

Fontenay-aux-Roses, le 6 mars 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2023-00034

Objet : EDF – REP – Réacteurs de 900 MWe
Tenue en service de la zone de cœur des cuves de réacteurs de 900 MWe pendant la période de 10 ans suivant leur quatrième visite décennale
Études complémentaires sur la fragilisation atypique de la capsule V du PSI du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire de Dampierre

Réf. : [1] Lettre ASN - CODEP-DEP-2018-058304 du 28 février 2019 : « Tenue en service de la zone de cœur des cuves des réacteurs de 900 MWe pendant la période de 10 ans suivant leur quatrième visite décennale ».
[2] Lettre ASN - CODEP-DEP-2022-015147 du 27 avril 2022 : « Tenue en service de la zone de cœur des cuves de réacteurs de 900 MWe pendant la période de 10 ans suivant leur quatrième visite décennale - Instruction de la synthèse des études complémentaires sur la fragilisation atypique de la capsule V du PSI du réacteur n° 2 de Dampierre ».

L'acier constitutif de la cuve des réacteurs nucléaires est sujet à un phénomène de fragilisation par l'irradiation résultant des réactions de fission se produisant dans le cœur. En vue de garantir la maîtrise de ce phénomène et de prévenir le risque de rupture brutale, un programme de suivi de l'irradiation (PSI) est mis en œuvre par EDF sur tous les réacteurs du parc en exploitation. Des éprouvettes de résilience¹, constituées de matériau représentatif, sont placées à l'intérieur de la cuve dans des dispositifs appelés capsules d'irradiation. Ces éprouvettes sont soumises à une irradiation supérieure à celle de l'acier de cuve, ce qui permet d'anticiper le phénomène de fragilisation quand elles sont testées et comparées aux propriétés de l'acier non-irradié. En fonction de leur durée d'exposition en réacteur, chaque capsule d'irradiation est dénommée par une lettre comprise entre S et Z. L'exploitation des courbes de transition de résilience² dans les deux états non-irradié et irradié permet, par différence, de définir un décalage de la température de transition T_{cv}, appelé également ΔT_{cv}, qui traduit le niveau de fragilisation mesurée.

¹ La résilience est la capacité d'un matériau à absorber de l'énergie quand il se déforme sous l'effet d'un choc en présence d'une entaille.

² Plage de températures séparant le domaine dans lequel l'acier est fragile du domaine dans lequel l'acier montre un comportement ductile.

L'exploitation des résultats d'essais mécaniques réalisés à l'aide de ces éprouvettes permet à EDF d'établir, pour les métaux de base, pour les joints soudés et les zones affectées thermiquement³ :

- une loi empirique permettant de calculer la fragilisation moyenne de l'acier en fonction de l'irradiation reçue ;
- une caractérisation de la dispersion des résultats expérimentaux par rapport à la loi moyenne de fragilisation calculée au point précédent, appelée écart-type.

Ces deux éléments sont utilisés par EDF pour définir les propriétés de l'acier de cuve à considérer dans les études mécaniques permettant de vérifier l'absence de risque de rupture brutale.

L'analyse des données d'EDF, réalisée dans le cadre du dernier réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe, a montré que les fragilisations expérimentales sont globalement conformes aux prévisions de la loi empirique. Trois résultats expérimentaux, chacun correspondant à l'exploitation d'une capsule d'irradiation, sont en écart significatif par rapport à ces prévisions. EDF a dès lors mené des expertises sur les éprouvettes de ces trois capsules et a identifié que celles-ci présentent un biais non relié à la fragilisation par irradiation, appelé effet de prélèvement. Dans ce cadre, EDF a étendu ses analyses et a conclu que six autres capsules sont concernées par un effet de prélèvement, sans mener cependant à un écart significatif avec les fragilisations calculées. En conséquence, il propose d'exclure ces neuf résultats expérimentaux, soit neuf capsules, du calcul permettant d'établir l'écart-type mentionné plus haut. À la suite de cette proposition, l'ASN a émis une demande en référence [1] consistant à :

- identifier les phénomènes métallurgiques pouvant perturber l'indicateur de la fragilisation par l'irradiation déterminé expérimentalement ;
- définir des critères portant sur les paramètres observables associés à ces phénomènes.

En réponse à cette demande, EDF a effectué des essais complémentaires en utilisant de la matière non irradiée et irradiée non exploitée à ce jour provenant de la capsule V du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire de Dampierre. Cette capsule fait partie des neuf capsules qu'EDF souhaite exclure de la démarche globale. La fragilisation expérimentale de cette capsule est significativement moindre que les prévisions calculées par la loi empirique. D'après EDF, la localisation du prélèvement de la matière utilisée lors des essais complémentaires doit permettre de réduire, voire annuler, le biais d'évaluation de la fragilisation par irradiation due à l'effet de prélèvement. Dans ce cadre, l'ASN a demandé à l'IRSN d'évaluer les points suivants [2] :

- l'acceptabilité de la méthode d'EDF pour la réalisation des essais complémentaires en vue d'illustrer l'effet de prélèvement ;
- les nouveaux résultats de caractérisation de la capsule V du PSI du réacteur n° 2 de Dampierre.

À la demande de l'ASN, la présente analyse aborde également les points suivants :

- la valeur du décalage des températures de transition entre les états irradiés et l'état non irradié (ΔT_{cv}) à considérer dès lors qu'EDF dispose de deux valeurs de ΔT_{cv} pour une même capsule d'irradiation, celle de l'évaluation initiale et celle résultant des essais complémentaires ;
- l'applicabilité de la méthode développée par EDF pour la capsule V du réacteur n° 2 de Dampierre à l'ensemble des réacteurs dont les résultats du PSI ne sont pas compris dans les estimations de la formule de fragilisation par l'irradiation ;
- la valeur de l'écart type à considérer au regard des conclusions de l'analyse présentée par EDF et au regard des réponses apportées par EDF aux points précédents.

Le nouveau résultat expérimental de fragilisation par irradiation de la capsule V du réacteur n° 2 de Dampierre déterminé sur la base des essais complémentaires est conforme au résultat calculé par la loi empirique. EDF

³ Métal de base à proximité du joint soudé, soumis à un cycle de chauffe et de refroidissement et par conséquent à des évolutions mécaniques ou métallurgiques.

explique le résultat initial en écart significatif par la présence d'hétérogénéités métallurgiques qui induisent des différences dans les propriétés de résilience entre lots d'éprouvettes non-irradiées et irradiées, conduisant à un biais expérimental non-imputable à la fragilisation par irradiation. EDF souligne des différences locales de teneur en soufre et en carbone de l'acier pour expliquer la différence entre le résultat initial et celui issu des essais complémentaires. Ces observations suffisent, d'après EDF, à considérer le premier résultat de fragilisation invalide et à ne conserver que le deuxième. Par la suite, EDF envisage de reproduire la démarche mise en œuvre pour la capsule V du réacteur n° 2 de Dampierre pour l'appliquer aux deux autres capsules en écart significatif. À la suite des échanges entre EDF et l'IRSN, EDF a pris l'engagement d'ajouter trois capsules supplémentaires à son programme expérimental, lui permettant de valider la démarche globale d'exploitation de ces nouveaux résultats. Enfin, EDF prévoit une mise à jour de la loi de prévision de la fragilisation par irradiation à l'horizon 2026.

La méthodologie utilisée pour produire le nouveau résultat expérimental de fragilisation par irradiation pour la capsule V du réacteur n° 2 de Dampierre est identique à la méthodologie historique de dépouillement des éprouvettes du PSI, déjà examinée par l'IRSN. **Cette méthodologie est donc acceptable.**

La matière complémentaire utilisée par EDF provient des zones de recette⁴ des cuves concernées, de façon identique à l'approche historique. **Le nouveau résultat expérimental de fragilisation par irradiation, établi suivant cette nouvelle méthode, est donc valable.**

La production d'un deuxième résultat de dépouillement de capsule du PSI pose la question de la valeur de fragilisation finalement retenue entre les deux résultats disponibles. EDF souhaite exclure le résultat historique des capsules dont l'effet de prélèvement est avéré par le résultat des essais complémentaires. L'exclusion de quelques résultats expérimentaux du PSI peut avoir une incidence significative sur l'établissement de l'écart-type, donc sur les conservatismes intégrés à la démarche en donnée d'entrée des études mécaniques permettant de vérifier l'absence de risque de rupture brutale. Il conviendra donc qu'EDF réévalue l'écart-type en complément de sa démarche de réévaluation des résultats atypiques du PSI. De plus, le lien entre l'intensité des hétérogénéités métallurgiques observées par EDF au titre de l'effet de prélèvement et l'ampleur des différences de fragilisation observées entre éprouvettes issues de la démarche historique et celles des essais complémentaires n'est pas aisé à établir. Par conséquent, selon l'IRSN, **l'exclusion de résultats expérimentaux du PSI pourra être considéré comme acceptable, si l'ensemble des six capsules intégrées au programme de travail d'EDF montre des résultats convergents : les résultats initialement conformes doivent rester conformes tandis que les résultats initialement atypiques doivent montrer la même tendance que la capsule V du PSI du réacteur n° 2 de Dampierre.**

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

⁴ Zones de la pièce comportant des surépaisseurs ou des surlongueurs permettant de prélever des éprouvettes dont les résultats de caractérisation conditionnent la recevabilité de la pièce fabriquée.