

Fontenay-aux-Roses, le 28 juillet 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

**Avis/IRSN N°** 2016-00257

**Objet :** Réacteurs électronucléaires - EDF. Tous paliers. Anomalie d'étude relative au contrôle de la réactivité pour certains transitoires du domaine complémentaire.

**Réf.** [1] Lettre ASN CODEP-DCN-2016-029205 du 20 juillet 2016.

[2] Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base.

Par lettre citée en référence [1], l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a sollicité l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur l'analyse menée par EDF concernant le risque d'absence de maîtrise de la sous-criticité du réacteur pour certains transitoires accidentels étudiés dans le cadre du domaine complémentaire<sup>1</sup>, pour l'ensemble des réacteurs du parc en exploitation.

### Contexte

EDF a informé l'ASN de l'émergence d'une anomalie d'étude résultant de l'absence de vérification du contrôle de la réactivité du cœur des réacteurs en exploitation dans les études des transitoires accidentels du domaine complémentaire, en particulier ceux caractérisés par l'absence de moyen d'apport de bore<sup>2</sup> à haute pression du fait de l'indisponibilité supposée de l'injection de sécurité à haute ou moyenne pression, ainsi que du système de Contrôle volumétrique et chimique du circuit primaire (RCV) et de l'Injection aux joints des groupes motopompes primaires (IJPP).

Pour ce type de transitoires, il est nécessaire de vérifier que la marge à la sous-criticité apportée par la chute de grappes de contrôle lors de l'Arrêt automatique du réacteur, ou présente à l'instant initial (dans les état d'arrêt du réacteur), est suffisante pour maintenir la sous-criticité du réacteur compte tenu de l'apport de réactivité dû à l'effet modérateur<sup>3</sup> suite au refroidissement du circuit primaire

#### 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

---

<sup>1</sup> Le but des études du domaine complémentaire est de vérifier que les dispositions complémentaires mises en œuvre pour couvrir les initiateurs internes chaudière non couverts par le dimensionnement conventionnel de base permettent de ramener le risque lié à l'exploitation de l'installation à un niveau jugé acceptable.

<sup>2</sup> Le bore est un absorbant neutronique dissous dans le fluide primaire.

<sup>3</sup> L'effet modérateur se traduit par une augmentation (diminution) de la réactivité du cœur liée à la variation de densité des neutrons provoquée par une baisse (hausse) de la température du fluide primaire.

demandé par les procédures de conduite en situation accidentelle. Le risque de retour en criticité est présent jusqu'au début de la décharge des accumulateurs du système d'injection de sécurité (RIS).

Les transitoires concernés sont notamment les suivants :

- l'Accident de perte de réfrigérant primaire (APRP) avec défaillance de l'Injection de sécurité (IS) ;
- la Perte totale des alimentations électriques internes et externes (PTAE) avec défaillance du turbo-alternateur de secours (LLS).

EDF a ainsi déclaré, le 13 juillet 2016, un Événement significatif pour la sûreté (ESS) générique à tous les paliers de réacteurs. Il est classé par EDF au niveau 0 de l'échelle INES. EDF justifie l'absence de conséquence sur la sûreté selon une démarche d'étude réaliste<sup>4</sup>, mise en œuvre dans le cadre de la caractérisation de l'anomalie. Le rapport d'événement significatif d'EDF est attendu d'ici deux mois.

L'analyse réalisée par EDF conclut que les conséquences de l'anomalie sont en général sans impact sur la maîtrise de la réactivité pour les transitoires concernés. En revanche, pour les réacteurs de 900 MWe du palier CP0, même en considérant des hypothèses réalistes, le maintien de la sous-criticité ne peut pas être garanti pour certaines situations particulières de PTAE avec défaillance du LLS. Selon EDF, la fréquence d'occurrence des situations concernées est résiduelle et aucune mesure compensatoire n'est donc prévue.

Enfin, pour résorber définitivement l'anomalie, EDF compte démontrer, à l'occasion des prochains réexamens de sûreté, la maîtrise de la réactivité pour les transitoires concernés en fournissant des études avec des hypothèses conformes aux règles habituellement applicables.

L'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur la caractérisation de l'anomalie menée par EDF et plus particulièrement sur les points suivants :

- le domaine couvert par la caractérisation et l'exhaustivité de l'analyse menée par EDF ;
- l'identification par EDF des scénarii concernés par le risque de perte du contrôle de la réactivité ;
- les principes de l'analyse réaliste menée par EDF pour vérifier le contrôle de la réactivité pour les transitoires concernés ;
- la faisabilité de mesures compensatoires, matérielles ou d'exploitation, adaptées à la nocivité de l'écart sur les différents paliers et notamment le CP0 et pouvant être mises en œuvre à court et moyen termes par EDF afin d'assurer le contrôle de la réactivité pour les transitoires sensibles.

---

<sup>4</sup> C'est-à-dire selon une approche ne prenant pas en compte les conservatismes imposés par les règles d'études de sûreté (notamment pas de prise en compte des incertitudes).

## Analyse de l'IRSN

### Domaine couvert par la caractérisation

L'analyse transmise par EDF porte exclusivement sur les scénarii sans moyen d'apport de bore à haute pression. L'IRSN convient que ces scénarii méritaient d'être traités en priorité, mais estime que la caractérisation de l'anomalie doit désormais être complétée (voir le premier point de la **recommandation n° 1** en annexe). Par exemple, pour les scénarii de perte totale du système de réfrigération intermédiaire sur une durée de 100 heures, une démonstration de la maîtrise de la réactivité aurait dû figurer dans les rapports de sûreté. À cet égard, dans le cadre de l'instruction en cours d'une évolution de la stratégie de conduite de ces transitoires prévue par EDF pour certains paliers de réacteurs, EDF a dû justifier la maîtrise de la réactivité. La nouvelle stratégie vise en effet à réduire le débit de l'IJPP afin de limiter le remplissage du pressuriseur, et conduit en contrepartie à une diminution de l'apport de bore alors qu'il est nécessaire à la maîtrise de la réactivité.

De plus, en complément de la caractérisation individuelle des écarts, l'arrêté en référence [2] demande à l'exploitant d'une Installation nucléaire de base la réalisation d'une analyse de l'effet cumulé des écarts de conformité. En l'occurrence, cette analyse ne figure pas dans les éléments transmis par EDF. Pourtant, à titre d'exemple, les écarts de conformité relatifs à la température des locaux LLS sur certains réacteurs pourraient, a priori, en cumulant leurs effets, avoir un impact sur la caractérisation de cette anomalie. Ceci fait l'objet du deuxième point de la **recommandation n° 1** en annexe.

### Identification des scénarii concernés par l'écart

L'analyse d'EDF s'est d'abord concentrée, dès la détection de l'anomalie, sur les deux transitoires susmentionnés (APRP sans IS et PTAE sans LLS). EDF indique avoir réalisé des analyses probabilistes quantitatives des scénarii d'APRP avec perte de l'IS et de PTAE avec défaillance du LLS susceptibles de conduire à un retour en criticité sur certains réacteurs. Ces analyses aboutissent, selon EDF, pour certains de ces scénarii (par exemple APRP avec défaillance de l'IS à la sollicitation), à des fréquences d'occurrence très faibles, inférieures à la valeur limite qui imposerait de les considérer dans le domaine complémentaire. Toutefois, ces analyses ne figurent pas dans les documents transmis, ce qui fait l'objet du troisième point de la **recommandation n° 1** en annexe. Quoi qu'il en soit, l'IRSN souligne que l'approche retenue par EDF, qui repose sur un découpage fin entre des situations à analyser d'une part et des situations de fréquence d'occurrence résiduelle d'autre part, devra être justifiée et nécessitera une analyse.

Dans le cadre de la caractérisation de l'anomalie, EDF a ajouté à sa liste des transitoires sensibles les brèches survenant dans les états d'arrêt du réacteur, pour lesquelles le démarrage de l'IS nécessite une action manuelle des opérateurs. Dans les éléments transmis, EDF considère que les concentrations en bore requises par les Spécification techniques d'exploitation (STE) dans les conditions initiales de ces transitoires devraient garantir une sous-criticité suffisante, tout en indiquant néanmoins la nécessité d'une étude plus approfondie pour les épuisements du combustible proches de la fin de cycle. Ceci fait l'objet du quatrième point de la **recommandation n° 1** en annexe.

### Principes des études faites pour caractériser l'anomalie

L'IRSN estime acceptable l'utilisation d'une approche réaliste. Pour chaque gestion du combustible mise en œuvre dans ses réacteurs en exploitation, EDF a ainsi déterminé les températures limites à l'entrée du cœur en dessous desquelles un retour critique ne peut pas être écarté sans une analyse complémentaire. EDF a ensuite comparé ces limites à la température minimale induite par la pression de consigne du circuit secondaire imposée par la stratégie de conduite des transitoires concernés (variable selon les paliers).

Concernant les transitoires de PTAE avec défaillance de l'IJPP à l'initiateur, survenant en fin de cycle (cas le plus pénalisant) lorsque le réacteur est en production (RP) ou en Arrêt à chaud (AAC), les calculs réalisés par EDF montrent que :

- la gestion du combustible Cyclades (CP0) est la plus concernée par un risque de retour en criticité, pour les cas initiés en RP, au point qu'elle a nécessité la réalisation par EDF d'études thermohydrauliques réalistes pour évaluer la nocivité de l'anomalie (cf. ci-dessous) ;
- les gestions du combustible Parité-MOX (palier CPY) et Alcade (N4) ne sont pas concernées par le risque de criticité, les accumulateurs injectant systématiquement avant l'atteinte de la température critique ;
- la gestion du combustible Garance (CPY) nécessite, pour les cas initiés en RP, de valoriser l'anti-réactivité apportée par l'augmentation de la concentration en xénon dans le cœur suite à l'AAR ;
- la gestion du combustible Gemmes (1300 MWe) est concernée uniquement en AAC, ce qui relève selon EDF du risque résiduel.

Néanmoins, pour les cas initiés en arrêt à chaud et pour l'ensemble des réacteurs, la concentration en bore retenue par EDF dans ses calculs est celle requise par les STE lorsque la concentration en xénon dans le cœur est nulle. Or les STE autorisent des concentrations en bore réduites lorsque la concentration en xénon est élevée. Ce constat s'applique également à la définition des concentrations en bore minimales d'arrêt à froid dans les STE et donc à l'analyse des brèches dans les états d'arrêt du réacteur. Ceci fait l'objet du dernier point de la **recommandation n° 1** en annexe.

### Mise en œuvre de mesures compensatoires

Pour ce qui concerne les réacteurs du palier CP0, EDF a indiqué que l'analyse des calculs thermohydrauliques réalisés pour les transitoires sensibles vis-à-vis de la maîtrise de la sous-criticité, présentés succinctement dans le cadre de la caractérisation de l'anomalie, sera documentée ultérieurement dans une note dédiée qui précisera notamment les hypothèses (réalistes) prises en compte. **L'IRSN considère que cette note devra être transmise à l'ASN avec le rapport d'ESS.** Ces calculs thermohydrauliques n'ont donc pas été analysés dans le cadre de cet avis.

L'IRSN souligne néanmoins que ce type d'étude thermohydraulique réaliste peut être affecté d'incertitudes notables ; en effet, le fonctionnement en thermosiphon<sup>5</sup> de la chaudière pendant plusieurs heures est simulé dans l'étude, pour des transitoires se caractérisant notamment par la formation d'une bulle de vapeur sous le couvercle de la cuve. Les résultats de cette étude sont dépendants de la modélisation de la cinétique de décharge des accumulateurs et du transport de bore en thermosiphon. Or certains résultats présentés montrent des écarts faibles au moment de la décharge des accumulateurs entre la température limite de retour en criticité et la température en branche froide. Qui plus est, la résorption de cette anomalie, appuyée sur des études conformes aux règles d'études, n'est prévue par EDF qu'à l'occasion des prochains réexamens de sûreté, donc d'ici plusieurs années. C'est pourquoi l'IRSN estime qu'EDF doit envisager la mise en œuvre de mesures compensatoires ayant un impact direct sur l'origine du risque de perte de maîtrise de la sous-criticité. Ceci fait l'objet de la **recommandation n° 2** en annexe. EDF devrait, par exemple, évaluer l'efficacité d'un relèvement des limites d'insertion autorisées dans les STE pour les groupes de grappes de régulation C et D (utilisés pour le pilotage du réacteur), lorsque le réacteur est en fin de cycle et fonctionne à puissance réduite.

Par ailleurs, en fonction des réponses aux compléments demandés dans la recommandation n°1 en annexe, l'IRSN estime qu'EDF devra évaluer l'efficacité :

- d'une augmentation de la concentration en bore requise par les STE en état d'arrêt à chaud pour les réacteurs de 1300 MWe et pour des épuisements du cœur proches de la fin de cycle ;
- d'une obligation de respect de la concentration en bore requise en arrêt à chaud pour une concentration en xénon nulle, et ce pour tous les réacteurs.

En conclusion de son évaluation, l'IRSN estime :

- que les éléments techniques apportés par EDF dans la caractérisation de l'anomalie sont recevables, mais doivent être complétés dans le rapport d'ESS à venir ;
- qu'EDF doit étudier et mettre en œuvre autant que de besoin des mesures compensatoires, notamment dans la mesure où l'anomalie ne sera résorbée que dans plusieurs années, au bout d'un délai variable suivant les paliers de réacteurs concernés.

Pour le Directeur général et par délégation,  
Frédérique PICHEREAU  
Adjoint au directeur de l'expertise de sûreté

---

<sup>5</sup> La conduite en thermosiphon repose sur la circulation naturelle du fluide primaire, groupes motopompes primaires arrêtés, dans le cœur et dans les branches par différence de densité entre la source chaude (le cœur) située géométriquement en dessous de la source froide (les générateurs de vapeur).

## Recommandations

### Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF complète, pour l'ensemble des réacteurs, sa caractérisation de l'anomalie, à l'échéance de la transmission du rapport d'événement significatif pour la sûreté, de manière à :

- étendre le périmètre de la caractérisation de l'anomalie aux autres transitoires du domaine complémentaire que ceux caractérisés par l'indisponibilité des moyens d'apport de bore à haute ou moyenne pression pour lesquels la maîtrise de la réactivité doit aussi être vérifiée ;
- réaliser l'analyse des effets cumulés des écarts de conformité sur les réacteurs en exploitation, telle que demandée dans l'arrêté INB et spécifiée dans le guide ASN n°21 ;
- décrire précisément les évaluations probabilistes ayant conduit à exclure certains scénarii accidentels dans l'analyse de nocivité de l'écart ;
- disposer de l'analyse complète relative aux transitoires de brèches dans les états d'arrêt du réacteur, pour lesquels il n'y a pas de démarrage automatique du système d'injection de sécurité ;
- couvrir les transitoires qui pourraient être initiés, dans les états d'arrêt à chaud ou d'arrêt intermédiaire sur les générateurs de vapeur ou sur le système de refroidissement du réacteur à l'arrêt, avec des concentrations en bore inférieures à celles définies dans les Spécifications techniques d'exploitation en fin de cycle et pour une concentration en xénon nulle (ces conditions initiales étant autorisées lorsque l'anti-réactivité liée au xénon dépasse 2000 pcm).

### Recommandation n° 2

L'IRSN recommande que, pour la gestion du combustible Cyclades mise en œuvre dans les réacteurs de 900 MWe du palier CP0, EDF évalue la faisabilité et l'efficacité de mesures compensatoires permettant de rapprocher la température limite de retour en criticité évaluée pour cette gestion de celle calculée pour la gestion du combustible Garance, mise en œuvre dans les réacteurs de 900 MWe du palier CPY et pour laquelle le risque de criticité est écarté.