

Fontenay-aux-Roses, le 11 janvier 2019

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2019-00002

Objet : 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)

- Réf. [1] Lettre ASN - CODEP-DCN-2013-013464 du 28 juin 2013
[2] Lettre ASN - CODEP-DCN-2016-007286 du 20 avril 2016
[3] Lettre ASN - CODEP-DCN-2018-008858 du 3 décembre 2018
[4] Lettre ASN - CODEP-DCN-2017-001478 du 12 janvier 2017
[5] Lettre ASN - CODEP-DCN-2015-002998 du 9 février 2015
[6] Avis IRSN - 2017-00168 du 22 mai 2017
[7] Guide ASN - n°22 - Version du 18 juillet 2017
[8] Avis IRSN - 2018-00217 du 30 juillet 2018
[9] Lettre ASN - CODEP-DCN-2015-046507 du 24 décembre 2015
[10] Avis IRSN - 2018-00196 du 13 juillet 2018
[11] Lettre ASN - CODEP-DCN-2018-025483 du 12 juillet 2018

En vue de poursuivre l'exploitation des réacteurs du palier CPY de 900 MWe exploités en gestion de combustible PARITE MOX au-delà de leurs quatrième visites décennales (VD4 900), Électricité de France (EDF) a déposé le 20 septembre 2017, auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), une demande d'autorisation accompagnée d'un dossier comportant notamment le rapport de sûreté (RDS) de ces réacteurs et les études réalisées en support à leur démonstration de sûreté.

Le réexamen périodique associé aux VD4 900 s'inscrit dans un contexte particulier puisqu'en 2009, EDF a fait part de sa volonté de prolonger la durée de fonctionnement des réacteurs au-delà de 40 ans, durée qui constituait l'hypothèse initiale de conception de certains équipements. A la suite de l'instruction du programme de travail correspondant d'EDF, l'ASN a notamment estimé, par lettre citée en référence [1], que les réacteurs actuels devaient être améliorés, d'une part au regard des objectifs de sûreté applicables aux nouveaux réacteurs, d'autre part afin de réduire encore, autant que raisonnablement possible, l'impact radiologique des accidents.

Par ailleurs, en 2015, à l'issue de l'instruction des orientations retenues par EDF pour le réexamen périodique associé aux VD4 900, l'ASN a pris position, par lettre citée en référence [2], sur ces orientations et a indiqué les éléments supplémentaires qu'EDF devait transmettre afin d'apporter la démonstration de sûreté attendue. Ce réexamen périodique doit ainsi permettre d'améliorer le niveau de sûreté des réacteurs de 900 MWe en tenant compte du retour d'expérience du parc électronucléaire français et international, de l'évolution des

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

connaissances ainsi que des objectifs de sûreté applicables aux nouveaux réacteurs, comme l'EPR de Flamanville.

Depuis, EDF a réexaminé l'ensemble des études d'accidents (les études des conditions de fonctionnement de dimensionnement, les études des conditions de fonctionnement complémentaires, les études justificatives particulières et les études probabilistes de sûreté relatives au risque de fusion du cœur permettant notamment de consolider la liste des conditions de fonctionnement complémentaires) et a réévalué les conséquences radiologiques des accidents des domaines de dimensionnement et complémentaire. Pour les études de ces accidents, EDF s'est fixé deux objectifs principaux :

- « *respecter les critères de sûreté des études d'accidents en intégrant les évolutions de connaissance* » ;
- « *tendre vers 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).

De plus, EDF a fourni les réponses aux actions qu'il a retenues et aux demandes formulées par l'ASN dans le cadre de l'instruction des orientations du réexamen périodique associé aux VD4 900. Enfin, EDF a réalisé une revue de la fonction « recirculation RIS-EAS »¹ dont l'objectif est de démontrer sa conformité aux exigences de sûreté.

Dans ce contexte, par lettre citée en référence [3], l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur :

- « *le corps d'hypothèses ainsi que les codes et méthodes utilisés dans les études de sûreté : gestion et produit combustible, point de fonctionnement, prise en compte des modifications déployées en lien avec le réexamen, prise en compte dans la démonstration de sûreté des anomalies d'études identifiées par EDF* ;
- *les reprises d'études d'accidents transmises par EDF : études d'accidents du domaine de dimensionnement et du domaine complémentaire, études de masses et énergies libérées dans l'enceinte de confinement, études des conséquences radiologiques (dans le domaine de dimensionnement et dans le domaine complémentaire) et études justificatives particulières (interaction pastille-gaine, accident de perte réfrigérant primaire, dilution inhérente) ;*
- *l'application par EDF d'un ensemble de nouveaux référentiels : référentiel d'évaluation des conséquences radiologiques, référentiel de l'accident de perte de réfrigérant primaire, démarche du domaine complémentaire rénové pour identifier les dispositions complémentaires ;*
- *la démarche adoptée pour la démonstration de sûreté des recharges permettant notamment de couvrir la variabilité des plans de chargement ;*
- *les réponses apportées par EDF aux demandes de l'ASN formulées à la suite des séances du GPR sur les orientations du quatrième réexamen périodique des réacteurs 900 MWe (référence [2]) et sur la durée de fonctionnement (référence [1]), notamment la prise en compte de l'état prévisible du combustible (conditionnement mécanique des crayons de combustible, déformation latérale des assemblages de combustible, crayons de combustible inétanches) et la couverture de la démonstration de sûreté pour l'ensemble des cycles de fonctionnement des réacteurs ;*

¹ Dans les situations de brèche du circuit primaire d'un réacteur non compensable par le système de contrôle volumétrique et chimique (RCV), il est nécessaire, pour maintenir le refroidissement du cœur, d'injecter la quantité d'eau borée compensant la perte à la brèche. Cet apport s'effectue par le système d'injection de sécurité (RIS), d'abord en haute puis en basse pression. Afin de faire diminuer la pression dans le bâtiment du réacteur, il peut également être nécessaire de procéder à une aspersion dans l'enceinte à l'aide du système d'aspersion (EAS). L'eau nécessaire à ces actions est initialement issue de la bache PTR et des accumulateurs RIS. Lorsque la bache PTR atteint son niveau bas, les circuits RIS et EAS basculent automatiquement en mode « recirculation », lors duquel ils recyclent dans le circuit primaire, d'une part l'eau aspergée dans l'enceinte, d'autre part l'eau perdue à la brèche. L'eau est récupérée en fond du bâtiment du réacteur dans des puisards équipés de filtres pour la recirculation.

- *les éléments apportés par EDF concernant la conformité de la fonction de recirculation des systèmes d'injection de sécurité et d'aspersion de secours dans l'enceinte du bâtiment réacteur conformément à la demande formulée par l'ASN dans la lettre en référence [2] ».*

L'ASN demande également à l'IRSN de « *prendre en compte les questions soulevées au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI² qui montrent un besoin particulier d'information et d'explications (réurrence de la thématique abordée par la question, risque fort perçu par le public) ».*

Il est à noter que, comme convenu avec l'ASN, les modifications matérielles et des règles générales d'exploitation déclarées par EDF dans le cadre du réexamen périodique associé aux VD4 900 feront l'objet d'expertises séparées de l'IRSN ; les avis correspondants pourront toutefois conduire l'ASN à formuler des demandes nécessitant des évolutions des études analysées ci-dessous ou la réalisation de nouvelles études.

De manière générale, EDF a repris l'intégralité de la démonstration de sûreté des réacteurs CPY de 900 MWe exploités en gestion de combustible PARITE MOX. Nonobstant les réserves émises ci-dessous concernant certaines études, l'IRSN considère cette démarche adaptée au cadre d'un réexamen périodique associé à la prolongation de la durée de fonctionnement de réacteurs.

L'analyse des études d'accidents, dont les conclusions sont présentées dans cet avis, porte sur les réacteurs de 900 MWe du palier CPY exploités en gestion de combustible PARITE MOX (paragraphes 1 à 5 ci-après). Pour ce qui concerne l'analyse de la fonction « recirculation RIS-EAS », les conclusions présentées au paragraphe 6 s'appliquent aux réacteurs de 900 MWe du palier CPY et du Bugey.

Les études d'accidents des réacteurs du Bugey sont en cours d'expertise par l'IRSN et feront l'objet d'un avis ultérieur. Les études d'accidents des réacteurs du palier CPY exploités en gestion de combustible GARANCE³ n'ont pas encore été transmises par EDF et feront l'objet d'une expertise ultérieure.

1. Corps d'hypothèses des études d'accidents

Le corps d'hypothèses des études d'accident du référentiel associé aux troisièmes visites décennales (VD3) est en grande partie reconduit pour les études du référentiel VD4, tout en intégrant des changements provenant de l'évolution de l'état de l'art et des connaissances, des conclusions d'expertises réalisées précédemment ou d'évolutions réglementaires récentes.

Pour ce qui concerne les évolutions du référentiel des études de sûreté, EDF intègre en VD4 :

- des évolutions de critères relatifs à la tenue du combustible ;
- le nouveau référentiel d'étude de l'accident par perte de réfrigérant primaire pour lequel EDF a notamment développé une nouvelle méthode d'étude nommée « CathSBI » ;
- le référentiel « criticité » qui prescrit plusieurs critères relatifs à la maîtrise de la réactivité dans les états d'arrêt où la cuve du réacteur est ouverte ;
- le domaine complémentaire « rénové » ;
- la prise en compte du colmatage des plaques entretoises des générateurs de vapeur ;
- la prise en compte de la variabilité des recharges en combustible⁴ ;

² Association nationale des comités et commissions locales d'information.

³ Il s'agit, à l'heure actuelle, des réacteurs de Cruas et de deux des réacteurs du Blayais.

- les modifications matérielles et des règles générales d'exploitation qui seront mises en œuvre lors des VD4 900 ;
- la prise en compte de phénomènes physiques non considérés jusqu'alors dans les études, mais qui ont des effets défavorables sur la démonstration de sûreté. Cela concerne en particulier la déformation latérale attendue en fonctionnement normal des assemblages⁵, le conditionnement mécanique des crayons de combustible⁶, la présence de crayons inétanches⁷ et le phénomène de remontée de flux neutronique aux extrémités des colonnes fissiles des crayons de combustible MOX⁸ ;
- la résorption des anomalies d'études connues affectant la démonstration de sûreté du référentiel VD3.

L'IRSN estime que les évolutions du référentiel des études VD4 sont satisfaisantes dans leur principe, en réponse au premier objectif qu'EDF s'est fixé pour ce réexamen. L'IRSN précise, notamment en réponse à des questions soulevées au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI, que les initiateurs et les scénarii des incidents et des accidents étudiés dans la démonstration de sûreté sont les mêmes que ceux du référentiel VD3⁹. Les études de ces incidents et accidents sont complétées par l'évaluation du comportement des réacteurs de 900 MWe en retenant les événements et délais d'action de l'opérateur issus des études de sûreté de l'EPR de Flamanville. L'analyse de l'IRSN sur cette évaluation est présentée dans l'avis cité en référence [8], dont les principales conclusions sont rappelées ci-dessous.

Les logiciels de calcul utilisés pour la démonstration de sûreté font chacun l'objet d'un dossier de validation. **Si l'expertise de l'IRSN a révélé des besoins d'amélioration ou de complément de validation pour certains d'entre eux, ces réserves ne mettent toutefois pas en cause leur utilisation dans le cadre des études VD4.**

Par ailleurs, EDF met en œuvre de nouvelles méthodes d'étude qui visent à intégrer les évolutions de l'état des connaissances ou à bénéficier de méthodes développées et acceptées par l'ASN pour l'EPR de Flamanville. **Hormis pour la méthode CathSBI et pour la méthode d'étude de la dilution inhérente à l'accident par perte de réfrigérant primaire, qui n'ont pas été considérées comme acceptables à ce jour (cf. références [4] et [5]), l'IRSN estime que les méthodes présentées sont déclinées de manière satisfaisante dans les études VD4 900 CPY en gestion de combustible PARITE MOX.**

La conception des assemblages de combustible et des grappes de commande est identique à celle retenue dans le référentiel VD3 900 actuellement en application pour les réacteurs du palier CPY. **L'IRSN estime qu'EDF a apporté la démonstration du bon comportement de ces composants dans les situations normale, incidentelle et accidentelle, hormis pour ce qui concerne l'absence de flambage des grilles d'assemblage en situation « d'accident de référence¹⁰ ». Sur ce point, l'IRSN a émis la recommandation n° 4 dans l'avis cité en référence [6] et EDF a pris des engagements dans le cadre de la présente expertise.**

⁴ Cette variabilité se caractérise par des fluctuations des caractéristiques générales des recharges standard prévues initialement et résulte de la nécessité de gérer des événements courants d'exploitation, de planifier les arrêts de réacteurs, de renouveler les assemblages en réserve de gestion...

⁵ Les assemblages de combustible se déforment latéralement pendant leur irradiation dans le réacteur ce qui conduit à plusieurs effets, notamment une augmentation de la puissance neutronique en périphérie de certains assemblages.

⁶ Le comportement thermomécanique des crayons de combustible pendant des variations de puissance, liées à des transitoires d'exploitation normale, est susceptible de pénaliser l'état initial de transitoires incidentels.

⁷ Différentes causes, dont la présence de corps migrants dans le circuit primaire, peuvent conduire, en fonctionnement normal, à la perte d'étanchéité de quelques gaines de crayons de combustible du cœur du réacteur.

⁸ Ce phénomène a récemment été mis en évidence par EDF. Il se produit pendant le fonctionnement normal en bas et en haut de l'empilement des pastilles de combustible contenues dans les crayons des assemblages de combustible MOX.

⁹ Cette liste d'initiateurs résulte d'une analyse réalisée à la conception, complétée au fur et à mesure des réexamens, tenant compte des caractéristiques de fonctionnement des systèmes utilisés en fonctionnement normal et en cas d'incident ou d'accident.

¹⁰ Cumul des effets d'un séisme et d'un accident par perte de réfrigérant primaire.

De plus, EDF prévoit, à partir de la VD4 900 et dans la continuité des plans de chargement du cœur à faible fluence¹¹, la mise en œuvre d'une modification visant à réduire le flux neutronique reçu par la cuve pour limiter son vieillissement. Cette modification consiste à introduire des grappes absorbantes fixes, constituées de 24 barreaux en hafnium, dans les 12 assemblages de combustible positionnés en périphérie du cœur, aux extrémités des axes médians face aux secteurs de la cuve les plus exposés au flux de neutrons¹². **EDF a démontré de manière satisfaisante que ces grappes fixes, qui feront l'objet d'un programme de surveillance, sont compatibles avec la conception actuelle des assemblages.**

L'IRSN précise, notamment en réponse à des questions soulevées au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI, que :

- les matériaux de gainage des crayons de combustible sont le M5 pour les assemblages de conception FRAMATOME et le ZIRLO pour les assemblages de conception WESTINGHOUSE. Ces deux matériaux présentent une résistance accrue à la corrosion par rapport aux conceptions antérieures (voir l'analyse de l'IRSN présentée en référence [6]). De nombreux contrôles sont réalisés lors des différentes opérations, de la fabrication jusqu'à l'introduction en cœur, dans le but de s'assurer de la conformité de ces assemblages aux spécifications techniques ;
- les cœurs des réacteurs CPY de 900 MWe exploités en gestion de combustible PARITE MOX sont composés de 157 assemblages de combustible et comportent 61 grappes de commandes utilisées pour contrôler et arrêter la réaction en chaîne. La suffisance de ces grappes est vérifiée par les études du rapport de sûreté qui doivent démontrer le respect de plusieurs critères relatifs à la maîtrise de la réactivité (l'analyse correspondante est présentée ci-dessous). Leur efficacité réelle en exploitation est vérifiée par des essais permettant de mesurer leurs effets neutroniques et leur insertion rapide et complète en cas de signal d'arrêt automatique du réacteur.

Pour ce qui concerne la conception thermohydraulique du cœur, EDF utilise, pour les VD4 900, la corrélation de flux critique¹³ FC2002r développée pour les assemblages de l'EPR de Flamanville. L'IRSN estime que les éléments apportés par EDF permettent de justifier son applicabilité aux assemblages de conception FRAMATOME utilisés dans les réacteurs de 900 MWe. Cependant, l'applicabilité de cette corrélation aux assemblages de conception WESTINGHOUSE n'est, selon l'IRSN, pas démontrée à ce jour¹⁴.

Par ailleurs, le phénomène de fléchissement des crayons¹⁵ modifie la modération des neutrons entre les crayons de combustible, ce qui conduit à une augmentation locale de la puissance linéique du combustible. Dans le cadre de la VD3 des réacteurs de 1300 MWe, l'ASN a demandé à EDF, par lettre citée en référence [9], qu'EDF tienne compte de manière déterministe de ce phénomène, dont les logiciels de calcul utilisés ne peuvent pas prédire l'occurrence. **Cette question étant générique, l'IRSN estime que cette demande doit être reconduite dans le cadre des VD4 900.**

¹¹ La fluence représente la quantité totale de neutrons reçue par unité de surface par la cuve du réacteur.

¹² EDF réalise actuellement une expérimentation dans le réacteur 3 de la centrale du Tricastin avec l'introduction anticipée de telles grappes à des fins de retour d'expérience.

¹³ La corrélation de flux critique permet, en fonction des conditions thermohydrauliques locales (pression, température, vitesse massique du réfrigérant) de prédire le flux critique, c'est-à-dire le niveau de flux thermique qui conduirait à l'apparition de la crise d'ébullition conduisant à une forte dégradation des conditions de refroidissement du combustible. Cette corrélation est notamment utilisée pour dimensionner les alarmes et les protections du cœur du réacteur.

¹⁴ Le premier rechargement d'assemblages de combustible WESTINGHOUSE dans une tranche « VD4 900 » n'est prévu qu'en 2021.

¹⁵ Contrairement à la déformation latérale évoquée ci-dessus qui concerne tous les crayons de combustible d'un assemblage, le fléchissement est une déformation affectant un crayon, se produisant entre deux grilles de l'assemblage, et consistant en une arcure de la portion de crayon concernée. C'est un phénomène pris en compte dans la démonstration de sûreté depuis la conception initiale des réacteurs de 900 MWe.

2. Études des conditions de fonctionnement de dimensionnement

L'ensemble des études des conditions de fonctionnement de dimensionnement de catégories 2, 3 et 4 a été mis à jour par EDF. Des études supplémentaires, en particulier à la suite de l'instruction des orientations du réexamen périodique associé aux VD4 900, sont également présentées par EDF (notamment l'impact sur la démonstration de sûreté de la prise en compte de la déformation latérale des assemblages, du conditionnement mécanique des crayons et des cœurs mixtes¹⁶), ainsi que des études de robustesse (notamment la prise en compte du cumul d'un manque de tension électrique externe et l'évaluation du comportement des réacteurs de 900 MWe en retenant les événements et délais d'action de l'opérateur issus des études de sûreté de l'EPR de Flamanville).

L'IRSN a réalisé une analyse détaillée des études présentant un enjeu de sûreté important (études participant au dimensionnement d'un système de protection ou de sauvegarde ou dont le niveau de conservatisme est réduit ou dont les marges aux critères d'étude sont faibles) ou faisant l'objet d'une évolution significative par rapport aux études VD3. **A l'issue de son analyse, l'IRSN estime que les études d'EDF démontrent en général, moyennant certains compléments qu'EDF s'est engagé à fournir, le respect des critères de sûreté. Cependant, à ce stade, la démonstration de sûreté n'est pas complète sur les points suivants.**

1) Pour ce qui concerne la prise en compte de la déformation latérale des assemblages, **l'IRSN estime qu'EDF a correctement évalué l'amplitude des déformations attendues en réacteur et son effet sur la distribution de puissance neutronique au sein des assemblages.** Cette démarche a conduit EDF à développer de nouvelles méthodes d'étude basées sur des modélisations du cœur du réacteur en trois dimensions visant à justifier le respect des critères de certaines études. **Cependant, la démonstration d'EDF doit être complétée pour ce qui concerne les impacts thermohydraulique et mécanique des déformations.** En particulier, l'analyse d'EDF relative à l'impact thermohydraulique suppose que la corrélation de flux critique FC2002r reste applicable en périphérie d'assemblages déformés. Cependant, l'IRSN estime qu'EDF ne dispose pas d'essais simulant la crise d'ébullition dans des conditions représentatives de cette configuration, essais qui sont nécessaires pour justifier cette hypothèse. **L'IRSN formule donc la recommandation n°1 en annexe.**

2) Pour ce qui concerne l'étude de dilution d'acide borique :

- pour les états en arrêt normal avec aucun groupe motopompe primaire (GMPP) en fonctionnement et pour les états d'arrêt pour intervention et pour rechargement, la démonstration repose désormais sur l'utilisation d'un boremètre installé sur la ligne de décharge du système de contrôle chimique et volumétrique (RCV) du circuit primaire principal (CPP). Cette modification matérielle, jugée acceptable par l'IRSN, fait l'objet de l'avis cité en référence [10] dans lequel plusieurs recommandations sont applicables aux référentiels VD4 900 ;
- l'IRSN estime, comme indiqué dans l'avis cité en référence [8], que le scénario de dilution résultant de la rupture franche doublement débattue d'un tube d'échangeur du circuit d'étanchéité des pompes primaires dans les états réacteur en puissance et en arrêt normal (avec et sans groupe motopompe primaire en service), actuellement analysé dans le domaine complémentaire, doit être retenu comme condition de fonctionnement de dimensionnement ;

¹⁶ EDF charge dans certains de ses réacteurs, notamment les réacteurs 900 MWe CPY exploités en gestion PARITE MOX, des assemblages de conceptions différentes. On parle de « cœurs mixtes ». Les différences de perte de charge entre assemblages voisins conduisent à des effets réduisant les marges de sûreté dont il faut tenir compte dans les études.

- pour les états en puissance, l'aggravant considéré¹⁷ est le blocage de la grappe la plus anti-réactive en position haute lors de l'arrêt automatique du réacteur. Or, une défaillance de vanne du groupe de contournement de la turbine vers le condenseur ou vers l'atmosphère pourrait survenir lors de son ouverture rapide à la suite de l'arrêt automatique du réacteur, ou ultérieurement, et conduire au maintien ouvert de cette vanne ; cette défaillance pourrait s'avérer plus pénalisante que l'aggravant retenu par EDF. Une telle défaillance sur une vanne de technologie similaire a été rencontrée en 2008 lors d'un incident sur le réacteur n°1 de la centrale de Saint Alban. **L'IRSN formule donc la recommandation n°2 en annexe.**

3) **Pour ce qui concerne l'étude d'éjection d'une grappe conduisant à solliciter l'arrêt automatique du réacteur sur un signal basé sur des mesures neutroniques, la démonstration apportée par EDF, composée de multiples analyses liées entre elles, est, à ce jour, incomplète.** Les engagements pris par EDF à l'issue de l'expertise, en particulier concernant la prise en compte du conditionnement mécanique des crayons de combustible et les cas d'éjection initiés en puissance, sont de nature à apporter les compléments nécessaires.

4) **Pour ce qui concerne l'étude d'éjection d'une grappe conduisant à solliciter l'arrêt automatique du réacteur sur un signal de basse pression du pressuriseur, la démonstration nécessite des compléments, qu'EDF s'est engagé à apporter, pour tenir compte de l'impact thermohydraulique de la déformation latérale des assemblages et des cœurs mixtes.** Le respect des critères de sûreté dans ces cas pourrait, selon l'IRSN, nécessiter une modification du seuil de protection du réacteur par signal de basse pression du pressuriseur.

5) **Pour ce qui concerne l'étude de l'accident par perte de réfrigérant primaire, compte tenu des réserves actuelles sur la méthode CathSBI et des résultats d'étude présentés, EDF s'est engagé à mettre en œuvre plusieurs modifications pour réduire les risques de perte d'intégrité de crayons de combustible au cours de ce transitoire¹⁸.** L'IRSN estime cet engagement satisfaisant et souligne que les gains de sûreté apportés par les modifications qu'EDF mettra en œuvre devront *in fine* être quantifiés avec la méthode mise à jour, en prenant en compte les réserves actuelles.

6) La conduite par l'opérateur prévue en cas de rupture d'un tube de générateur de vapeur 4^{ème} catégorie, qui est présentée par EDF, implique un nombre important de démarrages et d'arrêts du système d'injection de sécurité avec des délais très réduits entre chaque opération. Cette conduite apparaît difficile, voire impossible, à mettre en œuvre en pratique. **EDF n'a pas apporté à ce jour la démonstration d'une conduite opérationnelle permettant d'atteindre l'état sûr en cas de rupture d'un tube de générateur de vapeur de 4^{ème} catégorie.** A cet égard, EDF s'est engagé à proposer une nouvelle conduite par l'opérateur à l'échéance des études associées à la phase B¹⁹ des VD4 900 ; cette action est satisfaisante mais l'IRSN estime qu'EDF devra la mettre en œuvre sans attendre.

7) La chaîne de mesure de la vitesse de rotation des pompes primaires permet notamment de détecter l'arrêt des pompes provoquée par la perte des alimentations électriques externes. Or, certains composants de cette chaîne ne sont pas qualifiés à l'ambiance dégradée résultant d'une rupture de tuyauterie primaire ou secondaire. EDF prévoit, si c'est faisable, de qualifier cette chaîne de mesure à l'ambiance dégradée lors de la phase B des VD4. **Cette action est acceptable sur le principe, mais l'IRSN estime que l'absence de qualification à l'ambiance dégradée de cette chaîne constitue une insuffisance dans la démonstration de sûreté et que, si la qualification de la chaîne n'était pas faisable, EDF devrait réviser les études d'accidents concernées.**

¹⁷ Les études d'incidents et d'accidents de dimensionnement sont réalisées, suivant les règles d'études en vigueur, en considérant, en plus de l'évènement initiateur unique, la défaillance la plus pénalisante pour les conséquences du transitoire.

¹⁸ Ces modifications consistent à augmenter la pression de remplissage des accumulateurs du système d'injection de sécurité et à baisser la pression interne initiale des crayons de combustible MOX.

¹⁹ EDF a structuré en deux phases le déploiement des modifications associées aux VD4 900. Les modifications « phase A » sont réalisées avant ou durant l'arrêt décennal VD4. Les modifications « phase B » sont réalisées au plus tard quatre ans après la VD. Les études en support à la déclaration des modifications « phase B » seront transmises par EDF au plus tard en 2022.

8) La prise en compte des évènements et délais opérateur issus des études de sûreté de l'EPR de Flamanville a fait l'objet d'un avis de l'IRSN cité en référence [8]. Sans qu'il soit envisageable d'apporter des modifications aux réacteurs de deuxième génération leur permettant d'atteindre le niveau de sûreté visé pour ceux de troisième génération comme l'EPR, l'IRSN estime que l'exercice d'application du référentiel de l'EPR aux réacteurs du parc en fonctionnement permet d'identifier des améliorations de sûreté pertinentes. La mise en œuvre de ces modifications, sous réserve qu'elles soient faisables et ne mettent pas en cause la possibilité d'exploiter les réacteurs, doit être réalisée. **Compte tenu des conclusions de l'IRSN [8], EDF a indiqué qu'il reprenait son programme de travail en ce sens et transmettra à brève échéance ses conclusions.**

9) A la suite de la lettre de l'ASN citée en référence [11] concernant un phénomène de remontée de flux neutronique aux extrémités des colonnes fissiles des crayons de combustible MOX, EDF met en œuvre, depuis fin octobre 2018, des mesures palliatives²⁰ pour les réacteurs de 900 MWe exploités en gestion PARITE MOX à l'état VD3, dans l'attente d'une démonstration complète et probante du respect des critères de sûreté en cas de transitoires incidentels et accidentels et de modifications de la conception des crayons concernés.

L'IRSN estime que ces mesures palliatives sont également nécessaires pour les réacteurs à l'état VD4 et qu'EDF devra fournir au plus tôt une démonstration complète et conforme aux règles d'études de dimensionnement.

Par ailleurs, l'IRSN rappelle que le guide de l'ASN n°22 cité en référence [7], relatif à la conception des réacteurs à eau sous pression, a vocation à être appliqué « *pour la recherche d'améliorations à apporter aux réacteurs existants, par exemple à l'occasion de leurs réexamens périodiques de sûreté* ». L'IRSN estime que les études des conditions de fonctionnement de dimensionnement sont, de manière générale, conformes aux préconisations ou aux bonnes pratiques identifiées dans le guide, sauf sur les deux points suivants :

- le guide préconise de « *prévenir, dans les états où la cuve est fermée et le réacteur est à l'arrêt en fonctionnement normal, l'atteinte involontaire des conditions critiques* ». Or, les études de refroidissement intempestif du réacteur en état d'arrêt conduisent à un retour en puissance et EDF ne propose pas d'amélioration pour la maîtrise de la réactivité en un tel cas. EDF devrait donc rechercher des améliorations de sûreté des réacteurs de 900 MWe du palier CPY exploités en gestion de combustible PARITE MOX pour traiter cette situation ;
- le guide stipule qu'une « *bonne pratique de conception est d'étudier [...] le cumul de la perte des alimentations électriques externes avec la condition de fonctionnement de référence [...] au moment le plus défavorable* ». Pour la majorité des transitoires, la prise en compte des instants conventionnels de cumul²¹ est suffisante. Cependant, dans le cas d'une rupture de tuyauterie de vapeur initiée à puissance nominale, EDF ne considère pas un instant de cumul plus pénalisant pouvant survenir entre l'instant initial et l'instant de l'arrêt automatique du réacteur. Aussi, l'IRSN estime que l'étude des brèches secondaires initiées en puissance avec cumul du MDTE en gestion PARITE MOX devrait être complétée en tenant compte de cette bonne pratique.

Enfin, pour ce qui concerne la démarche adoptée pour la démonstration de sûreté en situation de recharge de combustible, l'IRSN n'a pas de remarque, compte tenu des compléments qu'EDF s'est engagé à apporter.

²⁰ Consistant à réduire le domaine de fonctionnement puis à modifier une chaîne de protection.

²¹ A l'instant de l'initiateur, du signal d'arrêt automatique du réacteur ou du signal d'injection d'eau de secours dans le cœur.

3. Études des conditions de fonctionnement complémentaires

Dans le cadre de la VD4 900, la liste des dispositions complémentaires et l'ensemble des études des conditions de fonctionnement complémentaires ont été mises à jour par EDF selon la nouvelle démarche du domaine complémentaire « rénové ».

À l'issue de son analyse, l'IRSN a jugé la liste des dispositions complémentaires établie par EDF incomplète et a identifié plusieurs situations dont la prise en compte a conduit EDF à retenir des dispositions complémentaires additionnelles ; EDF a également pris des engagements qui pourraient le conduire à retenir des dispositions complémentaires supplémentaires.

Par ailleurs, hormis pour les points mentionnés ci-après, l'IRSN juge les études des conditions de fonctionnement complémentaires satisfaisantes, sous réserve que les compléments qu'EDF s'est engagé à transmettre soient conclusifs.

1) EDF ne prévoit pas d'étudier les conséquences des déformations latérales des assemblages de combustible dans le domaine complémentaire. Pour l'IRSN, la déformation des assemblages en fonctionnement normal étant un phénomène avéré, documenté, modélisé et pris en compte dans le domaine de dimensionnement par EDF, il doit également l'être dans le domaine complémentaire. **Par conséquent, l'IRSN formule la recommandation n°3 en annexe.**

2) L'analyse des événements du domaine de dimensionnement de l'EPR de Flamanville non retenus à la conception des réacteurs du parc en exploitation, en particulier les accidents initiés dans les états d'arrêt qui sont étudiés dans le domaine complémentaire de ces réacteurs, ne fait pas l'objet d'études de sensibilité au délai opérateur de l'EPR. EDF estime qu'« *un éventuel effet falaise associé à un délai de grâce faible (inférieur à 30 minutes) serait identifié via le modèle EPS* ». Pour l'IRSN, les études en support aux études probabilistes de sûreté (EPS) peuvent apporter un éclairage concernant la sensibilité du transitoire au délai opérateur. En revanche, elles ne sont pas suffisantes pour montrer l'absence d'effet falaise concernant le respect du critère de sûreté des conditions de fonctionnement complémentaires²² du fait notamment des hypothèses réalistes considérées, en particulier si le délai de grâce évalué est très proche du délai d'action opérateur de l'EPR. Les conséquences de la transposition des délais d'intervention de l'opérateur du référentiel de sûreté de l'EPR aux conditions de fonctionnement complémentaires doivent donc être étudiées en vue d'identifier les effets falaise éventuels et les modifications envisageables qui permettraient d'y remédier. **L'IRSN formule en ce sens la recommandation n°4 en annexe.** Dans le cas particulier du transitoire d'accident par perte de réfrigérant primaire (APRP) en état d'arrêt normal sur les générateurs de vapeur (AN/GV), le délai de grâce évalué par EDF avec des hypothèses réalistes est de 23 minutes ; il est inférieur au délai opérateur du référentiel de sûreté de l'EPR qui est de 30 minutes. La disposition complémentaire actuelle de mise en service manuelle de l'injection de sécurité n'est donc pas suffisante pour respecter le critère de sûreté avec un délai de 30 minutes. A cet égard, une recommandation a été émise pour ce scénario dans le cadre de l'avis cité en référence [8].

3) Toujours pour le transitoire d'APRP en AN/GV, d'autres réserves identifiées au cours de l'expertise sont susceptibles de mettre en cause la marge au critère de sûreté. EDF s'est donc engagé à réaliser des études de sensibilité unitaires et disjointes pour chacune de ces réserves. Cependant, l'IRSN estime que le résultat de ces études ne permettra pas de statuer sur le niveau de marge au critère de sûreté pour ce transitoire. En effet, des

²² Les études des conditions de fonctionnement complémentaires doivent démontrer le respect des critères de sûreté des études de dimensionnement de 4^{ème} catégorie.

effets croisés sont susceptibles de survenir entre certains des phénomènes mis en jeu. **Par conséquent, l'IRSN formule la recommandation n° 5 en annexe.**

4) Pour ce qui concerne la maîtrise de la réactivité dans les transitoires du domaine complémentaire, EDF a déclaré une anomalie en juillet 2016, ayant fait l'objet d'un évènement significatif pour la sûreté, due à l'absence de prise en compte du contrôle de la réactivité dans les études thermohydrauliques en support au domaine complémentaire et dans le modèle EPS. EDF s'est alors engagé à vérifier le contrôle de la réactivité dans les transitoires du domaine complémentaire et à vérifier et à mettre à jour si nécessaire le modèle EPS, en cohérence avec ces nouvelles études. Cette anomalie ayant été détectée postérieurement au lancement des études VD4 900, c'est-à-dire après juillet 2014, elle a fait partie de celles qui *« ont été examinées au cas par cas et intégrées dans la mesure du possible et selon leur enjeu sûreté »*.

EDF a réalisé des études de maîtrise de la réactivité selon deux méthodes. L'IRSN estime que la première méthode utilisée par EDF, s'apparentant à celle approuvée pour les études du domaine de dimensionnement, est acceptable. Les conclusions tirées des études utilisant cette méthode sont donc satisfaisantes. La deuxième méthode, utilisée uniquement pour l'étude de la perte totale des alimentations électriques (situation « H3 ») due à une défaillance de cause commune des tableaux LH (situation dite « DCC-LH »), nettement moins pénalisante que la première, est peu documentée, appelle des réserves de la part de l'IRSN et nécessite d'être consolidée. EDF s'est donc engagé à réaliser des actions à la suite de l'expertise du dossier d'amendement qu'il a déposé dans le cadre des VD4 900 pour améliorer la gestion des situation H3.

EDF a également mis en cohérence le modèle EPS avec ces nouvelles études en intégrant différentes fonctions contribuant à la maîtrise de la réactivité. L'analyse de l'IRSN pour évaluer la nécessité de compléter le modèle EPS se poursuivra dans le cadre de l'expertise des EPS VD4 900 actuellement en cours.

4. Études justificatives particulières

L'objectif des études justificatives particulières est, selon EDF, d'évaluer la robustesse de l'installation pour des phénomènes physiques ou des situations accidentelles non pris en compte à la conception. Dans le cadre de la VD4 900, EDF a présenté trois études justificatives particulières :

- les études d'interaction entre la pastille et la gaine assistée par la corrosion sous contrainte (IPG-CSC ou plus simplement IPG²³), qui visent à définir des durées maximales autorisées en fonctionnement prolongé à puissance intermédiaire afin de garantir l'absence de risque de rupture de gaine par IPG-CSC²⁴. EDF a développé une nouvelle démarche d'étude simplifiée visant à couvrir la variabilité des recharges²⁵. **L'IRSN estime que la déclinaison de la démarche au référentiel VD4 900 et les durées maximales autorisées en fonctionnement prolongé à puissance intermédiaire prescrites dans les spécifications techniques d'exploitation sont satisfaisantes ;**
- l'étude de rupture de tuyauterie principale doublement débattue (APRP 2A), qui vise à démontrer, avec des hypothèses réalistes, la capacité des systèmes d'injection de sécurité à assurer le refroidissement du cœur, sous

²³ Phénomène qui correspond à la mise en traction circonférentielle de la gaine par la pastille lors de transitoires de puissance. Sous l'effet de l'augmentation de puissance, les pastilles de combustible se dilatent davantage que la gaine et lui imposent des contraintes mécaniques. Dans une telle situation, compte tenu de la présence de produits de fission corrosifs, ces gaines pourraient subir des ruptures par interaction entre la pastille et la gaine assistée par la corrosion sous contraintes (IPG-CSC).

²⁴ Le fonctionnement prolongé à puissance intermédiaire peut conduire à imposer une contrainte supplémentaire à la gaine des crayons de combustible lors des transitoires de puissance du fait d'un conditionnement pré-transitoire du crayon plus défavorable.

²⁵ Le phénomène d'IPG présente un caractère local qui dépend grandement des caractéristiques des plans de chargement des assemblages de combustible.

réserve de la tenue mécanique des internes de cuve et des assemblages de combustible à la suite de l'ouverture de la brèche. **L'IRSN estime que les résultats de l'étude sont acceptables ;**

- l'étude de dilution inhérente à l'APRP pour des brèches de taille intermédiaire : la dilution inhérente est, au même titre que la perte de la fonction de refroidissement du cœur ou les sollicitations en pression et en température de l'enveloppe, une conséquence de l'APRP (initiateur considéré depuis la conception parmi les conditions de fonctionnement de dimensionnement), dont les effets peuvent être néfastes sur le cœur. **L'ASN a donc demandé à EDF d'étudier la dilution inhérente en suivant les règles des études des conditions de fonctionnement de dimensionnement. Après avoir analysé les éléments fournis par EDF, l'IRSN considère que la réponse à cette demande n'est pas satisfaisante.** En particulier, ces études devraient considérer des scénarios pénalisants en termes de volume de bouchon d'eau et de séquence de reprise de la circulation naturelle, afin de couvrir les méconnaissances relatives à ces aspects.

L'ASN a également demandé à EDF d'étudier les conséquences de la dilution inhérente sur le cœur, en fonction du volume d'eau considéré [2]. **L'IRSN considère que les analyses complémentaires réalisées par EDF, en considérant de gros volumes de bouchons d'eau faiblement borée et des hypothèses réalistes (pour le calcul neutronique), répondent à la demande. Elles permettent d'avoir la raisonnable assurance de l'absence de dommage sur le combustible qui mettraient en cause la capacité de refroidissement du cœur lors d'une dilution hétérogène inhérente à l'APRP pour les réacteurs 900 MWe du palier CPY exploités en gestion de combustible PARITE MOX.**

5. Évaluation des conséquences radiologiques

Compte tenu des engagements pris par EDF pour les compléter, **l'IRSN estime que la plupart des évaluations des conséquences radiologiques des conditions de fonctionnement de dimensionnement et complémentaires sont satisfaisantes et répondent, pour les réacteurs CPY exploités en gestion de combustible PARITE MOX, aux objectifs fixés dans le cadre du réexamen VD4 900 et du projet de prolongation de la durée de fonctionnement des réacteurs au-delà de 40 ans.**

Dans ce cadre, pour les accidents de dimensionnement, suite aux propositions d'EDF, l'ASN a considéré comme satisfaisant « *l'objectif de ne pas avoir besoin de mettre en œuvre de mesures de protection des populations (pas de mise à l'abri, pas d'évacuation et pas d'administration d'iode stable) [...] lors de la phase dite « court terme » de l'accident* » [1]. Cependant, les résultats de l'étude de rupture d'un tube de générateur de vapeur de 4^{ème} catégorie (RTGV4) montrent des dépassements de niveaux d'intervention associés à la mise en œuvre des mesures de protection de la population en situation d'urgence radiologique tels que définis par l'ASN en application de l'article R.1333-80 du code de la santé publique²⁶. En particulier, pour la population la plus radiosensible, à 7 jours, la dose efficace (sans ingestion) évaluée par EDF à 650 m de l'installation est de 22 mSv (supérieure à la dose conduisant à une mise à l'abri) et la dose équivalente à la thyroïde (sans ingestion) évaluée par EDF est de 130 mSv (supérieure à la dose conduisant à l'administration d'iode stable).

Atteindre l'objectif d'absence de besoin de mesure de protection des populations pour ce scénario nécessite donc des améliorations. A cet égard, les activités rejetées dans l'environnement en cas de RTGV dépendent au premier ordre, d'une part de la quantité d'eau liquide rejetée dans l'environnement pendant le transitoire accidentel,

²⁶ Ces niveaux d'intervention, repris par l'arrêté du 20 novembre 2009 relatif aux niveaux d'intervention en situation d'urgence radiologique, sont les suivants :

- une dose efficace de 10 mSv pour la mise à l'abri,
- une dose efficace de 50 mSv pour l'évacuation,
- une dose équivalente à la thyroïde de 50 mSv pour l'administration d'iode stable.

d'autre part du niveau de contamination radiologique de cette eau, provenant du circuit primaire du réacteur. Cette contamination radiologique présente un pic en cas de transitoire de puissance, notamment en cas de RTGV, dû au relâchement d'iode par les crayons inéanches.

Dans l'étude de RTGV4 présentée dans le rapport de sûreté VD4 900, la quantité d'eau liquide rejetée dans l'environnement est de 343 t (contre 335 t actuellement affichées dans le RDS VD3 900). Il n'y a donc pas d'amélioration pour l'état VD4 900. Par ailleurs, la quantité d'eau liquide rejetée dans l'environnement pendant ce transitoire pour les réacteurs CPY est largement supérieure au cas des autres paliers. EDF a étudié différentes modifications matérielles envisageables pour réduire les rejets en eau liquide mais, pour des raisons de faisabilité ou de coût, n'en a retenu aucune.

Pour ce qui concerne les spécifications radiochimiques du circuit primaire, EDF prévoit d'abaisser, dans le cadre des VD4 900, de 150 GBq/t à 100 GBq/t le seuil d'arrêt du réacteur en équivalent ¹³¹I en transitoire de puissance²⁷. Cette évolution est positive et permet de réduire les conséquences radiologiques en cas de RTGV4. Cet abaissement ne permet toutefois pas, comme indiqué ci-dessus, d'éviter la mise en œuvre de mesures de protection des populations²⁸. A titre indicatif, pour que les évaluations de dose équivalente à la thyroïde à court terme à 650 m de l'installation, pour la population la plus radiosensible, soient inférieures à 50 mSv, il faudrait qu'EDF abaisse, toutes choses égales par ailleurs, à environ 40 GBq/t le seuil d'arrêt du réacteur en transitoire en équivalent ¹³¹I. EDF estime qu'un tel abaissement serait trop coûteux à mettre en œuvre et poserait des difficultés en exploitation. A cet égard, l'IRSN considère que le retour d'expérience de ces dernières années montre qu'un abaissement de ce seuil plus important que celui prévu par EDF, associé, au besoin, à une évolution globale des spécifications radiochimiques, est envisageable.

Il est également possible d'améliorer la conception des crayons de combustible pour limiter les pertes d'étanchéité des gainages, à l'origine de la contamination radiologique de l'eau du circuit primaire des réacteurs.

En conclusion, au regard des objectifs associés à la prolongation de la durée de fonctionnement, l'IRSN estime qu'EDF doit mettre en œuvre des modifications supplémentaires de nature à réduire les doses à la population en cas de transitoire de RTGV de 4^{ème} catégorie pour les réacteurs CPY exploités en gestion de combustible PARITE MOX et émet la recommandation n° 6 en annexe.

6. Revue de la fonction « recirculation RIS-EAS »

En cas de brèche sur le circuit primaire (accident par perte de réfrigérant primaire ou APRP), il est nécessaire d'injecter de l'eau borée dans ce circuit pour compenser l'eau perdue à la brèche et ainsi assurer le refroidissement du cœur du réacteur. Si le débit perdu à la brèche n'est pas compensable par le système de contrôle volumétrique et chimique (RCV), cette injection est assurée par le système d'injection de sécurité (RIS). Selon la taille de la brèche, il peut également être nécessaire d'utiliser le système d'aspersion dans l'enceinte (EAS) afin notamment d'abaisser la pression dans le bâtiment du réacteur (BR). L'eau nécessaire à ces fonctions de sûreté provient initialement de la bache du circuit de traitement et de refroidissement des piscines (bache PTR). Lorsque cette dernière atteint son niveau bas, les systèmes RIS et EAS basculent automatiquement en mode « recirculation », lors duquel ils aspirent l'eau provenant de la brèche et de l'aspersion dans les puisards situés au fond du BR.

²⁷ 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.

²⁸ Les évaluations de doses indiquées ci-dessus tiennent compte de cet abaissement.

Le fonctionnement de ces deux systèmes en situation d'APRP étant nécessaire pour éviter la fusion du cœur et des rejets importants dans l'environnement, la garantie de leur performance doit être apportée, notamment lors de leur fonctionnement en « recirculation » lors des phases moyen et long termes de l'accident. En particulier, cette performance ne doit pas être altérée par les effets des débris qui sont générés lors de l'accident et qui peuvent être transportés jusqu'aux puisards du BR du fait des écoulements d'eau (eau issue de la brèche et du fonctionnement de l'EAS). Il s'agit de débris directement générés par la brèche (destruction des calorifuges des tuyauteries par l'onde de pression ou par l'effet de jet notamment), de débris résultant des conditions d'ambiance accidentelle dans le BR (dégradation des peintures notamment) ou encore de débris latents initialement présents dans le BR (poussières, graisses...). Les puisards sont ainsi équipés de dispositifs de filtration des débris situés à l'aspiration des pompes des systèmes RIS et EAS. Le bon fonctionnement des systèmes RIS et EAS en « recirculation » en APRP implique donc de s'assurer, en tenant compte des conditions thermodynamiques et chimiques de l'eau des puisards, que :

- les phénomènes de colmatage par les débris susceptibles d'être transportés vers les filtres (« terme source débris amont » ou TSD amont), d'une part ne mettent pas en cause la tenue de ces filtres, d'autre part n'entraînent pas de cavitation des pompes RIS et EAS situées en aval, cette cavitation pouvant induire une dégradation des performances des pompes (débit d'injection) et à terme leur défaillance ;
- les composants des circuits RIS et EAS situés en aval des filtres sont qualifiés à la fraction de débris transitant au travers des filtres (« terme source débris aval » ou TSD aval) et que ces débris ne compromettent pas le bon refroidissement des assemblages de combustible.

Le référentiel d'EDF définissant les hypothèses pour la vérification de la performance de la filtration de l'eau des puisards a fait l'objet, en 2005, de demandes de l'ASN qui ont notamment conduit au remplacement par EDF des dispositifs de filtration (augmentation de la surface filtrante).

Dans ce cadre, trois technologies différentes de filtres ont été installées sur les réacteurs. En 2012, une revue de la fonction de recirculation a été menée par EDF à la suite de la détection de plusieurs écarts de conformité. Cette revue a conduit l'ASN à considérer que des justifications complémentaires devaient être apportées par EDF dans le cadre des quatrième visites décennales des réacteurs de 900 MWe (VD4 900) concernant la caractérisation du TSD amont, la justification de l'absence de risque de perte des pompes RIS et EAS par cavitation, la caractérisation du TSD aval ainsi que la vérification d'absence d'impact de la chimie de l'eau sur le colmatage des filtres et des assemblages de combustible. Pour le réexamen VD4 900, EDF a présenté un dossier visant à démontrer la performance de la filtration de l'eau des puisards et reposant, pour les différents aspects susmentionnés, sur de nouvelles études et des essais complémentaires.

Pour l'expertise de ce dossier, l'IRSN s'est appuyé sur des études et essais qu'il a lui-même mis en œuvre afin de mieux appréhender les phénomènes complexes mis en jeu et d'identifier les paramètres les plus influents. L'expertise de l'IRSN montre que le dossier présenté par EDF comporte des lacunes importantes, synthétisées ci-après, sur de nombreux aspects relatifs à la filtration de l'eau des puisards, ce qui conduit l'IRSN à conclure au caractère non satisfaisant de la situation actuelle.

L'IRSN estime tout d'abord que le TSD amont retenu par EDF dans le dossier présenté est à revoir. En particulier, EDF a fait part au cours de l'expertise d'une sous-estimation importante de la masse de débris fibreux dans ce TSD (2400 kg de fibres considérés au lieu de 3400 kg). En outre, il s'avère qu'EDF ne dispose, ni d'une vision exhaustive des différents types de calorifuges installés dans les réacteurs, ni de la caractérisation de la granulométrie des débris de peinture générés par la brèche. Or ces paramètres ont une influence sur les pertes de charge aux bornes des filtres et des grilles d'assemblages de combustible. Enfin, certaines hypothèses utilisées pour

évaluer la quantité de débris de calorifuge fibreux et de peinture pouvant être transportés jusqu'aux filtres doivent être justifiées. Sur l'ensemble de ces points, EDF s'est engagé à réaliser des études et des essais complémentaires visant à consolider le TSD amont. Toutefois, l'IRSN constate d'ores et déjà l'intention d'EDF de lever les conservatismes associés à certaines hypothèses de la démonstration, notamment par la valorisation des effets de la sédimentation des débris au fond des puisards. Si l'évaluation des conservatismes permettrait en effet de mieux apprécier la situation, l'IRSN rappelle que ces conservatismes visent à compenser des incertitudes inhérentes à d'autres hypothèses.

La démonstration de l'absence de cavitation des pompes RIS et EAS situées en aval des filtres nécessite de vérifier l'existence d'une marge au NPSH (hauteur d'aspiration nette positive) de ces pompes. EDF a réévalué cette marge au NPSH pour les pompes RIS et EAS en considérant le TSD amont du dossier VD4 900 et en tenant compte du fait que les filtres pouvaient être partiellement dénoyés dans certaines situations accidentelles. Il s'avère que cette marge est très faible pour les pompes RIS (malgré la valorisation de la pression dans l'enceinte dans le calcul du NPSH) et EAS des réacteurs du Bugey, ainsi que pour les pompes EAS de certains réacteurs du palier CPY (Blayais et Gravelines 5-6), alors même que le TSD amont considéré apparaît sous-évalué comme indiqué plus haut. En outre, les calculs d'EDF s'appuient sur des valeurs de pertes de charge des filtres et des lignes d'aspiration des pompes qui nécessitent d'être consolidées. EDF s'est engagé à présenter en 2019 une évaluation consolidée de la marge au NPSH des pompes RIS et EAS qui tiendra compte des évolutions à apporter au TSD amont et qui, dans l'attente des résultats des nouveaux essais de qualification des filtres (échéance 2020), s'appuiera sur une réévaluation analytique de leur perte de charge. En tout état de cause, l'IRSN souligne que toute mise en évidence d'un risque de fonctionnement en mode cavitation des pompes devra faire l'objet de la part d'EDF d'un examen de ses conséquences et des dispositions qui permettraient de l'éviter.

Pour la caractérisation des débris susceptibles de traverser les filtres au cours d'un APRP (TSD aval), EDF s'est appuyé sur des prélèvements de débris à l'aval des filtres lors d'essais. L'IRSN estime que les essais retenus par EDF ne sont pas pertinents pour déterminer le TSD aval, car ils ne pénalisent pas le transfert des débris vers l'aval, et que le protocole de prélèvement n'est pas adapté (instant et nombre des échantillons d'eau prélevés). De plus, pour les débris fibreux, EDF s'est appuyé sur un unique essai, ce qui est insuffisant au regard de l'influence majeure de ce type de débris sur la capacité de refroidissement des assemblages de combustible. EDF s'est engagé à réaliser, lors de nouveaux essais de qualification des filtres, des mesures par échantillonnage suffisamment nombreuses pour déterminer un profil de décroissance du TSD aval en fonction du temps, et sa composante « fibres » en particulier.

S'agissant de la vérification de la capacité de refroidissement des assemblages de combustible (AC) en présence de débris, EDF a défini de manière théorique, pour les différentes situations de brèche, un critère de différence de pression maximale aux bornes de l'AC garantissant son refroidissement. Ce critère est ensuite vérifié au travers d'essais évaluant les pertes de charge d'un assemblage en présence de colmatage. L'IRSN estime que le critère retenu par EDF est recevable pour toutes les situations accidentelles, hormis pour la configuration long terme d'une brèche située en branche froide du circuit primaire, configuration pour laquelle EDF s'est engagé à apporter des compléments. En revanche, les essais menés ne sont pas représentatifs des conditions réelles de l'eau des puisards en situation accidentelle (température, chimie). En conséquence, la justification de la capacité de refroidissement des assemblages de combustible en présence de colmatage n'est pas acquise à ce jour.

L'IRSN souligne que les essais de qualification des filtres ainsi que les essais de colmatage des AC n'ont pas été réalisés dans des conditions représentatives des situations d'APRP pour ce qui concerne notamment la température et la chimie de l'eau des puisards (substances chimiques provenant de l'eau du circuit primaire (comme le bore ou la soude...), des débris et du lessivage des équipements dans le BR (comme l'aluminium ou le

zinc...)). Ceci constitue une lacune importante du dossier, d'autant plus que les essais menés par l'IRSN ont montré l'influence de ces conditions sur les pertes de charge aux bornes des filtres et aux bornes des AC. EDF a convenu qu'il devait compléter notablement son dossier sur ce point et s'est engagé à réaliser des études (recensement des substances, bibliographie) et de nouveaux essais dans des conditions représentatives des réacteurs 900 MWe (échéance 2020). Toutefois, ces essais sont actuellement annoncés uniquement pour l'évaluation du risque de colmatage des filtres. L'IRSN estime que, pour permettre de statuer sur l'efficacité de la fonction de recirculation, la capacité de refroidissement des AC devra également faire l'objet d'une vérification par des essais représentatifs des effets de la température et de la chimie de l'eau.

En conclusion, au regard des insuffisances mises en évidence par l'IRSN lors de l'expertise du dossier relatif à l'efficacité de la fonction de recirculation qui est présenté par EDF dans le cadre du réexamen VD4 900, ce dernier a proposé un plan d'actions important, comportant des études et des essais. Compte tenu des délais nécessaires à la réalisation de ces actions, des inconnues sur leur résultat à ce stade du dossier et de la forte sensibilité des phénomènes de colmatage à la caractérisation exacte des débris (diamètre et longueur des fibres, granulométrie des débris de peinture...) ainsi qu'à la chimie de l'eau des puisards, l'IRSN considère qu'EDF doit, sans attendre les résultats de ces actions, étudier les modifications matérielles qui permettraient de réduire drastiquement les risques de dysfonctionnement de la fonction de recirculation. Sur ce point, EDF s'est engagé à étudier, à l'échéance de fin 2019, la faisabilité technique de modifications des installations de nature à augmenter les marges présentées dans son dossier.

Au regard de la sensibilité des phénomènes de colmatage des filtres et des AC aux caractéristiques des débris et à la température et à la chimie de l'eau des puisards, l'IRSN estime que l'étude annoncée par EDF devra rechercher les modifications permettant d'éliminer la composante fibres du TSD amont 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.

Conclusion

EDF a repris l'intégralité de la démonstration de sûreté déterministe des réacteurs CPY de 900 MWe exploités en gestion de combustible PARITE MOX en tenant compte du retour d'expérience du parc électronucléaire français et international, de l'évolution des connaissances ainsi que des objectifs de sûreté applicables aux nouveaux réacteurs, ce qui, nonobstant les réserves émises ci-dessus concernant certaines études, constitue une démarche adaptée au cadre d'un réexamen périodique associé à la prolongation de la durée de fonctionnement de réacteurs.

A l'issue de l'expertise réalisée, l'IRSN estime que les études des conditions de fonctionnement de dimensionnement et complémentaires nécessitent des compléments substantiels pour qu'une démonstration de sûreté répondant aux demandes de l'ASN émises pour la prolongation de la durée de fonctionnement des réacteurs [1] et dans le cadre des VD4 900 [2] soit apportée. Dans la plupart des cas, EDF a pris l'engagement d'apporter ces compléments à des échéances diverses, allant jusqu'aux études de la phase B du réexamen. Les autres compléments nécessaires font l'objet des recommandations n° 1 à 5 en annexe.

Par ailleurs, les évaluations des conséquences radiologiques des conditions de fonctionnement de dimensionnement et complémentaires sont, compte tenu des engagements d'EDF, satisfaisantes, à l'exception de celle concernant le transitoire de rupture d'un tube de générateur de vapeur de 4^{ème} catégorie qui pourrait conduire à des rejets nécessitant la mise en œuvre de mesures de protection des populations. Ceci fait l'objet de la recommandation n° 6 en annexe.

Pour ce qui concerne la revue de conformité de la fonction de recirculation RIS-EAS utilisée à long terme en situation d'accident par perte de réfrigérant primaire, l'IRSN estime, sur la base des essais qu'il a réalisés et de l'expertise du dossier d'EDF, que la démonstration de l'efficacité de cette fonction n'est pas acquise à ce stade. EDF a pris l'engagement, d'une part de réaliser des études et des essais pour apporter cette démonstration, d'autre part d'étudier en parallèle la faisabilité technique de modifications des installations de nature à réduire les risques de dysfonctionnement de la fonction de recirculation. Afin d'aboutir à une démonstration probante dans le cadre de la prise de position sur la prolongation de durée de fonctionnement des réacteurs concernés, l'IRSN considère qu'EDF doit proposer au plus tôt les modifications matérielles qui permettraient de réduire drastiquement ces risques.

Pour le Directeur général et par délégation,

Olivier DUBOIS

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe à l'avis IRSN/2019-00002 du 11 janvier 2019

Recommandations

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF réalise des essais de flux critique afin de vérifier l'applicabilité en périphérie d'assemblage de la corrélation de flux critique FC2002r en l'absence d'ailettes de mélange et pour des lames d'eau inter-assemblages de largeur variable. Les configurations d'essais devront être représentatives des assemblages chargés en réacteur.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF complète l'étude de dilution homogène incontrôlée initiée en puissance en considérant comme aggravant le refus de fermeture de la vanne réglante d'une ligne de contournement de la turbine à l'atmosphère ou au condenseur après sa sollicitation.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF prenne en compte les conséquences des déformations latérales des assemblages de combustible dans les études du domaine complémentaire.

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande qu'EDF évalue 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. Le cas échéant, EDF devra identifier et mettre en place de nouvelles dispositions complémentaires afin de respecter les critères de sûreté pour les conditions de fonctionnement complémentaires concernées.

Recommandation n° 5

L'IRSN recommande qu'EDF reprenne l'étude de l'accident par perte de réfrigérant primaire en état d'arrêt intermédiaire en cumulant les effets de la déformation latérale des assemblages de combustible, d'un gradient de refroidissement du circuit primaire de 40 °C/h pour atteindre l'état initial du transitoire et de la pénalisation des modèles physiques dominants du logiciel utilisé. En outre, le critère de découplage portant sur la température maximale de gaine du crayon moyen devra être justifié.

Recommandation n° 6

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^{ème} catégorie (RTGV 4), l'IRSN recommande qu'EDF :

- modifie les spécifications radiochimiques 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.