



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 30 juin 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00134

Objet : Réacteur EPR de Flamanville – Soupapes de sûreté pilotées du pressuriseur.

Réf. : [1] Lettre ASN – CODEP-DCN-2021-008673 du 17 mars 2021.
[2] Avis IRSN/2016-00386 du 13 décembre 2016.
[3] Avis IRSN/2018-00029 du 2 février 2018.
[4] Lettre ASN – CODEP-DCN-2019-032705 du 19 juillet 2019.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre de la demande d'autorisation de mise en service du réacteur EPR de Flamanville (EPR FA3), l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), par sa lettre en référence [1], sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur :

- la conception des soupapes de sûreté pilotées du pressuriseur, en particulier sur :
 - le risque d'explosion hydrogène dans le réservoir de décharge du pressuriseur (RDP) et dans le réservoir recueillant la fuite du clapet de décharge d'une soupape ;
 - l'impact d'une fuite des pilotes sur le respect des critères fonctionnels des soupapes ;
 - le choix des matériaux et la suffisance des modifications des clapets de remplissage et de contrôle des pilotes mécaniques au regard des risques de corrosion sous contrainte ;
- les conséquences d'une évolution des critères fonctionnels des soupapes sur la démonstration de sûreté ;
- l'analyse des résultats des essais menés sur la boucle KOPRA en 2017 ;
- les compléments transmis par EDF relatifs à la surveillance en exploitation ainsi qu'à la conduite à tenir en cas de fuite sur une soupape pilotée ;
- les écarts observés sur les soupapes pilotées lors de la réalisation des essais de démarrage du réacteur EPR FA3.

L'IRSN expose ci-après les conclusions de l'expertise qu'il a menée sur les différents points susmentionnés. En préalable, il présente la conception et le rôle des soupapes de sûreté pilotées, ainsi que l'historique des précédentes expertises associées.

MEMBRE DE
ETSON

2. PRÉSENTATION DES SOUPAPES DE SÛRETÉ PILOTÉES ET HISTORIQUE DES EXPERTISES

Présentation des soupapes de sûreté pilotées

Le circuit primaire principal de l'EPR FA3 est muni de trois soupapes de sûreté pilotées installées au sommet du pressuriseur. Ces soupapes de sûreté pilotées assurent la protection du circuit primaire contre les surpressions à chaud et à froid. Elles permettent également dans certaines conditions de fonctionnement de référence (PCC) de dépressuriser le circuit primaire afin d'atteindre les conditions de connexion du système d'injection de sécurité et de refroidissement à l'arrêt (RIS-RA). De plus, l'ouverture des soupapes de sûreté pilotées du pressuriseur peut être requise avant l'entrée en accident grave afin d'éviter la fusion du cœur à haute pression.

Par ailleurs, à la suite de leur ouverture, les soupapes pilotées doivent se refermer de manière fiable et sûre afin d'éviter une situation de perte de réfrigérant primaire.

Enfin, le rapport de sûreté définit les différents critères de sûreté fonctionnels que chaque soupape pilotée doit respecter. Ces critères sont relatifs aux temps d'ouverture et de fermeture de la soupape, à sa pression d'ouverture et à son hystérésis¹, ainsi qu'à son débit de décharge.

Afin de s'assurer que les soupapes de sûreté du pressuriseur disposent d'un haut niveau de fiabilité et qu'elles répondent aux exigences de sûreté qui leur sont assignées, des essais de qualification et de robustesse ont été menés sur les boucles COLOMBUS et KOPRA.

Chaque soupape de sûreté pilotée comprend une soupape principale et deux types de pilotes ayant des rôles fonctionnels différents :

- deux pilotes mécaniques « passifs », montés en parallèle, intervenant pour la protection du circuit primaire contre les surpressions à chaud et avant l'atteinte des conditions d'entrée en accident grave. Au cours du cycle de fonctionnement du réacteur, un seul pilote est opérationnel, l'autre est isolé (le basculement d'un pilote à l'autre se fait lorsque le réacteur est en arrêt à froid ou en cas d'indisponibilité du pilote actif). Chaque pilote mécanique permet l'activation de la soupape de sûreté pilotée (à l'ouverture ou à la fermeture) grâce au déplacement de ses clapets internes : les clapets de remplissage, de décharge et de contrôle. L'ouverture de ce dernier clapet permet l'ouverture de la soupape ;
- un pilote électrique nécessitant un ordre d'activation par le contrôle-commande et intervenant pour la protection du circuit primaire contre les surpressions à froid, pour sa dépressurisation et pour l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur en cas de brèches sur le système RIS-RA. Ce pilote est constitué de deux actionneurs à solénoïdes montés en série afin d'éviter une ouverture intempestive de la soupape.

À l'intérieur du pressuriseur, en amont de la soupape pilotée, une écope est installée de manière à former, par condensation de la vapeur, un bouchon d'eau chaude qui remplit tous les volumes internes de la soupape de sûreté pilotée y compris la tubulure d'admission et l'écope. Ce bouchon d'eau vise à éviter l'accumulation d'hydrogène dans les internes de la soupape de sûreté pilotée, ce qui serait susceptible de nuire à son opérabilité ou d'induire un risque de formation d'atmosphère explosive dans les capacités situées en aval.

¹ L'hystérésis est la différence entre la pression d'ouverture et la pression de refermeture de la soupape, exprimée en pourcentage de la pression d'ouverture.

Historique des expertises

Les soupapes de sûreté du pressuriseur du réacteur EPR de Flamanville ont déjà fait l'objet d'expertises de l'IRSN en 2016 [2] et 2018 [3] qui ont conduit à des demandes de l'ASN [4]. Ces expertises ainsi que les enseignements issus des essais de qualification et de la mise en service d'autres réacteurs de type EPR, ont mené à plusieurs évolutions de la conception des soupapes. En particulier, EDF a procédé à la mise en place d'un coude anti-particules sur les lignes d'alimentation des pilotes mécaniques et à la modification de l'accouplement entre le convertisseur² et le clapet de remplissage.

De plus, lors des essais de qualification il a été constaté qu'un échauffement du pilote mécanique d'une soupape pouvait potentiellement conduire à un dépassement du critère fonctionnel associé à la pression d'ouverture. EDF a alors réalisé des essais de qualification complémentaires sur la boucle KOPRA afin de caractériser l'effet de l'échauffement d'un pilote mécanique sur les critères fonctionnels de la soupape associée.

Enfin, l'IRSN avait souligné dans ses précédentes expertises, la complexité de la conception du pilote mécanique (nombre de pièces, faibles jeux internes, etc.) d'une part, l'absence de surveillance continue de l'étanchéité de certains de ses clapets (clapet de remplissage notamment) d'autre part, rendant essentielle la maîtrise des opérations de maintenance sur le pilote mécanique.

3. CONCEPTION DE LA SOUPAPE DE SÛRETÉ PILOTÉE

3.1. RISQUE D'EXPLOSION DANS LES RÉSERVOIRS CONNECTÉS AUX SOUPAPES

Selon EDF, les dispositions de conception et d'exploitation en fonctionnement normal du réacteur garantissent le balayage à l'azote du ciel du réservoir RDP³ par le système TEG⁴ et permettent d'exclure un risque d'explosion hydrogène dans cette capacité. L'IRSN estime que ces dispositions sont effectivement de nature à réduire le risque de formation d'une atmosphère explosive (ATEX) dans le RDP même en présence d'une fuite sur la soupape pilotée. De plus, EDF a intégré des dispositions de surveillance qui permettent d'écarter le risque d'explosion dans le RDP lors des essais de manœuvrabilité de la soupape pilotée qui conduisent à l'arrêt du système TEG, **ce qui est satisfaisant.**

En ce qui concerne le réservoir de collecte des fuites des lignes de drain des pilotes mécaniques, EDF n'exclut pas la formation d'une ATEX pouvant conduire à une déflagration dans ce réservoir. En fin d'expertise, EDF a transmis une nouvelle étude qui conclut que cette déflagration n'aura pas de conséquence compte tenu de la résistance mécanique du réservoir. Cette étude n'a pas, à ce stade, fait l'objet d'un examen par l'IRSN.

3.2. IMPACT DE L'ÉCHAUFFEMENT DU PILOTE MÉCANIQUE SUR LE FONCTIONNEMENT DE LA SOUPAPE

Dans son avis [2], l'IRSN avait estimé que le risque de fuite au niveau des clapets du pilote mécanique d'une soupape induit par la présence de particules dans le fluide primaire et susceptible de conduire à la défaillance par mode commun des trois soupapes pilotées, était notablement réduit par la mise en place du coude anti-particules et par les exigences sur la qualité de l'eau dans le pressuriseur (spécification, filtration, surveillance). Cependant, les essais réalisés après l'installation du coude ont montré que l'entrée éventuelle de particules dans

² Le convertisseur, situé en partie basse du pilote mécanique, permet l'ouverture ou la fermeture des différents clapets du pilote sous l'influence de l'évolution de la pression dans le circuit primaire.

³ Le RDP recueille notamment les fuites des trois soupapes du pressuriseur et de leurs pilotes associés. Les fuites des lignes de drain des pilotes mécaniques sont quant à elles collectées dans un réservoir dédié.

⁴ TEG : Système de traitement des effluents gazeux qui assure également le balayage des ciels des réservoirs connexes au circuit primaire.

le pilote mécanique reste possible lors de la phase de refermeture de la soupape. De plus, EDF considérait que seules des particules métalliques de taille réduite étaient susceptibles de remonter vers les soupapes pilotées lors de leurs décharges. Or, les premiers essais de démarrage à chaud du réacteur ont mis en évidence la présence de particules de densités, natures et tailles différentes pouvant remonter vers ces soupapes.

De surcroît, les nombreuses interventions réalisées au titre de la maintenance des soupapes de sûreté nécessitent plusieurs manipulations de leurs pilotes mécaniques, ce qui présente un risque d'introduction de particules dans ces derniers.

Ces particules peuvent être à l'origine de défauts d'étanchéité des clapets des pilotes, qui génèrent des effets thermiques, supplémentaires à ceux attendus en cas de sollicitation de la soupape, et dont il convient de caractériser les effets sur son fonctionnement. Pour effectuer cette caractérisation, EDF a initialement établi un premier modèle simplifié qui évalue la dilatation de quelques internes du pilote induite par les échauffements. Sur la base de cette évaluation et de la courbe caractéristique du pilote mécanique⁵, EDF en déduit une hausse de la pression d'ouverture de 0,5 bar en cas de décharges multiples et rapprochées de la soupape. À partir de ce modèle, EDF évalue ensuite les débits de fuite des clapets de contrôle et de décharge impliquant un non-respect de la pression d'ouverture de la soupape. EDF en conclut que ces débits sont détectables par les mesures de température mises en œuvre dans le cadre de la surveillance en exploitation (cf. § 6). L'examen par l'IRSN de ce modèle simplifié a montré qu'il n'était pas conforté par les résultats des essais réalisés sur les boucles KOPRA en 2017⁶ et COLOMBUS. Ainsi, EDF a présenté en fin d'expertise un modèle plus détaillé, qui reste à finaliser et à valider.

Par ailleurs, une fuite du clapet de remplissage n'est pas détectable en exploitation car ce dernier est ouvert en fonctionnement normal. Pour l'IRSN, la présence d'une particule au sein du pilote, introduite lors des opérations de maintenance, pourrait induire une fuite de ce clapet dès la première sollicitation de la soupape.

En conclusion de son expertise, l'IRSN estime qu'EDF doit :

- en amont de la mise en service du réacteur, finaliser son modèle et ses études d'évaluation des effets de la température du pilote mécanique sur les critères fonctionnels de la soupape ;
- valider dans un délai raisonnable le modèle en réalisant des essais de « fuite calibrée » au niveau des différents clapets ; ces essais devront permettre de caractériser l'impact des fuites sur le fonctionnement du pilote et de conforter les débits de fuite conduisant au non-respect des critères fonctionnels.

Sur ces points, **EDF a pris les engagements n° 1 et 2 présentés en annexe 2, que l'IRSN estime satisfaisants dans leur principe.** En particulier, EDF s'est engagé à examiner, d'ici la fin de l'année 2022, la faisabilité d'essais de « fuite calibrée » des clapets. Pour l'IRSN, en l'état actuel du dossier, ces essais sont nécessaires. En tout état de cause, l'expertise des effets thermiques induits ou non par une fuite du pilote devra se poursuivre. **Dans l'attente des conclusions associées, l'IRSN estime que la surveillance en exploitation des soupapes pilotées devra être renforcée (cf. § 6).**

3.3. CHOIX DES MATÉRIAUX DES SOUPAPES PILOTÉES

Modifications des clapets de remplissage et de contrôle

À la suite d'une rupture d'un des clapets de remplissage d'un pilote mécanique de même type installé sur un autre réacteur EPR, EDF a procédé à l'expertise des six pilotes mécaniques de l'EPR de Flamanville. Les examens menés ont alors révélé la présence d'indications liées à un endommagement par corrosion sous contrainte (CSC)

⁵ Relation entre le déplacement des différents clapets du pilote mécanique et la pression du pressuriseur.

⁶ Ces essais visaient à caractériser l'écart entre la pression de tarage du pilote réalisée à froid et la pression d'ouverture à la première décharge de la soupape d'une part, l'augmentation de la pression d'ouverture en cas de sollicitations répétées de la soupape d'autre part.

des clapets de remplissage ainsi qu'un endommagement local par piqûre sur l'un des clapets de contrôle. Les matériaux des clapets de remplissage et de contrôle sont identiques. Pour le clapet de remplissage, EDF a décidé de rechercher un matériau plus tolérant au phénomène de CSC. Son choix s'est porté, après la réalisation d'essais sur plusieurs matériaux, sur un acier inoxydable martensitique⁷ bénéficiant d'un bon retour d'expérience. De plus, EDF a procédé à des modifications du clapet visant à limiter les contraintes sur les parties les plus sollicitées de cette pièce. Par la suite, EDF a également décidé de remplacer le matériau du clapet de contrôle, à l'identique de celui du clapet de remplissage. Ces modifications ont fait l'objet d'essais sur la boucle KOPRA en 2021 à l'issue desquels EDF a conclu au maintien de la qualification du pilote mécanique.

L'IRSN estime que les évolutions apportées aux clapets de remplissage et de contrôle permettent de limiter le risque de CSC, sans toutefois l'éliminer de manière certaine. Aussi, un programme de suivi en service particulier doit être mis en œuvre pour ces clapets. **Sur ce point, EDF a pris plusieurs engagements satisfaisants et a précisé qu'il transmettra à l'ASN et à l'IRSN le programme de base de maintenance préventive (PBMP) des soupapes pilotées avant le chargement du réacteur (engagement n° 3 en annexe 2).**

Enfin, l'IRSN souligne que les essais réalisés sur la boucle KOPRA en 2021 ont confirmé la sensibilité des paramètres fonctionnels de la soupape à une fuite du clapet de remplissage (évolution de la pression d'ouverture et diminution de l'hystérésis) et aux modes opératoires de maintenance.

Matériaux constitutifs des autres pièces des soupapes pilotées

L'IRSN estime que d'autres pièces des soupapes pilotées présentent également un risque de CSC nécessitant la mise en place d'une surveillance et de contrôles particuliers dans le cadre du PBMP. Sur ce sujet, EDF a indiqué qu'il prendra en compte les remarques de l'IRSN lors de l'établissement du PBMP. Il justifiera également, d'ici juillet 2022, que les matériaux martensitiques en contact avec le fluide primaire ont bénéficié d'un traitement thermique adéquat limitant le risque de CSC, **ce qui est satisfaisant.**

4. VÉRIFICATION DES PARAMÈTRES FONCTIONNELS DES SOUPAPES PILOTÉES

EDF a évalué, à partir des conditions de tarage spécifiées des pilotes mécaniques, tenant compte des différents postes d'incertitudes et des différences de température entre la température ambiante au moment du tarage du pilote et celle vue par ce dernier en exploitation, la pression d'ouverture et l'hystérésis des soupapes dans les conditions de leur sollicitation incidentelle ou accidentelle. EDF compare ensuite la pression d'ouverture et l'hystérésis ainsi estimées aux critères fonctionnels des soupapes. Cependant, EDF retient pour cette comparaison un nouveau critère fonctionnel associé à la pression d'ouverture attendue à partir de la troisième décharge⁸. Ce nouveau critère a été retenu par EDF à la suite de l'événement survenu dans le cadre des essais de robustesse ayant conduit à une augmentation de la pression d'ouverture (par échauffement du pilote mécanique en présence d'une fuite interne lors des décharges successives) de plus de 1,5 bar, valeur maximale initialement tolérée. Ce critère, qui n'apparaît pas dans le rapport de sûreté associé à la demande de mise en service du réacteur (RDS version DMES), a également été utilisé par EDF pour évaluer l'impact d'une évolution des paramètres fonctionnels de la soupape sur la démonstration de sûreté (cf. § 5). L'IRSN estime que ce nouveau

⁷ Un acier inoxydable martensitique présente une teneur en chrome voisine de 12 %, et une teneur variable en carbone, ce qui lui confère des caractéristiques de résistance mécanique importantes.

⁸ Le critère fonctionnel présenté dans le RDS pour la pression d'ouverture est : pression d'ouverture nominale à chaud égale à la pression de tarage +/- 1,5 bar. Ce critère n'est maintenant valable que pour les deux premières ouvertures de la soupape. À partir de la troisième ouverture, EDF retient le critère suivant : pression d'ouverture nominale spécifiée à chaud égale à la pression de tarage + 4 bar.

critère doit être mentionné dans le rapport de sûreté. **Sur ce point, EDF a pris l'engagement n° 4 présenté en annexe 2 que l'IRSN estime satisfaisant.**

Par ailleurs, l'IRSN constate que la température ambiante mesurée lors des premiers essais de démarrage à chaud à proximité des pilotes mécaniques des soupapes de sûreté du pressuriseur est plus importante que celle retenue dans les études. Cependant, ces essais ont été réalisés avec une configuration du système de ventilation du bâtiment du réacteur ne correspondant pas à son fonctionnement nominal. Au regard de l'importance des effets de la température sur les paramètres fonctionnels de la soupape, l'IRSN a estimé nécessaire que, en complément de la modélisation qu'il s'est engagé à réaliser (cf. § 3.2), EDF mette en œuvre, lors de la nouvelle phase d'essais à chaud prévue avant le chargement du réacteur, une instrumentation permettant de caractériser les évolutions de la température ambiante au voisinage des pilotes et de leurs pièces les plus sensibles aux effets de cette température. Sur la base de ces relevés, EDF devra s'assurer du respect des critères fonctionnels des soupapes dans les états d'exploitation où elles sont requises et préciser, dans la règle des essais périodiques, les conditions de tarage à retenir pour les pilotes mécaniques. En complément et sur la base du modèle qu'il s'est engagé à réaliser (cf. § 3.2), EDF devra déterminer les seuils de surveillance en exploitation associés aux températures des pilotes devant conduire à considérer la soupape indisponible au sens des spécifications techniques d'exploitation (STE) et au repli du réacteur. **Sur ces différents points, EDF a pris les engagements n° 5 à 7 présentés en annexe 2 que l'IRSN estime satisfaisants.**

Dans l'attente des conclusions qui seront tirées des actions correspondant aux engagements d'EDF, l'IRSN estime nécessaire qu'une soupape de sûreté du pressuriseur soit déclarée indisponible au sens des STE dès l'atteinte du premier seuil d'alarme significative d'une fuite sur son pilote mécanique (cf. § 6).

5. IMPACT SUR LES ÉTUDES DE LA DÉMONSTRATION DE SÛRETÉ D'UNE ÉVOLUTION DES CRITÈRES FONCTIONNELS

Les différents essais réalisés sur la soupape de sûreté du pressuriseur montrent une évolution possible de ses paramètres fonctionnels. De plus, les études complémentaires menées pour les transitoires diphasiques de surpressions à froid ont conclu à une augmentation de son temps de fermeture. Ces observations ont conduit EDF à examiner l'impact sur les résultats des études de la démonstration de sûreté, d'une évolution des différents paramètres fonctionnels de la soupape, pour des valeurs allant au-delà des critères associés et mentionnés dans le RDS version DMES. EDF en conclut que ces différentes évolutions ne remettent pas en cause le respect des critères de sûreté associés à l'évacuation de la puissance résiduelle ni de ceux relatifs à la tenue mécanique des composants du circuit primaire (soupapes comprises).

L'IRSN estime que les études de la démonstration de sûreté qui ont fait l'objet de la part d'EDF d'une étude de sensibilité à la variation d'un paramètre fonctionnel de la soupape, sont exhaustives et que les pénalisations retenues sont globalement acceptables. Toutefois, EDF n'a pas considéré dans son analyse l'impact de la variation de deux paramètres fonctionnels, à savoir la pression d'ouverture et l'hystérésis, variation qui pourrait être induite par une fuite sur le clapet de remplissage. De plus, les justifications du respect des critères de sûreté associés à l'évacuation de la puissance résiduelle et à la tenue mécanique des composants du circuit primaire sont principalement fondées sur des argumentaires de telle sorte qu'il n'est pas aisé d'apprécier les marges de sûreté restantes en cas d'évolution des paramètres fonctionnels d'une soupape. **Sur ce sujet, EDF a pris l'engagement n° 8 présenté en annexe 2 que l'IRSN estime satisfaisant.**

6. SURVEILLANCE EN EXPLOITATION ET RETOUR D'EXPÉRIENCE

6.1. SURVEILLANCE EN EXPLOITATION

Instrumentation

Une partie de l'instrumentation d'exploitation mise en place et les alarmes associées doivent permettre de détecter une fuite sur une soupape ou sur un de ses pilotes mécaniques ou à solénoïdes. Cette instrumentation repose sur des capteurs de température installés sur la ligne d'admission de la soupape principale⁹, sur la ligne de décharge commune aux pilotes¹⁰, sur la ligne d'asservissement du pilote mécanique¹¹ et sur le corps du pilote mécanique¹².

Spécifications techniques d'exploitation

EDF considère, dans les états de fonctionnement où la soupape est requise, que le repli du réacteur doit être amorcé à l'apparition de l'alarme de « perte de bouchon d'eau ». Pour les autres capteurs, ce repli n'est demandé que sur l'atteinte d'un seuil de température (seuil n°2) supérieur à celui générant l'apparition de la première alarme associée (seuil n°1). Or, pour l'IRSN, l'apparition du premier seuil de température sur ces capteurs est potentiellement symptomatique d'une fuite de la soupape pilotée susceptible de remettre en cause le respect d'un de ses critères fonctionnels et devant conduire à la considérer indisponible. La pertinence des seuils actuellement retenus dans les STE pour demander le repli du réacteur sera à conforter sur la base des enseignements tirés du modèle qu'EDF s'est engagé à réaliser pour déterminer les débits de fuite engendrant un non-respect des critères fonctionnels (cf. § 3.2) et des mesures de température observées lors de la reprise des essais à chaud avant le chargement du réacteur (cf. § 4). **Dans l'attente, l'IRSN considère que la soupape de sûreté du pressuriseur doit être déclarée indisponible dès l'atteinte d'un premier seuil d'alarme significatif d'une fuite sur son pilote mécanique. Ce point fait l'objet de la recommandation n° 1 présentée en annexe 1.**

Procédure de conduite I-RCP9 applicable en cas de fuite sur une soupape

L'IRSN estime que la règle particulière de conduite RPC I-RCP9 devra être révisée avant la mise en service du réacteur afin d'être cohérente avec les STE alors applicables. En outre, la dérive lente de la mesure d'un capteur ne doit pas être considérée comme un critère d'indisponibilité du capteur mais comme un critère d'indisponibilité de la soupape pilotée. **Sur ces sujets, EDF a pris l'engagement n° 6 présenté en annexe 2 que l'IRSN estime satisfaisant.**

Maintenance

Les interventions sur les soupapes réalisées jusqu'à ce jour en usine ou sur site ont généré un nombre significatif d'écarts de maintenance ayant parfois conduit à la présence de particules dans un pilote mécanique. En exploitation, certains de ces écarts pourraient être latents pendant un ou plusieurs cycles d'exploitation et pourraient affecter une ou plusieurs soupapes. De plus, les essais KOPRA et les essais de démarrage ont mis en évidence que certains modes opératoires incorrectement qualifiés pouvaient remettre en cause le respect des critères fonctionnels des soupapes.

⁹ Il permet de détecter une fuite sur un composant de la soupape pilotée situé en aval de la soupape principale et génère l'alarme « perte du bouchon d'eau ».

¹⁰ Il permet de détecter une fuite sur un clapet fermé d'un pilote à solénoïdes ou sur le clapet de contrôle du pilote mécanique actif et génère une alarme lorsque la température est supérieure à 80°C.

¹¹ Il permet de détecter une fuite affectant la partie convertisseur située en partie basse du pilote mécanique et génère une alarme lorsque la température est supérieure à 80°C.

¹² Il permet de détecter une fuite sur le clapet de décharge du pilote mécanique et génère une alarme lorsque la température est supérieure à 80°C.

L'IRSN estime essentiel qu'EDF maîtrise les modes opératoires de maintenance sur les soupapes et pérennise les compétences des personnels qui réalisent ces opérations. Sur ce sujet, EDF a pris l'engagement n° 9 présenté en annexe 2, que l'IRSN estime insuffisant en ce qui concerne les modalités de formation et de maintien des compétences, **ce qui fait l'objet de la recommandation n° 2 présentée en annexe 1.**

Par ailleurs, EDF s'est engagé au cours de l'expertise à définir, dans son référentiel de maintenance applicable à la mise en service du réacteur EPR FA3, les requalifications intrinsèques et fonctionnelles à réaliser à la suite d'une intervention sur une soupape du pressuriseur ou un de ses pilotes, ainsi que les critères de succès associés à ces requalifications, **ce qui est satisfaisant.**

Enfin, EDF s'est engagé à compléter, pour les deux premiers cycles de fonctionnement du réacteur, ses actions de maintenance en réalisant notamment une visite complète des pilotes mécaniques et une analyse qualitative des courbes caractéristiques de ces pilotes, obtenues lors de l'essai périodique de manœuvrabilité des soupapes. L'IRSN estime que les mesures proposées par EDF sont positives mais que l'analyse des courbes caractéristiques doit être pérennisée. **À ce sujet, EDF a pris l'engagement n° 10 présenté en annexe 2, qui est satisfaisant.**

Essais périodiques

L'IRSN note que la plage de température ambiante à laquelle l'essai de tarage du pilote mécanique doit être réalisé, n'est pas spécifiée dans la règle des essais périodiques. Cette spécification est cependant nécessaire afin que la transposition de la pression de tarage à la pression d'ouverture de la soupape en conditions d'exploitation soit correcte. Sur ce point, EDF a pris un engagement que l'IRSN estime satisfaisant. Par ailleurs, EDF s'est engagé à réévaluer la loi d'évolution de la pression d'ouverture en fonction des températures des pièces du pilote mécanique en tenant compte de celles mesurées sur les corps et autour des pilotes mécaniques lors des essais à chaud avant le chargement du réacteur. À l'issue, EDF devra démontrer, avant la mise en service du réacteur, qu'il peut garantir, à partir de l'essai de tarage des pilotes mécaniques et en tenant compte de cette loi d'évolution, le respect des critères fonctionnels des soupapes du pressuriseur (cf. § 4).

En outre, un non-respect de la valeur basse de l'hystérésis mentionnée dans le RDS a été constaté lors des premières ouvertures du pilote mécanique au cours des essais KOPRA en 2021. EDF attribue cet écart à une manipulation inadaptée d'un outillage utilisé pour les essais de manœuvrabilité du pilote, qui a provoqué une fuite au niveau du clapet de remplissage. Pour éviter qu'une telle erreur ne survienne en exploitation, EDF propose d'ajouter, après les essais périodiques de manœuvrabilité et avant la montée en puissance du réacteur, un contrôle technique lors de la dépose de cet outillage. Pour l'IRSN, ce contrôle est nécessaire dans l'attente de la mise au point d'une modification matérielle permettant d'éviter l'erreur de manipulation. Sur ce sujet, EDF s'est engagé à étudier, d'ici mars 2023, la faisabilité d'une telle modification, **ce que l'IRSN estime satisfaisant dans le principe (cf. engagement n° 11 présenté en annexe 2).**

Enfin, EDF a intégré aux essais périodiques une vérification du bon fonctionnement des capteurs de température du bouchon d'eau, **ce qui est également satisfaisant.**

6.2. RETOUR D'EXPÉRIENCE ISSU DES ESSAIS DE DÉMARRAGE

Essais à froid

Les principaux écarts observés lors des essais de démarrage à froid sont relatifs au pilote mécanique et portent sur le non-respect des critères relatifs aux pressions de tarage ainsi qu'à la détection de fuites internes au niveau des clapets. La résolution de ces écarts a été obtenue par un ajustement de la pression de tarage et un rodage des sièges des clapets ayant présenté des fuites.

Essais à chaud

Les essais de démarrage à chaud ont permis de valider le respect des critères associés aux débits de décharge des soupapes.

Pendant la phase de pressurisation du circuit primaire lors des essais à chaud, une fuite sur une soupape principale a été observée. EDF associe cette fuite à un effort insuffisant de l'obturateur sur son siège lors du remontage des internes de la soupape. Pour éviter le renouvellement de cette anomalie, EDF a ajouté une opération dans la procédure de remontage de la soupape afin d'assurer son étanchéité, **ce qui est satisfaisant**.

De plus, des écarts importants ont été relevés lors des essais de démarrage entre les mesures de température du bouchon d'eau obtenues par les capteurs d'exploitation et celles obtenues par les capteurs d'essais. **L'IRSN estime que la validation fonctionnelle des capteurs d'exploitation, nécessaires au calage de l'alarme de température du bouchon d'eau, devra être obtenue avant la mise en service du réacteur.**

D'autres écarts ont été observés, notamment en ce qui concerne le temps d'ouverture des soupapes, l'étanchéité d'un clapet de contrôle d'un pilote mécanique, l'étanchéité d'un pilote à solénoïdes, la course incomplète d'un autre pilote à solénoïdes et le niveau de vibrations des lignes de drain des pilotes mécaniques. Ces écarts ont fait l'objet d'une analyse et d'un traitement par EDF. De plus, au regard des différents constats et des modifications apportées aux pilotes mécaniques (cf. § 2.3), EDF s'est engagé à reprendre l'ensemble des essais fonctionnels des soupapes (hormis l'essai de débit de décharge) dans le cadre des essais à chaud restant à réaliser avant le chargement du réacteur. **L'IRSN estime cet engagement satisfaisant mais souligne l'importance de la maîtrise des modes opératoires de maintenance et d'essais ainsi que de la surveillance des fuites en exploitation.**

7. CONCLUSION

Dans le cadre de la présente expertise, l'IRSN souligne les efforts menés par EDF pour compléter sa démonstration de la capacité des soupapes de sûreté pilotées du pressuriseur à assurer l'ensemble des fonctions de sûreté qui leur sont assignées. À cet égard, l'IRSN a bien noté que, depuis sa précédente expertise, certains des critères fonctionnels associés aux soupapes ont évolué et seront intégrés dans le RDS, ce qui est satisfaisant. De plus, l'IRSN estime positives les modifications des clapets de contrôle et de remplissage des pilotes mécaniques des soupapes qui permettent de limiter le risque de CSC de ces composants. Par ailleurs, EDF s'est engagé à anticiper la transmission du PBMP des soupapes pilotées, ce qui permettra d'en évaluer la suffisance avant la mise en service du réacteur, ce qui est également satisfaisant.

Néanmoins, la présente expertise de l'IRSN ne permet pas de conclure, à ce stade, à l'obtention du niveau de fiabilité attendu des soupapes pilotées et au respect de l'ensemble des exigences qui leur sont associées au regard :

- de la caractérisation actuellement incomplète des effets de la température (avec ou sans fuite sur ces clapets) au niveau des pilotes mécaniques sur le respect des critères fonctionnels ;
- du risque d'introduction de particules dans un pilote mécanique et de ses conséquences potentielles au regard notamment de l'absence de surveillance continue en exploitation des fuites des clapets de remplissage ;
- de la complexité de la conception des pilotes rendant essentielle la maîtrise des opérations de maintenance associées ;
- des écarts observés lors des différents essais réalisés sur les boucles COLOMBUS et KOPRA, et lors des essais de démarrage.

Au regard des réserves exprimées par l'IRSN au cours de la présente expertise, EDF a pris des engagements (modélisation des effets de la température, reprise des essais de démarrage, qualification des modes opératoires de maintenance...) qui sont globalement satisfaisants. Dans l'attente des réponses d'EDF à ces derniers, l'IRSN estime que la surveillance en exploitation des soupapes devra être renforcée. En particulier, l'indisponibilité d'une soupape de sûreté du pressuriseur au sens des STE devra être prononcée dès l'atteinte d'un premier seuil d'alarme de température significative d'une fuite au niveau de son pilote mécanique. De plus, la validation fonctionnelle des capteurs d'exploitation devra être acquise avant la mise en service du réacteur.

Enfin, l'IRSN souligne que le maintien de la qualification des soupapes de sûreté pilotées du pressuriseur de l'EPR de Flamanville, qui passe notamment par la maîtrise des opérations de maintenance, est un enjeu majeur de sûreté qui devra être assuré tout au long de l'exploitation du réacteur.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Thierry PAYEN

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2022-00134 DU 30 JUIN 2022

Recommandations de l'IRSN

Recommandation N° 1 :

L'IRSN recommande qu'EDF modifie les spécifications techniques d'exploitation, dans les domaines de fonctionnement « réacteur en production » et « arrêt normal du circuit primaire refroidi par les générateurs de vapeur », afin qu'une soupape de sûreté du pressuriseur soit déclarée indisponible dès l'atteinte d'un premier seuil de température associé à une fuite sur son pilote mécanique.

Recommandation N° 2 :

L'IRSN recommande qu'EDF renforce, avant la mise en service du réacteur EPR de Flamanville, les modalités de formation (type de formation et d'habilitation, prise en compte réactive du retour d'expérience, compagnonnage, réappropriation systématique des modes opératoires avant toute intervention...) des personnels amenés à exécuter, contrôler ou surveiller les interventions sur les soupapes de sûreté du pressuriseur.

ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2022-00134 DU 30 JUIN 2022

Engagements principaux d'EDF

Engagement N° 1

EDF s'engage à caractériser par calcul l'échauffement du pilote mécanique en présence de fuites.

Engagement N° 2

Afin de compléter ses connaissances sur la robustesse du pilote mécanique en présence de fuites, EDF analysera la faisabilité d'essais fonctionnels du pilote mécanique avec des fuites calibrées sur ses différents clapets. Par ailleurs, EDF prend l'action d'intégrer les pièces de l'étage « pilote » dans la modélisation.

Engagement N° 3

EDF prévoit de transmettre le programme de base de maintenance préventive relatif aux soupapes de sûreté pilotées du pressuriseur de l'EPR FA3 à l'ASN avant le chargement du réacteur.

Engagement N° 4

EDF prendra en compte la pression d'ouverture d'une soupape de sûreté du pressuriseur à partir de sa troisième sollicitation correspondant à la pression d'ouverture nominale spécifiée augmentée de 4 bar dans la démonstration de sûreté, lors des prochaines mises à jour des chapitres du rapport de sûreté relatifs aux études d'accidents et à la soupape.

EDF prend le même engagement concernant l'ajout de la pression d'ouverture d'une soupape du pressuriseur en ambiance accidentelle dégradée (pression nominale spécifiée diminuée de 5,86 bar).

Engagement N° 5

EDF installera pendant les essais à chaud restant à réaliser avant le chargement du réacteur des capteurs d'essai auprès des pilotes mécaniques en service (3 mesures de l'ambiance) et sur les capots près des rondelles Belleville (6 mesures au contact) de chaque pilote mécanique. Les températures seront enregistrées pour les différents états de tranche requérant la disponibilité du pilote mécanique et utilisées afin de déterminer la plage de réglage de la pression de tarage à froid du pilote.

Engagement N° 6

Compte tenu des incertitudes sur l'impact thermique des faibles fuites sur le comportement du pilote mécanique, EDF a pris l'engagement de démontrer le bon fonctionnement du pilote mécanique en considérant les températures caractéristiques de la disponibilité des pilotes définies dans les STE. Les STE seront mises à jour d'ici fin 2022 et la RPC I-RCP9 avant le démarrage en fonction des résultats issus du modèle thermique en cours d'instruction en particulier sur la température du corps du pilote mécanique. Les valeurs définies dans les STE et dans la RPC I-RCP9 seront confirmées lors de la phase d'essais à chaud restant à réaliser avant le chargement du réacteur.

EDF s'engage également à réviser la RPC I-RCP9 avant le démarrage du réacteur afin que la dérive lente d'un capteur ne soit plus considérée comme un critère d'indisponibilité de la mesure.

Engagement N° 7

La règle d'essais périodiques du circuit primaire sera mise à jour après les essais de requalification d'ensemble (ERE023). Elle intégrera une plage de température ambiante à respecter lors de l'essai de tarage à froid du pilote mécanique.

Engagement N° 8

EDF mettra à jour les études d'accidents du rapport de sûreté (chapitres 15 et 19) à échéance du dossier de fin de démarrage en tenant compte des évolutions affectant les paramètres d'ouverture et de fermeture des soupapes du pressuriseur et en prenant en compte les effets cumulés de ces évolutions lorsque pertinent. De même, ces évolutions de paramètres seront considérées et prises en compte lorsque pertinent, lors des prochaines mises à jour réglementaires du dossier de protection contre les surpressions et du dossier des situations.

Engagement N° 9

Une fois rédigés, les modes opératoires applicables au démarrage autres que ceux du constructeur seront joués sur maquette ou suivis en parallèle de ceux du constructeur avant d'être utilisés sur site. EDF précise que les modes opératoires prendront en compte l'aspect risque d'introduction de corps étrangers (cet aspect est abordé pendant les formations pour sensibiliser les intervenants). Il en va de même pour les outillages spécifiques utilisés pendant les maintenances programmées et essais périodiques qui sont testés en usine ou sur maquette avant déploiement sur site. À l'instar des soupapes du parc en exploitation, les activités d'exécution, de contrôle et de surveillance des interventions de maintenance et d'essais sur les soupapes pilotées du pressuriseur de l'EPR FA3 nécessiteront des habilitations spécifiques requises à partir du chargement. EDF a mis en place trois formations qui sont dispensées en fonction du profil de l'intervenant et des interventions qui sont susceptibles de lui être confiées. À partir du chargement, pour être habilité à intervenir sur les soupapes, les intervenants (EDF ou prestataires) devront avoir suivi la ou les formations ou à défaut une validation des acquis. Il n'est pas prévu de recyclage périodique, cependant EDF précise que selon l'activité confiée et leur profil, les intervenants referont une mise en situation sur le prototype de soupape utilisé pour les essais de qualification, au plus près de l'intervention.

Engagement N° 10

EDF effectuera de manière systématique l'analyse qualitative des courbes caractéristiques des pilotes mécaniques des soupapes du pressuriseur de l'EPR FA3 lors de leurs essais périodiques de manœuvrabilité.

Engagement N° 11

En exploitation et lors des essais de démarrage, EDF mettra en place deux mesures permettant d'éviter un geste inadapté lors du démontage de l'adaptateur ISI :

- la rédaction d'une procédure de démontage détaillée en considérant le démontage de l'adaptateur comme un geste AIP¹³ ;
- la mise en place d'un contrôle technique adapté afin d'assurer le bon déroulement des opérations. En parallèle EDF réalisera une étude de faisabilité afin de déterminer si une modification matérielle de l'adaptateur ISI est réalisable et susceptible de fiabiliser son montage et son démontage.

¹³ Activité importante pour la protection des intérêts.