

Fontenay-aux-Roses, le 15 juin 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis/IRSN N° 2016-00203

Objet : Réacteur EPR Flamanville 3
Rupture de tuyauterie vapeur - MTC 3D et démarche d'étude

Réf. [1] Lettre ASN CODEP-DCN-2016-003013 du 25 janvier 2016
[2] Lettre ASN CODEP-DCN-2010-006316 du 23 avril 2010
[3] Lettre ASN CODEP-DCN-2011-035213 du 7 juillet 2011

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) demande l'avis de l'IRSN sur les réponses et compléments apportés par EDF à la suite des demandes formulées par ses lettres en référence [2] et [3] sur la Méthode Totalement Couplée 3D (MTC 3D) et sur la démarche complémentaire proposée par EDF pour le transitoire de Rupture de Tuyauterie Vapeur (RTV) à puissance nulle avec arrêt des Groupes moto-pompes primaires (GMPP).

Contexte

Dans le cadre de la démonstration de sûreté de l'EPR de Flamanville 3, EDF a souhaité utiliser des méthodologies plus évoluées pour l'étude de certains accidents de référence, notamment la méthode MTC 3D pour l'étude de l'accident de RTV. Ce choix s'inscrit dans la volonté pour les études de l'EPR de faire appel aux meilleures technologies disponibles et de mieux représenter la physique des phénomènes en privilégiant le recours à des calculs tridimensionnels.

Dans son courrier en référence [2], l'ASN n'avait pas formulé d'objection, sous réserve de la prise en compte des demandes exprimées dans ce courrier, à la mise en œuvre de la MTC 3D pour l'étude du transitoire de RTV avec maintien des GMPP en service. En revanche, l'ASN avait considéré que l'application de la MTC 3D aux transitoires de RTV avec arrêt des GMPP n'était pas acceptable en l'état : la démonstration de la pertinence des choix de modélisation concernant les écoulements thermo-hydrauliques n'était pas apportée pour ces transitoires se caractérisant par de faibles débits dans le circuit primaire, des déséquilibres de débit entre les boucles et des écoulements dissymétriques et fortement tridimensionnels dans la cuve et le cœur. L'ASN avait en conséquence demandé à EDF de réviser sa méthode pour ces transitoires.

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 B 440 546 018

En réponse, EDF a transmis :

- des compléments visant à répondre à l'ensemble des réserves et demandes de l'ASN ;
- une démarche complémentaire (indépendante de la méthode MTC 3D) visant à montrer que les gaines des crayons de combustible ne subissent aucun dommage durant la phase du transitoire avec arrêt des GMPP où les débits dans le circuit primaire sont faibles.

EDF retient l'approche suivante pour l'étude des transitoires de RTV du rapport de sûreté de l'EPR de Flamanville 3 :

- l'utilisation de la MTC 3D pour les transitoires de RTV initiés à puissance nulle avec maintien des GMPP en service et pour la phase court terme des transitoires de RTV initiés à puissance nulle avec arrêt des GMPP ; la phase court terme correspond à la phase durant laquelle les déséquilibres de débit entre les boucles et les dissymétries d'écoulement dans le cœur sont faibles ;
- l'utilisation de la démarche complémentaire pour la phase moyen terme des transitoires de RTV initiés à puissance nulle avec arrêt des GMPP ; la phase moyen terme correspond à la phase durant laquelle les déséquilibres de débit entre les boucles deviennent significatifs, ce qui conduit à des écoulements dissymétriques et fortement tridimensionnels dans la cuve et le cœur.

EDF a par ailleurs transmis les études de RTV pour le réacteur EPR de Flamanville 3 dans le cadre de sa demande d'autorisation de mise en service (DMES) ainsi que l'application de la démarche complémentaire au réacteur EPR de Flamanville 3.

L'ASN souhaite connaître l'avis de l'IRSN sur ces éléments.

1. Compléments apportés par EDF relatifs à la méthode MTC 3D

Pour ce qui concerne en particulier l'applicabilité des matrices de mélange déterminées à partir d'essais équilibrés en débit, EDF a transmis des éléments complémentaires pour les réacteurs comportant quatre boucles primaires. Suite à leur analyse, l'IRSN n'a plus de réserves quant à l'utilisation de ces matrices dans la méthode MTC 3D pour les réacteurs d'EDF comportant quatre boucles primaires (EPR, réacteurs de 1450 MWe et de 1300 MWe), pour les RTV avec maintien des GMPP en service et pour la phase court terme des RTV avec arrêt des GMPP. En revanche, l'IRSN estime qu'EDF doit, pour les réacteurs comportant trois boucles primaires (900 MWe), justifier l'applicabilité des matrices de mélange issues des essais LACYDON en préalable à l'utilisation de la méthode MTC 3D pour les RTV avec maintien des GMPP en service et pour la phase court terme des RTV avec arrêt des GMPP.

Pour ce qui concerne la validation intégrale de la méthode MTC 3D pour les transitoires de RTV, l'ASN avait demandé d'apporter des éléments complémentaires. L'IRSN rappelle que la validation individuelle de chacun des logiciels appelés dans un couplage ne constitue pas une condition suffisante pour s'assurer de la validation du couplage en question. Cependant, les éléments apportés par EDF montrent d'une part que les phénomènes physiques mis en jeu sont bien identifiés et couverts par la validation individuelle de chaque logiciel mis en œuvre dans le couplage, d'autre part que le couplage de ces phénomènes ne conduit pas à l'apparition de nouveaux phénomènes pendant le transitoire.

Par ailleurs, l'IRSN note que les phénomènes mis en jeu dans la phase court terme de la RTV avec arrêt des GMPP sont similaires à ceux des transitoires avec maintien des GMPP en service. **Compte tenu des éléments apportés, l'IRSN estime que la méthode MTC 3D peut être utilisée pour les transitoires de RTV avec maintien des GMPP en service et pour la phase court terme des transitoires de RTV avec arrêt des GMPP pour la démonstration de sûreté des réacteurs d'EDF comportant quatre boucles primaires.**

2. Démarche complémentaire d'EDF pour l'étude de la phase moyen terme d'une RTV avec arrêt des GMPP

La démarche complémentaire présentée par EDF a pour objectif de démontrer l'intégrité de la gaine durant la phase moyen terme de la RTV avec arrêt des GMPP.

L'intégrité des gaines des crayons de combustible est démontrée par le respect de critères portant sur la puissance linéique et le rapport de flux thermique critique RFTC¹. Ce dernier doit rester supérieur à une valeur limite (critère) afin d'éviter la crise d'ébullition avec une probabilité de 95 %, évaluée avec un niveau de confiance de 95 %.

La démarche complémentaire, basée sur un logiciel de thermo-hydraulique du cœur différent de celui utilisé dans la méthode MTC 3D, repose sur des calculs du RFTC minimal et de la puissance linéique maximale effectués en régime permanent pour des situations devant couvrir celles qui peuvent se produire pendant la phase moyen terme d'une RTV avec arrêt des GMPP. EDF a choisi de caractériser ces situations par des valeurs de la température d'eau à l'entrée du cœur, de la pression en sortie du cœur et de la concentration en bore, qui sont fonction du débit primaire. La puissance retenue dans ces calculs en régime permanent est celle qui rend le réacteur critique (situation stable caractérisée par une réactivité nulle). Afin de maximiser la puissance, EDF retient, pour chaque débit étudié, des valeurs minimales de la température et de la concentration en bore, et maximale de la pression. L'IRSN estime ces choix pertinents. Toutefois, l'IRSN note que les études de sensibilité réalisées pour déterminer ces paramètres (température, pression, concentration en bore) n'ont pas tenu compte de l'incertitude associée à l'instant d'arrêt des débits dans les boucles saines, incertitude liée aux choix de modélisation retenus par EDF : **l'IRSN estime qu'EDF devra tenir compte de ce paramètre pour identifier un jeu d'hypothèses pénalisant pour l'évaluation du niveau de puissance critique.**

Les distributions de puissance tridimensionnels dans le cœur sont déterminées en retenant des hypothèses liées au cœur (notamment la distribution de xénon et le choix de l'aggravant) ainsi que des choix de modélisation relatifs à la cuve (débit uniforme en entrée du cœur, pression uniforme en sortie du cœur). **L'IRSN estime que le caractère pénalisant de ces hypothèses reste à démontrer.**

¹ Rapport entre le flux critique local (évalué à partir d'une corrélation dépendant des conditions thermo-hydrauliques et établie sur la base d'essais) et le flux thermique local.

Pour ce qui concerne la vérification du critère en RFTC, l'IRSN constate que la corrélation de flux critique peut être utilisée dans des conditions thermo-hydrauliques pour lesquelles il n'y a pas eu d'essais réalisés pour établir cette corrélation : le critère retenu serait alors utilisé en dehors du domaine de validité de la corrélation en termes de vitesse massique. De plus, l'IRSN estime que la justification de l'utilisation des critères de RFTC avec le logiciel de thermo-hydraulique du cœur nécessite des compléments. Enfin, l'IRSN souligne que l'évaluation de la marge en RFTC ne tient pas compte de la pénalité de fléchissement. Ces constats motivent la **recommandation** en annexe 1 ainsi que les **observations n° 1 et n° 2** en annexe 2.

Enfin, lors de l'instruction, EDF a souligné les conservatismes existants dans sa démarche et notamment le fait que la puissance dans les calculs en régime permanent (puissance rendant le réacteur critique) est évaluée de façon pénalisante. L'IRSN en convient mais estime que la démarche complémentaire d'EDF ne permet pas de garantir une évaluation conservatrice du RFTC minimal atteint pendant le transitoire. **En conclusion, l'IRSN estime que la démarche complémentaire d'EDF pour la phase moyen terme des transitoires de RTV avec arrêt des GMPP ne permet pas d'apporter une démonstration de l'absence de risque de crise d'ébullition et nécessite des compléments.**

Par ailleurs, pour ce qui concerne les logiciels utilisés dans la démarche complémentaire d'EDF, l'IRSN estime que les éléments présentés par EDF sont insuffisants pour démontrer la capacité du logiciel de thermo-hydraulique du cœur à simuler le comportement du cœur à bas débits en présence de forts écoulements transverses dus aux effets de densité.

3. Démonstration de sûreté relative à la RTV du rapport de sûreté de l'EPR de Flamanville 3

Les études de RTV initiées à puissance nulle du Rapport de sûreté (RDS) associé à la DMES de l'EPR de Flamanville 3 sont réalisées avec la méthode MTC 3D. Elles considèrent des brèches à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte et tiennent compte du signal d'arrêt automatique des GMPP.

Dans le RDS, le transitoire conduisant aux marges les plus faibles vis-à-vis de l'intégrité des gaines des crayons de combustible correspond à une brèche avec maintien des GMPP en service. L'IRSN estime que l'étude de ce transitoire présentée dans le RDS est acceptable. L'IRSN constate que les éléments relatifs aux brèches situées à l'extérieur de l'enceinte du RDS ne permettent pas de s'assurer du caractère limitatif de la brèche retenue, ce qui motive l'**observation n° 3** en annexe 2.

Les études relatives à la phase moyen terme des transitoires de RTV avec arrêt des GMPP ont été réalisées suivant la démarche complémentaire d'EDF mais ne sont pas présentées dans le RDS. Compte tenu des réserves de l'IRSN sur le non-conservatisme potentiel de certaines hypothèses retenues dans la démarche complémentaire, EDF a transmis une étude en retenant une absence de mélange en entrée cœur, ce qui constitue une hypothèse très pénalisante : cette étude montre une marge importante en termes de RFTC. **De ce fait, l'IRSN a la raisonnable assurance du respect des critères liés à l'intégrité des gaines des crayons de combustible durant la phase moyen terme des transitoires de RTV.** A cet égard, l'IRSN souligne que cette étude contribue à la démonstration de sûreté et devrait, à ce titre, figurer dans le rapport de sûreté de l'EPR de Flamanville 3.

4. Caractère acceptable de l'arrêt des GMPP pour le transitoire de RTV

Pour l'EPR de Flamanville 3, EDF a prévu des signaux spécifiques déclenchant de façon automatique l'arrêt des GMPP en fonction du type d'accident (accident de perte de réfrigérant primaire, rupture de tuyauterie vapeur, rupture de tuyauterie d'eau alimentaire...).

Pour ce qui concerne le transitoire de RTV, l'arrêt automatique des GMPP est :

- favorable, pour une taille de brèche donnée, en termes de puissance linéique et de RFTC lors de la phase court terme de l'accident ;
- favorable, pour une taille de brèche donnée, en termes de puissance linéique lors de la phase moyen terme de l'accident ;
- potentiellement défavorable, pour une taille de brèche donnée, en termes de RFTC lors de la phase moyen terme de l'accident mais ne remet pas en cause le respect des critères de sûreté.

L'arrêt automatique des GMPP est par ailleurs favorable vis-à-vis des Masses et énergies libérées (MEL) dans l'enceinte puisqu'il conduit à une réduction de l'échange entre le primaire et le secondaire et donc à une quantité de vapeur produite et une pression dans l'enceinte plus faibles.

En conséquence, l'IRSN n'a pas d'objection à la mise en œuvre d'un signal d'arrêt automatique des GMPP pour l'EPR de Flamanville 3 pour les situations de RTV.

Pour le directeur général, par délégation
Sylvie CADET-MERCIER

Directrice des systèmes, des nouveaux
réacteurs et des démarches de sûreté

Recommandation

L'IRSN recommande qu'EDF justifie la (les) valeur(s) du critère déterministe de la corrélation de flux critique W-3 dans les zones d'extension du domaine de validité de cette corrélation en vitesse massique ou, le cas échéant, adapte la (les) valeur(s) du critère et justifie la (les) valeur(s) retenue(s).

Observations

Observation n° 1

L'IRSN estime qu'EDF devrait prendre en compte la pénalité de fléchissement pour l'évaluation des marges en RFTC pour l'étude de la phase moyen terme de la rupture de tuyauterie vapeur avec arrêt des groupes moto-pompes primaires.

Observation n° 2

L'IRSN estime qu'EDF devrait justifier les valeurs du critère déterministe de la corrélation de flux critique W-3 en cas d'utilisation de la corrélation avec le logiciel de thermo-hydraulique cœur utilisé dans la démarche complémentaire ou, le cas échéant, adapte les valeurs du critère et justifie les valeurs retenues.

Observation n° 3

L'IRSN estime qu'EDF devrait fournir l'étude du spectre de brèches en aval des vannes d'isolement vapeur.