

Fontenay-aux-Roses, le 25 octobre 2019

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2019-00245

Objet : EDF - Réacteurs 900 MWe du palier CP0 en gestion CYCLADES

Analyse des études d'accidents associées au quatrième réexamen périodique des réacteurs du Bugey (VD4 900 MWe CP0)

- 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-2019-031403 du 12 juillet 2019
[4] Avis IRSN - 2019-00002 du 11 janvier 2019
[5] Avis GPR - CODEP-MEA-2019-006797 du 18 février 2019
[6] Lettre ASN - CODEP-DCN-2017-001478 du 12 janvier 2017
[7] Lettre ASN - CODEP-DCN-2015-002998 du 9 février 2015
[8] Avis IRSN - 2017-00168 du 22 mai 2017
[9] Guide ASN - n°22 - Version du 18 juillet 2017
[10] Avis IRSN - 2018-00217 du 30 juillet 2018
[11] Lettre ASN - CODEP-DCN-2015-046507 du 24 décembre 2015
[12] Avis IRSN - 2018-00196 du 13 juillet 2018

En vue de poursuivre l'exploitation des réacteurs du palier CP0 de 900 MWe de la centrale du Bugey exploités en gestion de combustible CYCLADES au-delà de leurs quatrième visites décennales (VD4 900), Électricité de France (EDF) a déposé le 31 mai 2018, 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. À 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).

Enfin, 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.

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

- « *les études des conditions de fonctionnement du domaine de dimensionnement (DD), les études spécifiques [accident de perte de réfrigérant primaire, interaction pastille-gaine, dilution inhérente, masse et énergies libérées dans l'enclencheur] et de la démonstration en recharge* ;
- *les études des conditions de fonctionnement du domaine complémentaire (DC)* ;
- *les études des conséquences radiologiques pour le DD et le nouveau domaine complémentaire rénové (NDCR) et les spécifications radiochimiques du primaire* ;
- *les réponses apportées par EDF aux demandes formulées par l'ASN et en réponse à ses engagements relevant de différents cadres (GP DDF¹ de 2013, GPO² VD4 de 2016, CR³ VD3 de 1300)* ».

Dans le cadre des expertises réalisées pour le réexamen périodique associé aux VD4 900, l'ASN demande également à l'IRSN de « *prendre en compte les questions soulevées au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI⁴ qui montrent un besoin particulier d'information et d'explications (récurrence 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 font 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 CP0 de 900 MWe de la centrale du Bugey exploités en gestion de combustible CYCLADES. 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.

Cet avis présente les conclusions de l'analyse de cette reprise des études d'accidents.

¹ Durée de fonctionnement.

² Groupe permanent d'orientation.

³ Conséquences radiologiques.

⁴ Association nationale des comités et commissions locales d'information.

Les études d'accidents des réacteurs de 900 MWe du palier CPY exploités en gestion de combustible PARITE MOX ont fait l'objet d'une expertise, d'un avis de l'IRSN en référence [4] et d'un avis du Groupe permanent réacteurs en référence [5]. **Sauf exceptions, les conclusions de ces avis et les engagements pris par EDF d'apporter certains compléments sont applicables aux réacteurs de 900 MWe du palier CP0 de la centrale du Bugey exploités en gestion de combustible CYCLADES, et sont rappelés ici. En effet, les réacteurs des paliers CP0 et CPY présentent, pour ce qui concerne les études d'accidents, de nombreuses similitudes.**

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 combustible⁵ ;
- 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 assemblages⁶, le conditionnement mécanique des crayons de combustible⁷ et la présence de crayons inétanches⁸ ;
- 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, complétés par l'évaluation du comportement des réacteurs de 900 MWe en retenant les événements et délais

⁵ 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...

⁶ 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.

⁷ 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.

⁸ 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.

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.

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 [10], 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 (APRP), qui n'ont pas été considérées comme acceptables à ce jour (cf. références [6] et [7]), l'IRSN estime que les méthodes présentées sont déclinées de manière satisfaisante dans les études VD4 900 CP0 en gestion de combustible CYCLADES.**

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 CP0. **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 [8] et EDF a pris des engagements dans le cadre de l'expertise des études VD4 900 CPY en gestion de combustible PARITE MOX. Des éléments ont été reçus récemment ; ils font l'objet d'une expertise en cours.**

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

- le matériau de gainage de référence¹³ des crayons de combustible est le M5. Ce matériau présente une résistance accrue à la corrosion par rapport aux conceptions antérieures (voir l'analyse de l'IRSN présentée en référence [8]) ;
- les cœurs des réacteurs CP0 de 900 MWe exploités en gestion de combustible CYCLADES sont composés de 157 assemblages de combustible et comportent 48 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

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

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 Ponctuellement, quelques assemblages avec un gainage en Zircaloy-4 de conception plus ancienne pourront être utilisés. Le cas échéant, des contraintes supplémentaires sur le positionnement de ces assemblages dans le cœur et sur le fonctionnement du réacteur seront appliquées pour tenir compte de la moindre résistance à la corrosion de ce matériau par rapport au gainage en M5.

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 critique¹⁴ 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.

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 [11], 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, en particulier pour les réacteurs du palier CP0.**

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 et du conditionnement mécanique des crayons), 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. **À 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 a formulé**

¹⁴ 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.

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.

dans l'avis sur les études VD4 900 CPY en gestion de combustible PARITE MOX, cité en référence [4], la recommandation PARITE MOX n°1 rappelée en annexe 1. Cette recommandation est applicable aux réacteurs CPO de la centrale du Bugey en gestion de combustible CYCLADES.

2) Pour ce qui concerne l'étude de capacité de puissance de catégorie 1¹⁶, la comparaison des résultats obtenus avec la méthode historique de synthèse à ceux issus de l'utilisation d'une méthode en 3D, prenant en compte l'impact de la déformation latérale des assemblages, montre que cette dernière peut être plus pénalisante dans certains cas. La méthode de synthèse restera, à terme, utilisée dans certaines études d'accidents VD4 900. **A la lumière de ces résultats, l'IRSN estime qu'EDF devrait justifier le conservatisme de la méthode de synthèse et, le cas échéant, réviser son bilan de marge pour l'ensemble des études dans laquelle elle est utilisée. L'IRSN formule donc l'observation n°1 en annexe 3.**

3) Pour ce qui concerne les études de capacité de puissance de catégorie 2¹⁷, l'IRSN estime qu'EDF n'a pas justifié de manière satisfaisante les données neutroniques retenues. EDF s'est donc engagé à mettre en œuvre une nouvelle méthodologie d'étude pour le volet relatif à la vérification de l'absence de fusion du combustible afin de justifier le conservatisme de ces données. **Si cet engagement est satisfaisant dans le principe, l'IRSN estime toutefois qu'EDF doit également apporter cette justification pour le volet relatif à la vérification de l'absence d'apparition de la crise d'ébullition. L'IRSN formule donc l'observation n°2 en annexe 3.**

4) 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 [12] dans lequel plusieurs recommandations sont applicables aux référentiels VD4 900 ;
- l'IRSN estime, comme indiqué dans l'avis cité en référence [10], 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 ;
- pour les états en puissance, l'aggravant considéré¹⁸ 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 a formulé dans l'avis sur les études VD4 900 CPY en gestion de combustible PARITE MOX, cité en référence [4], la recommandation PARITE MOX n°2 rappelée en annexe 1. Cette**

¹⁶ La capacité de puissance de catégorie 1 permet de vérifier le respect de la limite APRP (enveloppe axiale de puissance linéique qui est une donnée d'entrée pour les études d'APRP et de pertes de débit 3D) et de définir la distribution de puissance de référence utilisée pour le calcul du RFTC dans les études des transitoires sans perturbation notable de la puissance du cœur.

¹⁷ La capacité de puissance de catégorie 2 permet de vérifier le bon dimensionnement des chaînes de protection ΔT afin de protéger le cœur contre les risques de crise d'ébullition et de fusion du combustible pour les transitoires pénalisants de retrait incontrôlé d'un groupe en puissance, d'augmentation excessive de charge et de dilution homogène d'acide borique.

¹⁸ Les études d'incidents et d'accidents de dimensionnement sont réalisées, suivant les règles d'études en vigueur, en considérant, en plus de l'événement initiateur unique, la défaillance la plus pénalisante pour les conséquences du transitoire.

recommandation est applicable aux réacteurs CPO de la centrale du Bugey en gestion de combustible CYCLADES.

5) 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. Par ailleurs, pour certains cas d'éjection d'une grappe¹⁹, EDF s'est engagé à faire évoluer la démonstration de sûreté en situation de recharge de combustible afin d'assurer une marge suffisante par rapport au critère relatif au nombre maximal de crayons du cœur susceptibles d'entrer en crise d'ébullition.

6) Pour ce qui concerne l'étude de rupture d'une tuyauterie vapeur initiée à puissance nulle, les éléments transmis par EDF en fin d'expertise montrent que la modélisation de la brèche retenue dans le cadre de la mise en œuvre de la méthode d'étude utilisée²⁰ n'est pas pénalisante et qu'elle devrait prendre en compte le phénomène physique d'entraînement de liquide à la brèche. **L'IRSN formule donc l'observation n° 3 en annexe 3.**

7) Pour ce qui concerne l'étude de l'accident par perte de réfrigérant primaire, la mise en œuvre du nouveau référentiel d'étude associé à l'application de la méthode CathSBI permet de disposer d'une étude, pour la phase court terme, conforme aux règles et hypothèses d'étude du domaine de dimensionnement, contrairement à l'étude VD3. Cependant, l'origine des gains apportés par l'application de la nouvelle méthode d'étude doit être identifiée et justifiée par EDF. De plus, des compléments relatifs à la démonstration du conservatisme de l'aire de brèche retenue sont attendus. Enfin, EDF s'est engagé à mettre en œuvre une modification, consistant à abaisser la pression de remplissage des crayons de combustible, pour réduire les risques de perte de leur intégrité au cours du transitoire, modification dont les gains devront *in fine* être quantifiés avec la méthode mise à jour, en prenant en compte les réserves actuelles. **La suffisance de la modification et les éléments complémentaires attendus feront l'objet d'une analyse dans le cadre de l'avis de synthèse de l'IRSN sur la phase générique du réexamen VD4 900 prévu en 2020.**

8) 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.** À cet égard, EDF s'est engagé à proposer une nouvelle conduite par l'opérateur à l'échéance des études associées à la phase B²¹ des VD4 900. Cette action est satisfaisante sur le principe mais l'IRSN estime qu'EDF devra la mettre en œuvre sans attendre.

9) La chaîne de mesure de la vitesse de rotation des pompes primaires permet notamment de détecter l'arrêt des pompes provoqué 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 de qualifier cette chaîne de mesure à l'ambiance dégradée lors de la phase B des VD4, la faisabilité technique de

¹⁹ EDF définira une nouvelle valeur limite de l'efficacité neutronique de la grappe calculée lors de la vérification de la sûreté des recharges de combustible.

²⁰ « Méthode totalement couplée en 3D - MTC 3D ».

²¹ 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 à l'occasion de la 2^{ème} visite partielle suivant la VD. Les études en support à la déclaration des modifications « phase B » seront transmises par EDF au plus tard en 2023.

cette modification étant, selon EDF, *a priori* acquise. **L'IRSN estime cette action satisfaisante. Sa mise en œuvre permettra de pallier efficacement une insuffisance dans la démonstration de sûreté actuelle.**

10) Les règles d'études d'accidents accordent la possibilité, sous certaines conditions et moyennant une justification, de valoriser des matériels IPS-NC²². Les justifications fournies par EDF reposent sur des argumentaires qualitatifs, en particulier sur l'existence d'une redondance matérielle, fonctionnelle ou d'un foisonnement de moyens de substitution pour chaque matériel IPS-NC valorisé. **L'IRSN estime qu'une telle approche est parfois insuffisante pour justifier l'atteinte de l'état sûr et qu'une analyse quantitative serait alors nécessaire. L'IRSN formule donc l'observation n° 4 en annexe 3.**

11) La prise en compte des événements 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 [10]. 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 [10], EDF a indiqué qu'il reprenait son programme de travail en ce sens et a transmis une première partie de ses conclusions en avril 2019.**

Par ailleurs, l'IRSN rappelle que le guide de l'ASN n° 22 cité en référence [9], 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* ». **En l'absence d'étude transmise pour certains transitoires de refroidissement intempestifs, l'IRSN considère qu'EDF doit présenter un état des lieux complet des initiateurs de refroidissement incontrôlé en arrêt à chaud conduisant au retour en puissance, et si besoin rechercher des améliorations de sûreté des réacteurs CPO de 900 MWe de la centrale du Bugey exploités en gestion de combustible CYCLADES 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 cumul²³ 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 CYCLADES 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.

²² « Matériel important pour la sûreté non classés ».

²³ 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. **L'IRSN a formulé dans l'avis sur les études VD4 900 CPY en gestion de combustible PARITE MOX, cité en référence [4], la recommandation PARITE MOX n°3 rappelée en annexe 1. Cette recommandation est applicable aux réacteurs CPO de la centrale du Bugey en gestion de combustible CYCLADES.**

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 complémentaires²⁴ 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 a formulé dans l'avis sur les études VD4 900 CPY en gestion de combustible PARITE MOX, cité en référence [4], la recommandation PARITE MOX n°4 rappelée en annexe 1. Cette recommandation est applicable aux réacteurs CPO de la centrale du Bugey en gestion de combustible CYCLADES.**

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. À cet égard, une recommandation a été émise pour ce scénario dans le cadre de l'avis cité en référence [10].

²⁴ Les études des conditions de fonctionnement complémentaires doivent démontrer le respect des critères de sûreté des études de dimensionnement de 4^{ème} catégorie.

3) Pour ce qui concerne l'étude « de perte ou de brèche sur le système de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA) en état d'arrêt pour intervention non suffisamment ouvert (API NSO) », EDF a transmis une étude de sensibilité en support à la modification de la conduite APE²⁵. **L'IRSN estime que cette étude concourt à la démonstration de la suffisance de la disposition complémentaire et, à ce titre, doit respecter les règles d'études des conditions de fonctionnement complémentaires. L'IRSN formule donc l'observation n° 5 en annexe 3.** De plus, l'IRSN estime qu'EDF devrait apporter des éléments démontrant que l'étude du rapport de sûreté permet effectivement de couvrir des situations pour lesquelles le niveau d'eau dans la cuve du réacteur est supérieur à celui considéré dans cette étude, compte tenu des préconisations de conduite qui diffèrent selon le niveau dans la cuve lors de la première intervention de l'opérateur. **L'IRSN formule donc l'observation n° 6 en annexe 3.**

4) Pour ce qui concerne l'étude de perte totale de la source froide, EDF n'étudie que la perte totale du circuit de refroidissement intermédiaire (RRI), les scénarios de perte du circuit d'eau brute secourue (SEC) seule ou suivie de la perte du RRI étant couverts par la perte totale du RRI. Or, la conduite prescrite pour les situations de perte totale de source froide non initiées par la perte totale du RRI ou du SEC diffère. L'IRSN estime donc que l'atteinte de l'état de repli pour ces situations n'a pas été démontrée. **L'IRSN formule donc la recommandation n° 1 en annexe 2.**

5) Pour ce qui concerne l'étude de la défaillance de cause commune des tableaux LH (DCC-LH), la procédure de conduite amène l'opérateur à dépressuriser le circuit primaire jusqu'à l'atteinte de la pression de décharge des accumulateurs²⁶. Avant la vidange complète des accumulateurs, l'opérateur doit procéder à leur isolement au passage d'un seuil en pression primaire, pour éviter que l'azote qu'ils contiennent ne soit injecté dans le circuit primaire et ne dégrade les échanges entre les circuits primaire et secondaire. Or, l'incertitude retenue par EDF sur le seuil d'isolement des accumulateurs ne tient pas compte de l'incertitude associée au temps d'action de l'opérateur, ni du délai de fermeture des vannes d'isolement. **L'IRSN formule donc la recommandation n° 2 en annexe 2.**

6) 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 événement 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, 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 satisfaisante. Les conclusions tirées des études utilisant cette méthode sont également 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 »), est nettement moins pénalisante que la première. EDF a néanmoins apporté des éléments démontrant l'acceptabilité de cette deuxième méthode, telle qu'appliquée pour le palier CP0.

²⁵ « Arrêt du système d'injection de sûreté à haute pression (ISHP) et mise en service de la charge du système de contrôle chimique et volumétrique du circuit primaire principal (RCV) ».

²⁶ Réservoir d'eau fortement borée.

De manière générale, l'IRSN note que le risque de retour aux conditions critiques est bien plus limitatif pour le palier CP0 en gestion de combustible CYCLADES que pour le palier CPY en gestion de combustible PARITÉ MOX. Par exemple, les contraintes importantes pour le palier CP0 vis-à-vis de la conduite des transitoires de perte totale des alimentations électriques (situation « H3 ») due à une défaillance de cause commune des tableaux LH (situation dite « DCC-LH ») résultent d'une marge à la criticité garantie après la chute des grappes (marge d'arrêt) significativement plus faible pour la gestion de combustible CYCLADES que pour la gestion de combustible PARITÉ MOX. Ce constat s'applique à toutes les situations nécessitant la maîtrise de la réactivité sans injection de bore à haute pression.

La faible marge d'arrêt sur les réacteurs du palier CP0 est directement liée au nombre limité de grappes de commande qui n'a pas augmenté depuis leur mise en service (48 grappes) alors que l'enrichissement du combustible utilisé a augmenté²⁷. Les réacteurs du palier CPY ont, quant à eux, bénéficié de plusieurs ajouts de grappes lors des évolutions de gestion du combustible (jusqu'à 61 grappes pour la gestion de combustible PARITÉ MOX).

L'IRSN estime donc qu'EDF doit étudier et mettre en œuvre, dans le cadre de la prolongation de la durée de fonctionnement des réacteurs du palier CP0, une modification matérielle pour augmenter significativement la marge d'arrêt. Par conséquent, l'IRSN formule la recommandation n° 3 en annexe 2.

4. Études justificatives particulières

L'objectif des études justificatives particulières est, selon EDF, d'évaluer la robustesse de l'installation, notamment 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 IPG²⁸), 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-CSC²⁹. EDF a développé une nouvelle démarche d'étude simplifiée visant à couvrir la variabilité des recharges³⁰. **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 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

²⁷ La gestion de combustible CYCLADES est celle qui présente l'enrichissement le plus élevé mis en œuvre sur le parc électronucléaire français.

²⁸ 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).

²⁹ 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.

³⁰ Le phénomène d'IPG présente un caractère local qui dépend grandement des caractéristiques des plans de chargement des assemblages de combustible.

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]. À l'issue de son analyse, l'IRSN considère que les études complémentaires réalisées par EDF, considérant l'envoi simultané de gros volumes de bouchons d'eau faiblement borée, permettent d'avoir la raisonnable assurance de l'absence de dommages 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 CP0 de 900 MWe de la centrale du Bugey exploités en gestion de combustible CYCLADES.

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 CP0 de la centrale du Bugey exploités en gestion de combustible CYCLADES, 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 publique³¹. En particulier, pour la population la plus radiosensible, à 7 jours, la dose efficace (sans ingestion) évaluée par EDF à 450 m de l'installation est de 44 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 250 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. À 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, 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 inétanches.

Dans l'étude de RTGV4 présentée dans le rapport de sûreté VD4 900, la quantité d'eau liquide rejetée dans l'environnement est de 459 t (contre 215 t actuellement affichées dans le RDS VD3 900). Il n'y a donc pas

³¹ 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'amélioration pour l'état VD4 900. Par ailleurs, la quantité d'eau liquide rejetée dans l'environnement pendant ce transitoire pour les réacteurs CPO 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 puissance³². 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 populations³³. À titre indicatif, pour que les évaluations de dose équivalente à la thyroïde à court terme à 450 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 20 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. À 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 CPO de la centrale du Bugey exploités en gestion de combustible CYCLADES. L'IRSN a formulé dans l'avis sur les études VD4 900 CPY en gestion de combustible PARITE MOX, cité en référence [4], la recommandation PARITE MOX n°6 rappelée en annexe 1. Cette recommandation est applicable aux réacteurs CPO de la centrale du Bugey en gestion de combustible CYCLADES.

Conclusion

EDF a repris l'intégralité de la démonstration de sûreté déterministe des réacteurs de 900 MWe du palier CPO de la centrale du Bugey exploités en gestion de combustible CYCLADES 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.

La démonstration de sûreté déterministe des réacteurs de 900 MWe du palier CPY exploités en gestion de combustible PARITE MOX a fait l'objet d'une expertise de l'IRSN [4]. Sauf exceptions, les conclusions de celle-ci sont applicables aux réacteurs de 900 MWe du palier CPO de la centrale du Bugey exploités en gestion de combustible CYCLADES, en particulier les recommandations rappelées en annexe 1.

À l'issue de la présente expertise, l'IRSN estime que les études des conditions de fonctionnement de dimensionnement et complémentaires nécessitent des compléments substantiels pour qu'une démonstration de

³² 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.

³³ Les évaluations de doses indiquées ci-dessus tiennent compte de cet abaissement.

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 3 en annexe 2. Les observations n° 1 à 6 en annexe 3 recensent par ailleurs des points méritant des réponses de la part d'EDF. De plus, les recommandations n° 1 à 4 de l'annexe 1 sont applicables aux réacteurs de 900 MWe du palier CPO de la centrale du Bugey exploités en gestion de combustible CYCLADES.

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. En conséquence, 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 permettant de réduire les conséquences radiologiques de cet accident, conformément à la recommandation n° 6 de l'annexe 1 applicable aux réacteurs de 900 MWe du palier CPO de la centrale du Bugey exploités en gestion de combustible CYCLADES.

Pour le Directeur général et par délégation,

Olivier DUBOIS

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe 1 à l'avis IRSN/2019-00245 du 25 octobre 2019

Rappel des recommandations³⁴ de l'avis IRSN/2019-00002 [4]

Recommandation PARITE MOX 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 PARITE MOX 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 PARITE MOX 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 PARITE MOX 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 PARITE MOX 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.

³⁴ Compte tenu des derniers échanges techniques avec EDF tenus en 2019, la recommandation PARITE MOX n°5 est caduque et n'est donc pas rappelée ici.

Annexe 2 à l'avis IRSN/2019-00245 du 25 octobre 2019

Recommandations

Recommandation CP0 n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF étudie le scénario de la condition de fonctionnement complémentaire de perte totale de source froide sur 100 heures, non initié par la perte totale du RRI ou du SEC, afin de s'assurer de l'atteinte de l'état de repli avec la conduite actuellement prescrite. EDF devra, le cas échéant, modifier la conduite pour cet initiateur.

Recommandation CP0 n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF justifie l'absence de risque lié à l'injection d'azote dans le circuit primaire pour les scénarios de DCC-LH avec fuite inférieure à 2 t/h/GMPP en prenant en compte, en plus de l'incertitude de mesure de la pression primaire, l'incertitude associée au temps d'action d'isolement des accumulateurs par l'opérateur et le délai de fermeture des vannes.

Recommandation CP0 n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF étudie et mette en œuvre une modification matérielle pour augmenter significativement la marge d'arrêt.

Annexe 3 à l'avis IRSN/2019-00245 du 25 octobre 2019

Observations

Observation CP0 n° 1

Compte tenu de l'apparent sous-conservatisme de la méthode de synthèse par rapport à la méthode 3D dans les études de capacité de puissance de catégorie 1 des gestions CYCLADES VD4 et PARITE MOX VD4, l'IRSN estime qu'EDF devrait justifier que le caractère enveloppe de la méthode de synthèse n'est pas mis en cause, pour l'ensemble des études dans laquelle elle est utilisée. Le cas échéant, EDF révisera le bilan de marge des études concernées.

Observation CP0 n° 2

L'IRSN estime qu'EDF devrait démontrer le conservatisme des paramètres neutroniques retenus dans l'étude de capacité de puissance de catégorie 2 pour le volet relatif à la vérification de l'absence d'apparition de la crise d'ébullition.

Observation CP0 n° 3

L'IRSN estime qu'EDF devrait faire évoluer la méthode MTC 3D pour l'étude des brèches secondaires initiées à puissance nulle en intégrant l'hypothèse d'un entrainement de liquide à la brèche.

Observation CP0 n° 4

L'IRSN estime qu'EDF devrait identifier les conditions de fonctionnement de dimensionnement valorisant des matériels IPS-NC, pour lesquelles le délai de mise en œuvre des moyens de substitution est sensiblement plus élevé, leur efficacité réduite ou consistant en un enchaînement de moyens distincts. Ces transitoires devraient alors faire l'objet d'une vérification quantitative, afin de démontrer l'atteinte de l'état sûr, en considérant explicitement ces moyens de substitution, et leurs caractéristiques spécifiques.

Observation CP0 n° 5

L'IRSN estime qu'EDF devrait réaliser l'étude permettant de démontrer l'efficacité de la disposition complémentaire correspondant à l'arrêt de l'ISHP et à la mise en service de la charge RCV en cas de « perte ou brèche sur le système de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA) en état d'arrêt pour intervention non suffisamment ouvert (API NSO) », avec les règles d'études du domaine complémentaire et l'intégrer au rapport de sûreté.

Observation CP0 n° 6

L'IRSN estime qu'EDF devrait s'assurer qu'une situation de « perte ou brèche sur le système de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA) en état d'arrêt pour intervention non suffisamment ouvert (API NSO) » avec un niveau primaire supérieur au niveau bas de la plage de travail du plan de joint de cuve lors de la première intervention de l'opérateur, est couverte par les situations considérées dans le rapport de sûreté.