



DIRECTION DES CENTRALES NUCLEAIRES

Montrouge, le 9 février 2015

Réf. : CODEP-DCN-2015-002998

Monsieur le Directeur  
Centre national d'équipement nucléaire (CNEN)  
EDF  
97 avenue Pierre Brosolette  
92120 MONTRouGE

**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. :** [1] Lettre EDF ENPRTL090437 du 15 décembre 2009  
[2] Fiche EDF ENPRTL090436 du 15 décembre 2009  
[3] Note EDF ENPRTL09417 du 3 décembre 2009  
[4] Courrier DGSNR/SD2/N° 0132/2004 du 23 février 2004  
[5] Courrier DGSNR/SD2/N° 927/2003 du 31 décembre 2003  
[6] Note EDF ENPRTL130217 A du 5 juillet 2013  
[7] Note EDF ENPRTL130217 C du 8 décembre 2014

Monsieur le Directeur,

Le phénomène de dilution hétérogène inhérente correspond à la baisse de la concentration en bore du fluide primaire, dans certaines conditions, à la suite de l'apparition d'une brèche sur le circuit primaire principal. Sa phénoménologie est rappelée en annexe 1 au présent courrier.

En réponse au courrier de l'ASN cité en référence [4] qui vous demandait, en particulier, pour le projet de réacteur EPR de Flamanville 3, « d'analyser les risques de dilution hétérogène inhérente pouvant survenir à la suite d'une brèche primaire en appliquant les règles et les critères utilisés pour les études des conditions de fonctionnement PCC », vous avez transmis, par lettre citée en référence [1], la fiche de synthèse en référence [2] et la note citée en référence [3].

La note citée en référence [3] présente la démarche que vous comptez utiliser pour l'étude de la dilution hétérogène inhérente se produisant à la suite d'un accident de perte de réfrigérant primaire (APRP) par brèche intermédiaire sur le circuit primaire principal d'un réacteur nucléaire à eau sous pression. Vous prévoyez de suivre cette démarche aussi bien pour les réacteurs en service que dans le dossier de demande d'autorisation de mise en service du réacteur EPR de Flamanville 3. Cette démarche tient notamment compte d'enseignements tirés des essais réalisés sur la maquette PKL d'AREVA-Allemagne et de leur transposition à l'échelle d'un réacteur nucléaire. L'objectif poursuivi dans cette démarche est de démontrer l'absence de retour en puissance du cœur du réacteur en cas de dilution hétérogène inhérente.

\*

\*  
\*      \*

La démarche présentée dans la note citée en référence [3] que vous comptez utiliser pour l'étude de cet accident se décompose en trois étapes successives :

- la première étape consiste à identifier des scénarios pénalisants parmi plusieurs simulations de transitoires réalisées avec le logiciel de thermohydraulique système CATHARE 2, permettant de représenter les circuits primaire et secondaire. Dans cette étape, vous avez directement transposé à l'échelle du réacteur 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. Cette étape permet de fournir les conditions initiales et les conditions aux limites pour les calculs thermohydrauliques de transport du bouchon à 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 du logiciel tridimensionnel de thermohydraulique locale STAR-CD (logiciel dit de CFD<sup>1</sup>). Cette étape permet de déterminer l'évolution de la nappe de concentration en bore et de température à l'entrée du cœur ;
- la troisième étape consiste à comparer la concentration minimale calculée à l'entrée du cœur à la concentration en bore critique. Si la concentration minimale est supérieure à la concentration critique, le retour en criticité est exclu. Il s'agit d'un critère de découplage par rapport à la survenue de conséquences inacceptables.

\*

L'analyse de votre démarche par l'ASN et son appui technique amène un certain nombre de remarques et de réserves présentées en annexe 1 au présent courrier. Les réserves portent sur les points suivants :

- Identification des phénomènes physiques mis en jeu : Les différents phénomènes physiques mis en jeu sont clairement identifiés. Toutefois, leur description intègre des conclusions des essais PKL dont vous n'avez pas complètement justifié la transposition au cas des REP. Compte tenu des nombreuses différences de conception et de conditions thermohydrauliques entre les essais PKL et les configurations des réacteurs nucléaires français étudiées, la transposabilité au cas du réacteur de la limitation du bouchon d'eau au volume de la boîte eau de sortie du GV et de la branche en U observée sur les essais PKL ne peut être démontrée à ce stade.
- Validation des logiciels de calcul utilisés dans la démarche : L'analyse du dossier de validation du logiciel système en regard des phénomènes physiques dominants de la dilution inhérente met en évidence l'absence de validation de certains modèles influant sur les simulations des transitoires d'APRP.

---

<sup>1</sup> CFD : *computational fluid dynamics* : mécanique des fluides numérique (MFN) qui consiste à étudier les mouvements d'un fluide, ou leurs effets, par la résolution numérique des équations régissant le fluide.

- Méthode d'identification des transitoires pénalisants : Vous avez choisi dans vos calculs de faire porter l'indisponibilité à considérer du fait de la maintenance préventive, pour l'ensemble des scénarios, sur un train de l'injection de sécurité (ISMP et ISBP) n'alimentant pas la branche primaire rompue. Le caractère conservatif du choix de cet équipement n'est pas établi à ce stade et les études de sensibilité que vous avez réalisées à l'étape 1 de votre démarche ne permettent pas de déterminer le scénario pénalisant, celui-ci étant en fait déterminé dans votre application de la méthode par l'utilisation du seul logiciel système.
- Comparaison de la concentration à la concentration critique : Vous déterminez la concentration en bore en entrée du cœur à l'aide d'un calcul de CFD car les phénomènes physiques de mélange intervenant dans la branche froide, la descente annulaire et le plenum inférieur sont fortement tridimensionnels. Ce calcul modélise le transport du bouchon d'eau faiblement borée vers le cœur lors de la reprise de la circulation naturelle. L'ASN estime que le caractère enveloppe de la concentration en bore en entrée du cœur calculée à l'aide d'un logiciel CFD n'est pas démontré.

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

Compte tenu de premières réserves de l'ASN et de son appui technique sur votre démarche, vous avez défini et mis en œuvre un programme de travail complémentaire afin d'apporter des éléments de démonstration pour l'étude de la dilution inhérente à la brèche intermédiaire primaire qui sera présentée pour la demande d'autorisation de mise en service du réacteur EPR de Flamanville 3. Ce programme est basé sur la réalisation d'études de sensibilité visant à détecter les éventuels effets falaise liés aux principales hypothèses de votre démarche (nombre et volume des bouchons, débit de reprise de la circulation naturelle). Les éléments complémentaires issus de ces études permettent d'apprécier l'existence de marges vis-à-vis du retour en criticité pour des scénarios plus pénalisants que ceux actuellement proposés dans votre démarche d'étude. Néanmoins, ce programme de travail, s'il répond à certaines interrogations, ne traite pas toutes les réserves énoncées ci-dessus.

Les études pour la démonstration de sûreté nucléaire relative à la situation de dilution inhérente à l'APRP requièrent l'assurance de la capacité prédictive des logiciels de calcul à simuler les phénomènes physiques et celle de la représentativité des essais associés. L'ASN estime que vous n'avez pas apporté la démonstration de cette capacité prédictive et de cette représentativité à ce jour.

En outre, à la suite de la demande de l'ASN exprimée, en 2003, dans son courrier cité en référence [5], d'« explorer des solutions palliatives qui pourraient être mises en œuvre pour éliminer le transitoire de dilution inhérente ou mitiger ses conséquences », vous avez transmis, en 2013 et 2014, par vos courriers cités en références [6, 7], l'état de vos réflexions sur les solutions pouvant être mises en œuvre sur les réacteurs nucléaires en service et sur le réacteur EPR de Flamanville 3 : vous ne reprenez aucune solution palliative fondée sur une modification de la conduite ou sur une modification fonctionnelle, ni pour l'EPR ni pour les réacteurs en service.

**En conséquence, l'ASN vous demande d'étudier les conséquences sur la réactivité du cœur et le comportement du combustible du passage d'un bouchon d'eau faiblement boré dans le cœur, en fonction de son volume estimé.**

**Dans le cas où les conséquences d'un tel accident se révéleraient inacceptables, l'ASN vous demande, conformément au titre II-2 du décret d'autorisation de création (DAC), de prendre des dispositions techniques, complétées si nécessaire par des dispositions d'exploitation, dont la performance et la fiabilité doivent permettre de considérer ce type de situation comme exclu.**

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de ma considération distinguée.

Le directeur de la DCN,

**Thomas HOUDRÉ**

## **A. Phénoménologie de la dilution inhérente après APRP**

Le transitoire de dilution hétérogène inhérente correspond à la baisse de la concentration en bore du fluide primaire, dans certaines conditions, à la suite de l'apparition d'une brèche sur le circuit primaire principal.

Au-delà d'une certaine taille de brèche, le débit du fluide sortant du circuit primaire ne peut plus être compensé par le système de contrôle volumétrique et chimique : l'inventaire en fluide primaire se dégrade. Après l'arrêt des groupes motopompes primaires, un régime de circulation naturelle du fluide primaire se met en place. La poursuite de la dégradation de l'inventaire en fluide primaire conduit à l'arrêt de cette circulation naturelle et à un fonctionnement en régime caloduc dans le circuit primaire : la vapeur produite dans la cuve du réacteur se déplace vers les générateurs de vapeur (GV) par les branches chaudes du circuit primaire. Cette vapeur se condense dans les tubes de GV refroidis, du côté secondaire, par l'eau du circuit d'alimentation en eau de secours des GV (ASG). Cette eau de condensation, ne contenant pas de bore, s'accumule dans la boîte à eau froide du GV et dans la branche en U de la branche froide du circuit primaire. Lorsque la pression primaire a suffisamment baissé, le débit de l'injection de sécurité devient suffisant pour compenser le débit sortant par la brèche. Le niveau de l'eau dans le circuit primaire remonte et la circulation naturelle reprend : le ou les volumes d'eau à faible concentration en bore formés dans les branches froides du circuit primaire sont alors entraînés, simultanément ou l'un après l'autre, dans la cuve du réacteur où ils peuvent rendre localement critique le cœur du réacteur. Cet accident de criticité peut amener des dommages sur le combustible.

## **B. Remarques sur la démarche mise en œuvre par EDF**

### ***B.1. Identification des phénomènes physiques mis en jeu***

Les différents phénomènes physiques du transitoire de dilution inhérente sont clairement identifiés. Toutefois, leur description intègre des conclusions des essais PKL dont EDF n'a pas complètement justifié la transposition au cas des REP.

### ***B.2. Validation des logiciels de calcul utilisés dans la démarche***

L'analyse du dossier de validation du logiciel système en regard des phénomènes physiques dominants du transitoire de dilution inhérente met en évidence l'absence de validation de certains modèles influant sur les simulations des transitoires d'APRP.

Il en est ainsi des modèles permettant de représenter les accumulateurs et d'évaluer le débit critique à la brèche et, pour le réacteur EPR, du comportement des GV économiseurs en situation accidentelle qui influe notamment sur le calcul de répartition du débit de condensat dans les tubes GV pendant la phase de caloduc. 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, le dossier de validation du logiciel CFD utilisé dans le cadre de cette démarche est incomplet. En particulier, 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. De même, la validation de la méthode de calcul du transport du bouchon et des choix de modélisation n'est pas acquise. De plus, la pertinence de la transposition du maillage par homothétie de l'échelle de la maquette à celle du cas réacteur n'est pas démontrée. Enfin, le dossier ne présente pas de quantification des incertitudes sur la concentration en bore minimale en entrée du cœur.

### ***B.3. Méthode d'identification des transitoires pénalisants***

EDF retient, pour le réacteur EPR, 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 l'indisponibilité associée à la maintenance préventive. Chacun de ces scénarios a pour objectif de définir la pénalisation à apporter sur 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.

Le caractère conservatif du choix de l'équipement sur lequel porte l'indisponibilité associée à la maintenance préventive n'est pas établi à ce stade et les études de sensibilité que vous avez réalisées à l'étape 1 de votre démarche ne permettent pas de déterminer le scénario pénalisant, celui-ci étant en fait déterminé dans votre application de la méthode par l'utilisation du seul logiciel système. La démonstration du caractère pénalisant du scénario nécessite, soit la réalisation systématique du calcul de CFD à la suite du calcul réalisé avec le logiciel système, soit la mise en œuvre d'une démarche plus globale basée sur des études de sensibilité mettant en œuvre systématiquement le couplage « système/CFD ». Cette approche est rendue nécessaire 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, qui font intervenir un grand nombre de paramètres pouvant avoir des effets antagonistes sur le caractère pénalisant du résultat.

EDF considère enfin que les scénarios d'envoi de bouchons d'eau dans des boucles primaires en situation diphasique sont enveloppés par les scénarios retenus dans votre démarche. L'ASN estime que les argumentaires présentés ne sont pas suffisants pour pouvoir statuer sur ce point.

### ***B.4. Transport du bouchon d'eau faiblement boré***

Le scénario de dilution inhérente étudié par EDF sur la base des essais PKL est l'envoi d'un seul bouchon d'eau faiblement borée vers le cœur du réacteur lors de la phase de redémarrage de la circulation naturelle, dans une boucle sans injection de sécurité. Le débit de circulation naturelle pris en compte par EDF est transposé d'un essai PKL et le volume du bouchon est limité à celui d'une branche en U et de la boîte à eau située à la sortie du GV associé, soit 11 m<sup>3</sup> pour le réacteur EPR.

Compte tenu des nombreuses différences de conception et de conditions thermohydrauliques entre les essais PKL et les configurations des réacteurs nucléaires français étudiées, la transposabilité au cas du réacteur de la limitation du bouchon d'eau au volume de la boîte 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, 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'ASN 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'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, la transposabilité 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 à ce stade.

### ***B.5. Comparaison de la concentration à la concentration critique***

EDF détermine la concentration en bore en entrée du cœur à l'aide d'un calcul de CFD car les phénomènes physiques de mélange intervenant dans la branche froide, la descente annulaire et le plenum inférieur sont fortement tridimensionnels. Ce calcul modélise le transport du bouchon d'eau faiblement borée vers le cœur lors de la reprise de la circulation naturelle.

EDF n'a pas justifié la pertinence des choix de modélisation retenus pour le cœur. De plus, EDF n'a pas justifié 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. Les éléments présentés concernant la concentration en bore en entrée du cœur, qui résulte de phénomènes

physiques complexes (mélange, effets de densité...) tributaires de paramètres de la chaudière, notamment la température et le débit de l'injection, 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.

L'ASN estime donc que le caractère enveloppe de la concentration en bore en entrée du cœur calculée à l'aide d'un logiciel CFD n'est pas démontré.

#### ***B.6. Détermination de la concentration en bore critique***

EDF retient un critère de découplage pour le non-retour en criticité 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 de CFD est comparée à la concentration en bore critique qui est elle-même déterminée à la température, issue du calcul de CFD, de l'assemblage portant la concentration en bore minimale.

L'ASN estime acceptables les conditions retenues pour l'évaluation de la concentration en bore critique. Toutefois, EDF n'envisage pas d'effectuer de vérification sur le calcul de la concentration critique lors des calculs de recharge de combustible. L'absence de vérification en recharge supposerait que l'impact de la variabilité des recharges soit nettement inférieur à la marge au critère, ce qui n'est actuellement pas démontré.