



Fontenay Aux Roses, le 28 mai 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2024-00076

Objet : Réacteurs électronucléaires d'EDF de 1300 MWe – RP4 1300 - Prise en compte du risque de surpression à froid dans les études probabilistes de sûreté de niveau 1 relatives aux événements internes.

Réf. : [1] Saisine ASN – CODEP-DCN-2023-029208 du 1^{er} juin 2023.
[2] Avis IRSN – 2024-00012 du 31 janvier 2024.
[3] Avis IRSN – 2013-00158 du 25 avril 2013.
[4] Courrier ASN – CODEP-DCN-2013-056415 du 2 décembre 2013.

Par la saisine en référence [1], l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a sollicité, dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs nucléaires de 1300 MWe (RP4 1300), l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les études probabilistes de sûreté (EPS) de niveau 1 (EPS1) réalisées par EDF, relatives aux événements internes pour la chaudière et la piscine d'entreposage des assemblages de combustible.

Les conclusions de l'expertise menée par l'IRSN sur la pertinence et les résultats de ces EPS, ainsi que sur les enseignements tirés de ces études pour le RP4 1300, ont été présentées dans l'avis en référence [2].

En complément de cet avis, la présente expertise de l'IRSN aborde la suffisance des dispositions en place pour prévenir une surpression à froid (SAF) du circuit primaire principal (CPP), ainsi que l'absence de modélisation par EDF des scénarios conduisant à une SAF dans les EPS à l'état RP4.

1. INTRODUCTION

Le risque de surpression à froid du CPP est un risque de pressurisation du circuit primaire au-delà de la pression autorisée par les règles générales d'exploitation lorsque la température de la cuve du réacteur est initialement ou devient, au cours du transitoire, inférieure à la température de transition ductile/fragile de la cuve (RT_{NDT}^1).

Dans cette situation, l'acier de la cuve n'a plus un comportement ductile et est donc sujet à la rupture fragile en cas de pressurisation excessive.

¹ RT_{NDT} : Reference Temperature for Nil Ductility Transition (Température de référence de ductilité nulle). Cette grandeur est un indicateur de la transition ductile/fragile.

Pour démontrer que le risque de rupture de la cuve est exclu, EDF vérifie que les critères de découplage suivants ne sont pas simultanément atteints :

- une température du métal de la cuve inférieure à sa RT_{NDT} de fin de vie (60 ans). EDF considère de manière enveloppe une température de 90 °C ;
- une pression dans le circuit primaire supérieure à 100 bar.

Ces critères sont applicables que le circuit de refroidissement à l'arrêt (RRA) soit connecté au non au CPP.

Aucune parade n'étant identifiée en cas de rupture fragile de la cuve du réacteur pour éviter la fusion du cœur, les séquences fonctionnelles susceptibles de conduire à ce type de situation doivent être « pratiquement éliminées », c'est-à-dire hautement improbables avec un haut degré de confiance.

2. TRAITEMENT DES RISQUES DE SURPRESSION À FROID SUR LE PALIER 1300 MWE

2.1. CIRCUIT RRA NON CONNECTÉ AU CPP

À l'issue du troisième réexamen périodique des réacteurs nucléaires de 1300 MWe (RP3 1300), l'IRSN a considéré que les principaux scénarios accidentels contribuant au risque de surpression à froid dans les états du réacteur dans lesquels le circuit RRA n'est pas initialement connecté au CPP avaient été correctement identifiés.

En revanche, l'IRSN a considéré [3] qu'EDF devait compléter sa démonstration de l'élimination pratique de certains scénarios (à savoir ceux induits par un démarrage intempestif de la fonction de borication automatique ou par une ouverture de la ligne de décharge du pressuriseur), ce qui a fait l'objet d'une demande de l'ASN [4]. Les scénarios visés étant associés par EDF au dossier de tenue en service des cuves², les compléments apportés par EDF seront examinés dans le cadre de la préparation de la réunion du groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires dédiée à la « tenue en service des cuves de 1300 MWe dans le cadre du RP4 1300 » prévue fin 2024.

2.2. CIRCUIT RRA CONNECTÉ AU CPP

Dans les états du réacteur où le circuit RRA est initialement connecté au CPP, ce dernier est protégé des surpressions par les soupapes de protection du circuit RRA³. Cependant, en cas de fuite sur ce circuit, les actions menées pour localiser et isoler la fuite peuvent conduire à l'isolement complet du circuit RRA, et donc à perdre simultanément le refroidissement du CPP et sa protection contre les surpressions. Les consignes de conduite demandent donc le lignage d'un exutoire, qui est situé sur la ligne de décharge du CPP, afin d'éviter que la dilatation thermique du fluide primaire qui résulte de l'échauffement de l'eau lié à la puissance résiduelle du cœur n'entraîne un risque de surpression à froid du CPP.

Dans le cadre du RP3 1300, EDF avait conclu que le risque de SAF était pratiquement éliminé. Cette conclusion n'était toutefois pas partagée par l'IRSN [3], ce qui a amené l'ASN à demander à EDF [4] « *de proposer des modifications visant à renforcer les dispositions de protection du CPP contre les situations de surpression à froid dans les états du réacteur où le RRA est connecté* ».

² Le dossier de « Tenue en service des cuves » traite les transitoires susceptibles de conduire à une sollicitation mécanique importante de la zone irradiée de la cuve, pour les situations de fonctionnement relevant de l'article 4 de l'arrêté d'exploitation. À ce titre, il couvre en particulier des transitoires de « chocs froids pressurisés », qui combinent un niveau de pression élevé et des variations thermiques brusques et/ou importantes, qui peuvent conduire à l'atteinte du domaine fragile en peau interne de la cuve. Pour ces transitoires, le dossier de « Tenue en service des cuves » a pour objet de vérifier l'absence de risque d'amorçage d'un défaut.

³ Sur les réacteurs du palier 1300 MWe, le circuit RRA est composé de deux files, bénéficiant chacune d'une soupape de protection contre une surpression à froid, à l'aspiration de la pompe.

En réponse à cette demande, EDF a présenté de nouvelles études pour justifier l'élimination pratique de ces situations et, en cohérence, l'absence d'intégration dans les EPS des séquences accidentelles menant à une SAF. L'analyse par l'IRSN de ces études est présentée ci-après.

3. ANALYSE DES RISQUES DE SAF LORSQUE LE CIRCUIT RRA EST CONNECTÉ AU CPP

3.1. STRATÉGIE DE CONDUITE EN CAS DE FUITE SUR LE CIRCUIT RRA

Les procédures de conduite accidentelle ont notamment pour objectif de limiter le risque d'occurrence d'une surpression à froid dans le cas où l'isolement complet du RRA est nécessaire.

Avant l'isolement de la fuite sur le circuit RRA, il est demandé à l'équipe de conduite de mettre en service l'injection de sécurité à basse pression (ISBP), transformant la dynamique de vidange en une dynamique de remplissage du CPP, puis de consulter le niveau d'eau dans le pressuriseur, dont dépend ensuite la stratégie de conduite. En effet, au-dessus d'un seuil de niveau bas du pressuriseur (libellé MIN2_{PZR} par la suite), le lignage de l'exutoire du CPP est possible, et ainsi demandé avant l'isolement du RRA : la conduite est alors dite « favorable ». *A contrario*, en dessous du seuil MIN2_{PZR}, ce lignage est impossible⁴ avant l'isolement du RRA et la conduite est alors dite « défavorable » : l'équipe de conduite procède alors à l'isolement du RRA (et donc de la brèche) avant le lignage de l'exutoire (compte tenu de la dynamique de remplissage du CPP par l'ISBP, le seuil MIN2_{PZR} est atteint très rapidement après l'isolement du RRA), mais ne dispose que d'une dizaine de minutes pour ligner l'exutoire avant que la dilatation du fluide primaire n'entraîne une surpression à froid.

Le déroulement effectif de la conduite dans le cas favorable ou défavorable dépend notamment de la taille et de la position de la brèche sur le circuit RRA, de l'état initial du réacteur et du rythme de parcours des procédures par les opérateurs de conduite. Ces facteurs influencent successivement la cinétique de vidange puis de remplissage du circuit primaire par l'ISBP et donc la réponse au test sur le niveau d'eau dans le pressuriseur par rapport au seuil MIN2_{PZR}, qui détermine la possibilité de ligner ou non l'exutoire avant l'isolement du circuit RRA.

3.2. ÉLIMINATION PRATIQUE DU RISQUE DE SURPRESSION À FROID

L'IRSN considère que ce sont les brèches d'une taille comprise entre 5/8^{ème} et 1,5 pouce, survenant alors que le circuit primaire est monophasique⁵, qui contribuent majoritairement au risque de SAF, du fait de leur fréquence d'occurrence et de la possibilité d'entrer dans une conduite défavorable.

Sur la base des études réalisées en réponse à la demande de l'ASN (cf. § 2.2), EDF considère que, pour ces tailles de brèche, l'exutoire de pression sera ligné par les opérateurs avant l'isolement du RRA (conduite favorable). EDF a ajouté que, dans le cas hypothétique d'une conduite défavorable, la probabilité d'échec de la mise en œuvre de l'exutoire dans les dix minutes suivant l'isolement du RRA serait très faible (de l'ordre de 5.10^{-3}). Ainsi, EDF considère que le risque de SAF est pratiquement éliminé.

⁴ En dessous du seuil de niveau MIN2_{PZR} dans le CPP, la restauration de l'inventaire en eau dans ce circuit devient une priorité, de sorte que tout lignage d'un exutoire devient impossible (un automatisme maintient l'ordre d'isolement de la ligne de décharge du CPP sur laquelle se trouve l'exutoire).

⁵ Le circuit primaire est dit à l'état « monophasique » en l'absence d'un ciel de vapeur dans le pressuriseur. Dans ces conditions, tout appoint de fluide sans exutoire contribue à une augmentation rapide de la pression dans le circuit. Il en est de même en cas d'échauffement et de dilatation du fluide primaire.

L'IRSN considère que le dossier présenté par EDF dans ces états de fonctionnement du réacteur et pour ce spectre de brèches ne permet pas de démontrer le caractère hautement improbable de la conduite défavorable. En particulier :

- le signal considéré par EDF pour la mise en œuvre des procédures de conduite n'est pas pertinent pour certains états de fonctionnement et favorise l'atteinte du niveau pressuriseur permettant d'orienter les opérateurs vers la conduite favorable ;
- la position de la brèche sur le circuit RRA retenue par EDF n'est pas pénalisante au regard de la cinétique de vidange du circuit primaire ;
- le nombre de pompes d'injection de sécurité à basse pression en fonctionnement postulé dans les études est supérieur au nombre minimum requis par les spécifications techniques d'exploitation dans ces états, ce qui favorise la cinétique de remplissage du circuit primaire et l'atteinte du seuil MIN2_{PZR} ;
- avant l'isolement du RRA, aucune variation du rythme de parcours des consignes de conduite n'est considérée, alors que cela influence également la cinétique de remplissage du circuit primaire et l'atteinte du seuil MIN2_{PZR}.

Par ailleurs, l'IRSN souligne que :

- la probabilité d'échec du lignage de l'exutoire en conduite défavorable, après isolement du circuit RRA, retenue par EDF (5.10^{-3}) apparaît très optimiste au regard du délai disponible (une dizaine de minutes) ;
- l'élimination pratique ne doit pas reposer sur des actions humaines à réaliser dans un délai très contraint.

Dans la mesure où, dans la conduite défavorable, le délai disponible pour l'ouverture de la ligne de décharge est très réduit après l'isolement du circuit RRA, l'élimination pratique du risque de SAF devrait reposer sur la démonstration de l'impossibilité d'entrer en conduite défavorable. Or pour l'IRSN, cette démonstration n'est pas possible, **ce qui doit conduire EDF à renforcer les dispositions de protection du CPP dans les états du réacteur où le RRA est connecté, conformément à la demande formulée par l'ASN dans le cadre du RP3 1300 [4].**

Quoi qu'il en soit, l'IRSN considère que le risque de surpression à froid doit être évalué dans les EPS1 RP4 1300 et formule à cet égard la recommandation présentée en annexe.

3.3. DISPOSITIONS MISES EN ŒUVRE SUR LES RÉACTEURS DES PALIERS 900 MWE ET N4 AINSI QUE SUR LE RÉACTEUR EPR

L'IRSN souligne par ailleurs que, pour l'ensemble des réacteurs autres que ceux du palier 1300 MWe, des dispositions matérielles permettent d'éviter que la prévention du risque de surpression ne repose que sur des actions des opérateurs de conduite. En effet :

- pour les réacteurs du palier N4, la ligne de décharge du circuit primaire s'ouvre automatiquement au-dessus du seuil MIN2_{PZR}, permettant le lignage de l'exutoire ;
- pour les réacteurs du palier 900 MWe, une modification mise en place lors du RP3 900 permet d'éliminer pratiquement tous les scénarios amenant à une surpression à froid dans les états du réacteur avec le circuit RRA connecté au circuit primaire (abaissement de la pression de tarage des soupapes du pressuriseur) ;
- pour le réacteur EPR, le risque de surpression à froid est pris en compte à la conception via la modification du point de consigne d'ouverture des soupapes du pressuriseur dans les états d'arrêt.

4. CONCLUSION

L'IRSN considère qu'EDF doit proposer des modifications visant à renforcer les dispositions de protection du circuit primaire des réacteurs de 1300 MWe contre les situations de surpression à froid dans les états du réacteur où le RRA est connecté et rappelle que ce sujet a déjà fait l'objet d'une demande de l'ASN dans le cadre du RP3 1300.

Pour mémoire, seul le palier 1300 MWe est concerné par ce sujet, des dispositions matérielles ayant été mises en œuvre sur les autres paliers pour la protection du circuit primaire contre les surpressions à froid dans les états RRA connecté.

Par ailleurs, l'IRSN considère que le risque de surpression à froid doit être évalué dans les EPS1 RP4 1300.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2024-00076 DU 28 MAI 2024

Recommandation de l'IRSN

L'IRSN recommande qu'EDF inclue la quantification du risque de de surpression à froid dans les EPS de niveau 1 RP4 1300.