

Fontenay-aux-Roses, le 14 mars 2014

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis/IRSN N° 2014-00105

Objet : Réacteurs électronucléaires - EDF - Projet EPR -Flamanville 3
Dilution hétérogène inhérente lors d'une petite brèche ou d'une brèche intermédiaire sur le circuit primaire

Réf. Lettre ASN CODEP-DCN-2013-030146 du 10 juin 2013

Dans le cadre de l'instruction préalable du dossier de la demande de mise en service du réacteur EPR Flamanville 3 d'EDF, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a souhaité par sa lettre en référence recueillir l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur l'acceptabilité au plan de la sûreté de la nouvelle démarche qu'EDF prévoit d'utiliser pour l'étude du risque de dilution hétérogène inhérente à l'Accident de perte de réfrigérant primaire (APRP).

En effet, un transitoire d'APRP peut conduire sous certaines conditions à la formation et à l'accumulation d'eau faiblement borée par condensation de la vapeur (caloduc) dans les tubes des générateurs de vapeur (phénomène de dilution hétérogène inhérente). Les procédures accidentelles de conduite demandent à l'opérateur d'initier un refroidissement, qui peut conduire à une reprise de la circulation naturelle dans le circuit primaire puis à l'envoi de ces bouchons d'eau faiblement borée vers le cœur. La conséquence possible d'un tel scénario est le retour incontrôlé en puissance du cœur du réacteur pouvant entraîner des dommages au cœur du réacteur.

L'objectif de la démarche d'EDF est de démontrer l'absence de retour en puissance du cœur en cas de dilution inhérente en APRP et EDF retient à cet égard un critère de découplage de non-retour en criticité du cœur. La démarche proposée par EDF se décompose en trois étapes :

- la première étape consiste à identifier les scénarios pénalisants par des simulations de transitoires avec un logiciel de thermohydraulique permettant de représenter de façon simplifiée les circuits primaire et secondaire (dit logiciel système). Dans cette étape, EDF transpose directement certains résultats issus des essais réalisés sur la boucle expérimentale PKL (volume des bouchons d'eau faiblement borée, caractéristiques de la reprise de la circulation naturelle dans les différentes boucles du circuit primaire) à l'échelle réacteur. Pour mémoire, PKL est une boucle expérimentale, exploitée par AREVA Allemagne, représentant à une échelle réduite les circuits primaire et secondaire d'un réacteur à eau pressurisée allemand (KONVOI). Cette

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

étape permet de fournir les conditions initiales et aux limites pour les calculs thermohydrauliques de transport de bouchon de l'étape 2 ;

- la deuxième étape simule le transport du bouchon d'eau faiblement borée et son mélange avec l'eau borée présente dans la branche froide et dans la cuve au moyen d'un logiciel tridimensionnel de thermohydraulique locale. Cette étape permet d'obtenir l'évolution de la nappe de concentration en bore et de température à l'entrée du cœur ;
- la troisième étape correspond à la comparaison de la concentration minimale en entrée cœur obtenue à la concentration en bore critique, le critère de découplage étant la vérification du non-retour en criticité. Cette étape comprend donc aussi la détermination de la concentration en bore critique.

Cette nouvelle démarche vise à répondre aux demandes formulées par l'ASN à l'issue de réunions du Groupe Permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR).

Le dossier d'EDF en support de la démarche traite de différents thèmes, qui ont fait l'objet d'une analyse de l'IRSN :

- l'identification des phénomènes physiques mis en jeu : l'IRSN note que les différents phénomènes physiques du transitoire de dilution inhérente sont clairement identifiés par EDF. Il souligne toutefois que leur description intègre des conclusions des essais PKL, dont la transposition au cas des REP n'est pas démontrée selon l'IRSN.
- la validation des logiciels de calcul utilisés dans la démarche : l'IRSN a analysé le dossier de validation du logiciel système en regard des phénomènes physiques dominants du transitoire de dilution inhérente. Il souligne l'absence de validation de certains modèles influant sur les simulations des transitoires d'APRP, en particulier le comportement des générateurs de vapeur (GV) économiseurs (configuration EPR) en situation accidentelle, qui influent notamment sur le calcul de répartition du débit de condensat dans les GV pendant la phase de caloduc, ainsi que des modèles permettant de représenter les accumulateurs et d'évaluer le débit critique à la brèche. En conséquence, l'IRSN considère que le dossier de validation du logiciel système est insuffisant pour démontrer sa capacité à calculer certains paramètres dominants utilisés dans la démarche de l'exploitant.

Par ailleurs, l'IRSN estime que le dossier de validation du logiciel CFD utilisé dans le cadre de cette démarche est incomplet. En particulier, l'IRSN estime que la démonstration de la capacité du logiciel CFD à simuler correctement les différents phénomènes physiques (écoulement autour d'un obstacle, impact d'un jet, effet de densité,...) n'est pas apportée, notamment pour le modèle de turbulence retenu, ce qui constitue une lacune du dossier de validation. Par ailleurs, la validation de la méthode de calcul du transport du bouchon et des choix de modélisation n'est pas acquise. De plus, l'IRSN estime que la démonstration de la pertinence de la transposition du maillage par homothétie de l'échelle maquette à celle du cas réacteur n'est pas apportée. Enfin, l'IRSN note que le dossier ne présente pas de quantification des incertitudes sur la concentration en bore minimale en entrée du cœur.

- la méthode d'identification des transitoires pénalisants : EDF retient trois scénarios d'APRP qui résultent d'études de sensibilité sur la taille de brèche et sur les

équipements sur lesquels portent l'application de la défaillance unique et de la maintenance préventive. Chacun de ces scénarios a pour objectif de pénaliser un paramètre important de l'étude de dilution inhérente : la concentration en bore dans la cuve du réacteur à l'instant de reprise de la circulation naturelle, la dégradation de l'inventaire en eau primaire ou la concentration en bore critique.

L'IRSN estime que le caractère conservatif du choix de l'équipement sur lequel porte la maintenance préventive n'est pas établi à ce stade.

Par ailleurs, l'IRSN constate que les études de sensibilité réalisées à l'étape 1 ne permettent pas de déterminer le scénario pénalisant. La démonstration du caractère pénalisant nécessiterait en effet soit la réalisation systématique du calcul CFD à la suite du calcul système, soit la mise en œuvre d'une démarche basée sur des études de sensibilité système/CFD, du fait de la complexité des phénomènes tridimensionnels en jeu lors du transport du bouchon d'eau faiblement borée de l'entrée de la branche froide à l'entrée du cœur. Enfin, EDF estime que les scénarios d'envoi de bouchons d'eau dans des boucles dénoyées sont enveloppés par les scénarios retenus dans sa démarche. L'IRSN estime que les argumentaires présentés par EDF ne sont pas suffisants pour pouvoir statuer sur ce point.

- **la transposition des conclusions des essais PKL aux réacteurs de type EPR en termes de volume de bouchon et de séquence de reprise de la circulation naturelle** : sur la base des essais PKL, le scénario de dilution inhérente étudié par EDF est l'envoi d'un seul bouchon d'eau faiblement borée vers le cœur lors de la phase de redémarrage de la circulation naturelle, dans une boucle sans injection de sécurité, avec un débit de circulation naturelle transposé d'un essai PKL, le volume du bouchon étant limité à celui d'une branche en U et de la boîte à eau située à la sortie d'un générateur de vapeur (soit 11 m³).

L'IRSN estime que, compte tenues nombreuses différences de conception et de conditions thermohydrauliques entre les essais PKL et les configurations des REP français étudiées, la transposition au cas du réacteur de la limitation du bouchon d'eau au volume de la boîte à eau de sortie du GV et de la branche en U observée sur les essais PKL ne peut être démontrée.

Concernant la séquence de reprise de la circulation naturelle, l'IRSN estime qu'EDF n'a pas démontré le caractère pénalisant du scénario retenu, en termes de nombre de bouchons et de choix de la boucle où s'effectue la première reprise de la circulation naturelle (avec ou sans injection de sécurité) : l'IRSN considère notamment que la reprise simultanée de la circulation naturelle dans plusieurs boucles ne peut être exclue et que les conséquences de ce type de scénario devraient être évaluées.

De plus, l'IRSN estime que l'essai PKL utilisé pour évaluer le débit de circulation naturelle pour l'étude réacteur n'est pas représentatif des scénarios considérés dans le dossier.

Compte tenu de l'ensemble des réserves exposées ci-dessus, l'IRSN estime que la transposition des conclusions des essais PKL au cas réacteur, et notamment à EPR, en termes de volume de bouchon et de séquence de reprise de la circulation naturelle, n'est pas démontrée.

- **la détermination de la concentration en bore en entrée du cœur calculée à l'aide d'un logiciel de calcul thermohydraulique locale (CFD)** : la concentration en bore en entrée du cœur est déterminée par une simulation CFD car les phénomènes physiques de mélange intervenant dans la branche froide, la descente annulaire et le plenum inférieur sont fortement tridimensionnels. Cette simulation évalue le transport du bouchon d'eau faiblement borée vers le cœur lors de la reprise de la circulation naturelle. Suite à son analyse, l'IRSN estime que la pertinence des choix de modélisation retenus pour le cœur n'est pas apportée. Par ailleurs, le caractère pénalisant de certaines hypothèses (vitesses initiales dans la cuve, température initiale dans la cuve, concentration en bore initiale dans la cuve, caractéristiques de l'injection de sécurité) n'est pas justifié. De plus, la concentration en bore en entrée du cœur résulte de phénomènes physiques complexes (mélange, effets de densité...), qui dépendent de paramètres de la chaudière (notamment la température et le débit de l'injection) : les éléments présentés par EDF ne permettent pas de statuer sur le caractère pénalisant du jeu de paramètres chaudière retenu vis-à-vis de la concentration en bore minimale en entrée du cœur. En conclusion, l'IRSN estime que le caractère enveloppe de la concentration en bore en entrée du cœur calculée à l'aide d'un logiciel de calcul thermohydraulique locale (CFD) n'est pas démontré.
- **la détermination de la concentration en bore critique** : pour l'étude de la dilution inhérente, un critère de découplage de non-retour en criticité est retenu par EDF, ce qui permet d'assurer l'absence de retour en puissance et donc de dommage sur le combustible. La concentration en bore minimale en entrée du cœur (à l'échelle d'un assemblage) calculée au cours du transitoire par le logiciel CFD est comparée à la concentration en bore critique qui est elle-même déterminée à la température (issue du calcul CFD) de l'assemblage portant la concentration en bore minimale. L'IRSN estime acceptables les conditions retenues pour l'évaluation de la concentration en bore critique. Toutefois, l'IRSN a noté qu'EDF n'envisage pas d'effectuer des vérifications lors des calculs de recharges. L'IRSN souligne que l'absence de vérification en recharge suppose que l'impact de la variabilité des recharges soit nettement inférieur à la marge au critère, ce qui n'est actuellement pas démontré.

A l'issue de son analyse, l'IRSN considère que la démarche d'étude de la dilution inhérente en APRP n'est pas acceptable, du fait des nombreuses réserves émises ci-dessus.

Compte tenu des réserves de l'IRSN et afin d'apporter des éléments de démonstration pour l'étude d'application du RDS FA3, EDF a proposé un programme de travail complémentaire basé sur des études de sensibilité visant à apprécier les éventuels effets faibles liés aux principales hypothèses de la démarche (nombre et volume des bouchons, débit de reprise de la circulation naturelle). L'IRSN souligne que le programme de travail proposé répond à certaines interrogations soulevées au cours de son instruction. L'IRSN précise néanmoins que certaines réserves ne sont pas traitées dans le cadre de ce programme de travail. Toutefois, les éléments complémentaires permettront d'apprécier

scénarios plus pénalisants que ceux actuellement proposés dans la démarche d'étude. Enfin, l'IRSN souligne qu'EDF estime que les éléments issus du programme de travail n'ont pas vocation à figurer dans le RDS FA3. Pour sa part, l'IRSN estime qu'il convient d'intégrer ces éléments dans le RDS dans la mesure où les hypothèses et choix de modélisation retenus dans les études de dilution inhérente réalisées selon la démarche proposée par EDF ne permettent pas, selon l'IRSN, de statuer sur le caractère acceptable du risque de dilution inhérente.

Compte tenu des réserves exprimées sur la démarche de sûreté, l'IRSN a demandé à EDF de présenter les analyses menées pour répondre à la demande de l'ASN « *explorer des solutions palliatives qui pourraient être mises en œuvre pour éliminer le transitoire de dilution inhérente ou mitiger ses conséquences* ». Sur la base des éléments transmis, l'IRSN constate qu'EDF n'a pas mené d'analyse approfondie des solutions palliatives et a privilégié la « solution » études, ce qui requiert donc l'assurance de la capacité prédictive des logiciels de calcul à simuler les phénomènes physiques et la représentativité des essais associés, ce que l'IRSN estime non démontré à ce jour et difficilement démontrable. En conséquence, l'IRSN estime qu'il serait nécessaire qu'EDF poursuive l'exploration de solutions palliatives susceptibles de prévenir l'occurrence de transitoires de dilution inhérente en APRP ou de limiter ses conséquences.

Pour le Directeur général de l'IRSN, et par délégation,
La Directrice des systèmes, des nouveaux réacteurs et des démarches de sûreté.

S. CADET-MERCIER