

## **Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaire**

### **Aptitude au fonctionnement des générateurs de vapeur de Bugey 3 jusqu'à leur remplacement en septembre 2010**

#### **Séance du 19 avril 2010 - Synthèse du rapport**

Au cours de l'arrêt 2009 du réacteur n° 3 de Bugey, les contrôles réalisés sur les tubes des générateurs de vapeur (GV) au titre du programme de maintenance établi par EDF, ont mis en évidence une fissure circonférentielle au droit d'une plaque entretoise (voir figure 1) sur le GV n° 1. Jusqu'à cette découverte, EDF considérait que les contrôles effectués périodiquement ainsi que les mesures de bouchage des tubes dégradés étaient de nature à prévenir l'apparition d'une telle dégradation. EDF alors a procédé à des contrôles complémentaires visant à connaître plus précisément l'état du faisceau tubulaire des GV de Bugey 3. Ces contrôles ont conduit à la détection de nouveaux défauts de même nature sur d'autres tubes du GV concerné.

#### ***Caractérisation de l'état des générateurs de vapeur de Bugey 3***

Afin de caractériser l'état du faisceau tubulaire de ce GV, EDF a mis en place un vaste programme de contrôle incluant l'utilisation de procédés d'examen non destructifs (END) mis en œuvre pour la première fois sur le parc électronucléaire français. Ces nouveaux procédés END sont d'une part une sonde multiéléments, et d'autre part un procédé STT (sonde tournante transversale) modifié pour être utilisé dans le cas particulier de Bugey 3. La sonde multiéléments était déjà utilisée à l'étranger, aux Etats-Unis par exemple. La sonde STT était quant à elle mise en œuvre sur les réacteurs français en pied de tube et est qualifiée, conformément à la réglementation en vigueur, pour la détection des indications d'orientation circonférentielle dans cette zone : elle a été adaptée pour pouvoir accéder aux plaques entretoises, situées à plus haute altitude dans le GV.

L'ensemble de ces contrôles a mis en évidence, au droit des plaques entretoises, la présence de nombreuses indications de fissures longitudinales, ainsi que de la corrosion généralisée localement profonde. Les END ont par ailleurs conduit à détecter 35 indications de fissures circonférentielles notables. Les moyens mis en œuvre ont également permis d'estimer la section dégradée du tube pour ceux qui étaient le plus affecté par la corrosion.

En parallèle, EDF a extrait plusieurs tubes afin de procéder à des essais et à leur expertise métallurgique. Les expertises réalisées sur ces tubes avaient pour but d'identifier les mécanismes de dégradation en jeu, de disposer d'éléments sur leur nocivité par des essais de mise en pression et de s'assurer de la performance des END en corrélant les signaux obtenus à des défauts réels. Ce programme a caractérisé les deux formes sous lesquelles se manifeste la corrosion intergranulaire externe au droit des plaques entretoises :

- L'attaque intergranulaire, décohésion généralisée des grains de l'alliage par dissolution des joints de grain,

- la fissuration par corrosion sous contraintes intergranulaire, d'orientation longitudinale et circonférentielle.

Le rapporteur considère que les moyens de contrôle et les expertises mis en œuvre sur les GV de Bugey 3 permettent d'avoir une bonne connaissance de l'état du faisceau tubulaire des GV.

### ***Nocivité et traitement des défauts observés***

EDF a procédé en parallèle à une ré-analyse de la démonstration de la tenue mécanique des tubes au droit des plaques entretoises en présence de dégradations affectant la circonférence du tube. Cette analyse repose sur une approche théorique complétée par des essais d'éclatement et prend en compte l'évolution des défauts au cours d'un cycle de fonctionnement. Elle a permis à EDF de définir des critères d'obturation pour les tubes affectés de corrosion externe au droit des plaques entretoises, basés sur l'estimation de la section dégradée du tube et la présence éventuelle de fissures circonférentielles. EDF a proposé de boucher les tubes affectés sur plus de 45% de leur section ainsi que tous les tubes présentant une indication circonférentielle notable. EDF considère que cette stratégie de bouchage ciblé permet de traiter l'ensemble des tubes présentant une nocivité vis à vis du risque de rupture de tube de GV.

Le rapporteur considère que certains aspects de la démonstration apportée par EDF ne satisfont pas aux exigences réglementaires relatives à la détermination d'un défaut critique. L'IRSN a en particulier mis en avant au cours de l'instruction l'absence de conservatisme de certaines hypothèses et de la méthode en général. L'IRSN a donc proposé de nouvelles cinétiques d'évolution des dégradations et effectué un contre calcul introduisant un coefficient de pénalisation destiné à couvrir plusieurs non conservatismes présents dans l'approche proposée par EDF. L'IRSN a réalisé ces calculs pour un cycle de fonctionnement d'une durée de 6 mois, plus faible que la durée d'un an considérée de façon prudente par EDF dans son analyse, mais qui couvre la période allant jusqu'au remplacement des GV, prévu en septembre 2010.

Le rapporteur considère, sur la base des calculs effectués par l'IRSN, que le critère de bouchage proposé par EDF permet de s'assurer, jusqu'au remplacement des GV prévu en septembre 2010, de l'absence de risque significatif de rupture de tube GV par instabilité du ligament restant sous traction axiale. En revanche le rapporteur considère que la méthode employée par EDF pour déterminer la taille maximale du défaut pouvant être laissé en service n'est pas recevable en l'état et que les résultats ne peuvent être transposés à d'autres réacteurs pour des cycles de fonctionnement d'un an.

### ***Phénomènes à l'origine des dégradations observées***

Du point de vue phénoménologique, les mécanismes à l'origine des fissures d'orientation circonférentielle de corrosion sous contrainte observées ne sont pas identifiés de façon certaine, bien qu'EDF ait mis en avant plusieurs hypothèses considérées comme plausibles. Il convient toutefois de noter que le dossier d'EDF ne repose pas principalement sur la compréhension exhaustive de l'apparition des dégradations, mais sur le contrôle effectif de l'état d'endommagement des faisceaux tubulaires et sur la garantie de l'obturation des tubes qui présenteraient des défauts spécifiés comme inacceptables au début d'un cycle de fonctionnement.

### ***Prise en compte du risque de fuite en fonctionnement***

EDF a appuyé sa stratégie sur la démonstration de l'absence de risque de rupture d'un tube de GV au cours du prochain cycle de fonctionnement, et l'a complétée au cours de l'instruction en apportant des éléments concernant l'étanchéité du faisceau tubulaire, qui constitue environ 90% de la deuxième barrière de confinement qu'est le circuit primaire principal. Le rapporteur constate cependant que la probabilité d'occurrence d'une fuite et le débit potentiel de celle-ci sont plus importants dans le cas du GV n°1 de Bugey 3 que pour les autres GV du parc en exploitation. En particulier, le rapporteur considère que la situation ne peut être comparée au cas des fissures habituellement observées en pied de tube et qui sont dues à un phénomène connu et maîtrisé.

EDF considère que le risque de fuite n'est pas critique vis à vis du redémarrage du réacteur et appuie sa démonstration d'une part sur une analyse des débits de fuites susceptibles d'être causés par les dégradations et d'autre part sur les règles de fonctionnement à fuite faibles. Ces règles définissent des critères d'arrêt du réacteur en cas d'évolution du débit de fuite. Le rapporteur considère que l'intégrité du circuit primaire et les règles de fonctionnement à fuite faible sont deux lignes de défense qui doivent demeurer indépendantes. Ainsi, le rapporteur juge que les tubes comportant un risque de fuite notable ne doivent pas être maintenus en service au cours du prochain cycle.