

## Note d'information

# **Avis de l'IRSN sur la sûreté des réacteurs de 900 MWe équipés de générateurs de vapeur dont les fonds présentent une teneur anormalement élevée en carbone**

À la suite de l'anomalie détectée sur les calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville, EDF a informé l'ASN que certains fonds primaires de générateurs de vapeur fabriqués par Creusot Forge (CF) et Japan Casting and Forging Corporation (JCFC) pouvaient être affectés de ségrégations majeures positives résiduelles de carbone.

Cette anomalie a nécessité le réexamen par EDF des risques de rupture brutale des générateurs de vapeur concernés, dans la mesure où les propriétés mécaniques de l'acier sont modifiées. Il convient de rappeler que la rupture des générateurs de vapeur n'est pas postulée dans la démonstration de sûreté des réacteurs, ce qui implique un haut niveau d'exigences à la fabrication.

L'examen par l'IRSN des justifications apportées par EDF pour les fonds de générateurs de vapeur de fabrication CF a permis à l'ASN de se positionner sur le redémarrage des six réacteurs concernés<sup>1</sup>. Les teneurs maximales en carbone mesurées sur ces fonds sont voisines de 0,3 %, à comparer à la valeur maximale attendue de 0,22 %. Les premiers contrôles sur les fonds de générateurs de vapeur de fabrication JCFC ont mis en évidence des teneurs en carbone plus élevées, approchant localement 0,4 %, ce qui a nécessité des études complémentaires de la part d'EDF.

Ces études ont été fournies par EDF en octobre et en novembre 2016 ; elles ont fait l'objet d'une évaluation par l'IRSN et de son avis du 30 novembre 2016, disponible sur son site Internet<sup>2</sup>.

La démarche d'analyse retenue par l'IRSN pour le traitement de cette anomalie qui affecte douze réacteurs<sup>3</sup> du parc en exploitation a visé à acquérir une raisonnable assurance que cette anomalie ne remet pas en cause l'appréciation du risque de rupture brutale des générateurs de vapeur concernés. À cette fin, l'IRSN s'est appuyé sur les premiers éléments de justification transmis par EDF<sup>4</sup>, ses propres moyens de calcul ainsi que les données de la littérature et les résultats de recherche disponibles.

L'IRSN a également conforté sa position sur les propriétés mécaniques des aciers présentant des teneurs élevées en carbone en s'appuyant sur l'organisme d'expertise belge BELV, membre du réseau ETSON qui réunit l'IRSN et ses homologues européens. Il a également effectué une mission conjointe avec l'ASN chez le fabricant JCFC au Japon, notamment pour mieux comprendre l'origine des teneurs excessives en carbone observées.

---

<sup>1</sup> Il s'agit des réacteurs Blayais 1, Chinon B1 et B2, Dampierre 2 et 4 et Saint-Laurent-des-Eaux B2 de 900 MWe.

<sup>2</sup> [Avis IRSN 2016-00369](#) du 30 novembre 2016.

<sup>3</sup> Il s'agit des réacteurs Bugey 4, Dampierre 3, Fessenheim 1, Gravelines 2 et 4, Saint-Laurent-des-Eaux B1 et Tricastin 1, 2, 3 et 4 de 900 MWe et des réacteurs Civaux 1 et 2 de 1450 MWe.

<sup>4</sup> Ces premiers éléments seront complétés ultérieurement, notamment par les résultats du programme de caractérisation de l'acier sur la base de pièces sacrificielles engagé par EDF.

Une étude de risque de rupture brutale a pour objectif de justifier l'absence d'initiation d'une rupture à partir d'un défaut connu ou postulé dans le matériau. Aussi, l'IRSN a particulièrement évalué :

- la taille des défauts dans l'acier qui sont postulés dans le dossier transmis par EDF, en tenant compte de la limite de détection des moyens de contrôle mis en œuvre à la fabrication et lors des contrôles réalisés in situ sur les fonds de générateurs de vapeur ;
- les chargements sollicitant les défauts, c'est-à-dire les chocs thermiques pouvant affecter les générateurs de vapeur dans toutes les conditions de fonctionnement des réacteurs (fonctionnement normal, incidentel ou accidentel) ;
- les propriétés mécaniques de l'acier, notamment la ténacité en fonction de la température, qui est affectée par la teneur en carbone de l'acier, en tenant compte des premières données fournies par EDF pour de l'acier avec une teneur en carbone de 0,4 %.

Conformément à la demande de l'ASN, l'évaluation n'a porté que sur les réacteurs de 900 MWe. Cette évaluation a conduit aux conclusions suivantes.

1. S'agissant des défauts, EDF a transmis un bilan des contrôles réalisés, tant à la fabrication (avant la dépose d'un revêtement métallique sur la face interne des fonds) que in situ dans le cadre du traitement de cette anomalie. Il n'a pas été détecté de défaut lors de ces contrôles. L'IRSN a évalué les techniques mises en œuvre pour les effectuer et considère qu'elles sont bien adaptées pour détecter des défauts de tailles supérieures à celles postulées dans l'étude d'EDF.
2. S'agissant des chargements sollicitant les défauts, EDF a réalisé une sélection de transitoires de chocs froids parmi les plus pénalisants du dossier qui recense les situations à prendre en compte pour justifier l'aptitude au service du circuit primaire principal des réacteurs, auquel les générateurs de vapeur appartiennent. Ont ainsi été retenues diverses situations de brèches primaires. EDF a complété cette sélection par la recherche de transitoires additionnels pénalisants pour le risque de rupture brutale d'un fond de générateur de vapeur, sur la base de l'identification de l'ensemble des sources froides et chaudes susceptibles de causer un choc froid ou une succession de chocs chauds et de chocs froids. Ont ainsi été ajoutées des situations de choc froid consécutives au passage d'un bouchon d'eau froide dans le fond des générateurs de vapeur.

La démarche mise en œuvre par EDF pour définir les chocs froids à étudier est convenable dans son principe. Toutefois, lors de l'évaluation réalisée, l'IRSN a mis en évidence des transitoires qui n'avaient pas été identifiés par EDF et qu'il convient de prendre en compte dans le traitement de l'anomalie. En outre, l'IRSN a relevé des lacunes dans la caractérisation de certains transitoires pour lesquels il convient de retenir des hypothèses plus pertinentes à l'égard de l'étude du risque de rupture brutale des fonds de générateurs de vapeur.

L'IRSN n'a pas formulé d'autre remarque pour ce qui concerne l'exhaustivité et la pertinence de la caractérisation des situations retenues pour les transitoires de chocs froids pour les générateurs de vapeur des réacteurs de 900 MWe. S'agissant des chocs chauds, le dossier d'EDF n'a pas appelé de nouvelle remarque<sup>5</sup>.

Pour limiter l'amplitude des chocs thermiques envisageables, EDF a défini des mesures compensatoires mises en œuvre en exploitation, telles que la limitation à 14 °C/h de la vitesse de refroidissement du circuit primaire lors de la mise à l'arrêt du réacteur. Ces mesures compensatoires sont apparues satisfaisantes à l'IRSN qui a néanmoins recommandé de les compléter par des dispositions visant, dans certaines situations, à :

- diminuer la probabilité d'un redémarrage inopportun d'une pompe primaire par l'opérateur ;
- limiter l'écart entre la température au refoulement du circuit de refroidissement à l'arrêt et la température de l'eau de l'alimentation de secours des générateurs de vapeur.

A l'issue de son expertise, l'IRSN a recommandé qu'EDF conforte son dossier, sous six mois, en apportant des justifications complémentaires pour certaines situations pouvant induire des chocs froids sur les fonds de GV.

3. S'agissant des propriétés mécaniques de l'acier, EDF retient dans son étude une teneur en carbone atteignant au plus 0,39 % en face externe des fonds et 0,26 % en face interne. La première valeur résulte des mesures qu'il a effectuées, la seconde est une estimation fondée sur une approche conservative associée à l'hypothèse que l'excès de carbone observé résulte d'un phénomène de ségrégation du carbone dans le lingot utilisé pour produire les fonds. Sous réserve que les mesures aient été réalisées dans les règles de l'art et en conformité avec les précautions annoncées par EDF pour assurer leur représentativité, l'hypothèse d'une teneur en carbone au plus égale à 0,39 % en face externe est recevable.

Des investigations menées par l'IRSN, notamment à l'occasion de la mission effectuée au Japon, il ressort que l'hypothèse du phénomène de ségrégation fournit effectivement la meilleure explication des teneurs en carbone observées. En conséquence, l'approche retenue par EDF pour évaluer le taux de carbone en face interne est appropriée et aboutit à une estimation conservative.

Pour évaluer la ténacité de l'acier correspondant à ces valeurs de teneur en carbone, EDF utilise une méthode qui figure dans les règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires des réacteurs à eau sous pression (RCC-M). L'utilisation de cette méthode apparaît pertinente dans le cas étudié et les estimations de la ténacité qui en résultent sont conservatives tant en face externe qu'en face interne.

---

<sup>5</sup> Cf. avis IRSN [2016-00275](#) du 5 août 2016 et [2016-00277](#) du 11 août 2016 traitant notamment de la caractérisation des chocs chauds pour les générateurs de vapeur dont les fonds présentent une teneur élevée en carbone

En conclusion, l'évaluation réalisée par l'IRSN lui a permis de conclure à l'absence de risque de rupture brutale pour les générateurs de vapeur de fabrication JCFC équipant les réacteurs de 900 MWe concernés (à l'exception des réacteurs Bugey 4, Fessenheim 1 et Tricastin 4 pour lesquels l'application de la méthode d'analyse du risque de rupture brutale reste à décliner par EDF), sous réserve des recommandations qu'il a formulées et des résultats des contrôles prescrits par l'ASN.