

Fontenay-aux-Roses, le 18 novembre 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

**Avis IRSN N°** 2016-00355

**Objet :** EDF - Palier N4

Instruction des études associées au réexamen de sûreté des réacteurs de 1450 MWe après 20 années de fonctionnement (VD2 N4)

Risque de criticité associé à la chute d'assemblages dans le BR.

**Réf. :** Saisine ASN CODEP-DCN-2015-050549 du 21 décembre 2015.

Par la lettre citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis de l'IRSN sur la pertinence et la suffisance de l'analyse du risque de criticité associé à la chute d'assemblages dans le bâtiment réacteur (BR) du palier N4, transmise par EDF en juin 2015 dans le cadre du réexamen de sûreté des réacteurs de 14500 MWe après 20 années de fonctionnement (VD2 N4).

Cette analyse fait suite au retour d'expérience du retrait partiel d'un ou de plusieurs assemblages combustibles, soulevés lors de la levée des Équipements Internes Supérieurs (EIS) du réacteur n°2 de Tricastin (2008 et 2009) et du réacteur n°1 de Gravelines (2009).

## 1. Critère de sûreté

Le critère de sûreté retenu par EDF pour l'analyse du risque de criticité associé à la chute d'un assemblage combustible dans le BR est un facteur de multiplication effectif ( $k_{eff}$ ) inférieur à 0,98, toutes incertitudes incluses, en cohérence avec le « référentiel criticité » d'EDF. **Ceci est satisfaisant.**

## 2. Scénarios étudiés

Étant donné qu'un seul assemblage combustible est manutentionné à proximité du massif au cours des opérations de déchargement et de rechargement du cœur, EDF considère qu'un seul assemblage peut chuter dans le BR.

**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

À cet égard, l'IRSN rappelle que, lors de l'événement survenu à Tricastin en 2008, deux assemblages combustibles ont été soulevés lors de la levée des EIS. Au cours de l'instruction, EDF a décrit l'ensemble des dispositions mises en œuvre afin d'éviter un accrochage d'assemblage aux EIS. Ces dispositions sont jugées satisfaisantes. Aussi, l'IRSN estime qu'EDF devrait intégrer, dans le rapport de sûreté VD2 N4, l'analyse qui lui permet de considérer que le risque de chute de plusieurs assemblages dans le massif suite à leur soulèvement lors du retrait des internes supérieurs de la cuve est hautement improbable. Ce point est repris dans l'observation n°2 formulée en annexe 1 du présent avis.

Par ailleurs, EDF identifie quatre configurations possibles pour la chute d'un assemblage combustible dans le BR :

- la chute d'un assemblage dans le massif sans déformation de l'assemblage chuté, configuration couverte par le scénario d'erreur de chargement ;
- la chute d'un assemblage dans le massif avec compactage de l'assemblage chuté ;
- la chute d'un assemblage à proximité du massif avec rupture de crayons et dispersion de pastilles hors de l'assemblage ;
- la chute d'un assemblage isolé (sans interaction avec le massif) avec rupture de crayons et dispersion de pastilles hors de l'assemblage.

Ces configurations n'appellent pas de remarque.

### **3. Chute d'un assemblage dans le massif avec ou sans compactage de l'assemblage chuté**

La démarche proposée par EDF pour cette configuration consiste à faire l'hypothèse enveloppe que le cœur est complètement chargé. Deux configurations sont envisagées : celle où l'assemblage chute à la position prévue dans le plan de chargement, et celle où il chute dans une autre position. En outre, EDF considère un éventuel compactage de l'assemblage chuté, conduisant à modifier son rapport de modération.

L'analyse d'EDF s'appuie sur l'étude du cœur chargé normalement et du scénario d'erreur unique de chargement pour le palier N4 pour évaluer l'impact en réactivité de la chute d'un assemblage. À cet égard, le scénario d'erreur de chargement permet de couvrir la chute d'un assemblage dans sa position prévue au plan de chargement, mais sans déformation de ce dernier. L'effet en réactivité induit par un éventuel compactage est tout d'abord évalué à partir du calcul de la variation du facteur de multiplication infini de l'assemblage en fonction de son rapport de modération. La variation sur le  $k_{eff}$  du cœur est ensuite estimée en diminuant les sections efficaces d'absorption de l'assemblage situé à la position la plus défavorable de telle sorte que sa réactivité en réseau infini soit équivalente à celle du réseau infini d'assemblages compactés. Cette évaluation conduit à une valeur finale du  $k_{eff}$  du cœur inférieure au critère d'admissibilité retenu pour de telles situations incidentelles.

Compte tenu des marges existantes par rapport au critère d'admissibilité en l'absence d'erreur de chargement, l'IRSN considère que le risque de criticité peut être écarté dans cette configuration.

En revanche, les calculs effectués par l'IRSN avec une erreur de chargement cumulée au compactage de l'assemblage chuté, situation étudiée par EDF au titre de la défense en profondeur, conduisent à dépasser le critère d'admissibilité. Néanmoins, l'approche utilisée par EDF et par l'IRSN, consistant à modéliser l'assemblage compacté de manière homogène, est très conservatrice. Au cours de l'instruction, EDF a présenté des éléments de quantification du conservatisme de cette approche. Par conséquent, **l'IRSN estime que le risque de criticité peut être raisonnablement écarté dans le cas du compactage d'un assemblage lors d'une chute dans un emplacement non prévu au plan de chargement.**

#### **4. Chute d'un assemblage à proximité du massif avec rupture de crayons et dispersion de pastilles**

La démarche retenue par EDF pour justifier la sous-criticité de la configuration d'un amas de pastilles qui se formerait sur la plaque inférieure de cuve (PIC) consiste à considérer que, compte tenu des orifices de circulation de la plaque inférieure de cuve, la création d'un amas conséquent de pastilles est impossible et que, par conséquent, même en considérant un léger couplage avec le cœur, la réactivité de cette configuration reste « gouvernée » par celle du cœur. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN en cas d'amas sur une partie de la plaque inférieure de cuve non chargée en assemblages combustibles (cas de la chute pendant le rechargement du combustible).**

En revanche, l'IRSN estime que cette démarche n'est pas recevable en cas d'amas sur une partie de la PIC chargée d'assemblages combustibles (cas de la chute pendant la levée des internes ou pendant le rechargement d'un assemblage à un emplacement déjà entouré de tout côté par des assemblages combustibles). En effet, les pieds des assemblages et les filtres pourraient constituer des obstacles à la dispersion des pastilles. Dans cette éventualité, il serait envisageable qu'un amas plus conséquent de pastilles s'accumule à l'emplacement de l'assemblage chuté. Cette configuration pourrait ainsi conduire à un fort couplage neutronique des pastilles avec le massif.

La démarche retenue par EDF pour traiter ce cas est similaire à celle proposée pour le couplage entre un assemblage déformé et le massif, mais en considérant cette fois l'augmentation maximale du facteur de multiplication infini associé à un réseau de pastilles (représentatif de l'assemblage chuté en cas de perte d'intégrité des crayons combustibles). L'évaluation effectuée par EDF conduit à une valeur finale du  $k_{eff}$  du cœur inférieure au critère d'admissibilité retenu pour de telles situations incidentelles.

L'IRSN estime que la justification d'EDF n'est pas totalement rigoureuse (utilisation d'une valeur d'augmentation du  $k_{eff}$  du cœur non justifiée pour le cas considéré). **Ce point fait l'objet de l'observation n° 1 formulée en annexe 1 du présent avis.**

Nonobstant, l'IRSN considère que, dans le cas où l'assemblage chute à la position prévue dans le plan de chargement, la marge existante entre le cœur chargé ( $k_{eff} < 0,92$ ) et le critère d'admissibilité ( $k_{eff} = 0,98$ ) est suffisante pour couvrir la hausse de  $k_{eff}$  induite par la présence d'un amas de pastilles. **Le risque de criticité peut donc être écarté dans cette configuration.** Par contre, les calculs effectués par l'IRSN, en tenant compte de l'erreur de chargement pour l'assemblage chuté, conduisent à dépasser le critère d'admissibilité en cas de formation d'un amas de pastilles sur une

partie de la PIC chargée d'assemblages. Toutefois, cette situation cumulant l'erreur de chargement avec la chute d'un assemblage et sa perte totale d'intégrité (comblement total de l'emplacement par des pastilles), l'IRSN estime raisonnable de ne pas approfondir l'étude de cette situation, le  $k_{eff}$  restant par ailleurs sous-critique.

#### 5. Chute d'un assemblage isolé avec rupture de crayons et dispersion de pastilles

La situation de chute d'un assemblage isolé avec rupture de crayons et dispersion de pastilles est une situation non couverte par la situation de chute objet de la section 4 du fait que, dans ce cas, la géométrie de l'assemblage chuté n'est plus contrainte.

Pour justifier la sous-criticité de cette configuration, EDF a évalué une situation théorique supposant le combustible sous forme d'un tas hémisphérique de pastilles sur un plan, ces pastilles formant un empilement à l'optimum de modération. Les calculs montrent qu'une dispersion de pastilles peut conduire à une situation non admissible en cas d'un regroupement de l'ordre de 330 kg de pastilles d' $UO_2$  enrichi à 5 % sous eau borée à 2000 ppm. **Compte tenu de la masse obtenue, supérieure à la moitié de la masse d'un assemblage, l'IRSN estime raisonnablement écarté le risque de criticité en cas de dispersion de pastilles d'un assemblage isolé.**

#### 6. Conclusion

L'IRSN estime que l'analyse d'EDF relative au risque de criticité associé à la chute d'assemblages dans le bâtiment réacteur est globalement satisfaisante. Il considère néanmoins que cette analyse devrait être intégrée dans le rapport de sûreté VD2 N4. Ce point fait l'objet de l'observation n° 2 formulée en annexe 1 du présent avis.

Par ailleurs, l'IRSN prend note qu'EDF intégrera le risque de chute d'assemblage(s) dans le BR dans la liste des situations à analyser vis-à-vis du risque de criticité figurant dans son « référentiel criticité ».

Pour le Directeur général de l'IRSN et par délégation,

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au directeur de l'expertise de sûreté

## Observations

### Observation n° 1

Pour ce qui concerne la configuration de chute d'un assemblage dans le massif avec rupture de crayons et dispersion de pastilles sur une partie de la plaque inférieure de cuve chargée d'assemblages, l'IRSN estime qu'EDF devrait apporter des éléments complémentaires afin de justifier le conservatisme de la modélisation de l'effet en cœur par une bibliothèque neutronique établie pour un assemblage avec une lame d'eau nominale et un pas du réseau de crayons réduit.

### Observation n° 2

L'IRSN estime qu'EDF devrait intégrer, dans le rapport de sûreté VD2 N4, l'ensemble des éléments d'analyse du risque de criticité associé à la chute d'assemblage combustible dans le bâtiment réacteur transmis au cours de l'instruction.