

Fontenay-aux-Roses, le 18 octobre 2017

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2017-00327

- Objet : EDF - REP - Centrale nucléaire du Tricastin - INB 87 et 88 - États d'arrêt sûr retenus par EDF jusqu'à résorption de l'écart de conformité de la digue de protection du site et dispositions de résilience associées.
- Réf. [1] Lettre ASN - CODEP-DCN-2017-041818 du 13 octobre 2017 : « Réacteurs électronucléaires - EDF - CNPE de Tricastin - Mesures de résilience vis-à-vis des états d'arrêts en cas d'inondation de la plateforme du CNPE ».
- [2] Décision n° 2017-DC-0606 de l'ASN du 27 septembre 2017 prescrivant la mise à l'arrêt à titre provisoire des quatre réacteurs de la centrale nucléaire du Tricastin (INB n° 87 et 88) exploités par EDF.
- [3] Avis IRSN - 2016-00369 du 30 novembre 2016 : « Ségrégation du carbone des fonds primaires de générateurs de vapeur - Maintien en service des fonds de fabrication Japan Casting and Forging Corporation ».
- [4] Avis IRSN - 2016-00383 du 9 décembre 2016 : « EDF - REP - Paliers CP0 et CPY - Intégration dans les spécifications techniques d'exploitation de mesures compensatoires vis-à-vis de l'anomalie relative aux ségrégations du carbone dans les fonds primaires de générateurs de vapeur ».

Conformément à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a évalué la pertinence sur le plan de la sûreté des états d'arrêt retenus par Électricité de France (EDF) pour les quatre réacteurs du centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) du Tricastin, en particulier au regard des mesures de résilience proposées en cas d'inondation de la plateforme du CNPE, pendant les travaux de renforcement de la digue de protection contre l'inondation de Donzère-Mondragon, située en amont du site.

En juin 2017, EDF a mis en évidence un risque de déstabilisation d'une portion de la digue de protection du site du Tricastin en cas de séisme majoré de sécurité (SMS)<sup>1</sup>. L'analyse réalisée par l'exploitant a uniquement permis de démontrer la résistance de la digue à un séisme de niveau SMHV<sup>1</sup>. À la suite de ce constat, EDF a déclaré un événement significatif pour la sûreté. Cet événement a été classé au niveau 2 de l'échelle INES par l'ASN.

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

<sup>1</sup> Le séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV) correspond au séisme le plus pénalisant susceptible de se produire sur une durée d'environ 1000 ans, évalué sur la base des séismes historiquement connus. Le SMS est défini en ajoutant conventionnellement 0,5 à la magnitude du SMHV : il est retenu pour le dimensionnement aux séismes des installations nucléaires.

### Conséquences de la perte d'intégrité de la digue de protection

Un séisme de niveau SMS sur le site du Tricastin est susceptible d'induire la perte d'intégrité d'une partie de la digue de protection. Aux conséquences du séisme se cumulent alors celles d'une inondation de l'ensemble du site (les évaluations d'EDF montrent que le niveau d'eau sur la plateforme du CNPE pourrait atteindre 1,50 mètre).

Dans cette situation, les alimentations électriques externes des quatre réacteurs du site, non qualifiées au séisme, seraient rapidement perdues, ainsi que les alimentations électriques internes de secours du fait de l'inondation. Ceci entraînerait une perte de l'ensemble des moyens d'évacuation de la puissance résiduelle. En effet, les pompes des systèmes de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA), de refroidissement intermédiaire (RRI) et du circuit d'eau brute secourue (SEC) ne seraient plus alimentées. En outre, les pompes du système d'alimentation de secours (ASG) des générateurs de vapeur (GV) seraient perdues, du fait notamment de l'inondation. Enfin, le recours au « gavé-ouvert »<sup>2</sup> ne serait plus envisageable, du fait notamment de la perte des alimentations électriques des pompes du système d'injection de sécurité (RIS).

Concernant les piscines de désactivation des bâtiments de stockage des assemblages de combustible (BK), l'évacuation de la puissance résiduelle par le système de traitement et de refroidissement de l'eau des piscines serait indisponible, du fait de la perte totale des alimentations électriques et de l'inondation. Les moyens d'appoint à la piscine de désactivation seraient également perdus (du fait du séisme pour ce qui concerne le système de distribution d'eau déminéralisée ou par perte des alimentations électriques pour ce qui concerne les pompes du système de distribution d'eau incendie).

La situation résultante serait un cumul de perte totale de la source froide et des alimentations électriques, pour l'ensemble des réacteurs du site, conduisant à l'indisponibilité totale des dispositifs d'évacuation de la puissance résiduelle des assemblages de combustible, dans le cœur du réacteur et dans la piscine de désactivation. Cette situation, qui n'est pas couverte par la démonstration de sûreté, pourrait conduire à la fusion du combustible sur les quatre réacteurs du site, et rendrait en outre particulièrement difficile la mise en œuvre de moyens de gestion de crise.

Par conséquent, conformément à l'article 1 de la décision de l'ASN [2], l'exploitant de la centrale nucléaire du Tricastin a procédé à la mise à l'arrêt des quatre réacteurs du site : les 29 et 30 septembre 2017 pour les réacteurs n° 1, 2 et 4 et le 3 octobre 2017 pour le réacteur n° 3<sup>3</sup>.

En outre, en réponse à l'article 2 de cette décision [2], EDF a transmis à l'ASN son analyse quant à l'état des réacteurs permettant d'apporter les meilleures garanties de sûreté pendant les travaux de renforcement, et des mesures compensatoires devant être mises en œuvre pendant cette période, compte tenu du risque de déstabilisation de la digue en cas de SMS.

### Dispositions immédiates retenues par l'exploitant

Les dispositions immédiates retenues par l'exploitant visent, d'une part à renforcer la digue de protection afin de garantir le maintien de son intégrité en cas de SMS, d'autre part à protéger le site des conséquences d'une perte d'intégrité de cette digue pendant la phase transitoire de réalisation des travaux.

---

<sup>2</sup> Dans cette stratégie de conduite, la puissance résiduelle est évacuée par l'ouverture volontaire des soupapes de sûreté du circuit primaire, et la perte d'inventaire en eau du circuit primaire est compensée par l'injection de sécurité.

<sup>3</sup> La situation du réacteur n° 3 est particulière : sa mise à l'arrêt était programmée dans le cadre d'un arrêt pour renouvellement du combustible.

Concernant le premier point, EDF a engagé des travaux de renforcement sur une portion de digue d'une longueur de 150 mètres. Par ailleurs, sur une portion complémentaire de 300 mètres, EDF a prépositionné le matériel nécessaire aux éventuelles interventions curatives qui seraient nécessaires en cas de perte d'intégrité de la digue. **La suffisance de ces dispositions fait l'objet d'une analyse dédiée de la part de l'IRSN, qui n'entre pas dans le périmètre du présent avis.**

Concernant le second point, EDF a mis en place une protection complémentaire sur la périphérie du site, qui vient renforcer le muret existant : une barrière provisoire composée de 2400 « big bags » a été installée, et garantit, selon EDF, la protection du site contre le risque d'inondation. EDF considère que, même en cas de perte d'intégrité de la digue, le niveau d'eau dans le canal d'amenée de la station de pompage resterait suffisant pour garantir le bon fonctionnement du circuit SEC, et donc de la source froide des quatre réacteurs.

Bien que l'efficacité des dispositifs de type « big bags » bénéficie d'un retour d'expérience favorable dans l'ingénierie hydraulique, l'IRSN considère que la démonstration du maintien de l'intégrité de cette protection en situation de séisme de niveau SMS n'est pas acquise.

Par conséquent, l'IRSN estime que le choix de l'état dans lequel les réacteurs du site doivent être maintenus pendant les travaux de renforcement de la digue ainsi que les mesures de résilience associées (visant à garantir la pérennité de l'évacuation de la puissance résiduelle, que ce soit dans la piscine de désactivation ou dans le cœur du réacteur) doivent tenir compte du risque d'inondation.

#### **États d'arrêt sûr de l'installation et mesures de résilience**

Les conditions de fonctionnement retenues par EDF pour les réacteurs n° 1, 2 et 4 correspondent au domaine d'exploitation « arrêt normal sur RRA (AN/RRA) », avec une température du circuit primaire inférieure à 60 °C et un groupe motopompe primaire (GMPP) en service. Cet état a été atteint le 11 octobre 2017. Le réacteur n° 3 est actuellement en phase de mise à l'arrêt dans le cadre de son arrêt programmé pour renouvellement du combustible. À l'issue du rechargement du combustible, EDF précise que ce réacteur sera maintenu dans le même état que les réacteurs n° 1, 2 et 4.

Indépendamment du risque d'inondation du site en cas de séisme, les états d'arrêt caractérisés par les risques horaires de fusion du cœur<sup>4</sup> les plus faibles sont l'« arrêt normal sur les GV (AN/GV) » aux conditions de connexion du circuit RRA, et l'AN/RRA, circuit primaire monophasique et température inférieure à 90 °C. Dans ces deux états, l'injection aux joints des pompes primaires n'est plus nécessaire, ce qui élimine le risque de brèches aux joints des pompes primaires, et plusieurs moyens de refroidissement sont disponibles. En outre, ces deux états sont favorables vis-à-vis du confinement du combustible (le circuit primaire est fermé).

L'état « AN/RRA monophasique » doit toutefois être privilégié. Tout d'abord, l'inventaire en eau est maximisé puisque le circuit primaire est plein. Ensuite, cet état présente un intérêt vis-à-vis de la dosimétrie. En effet, cet état est rejoint après la réalisation des opérations de déshydrogénation et d'oxygénation du circuit primaire, qui permettent de limiter le niveau de contamination des tuyauteries connectées au circuit primaire dans les états d'arrêt, et donc de limiter la dosimétrie lors des interventions qui seraient susceptibles d'être réalisées durant les prochains arrêts des réacteurs concernés. Enfin, le maintien en AN/GV aux conditions de connexion du RRA impliquerait la réalisation régulière d'appoints aux bâches du système ASG de l'ensemble des réacteurs du site.

---

<sup>4</sup> Les études probabilistes de sûreté (EPS) permettent d'évaluer, dans chaque état du réacteur, le risque de fusion du cœur. Ce risque dépend de la fréquence des événements initiateurs des accidents considérés dans cet état, ainsi que de la probabilité de défaillance des différentes parades disponibles. Le risque horaire correspond au risque de fusion du cœur pour une heure passée dans l'état considéré.

Toutefois, dans le domaine d'exploitation AN/RRA, il importe également de limiter les contraintes thermiques liées au fonctionnement du RRA à température élevée. Celles-ci sont d'autant plus limitées que la température est basse : maintenir la température du circuit primaire sous 60 °C est favorable de ce point de vue. Une température primaire faible est également favorable du point de vue de la cinétique d'échauffement en cas de perte totale de la source froide.

Enfin, les conditions d'exploitation retenues par EDF respectent les mesures compensatoires associées à la présence de zones ségréguées en carbone dans les fonds primaires de certains générateurs de vapeur des quatre réacteurs du site [3]. **L'IRSN estime que l'occurrence d'un séisme de niveau SMS cumulé à une inondation du site n'induit pas de transitoires thermohydrauliques sur les GV plus pénalisants que ceux qui ont été pris en compte dans l'analyse réalisée dans le cadre de la caractérisation des conséquences de cet écart.** Dès lors, les mesures compensatoires prises en compte dans les spécifications techniques d'exploitation [4] restent nécessaires et suffisantes pour limiter les conséquences de cet écart. En particulier, le maintien en service d'un GMPP, lorsque la température du circuit primaire est supérieure à 35 °C, permet de garantir l'homogénéité du circuit primaire et par conséquent de limiter l'amplitude et le gradient d'échauffement au niveau des fonds primaires des générateurs de vapeur en situation accidentelle.

**Indépendamment des contraintes particulières induites par le risque d'inondation du site en cas de SMS, l'IRSN estime par conséquent que les conditions de fonctionnement retenues par EDF sont acceptables.**

Vis-à-vis du risque d'inondation en cas de séisme, EDF a proposé, dans le cadre de la défense en profondeur, des mesures de résilience pour éviter la survenue d'un accident grave en cas d'inondation consécutive à un effacement d'une partie de la digue et du mur de « big bags ». Ces mesures sont directement conditionnées par le choix de l'état sûr retenu. Tout d'abord, EDF prévoit de remplir les GV préventivement, afin d'augmenter les délais avant découverte du cœur en situation de perte totale de la source froide et des sources électriques sur le site. Dans cette situation, les calculs réalisés par l'IRSN montrent que, pour les réacteurs n° 1, 2 et 4, et en l'absence de tout appoint aux GV, le début de découverte du cœur interviendrait au bout de 2,5 jours environ<sup>5</sup>. Cette durée recouvre les trois phases suivantes :

- phase 1 : échauffement initial du circuit primaire jusqu'à 120 °C environ : pendant cette phase, la dilatation du circuit primaire conduit à une augmentation de la pression, pouvant conduire à une perte d'inventaire en eau relativement limitée au niveau des soupapes de protection du RRA ;
- phase 2 : évacuation de la puissance résiduelle par les GV jusqu'à leur vidange complète ;
- phase 3 : vaporisation de l'eau du circuit primaire par les soupapes de protection du circuit RRA.

**Les calculs réalisés par EDF conduisent à des résultats cohérents avec ceux obtenus par l'IRSN.**

En outre, afin de sécuriser l'appoint en eau aux GV et à la piscine de désactivation, EDF a prévu de mettre en place des moyens mobiles de pompage. Pour le refroidissement des réacteurs, un piquage provisoire est mis en place au niveau d'un clapet situé à l'extérieur du bâtiment réacteur, sur la tuyauterie ASG d'un des trois GV de chaque réacteur. Ce piquage permet le raccordement de tuyaux souples et l'appoint en eau des GV par des pompes de la force d'action rapide nucléaire (FARN), prépositionnées sur le toit de la station de pompage. Ces pompes, au nombre de deux, prélèveraient l'eau dans le canal d'amenée, chacune de ces deux pompes permettant d'assurer un appoint simultané et un débit suffisant à l'ensemble des GV concernés (un GV par réacteur). Leur alimentation en

---

<sup>5</sup> Le réacteur n° 3 est dans une situation similaire jusqu'au déchargement du réacteur.

gasoil est assurée par une bache autonome complétée d'une réserve additionnelle, leur garantissant une autonomie de l'ordre de 24 heures.

Pour l'évacuation de la puissance résiduelle des piscines de désactivation, la situation la plus pénalisante est celle du réacteur n° 3 après déchargement du combustible. Dans ce cas, l'ébullition survient au bout d'une douzaine d'heures environ, et le découverture des assemblages de combustible intervient au bout d'environ quatre jours. Pour les autres réacteurs, le délai avant ébullition est de l'ordre de quatre jours, et le délai avant découverture des assemblages est de l'ordre de 25 jours<sup>6</sup>. **Les évaluations réalisées par l'IRSN et par EDF sont à cet égard cohérentes.** Un dispositif d'appoint ultime aux piscines de désactivation est également mis en place par EDF. Ce dispositif est composé de tuyaux souples et d'une pompe faisant partie des moyens locaux de crise (une pompe analogue restant en réserve sur le site), installée également sur le toit de la station de pompage, qui permet un appoint simultané et un débit suffisant aux quatre piscines de désactivation. Comme pour les pompes de la FARN utilisées pour l'appoint aux GV, le prélèvement d'eau est réalisé directement dans le canal d'aménée, et leur autonomie est de l'ordre de 24 heures.

Les caractéristiques hydrauliques des pompes prépositionnées sur le toit de la station de pompage, en termes de débit et de hauteur manométrique de refoulement notamment, sont compatibles avec les conditions d'utilisation de celles-ci en situation de pertes totales des alimentations électriques et de la source froide. En particulier, elles permettent d'évacuer la puissance résiduelle des réacteurs et de compenser les débits d'évaporation de l'eau dans les piscines de désactivation. Ces matériels feront l'objet d'essais en eau avant de pouvoir être considérés comme disponibles : ces essais permettront notamment de vérifier les débits qui seraient délivrés par les pompes en configuration réelle. L'eau débitée par les pompes sera dirigée vers des capacités de rétention des eaux usées du site, et les pertes de charge associées aux systèmes de connexion (en particulier aux GV) seront simulées par un système de vannage.

L'IRSN considère que le prépositionnement de ces pompes et des réserves additionnelles de carburant sur le toit de la station de pompage est pertinent. En outre, la présence d'un parapet protège ces équipements d'éventuels risques de chute en situation de séisme important. Enfin, un tel positionnement les protège également contre le risque de submersion.

L'IRSN estime que l'utilisation de tuyaux souples pour le raccordement aux GV et aux piscines de désactivation est compatible avec l'utilisation de ces matériels en situation de séisme.

Bien que les pompes et les réserves additionnelles de carburant prépositionnées par EDF présentent une certaine robustesse à l'égard de sollicitations sismiques, EDF n'a toutefois pas apporté de démonstration formelle permettant de justifier leur résistance en situation de séisme de niveau SMS. Cependant, les délais disponibles avant le découverture des assemblages de combustible, que ce soit dans la piscine de désactivation ou dans le cœur du réacteur, sont supérieurs à 2,5 jours. Un tel délai est suffisant pour permettre l'acheminement par la FARN de nouveaux matériels dans l'hypothèse où les matériels prépositionnés auraient été endommagés.

**Compte tenu de l'ensemble de ces dispositions, l'IRSN considère que le prépositionnement des moyens d'appoint à un GV et à la piscine de désactivation de chaque réacteur constitue une ligne de défense supplémentaire crédible.**

Concernant le réacteur n° 3, EDF prévoit de rejoindre les conditions de fonctionnement définies ci-dessus pour les réacteurs n° 1, 2 et 4, à l'issue du rechargement du combustible, actuellement prévu le 22 octobre 2017 (cette date

---

<sup>6</sup> Lorsque les assemblages du réacteur n° 3 sont rechargés, les délais avant ébullition et découverture sont similaires à ceux des réacteurs n° 1, 2 et 4.

est susceptible d'évoluer en fonction des aléas qui seront éventuellement rencontrés pendant les interventions de maintenance planifiées dans le cadre de l'arrêt programmé). À cet égard, l'IRSN estime que le confinement des assemblages dans le cœur du réacteur est favorable du point de vue de la sûreté. De plus, le rechargement des assemblages dans le cœur du réacteur permet d'augmenter sensiblement le délai avant ébullition dans la piscine de désactivation du réacteur n° 3. Le délai avant découverture du cœur dans le réacteur est alors comparable avec celui des réacteurs n° 1, 2 et 4, c'est-à-dire de l'ordre de 2,5 jours. **Par conséquent, l'IRSN estime que la résorption de l'écart présent sur la digue de protection du Tricastin ne doit pas constituer un prérequis au rechargement du combustible du réacteur n° 3.**

#### **Exigences d'exploitation associées aux dispositifs de résilience**

L'IRSN estime que les contrôles prévus par EDF préalablement à la mise en exploitation des moyens de résilience (essais d'ensemble des pompes prépositionnées sur le toit de la station de pompage) sont pertinents.

Toutefois, l'IRSN estime que l'ensemble des dispositions d'exploitation et des moyens de résilience devront faire l'objet, d'une part d'un programme de contrôles ou d'essais périodiques adapté pour garantir le maintien de leur efficacité dans le temps, d'autre part d'une conduite à tenir définie dans les spécifications techniques d'exploitation, en cas d'indisponibilité identifiée lors de ces essais. Ces requis d'exploitation devront être définis sous un mois. **Ce point fait l'objet de la recommandation en annexe.**

EDF ne propose pas de modification des règles de conduite en situation d'accident. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.** En effet, l'inondation de la plateforme en cas de rupture de la digue sous séisme entraînerait le déclenchement par EDF de son plan d'urgence interne. La situation serait alors gérée par les équipes de crise locales et nationales qui disposeraient d'un délai suffisant pour agir en sollicitant le cas échéant l'appui de la FARN.

#### **Conclusion**

En conclusion de son analyse, l'IRSN estime que l'état d'arrêt retenu par EDF est satisfaisant, au regard de l'ensemble des dispositions qu'il a mises en œuvre.

Toutefois, l'IRSN estime que la disponibilité des dispositions de résilience devra faire l'objet d'essais périodiques et que la conduite à tenir en cas d'indisponibilité de ces matériels identifiée lors des essais devra être définie dans les spécifications techniques d'exploitation. Ces prescriptions devront être définies et mises en œuvre sous un mois.

Pour le Directeur général et par délégation,

Frédéric MENAGE

Directeur de l'Expertise de sûreté

Annexe à l'Avis IRSN/2017-00327 du 18 octobre 2017

### Recommandation

L'IRSN recommande qu'EDF définisse, sous un mois, un programme d'essais périodiques au titre du chapitre IX des règles générales d'exploitation pour les matériels valorisés en tant que dispositions de résilience vis-à-vis du risque d'inondation induit par la présence d'une portion de digue non résistante à un séisme de niveau SMS en amont du site. En cas d'indisponibilité de ces matériels identifiée lors de ces essais, une conduite à tenir devra être définie dans le chapitre III des règles générales d'exploitation.