

Fontenay-aux-Roses, le 1<sup>er</sup> mars 2019

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2019-00046

Objet : Réacteurs électronucléaires - EDF - Cœurs mixtes

Réf. [1] Lettre ASN - CODEP-DCN-2018-014222 du 19 avril 2018.  
[2] Lettre ASN - CODEP-DCN-2011-052558 du 8 décembre 2011.

Conformément à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) citée en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné les éléments apportés par Électricité de France (EDF) sur la démarche de traitement des cœurs mixtes<sup>1</sup> dans la démonstration de sûreté. Cette thématique a été abordée lors de la réunion du Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) concernant le retour d'expérience sur le combustible durant la période comprise entre 2003 et 2009, nommé GP « REX combustible 2003-2009 », qui s'est tenue le 23 juin 2011. A cette occasion, EDF a pris des engagements et l'ASN a formulé des demandes en référence [2]. La présente analyse de l'IRSN porte sur les suites de cette instruction, EDF ayant apporté des éléments complémentaires et ayant amendé sa méthode de prise en compte des cœurs mixtes dans la démonstration de sûreté.

### Contexte

La démonstration de sûreté générique<sup>2</sup> présentée dans les rapports de sûreté (RDS) considère une configuration de cœur de réacteur homogène composé d'un seul type d'assemblage. Or, l'évolution des technologies d'assemblages ainsi que la nécessité d'assurer la sécurité des approvisionnements en combustible conduisent EDF à introduire dans les cœurs de certains réacteurs différentes conceptions d'assemblages. Ces différences peuvent venir des évolutions du design provenant d'un même fournisseur ou des choix de conceptions différents entre fournisseurs. Ainsi, ces « cœurs mixtes » sont composés d'assemblages qui présentent des caractéristiques géométriques différentes induisant des redistributions de débit dont il faut tenir compte dans la démonstration de sûreté. Ces redistributions de débits affectent notamment le maintien axial des assemblages<sup>3</sup>, la tenue des crayons de combustible vis-à-vis

Adresse Courrier  
BP 17  
92262 Fontenay-aux-Roses  
Cedex France

Siège social  
31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses

Standard +33 (0)1 58 35 88 88

RCS Nanterre 8 440 546 018

---

<sup>1</sup> Les cœurs chargés avec des assemblages combustibles de types différents constituent des cœurs mixtes.

<sup>2</sup> Les études de sûreté présentées dans les rapports de sûreté sont dites génériques car elles ont vocation à s'appliquer à l'ensemble des campagnes de la gestion de combustible concernée.

<sup>3</sup> Afin de se prémunir contre l'envol de l'assemblage, la force développée par le système de maintien doit être suffisante pour contrecarrer les efforts hydrauliques provoqués par l'écoulement du fluide dans le circuit primaire et dans le cœur. Les sur-débits locaux, notamment en cas de cœurs mixtes, augmentent ces efforts.

du phénomène de fretting<sup>4</sup>, le comportement du cœur en cas d'accident de perte de réfrigérant primaire (APRP<sup>5</sup>) et le risque d'apparition de la crise d'ébullition au cours de transitoires incidentel ou accidentel<sup>6</sup>.

L'impact de la mixité des cœurs sur la démonstration de sûreté dépend fortement de la composition réelle du cœur (inventaire, position des assemblages, taux de combustion des assemblages et débit du circuit primaire). L'effet d'un cœur mixte est actuellement pris en compte par EDF de la façon suivante :

- la vérification du maintien axial des assemblages et de la tenue des crayons de combustible au risque de fretting est traitée au stade de la conception de l'assemblage ;
- l'effet d'un cœur mixte dans l'étude de l'APRP est couvert par une variation enveloppe de la résistance hydraulique entre l'assemblage chaud et le reste du cœur ;
- l'effet d'un cœur mixte sur le risque d'entrée en crise d'ébullition est traité par un bilan de marges en RFTC<sup>7</sup> dans la démonstration de sûreté en recharge. L'impact sur les études en termes de NCE n'est actuellement pas traité par EDF dans la démonstration de sûreté en recharge.

Compte tenu des réponses apportées par EDF suite au GP « REX combustible 2003-2009 », l'ASN sollicite l'avis de l'IRSN sur l'acceptabilité au plan de la sûreté de la démarche de traitement des cœurs mixtes prévue par EDF et, en particulier sur :

- « le risque de fretting et de vibration-usure des assemblages de combustible ;
- la prise en compte des cœurs mixtes dans la méthodologie APRP-BI ;
- le bilan des marges en recharge pour le respect du critère en RFTC ;
- le respect des critères de découplage pour les cœurs mixtes pour les conditions de fonctionnement de catégorie 3 et 4 pour lesquelles une limite en nombre de crayons entrant en crise d'ébullition doit être respectée ».

#### **Prise en compte des cœurs mixtes pour le risque de fretting et dans les études d'APRP-BI**

En ce qui concerne la tenue des crayons de combustible vis-à-vis du risque de fretting, EDF n'apporte pas d'éléments nouveaux mais souligne que le retour d'expérience associé aux configurations de cœurs homogènes et hétérogènes constitués d'assemblages de combustible munis d'une double grille<sup>8</sup> en pied d'assemblage est satisfaisant puisqu'aucune perte d'étanchéité de crayons de combustible par fretting n'a été constatée sur ce type de conception actuellement retenu.

En ce qui concerne le comportement du cœur en situation d'APRP avec des brèches de taille intermédiaire (BI), EDF a développé une nouvelle méthode appelée « CathSBI<sup>9</sup> » qui prend en compte l'impact d'un cœur mixte par le biais d'une variation enveloppe de la résistance hydraulique entre l'assemblage chaud et le reste du cœur.

<sup>4</sup> Le fretting correspond à un risque d'usure des gaines pouvant entraîner un percement des crayons par usure vibratoire. Ces vibrations sont attribuées aux fortes vitesses transverses qui existent dans la partie basse du cœur.

<sup>5</sup> L'étude de l'APRP doit vérifier l'absence de perte de capacité de refroidissement du cœur au travers de la vérification du respect d'un critère en température de gaine atteinte. Dans un cœur mixte, des différences de résistance hydraulique entre l'assemblage chaud et le reste du cœur augmentent cette température.

<sup>6</sup> La plupart des études des conditions de fonctionnement sont soumises à la vérification du respect d'un critère de découplage relatif à la crise d'ébullition : absence de crise d'ébullition (critère en RFTC - rapport entre le flux thermique critique et le flux thermique local) ou crise d'ébullition limitée (critère en nombre de crayons entrant en crise d'ébullition - NCE). En cas de cœur mixte, des sous-débits locaux augmentent le risque d'apparition de la crise d'ébullition.

<sup>7</sup> Le RFTC est le rapport entre le flux thermique critique et le flux thermique local. Le flux thermique critique est la valeur du flux thermique transmis au liquide à partir de laquelle apparaît le phénomène de crise d'ébullition.

<sup>8</sup> Grille supplémentaire positionnée en partie basse des assemblages assurant un renforcement afin de réduire la sensibilité des crayons aux écoulements transverses responsables du risque d'usure de gaine par fretting.

<sup>9</sup> La nouvelle méthode CathSBI a été mise en œuvre dans le cadre du réexamen associé aux quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe et a vocation à être appliquée dans le cadre des futurs réexamens.

L'IRSN estime satisfaisants ces compléments apportés par EDF.

#### **Démarche d'élaboration en recharge du bilan de marge en RFTC en configuration de cœur mixte**

L'objectif de la démarche d'EDF est de s'assurer, lors de vérification de la sûreté de chaque recharge présentée dans le dossier spécifique d'évaluation de la sûreté de la recharge (DSS), que les pénalités liées à la présence d'assemblages de combustible de types différents peuvent être compensées par les marges en RFTC spécifiques du réacteur concerné pour respecter les critères des études d'accidents.

En réponse aux demandes de l'ASN, EDF a amendé sa démarche. Les évolutions concernent les hypothèses retenues pour évaluer les différents termes intervenant dans ce bilan (pénalité de cœur mixte, marge en débit, marge en fléchissement des crayons de combustible<sup>10</sup> et marge en puissance des assemblages). Les modifications notables par rapport à la démarche actuellement utilisée portent sur :

- la prise en compte, par une méthode statistique, des incertitudes relatives à la fabrication des assemblages de combustible et aux mesures des pertes de charge dans l'évaluation des pénalités de cœur mixte ;
- une évaluation enveloppe des pénalités de cœur mixte, des marges en débit et en puissance qui couvrent toutes les conditions de fonctionnement de dimensionnement vérifiant un critère en RFTC.

À l'issue de l'expertise, EDF s'est engagé, comme indiqué dans les observations n° 1 à 3 mentionnées en annexe :

- à réviser la note de démarche pour y verser les compléments apportés au cours de l'expertise ;
- à s'assurer pour chaque recharge, dans laquelle les marges en débit sont valorisées, que la fraction de débit du circuit primaire valorisée<sup>11</sup> restera dans la plage pour laquelle le coefficient de conversion<sup>12</sup> de la marge en débit primaire en RFTC a été évalué ;
- en cas de pénalité de cœur mixte partiellement compensée par les marges en RFTC spécifiques du réacteur, à évaluer explicitement le RFTC pour les transitoires concernés.

Compte tenu des engagements pris par EDF, l'IRSN estime satisfaisantes les évolutions apportées à la démarche d'évaluation en recharge de l'impact d'un cœur mixte consistant à réaliser un bilan de marges en RFTC.

#### **Démarche d'évaluation en recharge du nombre de crayons entrant en crise d'ébullition (NCE) en configuration de cœur mixte**

En réponse aux demandes de l'ASN, EDF a élaboré une démarche permettant de démontrer le respect des limites en NCE en configuration de cœurs mixtes pour les conditions de fonctionnement de dimensionnement de catégories 3 et 4. La démarche consiste à évaluer le NCE indépendamment du plan de chargement, ce qui est pénalisant. Si l'évaluation du NCE conduit à un dépassement de la limite à vérifier, EDF prévoit des moyens d'accommodation pour restaurer des marges, selon le type de réacteur et la condition de fonctionnement considérés. Ils consistent en une modification des valeurs limites des paramètres à vérifier en recharge ou en une modification adaptée du système de protection du réacteur. À l'issue de l'expertise, EDF s'est engagé, comme indiqué dans

---

<sup>10</sup> Le fléchissement est une déformation affectant un crayon, se produisant entre deux grilles de l'assemblage, et consistant en une arcure de la portion de crayon concernée. C'est un phénomène pris en compte dans la démonstration de sûreté depuis la conception initiale des réacteurs.

<sup>11</sup> Les études d'accidents considèrent un débit primaire minimisé, nommé « débit thermohydraulique ». Les réacteurs fonctionnent, sauf exception, avec un débit primaire plus important, réduisant le risque de crise d'ébullition et valorisé par EDF dans sa démarche.

<sup>12</sup> Ce coefficient permet de convertir une différence de débit primaire, par rapport au débit thermohydraulique, en différence de RFTC.

l'observation n° 4 mentionnée en annexe, à tracer dans le DSS, d'une part la valeur du facteur d'élévation d'enthalpie<sup>13</sup> limite permettant de respecter les marges génériques du dossier « cœur mixte », et d'autre part la méthode d'accommodation retenue. L'IRSN estime satisfaisante cette nouvelle démarche, compte tenu de l'engagement d'EDF.

#### **Déclinaison de la prise en compte des cœurs mixtes dans le rapport de sûreté (RDS)**

La démonstration de sûreté présentée dans les rapports de sûreté doit refléter des conditions d'exploitation représentatives, notamment en ce qui concerne le combustible susceptible d'être chargé dans les réacteurs. À cet égard, EDF prévoit de présenter la démarche de traitement des cœurs mixtes relative au risque de crise d'ébullition (critères en RFTC et nombre de crayons de combustible entrant en crise d'ébullition) dans les rapports de sûreté à l'occasion des prochains réexamens de sûreté. De plus, la déclinaison de cette démarche sera illustrée pour les gestions de combustible présentant des cœurs mixtes pérennes. L'IRSN estime cette action satisfaisante.

#### **Mise en œuvre de la démarche de traitement des cœurs mixtes**

Dans l'attente de la mise en œuvre industrielle de la nouvelle démarche d'évaluation du bilan de marge vis-à-vis de la crise d'ébullition, EDF met en place des dispositions transitoires visant à prendre en compte de manière anticipée plusieurs évolutions<sup>14</sup> de la démarche vis-à-vis du RFTC. Ces dispositions n'appellent pas de remarque de l'IRSN.

#### **Conclusion**

L'analyse de l'IRSN a porté sur la suffisance des compléments apportés par EDF en réponse à ses engagements et aux demandes formulées par l'ASN concernant la prise en compte des cœurs mixtes dans la démonstration de sûreté à la suite de la réunion du GP REX Combustible 2003-2009.

L'IRSN estime satisfaisante la prise en compte des cœurs mixtes vis-à-vis de la tenue des crayons de combustible au phénomène de fretting et des redistributions de débit dans le cœur en cas d'APRP.

Pour ce qui concerne l'évaluation du risque de crise d'ébullition, l'IRSN estime satisfaisantes les évolutions de démarches prévues par EDF pour prendre en compte l'effet des cœurs mixtes dans la démonstration de sûreté en recharge, sous réserve des compléments qu'il s'est engagé à apporter. Dans l'attente de cette mise en œuvre, les dispositions transitoires appliquées actuellement par EDF sont jugées acceptables.

En conclusion, l'IRSN considère satisfaisante la démarche développée par EDF en vue de démontrer le respect des critères de sûreté pour les cœurs mixtes, le traitement de l'ensemble des réserves et demandes de compléments issues de l'expertise ayant été jugé acceptable.

Pour le Directeur général et par délégation,

Olivier Dubois

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

<sup>13</sup> Le facteur d'élévation d'enthalpie est défini comme le rapport entre l'élévation d'enthalpie maximale, rencontrée dans le canal chaud du cœur, et l'élévation moyenne d'enthalpie dans le cœur.

<sup>14</sup> Dans le cadre de la rénovation de la démarche vis-à-vis du RFTC, EDF a modifié plusieurs valeurs de coefficients intervenant dans le bilan (marges en débit et en puissance) afin d'assurer leur conservatisme. Pour toutes les recharges depuis 2016/2017, EDF utilise ces nouveaux coefficients de manière anticipée à la mise en œuvre complète de la démarche rénovée (y compris la nouvelle méthode de calcul des pénalités de cœur mixte).

Annexe à l'avis IRSN/2019-00046 du 1<sup>er</sup> mars 2019

Observations

**Observation n° 1 :**

EDF s'est engagé à mettre à jour, dans les douze mois qui suivront la fin de l'instruction, sa note de démarche d'élaboration du bilan de marge en RFTC en situation de recharge du combustible, en précisant notamment comment sont évalués les termes pris en compte dans le bilan.

**Observation n° 2 :**

Pour ce qui concerne la démarche d'élaboration du bilan de marge en RFTC en situation de recharge du combustible, EDF a pris l'engagement suivant : « *EDF s'assurera pour chaque recharge dans laquelle les marges en débit sont valorisées que la fraction de débit valorisée restera dans la plage pour laquelle le coefficient de conversion de la marge en débit primaire en RFTC a été évalué* ».

**Observation n° 3 :**

Pour ce qui concerne la démarche d'élaboration du bilan de marge en RFTC en situation de recharge du combustible, EDF a pris l'engagement suivant : « *en cas de bilan RFTC négatif évalué dans le DSS, EDF complétera le DSS par une évaluation du RFTC pour les transitoires concernés* ».

**Observation n° 4 :**

Pour ce qui concerne la démarche d'évaluation du nombre de crayons entrant en crise d'ébullition en situation de recharge du combustible, EDF a pris l'engagement suivant : « *la valeur du  $F\Delta H$  limite, dépendant de la composition du cœur et représentant une contrainte d'exploitation pour accommoder l'effet cœur mixte, sera tracée dans le DSS* » ainsi que la « *démarche d'accommodation spécifique à la recharge* ».