

Fontenay-aux-Roses, le 22 janvier 2021

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2021-00010

---

**Objet :** EPR de Flamanville : spécifications chimiques.

---

**Réf. :** [1] Lettre ASN - CODEP-DCN-2020-028280 du 8 juin 2020.  
[2] Lettre ASN - CODEP-DCN-2018-002008 du 6 juillet 2018.  
[3] Note AIEA - Safety Standards n° SSG-13 du 1 janvier 2011.

---

L'exploitation d'un réacteur nucléaire nécessite la surveillance de certains paramètres chimiques au regard des enjeux de sûreté, de radioprotection, de protection de l'environnement et de durée de vie de l'installation. À cette fin, Électricité de France (EDF) définit des spécifications chimiques présentant, pour chaque système élémentaire et pour chaque domaine d'exploitation, les paramètres chimiques à surveiller. Pour ces paramètres, les spécifications chimiques précisent notamment la valeur attendue ou limite, la périodicité d'analyse et la conduite à tenir en cas de dépassement d'une valeur attendue ou limite.

Les enjeux de sûreté portés par les spécifications chimiques d'exploitation des réacteurs sont les suivants :

- maîtriser la réactivité, par l'apport de bore ;
- refroidir le combustible, en limitant le risque de dépôts notamment sur les gaines des crayons de combustible et en limitant leur oxydation ;
- assurer l'intégrité<sup>1</sup> des différentes barrières de confinement<sup>2</sup>, en limitant principalement le risque de corrosion des différentes barrières (la première barrière constituée par les gaines du combustible, la deuxième barrière constituée de l'enveloppe du circuit primaire principal et les circuits participant à la troisième barrière) et en traitant le risque d'explosion lié à l'hydrogène.

Les paramètres chimiques les plus importants, notamment ceux liés à la sûreté, relèvent des règles générales d'exploitation (RGE) du réacteur.

---

<sup>1</sup> L'intégrité d'une barrière (Guide n° 22 de l'ASN) est définie comme étant l'absence d'altération irréversible d'une barrière remettant en cause l'efficacité prévue dans la démonstration de sûreté nucléaire.

<sup>2</sup> Barrière de confinement : dispositif capable d'empêcher ou de limiter la dispersion des matières radioactives (Journal officiel du 18 juin 2004).

Pour le réacteur EPR de Flamanville (EPR FA3), EDF a proposé des évolutions significatives des spécifications chimiques par rapport à celles des réacteurs du parc en exploitation. Par lettre en référence [1], l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) souhaite recueillir l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) quant à l'acceptabilité des spécifications chimiques du réacteur EPR de Flamanville, en particulier sur les points suivants :

- les avantages et les inconvénients liés à l'utilisation du bore 10 ;
- la prise en compte du risque explosion lié à l'hydrogène ;
- la pertinence d'imposer un requis au titre du chapitre III des RGE pour le paramètre « oxygène » de l'eau provenant du système d'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG) ;
- l'examen du retour d'expérience d'exploitation (REX) de l'incident survenu sur le réacteur n° 2 de Paluel, en novembre 2019, concernant des dépôts de CRUD<sup>3</sup> sur des assemblages de combustible, au regard des exigences des spécifications chimiques de l'EPR FA3 ;
- les modalités de prise en compte des incertitudes lors de la comparaison d'un résultat de mesure à la valeur limite pour l'ensemble des paramètres relevant des RGE, l'exigence de contrôle périodique des matériels et équipements utilisés pour le prélèvement et l'analyse, la cohérence entre les spécifications chimiques et radiochimiques<sup>4</sup> figurant dans les RGE avec les prescriptions portées par les notices d'instructions des équipements et ensembles concernés, conformément à la lettre en référence [2].

Une synthèse de l'expertise de l'IRSN et les principales conclusions associées sont présentées ci-après.

## 1. CIRCUIT SECONDAIRE ET AUXILIAIRES

Le circuit secondaire est un circuit fermé dans lequel la vapeur produite par les générateurs de vapeur (GV) est détendue dans la turbine puis condensée et réinjectée dans les GV sous forme d'eau liquide. Les équipements sous pression du circuit secondaire sont réalisés majoritairement en acier au carbone. Ce circuit est conditionné en milieu basique et réducteur pour minimiser le risque de corrosion et assurer son intégrité. À l'issue de son expertise, l'IRSN retient les éléments suivants concernant les spécifications chimiques des systèmes ASG et CEX. Les spécifications chimiques des autres systèmes n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.

### 1.1. SYSTEME ASG D'ALIMENTATION DE SECOURS DES GENERATEURS DE VAPEUR

Le système ASG assure l'alimentation de secours en eau des GV en situation incidentelle et accidentelle, permettant ainsi le maintien du refroidissement du cœur. Il est aussi utilisé en fonctionnement normal pour le remplissage des GV après chaque arrêt du réacteur. Lors de ce remplissage, la qualité de l'eau injectée dans les GV doit être suffisante pour assurer la maîtrise du risque de corrosion des aciers au carbone du circuit secondaire et des GV. Notamment, le taux d'oxygène dissous dans l'eau doit être suffisamment faible.

EDF s'est engagé à vérifier que la qualité de l'eau injectée dans les GV, avant leur remplissage par le système ASG, respectera un critère de teneur en oxygène permettant de limiter les risques de corrosion. À cette fin, EDF a précisé, dans les spécifications chimiques, le suivi du paramètre « oxygène » de l'eau des bâches ASG, ce qui est satisfaisant. En outre, l'IRSN note que, pour les réacteurs du parc en exploitation, ce suivi est prescrit au titre du chapitre III des RGE (spécifications techniques d'exploitation ou STE<sup>5</sup>), ce qui n'est pas le cas pour l'EPR FA3.

<sup>3</sup> CRUD : acronyme pour Chalk River Unidentified Deposit.

<sup>4</sup> La surveillance des paramètres radiochimiques vise à détecter d'éventuelles inétanchéités de gaines du combustible et à maîtriser le niveau de radioactivité dans les circuits, notamment le circuit primaire, pour satisfaire à des exigences de sûreté, de radioprotection, et de protection de l'environnement.

<sup>5</sup> Les STE définissent les règles qui doivent être observées pendant l'exploitation normale de la tranche afin de garantir notamment le fonctionnement correct des systèmes importants pour la sûreté.

Or, EDF indique, conformément à l'état des connaissances, que la teneur en oxygène dissous dans l'eau est le paramètre prépondérant pour se prémunir du risque de corrosion. À ce titre, l'IRSN considère que ce paramètre porte un enjeu de sûreté et doit donc relever du chapitre III des RGE. **Cela conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 1 en annexe 1.**

## 1.2. SYSTEME CEX D'EXTRACTION DU CONDENSEUR

Le système CEX permet l'extraction du fluide secondaire après condensation de la vapeur pour réalimenter le circuit secondaire. Pour les réacteurs du parc en exploitation, le paramètre « oxygène » du système CEX relève des STE mais cela n'est pas le cas pour l'EPR FA3. En effet, EDF considère que le suivi de l'oxygène en amont des GV est suffisant. L'IRSN considère ce suivi nécessaire, mais estime que le suivi du paramètre « oxygène » sur le système CEX permet d'anticiper la détection d'éventuelles entrées d'oxygène et ainsi de limiter l'arrivée de produits de corrosion au niveau des GV. Aussi, l'IRSN considère qu'aucune évolution dans la conception du système CEX de l'EPR FA3 ne justifie la modification du suivi du paramètre « oxygène » par rapport aux réacteurs du parc en exploitation. **Cela conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 2 en annexe 1.**

## 2. CIRCUIT PRIMAIRE PRINCIPAL ET AUXILIAIRES

Le circuit primaire principal constitue la deuxième barrière de confinement. À ce titre, les spécifications chimiques doivent permettre de garantir son intégrité, ainsi que celle des systèmes connectés directement ou indirectement, en limitant leur pollution et en la détectant au plus tôt. Pour le circuit primaire principal de l'EPR FA3, l'IRSN souligne que le paramètre « oxygène » relève désormais du chapitre III des RGE. L'ajout de ce paramètre par rapport aux réacteurs du parc en exploitation, constitue une amélioration.

### 2.1. SYSTEMES PTR-K, RBS, IRWST, RIS ET REA

Les systèmes PTR-K<sup>6</sup>, RBS<sup>7</sup>, IRWST<sup>8</sup>, RIS<sup>9</sup> et REA<sup>10</sup>, connectés au circuit primaire principal, sont réalisés majoritairement en acier inoxydable austénitique, matériau sensible à la corrosion localisée en particulier par les ions chlorures et fluorures. Pour l'EPR FA3, le suivi de ces paramètres chimiques ne relèvent pas des STE car EDF considère que le respect du critère de température inférieure à 120°C pour ces systèmes est suffisant pour prévenir tout risque de corrosion. Compte tenu de nombreux cas de corrosion par des polluants survenus à basse température, l'IRSN estime que le respect de ce critère n'est pas suffisant. De plus, il considère que toute pollution susceptible de pénétrer dans ces systèmes doit être détectée au plus tôt, en amont du circuit primaire, conformément aux recommandations de l'AIEA [3]. Enfin, la présence de sulfates peut conduire à une corrosion localisée des aciers inoxydables austénitiques. Bien qu'EDF prévoie leur suivi dans les spécifications chimiques, l'IRSN considère que les trois paramètres « chlorures », « fluorures » et « sulfates » portent un enjeu de sûreté afin de garantir l'intégrité de ces systèmes au regard du risque de corrosion sur le long terme et doivent donc relever du chapitre III des RGE dans tous les domaines d'exploitation du réacteur. **Cela conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 3 en annexe 1.**

<sup>6</sup> PTR-K : sous partie du système PTR qui traite de la piscine de désactivation.

<sup>7</sup> RBS : système de borication de sécurité.

<sup>8</sup> IRWST (In containment refueling water system tank) : réservoir du système RIS, localisé en partie inférieure du bâtiment du réacteur.

<sup>9</sup> RIS : système d'injection de sécurité.

<sup>10</sup> REA : système d'appoint en eau et en bore.

## 2.2. UTILISATION DU BORE 10

Pour l'EPR FA3, EDF a retenu l'utilisation de l'acide borique enrichi en bore 10 (ABE) pour réduire la concentration en bore total par rapport au « bore naturel », avec un même effet neutrophage<sup>11</sup>. Ainsi, la concentration en bore est significativement réduite par rapport aux réacteurs du parc en exploitation. Ce choix de conception nécessite également de maîtriser l'isotopie en bore des différents réservoirs (cartographie régulière de l'isotopie) pour respecter les impératifs de sûreté et d'élaborer une méthode de compensation de la déplétion du bore<sup>12</sup>. L'utilisation d'ABE est favorable au regard de la radioprotection car elle permet d'atteindre le pH cible en début de cycle et ainsi limiter la corrosion des circuits et les dépôts de produits de corrosion. **Compte tenu de cette évolution, EDF s'est engagé à apporter des éléments du retour d'expérience d'exploitation relatif à l'utilisation d'acide borique enrichi en bore 10 pour les premiers réacteurs EPR et les conclusions qu'il en tire.**

Pour ce qui concerne spécifiquement le système REA, au titre de la surveillance de la réactivité, le besoin d'analyses supplémentaires des spécifications en bore pour ce système est en cours d'expertise par l'IRSN dans le cadre de l'examen du chapitre III des RGE de l'EPR FA3.

## 2.3. PRISE EN COMPTE DU RISQUE EXPLOSION LIE A L'HYDROGENE

Le système de traitement des effluents gazeux (TEG) de l'EPR FA3 diffère de celui des réacteurs du parc en exploitation, en étant désormais constitué d'une boucle de rétention et de traitement des produits radioactifs. Cependant, dans certaines portions de cette boucle, de l'oxygène et de l'hydrogène peuvent être présents en même temps, induisant un risque d'explosion. Pour éliminer ce risque, des mesures en continu des teneurs en oxygène et en hydrogène sont réalisées pour certains composants du système. EDF estime que les dispositions prises telles que le contrôle de l'oxygène en amont des composants ne disposant pas de point de mesure, permettent de couvrir l'ensemble des zones susceptibles d'être le siège d'un mélange explosif. **Ce point n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

## 2.4. DEPOTS DE CRUD SUR DES ASSEMBLAGES DE COMBUSTIBLE

Le pH du milieu primaire est un paramètre essentiel, car il participe au maintien de l'intégrité de la première barrière de confinement. En effet, un pH trop faible peut occasionner la formation de dépôts, appelés CRUD, sur les gaines du combustible. Ces dépôts peuvent induire un échauffement local de la gaine susceptible d'accélérer la corrosion de cette dernière jusqu'à son percement. Le percement de gaines du combustible survenu sur le réacteur n° 2 de Paluel est attribué à la présence de tels dépôts dont l'origine est un bas pH en début de cycle et une corrosion plus importante que prévue des GV neufs ayant conduit à la formation de dépôts dans le circuit primaire.

Pour l'EPR FA3, certaines dispositions proposées par EDF devraient permettre d'éviter de tels dépôts. **Cependant, le retour d'expérience relatif à la formation de ces dépôts sur les réacteurs du parc en exploitation est en cours d'analyse par l'IRSN.**

---

<sup>11</sup> Neutrophage : qui capture les neutrons.

<sup>12</sup> La déplétion du bore correspond à la diminution au fil du temps de la teneur en isotope 10 du bore par capture de neutron.

### 3. RADIOPROTECTION

Un des objectifs de conception du réacteur EPR FA3 est la réduction de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, c'est-à-dire du terme source lié à l'activité des produits radioactifs. Pour ce faire, EDF prévoit une meilleure maîtrise des paramètres « hydrogène », « zinc » et « lithium » en lien avec le paramètre « bore ».

La maîtrise de la concentration en hydrogène permet d'éviter la formation de produits de corrosion. Ce paramètre relève des STE, ce qui est acceptable eu égard à l'enjeu de radioprotection.

Afin de limiter la corrosion des matériaux du circuit primaire, le couple bore-lithium permet le contrôle du pH. Sur l'EPR FA3, l'utilisation du bore 10 permet de réduire la concentration en lithium et donc d'atteindre et de maintenir la valeur cible du pH dès le début d'un nouveau cycle de fonctionnement. **Ainsi, le paramètre « lithium » relève des STE pour le circuit primaire lorsque le réacteur est en puissance, ce qui est satisfaisant.**

Dans les spécifications chimiques de l'EPR FA3, l'injection de zinc pourrait être réalisée par intermittence, lorsque le réacteur est en puissance, pour limiter la déposition des produits radioactifs dans le milieu primaire. Or, pour l'IRSN, l'injection de zinc participe activement à la réduction du terme source dès lors qu'elle est réalisée en continu. En outre, le paramètre « zinc » ne relève pas du chapitre IV des RGE<sup>13</sup> pour le réacteur EPR FA3, ce qui n'est pas satisfaisant eu égard à l'enjeu de radioprotection. **Cela conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 4 en annexe 1.**

### 4. PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES, EXIGENCES DE CONTROLE PERIODIQUE, COHERENCE ENTRE LES SPECIFICATIONS CHIMIQUES ET RADIOCHIMIQUES

Pour les modalités de prise en compte des incertitudes de mesure pour l'ensemble des paramètres relevant des RGE et l'exigence de contrôle périodique des équipements utilisés pour le prélèvement et l'analyse, EDF s'appuie sur son référentiel et sur un REX de plus de 30 années d'exploitation. De même, pour la cohérence entre les spécifications chimiques et radiochimiques avec les prescriptions portées par les notices d'instructions, EDF s'appuie sur un REX important et sur ses processus internes pour garantir que toute évolution sera analysée. **Pour ce qui concerne les spécifications chimiques et radiochimiques, l'IRSN considère que les réponses d'EDF aux demandes de l'ASN [2] relatives à ces points sont acceptables.**

S'agissant plus particulièrement des incertitudes de mesure des paramètres radiochimiques, l'IRSN estime que l'impact de ces incertitudes est limité dès lors qu'il s'agit de mesurer des augmentations significatives d'activité pour détecter la présence de crayons de combustible non-étanches et que les valeurs limites des différents paramètres radiochimiques sont fixées à des niveaux suffisamment bas pour détecter rapidement une augmentation anormale de l'activité dans le circuit primaire. Ainsi, l'approche consistant à intégrer une incertitude dans la définition des valeurs limites est acceptable pourvu que les valeurs limites soient suffisamment basses et qu'elles soient confortées par le retour d'expérience. Ceci nécessite la connaissance des ordres de grandeur de ces incertitudes pour conforter les valeurs limites retenues de manière empirique par EDF. **Cela conduit l'IRSN à formuler l'observation en annexe 2.**

---

<sup>13</sup> Le chapitre IV des RGE traite de la radioprotection.

## 5. CONCLUSION

Les spécifications chimiques de l'EPR de Flamanville présentent des évolutions significatives par rapport à celles des réacteurs du parc en exploitation. Certaines évolutions, comme la surveillance au titre des règles générales d'exploitation de la teneur en oxygène dans le fluide primaire, constituent des améliorations par rapport à celles en vigueur sur le parc en exploitation. Toutefois, l'IRSN a identifié que certains paramètres chimiques, pour la prévention du risque de corrosion des équipements et pour la radioprotection, ne relèvent pas des chapitres III ou IV des règles générales d'exploitation.

À l'issue de son expertise, l'IRSN estime que les spécifications chimiques retenues pour le réacteur EPR de Flamanville, complétées par la prise en compte des recommandations en annexe 1, sont acceptables au regard des enjeux de sûreté, de radioprotection, de protection de l'environnement et de durée de vie de l'installation.

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Thierry PAYEN

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

## **ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2021-00010 DU 22 JANVIER 2021**

### **Recommandations de l'IRSN**

#### **Recommandation n°1**

L'IRSN recommande que, au regard de l'enjeu de sûreté lié au risque de corrosion du circuit secondaire et des générateurs de vapeur, EDF intègre dans le chapitre III des RGE de l'EPR de Flamanville, le paramètre « oxygène » pour le système ASG dans toutes les situations de fonctionnement normal du réacteur pendant lesquelles de l'eau provenant de ce système peut être injectée dans les générateurs de vapeur.

#### **Recommandation n°2**

L'IRSN recommande que, au regard de l'enjeu de sûreté lié au risque de corrosion du circuit secondaire, EDF intègre dans le chapitre III des RGE de l'EPR de Flamanville, le paramètre « oxygène » pour le système CEX, comme pour les réacteurs du parc en exploitation (anticipation de la mesure de la qualité de l'eau d'alimentation du circuit secondaire).

#### **Recommandation n°3**

L'IRSN recommande qu'EDF intègre dans le chapitre III des RGE de l'EPR de Flamanville, les paramètres « chlorures », « fluorures » et « sulfates » pour les systèmes auxiliaires connectés directement ou indirectement au circuit primaire principal (PTR-K, RBS, IRWST et RIS, REA) dans tous les domaines d'exploitation du réacteur, au regard de l'enjeu de sûreté lié au risque de corrosion de ces systèmes et du circuit primaire principal.

#### **Recommandation n°4**

L'IRSN recommande que, au regard de l'enjeu de radioprotection, EDF intègre dans le chapitre IV des RGE de l'EPR de Flamanville, le paramètre « zinc » pour le circuit primaire principal.

## **ANNEXE 2 A L'AVIS IRSN N° 2021-00010 DU 22 JANVIER 2021**

### **Observation de l'IRSN**

L'IRSN estime qu'EDF devrait consolider les ordres de grandeur des incertitudes de mesure des paramètres radiochimiques, afin de conforter les valeurs limites définies dans les spécifications radiochimiques, à partir du retour d'expérience du suivi des paramètres radiochimiques des réacteurs du parc en exploitation.