



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay Aux Roses, le 26 novembre 2020

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2020-00189

Objet :	Examen des études probabilistes de sûreté des réacteurs du palier N4 en vue de leur deuxième réexamen de sûreté (VD2-N4) Études relatives au risque de suppression à froid.
Réf. :	Lettre CODEP-DCN-2020-003502 du 14 janvier 2020.

Dans le cadre du réexamen associé aux deuxièmes visites décennales (VD2) des réacteurs de 1450 MWe (palier N4), l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), par sa lettre en référence, demande l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur :

- l'acceptabilité des hypothèses retenues par EDF pour ses études concernant le thème de réexamen « Risques de suppression à froid du circuit primaire principal (CPP) » ;
- la représentativité des scénarios retenus vis-à-vis de l'ensemble des situations de suppression à froid envisageables ;
- l'acceptabilité des enseignements tirés par EDF de ses études.

1. PROBLEMATIQUE « SURPRESSION A FROID »

Le thème « Risques de suppression à froid du CPP » porte sur l'étude des risques de pressurisation importante du circuit primaire 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}).

Pour démontrer que le risque de rupture de la cuve est exclu en cas de pressurisation importante du circuit primaire, EDF vérifie que les critères de découplage suivants ne sont pas simultanément atteints :

- une température du métal de base de la cuve inférieure à sa RT_{NDT} de fin de vie (60 ans) avec prise en compte d'une marge de 10%. EDF considère de manière enveloppe une température de 90°C ;
- une pression primaire supérieure à 100 bar.

Les critères de découplage sont utilisés à la fois pour les états initiaux dans lesquels le circuit de refroidissement à l'arrêt (RRA) est connecté au circuit primaire (RRA connecté) et les états initiaux dans lesquels le RRA n'est pas connecté (RRA non connecté).

Ces critères, identiques à ceux retenus lors du précédent réexamen et des réexamens des réacteurs des autres paliers, n'appellent pas de remarques de la part de l'IRSN.

MEMBRE DE
ETSON

2. RISQUES DE SURPRESSION A FROID (RRA CONNECTE)

Dans les états pour lesquels le circuit RRA est initialement connecté, le circuit primaire principal est protégé des surpressions par les soupapes de protection du circuit RRA. Une surpression à froid peut alors survenir lors de trois types de situations :

1. lors d'un transitoire conduisant à une augmentation de la pression primaire suivi du refus d'ouverture des soupapes de protection du circuit RRA ;
2. en cas d'isolement inopportun du circuit RRA. Dans cette situation, la cuve n'est plus protégée contre les risques de surpression à froid ;
3. en cas de brèches sur le circuit RRA suivies de l'isolement du circuit RRA selon les procédures de conduite puis d'une défaillance de l'exutoire de pression (soupape située sur le circuit de décharge du RCV¹) dont le lignage est demandé lors de cet isolement pour limiter la pression dans le circuit primaire.

Le risque de suppression à froid est évalué par EDF à $1,7 \cdot 10^{-8}$ /a.r. dans ces états du réacteur. Au vu de l'évaluation présentée, EDF estime que le risque de surpression à froid est pratiquement éliminé et que l'objectif de sûreté retenu pour le réexamen VD2-N4 à cet égard est respecté.

L'IRSN estime satisfaisante l'analyse menée par EDF pour identifier l'ensemble des scénarios menant à une surpression à froid.

Situations de types 1 et 2

Les évaluations probabilistes réalisées par EDF du risque de surpression à froid pour ces deux types de situations n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN. Les hypothèses et les données de fiabilité, notamment la probabilité de refus d'ouverture des soupapes de protection du RRA, ainsi que les quantifications des erreurs humaines retenues par EDF sont globalement satisfaisantes.

Situations de type 3

En situation de brèches sur le circuit RRA, lors de la phase de « recherche de fuite », l'isolement du circuit RRA est demandé par les procédures de conduite (isolement séquentiel des deux files RRA ou isolement complet du circuit après lignage de l'exutoire de pression (soupape) en fonction de la cinétique de dégradation de l'inventaire en eau).

Une défaillance intrinsèque de cette soupape ou une erreur humaine dans la réalisation de cet isolement peut conduire à une surpression à froid.

L'IRSN souligne que le débit maximal de cette soupape sur le palier N4, inférieur à celui de la soupape équipant les réacteurs de 900 MWe pour une pression de tarage qui, à l'inverse, est supérieure, confère une capacité de protection réduite à la soupape de protection du palier N4 en comparaison à celle présente sur les réacteurs de 900 MWe. EDF a ainsi fourni, conformément à ses engagements pris lors du réexamen précédent du palier N4, des éléments justifiant la capacité de la soupape équipant les réacteurs du palier N4 à protéger le circuit primaire principal des surpressions à froid en cas d'isolement du circuit RRA. **Ces éléments n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Cependant, le dimensionnement de cette soupape ne permettant de protéger le circuit primaire que lorsque la charge du RCV est isolée, l'IRSN estime que, dans les procédures de conduite, une vérification par le superviseur de l'arrêt effectif de la charge du RCV par l'opérateur réacteur avant l'isolement du circuit RRA permettrait de renforcer la protection contre les surpressions à froid. **EDF a pris, sur ce point, l'engagement n° 1 rappelé dans l'annexe 1, que l'IRSN estime satisfaisant.**

¹ RCV : Système de contrôle volumétrique et chimique, comprenant notamment les lignes de charge et de décharge du circuit primaire.

Les évaluations probabilistes réalisées par EDF du risque de surpression à froid pour les scénarios initiés par une brèche sur le circuit RRA sont globalement satisfaisantes. **L'IRSN ayant toutefois identifié des incohérences dans certaines quantifications, EDF a corrigé celle présentant un impact significatif sur les résultats et, pour les autres, pris l'engagement de le faire lors des prochaines mises à jour de ses modèles probabilistes, ce que l'IRSN estime satisfaisant.**

Par ailleurs, un désaccord entre l'IRSN et EDF subsiste sur les conséquences associées à l'échec, pour certaines tailles de brèche sur le circuit RRA, d'une mission de conduite portant sur le lignage d'un exutoire de pression et à sa modélisation dans l'EPS. Dans son modèle EPS, compte tenu des lignes de défense mises en place dans la conduite informatisée des réacteurs du palier N4, EDF exclut le risque d'isolement du circuit RRA par l'équipe de conduite lorsque cette dernière considère, à tort, l'exutoire de pression correctement ligné. Le risque de surpression à froid induit n'est donc pas considéré. Pour l'IRSN, ce risque ne peut pas être exclu, notamment en cas de conduite depuis le panneau auxiliaire. Cette divergence, compte tenu de la fréquence des séquences associées, n'a toutefois que peu d'impact sur la fréquence globale de surpression à froid et ne modifie pas les enseignements de l'étude. Néanmoins, l'IRSN estime que, pour les utilisations futures de l'EPS, **EDF devrait réviser son modèle EPS. Sur ce point, l'IRSN formule l'observation n° 1 en annexe 2.**

L'IRSN relève enfin que, compte tenu des corrections apportées par EDF à ses quantifications, la fréquence du risque de suppression à froid dans les états du réacteur pour lesquels le circuit RRA est initialement connecté au circuit primaire est de l'ordre de $5 \cdot 10^{-8}$ /a.r. et non de $1,7 \cdot 10^{-8}$ /a.r. comme présentée par EDF dans son dossier initial.

L'IRSN partage toutefois la conclusion d'EDF estimant que le risque de surpression à froid dans les états du réacteur pour lesquels le circuit RRA est initialement connecté au circuit primaire est pratiquement éliminé et que l'objectif de sûreté retenu pour le réexamen VD2-N4 à cet égard est respecté.

3. RISQUES DE SURPRESSION (RRA NON CONNECTE)

Les situations susceptibles de conduire à une surpression à froid retenues par EDF dans les états RRA non connecté sont la mise en œuvre de la parade « gavé-ouvert »² avec fermeture retardée des soupapes du pressuriseur, ainsi que les ruptures de tuyauteries secondaires (en vapeur et en eau) ou des parties isolables du circuit primaire, lorsqu'une injection d'eau froide à haute pression est maintenue en service avec les quatre pompes primaires à l'arrêt. **Le risque de surpression à froid est ainsi évalué par EDF à $3,6 \cdot 10^{-8}$ /a.r.**

EDF considère que, compte tenu des fréquences obtenues, le risque de surpression à froid dans les états du réacteur pour lesquels le circuit RRA est non connecté au circuit primaire est pratiquement éliminé.

L'expertise de l'IRSN a porté sur l'exhaustivité des scénarios considérés, les automatismes d'arrêt des pompes primaires (GMPP) considérés par EDF dans son étude, l'évaluation des délais disponibles pour l'arrêt des appoints d'eau à haute pression, les quantifications des erreurs humaines et les résultats obtenus.

Exhaustivité des scénarios considérés

Certains scénarios ont été exclus par EDF estimant qu'ils ne conduisent pas à une surpression à froid mais à un « choc froid pressurisé ». Ces scénarios, qui présentent une fréquence de $2 \cdot 10^{-7}$ /a.r., correspondent principalement à des déclenchements intempestifs de la borication automatique ou de l'injection de sécurité

² Parade consistant, en cas de perte du refroidissement du circuit primaire par le circuit secondaire, à ouvrir les soupapes de sûreté du circuit primaire et à mettre en service le système d'injection de sécurité afin d'évacuer hors du circuit primaire la puissance résiduelle produite par les assemblages de combustible.

ainsi qu'à des sollicitations d'une soupape de protection du pressuriseur, suivis de la perte de la circulation forcée de l'eau dans le circuit primaire du fait de l'arrêt des pompes primaires.

En effet, EDF fait la différence entre les scénarios considérés comme des surpressions à froid, faisant l'objet du présent avis et ceux considérés comme des « chocs froids pressurisés », étudiés dans le dossier « Tenue en service des cuves ».

Le risque de surpression à froid couvre les situations pour lesquelles la cuve est susceptible de se trouver dans un état froid et de subir, de manière concomitante, une surpression. Les conditions d'amorçage et de propagation d'une fissure seraient réunies et le risque de rupture brutale de cuve avéré. L'élimination pratique de ces situations est recherchée et demandée par la réglementation des équipements sous pression.

Le risque associé aux scénarios de « chocs froids pressurisés », étudiés dans le dossier « Tenue en service des cuves » qui traite des transitoires susceptibles de conduire à une sollicitation mécanique importante de la zone irradiée de la cuve, est le risque d'amorçage d'une fissure, lié à l'atteinte du domaine fragile en peau interne de la cuve. Ces transitoires, qui bénéficient d'une part de l'effet de pré-chargement à chaud, et d'autre part de l'amélioration des propriétés mécaniques du métal dans l'épaisseur de la virole, ne sont pas aussi redoutés que les surpressions à froid. Leur élimination pratique n'est pas recherchée, le dossier « Tenue en service des cuves » ayant pour objet de vérifier l'absence de risque d'amorçage d'un défaut.

L'IRSN entend l'approche proposée par EDF pour traiter les problématiques de surpressions à froid et de « chocs froids pressurisés », et estime que les différences de traitement (évaluation probabiliste pour les surpressions à froid et étude mécanique pour les « chocs froids pressurisés ») sont justifiées. **Par contre, la caractérisation des scénarios est nécessaire afin de déterminer s'ils relèvent du dossier « Tenue en service des cuves » ou du dossier « Surpressions à froid ».**

L'IRSN estime ainsi globalement pertinents les scénarios de surpression à froid retenus par EDF. Néanmoins, il souligne qu'EDF n'a pas transmis les études lui permettant de démontrer la non-atteinte des critères de découplage des surpressions à froid pour certains scénarios traités dans le dossier « Tenue en service des cuves » et donc non retenus dans l'étude des surpressions à froid. EDF a pris, sur ce point, l'engagement n° 2 rappelé dans l'annexe 1, que l'IRSN estime satisfaisant.

L'IRSN relève également que l'évaluation probabiliste des scénarios de « chocs froids pressurisés » retient des données de fiabilité issues du réexamen précédent. Or, pour ce deuxième réexamen, les données de fiabilité ont été mises à jour, avec notamment une augmentation importante du taux de défaillance des soupapes de protection du pressuriseur, de nature à modifier sensiblement les fréquences des scénarios afférents. **L'IRSN formule à cet égard l'observation n° 2 en annexe 2.**

Automatismes d'arrêt des GMPP considérés par EDF dans son étude

Une condition nécessaire à l'atteinte des critères représentatifs d'une surpression à froid est l'arrêt des pompes primaires. Cet arrêt peut être consécutif soit à un automatisme, soit à une défaillance des pompes primaires ou de leur alimentation électrique, soit à une action des opérateurs, inopportune ou en application des procédures de conduite.

Pour l'évaluation des risques de surpression à froid, le seul automatisme d'arrêt des pompes primaires considéré par EDF est l'arrêt automatique sur l'atteinte du seuil haut de pression enceinte. Or l'arrêt automatique des pompes primaires sur un signal de haute pression enceinte avancée validé par une très basse pression pressuriseur, déployé sur les réacteurs du palier N4 lors de leur première visite décennale, devrait également être considéré dans l'étude des risques de surpression à froid.

En complément d'une étude de sensibilité apportée lors de l'expertise montrant un accroissement du risque d'environ $2 \cdot 10^{-7}/a.r.$, **EDF a pris l'engagement n° 3 rappelé en annexe 1, visant à prendre en compte cet**

automatisme d'arrêt des pompes primaires dans son évaluation des scénarios de surpression à froid, ce que l'IRSN estime satisfaisant.

Délai disponible pour l'arrêt des appoints d'eau à haute pression

EDF estime, sur la base des évaluations réalisées pour les réacteurs de 1300 MWe, le délai maximal dont dispose l'opérateur pour arrêter les systèmes d'appoint d'eau à haute pression au circuit primaire (la fonction de borication automatique (FBA) ou l'injection de sécurité (IS)) avant d'atteindre les critères de surpression à froid (appelé délai de grâce). Ce délai de grâce est par la suite utilisé pour quantifier la probabilité d'échec de l'action opérateur associée.

L'IRSN souligne, sur la base des calculs en sa possession, que la cinétique de refroidissement est bien plus rapide sur les réacteurs du palier N4 que sur les réacteurs de 1300 MWe, et il estime que le délai de grâce disponible pour les réacteurs du palier N4 pourrait être inférieur à celui retenu par EDF dans son étude. **EDF a pris, sur ce point, l'engagement n° 4 rappelé en annexe 1, que l'IRSN estime satisfaisant.**

Quantifications des erreurs humaines

L'IRSN souligne que l'élimination du risque de surpression à froid repose principalement sur le succès de missions de conduite, notamment l'arrêt des systèmes d'appoint d'eau à haute pression dans le circuit primaire.

Pour se positionner sur la pertinence des quantifications probabilistes proposées par EDF pour les missions de conduite, l'IRSN a été amené à réaliser ses propres évaluations. L'IRSN a notamment examiné les possibilités d'erreurs humaines depuis le panneau auxiliaire suite à la défaillance du système informatique de conduite, qui n'avaient pas été étudiées par EDF. Leur prise en compte ne remet pas en cause l'ordre de grandeur des probabilités d'échec des missions de conduite prépondérantes évaluées par EDF. L'IRSN considère cet ordre de grandeur acceptable dans la mesure où les différentes missions de conduite étudiées sont demandées plutôt rapidement dans la conduite laissant place à un délai de récupération vis-à-vis du délai de grâce. Néanmoins, l'IRSN souligne que cette quantification n'est pertinente que si le délai de grâce issu d'évaluations réalisées pour les réacteurs de 1300 MWe est justifié pour les réacteurs du palier N4. Un délai plus court conduirait non seulement à augmenter la probabilité des erreurs humaines envisagées par l'IRSN mais également celles considérées par EDF.

Résultats de l'évaluation probabiliste du risque de surpression à froid

L'évaluation probabiliste du risque de fusion du cœur dans les états pour lesquels le circuit RRA n'est pas connecté au circuit primaire est principalement portée par les fréquences des initiateurs, les données de fiabilité associées aux alimentations électriques externes ainsi que des probabilités d'erreurs humaines. Les fréquences des initiateurs et les données de fiabilité ont déjà été examinées par l'IRSN lors de la préparation de la réunion du groupe permanent pour les réacteurs nucléaires dédiée aux études probabilistes de sûreté des réacteurs du palier N4 du 1^{er} février 2018 et n'ont pas fait l'objet de remarques de l'IRSN. Les quantifications des erreurs humaines réalisées par EDF sont estimées globalement pertinentes par l'IRSN sous réserve de la justification du délai dont dispose l'opérateur pour arrêter les systèmes d'appoint d'eau à haute pression au circuit primaire avant d'atteindre les critères de surpression à froid, ce à quoi EDF s'est engagé. Enfin, les hypothèses retenues pour cette évaluation ont fait l'objet, dans la présente expertise, de remarques de l'IRSN pour lesquelles EDF s'est engagé à apporter des éléments de réponse ou des compléments d'étude.

4. CONCLUSION

La présente expertise a permis de conclure que le risque de surpression à froid, pour les états du réacteur pour lesquels le circuit RRA est initialement connecté au circuit primaire, est pratiquement éliminé, mettant néanmoins en évidence l'intérêt de renforcer, dans les procédures de conduite, la vérification de l'arrêt de la charge du RCV avant l'isolement du circuit RRA, ce à quoi EDF s'est engagé.

Elle a par contre mis en évidence des besoins de compléments de la part d'EDF, pour les états du réacteur pour lesquels le circuit RRA n'est pas initialement connecté au circuit primaire. Ces compléments portent sur la prise en compte de l'ensemble des automatismes d'arrêt des pompes primaires, la justification des délais dont disposent les opérateurs pour arrêter les appoints d'eau à haute pression, ainsi que la justification que certains scénarios du dossier de « Tenue en service des cuves » ne conduisent pas à une surpression à froid. EDF s'est engagé à apporter, d'ici fin 2023, l'ensemble de ces compléments, nécessaires à l'IRSN pour se prononcer sur la démonstration que le risque de surpression à froid dans les états RRA non connecté est pratiquement éliminé.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjointe au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2020-00189 DU 26 NOVEMBRE 2020

Engagements principaux de l'exploitant

Engagement n° 1

EDF s'engage à intégrer, dans la séquence du Test d'Intégrité du circuit Primaire (TIP) de la consigne accidentelle ECPR2, la vérification de l'arrêt effectif de la charge du RCV avant de réaliser l'isolement du RRA, d'ici la prescription du DA RGE VI VD2 N4 Lot B aux CNPE.

Engagement n° 2

EDF s'engage à réaliser, pour fin 2023, une caractérisation thermohydraulique des scénarios d'IS ou de FBA intempestive avec perte de la circulation forcée, de brèches primaires non-isolables et compensables par l'ISMP au-dessus de 100 bar et d'ouverture des soupapes SEBIM suivie de leur refermeture partielle par défaillance mécanique ou tardive par action des opérateurs. Cette caractérisation physique permettra de justifier leur cadre de traitement.

Engagement n° 3

EDF s'engage à mettre à jour, à l'échéance de fin 2023, la note de quantification des scénarios de surpression à froid, RRA non connecté, en prenant en compte l'arrêt automatique des pompes primaires sur un signal de haute pression enceinte avancée validé par une très basse pression pressuriseur, lorsque la possibilité de son déclenchement ne peut être écartée.

Engagement n° 4

EDF s'engage, d'ici fin 2023, à justifier le délai maximal dont dispose l'opérateur pour arrêter l'IS ou la FBA en cas de grosse RTV. Pour cela, EDF estimera le temps nécessaire à l'atteinte des critères de découplage (température métallique de 90°C sous une pression de 100 bar) sur la base d'un calcul CATHARE de RTV au référentiel VD2 N4, sans arrêt de l'IS et de la FBA par l'opérateur. De façon similaire aux calculs produits lors de l'instruction du dossier « Tenue des cuves VD4 900 », la température dans l'espace annulaire fournie par CATHARE sera comparée aux post-traitements NOS et CREARE adaptés aux RTV. En cas de remise en cause du délai de 53 minutes retenu initialement, EDF réévaluera la probabilité d'une surpression à froid induite par une rupture de tuyauterie secondaire.

ANNEXE 2 A L'AVIS IRSN N° 2020-00189 DU 26 NOVEMBRE 2020

Observations de l'IRSN

Observation n° 1

L'IRSN estime qu'EDF devrait considérer, dans son modèle probabiliste EPS1 « événements internes » VD2-N4, le risque de surpression à froid induit par une erreur de conduite des opérateurs qui, considérant à tort la soupape RCV 010 VP lignée, poursuivent la conduite et isolent le circuit RRA sans exutoire de pression ligné.

Observation n° 2

L'IRSN estime qu'EDF devrait mettre à jour sa note de quantification probabiliste des scénarios de choc froid en retenant les données de fiabilité utilisées dans le cadre du réexamen VD2-N4.