017-0083 du 13/12/2017](#) « Réacteurs EDF - ECS-ND13 - Capacité des grappes de commande à chuter pour un séisme de niveau noyau dur ».
- [40] [Lettre ASN CODEP-DCN-2015-002998 du 9 février 2015](#) « Réacteurs électronucléaires - EDF- Projet EPR - Flamanville 3 - Dilution hétérogène inhérente lors d'une petite brèche ou d'une brèche intermédiaire sur le circuit primaire.
- [41] [Avis IRSN/2016-00211 du 22 juin 2016](#) « Maîtrise des accidents graves sur les réacteurs du parc en exploitation - Noyau dur post-Fukushima et projet d'extension de la durée d'exploitation ».
- [42] [Avis IRSN/2019-00051 du 13 mars 2019](#) « Réacteurs nucléaires du parc EDF en exploitation - Maîtrise des accidents graves après le déploiement des modifications post-Fukushima ».
- [43] [Avis IRSN/2019-00142 du 26 juin 2019](#) « EDF - Quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe - Examen des études probabilistes de sûreté de niveaux 1 et 2 ».
- [44] [Avis IRSN/2019-00282 du 13 décembre 2019](#) « EDF- Réacteur 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).
- [45] [Avis IRSN/2017-00088 du 14 mars 2017](#) « Risques liés aux tornades sur les installations d'AREVA, du CEA et d'EDF - Aléas à retenir pour les SSC « hors noyau dur » et les SSC « noyau dur ».
- [46] [Avis IRSN/2019-00019 du 6 février 2019](#) « EDF - Quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe. Examen des études relatives aux agressions internes et externes ».

- [47] [Lettre ASN CODEP-DCN-2019-009228 du 11 décembre 2019](#) « Orientations de la phase générique du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe d'EDF (RP4-1300) ».
- [48] [Lettre ASN CODEP-DCN-2016-016677 du 19 juillet 2016](#) « Réacteurs électronucléaires - EDF - Agressions externes extrêmes à prendre en compte pour la mise en place du « noyau dur ».
- [49] [Avis IRSN/2017-000371 du 29 novembre 2017](#) : « Site du Tricastin - Centrale nucléaire d'EDF et INB d'AREVA - Stabilité au séisme de la digue du canal de Donzère Mondragon ».
- [50] [Avis IRSN/2017-00289 du 14 septembre 2017](#) « Cahier des charges pour la construction de nouveaux spectres probabilistes pour les sites de Saint Alban, du Tricastin et de Fessenheim - Aléa sismique à retenir pour les SSC « noyau dur » ».
- [51] [Lettre ASN CODEP-DCN-2018-002381 du 8 février 2018](#) « Centrales nucléaires de Saint-Alban, Tricastin et Fessenheim - Séisme extrême à prendre en compte pour la mise en place du « noyau dur » ».
- [52] [Avis IRSN/2017-00118 du 31 mars 2017](#) « Réacteurs électronucléaires - EDF - Instruction de la prescription [ECS-ND9] du 21 janvier 2014 - Guides méthodologiques de capacité sismique ».
- [53] [Avis IRSN/2019-00133 du 19 juin 2019](#) « Réacteurs électronucléaires - EDF - instruction de la prescription [ECS-ND9] du 21 janvier 2014 - Guides méthodologiques de capacité sismique ».
- [54] [Lettre ASN CODEP-DCN-2015-001288 du 20 janvier 2015](#) : « Réacteurs électronucléaires - EDF - Réexamen de sûreté associé aux troisièmes visites décennales des réacteurs de 1300 MWe (VD3 1300) - Réévaluation sismique des matériels - Démarche DERESMA. »
- [55] [Avis IRSN/2018-00004 du 8 janvier 2018](#) « Réacteurs électronucléaires - EDF - Palier 1300 MWe - Instruction des réponses EDF aux demandes de l'ASN et aux engagements d'EDF formulées dans le cadre du réexamen périodique associé aux troisièmes visites décennales des réacteurs de 1300 MWe (VD3 1300) ».
- [56] [Avis IRSN/2019-00247 du 29 octobre 2019](#) « Réacteurs électronucléaires - EDF - Tous paliers - Instruction des études des conséquences pour la sûreté nucléaire d'un incendie de transformateurs ».
- [57] Courrier ASN CODEP-DCN-2011-029192 du 1^{er} août 2011 : « Réacteur Flamanville 3 (de type EPR) - Référentiel des exigences de sûreté de protection contre le risque d'incendie interne pour l'EPR (ETC-F indice G) et méthode EPRESSI ».
- [58] Avis IRSN/2015-00386 du 1^{er} décembre 2015 « EDF - Centrale nucléaire de Gravelines - INB 96, 97 et 12. Instruction de la réponse à la prescription technique PT-ECS-14 du 26 juin 2012 ».
- [59] [Avis IRSN/2016-00397 du 15/12/2016](#) « EDF - Centrale électronucléaire du Tricastin - INB 87 et 88 - Plateforme nucléaire AREVA du Tricastin - Évaluations complémentaires de sûreté - Instruction des réponses des exploitants aux prescriptions techniques relatives à la prise en compte du voisinage industriel ».
- [60] Courrier ASN CODEP-DCN-2018-011791 du 24 octobre 2018 : « Réacteurs électronucléaires - Centrales nucléaires de Gravelines, Saint Alban, Tricastin. Prescription ECS 14 - Evaluation des risques générés par les installations industrielles à proximité des centrales nucléaires dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté ».
- [61] [Avis IRSN n° 2019-00294 du 20 décembre 2019](#) « Réacteurs de 900 MWe - EDF - Avis sur la sûreté de l'entreposage et de la manutention du combustible des réacteurs français dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe ».
- [62] [Avis IRSN/2018-00318 du 6 décembre 2018](#) « Piscine d'entreposage centralisé d'assemblages combustibles usés d'EDF - Examen du dossier d'options de sûreté ».
- [63] [Avis IRSN n° 2020-00026 du 21 février 2020](#) : « EDF - Palier VD4 900 - Réexamen périodique du bâtiment des auxiliaires nucléaires généraux (BANG) des réacteurs du Bugey et des bâtiments auxiliaires de conditionnement (BAC) des réacteurs du palier CPY à l'occasion de leur quatrième visite décennale (VD4 900) ».
- [64] [Avis IRSN/2019-00083 du 17 avril 2019](#) « VD4-900 : Examen de l'organisation d'EDF pour la conception, la réalisation et l'exploitation des modifications ».
- [65] [Avis IRSN/2016-00393 du 16 décembre 2016](#) « Examen de la méthode de dimensionnement des effectifs déclinée par EDF pour gérer les situations extrêmes - Suite des évaluations complémentaires de sûreté ».
- [66] [Avis IRSN/2018-00178 du 29 juin 2018](#) « Examen des dispositions de formation et de préparation aux situations extrêmes stressantes mises en œuvre par EDF - Le cas de la FARN ».
- [67] [Avis IRSN/2019-00194 du 7 août 2019](#) « EDF - REP - Analyse du retour d'expérience - Tendances issues des déclarations d'événements significatifs pour la sûreté d'EDF pour l'année 2018 ».