



DIRECTION DES CENTRALES NUCLEAIRES

Montrouge, le 24 décembre 2013

**Réf. : CODEP-DCN-2013-053003****Monsieur le Directeur  
Division Production Nucléaire  
EDF  
Site Cap Ampère – 1 place Pleyel  
93 282 SAINT-DENIS CEDEX****Objet : Réacteurs électronucléaires – EDF – Palier 1300 MWe  
Réexamen de sûreté associé à la troisième visite décennale des réacteurs (VD3 1300)  
Risques de dilution par fuite sur le circuit d'étanchéité des pompes primaires****Réf. :** [1] Note EDF ENPRTL080106/A « Dilution hétérogène par fuite échangeur CEPP. Évaluation de la nocivité d'un bouchon de 5 m<sup>3</sup> »  
[2] Note EDF ENPCS060291/B « Scénarios de dilution homogène – Identification des débits dimensionnant – Palier CPY »

Monsieur le Directeur,

Les études probabilistes de sûreté (EPS) de niveau 1 ont montré que le scénario de dilution de l'acide borique du fluide primaire consécutive à une fuite de l'échangeur du circuit d'étanchéité des pompes primaires (CEPP) fait partie des scénarios prépondérants pouvant mener à un début de fusion du cœur du réacteur. Ce scénario était le plus fort contributeur à la fréquence de fusion du cœur dans l'EPS qu'EDF a développée pour déterminer les modifications à apporter pour les troisièmes décennales des réacteurs de 900 MWe (EPS 900 VD2 REX).

Afin de poursuivre l'amélioration de la prévention du risque d'insertion de réactivité dans les états standards où les pompes primaires sont arrêtées, EDF a proposé, dans son programme de travail sur les thèmes du réexamen de sûreté VD3 1300, d'étudier les possibilités d'amélioration envisageables.

EDF a transmis, par le courrier en référence [1], l'étude de la nocivité de la mise en mouvement d'un bouchon de 5 m<sup>3</sup> d'eau à faible concentration d'acide borique résultant d'une fuite de l'échangeur CEPP. Cette étude, qui concerne tous les réacteurs en fonctionnement, s'appuie sur les résultats d'autres études simulant les mélanges lors de l'envoi d'un bouchon d'eau à faible concentration d'acide borique jusqu'à l'entrée du cœur. Cette étude conclut au maintien de la sous-criticité du cœur à la suite de l'envoi d'un bouchon d'eau à faible concentration d'acide borique, formé en arrêt pour rechargement ou en arrêt pour intervention dans une branche en « U » du circuit primaire, à la suite du démarrage d'un groupe motopompe primaire en arrêt à froid normal pour éventage dynamique du circuit primaire.

Elle vous a permis de conclure, pour les réacteurs de 1300 MWe :

- qu'il n'était plus nécessaire de tenir compte de ce scénario dans l'EPS 1300 VD2 REX, utilisée pour déterminer les modifications à apporter lors des troisièmes visites décennales des réacteurs de 1300 MWe ;
- qu'il n'est pas nécessaire de faire évoluer les moyens de protection existants vis-à-vis de ce scénario.

Après examen par l'ASN et son appui technique, **l'ASN considère que les études que vous avez présentées ne permettent pas d'exclure le risque de criticité consécutif à une dilution de l'acide borique du fluide primaire par fuite de l'échangeur CEPP et que des justifications d'ampleur restent à produire pour exclure ce risque.**

\*  
\*     \*

L'analyse du risque de dilution hétérogène<sup>1</sup> du circuit primaire s'inscrit dans la continuité des études réalisées depuis 1986 sur les accidents de réactivité à la suite de l'accident de Tchernobyl. Les études ont mis en évidence un risque éventuel de conséquence sévère consécutive au balayage rapide du cœur du réacteur par un bouchon d'eau à faible concentration en bore.

Les études probabilistes ont mis en évidence une fréquence significative de ces situations. Celles-ci n'étant pas étudiées dans le domaine de dimensionnement des réacteurs en fonctionnement, EDF a défini, pour certaines d'entre elles, des dispositions complémentaires visant à réduire la probabilité de fusion du cœur à une valeur considérée comme acceptable<sup>2</sup>. Il en est ainsi de la « protection anti-dilution (PAD) » qui ramène à un niveau acceptable le risque de fusion du cœur de la séquence fonctionnelle « Dilution hétérogène en AN/GV<sup>3</sup> et AN/RRA<sup>4</sup> ». La dilution hétérogène par fuite de l'échangeur CEPP ne fait pas partie de cette séquence fonctionnelle car la PAD n'est pas efficace, dans ce scénario, pour arrêter la dilution. EDF n'a pas étudié de disposition complémentaire spécifique à cet initiateur à la suite de la prise en compte des conclusions de l'étude en référence [1].

Vous avez utilisé deux approches distinctes en appui de l'exclusion de ce scénario accidentel. Ces deux approches s'appuient sur les mêmes études de mélange en branche froide du circuit primaire et dans la cuve du réacteur. La première approche consiste à déterminer la limite basse du débit d'injection d'eau borée aux joints des pompes primaires permettant d'éviter tout risque de création d'un bouchon d'eau faiblement borée dans la branche en « U » du circuit primaire dont la mise en mouvement par la pompe primaire serait susceptible de conduire à la criticité du cœur du réacteur. Cette approche est assujettie à la prise en compte d'une taille « conventionnelle » de fissure<sup>5</sup> d'un tube de l'échangeur CEPP. La deuxième approche consiste à étudier le comportement neutronique du cœur à la suite de l'envoi d'un bouchon d'eau claire dans la cuve du réacteur.

---

<sup>1</sup> Diminution locale soudaine et importante de la teneur en bore dans le cœur d'un réacteur à eau sous pression, conduisant à une augmentation brutale de la réactivité.

<sup>2</sup> La notion de risque acceptable est définie dans le rapport de sûreté : « le caractère acceptable d'une séquence fonctionnelle est apprécié dans un premier temps en regard de valeurs probabilistes repères, fixées entre quelques  $10^{-6}$  et quelques  $10^{-7}$  en fonction de la gravité de leurs conséquences, et définies dans le but de guider l'analyse vers le respect de l'objectif probabiliste global. »

<sup>3</sup> Arrêt normal sur générateurs de vapeur

<sup>4</sup> Arrêt normal sur le système de refroidissement à l'arrêt

<sup>5</sup> La taille de la fissure prise en compte par EDF correspond à une règle d'étude relative à la protection des structures, systèmes et composants contre les effets mécaniques et environnementaux des ruptures de tuyauteries issue de l'appendice A du 10 CFR 50. Cette formule, basée sur un jugement d'expert, est conventionnelle et ne prend pas en compte la corrosion pouvant intervenir en conditions de fonctionnement. Ce risque de corrosion sous contrainte est pris en compte dans la fiche d'analyse du vieillissement (FAV) des tubes de l'échangeur CEPP.

### **Analyse de l'ASN relative à la première approche utilisée**

Dans son chapitre consacré aux calculs physiques associés aux séquences accidentelles, la règle fondamentale de sûreté (RFS) n° 2002-01, relative à l'utilisation des études probabilistes pour la sûreté des installations nucléaires de base, indique qu'« *il est généralement admis d'utiliser les valeurs les plus probables des paramètres physiques (conditions initiales et conditions aux limites). Il convient de s'assurer, par des études de sensibilité, de l'absence « d'effet falaise » lors des variations de ces paramètres autour des valeurs retenues. En présence d'un effet falaise, une modélisation plus détaillée est alors nécessaire* ».

L'ASN relève que vous n'avez pas établi que la taille de fissure « conventionnelle » que vous prenez en compte dans votre première approche est adaptée à l'étude de la dilution par fuite de l'échangeur CEPP. Vous n'indiquez pas davantage si cette valeur doit être considérée comme la plus probable ou comme enveloppe des valeurs possibles. Vous n'avez pas non plus procédé à une étude de sensibilité portant sur la taille de la fissure pour conforter les résultats que vous présentez. L'ASN note également qu'un débit de fuite légèrement supérieur à celui que vous avez pris en compte (correspondant à une augmentation du débit de fuite inférieure à 1 % du débit maximal à la brèche dans l'hypothèse de la rupture d'un tube de l'échangeur CEPP) conduit à la formation d'un bouchon d'eau à concentration nulle en bore dans la branche en « U » du circuit primaire. Cette situation conduit, dans le scénario de l'accident, à une concentration en bore en entrée du cœur inférieure à la concentration critique pour chaque gestion de combustible des réacteurs en fonctionnement, à l'exception de la gestion GEMMES.

Pour l'ASN, ces éléments remettent en cause votre première approche pour l'ensemble des gestions de combustible des réacteurs en fonctionnement à l'exception de la gestion GEMMES.

Enfin, l'ASN considère que l'hypothèse d'une dilution homogène du circuit primaire<sup>6</sup> à la suite du remplissage de la branche en « U » par de l'eau faiblement borée doit être prise en compte dans ce scénario de fuite de l'échangeur CEPP. Cette réserve remet en cause votre première approche pour la gestion de combustible GEMMES.

\*

### **Analyse de l'ASN relative à la seconde approche utilisée**

L'ASN estime que la seconde approche ne permet pas d'exclure tout risque de criticité. En effet :

- vous n'avez pas justifié certains choix de modélisation des conditions aux limites et vous n'avez réalisé aucune étude de sensibilité pour vous assurer de l'absence d'effet falaise, contrairement aux préconisations de la RFS n° 2002-01 rappelées plus haut. Or, la concentration en bore minimale en entrée du cœur peut présenter de fortes variations en fonction du choix des conditions aux limites imposées aux calculs thermodynamiques 3D, comme l'hypothèse de l'envoi du bouchon depuis une autre boucle, la mise en rotation du fluide en entrée de la branche froide, l'inversion du débit dans les autres branches primaires. L'ASN estime que certains choix de modélisation vis-à-vis de ces conditions aux limites, que vous avez considérés comme pénalisants, ne le sont pas nécessairement ;

---

<sup>6</sup> Une fois la branche en « U » du circuit primaire pleine d'eau faiblement borée, le débit de dilution s'écoule dans le reste du circuit primaire. Cette eau va progresser dans la branche froide jusqu'au piquage du circuit de refroidissement à l'arrêt (RRA) à partir duquel elle va être mise en mouvement et s'homogénéiser avec l'eau contenue dans la cuve et le circuit RRA. Une dilution homogène va se produire, limitée par le seuil de détection d'une dilution homogène par le boremètre du système d'échantillonnage nucléaire (REN), dont le dépassement déclenche une alarme spécifique, ou par le démarrage d'une pompe primaire.

- la validation des logiciels de calcul scientifique que vous mettez en œuvre présente plusieurs lacunes dont les principales sont exposées ci-dessous :
  - absence de validation élémentaire pour un certain nombre de phénomènes physiques potentiellement influents sur les résultats des calculs (mise en rotation du fluide en sortie de la pompe primaire, effet du coude en branche froide sur l'écoulement en entrée de cuve, influence des obstacles tels que les branches chaudes, les écrans thermiques, les plots de centrage, les internes de fond de cuve) ;
  - résultats expérimentaux présentant quelques limitations ou défauts par rapport à une cuve de réacteur 1300 MWe (distorsion du nombre de Reynolds, maquette trois boucles, absence de mesure de vitesse dans la descente annulaire et en entrée du cœur, faible densité de sondes de température en entrée du cœur) ;
  - absence de justification de la cohérence des choix de modélisation entre les cas de validation et le cas réacteur (absence d'étude de convergence en maillage, absence d'évaluation de l'incertitude résultant du choix des modèles physiques ou des choix numériques).

Cette considération portant sur votre deuxième approche concerne toutes les gestions de combustible des réacteurs en fonctionnement.

\*

### **Fréquence de l'initiateur de dilution hétérogène par fuite de l'échangeur CEPP**

EDF n'a pas calculé la fréquence de l'initiateur de dilution hétérogène par fuite de l'échangeur CEPP dans l'EPS 1300 VD2 REX. Vous avez, par contre, calculé la fréquence de l'initiateur de dilution massive d'une file RRA par fuite de l'échangeur RRA/RRI<sup>7</sup> en utilisant un taux horaire de fuite de  $1,5 \cdot 10^{-8}$ /h. Cette valeur est caractéristique de l'ordre de grandeur du taux horaire de fuite interne des échangeurs à tubes, valeur qui correspond également à la rupture franche d'un tube.

Les conditions de formation d'un bouchon de  $5 \text{ m}^3$  d'eau faiblement borée dans les branches en « U » du circuit primaire par fuite de l'échangeur CEPP existent en arrêt pour rechargement ou en arrêt pour intervention (injection aux joints des GMPP en service avec un débit suffisant et pompes de charge débouchées ou débit de charge faible, débit de fuite pouvant aller jusqu'à 24 000 l/h pour la rupture franche d'un tube, cf note en référence [2]). La fréquence de l'initiateur de dilution hétérogène par fuite de l'échangeur CEPP, proportionnelle au taux horaire de fuite d'un tube et à la durée des conditions favorables à la formation du bouchon, est ainsi supérieure à  $10^{-8}$  par année-réacteur.

Faute de démonstration de l'exclusion du risque de criticité à la suite de la dilution, le risque de fusion du cœur lié à la séquence accidentelle de dilution hétérogène par fuite de l'échangeur CEPP est supérieur à  $10^{-8}$  par année-réacteur, ce qui nécessite l'étude d'une séquence fonctionnelle particulière afin de réduire le risque par la mise en œuvre d'une disposition complémentaire adaptée.

---

<sup>7</sup> RRI : Système de refroidissement intermédiaire

\*  
\*       \*

Compte tenu de l'ampleur des éléments restant à fournir pour exclure, sur la base d'études, le risque de criticité résultant du scénario de dilution de l'acide borique du fluide primaire par fuite de l'échangeur CEPP, l'ASN vous demande :

- d'étudier des modifications matérielles ou de conduite dans le cadre d'une disposition complémentaire visant à rendre acceptable la séquence fonctionnelle liée à ce scénario de dilution hétérogène ;
- d'évaluer le caractère suffisant de ces modifications d'un point de vue probabiliste ;
- de lui présenter, sous un an, les modifications envisageables.

Par ailleurs, l'ASN vous demande d'étudier des modifications matérielles ou de conduite dans le cadre de dispositions complémentaires adaptées pour rendre acceptable la séquence fonctionnelle liée à ce risque de criticité pour les réacteurs des paliers 900 MWe et 1450 MWe.

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

Le Directeur de la DCN,

**Thomas HOUDRÉ**