



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité

**IRSN**  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 27 septembre 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2022-00193

**Objet :** EDF - REP - CNPE du Tricastin - Modification matérielle concernant la mise en place de protections passives de l'îlot nucléaire contre la tornade.

**Réf. :** Saisine ASN - CODEP-DCN-2022-033504 du 4 juillet 2022.

En réponse à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en référence, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné l'impact sur la sûreté de la modification matérielle relative à la mise en place d'une protection d'une partie de l'îlot nucléaire des réacteurs du CNPE<sup>1</sup> du Tricastin contre la tornade de niveau « noyau dur » soumise à autorisation de l'ASN le 29 juin 2021, conformément aux dispositions de l'article R.593-56 du code de l'environnement.

### 1. CONTEXTE ET DESCRIPTION DE LA MODIFICATION

#### 1.1. CONTEXTE

La présente modification participe à la réponse aux prescriptions de l'ASN issues du retour d'expérience de l'accident de Fukushima-Daiichi survenu en mars 2011. Par ailleurs, dans le cadre de la phase B du quatrième réexamen de sûreté périodique des réacteurs de 900 MWe (RP4 900), EDF prévoit d'élargir l'éventail des agressions externes prises en compte dans la démonstration de sûreté et, en particulier, de considérer un nouveau référentiel propre aux risques induits par les tornades. À cet égard, la présente modification a pour objectif de protéger une partie de l'îlot nucléaire des réacteurs du CNPE du Tricastin contre l'agression climatique extrême « tornade noyau dur ».

Cette modification concerne les quatre réacteurs du CNPE du Tricastin. Les travaux concernant le réacteur n° 1 et soumis à l'autorisation de l'ASN sont planifiés à partir du mois de septembre 2022.

---

<sup>1</sup> CNPE : centre nucléaire de production d'électricité.

MEMBRE DE  
**ETSON**

## 1.2. DESCRIPTION DE LA MODIFICATION

La présente modification a pour objectif de protéger les matériels appartenant au ND<sup>2</sup> et présents au niveau de la rétention de la bache PTR<sup>3</sup> et de l'exutoire du BK<sup>4</sup> contre l'agression climatique extrême « tornade noyau dur ». Le local de la bache PTR est ouvert en partie haute et constitué, sur trois faces verticales, par les parois des bâtiments adjacents sur toute la hauteur de la bache et sur la quatrième face, par un mur de rétention en béton d'une hauteur de 9 m.

EDF prévoit de mettre en place une protection passive composée d'une structure métallique (également appelée charpente de protection) qui constitue le support à des « écrans tornades » majoritairement composés de filets métalliques et localement de caillebotis<sup>5</sup>. Cette charpente est composée de portiques en forme de L reposant sur les structures en béton existantes des bâtiments adjacents et du mur de rétention. Cette structure métallique permettra de protéger les matériels suivants contre les projectiles générés par la tornade ND :

- la bache PTR et les matériels et piquages ND nécessaires à son fonctionnement et répartis sur la périphérie et toute la hauteur de la bache PTR ;
- l'exutoire de vapeur du BK dont la porte doit rester manœuvrable en cas d'agression « projectile tornade ND ».

Cette protection permettra également de protéger la rétention et les matériels qui s'y trouvent contre une tornade de référence<sup>6</sup>. La porte de l'exutoire du BK restera également manœuvrable y compris après déformation de la structure de protection à la suite d'un impact causé par un projectile.

La structure de protection étant par nature, en cas de chute, un agresseur potentiel des EIPS<sup>7</sup> qu'elle protège, EDF lui applique une exigence de stabilité sous séisme de niveau noyau dur (SND).

## 1.3. DESCRIPTION DES TRAVAUX

Les différents éléments de la charpente de protection seront manutentionnés par une grue pour les positionner et effectuer leur ancrage sur les murs des bâtiments adjacents. Le montage de la charpente de protection sera effectué à partir de cinq colis préassemblés au sol ; chaque colis étant une partie de la charpente métallique constituant la structure de protection équipée de ses écrans. Le levage de certains colis nécessitera le survol de la bache PTR induisant un risque d'agression d'EIPS.

En revanche, certains travaux, tels que les travaux de génie civil ne nécessitant pas le survol de la rétention de la bache PTR et le pré-assemblage de la charpente métallique ne sont pas redevables de la présente demande d'autorisation et seront réalisés dans le domaine de fonctionnement « réacteur en production » (RP) pour une durée de cinq mois.

Les activités relevant de la présente demande d'autorisation sont les travaux de mise en place des éléments de la charpente de protection dont les opérations de levage sont prévues en RP pour une durée de trois mois environ.

---

<sup>2</sup> ND : noyau dur. Le concept de « noyau dur » vise à disposer de systèmes, structures et équipements, résistant à des événements extrêmes assurant les fonctions fondamentales pour la sûreté des installations et pour la gestion de crise du site.

<sup>3</sup> PTR : système de refroidissement de la piscine du bâtiment combustible.

<sup>4</sup> BK : bâtiment combustible.

<sup>5</sup> Dans certains cas, les filets ont été remplacés par des caillebotis afin de permettre l'accès à la casemate PTR.

<sup>6</sup> Tornade de référence : niveau de tornade du dimensionnement.

<sup>7</sup> EIPS : éléments importants pour la sûreté.

## 1.4. ENJEU DE SÛRETÉ DU SYSTÈME PTR

La bache PTR est une réserve d'eau borée disponible en cas d'accident, afin d'une part de maintenir le cœur du réacteur sous eau grâce au système d'injection de sécurité (RIS), d'autre part d'évacuer l'énergie libérée dans l'enceinte de confinement grâce au système d'aspersion de l'enceinte (EAS).

En cas de tornade de niveau ND, les projectiles générés sont susceptibles d'entraîner des dégradations de la bache PTR conduisant à une perte d'intégrité voire à son indisponibilité. La bache PTR est incluse aux SSC<sup>8</sup> ND de l'installation, ce qui signifie, de fait, que sa défaillance peut compromettre la sûreté de l'installation en situation ND. Afin de respecter les objectifs définis avec la mise en place du noyau dur, il est donc nécessaire de prévenir tout risque d'agression de la bache PTR en cas de tornade de niveau ND.

## 1.5. PÉRIMÈTRE DE L'EXPERTISE

À la demande de l'ASN 0, l'expertise de l'IRSN porte sur l'impact sur la sûreté des travaux de réalisation de la modification et de l'exploitation de la modification en tant que telle. Les points suivants sont détaillés dans le présent avis :

- l'impact des adaptations rendues nécessaires pour la mise en place de la structure de protection ;
- les risques associés au levage et la vérification de la stabilité de la structure de protection pendant la phase de montage ;
- la vérification du dimensionnement de la structure de protection au SND et à la tornade ND afin de s'assurer qu'elle ne devienne pas un agresseur de la bache PTR dans ces situations.

## 2. ANALYSE DE L'IRSN

### 2.1. NIVEAU D'ALÉA ET PROJECTILE PRIS EN COMPTE

Conformément au référentiel en vigueur, EDF a dimensionné la protection pour un niveau de tornade EF3 de l'« Échelle de Fujita Améliorée ». Cette protection est conçue pour résister aux effets directs (vent, pression, dépression) de la tornade. La vitesse de vent prise en compte est de 68 m/s, correspondant à la vitesse maximale du vent de tornade. Parmi les trois projectiles à considérer pour dimensionner une protection contre la tornade ND, seul le « tube d'acier » est pris en compte, du fait, d'une part que les EIPS présents dans la rétention de la bache PTR sont considérés robustes aux effets du projectile « bille d'acier », d'autre part qu'il n'est pas nécessaire que la structure de protection soit dimensionnée pour résister au projectile « automobile ». En effet, la structure est prévue d'être implantée au plus bas sur le mur de la rétention en béton de 9 mètres de haut alors que le référentiel postule qu'une automobile ne sera pas portée au-delà de 3 mètres par une tornade de niveau EF3.

### 2.2. RISQUES ASSOCIÉS AUX ADAPTATIONS DE L'INSTALLATION NÉCESSAIRES À LA RÉALISATION DES TRAVAUX

L'installation de la structure de protection nécessite de déplacer des échelles à crinoline et des passerelles permettant d'accéder à la casemate de l'évent PTR. Afin de créer le nouveau cheminement vers la casemate, il est nécessaire de déposer certaines protections contre les PGGV<sup>9</sup> pour les réacteurs pairs uniquement. À cet égard, EDF s'est engagé à ce que la durée entre la phase de retrait des protections contre les PGGV et la mise en place de la protection contre la tornade soit strictement inférieure à un mois. Cette durée est ainsi compatible

<sup>8</sup> SSC : Systèmes, structures et composants

<sup>9</sup> PGGV : projectiles générés par grand vent.

avec les prescriptions prévues par la RASA<sup>10</sup> pour les équipements PSA<sup>11</sup>. Toutefois, compte tenu de l'ampleur des travaux, un risque de décalage du planning ne peut être exclu. Afin de sécuriser cette durée sans protection pour les EIPS concernés, EDF s'est alors engagé à établir une procédure de remise en place des protections contre les PGGV en cas de décalage du planning des travaux. **Ces éléments n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN et font l'objet de l'engagement rappelé en annexe 2.**

Par ailleurs, EDF considérant que la protection contre la tornade permettra également de protéger les EIPS concernés contre les projectiles pris en compte dans le cadre de l'agression PGGV, il prévoit de démonter toutes les protections contre les PGGV de tous les réacteurs à l'issue des opérations de manutention lourde réalisées dans le cadre de la présente modification. En effet, selon EDF, le projectile tôle de bardage pris en compte pour le vent extrême présente une résistance à l'écrasement largement inférieure à celle du projectile tube d'acier pris en compte dans le cadre de la tornade.

Pour l'IRSN, l'effort d'écrasement du projectile n'est pas suffisant pour caractériser sa nocivité, particulièrement lorsqu'il s'agit d'un impact sur une cible relativement souple comme les écrans de protection de type « filets ». Il faudrait également tenir compte de l'énergie cinétique du PGGV qui est environ deux fois supérieure à celle du tube d'acier. EDF n'ayant pas jugé nécessaire de compléter, par des essais ou par des calculs, sa démonstration sur ce point, il persiste une interrogation sur le caractère endommageant du PGGV pour les écrans de type « filets » tels que ceux utilisés pour la protection. **Aussi, l'IRSN considère que le caractère enveloppe du projectile de la tornade ND par rapport au PGGV n'est pas établi de manière systématique et que la possibilité de remplacer les protections contre les PGGV par des écrans de protection de type « filets » qualifiés pour le projectile de la tornade ND doit être appréciée au cas par cas.**

S'agissant de la protection de la bâche PTR et des EIPS associés, les informations transmises par EDF indiquent que les EIPS actuellement protégés contre les PGGV sont situés vers le fond de la rétention PTR de sorte que parmi les projectiles susceptibles d'impacter l'un de ces EIPS, une tôle de bardage qui arriverait avec une trajectoire proche de l'horizontale serait arrêtée par le mur en béton de la rétention. Pour les autres trajectoires d'impact, il paraît hautement improbable qu'une tôle de bardage puisse traverser la structure de protection sans être arrêtée par l'action conjointe des écrans de protection contre la tornade et de la charpente support.

**Compte tenu de ces éléments, l'IRSN considère que le retrait des protections contre les PGGV est, dans son principe, acceptable.**

### **2.3. RISQUES ASSOCIÉS AU LEVAGE ET STABILITÉ DE LA STRUCTURE PENDANT LA PHASE DE MONTAGE**

Le montage de la charpente de protection qui doit être effectué à partir de cinq colis préassemblés au sol, requiert des opérations de levage, de guidage et d'accostage, rendues délicates par le poids et l'encombrement des colis et les enjeux de sûreté pour l'installation (risque d'agression de la bâche PTR). Afin de pallier le risque d'agression d'EIPS pendant ces opérations, EDF prévoit un certain nombre de parades techniques et organisationnelles visant à éliminer :

- le risque de renversement de la grue qui pourrait provenir d'une surcharge ou d'une défaillance des appuis au sol ;
- le risque de mouvement intempestif ou de chute de la charge du fait d'une rupture d'une élingue, d'un point d'accrochage ou de la charge elle-même du fait d'un accrochage inadapté ;
- le risque de mauvaise maîtrise des trajectoires provoquée par une préparation inadaptée des opérateurs ou de mauvaises conditions climatiques.

<sup>10</sup> RASA : règle d'application des spécifications agressions.

<sup>11</sup> PSA : équipements « passifs statiques agressions ».

Les parades prévues par EDF pour sécuriser les opérations de levage sont, dans leur principe, adaptées aux enjeux. L'IRSN souligne toutefois que les informations transmises par EDF en cours d'instruction restent au niveau de principes généraux. **À la date d'émission du présent avis, les documents traduisant sous forme opérationnelle la déclinaison des principes précités (modes opératoires, plans de levage et d'élingage, fiches d'adéquation, analyses de portance du sol, etc.) n'ont pas été transmis et n'ont, par conséquent, pas été expertisés.**

Compte tenu du risque d'agression d'EIPS, des précautions sont également prises pour assurer la stabilité de la charpente pendant la phase de montage. La stabilité des deux colis formant la face avant de la charpente, au droit du mur fermant la rétention PTR, est assurée par une ossature provisoire complémentaire rapportée qui prend appui sur le BK et le BAN. L'ossature de maintien provisoire est dimensionnée pour résister à un séisme de niveau SMS et à un vent de 160 km/h environ. Le séisme est appliqué sous la forme du spectre de plancher le plus dimensionnant entre les bâtiments BK et BAN, soit le spectre de niveau SMS du BAN calculé à la cote +20,00 m. Les déplacements différentiels entre le BK et le BAN sont également considérés.

Le colis qui forme la face arrière de la protection ancrée sur la terrasse du bâtiment de liaison, à l'arrière de l'exutoire du BK est auto-stable et ne présente pas de risque important en cas de chute. Par précaution, EDF prévoit néanmoins de stabiliser ce colis par les moyens de chantier usuels, sans dimensionnement préalable.

**Les éléments transmis par EDF concernant la stabilisation de la charpente de protection lors de la phase de montage n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.**

## **2.4. VÉRIFICATION DU DIMENSIONNEMENT DE LA CHARPENTE MÉTALLIQUE DE PROTECTION AU SND**

La charpente de protection a fait l'objet d'un dimensionnement au SND. Le séisme est pris en compte sous la forme d'un spectre « palier CPY » qui est enveloppe du spectre transféré calculé dans le cadre du RP4 900 au niveau de la terrasse du bâtiment de liaison, pour le site du Tricastin.

L'IRSN rappelle que, pour définir l'aléa séisme associé au RP4 900 du site du Tricastin, EDF n'a considéré ni l'effet de site, ni la présence éventuelle de failles au niveau du site. La pertinence de la prise en compte de ces deux effets dans la détermination de l'aléa séisme du site est en cours d'évaluation par EDF. **La présente expertise s'appuie donc sur l'aléa séisme tel que défini à ce jour par EDF dont le caractère enveloppe n'est pas acquis.**

L'IRSN rappelle également que la méthode utilisée par EDF pour calculer les spectres de planchers des BK des réacteurs du palier CPY a été expertisée dans le cadre de l'instruction de la prescription technique ECS-ND14 (PT ECS-ND14). Pour plusieurs sites, notamment le site du Tricastin, les spectres de planchers ont été calculés en considérant une sollicitation sismique réduite par déconvolution du mouvement en surface jusqu'à la profondeur du radier. Selon l'IRSN, cette déconvolution a été réalisée avec une méthode non conservative, et il y a une possibilité que le spectre « palier CPY » soit sous-estimé du fait de la méthode de déconvolution utilisée, notamment dans la gamme de fréquences de 2 Hz à 4 Hz. Vu d'une part la faible importance de cette gamme de fréquence pour le comportement de la protection sous séisme, d'autre part que, d'après EDF, les taux de travail sont de l'ordre de 70 % à 80 % selon l'élément de structure considéré, **l'IRSN estime que, pour l'aléa retenu par EDF dans le cadre du RP4 900 pour le CNPE du Tricastin, le dimensionnement de la charpente de protection vis-à-vis du SND présente des marges suffisantes qui compensent une éventuelle sous-évaluation des spectres de planchers calculés dans le cadre de la PT ECS-ND14.**

## **2.5. VÉRIFICATION DU DIMENSIONNEMENT DE LA PROTECTION À LA TORNADE DE NIVEAU ND**

La conception des écrans de type « filets » et « caillebotis » a fait l'objet d'une qualification par des essais considérant le projectile « tube d'acier » et la vitesse d'impact associée à une tornade de niveau EF4, ce qui est plus pénalisant que le niveau de tornade ND retenu pour le CNPE du Tricastin (EF3). Toutefois, les impacts sur la

périphérie des écrans n'ont pas été considérés, ce qui exclut pratiquement la moitié de la surface de l'écran de la qualification. **Ceci n'est pas acceptable en regard des objectifs de protection visés.**

Pour ce qui concerne les écrans de type « filets », une extrapolation de la qualification aux dimensions d'écrans utilisées pour la présente modification, plus grandes que celles des écrans utilisés pour les essais, a été effectuée par le calcul. Cette extrapolation ne tient pas compte de certains modes de ruine probables, notamment le risque d'arrachement du filet à son cadre en cas d'impact près d'un coin de l'écran de protection. De surcroît, dans le cadre de la présente modification, EDF prévoit la mise en place de diagonales de contreventement qui sont susceptibles d'interagir de manière préjudiciable avec les écrans de type « filets ».

Pour ce qui concerne les écrans de type « caillebotis », l'IRSN a relevé que la qualification ne couvre pas les dimensions des écrans utilisés pour la protection de la bâche PTR.

**Compte tenu de ces éléments, l'IRSN considère que la qualification réalisée par EDF est insuffisante pour apporter la garantie que les écrans de protection de type « filets » ou « caillebotis » présents sur la structure métallique préviennent efficacement tout risque d'agression de la bâche PTR par un projectile en cas de tornade ND.** Pour ce qui concerne la charpente métallique qui supporte les écrans de protection, contrairement aux ouvrages en béton armé, ce type de structures ne présente pas de résistance intrinsèque aux effets du vent et des projectiles associés à la tornade. **À cet égard, la capacité moindre des structures métalliques à assurer, en cas de tornade, la protection des EIPS qu'elles abritent, a conduit l'ASN à demander aux exploitants d'identifier les points sensibles du point de vue de leur stabilité à l'égard d'un projectile de type « tube d'acier », et d'évaluer la nécessité d'une protection.**

**Dans le présent dossier, la charpente métallique qui supporte les écrans a fait l'objet d'un dimensionnement par le calcul qui ne répond pas à cette demande.** En effet, la conception de la structure métallique présente des points sensibles notamment au niveau des ancrages et des assemblages. Or ces éléments n'ont pas été dimensionnés à l'égard du projectile « tube d'acier ». À titre d'illustration, la résistance des ancrages des poteaux n'est pas assurée pour des configurations d'impact en partie basse des poteaux. Il en est de même pour les assemblages de liaison entre les poteaux et les poutres secondaires en cas d'impact sur ces dernières, et pour les assemblages de liaison entre les poteaux et les traverses des portiques en cas d'impact décentré sur une traverse. **L'absence de dispositions de protection au niveau de ces zones et la faible hyperstaticité<sup>12</sup> de la structure, et donc sa faible capacité à redistribuer des sollicitations vers d'autres zones de la structure en cas d'endommagement localisé, ne sont pas acceptables. Il en résulte un risque d'effondrement partiel de la structure de protection pour certaines configurations d'agression par un projectile du type « tube d'acier » conduisant à une agression de la bâche PTR en cas de tornade ND.**

**En conséquence, l'IRSN estime qu'EDF n'a apporté de démonstration satisfaisante ni de l'efficacité des écrans de protection, ni même de la stabilité de la charpente qui les supporte, en cas de tornade ND.**

**À ce stade, l'IRSN considère en outre qu'il n'est pas acquis que l'exigence de stabilité et l'objectif de protection à l'égard de la tornade ND soient atteignables en réalisant des modifications simples de l'ouvrage de protection telle que conçu par EDF.** De plus, l'IRSN souligne que la réalisation de modifications de la protection a posteriori nécessiterait de prendre des dispositions additionnelles pour limiter les risques d'agression de la bâche PTR et des EIPS présents dans sa rétention durant ces travaux complémentaires.

**Ces éléments amènent l'IRSN à formuler la recommandation présentée en annexe 1.**

---

<sup>12</sup> Une structure hyperstatique possède plus de liaisons que nécessaire pour augmenter sa stabilité. Pour une structure faiblement hyperstatique, l'endommagement d'un nombre limité de liaisons peut conduire à sa ruine.

### 3. CONCLUSION

En conclusion de son expertise, l'IRSN rappelle que la défaillance de la bâche PTR peut compromettre la sûreté de l'installation en situation « noyau dur ». Afin de respecter les objectifs définis avec la mise en place du noyau dur, il est donc nécessaire de prévenir tout risque d'agression de la bâche PTR en cas de tornade de niveau ND.

Afin de vérifier le dimensionnement de la structure de protection en situation « noyau dur », EDF s'appuie sur des essais et des simulations numériques. Toutefois, EDF n'a pas considéré certaines configurations d'impact par le projectile « tube d'acier » pour lesquelles l'efficacité des écrans de protection et/ou la stabilité de la charpente métallique ne sont pas établies. De plus, dans certains cas, les écrans de protection sont utilisés en dehors de leur domaine de qualification.

**Ces différents points amène l'IRSN à formuler la recommandation présentée en annexe 1, dont la prise en compte est nécessaire afin de pouvoir garantir l'intégrité et la disponibilité de la bâche PTR en situation de tornade « noyau dur ».**

En outre, alors que des protections contre la tornade de niveau « noyau dur », de conception similaire, ont déjà été mises en place sur d'autres SSC ND du parc nucléaire français, dont les bâtiments diesels d'ultimes secours, la protection de la bâche PTR de Tricastin est la première de ce type à être expertisée par l'IRSN. Eu égard aux conclusions de l'analyse de l'IRSN susmentionnées, **l'efficacité de ces protections pour l'ensemble des configurations d'impact de projectiles relevant du noyau dur mériterait d'être confirmée.**

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

## **ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2022-00193 DU 27 SEPTEMBRE 2022**

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

L'IRSN recommande qu'EDF apporte la démonstration de l'absence de risque d'agression de la bache PTR et des EIPS situés dans sa rétention en cas de tornade « noyau dur », quelle que soit la localisation de l'impact et l'incidence du projectile « tube d'acier » sur les écrans de protection et sur la charpente métallique.

Dans le cas où cette démonstration ne pourrait être apportée, EDF devra modifier cette protection, c'est-à-dire les écrans et la structure métallique.

## **ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2022-00193 DU 27 SEPTEMBRE 2022**

### **Engagement de l'exploitant**

Afin de garantir le respect d'une durée strictement inférieure à un mois maximum entre le retrait des protections contre les PGGV et la fin de la pose de la protection contre la tornade, lorsque les protections PGGV gênent la pose de la protection tornade (cas des réacteurs pairs), EDF s'est engagé à :

- s'assurer que la durée entre la phase de retrait de la protection PGGV et la fin de la pose de la protection tornade est strictement inférieure à un mois avec la mise en place d'une procédure de remise d'urgence des protections en cas de décalage du planning ;
- ou à réaliser des adaptations de conception afin que les protections PGGV ne constituent plus un obstacle à la réalisation des travaux (comme pour les réacteurs impairs).