

Fontenay-aux-Roses, le 4 septembre 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2023-00138

---

**Objet :** EPR de Flamanville – Instruction complémentaire relative au risque d'explosion interne au système de traitement des effluents gazeux et au risque de dilution homogène à la suite de la rupture d'un tube d'échangeur RIS-RA.

---

**Réf. :** [1] Avis IRSN/2018-00167 du 20 juin 2018.  
[2] Lettre ASN – CODEP-DCN-2019-052513 du 13 décembre 2019.  
[3] Lettre ASN – CODEP-DCN-2020-054704 du 12 novembre 2020.  
[4] Lettre ASN – CODEP-DCN-2022-026440 du 24 mai 2022.  
[5] Avis IRSN/2020-00037 du 13 mars 2020.  
[6] Avis IRSN/2021-00078 du 11 mai 2021.  
[7] Avis IRSN/2021-00130 du 27 juin 2022.  
[8] Lettre ASN – CODEP-DCN-2019-000497 du 11 avril 2019.  
[9] Lettre ASN – CODEP-DCN-2023-041694 du 1<sup>er</sup> septembre 2023.  
[10] Avis IRSN/2022-00133 du 30 juin 2022.

---

Dans le cadre de la demande d'autorisation de mise en service du réacteur EPR de Flamanville (EPR FA3), l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a analysé les dispositions prises par EDF pour assurer la sûreté de ce réacteur, telles qu'elles sont présentées et justifiées dans le rapport de sûreté (RDS). L'IRSN a présenté les conclusions de son examen lors de la séance du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) des 4 et 5 juillet 2018 [1]. À la suite de la sollicitation de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) [2], [3] et [4], l'IRSN a remis les avis [5], [6] et [7] sur différents lots de réponses apportés par EDF aux demandes de l'ASN mentionnées dans sa lettre [8] faisant suite à la réunion du GPR de 2018 et aux engagements pris dans ce cadre.

Depuis, EDF a déclaré des écarts qui ont des conséquences sur le dossier de mise en service (DMES) du réacteur EPR FA3, c'est-à-dire le rapport de sûreté et les règles générales d'exploitation (RGE).

Par la lettre [9], l'ASN sollicite l'avis de l'IRSN sur les modifications apportées au DMES par EDF sur deux de ces écarts :

- le risque de formation d'atmosphère explosive (ATEX) dans le système TEG ;
- la dilution homogène à la suite de la rupture d'un tube d'un échangeur RIS-RA<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Le système RIS-RA : système d'injection de sécurité et de refroidissement à l'arrêt.

Le présent avis comprend également l'expertise du traitement des éléments de réponse d'EDF à son engagement pris lors de la deuxième instruction des suites du GPR « examen du rapport de sûreté EPR de Flamanville », sur la sensibilité de l'étude du blocage instantané du rotor d'une pompe primaire à un retard de la chute des grappes à la suite de l'arrêt automatique du réacteur (AAR), notamment en cas de séisme.

Une synthèse de l'analyse réalisée par l'IRSN et des principales conclusions associées est présentée ci-après. Elle tient compte des engagements pris par EDF au cours de l'expertise.

## 1. RISQUES D'EXPLOSION DANS LE SYSTÈME TEG

Le système de dégazage TEG (traitement des effluents gazeux) permet notamment de limiter la concentration en hydrogène dans les systèmes connectés afin d'empêcher la formation de mélanges explosifs. Ce système isolé, sous azote, est en grande partie en dépression par rapport à l'atmosphère externe. Une perte d'étanchéité dans le système TEG entraînerait ainsi une entrée d'air. Sans apport supplémentaire d'azote, le système TEG pourrait s'enrichir en oxygène par l'entrée d'air et en hydrogène par le dégazage des effluents TEG. Le recombiner<sup>2</sup> présent dans le système serait alors contourné en cas d'augmentation de la concentration en oxygène, jusqu'à formation d'une atmosphère hydrogène - air explosive dans l'ensemble du système TEG.

À la suite de la réévaluation du risque d'explosion dans le système TEG, EDF a estimé, en raison d'un grand nombre de singularités, que la fréquence de formation d'une atmosphère explosive dans ce système est trop élevée pour respecter l'exigence d'exclusion du risque d'explosion interne aux systèmes fluides figurant dans le RDS de l'EPR FA3. EDF prévoit donc, avant le démarrage du réacteur EPR FA3, une modification du contrôle-commande permettant que le recombiner ne soit plus contourné en cas de concentration en oxygène trop élevée, l'hydrogène continuera ainsi à être recombiné même en cas d'entrée d'air. Une atmosphère explosive ne pourra se former qu'à la suite d'une entrée d'air sur la partie en dépression du système TEG, cumulée à une défaillance entraînant l'arrêt de l'élimination de l'hydrogène par le recombiner. Cette modification permettra de diminuer la fréquence de formation d'une atmosphère explosive dans le TEG.

En complément, EDF a étudié de façon déterministe les conséquences d'une explosion liée à l'inflammation de l'atmosphère explosive ainsi créée dans le système TEG. Il ressort de cette étude que la tenue à l'explosion n'est pas démontrée pour certains équipements du système :

- les tuyauteries de diamètre DN50 de la partie du système TEG qui est initialement en surpression ;
- les piquages de la bache RCV3220BA.

EDF a donc évalué les conséquences de la rupture de ces équipements dans les locaux où ils sont implantés et conclut à l'acceptabilité de ces conséquences.

L'IRSN partage l'analyse d'EDF pour autant que soit démontrée la tenue du génie civil aux surpressions engendrées par une explosion du système TEG et donc la limitation de l'impact de cette explosion aux locaux concernés. À ce titre, EDF s'est engagé à réaliser, à échéance du dossier de fin de démarrage, une étude de la tenue des éléments de génie civil des locaux abritant les tuyauteries de diamètre DN50 en surpression. **EDF devra également réaliser, à échéance du dossier de fin de démarrage, une étude de la tenue des éléments de génie civil des locaux concernés par la rupture des piquages de la bache RCV3220BA.**

Des mesures d'hydrogène et d'oxygène en amont et en aval du recombiner sont réalisées. Une teneur élevée de ces éléments chimiques induit l'isolement des systèmes producteurs d'hydrogène du TEG, la fermeture des vannes d'alimentation en hydrogène et en oxygène situées sur le système TEG et l'injection manuelle d'azote. Ces fonctions d'isolement et d'injection d'azote sont valorisées dans la démonstration d'EDF afin de limiter les concentrations en hydrogène dans le système TEG en cohérence avec les dernières études d'explosion. **À ce titre,**

---

<sup>2</sup> Le recombiner réduit la concentration d'hydrogène présent dans le système TEG en le faisant réagir de façon contrôlée avec l'oxygène.

**l'IRSN estime que ces fonctions relèvent d'un classement de sûreté F2 dans la mesure où elles permettent de garantir le respect des hypothèses de l'étude d'explosion et les objectifs de sûreté des chapitres agressions du RDS.** Cela confirme la recommandation faite dans le cadre de l'instruction du bilan des essais de démarrage [10], où l'IRSN a recommandé qu'EDF vérifie les automatismes d'isolement de l'injection de l'hydrogène et de l'oxygène afin d'éviter une atmosphère explosive dans le système TEG en les affectant d'un critère de sûreté de type S<sup>3</sup>.

Par ailleurs, la fonction recombinaison participe au respect de l'objectif de fréquence de formation d'une ATEX et des conséquences radiologiques des agressions internes. Elle est également prise en compte dans l'étude déterministe comme défaillance aléatoire<sup>4</sup>. **Pour ces raisons, la fonction de recombinaison étant valorisée dans l'étude d'explosion, elle doit faire également l'objet d'un classement de sûreté F2.**

De plus, EDF a réalisé une évaluation probabiliste simplifiée du risque de formation d'une atmosphère explosive dans le système TEG tenant compte de la modification du contrôle-commande, en quantifiant la défaillance de la fonction recombinaison. L'IRSN souligne que les incertitudes associées à la quantification des fréquences des événements initiateurs sont importantes. Aussi, l'IRSN considère qu'une démarche prudente doit prévaloir et que des exigences fortes sur la disponibilité en exploitation des parades (détection des fuites, maintien en fonctionnement de la fonction de recombinaison) devront être proposées par EDF.

**L'ensemble de ces points conduit l'IRSN à formuler la recommandation en annexe.**

## **2. DILUTION HOMOGÈNE À LA SUITE DE LA RUPTURE D'UN TUBE D'UN ÉCHANGEUR RIS-RA**

Le risque de dilution homogène est étudié dans le RDS avec un débit de dilution allant jusqu'à 15 m<sup>3</sup>/h. En 2020, EDF a réévalué à 24 m<sup>3</sup>/h le débit de dilution en cas de rupture d'un tube d'un échangeur RIS-RA en situation de manque de tension externe (MDTE) cumulée à l'échec du redémarrage des pompes RIS-BP<sup>5</sup>.

À ce titre, EDF a mis à jour son étude de dilution homogène en cas de rupture d'un tube d'un échangeur RIS-RA pour les états C à E<sup>6</sup>. **L'IRSN n'a pas de remarque sur les évaluations de fréquence pour ce scénario de dilution.**

La détection de la dilution pour ce scénario ne peut être faite par le boremètre du système d'échantillonnage nucléaire, si celui-ci est ligné sur le train du système RIS-RA affecté par la dilution, du fait de l'échec du redémarrage des pompes RIS-BP. La mesure de la concentration en bore est donc perdue. Le volume d'eau non borée injecté dans le circuit primaire est limité, pour le premier cycle<sup>7</sup>, par les fonctions suivantes :

- le déclenchement de la pompe RRI<sup>8</sup> sur bas niveau des bâches RRI, permettant l'arrêt de la dilution ;
- la condamnation administrative des appoints SED<sup>9</sup> aux bâches RRI afin d'éviter la réalimentation des bâches et de limiter le volume d'eau non borée injecté dans le circuit primaire au volume initial des bâches RRI.

<sup>3</sup> Critère S : paramètre et valeurs de référence dont le non-respect compromet l'aptitude de tout ou partie d'une fonction de sûreté, à assurer sa mission telle que définie dans les études du rapport de sûreté.

<sup>4</sup> La défaillance aléatoire est une défaillance unique appliquée à un équipement permettant de gérer une agression et qui rend cet équipement impropre à remplir la fonction qui lui est assignée.

<sup>5</sup> Système d'injection de sécurité basse pression.

<sup>6</sup> États d'arrêt dans lesquels le système RIS-RA est en service en mode RA.

<sup>7</sup> Pour les cycles ultérieurs, la surveillance sera assurée par l'ajout d'un boremètre RIS-RA (modification prévue à la première visite complète).

<sup>8</sup> Système RRI : système de réfrigération intermédiaire.

<sup>9</sup> Système de distribution d'eau déminéralisée du réacteur.

Ces fonctions n'ayant pas un classement de sûreté adéquat, EDF a transmis une dérogation aux règles de classement ainsi qu'une vérification d'absence d'effet falaise en cas de défaillance de l'automatisme d'arrêt des pompes RRI sur bas niveau bâche. **L'IRSN n'a pas de remarque sur la dérogation aux règles de classement.**

Malgré la faible fréquence d'occurrence du scénario de dilution redouté et afin de s'assurer de l'absence d'effet falaise, EDF a modifié la fiche dédiée à la gestion des pertes de sources électriques de la conduite incidentelle et accidentelle. Cette modification a pour objectif l'isolement au plus tôt de l'éventuelle source de dilution en cas de MDTE. Pour autant cette action n'est pas conditionnée à un diagnostic caractérisant un risque de dilution : l'action est demandée dans tous les cas d'échec du redémarrage d'une pompe RIS-BP. Une telle action, réalisée a priori, ne favorise pas la compréhension par les opérateurs du motif des actions réalisées et alourdit la conduite des situations de MDTE sans dilution (cas le plus probable lors du non-redémarrage d'une pompe RIS-BP). Cela n'est pas conforme aux principes de l'approche par état. Un diagnostic visant à discriminer, au moins partiellement, les situations nécessitant un isolement préventif, aurait dû être considéré par EDF. Néanmoins, cette modification de conduite est sans impact significatif sur la démonstration de sûreté et sera supprimée lors de la première visite complète durant laquelle les boremètres RIS seront mis en place. **Pour ces raisons, l'IRSN n'a pas d'objection à la mise en œuvre de cette modification pour le premier cycle d'exploitation.**

### **3. SENSIBILITÉ DE L'ÉTUDE DU BLOCAGE INSTANTANÉ DU ROTOR D'UNE POMPE PRIMAIRE À UN RETARD DE LA CHUTE DES GRAPPES À LA SUITE DE L'AAR**

Conformément à son engagement dans le cadre de l'instruction des suites du GPR « examen du rapport de sûreté EPR de Flamanville » de 2018 [6], EDF a fourni l'étude de sensibilité qui considère, pour l'étude du blocage instantané du rotor d'une pompe primaire, une pénalisation des premiers instants de l'arrêt automatique du réacteur en considérant une translation de la courbe d'insertion des grappes. Cette étude traite également l'augmentation du temps de chute des grappes en cas de séisme. Elle montre que le critère technique d'acceptation en nombre maximal de crayons entrant en crise d'ébullition (NCE) n'est plus respecté dès lors qu'un retard de plus de 0,3 seconde avant la chute des grappes est appliqué dans l'étude du blocage instantané du rotor d'une pompe primaire.

Au cours de l'expertise, EDF a fait état d'un programme expérimental à venir, visant à quantifier les effets d'un séisme sur la cinétique d'insertion des grappes. EDF a par ailleurs fourni des éléments relatifs à l'existence de marges en NCE dans l'étude du blocage instantané du rotor d'une pompe primaire. Sur la base de ces éléments, l'IRSN n'a plus de remarque, à ce stade, sur l'étude du blocage instantané du rotor en cas de séisme. Cependant, des échanges avec EDF sont à poursuivre, dans un cadre générique, au sujet de la cinétique de la chute des grappes en cas de séisme.

### **4. CONCLUSION**

L'IRSN estime que les compléments apportés depuis 2018, y compris les éléments transmis par EDF relatifs à la sensibilité de l'étude du blocage instantané du rotor d'une pompe primaire à un retard de la chute des grappes à la suite de l'AAR, permettent de justifier le respect des objectifs généraux de sûreté du réacteur EPR de Flamanville.

Par ailleurs, EDF a déclaré deux écarts pouvant mettre en cause les conclusions d'études du RDS.

Concernant le premier écart relatif au risque d'explosion dans le système TEG, l'IRSN estime que la modification du contrôle-commande proposée par EDF permet de réduire ce risque dans le système TEG. Il conviendra néanmoins qu'EDF classe certaines fonctions de ce système valorisées dans la démonstration de sûreté.

Concernant le second écart relatif au scénario de dilution homogène à la suite de la rupture d'un tube d'un échangeur RIS-RA, l'IRSN estime que les justifications apportées par EDF incluant notamment une modification de la conduite incidentelle et accidentelle sont globalement acceptables pour le premier cycle de fonctionnement du réacteur EPR de Flamanville.

De manière générale, la justification de la conformité de l'installation, telle que réalisée, aux exigences du rapport de sûreté reste à apporter. À cet égard, l'IRSN poursuit son examen des résultats des essais de démarrage qui se dérouleront jusqu'à la mise en service du réacteur.

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Thierry PAYEN

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

## ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2023-00138 DU 4 SEPTEMBRE 2023

### Recommandation de l'IRSN

L'IRSN recommande qu'EDF attribue un classement de sûreté F2 (opérabilité) en cohérence avec les principes définis dans le rapport de sûreté aux fonctions suivantes du système TEG :

- recombinaison ;
- isolement automatique des sources d'hydrogène balayées par le TEG sur détection d'une haute teneur en hydrogène en amont du recombineur TEG ;
- isolement manuel des principales sources d'hydrogène lors de la détection d'une haute teneur en hydrogène en amont du recombineur TEG ;
- injection d'azote permettant de garantir un débit minimal de 4 Nm<sup>3</sup>/h pour le renouvellement du gaz contenu dans la boucle TEG à la suite de la détection d'une entrée d'air.

L'ensemble des équipements associés y compris les détecteurs d'hydrogène et d'oxygène devront faire l'objet de prescriptions et le cas échéant de mises en défaut dans le chapitre II des RGE relatif aux agressions, d'essais périodiques au titre du chapitre IX des RGE et de programmes de maintenance préventive.