



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité

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

Fontenay-aux-Roses, le 2 août 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2023-00127

**Objet :** Quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe - Moyens d'appoint en eau borée et dynamique de pressurisation de l'enclaustrée - Expertise relative au thème « limitation et prévention des accidents graves ».

**Réf. :** [1] Saisine ASN - CODEP-DCN-2021-036419 du 12 octobre 2021.  
[2] Décision de l'ASN n° 2021-DC-0706 du 23 février 2021.  
[3] Décisions de l'ASN n° 2012-DC-0274 à 2012-DC-0292 du 26 juin 2012.  
[4] Avis IRSN n° 2019-00051 du 13 mars 2019.

Conformément à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a analysé la pertinence des éléments apportés par Électricité de France (EDF) en réponse à la prescription [AG-B-II] de la décision de l'ASN en référence [2].

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. CONTEXTE

Installé dans le cadre du quatrième réexamen périodique (RP4) des réacteurs de 900 MWe, le système EAS ND<sup>1</sup> est utilisé, en cas d'accident avec fusion du cœur (ou accident grave (AG)), pour évacuer la puissance résiduelle hors de l'enclaustrée de confinement sans recourir à l'événement avec filtration de l'enclaustrée.

Ce système permet d'injecter le contenu du réservoir d'eau borée du système de traitement et de refroidissement de l'eau des piscines (dit réservoir PTR) dans les puisards de l'enclaustrée afin de refroidir le corium<sup>2</sup>, préalablement étalé à sec hors de la cuve, en le recouvrant d'eau, puis de faire recirculer cette eau en la refroidissant.

<sup>1</sup> EAS ND : système d'évacuation de la puissance résiduelle de l'enclaustrée « Noyau Dur ».

<sup>2</sup> Amas de combustible et d'éléments de structure du cœur d'un réacteur nucléaire fondus et mélangés, pouvant se former en cas d'AG.

MEMBRE DE  
**ETSON**

Le refroidissement est assuré grâce à un échangeur qui est raccordé à la source froide ultime (SFu) du site par la force d'action rapide nucléaire (FARN<sup>3</sup>) d'EDF qui dispose pour ce faire d'une pompe mobile et des tuyauteries de raccordement.

En cas d'AG sur un réacteur, deux colonnes FARN s'acheminent vers le site accidenté à partir de s bases régionales FARN. La colonne venant de la base FARN la plus proche du site accidenté ou déjà présente sur site a notamment pour mission de raccorder l'échangeur du système EAS ND à la SFu. Si cette « première colonne FARN » ne peut assumer son rôle, celui-ci revient à la « seconde colonne FARN ».

Le délai maximal de raccordement de la SFu à l'échangeur par la FARN est fixé par la prescription technique ECS-36 des décisions de l'ASN en référence [3], rappelée en annexe 2. Elle impose une mise œuvre des moyens d'intervention d'urgence en moins de 24 heures après le déclenchement du plan d'urgence interne (PUI) de l'installation.

L'efficacité du système EAS ND à évacuer la puissance résiduelle hors de l'enceinte de confinement 24 heures après le déclenchement du PUI a fait l'objet en 2019 d'une première expertise de l'IRSN en référence [4]. L'IRSN estimait alors qu'il existait un risque, pour les scénarios d'AG à cinétique rapide, de dépasser la pression de dimensionnement de l'enceinte (5 bar abs) à 24 heures. À cet égard, l'IRSN estimait que la réalimentation du réservoir PTR, dont le contenu avait été initialement injecté dans le bâtiment du réacteur (BR), et l'injection du volume d'eau correspondant dans le BR permettraient de dégager des marges quant à ce risque. À la suite de cette expertise, l'ASN a émis la prescription [AG-B-II] de la décision de l'ASN 2021-DC-0706 du 23 février 2021 en référence [2] rappelée en annexe 2.

## 1.2. SAISINE DE L'ASN

Par la saisine en référence [1], l'ASN a demandé l'avis de l'IRSN sur « *la pertinence des moyens envisagés par EDF en termes de :*

- *volumes d'eau borée susceptibles d'être injectés dans le BR en cas d'AG ;*
- *suffisance de la concentration en bore ;*
- *faisabilité de l'injection des volumes d'eau borée complémentaires, notamment en cas de perte des alimentations électriques ;*
- *délais pour réaliser l'injection de ces volumes à court terme ;*
- *requis et exigences associées aux moyens retenus ;*
- *bénéfices sur la hauteur d'eau disponible dans les puisards en lien avec le débit de noyage du corium ».*

## 2. SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DE L'IRSN

### 2.1. INTRODUCTION

Dans sa réponse à la prescription [AG-B-II], EDF présente tout d'abord les résultats d'études relatives à l'évolution de la pression dans l'enceinte et à l'échauffement de la température de l'eau des puisards de l'enceinte. EDF montre que la pression maximale dans l'enceinte ne dépasse pas la pression de dimensionnement et que la température de l'eau des puisards ne dépasse pas la température maximale admissible par les matériels du

---

<sup>3</sup> EDF a créé la FARN à la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima-Dai-ichi. La FARN est dimensionnée pour secourir n'importe quelle centrale nucléaire française, sur l'ensemble de ses réacteurs, en moins de 24 heures, en toutes circonstances : séisme, inondation externe ou interne, tempête... Dans ces situations, la FARN met à la disposition des équipes de crise des moyens complémentaires pour réalimenter la centrale en eau, en air comprimé et en électricité, de manière à permettre le maintien des fonctions de sûreté minimales et limiter les rejets radioactifs massifs dans l'environnement. La FARN compte environ 300 équipiers répartis sur 4 bases régionales : Paluel, Dampierre, Civaux et Bugey et un état-major situé à Paris (l'état-major dispose également d'une base « matériels » où sont regroupés les équipements FARN nationaux tels que les moyens hélicoptés). Chaque base dispose de 5 colonnes autonomes.

système EAS ND. Ces résultats permettent à EDF de conclure que la démonstration de sûreté est assurée sans avoir besoin de recourir à un appoint d'eau borée complémentaire à celui du réservoir PTR dans le BR. **Cet appoint d'eau complémentaire relève donc, pour EDF, de la gestion de la crise**<sup>4</sup>. Cette démonstration est apportée à un délai de 24 heures après l'initiateur pour lequel EDF estime légitime de considérer, « avec un haut niveau de confiance » que, dans les situations à couvrir, l'intervention de la FARN aura permis de raccorder la SFu à l'échangeur et d'assurer ainsi l'évacuation de la puissance résiduelle contenue dans le BR.

Les calculs d'EDF ne sont toutefois réalisés que pour les réacteurs n° 5 et n° 6 du site de Gravelines (palier CPY<sup>5</sup>), ces deux réacteurs étant choisis pour les caractéristiques du béton de leurs radiers (béton de type « silico-calcaire<sup>6</sup> ») qui revêtent un caractère plus pénalisant pour la pressurisation de l'enceinte lors d'un AG que celles des autres réacteurs de 900 MWe.

Dans le cadre de la présente expertise, l'IRSN a effectué ses propres calculs afin de vérifier et de consolider l'appréciation d'EDF sur les enjeux de sûreté et d'évaluer le risque d'effet falaise<sup>7</sup>. Les calculs ont été réalisés pour l'ensemble des réacteurs des sites de Gravelines et du Tricastin (en raison, pour les réacteurs du site du Tricastin, de l'arrivée plus tardive sur ce site de la seconde colonne FARN). Enfin, EDF n'ayant pas fourni de calculs spécifiques pour les réacteurs du palier CPO (c'est-à-dire les réacteurs du site du Bugey), l'IRSN a également vérifié que la conclusion d'EDF s'appliquait aux réacteurs de ce site, pour lesquels la température maximale admissible de l'eau des puisards est plus faible que pour les réacteurs du palier CPY. L'ensemble de ces calculs ont été réalisés aux différents instants de raccordement de la SFu par les colonnes FARN (première et deuxième colonne) et à 24 heures.

Pour les réacteurs du palier CPY, les calculs font ressortir que, en l'absence d'injection complémentaire d'eau borée dans le BR, le risque d'effet falaise pour la tenue de l'enceinte ou le fonctionnement du système EAS ND peut être écarté à l'instant du raccordement de la SFu à l'échangeur par la FARN, même si ce raccordement intervenait au plus tard 24 heures après le déclenchement du PUI de l'installation.

Pour les réacteurs du site du Bugey, les calculs montrent que le raccordement de la SFu à l'échangeur du système EAS ND par la FARN déjà présente sur le site interviendrait avant l'atteinte de la pression de dimensionnement de l'enceinte et de la température maximale du fluide pouvant circuler dans l'EAS ND, sans nécessiter une injection complémentaire d'eau borée dans le BR.

**Compte tenu de l'ensemble de ces éléments, l'IRSN estime acceptable que l'injection complémentaire d'eau borée dans le BR en AG relève de la gestion de la crise pour les réacteurs du palier CPY et du palier CPO.**

## 2.2. MOYENS D'APPOINT EN EAU BOREE DANS LE BR

### 2.2.1. Volumes d'eau borée susceptibles d'être injectés dans le BR en cas d'AG et suffisance de la concentration en bore

En réponse à la prescription [AG-B-II], EDF a identifié les moyens permettant d'injecter à court terme dans le BR un volume d'eau borée complémentaire à celui initialement contenu dans le réservoir PTR.

<sup>4</sup> Alors que les actions retenues au titre de la démonstration de sûreté doivent faire l'objet d'une démonstration de l'atteinte des résultats escomptés avec des règles codifiées, les actions relevant de la gestion de la crise s'inscrivent plutôt dans une logique de moyens devant couvrir la diversité des situations envisageables et permettre aux équipes de crise d'EDF d'adapter la réponse opérationnelle à la situation rencontrée.

<sup>5</sup> Les réacteurs du palier CPY sont les réacteurs des centrales nucléaires de production d'électricité du Blayais, de Chinon, de Cruas, de Dampierre-en-Burly, de Gravelines, de Saint-Laurent-des-Eaux et du Tricastin.

<sup>6</sup> Pour un même volume de béton érodé, l'érosion d'un béton silico-calcaire produit beaucoup plus de gaz que l'érosion d'un béton plus siliceux. Cette production de gaz augmente la pressurisation de l'enceinte.

<sup>7</sup> Altération brutale du comportement d'une installation, que suffit à provoquer une légère modification du scénario envisagé pour un accident dont les conséquences sont alors fortement aggravées.

L'IRSN estime que les diverses sources d'eau borée complémentaires pouvant être injectées dans le BR en situation d'AG ont été identifiées et caractérisées en termes de volumes d'eau et de moyens de transfert. Leur concentration en bore est soit périodiquement surveillée avant l'accident soit mesurée lors de l'accident de façon à assurer une concentration en bore compatible avec une injection dans le BR lors d'un AG, **ce que l'IRSN estime satisfaisant**. Les moyens fixes en capacité de pomper de l'eau contenue dans la bache PTR et de l'injecter dans le BR ont été identifiés, **ce qui est également satisfaisant**.

### 2.2.2. Requis et exigences associées aux moyens retenus

EDF a précisé que les requis et les exigences associées aux moyens retenus étaient ceux actuellement demandés pour ces moyens, la capacité de l'exploitant à injecter de l'eau borée dans le bâtiment du réacteur en AG étant examinée au titre de la gestion de crise, **ce qui n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN**.

### 2.2.3. Bénéfices sur la hauteur d'eau disponible dans les puisards

L'apport d'eau borée complémentaire dans le BR via le réservoir PTR, dont le contenu initial a déjà été injecté dans l'enceinte, a pour premier objectif de dégager une marge temporelle pour la mise en œuvre de la SFu par la FARN. L'IRSN considère en outre que l'augmentation de la hauteur d'eau disponible dans les puisards suite à une réinjection complémentaire a un effet bénéfique (mais non nécessaire) sur le NPSH<sup>8</sup> à l'entrée de la pompe EASND, quel que soit le débit de noyage du corium. **L'IRSN estime donc que les conséquences sur la hauteur d'eau disponible dans les puisards de l'apport d'eau borée complémentaire ne peuvent être que bénéfiques en termes de sûreté**.

## 2.3. FAISABILITE ET DELAIS D'APPOINT EN EAU BOREE DANS LE BR

### 2.3.1. Faisabilité de l'injection des volumes d'eau borée complémentaires identifiés

EDF a réalisé une analyse paramétrique relative à la capacité de ses équipes de crise à procéder en toute situation à une réalimentation du réservoir PTR en eau borée, puis à l'injection de cette eau dans le BR du réacteur accidenté.

**L'IRSN souligne l'intérêt de cette analyse paramétrique. À cet égard, il estime satisfaisant que, à l'issue de cette analyse, EDF ait décidé de mettre à jour la documentation et les outils à disposition des équipes de crise**, afin notamment que ces dernières disposent de la liste des sources électriques et des tableaux électriques permettant l'alimentation des moyens nécessaires à la réalimentation du réservoir PTR. Ceci devrait permettre aux équipes de crise d'optimiser le délai de remise en service de ces moyens en cas de perte des alimentations électriques.

Néanmoins, cette analyse repose essentiellement sur des éléments théoriques ou afférents à la conduite normale. **L'IRSN estime ainsi nécessaire que ces éléments soient supportés par des mises en situation, considérant notamment des pertes de sources électriques**.

### 2.3.2. Délais pour réaliser l'injection de ces volumes

Si EDF a fourni, à titre indicatif, des ordres de grandeur des délais de mise en œuvre des divers moyens de réalimentation de la bache PTR, ce qui est satisfaisant dans le principe, il a indiqué qu'il n'était pas possible de fournir ou d'imposer un délai de réalisation de la réalimentation du réservoir PTR par un appoint complémentaire au vu des nombreuses situations inattendues pouvant se présenter, **ce dont l'IRSN convient**.

---

<sup>8</sup> Afin d'éviter le risque de défaillance d'une pompe par cavitation, il convient de garantir à l'aspiration de cette dernière une pression suffisante. C'est le NPSH (net positive suction head).

## 2.4. IMPACT DE L'INJECTION DANS LE BR D'UN VOLUME D'EAU BOREE COMPLEMENTAIRE A CELUI CONTENU DANS LA BACHE PTR DANS LE CADRE DE LA GESTION DE LA CRISE

Pour les réacteurs du palier CPY, l'ensemble des résultats des calculs présentés par EDF et réalisés par l'IRSN montre l'aspect bénéfique, vis-à-vis des instants d'atteinte de la pression de dimensionnement de l'enceinte et de la température maximale admissible de l'eau des puisards de l'enceinte, de l'injection dans le BR d'un volume d'eau borée complémentaire à celui contenu dans la bache PTR dans le cadre de la gestion de la crise. En particulier, l'aspect le plus bénéfique d'une telle injection est montré pour les réacteurs n° 5 et n° 6 du site de Gravelines en raison des caractéristiques du béton de leurs radiers (béton de type « silico-calcaire ») qui revêtent un caractère plus pénalisant pour la pressurisation de l'enceinte lors d'un AG que celles des autres réacteurs de 900 MWe.

Pour les réacteurs du site du Bugey, dans le cas où l'initiateur de l'AG est un événement interne<sup>9</sup>, la FARN déjà présente sur le site devrait être en capacité d'assurer ses missions. Les résultats des calculs de l'IRSN montrent alors que le raccordement de la SFu interviendrait avant l'atteinte de la pression de dimensionnement de l'enceinte et de la température maximale admissible pour le fluide circulant dans l'EAS ND. Toutefois, dans le cas peu probable où le raccordement de la SFu devrait être réalisé par la seconde colonne FARN, les équipes de crise seraient en capacité d'injecter dans le BR un volume d'eau borée complémentaire, ce qui permettrait de ne pas dépasser la température maximale admissible de l'eau des puisards avant le raccordement de la SFu.

## 3. CONCLUSION

L'IRSN a analysé les éléments transmis par EDF qui permettent d'apprécier sa capacité à réaliser, au titre de la gestion de crise, une injection dans le bâtiment réacteur d'un volume complémentaire d'eau borée en cas d'AG afin de gagner des marges temporelles dans les 24 premières heures suivant l'initiateur pour la mise en œuvre de la SFu par la FARN. L'IRSN souligne que les diverses sources d'eau borée complémentaires pouvant être injectées dans le BR en situation d'AG ont été identifiées et caractérisées et qu'EDF a planifié la mise à jour de la documentation et des outils à disposition des équipes de crise afin notamment de permettre à ces dernières d'optimiser le délai de remise en service des moyens nécessaires à la réalimentation du réservoir PTR en cas de perte des alimentations électriques, **ce qui est satisfaisant**.

Néanmoins, les éléments transmis par EDF reposent essentiellement sur des éléments théoriques ou afférents à la conduite normale. L'IRSN estime ainsi nécessaire que ces éléments soient supportés par des mises en situation, considérant notamment des pertes de sources électriques, **ce qui fait l'objet de la recommandation formulée en annexe 1**. Celles-ci devraient concerner en priorité les réacteurs des sites de Gravelines et du Bugey.

IRSN

Le Directeur général

Par déléation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au directeur de l'expertise de sûreté

---

<sup>9</sup> Pour les scénarios d'AG résultant d'une agression externe extrême, le délai maximal dans lequel le raccordement de la SFu doit être réalisé est supérieur à 24 heures.

## **ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2023-00127 DU 02 AOÛT 2023**

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

L'IRSN recommande qu'EDF complète les éléments qu'il a apportés concernant sa capacité à réaliser une injection dans le bâtiment réacteur d'un volume d'eau borée complémentaire à celui injecté par la bache PTR, afin de gagner des marges temporelles pour la mise en œuvre de la SFu par la FARN lors d'un accident grave survenant sur un réacteur de 900 MWe, par le retour d'expérience de mises en situation (adéquation des moyens techniques, organisationnels et humains), considérant notamment des pertes de sources électriques.

## **ANNEXE 2 A L'AVIS IRSN N° 2023-00127 DU 02 AOÛT 2023**

### **Rappel de prescriptions de l'Autorité de sûreté nucléaire**

#### **Rappel de la prescription ECS-36 des décisions n° 2012-DC-0274 à 2012-DC-0292 du 26 juin 2012**

- I. Avant le 30 juin 2012, l'exploitant présentera à l'ASN les mesures qu'il prévoit afin de disposer d'équipes spécialisées capables d'intervenir pour assurer la relève des équipes de quart et mettre en œuvre des moyens d'intervention d'urgence en moins de 24 heures, avec un début des opérations sur site dans un délai de 12 heures après leur mobilisation. Ce dispositif peut être commun à plusieurs sites nucléaires de l'exploitant.  
Ces équipes doivent être dimensionnées pour intervenir sur l'ensemble des réacteurs du site et disposer d'outils de mesures pouvant être déployés à leur arrivée. L'exploitant précisera l'organisation et le dimensionnement de ces équipes, et notamment :
  - les critères d'activation,
  - les missions qui leur incombent,
  - les moyens matériels et humains dont elles disposent,
  - les équipements de protection individuelle,
  - le système mis en place pour assurer la maintenance de ces moyens matériels ainsi que leur opérabilité et disponibilité permanentes,
  - les formations de leurs personnels et le processus de maintien des compétences.
- II. Au 31 décembre 2012, ce dispositif est projetable pour intervenir sur un réacteur du site. Il aura une capacité d'intervention simultanée sur l'ensemble des réacteurs du site fin 2014.
- III. Avant le 30 juin 2012, l'exploitant présentera également les dispositions permettant d'adapter le dispositif à des interventions simultanées sur plusieurs de ses sites nucléaires.

#### **Rappel de la prescription [AG-B-II] de la décision n° 2021-DC-0706 du 23 février 2021**

L'exploitant :

1. définit, au plus tard le 31 décembre 2022, les moyens permettant d'injecter à court terme dans le bâtiment du réacteur un volume d'eau borée complémentaire à celui contenu dans la bache du système de traitement et de refroidissement de l'eau des piscines (PTR) afin d'assurer l'évacuation de la puissance résiduelle de l'enceinte de confinement lors d'un accident avec fusion du combustible. Dans le même délai, il justifie la faisabilité de l'injection de ce volume d'eau borée complémentaire, compte tenu des exigences associées aux moyens retenus et aux capacités d'eau borée disponibles ;
2. met en œuvre les éventuelles modifications nécessaires.