

Fontenay-aux-Roses, le 15 juin 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis/IRSN N° 2016-00202

Objet : Réacteur EPR Flamanville 3
Démarche d'étude de la phase moyen terme de l'accident d'éjection de grappe

Réf. [1] Courrier ASN CODEP-DCN-2015-021083 du 5 juin 2015
[2] Lettre DGSNR/SD2/N242/2006 du 22 septembre 2006

À la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) citée en première référence, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné la démarche développée par EDF pour l'étude de la phase moyen terme des transitoires accidentels d'éjection de grappe et son application pour le réacteur EPR de Flamanville 3 (FLA3), présentée dans le Rapport de sûreté (RDS) transmis dans le cadre de la Demande d'autorisation de mise en service (DMES).

L'accident d'éjection d'une grappe de commande, classé en catégorie 4 (PCC4) des études de conditions de fonctionnement de dimensionnement, résulte de la rupture de l'enceinte sous pression d'un mécanisme de grappe de commande. La pression exercée sur la tige d'actionnement de la grappe provoque alors l'éjection de la grappe hors du cœur pouvant conduire à une brèche sur le couvercle de la cuve. L'insertion de réactivité causée par l'éjection de la grappe entraîne une excursion de puissance dans le cœur. L'arrêt automatique du réacteur (AAR) est sollicité par un signal de variation rapide du flux nucléaire (appelé signal $d\phi/dt$) ou par un signal de « basse pression pressuriseur » (signal BPP) en cas de brèche.

La démarche proposée par EDF concerne la phase après l'arrêt automatique du réacteur (phase moyen terme) des transitoires accidentels d'éjection de grappe durant laquelle l'absence de retour en criticité doit être démontrée. Cette démarche est spécifique à l'EPR : en effet, les systèmes sollicités (notamment, le maintien en fonctionnement du circuit d'eau alimentaire normale des générateurs de vapeur (ARE) et le refroidissement partiel automatique du circuit primaire après le signal d'injection de sécurité) conduisent à un refroidissement important du circuit primaire, et donc à un apport de réactivité dans le cœur par effet modérateur.

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

A- Démarche d'étude pour la phase moyen terme de l'accident d'éjection de grappe

La démarche proposée par EDF repose sur une simulation de l'accident en deux étapes :

1. la réalisation d'un calcul thermohydraulique système afin d'estimer les conditions thermohydrauliques à l'entrée du cœur après l'arrêt automatique du réacteur ;
2. la réalisation de calculs neutroniques statiques afin de vérifier, dans ces conditions thermohydrauliques et en fonction de la configuration du cœur, l'absence de retour en criticité.

Dans le cadre de l'élaboration de sa démarche, EDF a identifié les phénomènes physiques affectant de manière prépondérante la réactivité pendant le transitoire. Puis, EDF a vérifié la capacité des logiciels de calcul à simuler ces phénomènes physiques. EDF a identifié les hypothèses d'études en termes de conditions initiales et aux limites et de choix de modélisation permettant d'évaluer le paramètre cible (réactivité) de manière enveloppe. Par ailleurs, EDF a défini une approche pour la démonstration de sûreté lors des rechargements de combustible.

Identification des phénomènes physiques prépondérants

EDF a identifié les phénomènes physiques suivants :

- le refroidissement du circuit primaire par les systèmes sollicités ;
- la dépressurisation du circuit primaire induite par la brèche et la contraction du caloporteur, qui conditionne l'injection de bore dans le circuit primaire ;
- les mélanges dans la cuve qui ont un impact sur la distribution de température et de bore dans le cœur ;
- la circulation naturelle dans les cas avec cumul du Manque de tension externe (MDTE), qui conditionne l'instant d'arrivée du bore dans le cœur.

L'IRSN note qu'EDF n'a pas retenu comme prépondérants les phénomènes physiques intervenant au sein des GV économiseurs. L'IRSN souligne que la simulation du niveau dans les générateurs de vapeur conditionne l'arrêt de l'ARE petit débit (isolement par très haut niveau GV) et par conséquent l'importance du refroidissement. A cet égard, l'IRSN estime que le tassement du niveau GV après l'AAR, la recirculation dans les GV, la zone sous-saturée en bas des GV constituent des phénomènes physiques prépondérants. A l'exception de ces phénomènes, l'IRSN estime que les phénomènes physiques affectant de façon prépondérante la réactivité du cœur ont été correctement identifiés.

Capacité des logiciels de calcul à simuler les phénomènes physiques prépondérants

Pour ce qui concerne le refroidissement du circuit primaire par les GV, EDF justifie la capacité du logiciel de thermohydraulique à modéliser correctement le fonctionnement d'un GV économiseur¹ et

¹ Les GV économiseurs équipent déjà les réacteurs du palier N4. Ils permettent d'améliorer les échanges thermiques entre les circuits primaire et secondaire par rapport aux GV bouilleurs qui équipent les paliers de 900 et 1300 MWe. La principale évolution des GV économiseurs est la présence d'une plaque de partition verticale qui sépare le faisceau tubulaire en deux zones, l'une échangeant avec la jambe chaude du GV et l'autre avec la jambe froide.

les échanges entre les circuits primaire et secondaire sur la base des essais réalisés sur la maquette expérimentale MEGEVE et de transitoires réalisés sur Chooz B1 et Paluel 1.

Pour ce qui concerne la dépressurisation du circuit primaire par la brèche, EDF justifie que le logiciel de thermohydraulique est apte à simuler une petite brèche sur le couvercle de la cuve en s'appuyant sur des études comparatives réalisées avec un autre logiciel de thermohydraulique système de référence validé.

Pour ce qui concerne les mélanges, EDF retient des matrices de mélange en entrée et en sortie du cœur, issues des essais JULIETTE et ROMEO.

Enfin, EDF s'appuie sur des essais effectués sur Chooz B1 à basse charge et sur Gravelines en circulation naturelle afin de justifier la capacité du logiciel de thermohydraulique à simuler un transitoire de circulation naturelle avec formation d'une bulle de vapeur sous le couvercle de la cuve.

En ce qui concerne le logiciel de thermohydraulique système, l'IRSN souligne que la note de démarche d'EDF ainsi que la note de synthèse de qualification ne contiennent pas les informations nécessaires pour démontrer l'aptitude de ce logiciel à simuler les phénomènes physiques prépondérants de la phase moyen terme du transitoire d'éjection d'une grappe. Cependant, l'IRSN estime que les éléments apportés au cours de l'instruction permettent de justifier sa capacité à simuler ces phénomènes : ces éléments devraient être intégrés à la note de synthèse de qualification du logiciel, ce qui fait l'objet de l'**observation n° 1** en annexe 2.

En ce qui concerne le logiciel de neutronique permettant d'évaluer la marge à la criticité à partir des données thermohydrauliques fournies en entrée du cœur, l'IRSN rappelle que celui-ci a déjà fait l'objet d'une instruction et ne formule donc pas de remarque.

L'IRSN estime que les phénomènes physiques prépondérants mis en jeu pendant la phase moyen terme d'un transitoire d'éjection de grappe sont correctement représentés par les logiciels utilisés dans la démarche d'EDF.

Hypothèses d'étude pour les paramètres dominants

Les hypothèses d'étude pour les paramètres dominants sont choisies au regard de leur influence sur le paramètre cible (réactivité) : elles sont définies d'une part, afin de maximiser et anticiper le refroidissement du circuit primaire, d'autre part afin de retarder et minimiser l'injection de bore dans le cœur.

La détermination de ces hypothèses d'étude repose d'une part, sur des études de sensibilité et d'autre part, sur un nombre important d'avis d'experts. L'IRSN souligne que le dossier de justification de la démarche explicite les paramètres qui font l'objet d'avis d'experts ou d'études de sensibilité, ce qui est globalement satisfaisant.

Les paramètres dominants sont pénalisés de leurs incertitudes, ce qui est conforme aux règles d'études. Cependant, l'IRSN note que seules les conditions initiales et aux limites sont pénalisées dans le logiciel de thermohydraulique. En effet, les paramètres des modèles physiques du logiciel de thermohydraulique système utilisé pour le transitoire ne font pas l'objet de pénalisations pour prendre en compte les incertitudes les affectant. Selon EDF, les choix de modélisation et la

pénalisation des conditions initiales et aux limites sont suffisants pour garantir le conservatisme des résultats. A cet égard, EDF a réalisé une étude de sensibilité au spectre de brèche et a souligné le caractère conservatif des mélanges en cuve ainsi que l'existence d'hypothèses conservatives dans sa démarche. De plus, EDF a fourni des éléments pour justifier l'absence de prise en compte d'incertitudes sur les paramètres de la modélisation des générateurs de vapeur. A titre d'exemple, une hypothèse de puissance résiduelle nulle est retenue ce qui amplifie le phénomène de tassement dans les GV après l'AAR. L'IRSN note que la démarche d'EDF présente un certain nombre de conservatismes qui pénalisent le refroidissement du circuit primaire et donc l'apport de réactivité par effet modérateur et estime que ces conservatismes permettent de compenser l'absence de prise en compte des incertitudes des modèles physiques du logiciel de thermohydraulique.

Pour ce qui concerne les bilans de réactivité pour le calcul de la marge à la criticité, l'IRSN estime satisfaisants les éléments apportés par EDF au cours de l'instruction démontrant que l'aggravant le plus pénalisant est une grappe bloquée hors du cœur pour l'étude de la phase moyen de l'accident d'éjection de grappe. En revanche, l'IRSN constate que l'incertitude sur l'effet Doppler retenue pourrait, dans certains cas, être inférieure à celle indiquée dans la note de qualification du logiciel neutronique : à cet égard, l'IRSN estime qu'il devrait être indiqué dans la note de démarche que l'incertitude doit être cohérente avec celle définie lors de la qualification. Ce point fait l'objet de l'**observation n°2** en annexe 2.

Ainsi, l'IRSN estime que les paramètres dominants sont correctement identifiés et utilisés pour la sélection des hypothèses d'études pénalisantes : le jeu d'hypothèses retenu par EDF est globalement satisfaisant. Par ailleurs, les modalités de prise en compte des incertitudes sont acceptables. Enfin, l'IRSN note que certaines hypothèses d'étude doivent faire l'objet d'études de sensibilité dans l'étude d'application compte tenu d'effets antagonistes sur le paramètre cible.

Conclusion relative à la démarche d'étude

L'IRSN estime que la démarche d'étude de la phase moyen terme de l'accident d'éjection de grappe développée spécifiquement pour les réacteurs de type EPR est acceptable et répond aux exigences d'une nouvelle méthode définies dans l'annexe 2 du courrier ASN [2]. Néanmoins, EDF n'a défini aucune exigence à satisfaire par les différents logiciels utilisés par la démarche dans le dossier de description et de justification de la démarche. Dans la mesure où aucune exigence n'a été définie par EDF, l'IRSN considère que seuls les logiciels mentionnés dans la note de description de la démarche peuvent être utilisés dans le cadre des études d'application.

B- Application de la démarche pour l'étude de l'EPR de Flamanville 3

Les données utilisées pour l'étude de la phase moyen terme de l'accident d'éjection de grappe dans le rapport de sûreté (RDS) de l'EPR FLA3 sont cohérentes avec l'état documentaire de référence de la DMES, notamment le relèvement des insertions limites des grappes de régulation dans le cœur a été pris en compte.

Les résultats de l'étude dans le RDS montrent que le critère de découplage de non-retour en criticité (marge à la criticité strictement positive tout au long de la phase moyen terme) est respecté. Cependant, les marges sont faibles. Aussi, l'IRSN s'est attaché à analyser d'une part, l'application de

la démarche au réacteur EPR FLA3 et d'autre part, les études de sensibilité réalisées par EDF pour les paramètres dont le sens de pénalisation n'est pas déterminé dans la démarche. A l'issue de son analyse, l'IRSN estime que la déclinaison de la démarche pour l'étude présentée dans le RDS est globalement acceptable : des incohérences mineures ont été identifiées, ce qui conduit à l'**observation n° 2** en annexe 2.

Par ailleurs, bien que la démarche identifie correctement les paramètres dominants ainsi que leur sens de pénalisation, l'IRSN note que la pénalisation de certains paramètres, dont l'impact sur le paramètre cible est jugé secondaire, est basée sur des études de sensibilité unitaires (c'est-à-dire sur un seul paramètre à la fois) dont le caractère générique² n'est pas vérifié dans le RDS. D'éventuels effets croisés (provenant de la variation simultanée de plusieurs paramètres) ne sont donc pas exclus, ce qui pourrait rendre le jeu d'hypothèses retenu non conservatif. A titre d'exemple, l'arrêt des chaufferettes du pressuriseur est considéré comme pénalisant dans la démarche mais apparaît favorable dans un des cas étudiés dans le RDS. Ainsi, **compte tenu de la marge faible vis-à-vis du critère, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF s'assure que d'éventuels effets croisés ne sont pas susceptibles de remettre en cause le respect du critère, ce qui fait l'objet de la recommandation en annexe 1.**

De plus, l'IRSN constate que l'étude de « *signature* » montre que le cas présenté dans le RDS n'est pas enveloppe des plans de chargement qui peuvent être mis en œuvre au cours de l'exploitation du réacteur. L'IRSN estime que l'étude générique du RDS devrait permettre de couvrir la variabilité prévisible des recharges en combustible. Ceci conduit à l'**observation n° 3** présentée en annexe 2.

C- Applicabilité de la démarche à la sûreté des recharges

Les études présentées dans le RDS pour l'EPR de Flamanville 3 permettent de définir les conditions en termes de grappe éjectée, grappe bloquée, température, pression et débit... pour lesquelles la marge à la criticité est minimale : ces conditions sont retenues pour les études de sûreté réalisées lors des rechargements de combustible. EDF propose de traiter d'éventuels dépassements en réduisant les conservatismes sur certains paramètres ou les découplages retenus dans la démarche. L'IRSN estime que l'approche pour vérifier la sûreté des recharges en combustible vis-à-vis de la phase moyen terme de l'accident d'éjection de grappe est satisfaisante : celle-ci permet de vérifier explicitement le respect du critère de sûreté pour chaque rechargement du cœur.

Pour le Directeur général et par délégation,

Sylvie CADET-MERCIER

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

² Il n'est pas vérifié dans le RDS que le cumul des pénalisations, issues d'études de sensibilité unitaires, est conservatif.

Recommandation

L'IRSN recommande qu'EDF démontre que la présence éventuelle d'effets croisés, provenant de la variation simultanée de plusieurs paramètres, ne remet pas en cause le respect du critère (non-retour en criticité).

Observations

Observation n° 1 :

L'IRSN estime qu'EDF devrait mettre à jour la note de synthèse de la qualification du logiciel de thermohydraulique système utilisé afin de prendre en compte les éléments de validation apportés au cours de l'instruction.

Observation n° 2 :

L'IRSN estime qu'EDF devrait mettre à jour la note de justification de la démarche d'étude de la phase moyen terme de l'accident d'éjection de grappe afin, d'une part de préciser que la pénalité de 100 pcm sur l'effet Doppler couvre les 10 % d'incertitudes retenues dans la qualification de la chaîne de calcul de neutronique utilisée, d'autre part d'utiliser des hypothèses cohérentes avec celles des études du rapport de sûreté (démarrage de l'alimentation de secours de générateurs de vapeur et seuil de bas niveau pressuriseur).

Observation n° 3 :

L'IRSN estime qu'EDF devrait mettre à jour l'étude de la phase moyen terme de l'accident d'éjection de grappe présentée dans le rapport de sûreté du réacteur de Flamanville 3 afin qu'elle couvre la variabilité prévisible des plans de chargement du cœur.