

Fontenay-aux-Roses, le 19 novembre 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2024-00165

**Objet :** Analyse des études d'accidents sans fusion du coeur associées au quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe

**Réf. :**

- [1] Lettre ASN – CODEP-DCN-2013-013464 du 28 juin 2013.
- [2] Lettre ASN – CODEP-DCN-2019-009228 du 11 décembre 2019.
- [3] Saisine ASN – CODEP-DCN-2024-057332 du 18 octobre 2024.
- [4] Décision ASN – 2021-DC-0706 du 23 février 2021.
- [5] Lettre ASN – CODEP-DCN-2015-046507 du 24 décembre 2015.
- [6] Lettre ASN – CODEP-DCN-2021-017626 du 7 juillet 2021
- [7] Lettre ASN – CODEP-DCN-2021-034392 du 23 juillet 2021.
- [8] Avis IRSN – 2024-00063 du 24 avril 2024.
- [9] Avis IRSN – 2024-00012 du 31 janvier 2024.
- [10] Avis IRSN – 2021-00208 du 21 décembre 2021.

En vue de poursuivre l'exploitation des réacteurs du palier de 1300 MWe<sup>1</sup> au-delà de 40 ans, Électricité de France (EDF) a déposé, 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 (noté RP4 1300) s'inscrit dans un contexte particulier puisque, 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 d'une consultation du groupe permanent pour les réacteurs nucléaires (GPR) sur le programme de travail correspondant d'EDF, l'ASN a estimé, par sa lettre citée en référence [1], que les réacteurs actuels devaient être améliorés au regard des objectifs de sûreté applicables aux nouveaux réacteurs, en particulier en réduisant encore, autant que raisonnablement possible, l'impact radiologique des accidents.

<sup>1</sup> Le palier de 1300 MWe est composé de vingt réacteurs répartis en deux trains :

- huit réacteurs constituant le train P4 : deux à Flamanville, quatre à Paluel et deux à Saint-Alban, mis en service entre 1985 et 1987 ;
- douze réacteurs constituant le train P'4 : deux à Belleville-sur-Loire, quatre à Cattenom, deux à Golfech, deux à Nogent-sur-Seine et deux à Penly, mis en service entre 1987 et 1994.

Par ailleurs, en mai 2019, à l'issue de la consultation du GPR sur les orientations retenues par EDF pour le RP4 1300, l'ASN a pris position sur ces orientations et a indiqué les éléments supplémentaires qu'EDF devait transmettre afin d'apporter la démonstration de sûreté attendue [2]. Ce réexamen périodique doit ainsi permettre d'améliorer le niveau de sûreté des réacteurs de 1300 MWe 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, 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, les études probabilistes de sûreté relatives au risque de fusion du cœur permettant notamment d'établir la liste des conditions de fonctionnement complémentaires, ainsi que les études relatives à la sûreté de l'entreposage et de la manutention du combustible) et réévalué les conséquences radiologiques associées. Pour les études de ces accidents, EDF s'est fixé deux objectifs principaux :

- « pour les accidents de dimensionnement : viser des conséquences radiologiques inférieures au seuil de mise en œuvre de mesures de protection des populations (prise de comprimés d'iode, mise à l'abri, évacuation) » ;
- « pour les situations accidentelles associées à la piscine d'entreposage du combustible usé : rendre résiduel le risque de découverture des assemblages stockés en piscine. »

À l'occasion du RP4 1300, EDF prévoit également une modification importante de la gestion de combustible utilisée sur ces réacteurs, à savoir l'introduction de combustible sous forme d'uranium de retraitement enrichi (URE) et d'un mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium (MOX), en plus du combustible d'uranium neuf enrichi (UNE) utilisé dans la gestion GEMMES actuelle. EDF vise toutefois à disposer d'un état physique de l'installation (schéma des grappes de commande, seuils d'alarme et de protection ...) et de règles générales d'exploitation (RGE) aussi proches que possible pour les différents produits de combustible, alors que par exemple le combustible MOX présente des caractéristiques neutroniques<sup>2</sup> en général moins favorables que les combustibles URE et UNE en termes de sûreté.

De manière générale, EDF a repris l'intégralité de la démonstration de sûreté des réacteurs de 1300 MWe qui seront exploités en gestion de combustible GEMMES (UNE, URE et MOX).

Dans ce contexte, l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN en particulier sur les sujets suivants [3] :

- « le corps d'hypothèses, et notamment :
  - l'atteinte par EDF des objectifs de ce réexamen et des attentes de l'ASN quant aux études à mener [2],
  - les outils de calcul scientifique et méthodes utilisés dans les études de sûreté,
  - la prise en compte des nouveaux référentiels et des critères associés,
  - la prise en compte des modifications prévues au lot A, pour la protection du cœur ou les accidents sans fusion du cœur,
  - le traitement des écarts de conformité et des anomalies d'études [...],
  - les évolutions du domaine complémentaire (conditions de fonctionnement et dispositions), sur la base des résultats des études probabilistes de sûreté (EPS) de niveau 1 ;
- les études des accidents sans fusion du cœur, transmises par EDF : études d'accidents du domaine de dimensionnement et du domaine complémentaire, études de pression et température dans l'enceinte de confinement, études justificatives particulières (interaction pastille-gaine, accident de perte réfrigérant primaire, dilution inhérente) ;
- l'application par EDF du nouveau référentiel d'évaluation des conséquences radiologiques ;

<sup>2</sup> Les caractéristiques neutroniques du MOX entraînent en particulier une diminution de l'efficacité des absorbants des neutrons thermiques, une plus forte augmentation de la réactivité en cas d'accident de refroidissement, un passage en prompt criticité plus rapide ou encore une décroissance de la puissance résiduelle plus faible.

- *les situations accidentelles susceptibles de survenir dans la piscine d'entreposage des assemblages de combustible, y compris celles qui seraient induites par des agressions, avec comme objectif de ramener à terme et de maintenir durablement l'installation dans un état correspondant à une absence d'ébullition de l'eau de la piscine, conformément aux exigences fixées en référence [2] ».*

De plus, l'IRSN s'est attaché à prendre en considération les préoccupations et questions formulées par divers représentants de la société civile au cours du dialogue technique organisé avec l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (ANCCLI). C'est pourquoi cet avis apporte également des réponses à ces questions et préoccupations en lien avec la thématique des études d'accidents du RP4 1300 et la maîtrise des situations accidentelles pouvant affecter le refroidissement des assemblages de combustible présents dans la piscine d'entreposage.

## 1. CORPS D'HYPOTHÈSES DES ÉTUDES D'ACCIDENTS

Le corps d'hypothèses des études d'accidents du référentiel RP3 est en grande partie reconduit pour les études du référentiel RP4, 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 RP4 1300 :

- 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 domaine complémentaire « rénové » ;
- 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 ;
- la prise en compte explicite de la variabilité des recharges en combustible<sup>3</sup> et la présentation dans le rapport de sûreté des vérifications prévues à chaque rechargement de combustible ;
- des évolutions de critères relatifs à la tenue du combustible ;
- 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 assemblages<sup>4</sup>, le conditionnement mécanique des crayons de combustible<sup>5</sup> et la présence de crayons inétanches<sup>6</sup> ;
- la prise en compte du colmatage des plaques entretoises des générateurs de vapeur ;
- la résorption des anomalies d'études affectant la démonstration de sûreté du référentiel RP3.

### Remarques générales

La gestion de combustible considérée dans les études associées au RP4 1300 est une gestion triple. En effet, conformément aux objectifs de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) 2019–2028, EDF prévoit l'introduction dans les réacteurs de 1300 MWe de l'URE ou du MOX, en plus du combustible UNE utilisé dans la gestion GEMMES dans le référentiel RP3 1300. Ces deux types de combustible sont déjà chargés dans les réacteurs de 900 MWe (respectivement dans les gestions GARANCE URE et PARITÉ MOX). En particulier, le crayon

<sup>3</sup> Cette variabilité se caractérise par des changements 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...

<sup>4</sup> 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.

<sup>5</sup> 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.

<sup>6</sup> 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.

de combustible MOX contient des dispositifs spécifiques en hafnium en parties inférieure et supérieure pour limiter le phénomène de remontée de flux neutronique aux extrémités de la colonne fissile. Il est à noter que les assemblages de combustible considérés dans les études sont à ce stade uniquement de conception Framatome. En revanche, les études d'accidents réalisées pour le RP4 1300 couvrent un ensemble conséquent de cycles de conception, ce qui permettra à EDF de disposer d'une grande souplesse dans l'élaboration des plans de chargement notamment en termes de nature du combustible, de format des recharges de combustible et de durée du cycle d'irradiation.

Les modifications matérielles prévues d'être mises en œuvre par EDF dans le cadre du RP4 1300, ainsi que les règles générales d'exploitation qui en découlent, constituent des données d'entrée pour les études d'accidents. À titre d'exemples, EDF prévoit en RP4 1300 l'ajout de quatre grappes de commande pour augmenter la marge d'arrêt et donc assurer une meilleure maîtrise de la réactivité (notamment pour tenir compte de l'utilisation de combustible MOX) et l'introduction de grappes fixes en hafnium pour limiter le flux neutronique reçu par la cuve. Ainsi, l'acceptabilité de ces études permet de se prononcer *in fine* sur leur suffisance (hors mise en œuvre matérielle et évolutions des RGE). L'ensemble des modifications fera l'objet d'une expertise de l'IRSN dans le cadre du dossier d'amendement (DA) RP4 1300, qui pourra le cas échéant conduire l'ASN à formuler des demandes nécessitant des évolutions des études analysées ou la réalisation de nouvelles études.

L'IRSN estime que les évolutions du référentiel des études RP4 1300 sont satisfaisantes dans leur principe. La liste des initiateurs étudiés dans la démonstration de sûreté reprend celle du référentiel RP3<sup>7</sup>, mise à jour par l'ajout de nouveaux scénarios identifiés lors des réexamens récents (notamment le RP4 900), et la prise en compte des études probabilistes de sûreté RP4 1300. Les études de ces incidents et accidents sont complétées par l'évaluation du comportement des réacteurs de 1300 MWe en retenant les événements et les délais d'action des opérateurs issus des études de sûreté de l'EPR de Flamanville.

Les méthodes utilisées pour les études du RP4 1300 sont en général les mêmes que celles mises en œuvre dans le cadre du RP4 900. Néanmoins, certaines études utilisent des méthodes plus avancées. Ces méthodes ont fait l'objet d'une instruction anticipée, ou prennent en compte des évolutions en cohérence avec les instructions réalisées depuis. L'IRSN estime que ces méthodes sont déclinées de manière satisfaisante dans les études RP4 1300.

Les outils de calcul scientifiques (OCS) 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 compléments de validation pour certains d'entre eux, ces réserves ne mettent toutefois pas en cause leur utilisation dans le cadre des études du RP4 1300.

Pour ce qui concerne la conception thermohydraulique du cœur, EDF utilise, pour les études du RP4 1300, la corrélation de flux critique<sup>8</sup> 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 1300 MWe. Par ailleurs, en réponse à une prescription de l'ASN formulée dans le cadre du RP4 900 [4], EDF s'est engagé à réaliser des campagnes d'essais de flux critique représentatives des périphéries d'assemblages, afin de valider l'utilisation de la corrélation FC2002r en présence de lames d'eau élargies résultant de la déformation latérale des assemblages. Dans l'attente de disposer de ces données, EDF a

---

<sup>7</sup> La liste des initiateurs du domaine de dimensionnement 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. Celle des initiateurs du domaine complémentaire est issue des études probabilistes de sûreté, complétée par des transitoires étudiés au titre de l'aspect long terme (c'est-à-dire au-delà de 24 heures).

<sup>8</sup> La corrélation de flux critique permet, en fonction des conditions thermohydrauliques locales (pression, titre, 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.

décliné, pour la prise en compte de l'élargissement des lames d'eau, la méthodologie mise en œuvre pour les études du RP4 900, ce qui n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

Enfin, le phénomène de fléchissement des crayons<sup>9</sup> 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 du RP4 1300, EDF a considéré ce phénomène de manière déterministe, conformément à la demande de l'ASN formulée dans le cadre du RP3 1300 [5].

### Focus sur le délai d'action des opérateurs

Les règles d'études des conditions de fonctionnement définissent les délais conventionnels à retenir pour les actions de l'opérateur dans les études de sûreté. Dans le cadre de la réunion du GPR consacrée au retour d'expérience de l'exploitation des réacteurs électronucléaires sur la période 2018-2019, l'IRSN a considéré que le délai de réalisation de certaines actions de conduite prescrites dans l'APE<sup>10</sup> était supérieur au délai conventionnel. À cet égard, EDF s'est engagé « *dans les futurs réexamens de sûreté, [...] à identifier et documenter] dans le cadre de la réalisation des études de sûreté du domaine de dimensionnement et du domaine complémentaire rénové la nécessité d'utiliser des délais adaptés et [à justifier] les délais retenus en fonction des scénarios étudiés et des règles d'études applicables* ». Pour répondre à cet engagement, EDF a réinterrogé les délais conventionnels au regard des procédures de conduite, ce qui conduit à définir un délai supérieur au délai conventionnel dans certaines études, nommé « délai adapté ». Les principes de la démarche proposée par EDF et sa première application ont été présentés dans le cadre du RP4 1300.

La méthodologie de détermination du délai adapté vise à estimer l'ordre de grandeur du délai nécessaire aux opérateurs pour effectuer l'action. Elle s'appuie sur une analyse de la conduite valorisée dans l'étude de sûreté et déclinée dans les procédures de conduite incidentelle et accidentelle. L'IRSN estime cette méthodologie acceptable, mais souligne que l'incertitude associée au délai adapté ainsi évalué doit être prise en compte dans l'évaluation des marges aux critères de l'étude concernée. **Concernant son application, l'IRSN estime acceptables les évaluations réalisées pour déterminer les délais adaptés. Par ailleurs, EDF s'est engagé à vérifier la validité des délais adaptés associés aux situations de perte totale des alimentations électriques externes lorsque les consignes de conduite mises à jour en RP4 1300 seront disponibles, ce qui est satisfaisant. Il appartiendra également à EDF d'étendre cette vérification à l'ensemble des délais adaptés déterminés en se basant sur les consignes de conduite mises à jour à l'état RP4.**

Les principes de la démarche « délai adapté » diffèrent selon qu'elle s'applique au domaine de dimensionnement ou au domaine complémentaire. **Concernant le domaine de dimensionnement, si la prise en compte du délai adapté conduit au non-respect des critères de sûreté, une modification est recherchée pour réduire le délai de réalisation de l'action ou pour augmenter le délai de grâce<sup>11</sup>, ce qui est satisfaisant.**

Concernant le domaine complémentaire, EDF distingue les actions réalisées en salle de commande et celles réalisées en local. **Pour ces dernières, EDF retient les délais adaptés dans l'étude de référence<sup>12</sup>, ce qui est satisfaisant.** En revanche, pour les actions réalisées en salle de commande, EDF conserve pour l'étude de référence le délai conventionnel de 20 minutes, considérant que l'analyse de sensibilité à la prise en compte d'un délai adapté relève d'une étude de robustesse. Par ailleurs, EDF évalue si la prise en compte du délai adapté remet en cause les conclusions de l'étude de référence, en le comparant au délai de grâce déterminé par les études support aux EPS. **Or, l'IRSN estime que retenir comme critère le délai de grâce déterminé via les études**

<sup>9</sup> 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.

<sup>10</sup> APE : approche par état.

<sup>11</sup> Le délai de grâce d'une action de l'opérateur correspond au délai maximal de réalisation de cette action permettant de respecter les critères d'acceptation de l'étude.

<sup>12</sup> Étude présentée dans le rapport de sûreté.

en support aux EPS, qui considèrent des hypothèses réalistes, n'est pas pertinent compte tenu du niveau de couverture plus élevé requis pour les études des conditions de fonctionnement complémentaire (CFC). De plus, quand le délai adapté est supérieur au délai conventionnel, l'étude de référence retenant ce délai conventionnel ne permet pas d'évaluer correctement l'efficacité des dispositions complémentaires, et les marges présentées dans le rapport de sûreté sont en conséquence surestimées. À l'issue de l'expertise, EDF s'est engagé à apporter des compléments qui seront intégrés dans le rapport de sûreté, justifiant le respect des critères d'étude lorsque le délai adapté n'est pas du même ordre de grandeur que le délai conventionnel. L'IRSN estime cet engagement positif sur le principe, sous réserve qu'une quantification de l'évolution des marges aux critères de sûreté soit présentée.

Concernant l'application de la démarche au RP4 1300, compte tenu des réserves évoquées ci-dessus, l'IRSN a focalisé son analyse sur les conditions de fonctionnement complémentaires pour lesquelles la prise en compte d'un délai adapté réduit notablement les marges, présentées *infra*.

**D'une manière générale, dans le cadre des prochains réexamens et pour le réacteur EPR2, afin de démontrer l'efficacité des dispositions complémentaires avec un haut niveau de couverture, conformément aux règles d'études, l'IRSN estime qu'EDF devrait réaliser les études des conditions de fonctionnement complémentaires en retenant le délai adapté pour les actions en salle de commande, à l'instar de la démarche retenue pour les actions en local, si le délai adapté est supérieur au délai opérateur conventionnel et considérer ces études en tant qu'étude de référence de la CFC.**

## 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.

**À l'issue de son analyse, l'IRSN estime que les études d'EDF démontrent, moyennant certains compléments qu'EDF s'est engagé à fournir, le respect des critères de sûreté.** Les principales conclusions de l'expertise de l'IRSN sont présentées ci-après.

1) Concernant les études de dilution d'acide borique :

- bien que l'étude de la dilution initiée en puissance avec le groupe de régulation de température en mode manuel reste non conforme aux règles d'études de dimensionnement et ne répond donc pas pleinement à la demande formulée par l'ASN en clôture du RP3 1300 [6], la modification proposée par EDF permet de fiabiliser et d'accélérer l'entrée en conduite incidentelle et accidentelle, ce qui est positif ;
- l'étude de dilution en puissance réalisée 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, tel que demandé par l'ASN [2], présente un retour en puissance d'ampleur significative et sur une durée relativement longue. **Cependant, l'IRSN estime, avec une raisonnable assurance, que la levée de certains sur-conservatismes conduirait à un retour en puissance nettement plus faible, voire à l'absence de retour critique, ce qui serait conforme aux préconisations du guide de l'ASN n° 22 relatif à la conception des réacteurs à eau sous pression.**

2) Concernant les études d'accidents de refroidissement :

- compte tenu de la pénalisation du mélange en entrée du cœur réalisée par EDF au cours de l'expertise pour pallier certains manques de validation, l'IRSN estime satisfaisante la démonstration de la phase moyen terme de l'étude de rupture de tuyauterie vapeur (RTV) initiée à puissance nulle. **À cet égard, en l'absence d'éléments nouveaux de validation, cette pénalisation devra être considérée de manière systématique pour les futurs réexamens ;**

- à la suite d'une demande de l'ASN [2], EDF a démontré que, pour les transitoires de refroidissement initiés depuis les états d'arrêt, grâce notamment à l'augmentation de la concentration en bore requise, le cœur reste sous-critique, sauf pour l'étude de rupture de tuyauterie vapeur (RTV) de catégorie 4 qui présente un retour en puissance négligeable, ce que l'IRSN estime acceptable.
- 3) Concernant les études d'éjection de grappe (EDG) et de rotor bloqué d'une motopompe primaire (RB), compte tenu d'un retour en puissance possible après l'arrêt automatique du réacteur (AAR) (en lien avec l'anomalie déclarée au sujet de la maîtrise de la réactivité en phase moyen terme et présentée ci-après), EDF a démontré l'absence de risque d'entrée en crise d'ébullition en phase court terme du transitoire, ou à défaut l'absence d'endommagement de la gaine. **Ceci permet de démontrer l'intégrité des gaines de combustible, même en cas de retour en puissance après l'AAR (voir point 7), ce que l'IRSN estime acceptable.**
  - 4) Concernant la rupture d'un tube de générateur de vapeur (RTGV) en 4<sup>e</sup> catégorie, le transitoire retenu par EDF jusqu'au RP3 1300 consistait en la rupture guillotine d'un tube de GV cumulée au blocage en position ouverte d'une soupape de sûreté de ce GV, ce qui conduisait à un volume de rejet liquide très élevé. Dans le cadre du RP3 1300, EDF a mis en œuvre des modifications visant à éviter le débordement du GV affecté (GVa). Cependant, au cours de l'instruction associée au RP3 1300, l'IRSN a estimé qu'EDF devait apporter des compléments pour s'assurer de la suffisance de ces modifications. **À l'issue de l'expertise réalisée dans le cadre du RP4 1300, l'IRSN considère acceptables les compléments transmis par EDF en réponse à cette réserve. Ainsi, il n'est plus nécessaire d'étudier le scénario de RTGV cumulée au blocage d'une soupape secondaire dans le domaine de dimensionnement, sous réserve de l'acceptation des modifications des procédures de conduite, modifications qui sont valorisées dans les études de RTGV, et qui seront expertisées dans le cadre du DA RP4 1300.**
  - 5) Concernant les études de l'APRP BI<sup>13</sup>, l'IRSN estime que la méthode CathSBI permet une analyse plus précise et plus systématique du comportement du réacteur en situation accidentelle que les méthodes déterministes utilisées auparavant. En revanche, certaines lacunes de validation de l'OCS utilisé ont été identifiées, en particulier vis-à-vis de phénomènes spécifiques aux réacteurs de quatre boucles ou encore lorsque les déformations de gaine de combustible deviennent importantes. Malgré ces réserves, compte tenu des conservatismes retenus, l'IRSN estime acceptables les études de l'APRP BI.
  - 6) Concernant la dilution hétérogène inhérente à l'APRP BI (scénario non considéré à la conception des réacteurs), EDF a réalisé, en réponse aux demandes de l'ASN [2] et [7], les études associées en évaluant les conséquences de la dilution sur le cœur, en fonction du volume du bouchon d'eau faiblement borée, et ce pour la première fois avec les règles d'études du domaine de dimensionnement. Les analyses présentées par EDF permettent d'avoir la raisonnable assurance de l'absence de risque de perte d'intégrité des crayons de combustible.
  - 7) Concernant la maîtrise de la réactivité, EDF a déclaré deux anomalies d'études qui portent respectivement sur les phases moyen terme (entre l'instant de l'AAR et l'instant de la première action de l'opérateur) et long terme (jusqu'à l'atteinte de l'état sûr) des accidents. Dans les deux cas, la démonstration est incomplète voire inexistante et un retour en criticité peut être observé pour de nombreux transitoires, dont certains en catégorie 2 :
    - en phase moyen terme, ces retours en criticité sont provoqués par l'action même des systèmes de sauvegarde du fait d'un refroidissement de l'eau du circuit primaire en l'absence d'une borication efficace. À cet égard, EDF a entrepris, avec des évolutions de méthodes d'études, parfois accompagnées de modifications matérielles, de démontrer soit l'absence d'entrée en crise d'ébullition en phase court terme des transitoires concernés, soit l'absence d'endommagement de la gaine ayant subi une crise d'ébullition (voir le point 3 ci-dessus relatif à l'EDG et au RB), ce que l'IRSN estime acceptable ;

<sup>13</sup> APRP BI : accident par perte de réfrigérant primaire à la suite d'une brèche de taille intermédiaire.

- pour la phase long terme, EDF a proposé une démarche pour évaluer l'évolution de la sous-criticité du cœur tout au long du repli du réacteur vers l'état sûr. L'application de cette démarche aux études du RP4 1300 montre l'absence de retour critique pour l'ensemble des études de dimensionnement, ce qui est satisfaisant.
- 8) Concernant les études des évolutions de pression et température dans l'enceinte du bâtiment du réacteur en cas d'accident, l'OCS mis en œuvre en RP4 1300 pour l'étude d'APRP diffère de celui utilisé en RP3 1300. À l'issue de l'expertise, EDF s'est engagé à transmettre une justification de ce changement, ce qui est satisfaisant sur le principe. Par ailleurs, en réponse à une réserve de l'IRSN, EDF a réalisé une étude qui montre que la température de surface des matériels présents dans l'enceinte ne dépasse pas la température permettant de s'assurer du respect des conditions de qualification de ces matériels aux conditions accidentelles. Cette vérification ayant été réalisée à partir de l'inventaire des matériels à l'état RP3 1300, il appartiendra à EDF de conforter cette conclusion lorsque l'inventaire aura été mis à jour à l'état RP4.
  - 9) En réponse à des demandes formulées par l'ASN dans le cadre de la phase d'orientation du RP4 1300 [2], EDF a complété l'analyse de la robustesse au séisme des réacteurs du palier 1300 MWe, en étudiant l'impact de la perte du réseau électrique sur les conditions de fonctionnement et en valorisant uniquement des moyens qualifiés au séisme. L'IRSN estime les éléments transmis satisfaisants.
  - 10) En réponse à une demande de l'ASN [7], EDF a complété la justification concernant la valorisation des matériels IPS-NC<sup>14</sup> pour certaines conditions de fonctionnement, en précisant notamment les liens entre les matériels valorisés dans la démonstration de sûreté et les règles générales d'exploitation, ce qui est satisfaisant. Cependant, EDF n'a pas réalisé l'analyse visant à identifier, pour les différents matériels IPS-NC valorisés dans la démonstration de sûreté, les cas où le recours aux moyens de substitution aurait un fort impact, du fait par exemple du retard associé à la mise en œuvre de ces moyens ou de leur niveau de performance potentiellement inférieur. **En conséquence, l'IRSN estime qu'EDF n'a pas totalement répondu à la demande de l'ASN.**
  - 11) Conformément à la demande de l'ASN [2], EDF a évalué, en appliquant les règles des études des conditions de dimensionnement, le comportement des réacteurs de 1300 MWe et de leurs piscines d'entreposage des assemblages de combustible en considérant les scénarios accidentels retenus pour le réacteur EPR qui sont possibles physiquement mais non traités dans la démonstration de sûreté associée aux réacteurs de 1300 MWe. **L'analyse d'EDF montre que plusieurs dispositions déployées en RP4 1300 permettent le respect des critères de sûreté avec les règles et méthodes du domaine de dimensionnement, pour la plupart des événements concernés, ce qui répond à l'objectif général du RP4 1300 de se rapprocher du niveau de sûreté de l'EPR.** Néanmoins, EDF a identifié quatre événements pour lesquels l'analyse aboutit au non-respect des critères de sûreté et a identifié les dispositions qui seraient nécessaires pour atteindre les objectifs de sûreté. Elles ont finalement été écartées par EDF en raison d'une complexification de l'exploitation qui en résulterait non proportionnée aux enjeux de sûreté. **L'IRSN prend note de la position d'EDF, position similaire à celle *in fine* retenue dans le cadre du RP4 900.**
  - 12) Enfin, pour ce qui concerne la démarche adoptée pour la démonstration de sûreté de chaque recharge en combustible, l'IRSN n'a pas de remarque.

---

<sup>14</sup> IPS-NC : important pour la sûreté non classé.

### 3. ÉTUDES DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT COMPLÉMENTAIRES

Dans le cadre du RP4 1300, 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 ».

Les dispositions complémentaires sont des dispositifs automatiques ou manuels (parades) intervenant dans la gestion de situations accidentelles non couvertes par le dimensionnement conventionnel de l'installation, et nécessaires à la vérification de son niveau de sûreté. Leur identification s'appuie principalement sur l'EPS1 RP4 1300 de référence. Ces parades font l'objet d'études dédiées visant à montrer leur efficacité pour la gestion des situations accidentelles concernées. Elles font de plus l'objet de requis de disponibilité, adaptés à leur importance pour la prévention du risque de fusion du cœur. Dans le référentiel RP4 1300, EDF ne retient pas dans le domaine complémentaire certains équipements classés au titre du noyau dur<sup>15</sup>, ce qui est acceptable si les exigences associées sont compatibles avec celles qui auraient été définies au titre du domaine complémentaire.

Parmi les évolutions notables de la liste des dispositions complémentaires pour le RP4 1300, EDF ne retient plus la parade visant, en cas de défaillance de cause commune des tableaux électriques de tension 6,6 kV secourue (DCC-LH), à prévenir la fusion du cœur. EDF justifie cette évolution par une analyse du retour d'expérience d'exploitation récent. Cette évolution a été jugée acceptable pour l'IRSN [8] à la condition notamment que la gestion de la situation DCC-LH soit toujours prévue dans la conduite accidentelle.

EDF a également identifié les parades permettant d'obtenir un état sûr et stable au-delà du délai conventionnel de 24 heures et précisé celles qui sont incluses dans la liste des dispositions complémentaires, ce qui est satisfaisant. L'IRSN convient qu'il n'est pas nécessaire d'y intégrer les différents moyens de réalimentation de la bache PTR<sup>16</sup> compte tenu du foisonnement des moyens pouvant être identifiés par les équipes de crise. La disponibilité ou la fiabilité de ces moyens mériterait toutefois d'être approfondie. Par ailleurs, il est nécessaire de vérifier le maintien de la sous-criticité du cœur jusqu'à la disparition complète du xénon<sup>17</sup> dans toutes les situations du domaine complémentaire (voir point 5 ci-après).

**À l'issue de l'expertise, l'IRSN considère que la liste des dispositions complémentaires RP4 1300 est globalement satisfaisante. Toutefois, une mise à jour de l'EPS1 RP4 1300 a été jugée souhaitable de manière à accroître sa représentativité vis-à-vis de l'état réel des installations et de leur exploitation [9], ce qui pourrait avoir un impact sur cette liste.**

Enfin, l'IRSN estime que les études des conditions de fonctionnement complémentaires sont satisfaisantes, hormis celles pour lesquelles l'IRSN formule les remarques ci-après :

- 1) L'ASN a demandé à EDF (demande n° 15 [7]) de pénaliser les modèles physiques des OCS utilisés qui ont une influence sur le résultat des études des CFC, pour couvrir leurs incertitudes. En réponse, EDF a proposé une démarche qui se base sur des études de sensibilité. Cette démarche n'a pour l'instant été appliquée qu'à quatre conditions de fonctionnement. À l'issue de l'expertise, l'IRSN estime qu'EDF n'a pas répondu de manière satisfaisante à cette demande pour trois d'entre elles. Par ailleurs, d'une manière générale, il

<sup>15</sup> Ensemble des dispositions matérielles et organisationnelles qui permet, en cas d'agression externe d'ampleur extrême affectant une installation nucléaire, de prévenir la perte totale des sources électriques et de refroidissement, et, à défaut, d'éviter des rejets massifs de substances dangereuses.

<sup>16</sup> Système de traitement et de refroidissement de l'eau des piscines.

<sup>17</sup> Le xénon est un « poison neutronique », dont la concentration augmente après l'AAR, puis diminue jusqu'à disparaître complètement au bout de plusieurs dizaines d'heures. Sa disparition entraîne une insertion de réactivité sur le long terme, dont il faut tenir compte dans le bilan de réactivité.

appartient à EDF de répondre exhaustivement à cette demande de l'ASN pour les prochains réexamens et pour le réacteur EPR2.

- 2) Pour ce qui concerne l'étude d'APRP sans ISMP<sup>18</sup>, l'application de la démarche « délai adapté » (voir paragraphe 1) a montré que le délai nécessaire pour la mise en œuvre de la disposition complémentaire « refroidissement maximal » valorisée pour cette étude est de l'ordre de 30 minutes, ce qui est supérieur au délai conventionnel retenu pour les CFC, à savoir 20 minutes. Or, sans action de l'opérateur, la brèche provoque un découvrement du cœur à 33 minutes puis une montée en température des gaines de combustible très rapide. L'action de l'opérateur réalisée à 30 minutes permet de stopper cette montée en température mais les critères de sûreté ne seraient plus respectés si cette action était entreprise quelques minutes plus tard. De plus, dans les calculs réalisés, les incertitudes des modèles physiques de l'OCS utilisé ne sont pas prises en compte. En les considérant, le découvrement du cœur interviendrait plus tôt, ce qui laisserait à l'opérateur moins de temps pour agir. **Ainsi, l'IRSN estime que la démonstration de l'efficacité de la disposition complémentaire retenue n'est pas apportée à date. Ce point fait l'objet de la recommandation présentée en annexe.**
- 3) Concernant l'étude de perte totale de l'alimentation en eau des générateurs de vapeur, EDF a évalué le délai adapté pour la mise en œuvre de la disposition complémentaire « passage en gavé-ouvert<sup>19</sup> ». **Afin de s'assurer de son efficacité, l'IRSN estime qu'EDF devra évaluer, en réponse à la demande n° 15 de l'ASN [7], l'impact de la prise en compte des incertitudes des modèles physiques dominants sur l'étude en considérant le délai opérateur « adapté ».**
- 4) Dans le cadre du dossier d'amendement « H1 de site », l'IRSN [7] a recommandé que, pour les réacteurs de 1300 MWe à l'état technique RP3, EDF démontre la maîtrise de la réactivité avec la nouvelle stratégie de conduite prévue en situation de perte totale de la source froide. **L'IRSN estime que cette recommandation est également applicable au référentiel RP4 1300.**
- 5) Concernant l'étude de perte totale des alimentations électriques (H3) cumulée à la perte du diesel d'ultime secours (DUS), l'IRSN souligne qu'il est nécessaire de s'assurer du maintien de la sous-criticité du cœur jusqu'à la disparition complète du xénon. **À l'issue de l'expertise, EDF a indiqué qu'il envisageait la suppression de cette situation du domaine complémentaire après la mise à jour de son EPS1 RP4 1300, dans le cadre de la phase B du réexamen. L'IRSN n'est pour l'heure pas convaincu de la pertinence de cette proposition, les DUS du palier 1300 MWe ne présentant pas à date une fiabilité satisfaisante.**
- 6) Concernant la démonstration de l'efficacité du secours mutuel ISBP<sup>20</sup> et EAS<sup>21</sup> en cas de perte de l'un de ces deux systèmes quinze jours après l'occurrence d'un initiateur de type APRP, l'IRSN a identifié plusieurs réserves au sujet de l'étude initiale. Au cours de l'expertise, EDF a présenté une démonstration alternative qu'il s'est engagé à apporter pour l'ensemble des configurations, ce qui est satisfaisant.

## 4. ÉTUDES JUSTIFICATIVES PARTICULIÈRES

Les études justificatives particulières permettent d'évaluer la robustesse de l'installation pour des phénomènes physiques ou des situations accidentelles non pris en compte à la conception. Quatre études justificatives particulières sont présentées dans le référentiel RP4 1300 : les études d'interaction entre la pastille et la gaine, de la rupture de tuyauterie primaire principale doublement débattue (APRP 2A), de la dilution inhérente à l'APRP considérant l'envoi de deux gros bouchons d'eau faiblement borée et de la rupture d'un tube de GV avec

<sup>18</sup> ISMP : injection de sécurité moyenne pression.

<sup>19</sup> Le gavé-ouvert consiste en l'ouverture d'une ou plusieurs soupapes du pressuriseur, afin de dépressuriser rapidement le circuit primaire pour atteindre la pression d'injection des systèmes d'injection de sécurité.

<sup>20</sup> ISBP : système d'injection de sécurité basse pression.

<sup>21</sup> EAS : système d'aspersion dans l'enceinte.

débordement forcé. Seules les études d'interaction entre la pastille et la gaine (IPG<sup>22</sup>) ont fait l'objet d'une expertise approfondie car elles visent à définir des durées maximales autorisées en fonctionnement prolongé à puissance intermédiaire<sup>23</sup> afin de garantir l'absence de risque de rupture de gaine par IPG. L'IRSN estime que la pénalité prise en compte dans les études visant à couvrir la variabilité des recharges<sup>24</sup>, calculée avec la démarche déjà mise en œuvre pour les réacteurs de 900 MWe, permet de couvrir l'ensemble du domaine combustible envisagé dans le cadre du RP4 1300 avec un haut niveau de confiance, sans nécessiter de vérification en recharge. Les spécifications techniques d'exploitation liées à l'IPG sont donc applicables à l'ensemble du domaine de variabilité des recharges de combustible.

## 5. ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES

L'IRSN estime acceptables les hypothèses retenues par EDF dans le cadre du RP4 1300 pour réaliser les évaluations des rejets radioactifs en situation incidentelle ou accidentelle. En particulier, il considère que l'hypothèse d'une simultanéité du pic d'iode et de la survenue de la brèche pour les accidents de RTGV de 4<sup>e</sup> catégorie permet de couvrir les incertitudes relatives au développement du pic d'iode en situation d'accident de RTGV.

**Les résultats des évaluations mettent en exergue une diminution des rejets cumulés d'activités pour la plupart des accidents au passage du référentiel RP3 au référentiel RP4. Ces rejets ont toutefois augmenté pour quelques accidents, notamment pour les accidents qui conduisent à des ruptures de gaine (accidents d'éjection de grappe, de rotor bloqué d'une motopompe primaire, de manutention de combustible dans le BK), en raison de l'évolution de la gestion de combustible, qui intègre désormais du combustible MOX.**

À partir de 2020, EDF a abaissé, pour l'ensemble des réacteurs du parc en exploitation, la valeur maximale autorisée de l'activité en Eq.<sup>131I</sup><sup>25</sup> de l'eau du circuit primaire à 80 GBq/t en transitoire<sup>26</sup>. L'IRSN estime que l'abaissement de cette valeur seuil est une disposition pertinente qui a permis de réduire les activités rejetées calculées et les conséquences radiologiques associées pour les accidents sans rupture de gaine, en particulier pour l'accident de RTGV4 qui était l'accident du domaine de dimensionnement qui conduisait aux conséquences radiologiques les plus élevées dans le référentiel RP3 1300 (l'accident de perte de réfrigérant primaire de 4<sup>e</sup> catégorie et l'accident d'éjection de grappe sont, dans le référentiel RP4 1300, les accidents qui conduisent aux conséquences radiologiques les plus élevées).

Les conséquences radiologiques des accidents du RP4 1300 ont été évaluées à partir des rejets d'activité au moyen d'une nouvelle méthode qui s'appuie sur un traitement statistique des évaluations des conséquences radiologiques à partir des conditions météorologiques réellement rencontrées sur les sites sur une période de cinq ans. Le RP4 1300 constitue une première application de cette méthode qui a déjà fait l'objet d'un avis de l'IRSN [10]. Un bilan de la première application de cette méthode est attendu dans le cadre de la clôture du RP4 1300 avec notamment une analyse de l'impact du choix du percentile 90 sur les évaluations des conséquences radiologiques des accidents.

<sup>22</sup> 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 contrainte (IPG-CSC).

<sup>23</sup> 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.

<sup>24</sup> Le phénomène d'IPG présente un caractère local qui dépend grandement des caractéristiques des plans de chargement des assemblages de combustible.

<sup>25</sup> L'Eq.<sup>131I</sup> est défini comme la somme des activités des différents isotopes de l'iode pondérées par leurs coefficients de dose. L'Eq.<sup>131I</sup> permet d'évaluer la concentration en <sup>131I</sup> qui produirait la même dose que le mélange des isotopes de l'iode indiqué.

<sup>26</sup> L'atteinte de cette valeur seuil conduit à l'arrêt du réacteur sous 48 heures. La valeur retenue auparavant pour les réacteurs du palier 1300 MWe était de 100 GBq/t.

Globalement, l'IRSN considère que la mise à jour des évaluations des conséquences radiologiques pour les accidents de dimensionnement, du domaine complémentaire et des études justificatives particulières permet de vérifier que l'objectif que s'est fixé EDF « *de viser des conséquences radiologiques inférieures au seuil de mise en œuvre de mesures de protection des populations (prise de comprimés d'iode, mise à l'abri, évacuation)* » est atteint.

## 6. ÉTUDES RELATIVES À LA SÛRETÉ DE L'ENTREPOSAGE ET DE LA MANUTENTION DU COMBUSTIBLE

Dans les réacteurs à eau pressurisée exploités par EDF, la manutention et l'entreposage du combustible irradié se font sous eau dans des piscines prévues à cet effet dans le bâtiment du réacteur (piscine BR) et dans le bâtiment combustible (piscine BK). Après déchargement du cœur lors d'un arrêt de réacteur, les assemblages de combustible irradiés sont placés dans des râteliers situés dans la piscine BK. Les assemblages de combustible usé qui ne sont pas rechargés restent dans la piscine BK jusqu'à ce que leur puissance résiduelle permette leur évacuation vers l'usine d'entreposage et de retraitement de La Hague.

Dans le cadre du RP4 1300, EDF a examiné les risques associés aux situations de perte de refroidissement et de vidange accidentelle des piscines BR et BK ainsi qu'aux opérations d'évacuation du combustible usé. L'objectif de ces études est de s'assurer de la possibilité de ramener et de maintenir l'installation dans un état sûr à la suite de ces situations et de vérifier le caractère extrêmement improbable d'une fusion de combustible. L'IRSN présente ci-après le résultat de l'examen de ces différentes études.

### Études de perte de refroidissement et de vidange de la piscine BK

Les études de perte de refroidissement et de vidange de la piscine BK réévaluent les séquences devant être traitées au titre du domaine complémentaire, transposent les transitoires accidentels de référence du réacteur EPR de Flamanville lorsque ceux-ci n'étaient pas étudiés dans les réacteurs de 1300 MWe et examinent de façon exhaustive les événements qui pourraient être induits par un séisme. Elles conduisent EDF à prévoir :

- la fermeture manuelle de la vanne d'isolement du tube de transfert<sup>27</sup> pour limiter la perte de l'inventaire en eau de la piscine BK en cas de vidange affectant la piscine BR ;
- une redondance à la fermeture automatique de la ligne d'aspiration du circuit de refroidissement de la piscine BK ;
- la fermeture automatique de la première vanne d'isolement des lignes du circuit de filtration connectées au fond de la piscine BR ;
- la fermeture manuelle de la deuxième vanne d'isolement des lignes du circuit de filtration en cas d'échec de la fermeture automatique de la première vanne ;
- la possibilité de réaliser un appoint de secours à la piscine BK par deux systèmes différents, dont l'un est dimensionné à un séisme « noyau dur » (système SEG).

**L'IRSN estime que le travail réalisé par EDF sur ce premier volet d'études est complet et répond de façon satisfaisante aux objectifs fixés en début de réexamen.**

Néanmoins, contrairement aux dispositions introduites dans les réacteurs de 900 MWe à l'état RP4<sup>28</sup>, les modifications envisagées par EDF dans les réacteurs de 1300 MWe ne permettent pas de s'affranchir d'un risque

<sup>27</sup> La piscine BK communique avec la piscine BR via un tube de transfert horizontal en acier inoxydable, par lequel transitent les assemblages de combustible durant les opérations de déchargement et de chargement du cœur.

<sup>28</sup> Un clapet a été ajouté en redondance du casse-siphon sur les réacteurs de 900 MWe à l'occasion de leur quatrième réexamen périodique.

de découverture du combustible entreposé dans la piscine BK<sup>29</sup> en cas de vidange par siphonnage transitant par la ligne de refoulement de son circuit de refroidissement et de défaillance du dispositif casse-siphon équipant cette ligne. En effet, EDF n'estime pas approprié l'ajout d'un clapet anti-retour sur cette ligne du fait, d'une part du caractère jugé extrêmement improbable d'une vidange par siphonnage provoquée par une brèche cumulée à la défaillance d'un casse-siphon, d'autre part des difficultés de mise en œuvre de cette modification sur les réacteurs de 1300 MWe. Pour l'IRSN, d'autres dispositions, qu'EDF n'a pas envisagées, permettraient d'assurer la redondance fonctionnelle du casse-siphon. **En conséquence, l'IRSN estime que l'expertise de ce sujet doit se poursuivre.**

#### Études spécifiques au domaine d'exploitation d'arrêt pour rechargement (APR)

Le deuxième volet d'études d'EDF concerne spécifiquement le domaine d'exploitation APR car, dans cette phase, les piscines BR et BK sont pleines et peuvent être mises en communication afin de permettre le déchargement ou le rechargement des assemblages de combustible. Un événement de vidange accidentelle, qui affecterait alors simultanément les piscines BR et BK, pourrait conduire au découverture d'un assemblage en cours de manutention. EDF a donc identifié les différents scénarios incidentels et accidentels susceptibles de survenir en APR, les a regroupés par typologie et a défini des événements enveloppes devant pouvoir être gérés. Il résulte de cet examen que les événements de vidange des piscines consécutifs à une brèche non isolable survenant dans le bâtiment du réacteur nécessitent la mise en œuvre d'une conduite incidentelle et accidentelle particulière, comprenant la mise en position sûre d'un assemblage de combustible en cours de manutention, l'isolement du tube de transfert et la mise en œuvre d'un appoint durable à la piscine BR, depuis une réserve d'eau constituée et recueillie dans les puisards du bâtiment du réacteur. L'appoint à la piscine BR permet de stabiliser le niveau d'eau au-dessus du plan de joint de la cuve et d'éviter ainsi une perte du refroidissement des assemblages présents dans la cuve. EDF s'est de plus engagé à ce que l'ensemble des matériels valorisés dans cette conduite disposent d'exigences adaptées en ce qui concerne leur disponibilité et leur suivi en exploitation. **L'IRSN souligne l'importance et la qualité des travaux réalisés par EDF sur cette thématique.**

EDF a également fourni un premier éclairage probabiliste sur les risques de fusion du cœur et de découverture d'un assemblage de combustible en cours de manutention en cas de brèche de diamètre inférieur à 1" (diamètre de l'ordre de 2,5 cm) survenant dans l'état APR. EDF s'est de plus engagé à compléter cet éclairage, en modélisant les capteurs nécessaires à la conduite, et à l'introduire dans l'EPS1 RP4 1300 de référence (en étude de sensibilité), ce qui est satisfaisant. L'IRSN a néanmoins relevé d'autres compléments pouvant améliorer l'évaluation des risques en APR (en particulier la prise en compte de brèches de taille supérieure, de la défaillance du système de refroidissement à l'arrêt ou de l'isolement du tube de transfert). En tout état de cause, cet éclairage conforte la stratégie de conduite proposée par EDF pour cet accident et souligne l'importance de la fiabilité de la machine de chargement et de ses commandes manuelles de secours (utilisées notamment en cas de perte de l'alimentation électrique de la machine) pour garantir la mise en position sûre de l'assemblage de combustible en cours de manutention dans la piscine BR. À cet égard, EDF a pris des engagements visant à renforcer le suivi en exploitation des commandes manuelles de la machine de chargement et à faciliter la repose d'un assemblage dans la cuve. **L'IRSN estime que ces engagements sont satisfaisants pour le RP4 1300.**

#### Possibilité de reprise d'un refroidissement sans ébullition de la piscine BK

**L'IRSN relève qu'EDF a démontré qu'un état sûr avec reprise du refroidissement sans ébullition de la piscine BK peut être atteint et maintenu pour la quasi-totalité des situations susceptibles de conduire à une perte totale de refroidissement de la piscine BK.** Cet examen l'a notamment conduit à valoriser des modifications matérielles basées sur les nouveaux systèmes d'appoint d'ultime secours (SEG) et de refroidissement modulaire de la

<sup>29</sup> Tout découverture d'un assemblage de combustible entreposé sous eau peut conduire, à court ou moyen terme, à la fusion des gaines dénoyées et entraînerait des rejets radioactifs importants.

piscine BK (PTR-bis<sup>30</sup>) mis en œuvre dans le cadre du RP4 1300. Il conviendra qu'EDF s'assure que la vérification de la disponibilité et la mise en œuvre des moyens requis pour l'atteinte et le maintien de cet état sûr sont bien encadrées par le référentiel documentaire dont ces moyens relèvent (RDS, RGE et PUI<sup>31</sup> notamment). **Pour les rares cas où une reprise du refroidissement sans ébullition ne serait pas possible, EDF a prévu de renforcer la prévention des événements qui pourraient en être à l'origine, ce qui est satisfaisant.**

#### Risques associés à l'évacuation du combustible usé

Les assemblages de combustible usé sont évacués en les plaçant dans un emballage de transport dédié d'une capacité de douze assemblages. La manutention de cet emballage diffère entre les réacteurs des trains P4 et P'4.

Pour le train P4, la manutention de l'emballage s'effectue à l'aide du pont lourd du BK, ce qui nécessite de prendre en compte les risques associés à une chute de l'emballage. À cet égard, les études d'EDF permettent de justifier, en cas de chute dans le BK de l'emballage de transport lors d'une évacuation du combustible usé, la résistance du génie civil (voile et porte situés entre le compartiment d'entreposage et la fosse de chargement) ainsi que l'absence de risque de criticité dans l'emballage. EDF a également réalisé des études sur les conséquences d'une immobilisation prolongée d'un emballage chargé de combustible usé avant sa mise en configuration de transport, en particulier à la suite d'une chute d'un emballage. Sur ce sujet, EDF s'est engagé à fournir des compléments de justification et à finaliser l'étude de la modification de certains outillages requis pour assurer la reprise du refroidissement dans un emballage chuté. **L'IRSN estime que les engagements pris par EDF sur ce point sont satisfaisants.**

Pour le train P'4, l'évacuation du combustible usé est réalisée sans levage en hauteur dans le bâtiment combustible, ce qui permet d'exclure le risque de chute d'emballage dans ce bâtiment. En revanche, différents scénarios incidentels ou accidentels pourraient conduire à une perte prolongée du refroidissement des assemblages de combustible placés dans l'emballage et doivent donc être analysés. À cet égard, EDF a pris un engagement visant à s'assurer de la robustesse des dispositions mises en place pour prévenir l'occurrence de ces situations à risque et se prémunir de conséquences inacceptables, **ce qui est satisfaisant.**

## 7. CONCLUSION

En conclusion de son expertise, l'IRSN tient à souligner le travail conséquent réalisé par EDF dans le cadre du RP4 1300. En effet, EDF a repris l'intégralité de la démonstration de sûreté déterministe des réacteurs de 1300 MWe en tenant compte de l'introduction de nouveaux combustibles URE et MOX, 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. Par ailleurs, de nombreuses modifications matérielles et intellectuelles sont prévues d'être implémentées, ce qui permettra d'améliorer la sûreté des réacteurs de 1300 MWe.

À l'issue de l'expertise réalisée, l'IRSN estime que les études des conditions de fonctionnement de dimensionnement et complémentaires nécessitent certains compléments pour qu'une démonstration de sûreté répondant aux demandes de l'ASN émises pour la prolongation de la durée de fonctionnement des réacteurs et dans le cadre des RP4 1300 soit apportée. D'une manière générale, EDF a pris l'engagement d'apporter ces compléments. Toutefois, l'IRSN estime nécessaire de rechercher une modification matérielle ou intellectuelle pour améliorer la gestion de la condition de fonctionnement complémentaire « APRP sans ISMP », ce qui fait l'objet de la recommandation présentée en annexe. Par ailleurs, EDF a présenté une démarche visant à évaluer

<sup>30</sup> Le nouveau système de refroidissement modulaire PTR-bis comprend des parties fixes, situées à l'intérieur du bâtiment combustible, et une partie mobile qui se raccorde à un poste de vannage installé dans une casemate à l'extérieur de ce bâtiment. Cette partie mobile est acheminée et mise en œuvre en cas de besoin par la Force d'action rapide nucléaire (FARN).

<sup>31</sup> Plan d'urgence interne.

les délais de réalisation des actions de conduite valorisées dans les études de sûreté et à évaluer des « délais adaptés » lorsqu'ils étaient supérieurs au délai conventionnel considéré dans les études. L'application de cette démarche « délai adapté » a conduit à se réinterroger sur les délais d'actions de l'opérateur à retenir dans le domaine complémentaire afin de disposer d'une démonstration satisfaisante de l'efficacité de dispositions complémentaires et des marges aux critères de sûreté.

Les évaluations des conséquences radiologiques des conditions de fonctionnement de dimensionnement et complémentaires et des études justificatives particulières n'appellent pas de remarques de la part de l'IRSN.

Pour ce qui concerne l'analyse des études relatives à la sûreté de l'entreposage et de la manutention du combustible, l'IRSN souligne l'ampleur du travail réalisé par EDF. Les discussions doivent toutefois se poursuivre au regard de la possibilité de diversifier les dispositions permettant d'arrêter une vidange amorcée par la ligne de refoulement du circuit de refroidissement de la piscine BK. Enfin, des compléments sont attendus vis-à-vis de la remise en position sûre d'un assemblage de combustible en cours de manutention dans la piscine BR, ce à quoi EDF s'est engagé.

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

## **ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2024-00165 DU 19 NOVEMBRE 2024**

### **Recommandation de l'IRSN**

L'IRSN recommande qu'EDF recherche, pour la condition de fonctionnement complémentaire « APRP sans ISMP », une modification matérielle ou intellectuelle afin d'accroître les marges au regard de l'effet falaise, induit par un faible décalage de l'instant de réalisation du refroidissement maximal, sur la température des gaines de combustible.