



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 15 décembre 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00232

Objet : Définition des situations et charges des équipements sous pression nucléaires des circuits primaire et secondaires principaux des réacteurs EPR2.

Réf. : [1] Lettre ASN – CODEP-DCN-2021-012726 du 2 juillet 2021.
[2] Guide de l'ASN n°22 du 18 juillet 2017.
[3] Lettre ASN – CODEP-DEP-2022-011764 du 5 avril 2022.

1. CONTEXTE

L'arrêté du 30 décembre 2015 modifié relatif aux équipements sous pression nucléaires (ESPN) stipule dans son article 8 que :

« L'exploitant qui commande à un fabricant un équipement sous pression nucléaire ou un ensemble nucléaire lui fournit les exigences qui lui sont applicables telles qu'issues de la démonstration de sûreté, la description des situations¹ dans lesquelles il peut se trouver définies en cohérence avec le rapport de sûreté, l'ensemble des charges² constitutives de chaque situation, ainsi que toutes les données utiles liées à son environnement, à son exploitation prévue et au caractère radioactif et aux caractéristiques chimiques du fluide qu'il contiendra ».

Ainsi, l'exploitant doit définir, en cohérence avec la démonstration de sûreté, les situations dans lesquelles peut se trouver l'équipement ESPN et les charges constitutives de ces situations, et les fournir au fabricant.

En ce qui concerne le réacteur EPR de Flamanville (EPR FA3), l'expertise relative aux situations et charges auxquelles sont soumis les ESPN du circuit primaire principal (CPP) et des circuits secondaires principaux (CSP) a mis en évidence que la méthode d'élaboration de la liste et de caractérisation des situations n'était pas décrite explicitement, ce qui conduit à un manque de justification de la cohérence des situations et charges avec la démonstration de sûreté, et de leur caractère enveloppe au regard de la résistance de la deuxième barrière de confinement.

Pour pallier ces réserves, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a formulé des demandes [1] à la suite de l'instruction du dossier d'options de sûreté du réacteur EPR nouveau modèle (EPR NM), la configuration du

¹ Une situation est un état de fonctionnement des équipements, qui est décrit par des conditions thermohydrauliques (évolution temporelle des conditions de pression, température et débit) de l'équipement, de l'ensemble ou de l'installation.

² Les charges sont des actions diverses appliquées à l'équipement et qui génèrent des contraintes ou des déformations. Ces charges sont d'origines diverses (thermohydraulique interne, conditions ambiantes externes, agressions...).

MEMBRE DE
ETSON

réacteur EPR NM ayant évolué depuis vers une nouvelle version de réacteur de type EPR2. En réponse, EDF a transmis des documents décrivant les méthodologies et les dispositions mises en œuvre sur le projet EPR2 pour déterminer les sollicitations subies par les ESPN des circuits primaire et secondaires principaux, et justifier que l'ensemble des conditions de fonctionnement de référence DBC³ et avec défaillances multiples DEC-A⁴ du rapport préliminaire de sûreté (RPrS) est bien considéré dans la liste des situations.

Pour le projet EPR2, EDF retient une démarche d'exclusion de rupture pour les gros composants du CPP, les tuyauteries primaires principales et les tuyauteries de vapeur des CSP. Les gros composants sont dits « non ruptibles » (CNR) et les tuyauteries sont dites « en exclusion de rupture » (EDR). Le guide de l'ASN n°22 [2] recommande que la démarche d'exclusion de rupture appliquée à ces équipements repose sur « *des dispositions particulièrement exigeantes en matière de conception, de fabrication et de suivi en service visant à prévenir la rupture* ». Ces dispositions concernent notamment la détermination des sollicitations auxquelles ils sont soumis, y compris en cas de survenue d'une agression, c'est-à-dire la définition des situations et charges.

Dans ce cadre, l'ASN sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), par la lettre citée en référence [3], sur la définition des situations et charges des ESPN du CPP et des CSP des réacteurs EPR2, en particulier la méthode d'identification, les principes de caractérisation et les règles d'étude associées ainsi que sur le caractère particulièrement exigeant de la démarche retenue par EDF pour les composants CNR et les tuyauteries en EDR.

2. SITUATIONS ET CHARGES DES ESPN DU CPP ET DES CSP

2.1. ÉLABORATION DE LA LISTE DES SITUATIONS DE FONCTIONNEMENT

Les situations de fonctionnement du CPP et des CSP sont des données d'entrée nécessaires à la justification mécanique des ESPN. L'ensemble de ces situations est détaillé et caractérisé dans le dossier des situations (DDS). Elles sont classées en catégories de 2 à 4, telles qu'indiquées dans l'arrêté d'exploitation du 10 novembre 1999.

Dans son dossier, EDF a défini la liste des situations de fonctionnement des réacteurs EPR2 sur la base, d'une part des situations de l'EPR FA3 en prenant en compte les spécificités de l'EPR2 notamment en termes de conditions de fonctionnement DBC et DEC-A, d'autre part du retour d'expérience (REX) en exploitation des réacteurs de 1300 MWe et de 1450 MWe du parc.

En complément de la démarche d'élaboration de la liste des situations de fonctionnement du CPP et des CSP, des scénarios additionnels, susceptibles de conduire à des situations pénalisantes au regard du risque de rupture brutale de la zone de cœur de la cuve, seront recherchés. De plus, afin de renforcer le caractère représentatif de cette démarche additionnelle, EDF a pris l'engagement (cf. engagement n°1 présenté en annexe 2) de l'étendre également aux fonds primaires des générateurs de vapeur (GV). En outre, EDF a rappelé que la mise en œuvre de cette démarche sur le parc en exploitation n'a pas conduit à identifier de nouveaux transitoires pénalisants, du point de vue des conséquences mécaniques, par rapport à ceux déjà pris en compte dans le DDS.

L'IRSN estime que l'identification des situations est encadrée par une méthode décrite explicitement, suffisamment précise et couvrant toutes les catégories de situations et les différents modes d'endommagement des ESPN du CPP et des CSP. De plus, l'IRSN souligne positivement la prise en compte des conditions de fonctionnement DBC et DEC-A pertinentes dans la liste des situations de fonctionnement du projet

³ Conditions de fonctionnement DBC (design basis conditions) : conditions incidentelles et accidentelles du domaine de conception de référence qui sont classées en trois catégories selon leur fréquence d'occurrence.

⁴ Conditions de fonctionnement DEC-A (design extension conditions-A) : conditions du domaine de conception étendu pour lesquelles la fusion de combustible est prévenue.

EPR2, ce qui constitue une évolution notable par rapport à la pratique retenue sur les réacteurs français en fonctionnement.

Concernant l'identification des situations accidentelles avec prise en compte de défaillances multiples, l'IRSN estime qu'au regard des moyens à engager pour définir une démarche spécifique DEC-A dédiée à la justification de la tenue mécanique des ESPN du CPP et des CSP, la recherche de scénarios additionnels telle que prévue par EDF, complétée par l'engagement n°1 présenté en annexe 2, est suffisante.

2.2. COUVERTURE DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DBC ET DEC-A DU RAPPORT PRÉLIMINAIRE DE SÛRETÉ EPR2 PAR LE DOSSIER DES SITUATIONS EPR2

Les objectifs et les critères associés aux études d'accident présentées dans le RPrS diffèrent de ceux associés aux études mécaniques établies sur la base des caractérisations des situations du DDS. Les études sont de ce fait pénalisées au regard de ces objectifs respectifs :

- l'étude des conditions de fonctionnement DBC2 à DBC4 et DEC-A permet de démontrer que les objectifs de sûreté portant sur les trois barrières de confinement sont satisfaits ;
- l'étude des situations de fonctionnement fournit les chargements thermohydrauliques à considérer pour l'analyse de la tenue mécanique des ESPN du CPP et des CSP.

Ainsi, pour justifier la couverture des conditions de fonctionnement DBC et DEC-A du RPrS par des situations du DDS, EDF s'est limité à comparer l'initiateur retenu dans l'étude thermohydraulique d'une condition de fonctionnement donnée aux situations du DDS. L'analyse de la couverture est réalisée par argumentaire selon les règles d'étude propres au DDS. Or, ces règles d'étude diffèrent sur plusieurs points de celles considérées dans les études des conditions de fonctionnement de référence DBC, en particulier en ce qui concerne la prise en compte des cumuls conventionnels⁵.

Pour l'IRSN, l'application de règles d'étude différentes est acceptable au regard des objectifs recherchés, notamment pour les analyses de fatigue. Néanmoins, dans les analyses de risque de rupture brutale, des caractérisations⁶ thermohydrauliques enveloppes doivent être retenues pour les situations de 2^e, 3^e et 4^e catégories du DDS (cf. §2.3.1 concernant les situations de catégorie 2).

Par ailleurs, l'IRSN estime que la démarche retenue par EDF pour démontrer la couverture des conditions de fonctionnement DBC et DEC-A par des situations du DDS au regard des conséquences mécaniques, fondée sur une comparaison des initiateurs et complétée par la recherche de scénarios additionnels qu'EDF s'est engagé à réaliser (cf. Engagement n° 1), est acceptable sur le principe et permet d'assurer une cohérence avec la démonstration de sûreté. **Ainsi, l'IRSN a la raisonnable assurance à ce stade d'avancement du projet EPR2 que les situations du DDS devraient effectivement couvrir les conditions de fonctionnement. Lorsque les caractérisations des situations seront disponibles, ce point pourra faire l'objet d'une expertise pour conforter cette conclusion.**

2.3. ÉLABORATION DES SITUATIONS ET CHARGES DES ESPN DU CPP ET DES CSP

Dans son dossier, EDF a décrit, d'une part les règles et les principes retenus pour établir les caractérisations des situations du DDS, d'autre part les charges qui doivent être précisées par l'exploitant dans les notes de « situations et charges » aux bornes de l'équipement et spécifiées au fabricant.

⁵ Un cumul conventionnel est un cumul considéré dans la démonstration de sûreté du fait qu'il est communément admis qu'il permet de garantir le caractère prudent de cette dernière sans qu'il soit nécessaire d'argumenter techniquement cet aspect. Un cumul conventionnel reflète parfois un choix technique argumenté à une date donnée et qu'il a été considéré pertinent de pérenniser. Le séisme ou le manque de tension externe sont les cumuls conventionnels communément considérés.

⁶ Evolution temporelle des pressions, températures et débits.

2.3.1. Conservatisme de la démarche de caractérisation des situations

L'objectif de la caractérisation est d'aboutir aux transitoires présentant les chargements thermohydrauliques enveloppes du CPP et des CSP considérés au regard des dommages mécaniques redoutés. Cela se traduit par un choix d'hypothèses pénalisant. Les principes de caractérisation sont différents pour les situations de 2^e catégorie (approche dite « réaliste pénalisée »⁷), et les situations de 3^e et 4^e catégories (approche visant à maximiser les contraintes par rapport aux dommages mécaniques).

L'IRSN a estimé que les éléments présentés par EDF dans son dossier ne permettent pas de s'assurer que l'ensemble des situations de 2^e catégorie pénalisantes au regard du risque de rupture brutale ait été identifié. En conséquence, pour les situations de 2^e catégorie, des caractérisations enveloppes devraient être définies dans le DDS par rapport à ce mode d'endommagement. EDF a pris un engagement sur ce point (cf. Engagement n° 2 présenté en annexe 2). **Bien que positif, l'IRSN estime qu'il n'est pas suffisant. En effet, le fait de valoriser des règles de conduite normale ne relevant pas des règles générales d'exploitation et des matériels non classés de sûreté pour caractériser les situations de 2^e catégorie, ne peut pas être considéré comme une disposition particulièrement exigeante pour la démonstration de l'intégrité des équipements en exclusion de rupture. Cela fait l'objet de la recommandation en annexe 1. Concernant les situations de 3^e et 4^e catégories, l'IRSN considère que les principes de caractérisation retenus par EDF sont satisfaisants.**

Par ailleurs, quand la caractérisation est fondée sur l'utilisation d'outils de calcul scientifique, l'IRSN estime nécessaire de prendre en compte les incertitudes des modèles physiques dominants. À cet égard, EDF a précisé que lorsque ces incertitudes exercent une influence significative sur les évaluations mécaniques, des pénalités sont systématiquement appliquées aux paramètres thermohydrauliques d'intérêt. **L'IRSN estime que le principe de cette démarche pour couvrir les incertitudes de ces outils de calcul est a priori acceptable, mais souligne qu'EDF devra apporter les éléments justifiant la suffisance de ces pénalités.**

Enfin, de manière conventionnelle, le délai d'action de l'opérateur retenu dans le DDS pour les situations de 2^e, 3^e et 4^e catégories est de 30 minutes pour une action réalisée depuis la salle de commande ou de 60 minutes si elle est réalisée en local. L'IRSN considère que la démonstration de la tenue mécanique d'un ESPN, dont la rupture n'est pas postulée dans la démonstration de sûreté, ne doit pas reposer sur le respect des hypothèses conventionnelles relatives aux actions de l'opérateur. **À l'issue de l'expertise, EDF s'est engagé (cf. Engagement n° 3 en annexe 2) à examiner les éventuelles situations pour lesquelles la prise en compte d'un délai adapté serait nécessaire, ce qui est satisfaisant.**

2.3.2. Prise en compte des agressions internes/externes

Dans les études mécaniques des ESPN du CPP et des CSP, EDF considère les chargements induits par les ruptures de tuyauteries à haute énergie, le séisme et la chute d'avion, mais ne prend pas en compte ceux induits par les explosions ou l'incendie d'origine interne.

Concernant les explosions internes, EDF écarte ce risque dans le bâtiment du réacteur et dans les bâtiments des auxiliaires de sauvegarde en s'appuyant sur des dispositions de prévention. Ce sujet fait l'objet d'une expertise en cours.

Concernant l'incendie d'origine interne, EDF indique que la conception de l'EPR2 s'appuie d'abord sur des dispositions de prévention et sur des moyens de limitation de la propagation de l'incendie. Ainsi, la caractérisation des chargements induits par un incendie sur le CPP et les CSP n'est pas prévue à ce stade du projet. EDF a également confirmé qu'un incendie ne doit pas entraîner la perte d'intégrité d'équipements en exclusion de rupture, et que le RPrS identifiait bien cette problématique. **L'IRSN estime acceptable la démarche d'EDF visant l'absence de dommage sur les ESPN du CPP et des CSP.**

⁷ à savoir proche fonctionnellement du REX, mais en considérant des provisions facilitant la comptabilisation sur site et des hypothèses enveloppes au regard de la justification des risques de fatigue et de rupture brutale.

Pour les autres agressions internes (inondation interne, missiles internes, collisions et chutes de charge), **l'IRSN n'a pas de remarque quant aux éléments apportés par EDF à ce stade d'avancement du projet EPR2.**

Enfin, l'IRSN n'a pas identifié de chargement sur les ESPN du CPP et des CSP engendré par des agressions externes autres que le séisme et la chute d'avion, déjà prises en compte par EDF. **Les études d'agression pour l'EPR2 étant à un stade préliminaire, l'IRSN considère que leurs conclusions devront être confortées lors de la réalisation des études détaillées.**

2.3.3. Charges

Les charges, données d'entrée des études mécaniques, sont des actions appliquées à l'équipement et qui génèrent des contraintes ou des déformations. Elles sont d'origines diverses telles que les charges thermohydrauliques induites par la présence de fluide dans les circuits, le chargement dû aux conditions ambiantes externes à l'équipement (température, pression...) et le chargement dû aux agressions.

Les charges appliquées aux ESPN du CPP et des CSP dans leur environnement, ainsi que les règles de combinaison de ces charges et de cumul avec les agressions, telles que définies par EDF, correspondent à la démarche historique. **Ceci n'appelle donc pas de remarque de l'IRSN.**

3. CONCLUSION

Au terme de son expertise, compte tenu des engagements pris par EDF cités en annexe 2 et sous réserve de la prise en compte de la recommandation formulée en annexe 1, l'IRSN considère que la méthode d'identification des situations du CPP et des CSP, les principes de caractérisation ainsi que les règles d'étude associées sont acceptables pour le projet EPR2 et devraient contribuer à la mise en œuvre d'une démarche de conception particulièrement exigeante pour des équipements en exclusion de rupture.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Thierry PAYEN

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2022-00232 DU 15 DÉCEMBRE 2022

Recommandation de l'IRSN

Dans le cadre de la définition de dispositions particulièrement exigeantes pour les équipements en exclusion de rupture, l'IRSN recommande qu'EDF renforce la démonstration visant à se prémunir du risque de rupture brutale pour les situations de 2^e catégorie en ne valorisant que :

- des équipements, matériels et régulations classés de sûreté ;
- et des actions des opérateurs requises au titre des règles générales d'exploitation.

ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2022-00232 DU 15 DÉCEMBRE 2022

Engagements d'EDF

Engagement n° 1

EDF reconduira, sur l'EPR2, la démarche « scénarios additionnels » mise en œuvre sur le parc sur la zone de cœur de la cuve. Afin d'en renforcer le caractère représentatif, la zone basse du GV sera également regardée. Cette zone est suffisamment éloignée de la zone de cœur pour fournir un éclairage complémentaire.

L'action proposée sera réalisée à l'échéance de fin 2025.

Engagement n° 2

En 2^e catégorie, le DDS du CPP de l'EPR2 comporte une situation incidentelle (signal d'injection de sécurité intempestif lors d'un arrêt normal de tranche au moment de l'arrêt du dernier GMPP⁸) construite de manière à donner une raisonnable assurance quant à la couverture du risque de rupture brutale en 2^e catégorie pour le CPP. Néanmoins, EDF réalisera une analyse pour vérifier que, pour l'ensemble des transitoires de 2^e catégorie des DDS du CPP et du GV, soit la pénalisation déjà effectuée est suffisante vis-à-vis de la rupture brutale, soit l'application d'une pénalisation dédiée à la rupture brutale (température finale minimale notamment) ne peut conduire à une sollicitation plus importante que celles actuellement considérées dans les transitoires de 2^e catégorie des DDS du CPP et du GV. Cette analyse sera réalisée en conservant les règles d'étude du DDS concernant les transitoires de 2^e catégorie, à savoir : pas d'application d'un aggravant forfaitaire ou d'un cumul MDTE⁹, et prise en compte de tous les systèmes disponibles, y compris les régulations. En effet, les pénalisations mises en œuvre vis-à-vis de la rupture brutale doivent conduire à un scénario dont la fréquence d'occurrence reste compatible avec la 2^e catégorie.

L'action proposée sera réalisée à l'échéance de fin 2025.

Engagement n° 3

EDF examinera, à échéance de la demande de mise en service, les éventuelles situations pour lesquelles l'étude d'un délai adapté serait nécessaire. Pour les actions dominantes pour lesquelles les délais de réalisation ne seraient manifestement pas du même ordre de grandeur que les délais conventionnels (et donc significativement supérieurs), un délai adapté serait alors utilisé. Cet examen portera sur les actions de conduite à réaliser en local et en salle de commande, jugées dominantes vis-à-vis du risque de rupture brutale.

⁸ GMPP : groupe motopompe primaire.

⁹ MDTE : manque de tension externe.