

Fontenay aux Roses, le 11 décembre 2020

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2020-00198

---

**Objet :** EDF - REP - Réacteurs tous paliers - Analyse des signaux faibles détectés dans la maintenance et l'exploitation des soupapes de sûreté et de leurs armoires de pilotage.

---

**Réf. :** [1] Lettre ASN/DEP - CODEP-DEP-2017-054029 du 22 décembre 2017.  
[2] Avis IRSN - 2020-00159 du 16 octobre 2020.  
[3] Arrêté du 7 février 2012 modifié faxant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base.  
[4] Guide ASN n° 21 du 6 janvier 2015.

---

### 1. INTRODUCTION

Des soupapes de sûreté équipent les circuits importants pour la sûreté des réacteurs à eau sous pression d'EDF. Certaines sont pilotées et autonomes, protégeant ces circuits contre les surpressions en utilisant l'énergie disponible dans lesdits circuits (la pression), sans avoir besoin de faire appel à une autre source d'énergie. Ces soupapes constituent des équipements essentiels à la sûreté des réacteurs en fonctionnement normal et dans un nombre important de situations accidentelles.

Pour les réacteurs de 900 MWe, 1300 MWe et 1450 MWe, ces soupapes de sûreté sont installées sur le circuit primaire principal (RCP), sur le circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA), sur le circuit de contrôle volumique et chimique (RCV), ainsi que sur le circuit des purges, événements et exhaures (RPE) uniquement pour les réacteurs de 1300 MWe de Paluel, Saint Alban et Flamanville.

Sur le circuit primaire principal, trois tandems de soupapes, disposés en parallèle, sont implantés au niveau du dôme du pressuriseur (cf. photo et schéma de principe en annexe 1).

La soupape en amont de chaque tandem est appelée soupape de protection (normalement fermée lorsque le réacteur est en production) et la soupape en aval, soupape d'isolement (normalement ouverte lorsque le réacteur est en production). Chaque soupape est associée à une armoire de pilotage déportée et reliée au pressuriseur par une ligne d'impulsion, via un ballon tampon, et à la tête de la soupape par une ligne d'asservissement. En situation incidentelle ou accidentelle, l'ouverture et la fermeture de la soupape de protection s'effectuent directement sous l'influence de la pression du fluide contenu dans le circuit primaire lorsqu'elle dépasse les seuils de pression bas et haut. Ces soupapes sont également utilisées dans certaines

situations accidentelles nécessitant une conduite dite en « gavé ouvert »<sup>1</sup>.

Conformément à la demande de l’Autorité de sûreté nucléaire (ASN) [1], l’Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné les causes de l’apparition, sur le parc nucléaire français, de signaux faibles<sup>2</sup> relatifs à des difficultés dues à la maintenance et à l’exploitation des soupapes de sûreté, ainsi qu’aux compétences des intervenants. La présente expertise de l’IRSN traite des aspects techniques, les aspects organisationnels et humains ayant déjà fait l’objet d’un avis récent de l’IRSN [2].

Les signaux faibles détectés et expertisés par l’IRSN sont liés aux constats suivants :

- la présence d’eau borée dans des armoires de pilotage des soupapes de sûreté du système RCP alors qu’un remplissage en eau « claire »<sup>3</sup>, via le circuit REA<sup>4</sup> eau, est réalisé après leur manœuvre lors d’essais périodiques, au redémarrage des réacteurs ;
- des dysfonctionnements de robinets R1 et R2<sup>5</sup> situés dans les armoires de pilotage, générant des fuites d’eau borée et la présence de bore sec en bout de la ligne d’écoulement (et dans la gatte de récupération), observés notamment au redémarrage des réacteurs ;
- des dérives des valeurs de pression de tarage au niveau des têtes de détection dans les armoires de pilotage ;
- des modifications de pièces sensibles des armoires de pilotage ;
- des écarts d’installation des châssis et des armoires de pilotage, pouvant remettre en cause leur tenue mécanique et donc le fonctionnement des soupapes, en cas de séisme.

## 2. PRÉSENCE D’EAU BORÉE DANS LES ARMOIRES DE PILOTAGE

Les armoires de pilotage des soupapes de sûreté du circuit RCP ont été initialement qualifiées pour opérer en eau « claire », filtrée et sans impureté, aux conditions de fonctionnement du circuit primaire RCP. Cependant, EDF a constaté que, sur tous les réacteurs du parc en fonctionnement et après chaque arrêt pour renouvellement du combustible, de l’eau borée était présente dans ces armoires à une concentration en bore dissout égale à la concentration en bore du circuit primaire en début de cycle. Pourtant, à chaque arrêt de réacteur, après les vérifications des pressions de tarage des soupapes de sûreté<sup>6</sup> ou de toutes autres interventions ayant entraîné une ouverture de circuit, un remplissage en eau « claire » et un éventage des lignes de commande hydraulique sont réalisés.

---

<sup>1</sup> La conduite en « gavé-ouvert » permet l’évacuation de la puissance résiduelle par l’ouverture forcée de la soupape de protection et l’injection d’eau froide dans le cœur via le circuit d’injection de sécurité.

<sup>2</sup> Un signal faible est une information d’alerte précoce, de faible gravité, pouvant être annonciatrice d’une tendance ou d’un événement important.

<sup>3</sup> Eau « claire » : eau non-borée provenant, pour le circuit primaire, du circuit REA-Eau.

<sup>4</sup> REA : circuit d’appoint d’eau et de bore.

<sup>5</sup> Robinets R1 et R2 : distributeurs micromécaniques composés, pour réaliser leur étanchéité, d’une bille en rubis, de deux tiges poussoir (de décharge et de rappel), de joints dynamiques et d’un ressort de rappel. Ces robinets sont disposés dans le bloc de pilotage de l’armoire de pilotage de la soupape. Ils sont actionnés par une came solidaire de la tige de commande de la tête de détection ayant comme mission fondamentale d’assurer l’ouverture et la fermeture de la soupape.

<sup>6</sup> Cette opération nécessite la déconnexion de la ligne d’impulsion de l’armoire de pilotage.

## 2.1. ORIGINE DE LA PRÉSENCE D'EAU BORÉE DANS LES ARMOIRES DE PILOTAGE DU CIRCUIT RCP

Au cours de l'expertise, EDF n'a pas apporté d'explication quant à la présence d'eau borée dans les armoires de pilotage, cette présence d'eau borée étant en écart par rapport aux conditions de qualification initiale des soupapes de sûreté.

Pour l'IRSN, les ballons tampon qui alimentent les armoires de pilotage des soupapes de sûreté contiennent de l'acide borique très concentré au démarrage du réacteur, dès le remplissage du circuit primaire. En effet, après un arrêt pour renouvellement du combustible, la mise sous vide du circuit primaire, réalisée depuis le haut du pressuriseur, peut conduire au mélange de l'eau borée provenant du circuit primaire par les lignes d'impulsion avec l'eau « claire » déjà contenue dans les ballons tampon.

L'IRSN estime que cette situation présente un risque de dysfonctionnement de ces armoires en eau borée, dû notamment par une possible obstruction liée à la présence de cristaux de bore agglomérés au sein des tuyauteries de commande hydraulique des soupapes. Ces cristaux de bore pourraient aussi migrer et rendre inopérant un des deux robinets R1 ou R2. Cette situation peut conduire, en situation accidentelle, durant d'éventuelles sollicitations de soupapes, à une utilisation directe, par l'armoire de pilotage, d'eau borée à forte concentration. Ainsi, l'IRSN considère qu'EDF doit identifier les causes de la présence d'eau borée dans les armoires de pilotage des soupapes de sûreté du circuit RCP. **Sur ce sujet, EDF a pris l'engagement n° 1 rappelé en annexe 3. Toutefois, l'IRSN considère cet engagement insuffisant.** En effet, EDF envisage de mettre en œuvre une démarche pour identifier les causes de cette présence d'eau borée que sur un seul réacteur de la centrale nucléaire de Civaux (réacteur de 1450 MWe). Or l'IRSN considère que cette démarche doit être étendue à des réacteurs de 900 MWe et 1300 MWe, dont les circuits primaires peuvent avoir des configurations et conditions de fonctionnement thermohydrauliques différentes. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 1 de l'annexe 2.**

## 2.2. QUALIFICATION EN EAU BORÉE DES ARMOIRES DE PILOTAGE DU CIRCUIT RCP

Dans l'attente d'une éventuelle solution permettant d'éviter la présence d'eau borée dans les armoires de pilotage (cf. § 2.1), l'IRSN estime que le risque de dysfonctionnement de ces armoires de pilotage RCP en eau borée ne peut être écarté.

EDF a indiqué qu'il avait réalisé des essais de fonctionnement en eau borée en 1981 sur une armoire de pilotage du système RRA de technologie similaire à celle des armoires du circuit RCP. Pour EDF, ces essais ont permis de valider le bon comportement de ces matériels en présence d'eau borée. Cependant, l'IRSN considère que les conditions d'essais, retenues par EDF, pour cette armoire connectée au circuit RRA (soit une température de 20 °C et une pression de 40 bar), ne sont pas représentatives des conditions thermohydrauliques du circuit primaire en fonctionnement normal (température d'environ 350 °C et pression de 155 bar) ou en cas d'accident. Or l'utilisation d'eau borée pour commander l'hydraulique des soupapes de protection du circuit primaire nécessite une qualification fonctionnelle dans toutes les situations de fonctionnement d'un réacteur. Les résultats de ces essais ne peuvent donc pas être considérés comme représentatifs d'une qualification en bonne et due forme.

Cependant, EDF considère que les conditions de pression et de température des essais réalisés sur l'armoire de pilotage du système RRA sont plus défavorables eu égard à la faible solubilité du bore pouvant conduire à l'apparition de cristaux de bore. Selon EDF, la qualification des armoires de pilotage RCP n'est donc pas remise en cause. Néanmoins, il prévoit de réaliser un complément d'essais de qualification. **Ce point fait l'objet de l'engagement n° 2 d'EDF rappelé en annexe 3. L'IRSN considère cet engagement satisfaisant.**

### 2.3. INÉTANCHÉITÉS DÉTECTÉES PAR DES TRACES DE BORE DANS LES ARMOIRES DE PILOTAGE DU CIRCUIT RCP

Compte-tenu de la présence d'acide borique dans les armoires de pilotage des soupapes de sûreté du circuit primaire, des traces de bore externes sur des organes dans les armoires de pilotage sont observées régulièrement sur les réacteurs du parc depuis plusieurs années. Ces traces de bore sont observées également dans les armoires de pilotage des soupapes des circuits RRA et RCV. Les légères fuites à l'origine de ces traces de bore proviennent d'inétanchéités des circuits hydrauliques. L'IRSN considère que la présence de bore solide, consécutif à l'évaporation d'eau borée dans des petits volumes de circuit de l'armoire de pilotage, présente un risque de bouchage des tuyauteries ou de colmatage des orifices de petit diamètre percés des robinets R1 et R2.

Pour l'IRSN, les opérations d'éventage/remplissage de l'armoire de pilotage avec de l'eau « claire », réalisées après les vérifications des pressions de tarage des soupapes, au cours des arrêts pour renouvellement du combustible, ne permettent pas de remplacer complètement l'eau borée par de l'eau « claire ». L'IRSN estime que ce volume résiduel d'eau borée déjà présent dans les armoires de pilotage avant le démarrage du réacteur, peut avoir un impact sur le maintien de la capacité fonctionnelle des soupapes dans toutes les situations de fonctionnement du réacteur. De ce fait, l'IRSN estime nécessaire qu'une solution soit étudiée et mise en œuvre en arrêt de réacteur pour limiter l'apparition de toutes traces de bore dans les armoires de pilotage. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 2 en annexe 2.**

À cet égard, un rinçage interne complet des armoires de pilotage (soupapes de protection et d'isolement) avec de l'eau « claire » du circuit REA-eau, à chaque arrêt de réacteur et après les vérifications des pressions de tarage des soupapes de sûreté, pourrait être envisagé.

### 3. IMPACT DE DEUX MODIFICATIONS RÉALISÉES SUR LES INTERNES DES ROBINETS R1 ET R2 DANS LES ARMOIRES DE PILOTAGE

Des fuites des robinets R1 et R2 des blocs de commande des armoires de pilotage des soupapes de sûreté sont régulièrement constatées sur le parc. Ces fuites, pouvant parfois être accompagnées de traces de cristaux de bore en sortie des lignes de vidange des armoires de pilotage, ont conduit à de nombreuses activités de maintenance fortuites.

En 2017, à la suite d'un nombre important d'aléas techniques de ce type sur ces robinets, EDF a engagé une campagne de sécurisation de ces robinets. À cet égard, EDF a lancé une expertise pour déterminer les causes des inétanchéités constatées et pour caractériser les éventuels défauts sur des robinets prélevés sur site, afin de définir d'éventuelles améliorations. Après ces premières investigations, des expertises et des essais supplémentaires sur des robinets R1 et R2 neufs, en vue de fiabiliser la fourniture et leur exploitation, ont été engagés par EDF avec le fabricant.

Cependant, l'IRSN a constaté que, ces dernières années, deux modifications avaient été réalisées par le fabricant des soupapes au niveau des internes des robinets R1 et R2. Ces modifications, validées par EDF, portent sur le changement de la matière des joints d'étanchéité et la géométrie du ressort.

Ayant analysé l'impact de ces modifications sur le fonctionnement de ces robinets, l'IRSN estime que le bilan des efforts en présence a été modifié, ce qui pourrait expliquer des inétanchéités constatées sur le parc. De ce fait, l'IRSN estime qu'EDF doit compléter ses expertises par une étude de la cinématique des efforts, afin de juger de l'impact des modifications de la matière des joints d'étanchéité et de la géométrie du ressort des internes des robinets R1 et R2. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 3 en annexe 2.**

## 4. DÉRIVES EXCESSIVES DES VALEURS DE PRESSION DE TARAGE DES TÊTES DE DÉTECTION

### 4.1. CONSTATS SUR SITE DE DÉRIVES EXCESSIVES DES VALEURS DE PRESSION DE TARAGE

La tête de détection d'une armoire de pilotage permet d'assurer la commande hydraulique autonome d'une soupape de sûreté. Le tarage préalablement réalisé de la tête de détection doit garantir une ouverture et une fermeture de la soupape aux valeurs de pressions de tarage prescrites. Il s'avère cependant que des dérives excessives des valeurs de pressions de tarage de tête de détection sont constatées sur site, lors de leur vérification à chaque arrêt du réacteur pour renouvellement du combustible. Ces dérives peuvent conduire à des dépassements supérieurs à un bar, entre la valeur du contrôle de tarage en cours de réalisation et la valeur précédente de l'arrêt précédent.

L'expertise de certaines de ces têtes de détection a révélé des défauts d'étanchéité irréversibles (présence d'eau dans l'inter-joint et rayure sur le piston) qui peuvent générer des dérives encore plus importantes pendant le cycle suivant, si aucune action de remise en conformité n'est réalisée.

Pour l'IRSN, ces dérives ne sont pas acceptables car elles peuvent conduire à atteindre des valeurs d'ouverture et de fermeture des soupapes incompatibles avec les hypothèses prises dans les études d'accidents. À cet égard, EDF a proposé une modification permettant d'améliorer l'étanchéité de la tête de détection, portant sur le design de la chemise et du piston (cf. § 4.2). Son déploiement sur les sites a débuté en juin 2020. **L'IRSN considère que, dans le principe, cette modification est satisfaisante, mais qu'il est nécessaire d'attendre au moins un cycle d'exploitation pour en tirer tous les enseignements.**

### 4.2. JOINT BAL SEAL® DANS LES TÊTES DE DÉTECTION

Une tête de détection (ancienne ou nouvelle génération) est constituée d'un piston coulissant dans une chemise. À chaque extrémité du piston, un joint Bal Seal® autoclave, constitué d'un ressort à spires, permet de garantir l'étanchéité et la translation dans la chemise. Cette étanchéité est obtenue par l'effort du ressort et par le plaquage de la lèvre de chacun des deux joints dans la chemise dû à la pression de l'eau du circuit primaire.

EDF considère que toutes les actions réalisées sur les détecteurs pilotes et soupapes de sûreté (approvisionnement, essais en usine, révisions en atelier spécialisé, essais de qualification, maintenance, essais sur site, etc.) sont suffisantes pour contrôler le bon comportement de ces joints, même si leur étanchéité n'est pas mesurée individuellement à leur réception et avant leur montage.

L'IRSN estime qu'à basse pression, ces joints autoclaves, non suffisamment étanches, peuvent conduire à l'introduction d'eau dans l'espace inter-joints et par la même, modifier le point de tarage des soupapes de sûreté.

Afin de s'affranchir d'une possible modification des caractéristiques des joints Bal Seal® des têtes de détection et de s'assurer de l'absence de dérive de leur performance fonctionnelle, l'IRSN considère que des vérifications d'étanchéité des joints Bal Seal® doivent être réalisés par échantillonnage, lors de leur approvisionnement. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 4 en annexe 2.**

## 5. MODIFICATIONS MAJEURES DE PIÈCES SENSIBLES DES SOUPAPES ET DES ARMOIRE DE PILOTAGE

Dans le cadre de l'expertise, EDF a présenté l'ensemble des modifications majeures<sup>7</sup> réalisées sur les soupapes de sûreté (soupape et armoire de pilotage) depuis dix ans. Après analyse de ces modifications, l'IRSN estime que la modification réalisée sur le ressort interne des robinets R1 et R2 de commande des soupapes de sûreté (cf. § 3), classée mineure<sup>8</sup> par EDF et le constructeur, aurait dû être classée majeure. En effet, cette modification contribue à modifier directement des paramètres sensibles garant du bon fonctionnement de ces robinets. De ce fait, cette modification peut remettre en cause la qualification des robinets R1 et R2.

N'envisageant pas d'adaptation spécifique du processus afférent aux modifications matérielles aux soupapes de sûreté, EDF souhaite traiter avec le constructeur le thème du classement des modifications techniques, ainsi que leurs retours d'expérience, à l'occasion des prochaines réunions techniques périodiques. **Ce point fait l'objet de l'engagement n° 3 d'EDF rappelé en annexe 3. L'IRSN estime cet engagement satisfaisant.**

Toutefois, l'IRSN souligne que, depuis la qualification initiale des soupapes réalisée en 1989-1990, de nombreuses modifications matérielles mineures et majeures (323 au total) ont été implantées. Bien que le constructeur ait conclu, en mai 2020, sur le fait que l'ensemble de ces modifications n'a pas d'impact sur la qualification initiale, et qu'EDF ait validé cette conclusion, l'IRSN estime qu'une telle affirmation ne peut être formulée sans un minimum d'essais pour l'étayer. En ce sens, l'essai de qualification de l'armoire de pilotage en eau borée dans des conditions de fonctionnement du circuit primaire (Cf. Engagement n° 2 en annexe 3) devrait permettre de valider les modifications. Toutefois, conformément au titre II de l'arrêté INB [3], l'IRSN rappelle qu'EDF doit veiller à préserver des capacités techniques suffisantes afin d'avoir un regard critique sur les modifications matérielles proposées par le constructeur, lui permettant de garder le contrôle des modifications matérielles implantées sur les soupapes de sûreté et leurs armoires de pilotage.

## 6. GUIDE DE RÉPARATION DES ARMOIRES DE PILOTAGE

La fonction assurée par les armoires de pilotage (ou détecteurs) des soupapes de sûreté des circuits RCP, RCV et RRA porte un requis d'opérabilité en cas de séisme et l'ensemble châssis-détecteur fixé au génie civil possède une qualification aux conditions accidentelles, démontrée notamment par des essais sur table vibrante.

Cependant, en 2015, EDF a observé sur certains réacteurs du parc, des modifications de châssis des armoires de pilotage des soupapes de sûreté (découpes par exemple), afin de permettre le passage des tuyauteries d'impulsion et d'asservissement et de les connecter correctement sur les armoires. Ces modifications structurelles peuvent remettre en question, en cas de séisme, la tenue mécanique des châssis, le fonctionnement des armoires et donc des soupapes. De ce fait, EDF a engagé une instruction nationale pour cadrer les contrôles à réaliser sur tous les sites, caractériser les différents désordres détectés et établir une stratégie de traitement des écarts relevés.

En 2016, EDF a également identifié des risques d'interaction, en cas de séisme, des lignes d'asservissement et d'impulsion avec les ensembles châssis-armoire de pilotage et l'environnement proche de ces lignes. À cet égard, EDF a réalisé une étude permettant de déterminer une distance minimale garantissant l'absence d'interaction entre les lignes de tuyauterie et un élément de la structure.

<sup>7</sup> Modification majeure : selon le référentiel EDF en vigueur, une modification matérielle est classée majeure si elle est susceptible de remettre en cause la qualification initiale, si elle affecte l'interchangeabilité du matériel ou de l'un de ses éléments constitutifs ; dans ce cas, cette modification nécessite systématiquement l'approbation d'EDF. Toutes les autres modifications sont classées mineures.

<sup>8</sup> Modification mineure : modification matérielle du constructeur sans impact fonctionnel majeur et ne nécessitant pas l'approbation d'EDF.

Par ailleurs, les services centraux d'EDF ont émis, en 2018, un premier guide de réparation, afin d'aider les sites à analyser et caractériser les différentes typologies de constats rencontrés et à résorber les écarts nocifs pour le fonctionnement des soupapes de sûreté en toutes conditions de fonctionnement du réacteur. L'échéance de remise en conformité des constats relevés sur site a été fixé par l'ASN au plus tard le 30 juin 2021, ce qui correspond à un délai de traitement de type B2 au titre du guide n° 21 de l'ASN [4].

## 6.1. ANALYSE DE LA NOTE DE CALCUL DE FLEXIBILITÉ

Sans refaire d'essais sismiques représentatifs, EDF a justifié par un calcul dynamique, qu'une distance minimale de 15 mm permettait de garantir une non-interaction des lignes d'asservissement et d'impulsion avec les ensembles châssis-armoire de pilotage et l'environnement proche de ces lignes. Néanmoins, pour l'IRSN, EDF ne prend pas en compte certains éléments qui pourraient remettre en cause les conclusions de son étude.

En effet, EDF se limite à un calcul de tenue au séisme majoré de sécurité (SMS) alors que le détecteur et la soupape font partie du noyau dur (ND) post-Fukushima. L'IRSN considère donc que la distance minimale de 15 mm, qui garantit l'absence d'interaction entre les lignes de tuyauterie et un élément de la structure, pourrait être remise en cause en cas de séisme noyau dur (SND<sup>9</sup>).

De plus, dans les calculs des déplacements des tuyauteries présentes à proximité des armoires de pilotage des soupapes de sûreté, EDF fait une hypothèse de raideur infinie des supportages dans son modèle, ce qui peut avoir des conséquences directes sur la flexibilité des lignes, alors que dans la pratique, ces supportages ont une raideur finie qu'il convient d'évaluer par le calcul ou la mesure.

Enfin, l'étude réalisée par EDF ne concernait que les réacteurs de 900 et 1300 MWe.

À l'issue de l'expertise, EDF s'est engagé à reprendre la note de calcul de flexibilité pour tous les paliers, afin de vérifier la tenue des soupapes de sûreté (et de leur armoire de pilotage) au SND.

**Ce point fait l'objet de l'engagement n° 4 d'EDF rappelé en annexe 3. L'IRSN considère cet engagement satisfaisant.**

## 6.2. ANCRAGE DES CHÂSSIS DES ARMOIRES DES SOUPAPES DE SÛRETÉ

Les châssis des armoires de pilotage des soupapes de sûreté sont fixés par des chevilles métalliques à expansion dans le béton des voiles verticaux, notamment pour les soupapes du circuit RCP, et également au sol pour les soupapes des autres circuits (selon la puissance du réacteur). Le programme de base de maintenance préventive (PBMP) d'EDF relatifs aux ancrages demande de réaliser, tous les 10 ans, des contrôles visuels généraux et détaillés de ces ancrages, ainsi que la vérification de leur scellement avec un taux de sondage de 5 %.

Dans le cadre de l'affaire nationale relative aux châssis et armoires des soupapes de sûreté, les services centraux d'EDF ont demandé aux sites de réaliser sous cinq ans, dans le cadre d'un point « zéro », les contrôles des ancrages des châssis des armoires de pilotage des soupapes de sûreté de tous les réacteurs du parc, selon le PBMP. Cependant, l'IRSN a constaté, à l'occasion de certains arrêts de réacteurs en 2019 et 2020, que des écarts d'ancrage et d'intégrité de châssis n'avaient pas été détectés lors de précédents contrôles ciblés au titre de cette affaire nationale. Ainsi, l'IRSN estime que les contrôles d'ancrage et d'intégrité des châssis des armoires, réalisés dans le cadre de l'affaire nationale d'EDF, ne sont pas assez robustes. **Ce point fait l'objet de l'engagement n° 5 d'EDF rappelé en annexe 3.**

---

<sup>9</sup> SND (séisme noyau dur) : séisme extrême pris en compte pour le noyau dur des installations, défini après l'accident de Fukushima-Daiichi.

Enfin, l'IRSN considère que la vérification du scellement de la totalité des ancrages doit être réalisée de façon exhaustive au titre du point « zéro » et non avec un taux de sondage de 5 % comme le demande le PBMP. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 5 en annexe 2.**

### **6.3. CONTACTS CONTRAINTS DU CÂBLE LINÉIQUE DE COMMANDE DES ÉLECTROAIMANTS AVEC SON ENVIRONNEMENT**

Les fonctions de protection contre les surpressions à froid (primaire monophasique) et d'évacuation de la puissance résiduelle par la conduite dite en « gavé- ouvert » nécessitent une ouverture forcée des soupapes de sûreté du circuit primaire. Celle-ci est réalisée grâce à un électro-aimant (EA) qui, en actionnant la tige de commande de chacune des armoires de pilotage, permet d'ouvrir le robinet R2. La tête de soupape est alors dépressurisée, ce qui provoque l'ouverture de la soupape de protection, quel que soit la pression dans le circuit primaire. Afin de fiabiliser cette ouverture forcée, l'EA a fait l'objet d'une modification nationale (déjà déployée sur les paliers 900 MWe et 1450 MWe, en cours de déploiement sur le palier 1300 MWe). Elle consiste, pour toutes les soupapes du circuit primaire, à remplacer l'EA d'origine, fixé à l'armoire de pilotage, par un nouvel EA déporté et fixé sur le génie civil du voile vertical, dans un proche environnement de l'armoire. Une commande à distance de type commande à billes (ou câble linéique), ayant une configuration pendulaire, relie maintenant l'EA à l'armoire de pilotage. Pour garantir son bon fonctionnement, le câble de commande à billes, dont la conception est techniquement complexe, fait l'objet de contrôles visuels à chaque arrêt de réacteur.

Cependant, dans le cadre de différentes inspections, en 2018 et 2019, il a été constaté que certains de ces câbles de commande étaient en contacts contraints avec le sol, ce qui pouvait générer, dans certains cas, leur aplatissement jusqu'à quelques dizaines de centimètres. Cette configuration anormale empêche le libre mouvement du câble linéique. En outre, la déformation de ces câbles de part et d'autre de la partie aplatie modifie leur rayon de courbure.

L'IRSN estime que le câble de commande à billes, avec ou sans protection externe hélicoïdale<sup>10</sup>, ne doit faire l'objet d'aucun contact contraint avec son environnement, afin qu'il assure pleinement son rôle de commande de manœuvre de la soupape dans toutes les situations de fonctionnement du réacteur, en particulier en cas de séisme et d'accident grave. Sur ce point, EDF a indiqué que le contrôle périodique des câbles linéiques de commande des électroaimants avait été intégré dans les PBMP applicables aux soupapes de sûreté. Néanmoins, l'IRSN estime que ce contrôle prescrit est insuffisant dans la mesure où il ne prend pas en compte toutes les situations pouvant conduire à un contact entre le câble linéique et son environnement. En effet, la qualification initiale de ce câble linéique, qui est inétanche par conception, portait sur une configuration pendulaire sans contact et avec un rayon de courbure continu. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 6 en annexe 2.**

Par ailleurs, eu égard aux situations accidentelles, l'IRSN considère que les câbles de commande à billes devraient être protégés des débris transportés par l'eau circulant dans le bâtiment réacteur. En effet, dans ces conditions, les câbles de commande peuvent subir une agression modifiant leur rayon de courbure et ainsi remettre en cause le fonctionnement de l'électroaimant nécessaire à la manœuvre la soupape via son armoire de pilotage. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 7 en annexe 2.**

### **6.4. NOUVEAUX CONSTATS DÉTECTÉS DEPUIS L'ÉMISSION DU GUIDE DE RÉPARATION ET PÉRENNISATION DES CONTRÔLES**

L'IRSN constate que certains contrôles, réalisés en 2019 et 2020, donc après l'émission du guide de réparation, ont permis de mettre en évidence, sur des réacteurs du parc, de nouveaux constats relatifs à des ancrages de châssis et armoires de pilotage, nécessitant une réparation, alors que les contrôles de l'intégrité de ces

<sup>10</sup> Protection externe hélicoïdale : gaines de matière type « plastique souple » de protection des câbles linéique reliant une armoire de pilotage du circuit RCP et son électroaimant déporté.



équipements avaient déjà été réalisés. L'IRSN constate que ces constats relatifs à des anomalies d'ancrage des châssis et armoires de pilotage, qui ont conduit à des remises en conformité par EDF, trouvent leur origine dans l'imprécision des contrôles demandés par le guide de réparation.

En outre, pour tous les constats d'interaction avec l'environnement des lignes d'impulsion et d'asservissement relevés initialement avec des réglets, de nouveaux contrôles plus précis avec des jeux de cales de mesure ont été prescrits en 2020 par les services centraux d'EDF. Cette méthode de mesure plus précise a permis de détecter de nouveaux écarts qui ont parfois conduit à une remise en conformité. Or cette méthode de mesure plus précise n'est pas prise en compte dans le guide de réparation d'EDF.

De ce fait, l'IRSN estime que l'ensemble des contrôles d'interaction des lignes d'impulsion et d'asservissement avec l'environnement doivent être pérennisés, afin de sécuriser dans le temps le fonctionnement des soupapes de sûreté (soupape et armoires de pilotage). À ce titre, EDF devra intégrer les exigences techniques correspondantes dans un prescriptif adapté. **Ces points font l'objet de la recommandation n° 8 en annexe 2.**

## **6.5. POSITIONNEMENT GÉOMÉTRIQUE DES LIGNES D'ÉVACUATION D'EAU BORÉE D'UNE ARMOIRE DE PILOTAGE PAR RAPPORT À LA GATTE DE RÉCUPÉRATION**

L'IRSN a constaté que le guide de réparation d'EDF ne prenait pas en compte le positionnement géométrique de la ligne d'évacuation d'eau borée d'une armoire de pilotage par rapport à la gatte de récupération et à sa grille positionnée en partie supérieure. En effet, les amas de bore constatés sur la grille de la gatte et sur l'embout de la ligne d'évacuation montrent l'importance de la distance de l'embout d'une ligne d'évacuation par rapport à la grille, eu égard au risque d'obstruction de la tuyauterie par le bore, lors d'une ouverture du robinet R1 ou R2. L'obstruction de cette ligne pourrait notamment empêcher l'ouverture de la soupape de protection qui serait sollicitée en situation accidentelle. **Ce point fait l'objet de l'engagement n° 6 d'EDF rappelé en annexe 3. L'IRSN considère cet engagement satisfaisant.**

## **6.6. RENFORCEMENT DES LIAISONS PAR RACCORDS BANJO® DES LIGNES D'IMPULSION CONNECTÉES AUX ARMOIRES DE PILOTAGE**

Les raccords Banjo® situés au niveau des connexions des lignes d'asservissement sur les têtes des soupapes de sûreté sont équipés d'étriers de maintien. En revanche, les raccords Banjo® situés au niveau des connexions des lignes d'impulsion des armoires de pilotage n'en possèdent pas. Ainsi, pour l'IRSN, en cas de séisme, les mouvements des lignes d'impulsion et d'asservissement pourraient conduire à perdre l'intégrité des connexions des raccords Banjo® (embout de chacune des deux lignes) reliés à l'armoire de pilotage par des vis.

De façon générale, l'IRSN estime que la mise en place d'étriers joue un rôle fonctionnel important par rapport à la reprise des efforts dynamiques des lignes de commande hydraulique, notamment sous séisme. Par ailleurs, des étriers seraient nécessaires sur les connexions des raccords Banjo® des lignes d'impulsion des armoires de pilotage, d'autant plus que ces raccordements sont fragilisés par les déconnexions et reconnexions successives des lignes d'impulsion, nécessaires à chaque arrêt de réacteur pour effectuer les opérations de tarage des soupapes de sûreté. **Ce point fait l'objet de l'engagement n° 7 d'EDF rappelé en annexe 3. L'IRSN considère cet engagement satisfaisant.**

## 7. CONCLUSION

Dans le cadre de la saisine de l'ASN, l'IRSN a expertisé les éléments présentés par EDF, relatifs aux signaux faibles liés à la maintenance et à l'exploitation des soupapes de sûreté (soupapes et armoires de pilotage) des circuits RCP, RCV, RRA et RPE des réacteurs en exploitation de 900, 1300 et 1450 MWe.

Pour chaque anomalie identifiée, EDF a d'ores déjà mis en place des actions correctives ou, au plus tard, avant la fin de l'année 2022.

L'IRSN considère satisfaisantes les solutions déjà en place et les engagements pris par EDF au cours de l'expertise, rappelés en annexe 3. En particulier, le complément de qualification destiné à apporter la démonstration du bon fonctionnement en eau borée des armoires de pilotage des soupapes de sûreté permettra de conforter la qualification des soupapes et, le cas échéant, d'identifier les modifications nécessaires.

Enfin, bien que les bilans d'exploitation des soupapes de sûreté et des armoires de pilotage n'aient mis en exergue aucune anomalie majeure, au cours de ces dernières années, l'analyse des signaux faibles a néanmoins conduit l'IRSN à formuler un certain nombre de recommandations en annexe 2, dans l'objectif d'atteindre un très haut niveau de fiabilité des soupapes de sûreté et de leurs armoires de pilotage.

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

## ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2020-00198 DU 11 DÉCEMBRE 2020

### Photo et schéma de principe des tandems de soupapes de sûreté du circuit primaire principal

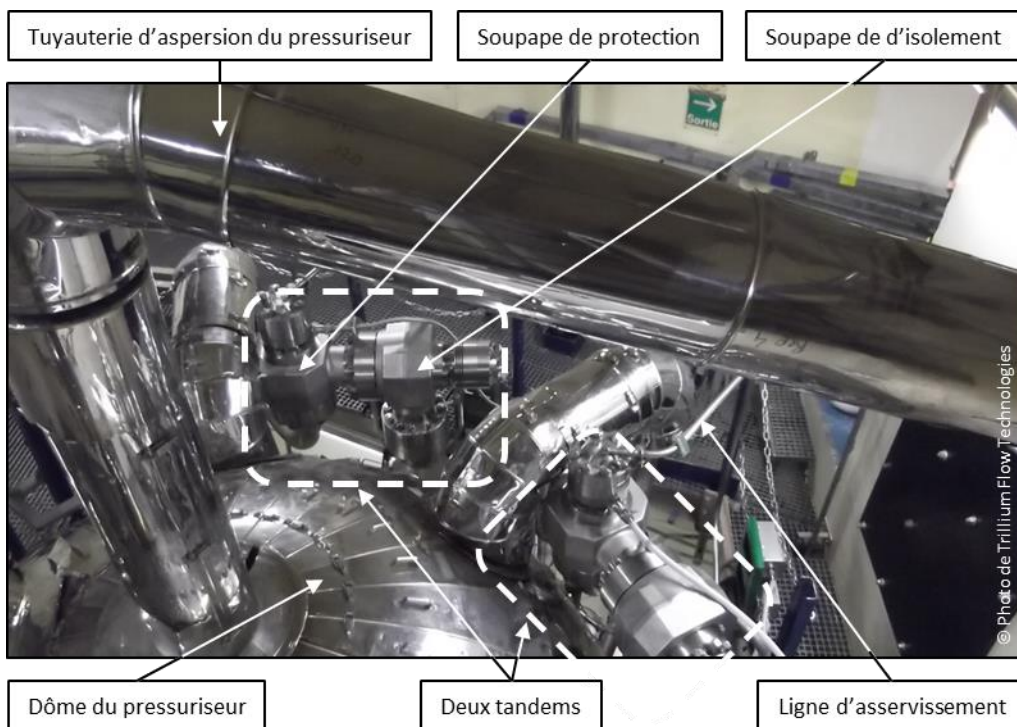
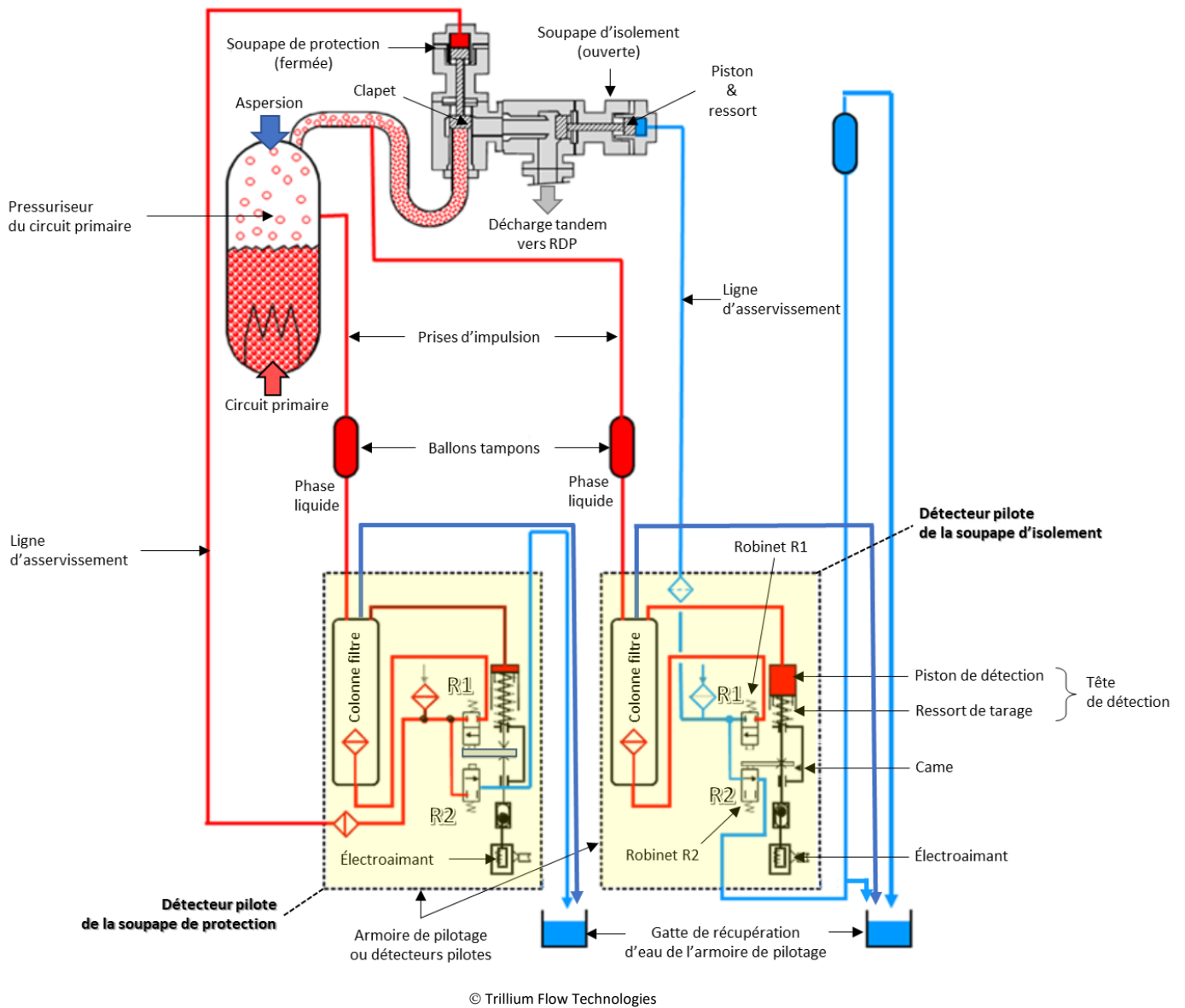


Photo de deux tandems de soupapes de sûreté (sur trois au total) du circuit primaire principal (RCP),  
implantés sur le dôme du pressuriseur d'un réacteur nucléaire de 900 MWe d'EDF



**Schéma de principe d'un tandem de soupapes de sûreté du circuit primaire principal (réacteur en fonctionnement normal)**

## ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2020-00198 DU 11 DÉCEMBRE 2020

### Recommandations de l'IRSN

#### Recommandation n° 1

Afin d'identifier les causes de la présence d'eau borée dans les soupapes de sûreté du circuit primaire principal, l'IRSN recommande que la démarche d'investigation proposée par EDF sur un réacteur de 1450 MWe soit étendue à des réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe, afin de prendre en compte toutes les configurations et conditions de fonctionnement thermohydrauliques des circuits primaires du parc.

#### Recommandation n° 2

Afin d'éviter tout dysfonctionnement de manœuvre des soupapes de sûreté du circuit primaire en toutes conditions de fonctionnement du réacteur, l'IRSN recommande qu'une solution soit étudiée et mise en œuvre pour limiter l'apparition de toutes traces de bore dans les armoires de pilotage.

#### Recommandation n° 3

Compte tenu des modifications effectuées relatives à la matière des joints d'étanchéité et à la géométrie du ressort, l'IRSN recommande qu'EDF réalise une étude de la nouvelle cinématique des efforts de commande du poutreau pousseur au sein des robinets hydrauliques R1 et R2, en considérant l'impact de la température.

#### Recommandation n° 4

Afin de s'affranchir d'une possible modification des caractéristiques des joints Bal Seal® des têtes de détection et de s'assurer de l'absence de dérive de leur performance fonctionnelle, l'IRSN recommande que des vérifications d'étanchéité des joints Bal Seal® soient réalisés par échantillonnage, lors de leur approvisionnement.

#### Recommandation n° 5

L'IRSN recommande qu'EDF s'assure que les contrôles du scellement des ancrages par chevilles des châssis des armoires de pilotage des soupapes de sûreté de tous les systèmes, décrits dans les programmes de base de maintenance préventive relatifs aux ancrages, demandés sous cinq ans, ont été effectués de manière exhaustive au titre d'un point « zéro » et conformément aux règles de l'art.

#### Recommandation n° 6

L'IRSN recommande qu'EDF vérifie, sur tous les réacteurs ayant intégré la modification relative au nouvel électroaimant des armoires de pilotage des soupapes de sûreté du circuit primaire, que les câbles linéiques de commande de ces électroaimants, avec ou sans gaine de protection hélicoïdale, ne subissent aucun contact contraint avec leur environnement. Des critères tangibles et pertinents devront être élaborés pour définir la nature d'un contact contraint. Le cas échéant, ces contacts devront être supprimés.

### **Recommandation n° 7**

L'IRSN recommande qu'EDF justifie que, en situations accidentelles, des débris ne puissent pas agresser les câbles linéiques des armoires de pilotage des soupapes de sûreté du circuit primaire principal et modifier leur rayon de courbure. Le cas échéant, l'IRSN recommande que, en fonction de la localisation des armoires de pilotage, les câbles de commande des électroaimants soient protégés afin de maintenir leur capacité fonctionnelle en situations accidentelles.

### **Recommandation n° 8**

L'IRSN recommande qu'EDF s'assure que le retour d'expérience relatif aux constats d'anomalies d'ancrage de châssis et armoires de pilotage, détectés en 2019 et 2020, et aux nouveaux moyens de mesures (jeux de cales) utilisés récemment pour caractériser les distances d'interaction des lignes d'impulsion et d'asservissement avec leur environnement, soit pris en compte par tous les sites. Le cas échéant, EDF devra effectuer les remises en conformité qui s'imposent.

Par ailleurs, l'IRSN recommande que tous les contrôles indiqués dans le guide de réparation, concernant les interactions des lignes d'impulsion et d'asservissement avec leur environnement proche de l'armoire de pilotage, soient pérennisés dans un prescriptif adapté, afin de sécuriser dans le temps le fonctionnement des soupapes de sûreté.

## ANNEXE 3 À L'AVIS IRSN N° 2020-00198 DU 11 DÉCEMBRE 2020

### Engagements d'EDF

#### Engagement n° 1

EDF s'engage à poursuivre ses investigations pour permettre d'identifier les causes de la présence d'eau borée dans les soupapes de sûreté du circuit primaire. Des prélèvements seront ainsi réalisés dans les armoires de pilotage du circuit primaire à différentes étapes de l'arrêt de 2020 du réacteur n° 1 de la centrale de Civaux. En fonction des résultats de ces investigations, EDF s'engage à proposer, dans la mesure du possible, une solution afin d'éviter la présence de cette eau borée dans les armoires de pilotage. L'échéance de la mise en œuvre de la solution de traitement retenue est, à ce jour, fixée à septembre 2021.

#### Engagement n° 2

EDF s'engage à réaliser un complément d'essais de qualification destiné à apporter la démonstration du bon fonctionnement en eau borée des armoires de pilotage des soupapes de sûreté du système RCP, dans toutes les conditions de fonctionnement du réacteur. EDF prévoit une remise du rapport de qualification pour décembre 2022.

#### Engagement n° 3

EDF s'engage à traiter avec le constructeur des soupapes de sûreté le thème du classement des modifications techniques, ainsi que son REX, à l'occasion des prochaines réunions techniques périodiques.

#### Engagement n° 4

EDF s'engage à réaliser une analyse, pour l'ensemble des paliers, de la tenue au séisme des soupapes de sûreté prenant en compte la rigidité des supports et les spectres noyau dur, après la publication des spectres noyau dur applicables aux paliers 1300 MWe et 1450 MWe. L'échéance de cet engagement est décembre 2021.

#### Engagement n° 5

Concernant les châssis des armoires de pilotage des soupapes de sûreté de tous les systèmes, EDF s'engage à :

- intégrer dans le dossier national de réalisation des travaux (DNRT), lors de sa prochaine révision en avril 2021, le contrôle de la conformité aux plans d'origine ;
- analyser, pour décembre 2020, les exigences de freinages applicables pour la fixation des châssis.

#### Engagement n° 6

EDF s'engage à définir dans le DNRT, à l'occasion de sa prochaine révision en avril 2021, un contrôle du bon positionnement géométrique des lignes d'évacuation d'eau borée de l'armoire de pilotage des soupapes de sûreté par rapport à la grille de la gatte de récupération.

#### Engagement n° 7

EDF s'engage, dans le cadre de la modification nationale à venir consistant à la mise en place d'un dispositif dit « contrôleur de tarage » sur la ligne d'impulsion connectée à l'armoire de pilotage des soupapes de sûreté du système RCP, à étudier le renforcement de la tenue mécanique de la connexion Banjo®.