

Fontenay-aux-Roses, le 9 avril 2021

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2021-00053

Objet :	Réacteur EPR de Flamanville – Règles générales d'exploitation – Chapitre VI - Expertise des stratégies de conduite prévues en cas de perte de la fonction de refroidissement du réacteur à l'arrêt dans les états fermés du circuit primaire.
Réf. :	[1] Lettre ASN – CODEP-DCN-2020-007695 du 29 janvier 2020. [2] Avis IRSN - 2018-00199 du 17 juillet 2018. [3] Avis IRSN - 2020-00109 du 7 juillet 2020.

Dans le cadre de la demande d'autorisation de mise en service du réacteur EPR de Flamanville, Électricité de France (EDF) a transmis une révision du chapitre VI des règles générales d'exploitation.

Par lettre citée en référence [1], l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a sollicité l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le contenu de cette révision. En particulier, l'ASN souhaite que l'IRSN examine les trois volets suivants :

- les évolutions de conduite prévues par EDF à la suite de l'expertise réalisée par l'IRSN en référence [2] concernant les règles de conduite associées aux transitoires de rupture de tubes des générateurs de vapeur (RTGV) et aux situations de perte échelonnée des groupes électrogènes principaux ;
- la conduite prévue par EDF en cas de perte de la fonction de refroidissement du réacteur à l'arrêt dans les états où le circuit primaire est fermé¹ avec le système RIS-RA en mode RA² en service ;
- les stratégies de conduite dans les états où le circuit primaire est non fermé (hors état RCD³).

Le présent avis concerne le deuxième volet, sachant que le premier volet a fait l'objet de l'avis en référence [3] et le dernier volet de la saisine fera l'objet d'avis ultérieurs.

L'IRSN précise que, pour cette expertise, les règles dédiées à la conduite du réacteur à partir du « moyen de conduite principal » (MCP) sont prioritairement analysées. Ce choix est principalement motivé par le fait que

¹ Le circuit primaire est dit fermé lorsque la cuve est fermée par son couvercle et que les événements du circuit primaire sont fermés.

² Le système RIS-RA assure deux fonctions : celle de refroidissement du réacteur à l'arrêt (mode RA) et celle d'injection de sécurité basse pression (mode IS). Le système est constitué de quatre trains. Chaque train peut assurer l'une ou l'autre de ces deux fonctions selon son lignage.

³ RCD : réacteur complètement déchargé.

dans les études des incidents ou accidents relevant des conditions de fonctionnement de référence présentées dans le rapport de sûreté, les actions de conduite sont supposées être réalisées à partir du moyen de conduite de secours (MCS). Pour ces scénarios, la conduite au MCP n'a donc pas été analysée au travers des études de sûreté.

De l'évaluation des documents transmis, tenant compte des informations apportées au cours de son expertise, l'IRSN a identifié plusieurs points méritant des améliorations des stratégies de conduite appliquées en cas de perte de la fonction de refroidissement du réacteur à l'arrêt dans les états fermés du circuit primaire. Ces points ont fait l'objet d'engagements de la part d'EDF (cf. engagements n° 1 à n° 8 de l'annexe 1) qui sont jugés satisfaisants par l'IRSN.

Parmi ces points, certains relatifs aux situations d'accident de perte de réfrigérant primaire (APRP) présentent des enjeux de sûreté plus importants et sont présentés ci-après.

1. PRESENTATION DE LA PHASE 3 DE LA STRATEGIE DE « PASSAGE A FROID AVEC INJECTION DE SECURITE » (PAF AVEC IS)

La conduite d'un APRP dans les états fermés du circuit primaire avec le système RIS-RA en mode RA en service, est notamment gérée dans une phase dédiée (n° 3) de la stratégie de PAF avec IS. Cette phase a pour objectif de localiser la brèche⁴ et de l'isoler si possible, en réalisant des tests d'intégrité du circuit primaire (TIP). Deux sortes de TIP sont prévues par la conduite : des TIP par isolement séquentiel et un TIP par « désisolement séquentiel »⁵.

Un TIP par isolement séquentiel n'est réalisé que si le circuit primaire a pu être stabilisé, c'est-à-dire lorsque l'inventaire en eau du circuit primaire est suffisant pour permettre au système RIS-RA en mode RA de fonctionner et que la marge à la saturation de l'eau du circuit primaire est suffisante. Le TIP par isolement séquentiel consiste à suivre l'évolution de la pression primaire ou du niveau pressuriseur après isolement d'un train du système RIS-RA. Si, dans un délai déterminé, le paramètre suivi n'augmente pas, le train testé est considéré comme intègre. Il est alors remis en service en mode RA. Tous les trains en service en mode RA avant l'apparition de la brèche sont ainsi testés l'un après l'autre, jusqu'à l'identification du train présentant une brèche. Si tous les trains sont déclarés intègres à l'issue du TIP, le circuit primaire est par défaut considéré non intègre.

La phase 3 de la stratégie de PAF avec IS comporte quatre TIP par isolement séquentiel. Deux de ces TIP ont une cinétique rapide, c'est-à-dire que le délai d'observation du paramètre d'état suivi après l'isolement d'un train du système RIS-RA est suffisamment court pour que l'opérateur puisse tester successivement tous les trains avant de reprendre la conduite générale de l'installation. Les deux autres TIP par isolement séquentiel ont des cinétiques plus longues qui nécessitent de poursuivre la conduite générale de l'installation et sa surveillance avant l'atteinte des critères associés au TIP.

Le TIP par « désisolement séquentiel » est engagé lorsque l'inventaire en eau du circuit primaire n'est pas rapidement restauré ou si la marge à la saturation se dégrade significativement. Le TIP par « désisolement séquentiel » consiste à isoler tous les trains fonctionnant initialement en mode RA puis à regarder si le circuit primaire se remplit. Si c'est le cas, la brèche est isolée et les trains du système RIS-RA sont successivement reconnectés⁶ au circuit primaire pour localiser le train présentant une brèche. Dans le cas contraire, le circuit primaire est considéré non intègre. Le TIP par « désisolement séquentiel » traitant des cas les plus pénalisants (à

⁴ Localiser la brèche : c'est-à-dire déterminer si la brèche se situe sur un des trains du système RIS-RA et, si tel est le cas, identifier ce train, ou si la brèche se situe sur le circuit primaire (dans ce cas la fuite est non isolable).

⁵ Désisolement : action d'ouverture des vannes assurant l'isolement à l'aspiration du système RIS-RA du circuit primaire.

⁶ La reconnexion d'un train du système RIS-RA s'effectue par ouverture des vannes assurant son isolement du circuit primaire à l'aspiration de sa pompe. Un train du système RIS-RA est dit connecté lorsque les vannes assurant son isolement du circuit primaire à l'aspiration de sa pompe sont ouvertes.

savoir ceux où l'inventaire en eau est trop faible pour que le système RIS-RA en mode RA puisse fonctionner), il est le seul valorisé dans la démonstration de sûreté.

2. SURVEILLANCE DES PARAMETRES D'ETAT EN SITUATION D'APRP

Au cours de la réalisation d'un TIP par isolement séquentiel à cinétique longue en phase 3 de la PAF avec IS, si l'eau du circuit primaire vient à passer à saturation avant le délai « t IS + 1h30 »⁷, les seules actions réalisées par les opérateurs sont associées à la surveillance des générateurs de vapeur (GV), et ce jusqu'à la fin du délai « t IS + 1h30 » ou à la restauration de la marge à la saturation.

En particulier, lorsqu'un TIP par isolement séquentiel à cinétique longue est en cours, la surveillance de l'inventaire en eau du circuit primaire n'est plus réalisée par les opérateurs.

Or, si l'état thermohydraulique du circuit primaire se dégrade alors qu'un TIP par isolement séquentiel à cinétique longue est en cours, la situation n'est globalement plus maîtrisée. En effet, avant la réalisation du TIP, l'état thermohydraulique du circuit primaire étant stabilisé, le passage à saturation du circuit primaire ou une perte importante de l'inventaire en eau du circuit primaire correspond à une dégradation significative de l'état thermohydraulique du circuit primaire. L'IRSN considère que ces paramètres doivent être surveillés pour que, en cas de dégradation, soient mises en œuvre, dès que possible, des actions adaptées à la gestion de la brèche. À cet égard, EDF s'est engagé à modifier la stratégie de PAF avec IS, à l'échéance du dossier de fin de démarrage (DFD), afin d'orienter la conduite au plus tôt vers un TIP par « désisolement séquentiel » si, pendant la réalisation d'un TIP séquentiel à cinétique longue, une dégradation de l'état thermohydraulique du circuit primaire est constatée (perte de marge à la saturation ou perte d'inventaire en eau). **L'IRSN considère que l'engagement n° 3 d'EDF, rappelé en annexe 1, est acceptable.**

3. BASCULEMENT EN STRATEGIE DE RESTAURATION DE L'INVENTAIRE EN EAU (RIE)

3.1. INJECTION SIMULTANEE

Dans les états fermés du circuit primaire avec le système RIS-RA en mode RA en service, les APRP nécessitant l'application de la stratégie de conduite de restauration d'inventaire en eau (RIE), à la suite d'une dégradation importante de l'état thermohydraulique du circuit primaire, ne sont pas étudiés au titre de la démonstration de sûreté. Ainsi, en cas d'APRP dans ces états, et contrairement aux états en puissance ou en arrêt sur GV, le basculement de l'injection de sécurité (IS) en injection simultanée (action uniquement demandée dans la stratégie RIE) n'est pas requis au titre de la démonstration de sûreté. Néanmoins, le basculement de l'injection en branche froide à l'injection simultanée en branche froide et en branche chaude de l'IS permet d'éviter les phénomènes de cristallisation du bore dans le cœur et de dilution de l'IRWST⁸.

En conduite accidentelle initiée lorsque le système RIS-RA est en service en mode RA, l'équipe de conduite est orientée dans la stratégie RIE après l'arrêt des groupes motopompes primaires en cas de surchauffe ou de vidange complète des boucles du circuit primaire.

⁷ « t IS + 1h30 » : 1h30 après le signal d'injection de sécurité.

⁸ IRWST : In-Containment Refuelling Water Storage Tank.

Dans les autres états fermés du circuit primaire, dès que le permissif P16⁹ est présent et que le circuit primaire est à saturation, la stratégie RIE est appliquée pour réaliser le basculement de l'IS en injection simultanée.

Selon EDF, dans les états où le système RIS-RA est initialement en service en mode RA, en cas de brèche de taille insuffisante pour évacuer la puissance résiduelle, l'injection simultanée pourrait interrompre la circulation en thermosiphon¹⁰ dans le circuit primaire de sorte que l'évacuation de la puissance résiduelle par la brèche ne pourrait plus être complétée par les GV.

Toutefois, dans la surveillance des systèmes prévue dans la stratégie RIE, il est demandé la mise en service systématique de l'injection simultanée dès l'apparition du permissif P16, indépendamment de l'état initial du système RIS-RA. Un passage en injection simultanée pourrait donc être demandé dans les états où ce système est initialement en service en mode RA avec le risque de perdre l'évacuation de la puissance résiduelle par les GV alors que la brèche est de taille insuffisante pour évacuer celle-ci. Pour lever cette incohérence, EDF a pris l'engagement n° 4 de modifier la conduite incidentelle accidentelle à l'échéance DFD afin de ne pas basculer en configuration d'injection simultanée de manière systématique pour des situations de brèches initiées dans les états où le système RIS-RA est initialement en service en mode RA, circuit primaire fermé. **L'IRSN considère que l'engagement n° 4 d'EDF, rappelé en annexe 1, est acceptable.**

3.2. BRECHES ISOLABLES

Lorsque le réacteur est initialement dans un état circuit primaire fermé avec le système RIS-RA en service en mode RA, l'isolement d'une brèche, située sur une tuyauterie connectée au circuit primaire à l'extérieur de l'enceinte de confinement, serait réalisé automatiquement par détection de haut niveau d'eau dans les puisards ou de pression élevée dans le BAS¹¹ concerné. L'isolement d'une brèche située sur une tuyauterie connectée au circuit primaire à l'intérieur de l'enceinte de confinement est prévu dans la stratégie de PAF avec IS. Néanmoins, en cas d'arrêt automatique du système RIS-RA en mode RA sur bas niveau boucle et de vidange totale extrêmement rapide (c'est-à-dire en moins d'une demi-heure) des boucles du circuit primaire, l'équipe de conduite sera orientée vers la stratégie RIE sans isolement préalable de la brèche. Or, dans la stratégie RIE, l'équipe de conduite déclare inutilisable tous les trains du système RIS-RA initialement en mode RA mais ne réalise pas leur isolement, celui-ci n'étant par ailleurs pas demandé dans la règle de conduite de surveillance permanente de l'état (SPE) dans ces conditions. Une brèche isolable pourrait ainsi ne pas être isolée par application de la conduite actuelle.

À cet égard, EDF précise que, pour les brèches isolables étudiées au titre de la démonstration de sûreté¹², un unique train d'injection de sécurité moyenne pression (ISMP) permet de maintenir un inventaire en eau suffisant pour ne pas basculer dans la stratégie RIE. Il ajoute que lorsque le circuit primaire est fermé avec le système RIS-RA en service en mode RA, le risque de fusion du cœur en cas de brèche sur une tuyauterie connectée au circuit primaire de diamètre nominal supérieur à 50 mm, isolable et située à l'intérieur de l'enceinte de confinement cumulée à la défaillance totale de l'ISMP est suffisamment faible pour que cette situation ne soit pas couverte par la démonstration de sûreté. Néanmoins, l'IRSN estime qu'EDF devrait ajouter dans la stratégie RIE l'isolement des trains du système RIS-RA initialement connectés en mode RA. **Ce point fait l'objet de l'observation présentée en annexe 2.**

⁹ P16 : le permissif P16 apparaît si la pression en branche chaude du circuit primaire (mesurée en gamme étroite) est inférieure à 15 bar absolu pendant plus de 1h ou si l'écart à la pression de saturation est inférieur à 10 bar avec la présence du signal IS depuis plus de 1h30 alors que les groupes motopompes primaires sont à l'arrêt. Après validation par l'opérateur, le permissif P16 autorise l'opérateur à configurer l'IS pour qu'il injecte en branche chaude.

¹⁰ Circulation naturelle (gravitaire) de l'eau dans le circuit primaire qui s'établit grâce à la hauteur des GV et à la différence de densité entre l'eau chaude sortant du cœur du réacteur et l'eau froide refroidie par les GV.

¹¹ BAS : bâtiment des auxiliaires de sauvegarde. Le réacteur EPR de Flamanville en comporte quatre, un par division.

¹² Dont le diamètre nominal est inférieur à 250 mm (<DN250).

4. CONCLUSION

L'IRSN estime que les stratégies de conduite prévues par EDF en cas de perte de la fonction de refroidissement du réacteur à l'arrêt, dans les états où le circuit primaire est fermé avec le système RIS-RA en mode RA en service, sont acceptables pour la mise en service du réacteur EPR de Flamanville.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Thierry PAYEN

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2021-00053 DU 9 AVRIL 2021

Engagements principaux d'EDF

Engagement n° 1

EDF modifiera la conduite incidentelle accidentelle, à l'échéance du dossier de fin de démarrage (DFD), afin de n'engager les opérations nécessaires au collapsage de la bulle du pressuriseur du circuit primaire que lorsqu'un repli du réacteur dans un état circuit primaire monophasique liquide est requis.

Engagement n° 2

EDF analysera, à l'échéance du DFD, l'opportunité d'une optimisation de conduite permettant une orientation vers la règle EFS¹³ RRI¹⁴-SEC¹⁵ dans le cas de perte du RIS-RA en mode RA causée par une élévation anormale de la température du RRI.

Engagement n° 3

EDF modifiera la conduite incidentelle accidentelle, à l'échéance du DFD, afin d'orienter au plus tôt pendant la réalisation de TIP séquentiel « longs » réalisés dans la stratégie de « Passage à l'arrêt à froid avec IS », vers le module de TIP par désisolement séquentiel si une dégradation de l'état thermohydraulique du circuit primaire est constatée, c'est-à-dire si l'un des critères suivants est atteint :

- perte de marge à la saturation ;
- perte d'inventaire en eau.

Engagement n° 4

EDF s'engage à modifier la conduite incidentelle accidentelle, à l'échéance du DFD, afin de ne pas mettre en service l'IS en injection simultanée de manière systématique pour des situations de brèches initiées dans les états RIS-RA en mode RA initialement en service, circuit primaire fermé.

Engagement n° 5

EDF analysera, à l'échéance du DFD, la faisabilité d'une modification de conduite de la phase 3 de la stratégie de « Passage en arrêt à froid avec IS », sans complexification de la conduite ni remise en cause du chemin sûr, afin qu'un train RIS-RA ne soit remis en service en mode RA plein débit, en préalable à la réalisation d'un TIP par isolement séquentiel, que lorsque les conditions thermohydrauliques sont compatibles avec son bon fonctionnement.

Engagement n° 6

EDF analysera, à l'échéance du DFD, la faisabilité d'une modification de conduite de la phase 3 de la stratégie de « Passage en arrêt à froid avec IS », sans complexification de la conduite ni remise en cause du chemin sûr, afin d'éviter d'initier un TIP par isolement séquentiel si un seul train RIS-RA est en service en mode RA.

¹³ EFS : état fonction support.

¹⁴ RRI : système de refroidissement intermédiaire.

¹⁵ SEC : système d'eau brute secourue.

Engagement n° 7

EDF étudiera une modification de conduite incidentelle accidentelle, à l'échéance du DFD, afin d'éviter d'engager des séquences inutiles d'arrêt/démarrage des pompes RIS-RA lors du basculement des trains RIS-RA en mode RA à débit réduit vers le mode à plein débit en conduite post état sûr (i.e. après isolement du train RIS-RA présentant une brèche et déclaration que le circuit primaire est intègre).

Engagement n° 8

EDF ajoutera la justification de l'utilisation du seuil à 30 % de niveau d'eau dans le pressuriseur du circuit primaire, pour distinguer les fuites sur le circuit primaire des fuites sur une tuyauterie isolable, en cas d'APRP dans les états RIS-RA initialement en service et circuit primaire fermé, dans la note de présentation des stratégies dans les états fermés du circuit primaire lors de la prochaine mise à jour.

ANNEXE 2 A L'AVIS IRSN N° 2021-00053 DU 9 AVRIL 2021

Observation de l'IRSN

L'IRSN estime qu'EDF devrait isoler les trains du système RIS-RA initialement connectés en mode RA dans la stratégie RIE.