

Fontenay-aux-Roses, le 12 décembre 2012

Monsieur le président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN N° 2012-00539

Objet : REP - Fatigue vibratoire des tubes de générateurs de vapeur

Réf.

1. Saisine ASN CODEP-DEP-2011-070552 du 22 décembre 2011
2. Saisine ASN CODEP-DEP-2012-014722 du 23 mars 2012

Quatre arrêts fortuits sont survenus sur le parc électronucléaire EDF entre 2004 et 2008 pour une fuite du fluide primaire vers le secondaire des générateurs de vapeur due à un endommagement des tubes par fatigue vibratoire. L'analyse de ces événements a fait apparaître l'importance de certains facteurs négligés jusqu'alors par EDF, notamment le colmatage des plaques entretoises et l'encrassement des faisceaux tubulaires. A la demande de l'ASN, une séance de la Section Permanente Nucléaire (SPN) de la Commission Centrale des Appareils à Pression (CCAP) s'est tenue le 23 janvier 2009 au sujet du risque de fatigue vibratoire des tubes de générateurs de vapeur du parc français. Suite à cette séance, treize demandes, dont six concernant la reprise de calculs vibratoires affinés pour les GV d'origine du parc, ont été adressées à l'exploitant EDF.

Par ses lettres en références 1 et 2, l'ASN a saisi l'IRSN sur la reprise par EDF des études portant sur la fatigue vibratoire des tubes de générateurs de vapeur, ainsi que sur le programme de travail relatif aux vibrations des tubes de GV induites par les écoulements et à la fatigue vibratoire, mis en œuvre dans le cadre de la revue technique des générateurs de vapeur. L'ASN a demandé à l'IRSN d'analyser plus précisément les points suivants :

- la pertinence de l'utilisation de coefficients de sécurité appliqués sur les valeurs du rapport d'instabilité calculées avec la chaîne THYC-GEVIBUS,
- le choix par EDF des différentes configurations de répartition du colmatage et leur caractère pénalisant dans les calculs « enveloppes »,
- l'existence de conditions d'exploitation normales ou accidentelles qui pourraient être plus pénalisantes en termes de fatigue vibratoire des tubes de GV que celles présentées dans le dossier d'EDF.

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

L'IRSN rappelle qu'un certain nombre de facteurs aggravants à l'égard du risque de fatigue vibratoire ont été identifiés dans la doctrine de maintenance relative aux tubes des GV non soutenus par les barres antivibratoires (BAV). Ce sont le colmatage des plaques entretoises (PE), l'encrassement des tubes des GV, l'encastrement des tubes au niveau de la plaque entretoise supérieure des GV, le

bouchage des tubes des GV (BTGV), la position des BAV, la déformation des tubes de GV au droit des PE, les usures des tubes et la corrosion externe des tubes.

Pour ce qui concerne le premier point de la demande, à savoir l'utilisation de coefficients de sécurité, l'IRSN estime qu'il est acceptable de conserver un critère basé sur le rapport d'instabilité de 1, mais qu'il est nécessaire en contrepartie de compléter la stratégie actuellement développée pour surveiller les facteurs aggravants et maintenir les GV dans un état de propreté satisfaisant à travers une surveillance adaptée.

L'IRSN souligne cependant que si le rapport d'instabilité est inférieur à 1, mais proche de 1, comme cela est le cas pour certains tubes de rang 10 des GV 51B ou 51Bi, il convient d'être très prudent, car certains facteurs aggravants ne sont pas suivis en permanence. L'IRSN considère que cela rend nécessaire un suivi en exploitation particulièrement précis de l'ensemble des paramètres des GV.

Pour ce qui concerne les corrélations fluide-élastique retenues pour l'étude de l'instabilité fluide-élastique des tubes des GV de type 73/19 équipant les réacteurs du palier N4, l'IRSN note que l'exploitant a retenu les essais Viscache 1, qui sont les seuls à avoir été réalisés pour un faisceau à pas triangulaire, en milieu eau. Pour être cohérent dans la démonstration, l'IRSN estime que l'exploitant devrait reprendre les études réalisées sur les GV de type 73/19 en prenant en compte les résultats des essais Viscache 2-N4, qui sont de nouveaux essais Viscache, en milieu diphasique eau-fréon sur une maquette à pas triangulaire.

Les calculs présentés par l'exploitant ont consisté à déterminer le rapport d'instabilité du tube le plus à risque de chaque type de GV, le tube considéré étant dans tous les cas non soutenu par conception (GV 51B et 51Bi) ou par anomalie de supportage (GV de type 68/19 ou 73/19). Ces calculs ont été réalisés pour le point de fonctionnement nominal, puis en prenant en compte des variations de paramètres autour de ce point, tels que la puissance, le débit primaire, la température moyenne primaire, le taux de colmatage, l'encrassement, le décalage d'ensemble des BAV ou encore le taux de bouchage. Pour les GV de type 68/19 utilisés sur les réacteurs P4 et P'4, l'exploitant a réalisé, d'une part un calcul pour chaque paramètre séparément, d'autre part un calcul avec un cumul des différents paramètres. Afin de valider le cumul linéaire des résultats des différents paramètres pris en compte, l'exploitant a comparé les profils de stabilité obtenus d'une part en prenant en compte l'ensemble des paramètres dans les données initiales, d'autre part en prenant en compte les résultats correspondant à chacun des paramètres indépendamment. Il a obtenu des valeurs très proches.

Les résultats des études paramétriques en prenant le cumul des paramètres pour l'analyse vibratoire des tubes des GV conduisent à des rapports d'instabilité maximums de 0,56 pour les GV de type 68/19, pour un taux de colmatage maximum de 50% en branche chaude et 40% en branche froide sur la PE supérieure (cas enveloppe), 0,97 pour les GV de type 51B et 51Bi, pour un taux de colmatage de 27% en branche chaude et 15% en branche froide (état actuel du parc selon l'exploitant) sur la PE supérieure, et de 0,60 pour les GV de type 73/19, pour un taux de colmatage de 25% en branche chaude et 20% en branche froide sur la PE supérieure (cas de Chooz B2). Pour les GV de type 51B et 51Bi, la prise en compte d'un colmatage de 45% en BC et 15% en BF conduit à des rapports d'instabilité supérieurs à 1 sur certaines tranches.

L'IRSN constate que le colmatage des plaques entretoises supérieures est le facteur le plus influent sur le rapport d'instabilité des tubes. Il note aussi que l'exploitant a pris en compte des cas

d'inhomogénéité de colmatage en PE supérieure et que celle-ci a un effet faible sur les GV de type 68/19, mais significatif sur les GV de type 51B ou 51Bi (passage du rapport d'instabilité de 0,78 à 0,89 pour le tube R10C21 par exemple).

L'IRSN constate que les calculs présentent de nombreuses incertitudes, telles que l'utilisation de modèles empiriques ou la représentation de l'enfoncement des BAV par exemple, mais estime, étant donné le retour d'expérience, que les tubes non supportés dont le rapport d'instabilité calculé est inférieur à 1 peuvent être considérés comme stables à ce jour.

L'exploitant a établi une programmation des nettoyages chimiques, qui sont des nettoyages préventifs (NPGV), tous les 10 ans pour les tranches en bas pH et tous les 15 ans pour les tranches en haut pH. L'IRSN estime que l'exploitant doit se fixer des limites de taux de colmatage à ne pas dépasser en cohérence avec ses études et revoir la programmation des nettoyages chimiques afin de garantir que les taux de colmatage considérés dans les études ne seront pas dépassés. L'ensemble des GV doit faire l'objet d'une surveillance renforcée afin de ne pas dépasser le taux de colmatage maximum retenu dans les études. Ceci fait l'objet de la recommandation n°1.

Par ailleurs, pour les différents types de GV, les études n'ont été réalisées qu'au point de fonctionnement nominal et l'IRSN estime que certains modes de fonctionnement tels que la prolongation de cycle - qui est la plus pénalisante a priori - doivent aussi être étudiés. Ces études sont en cours chez l'exploitant. Il conviendra que leurs résultats soient transmis à l'ASN et à l'IRSN dès que disponibles.

Dans l'attente de ces résultats, l'IRSN estime que l'exploitant ne doit pas utiliser ce mode de fonctionnement pour les tranches comportant des GV de type 51B et 51Bi les plus critiques. Cela fait l'objet de la recommandation n°2.

Enfin, l'IRSN estime que les GV des tranches de Chooz B1, Civaux 1 et 2 doivent faire l'objet d'une mesure de leur taux de colmatage, afin de vérifier que celui-ci est inférieur à la valeur retenue par l'exploitant dans ses études, à savoir 25% en branche chaude et 20% en branche froide en PE supérieure pour les GV de type 73/19. Ceci fait l'objet de la recommandation n°3.

Les programmes de base de maintenance préventive des générateurs de vapeur ont été complétés afin d'améliorer la surveillance des différents facteurs aggravants, en particulier ceux qui ne sont pas modélisables dans les études. A l'égard du colmatage et de l'encrassement, l'exploitant a mis en place une surveillance permanente du niveau de propreté du GV à l'aide de relevés périodiques pendant le cycle de fonctionnement, des mesures destinées à maintenir un niveau de propreté satisfaisant tout au long de la vie du GV, un suivi périodique du niveau de colmatage des PE et de l'encrassement du faisceau par des examens télévisuels ou par courants de Foucault. Enfin, la surveillance des fuites du primaire vers le secondaire fait l'objet de prescriptions renforcées au titre des Règles Générales d'Exploitation et de dispositions spécifiques. Ces dispositions ont pour objectif de faciliter une réaction très rapide des opérateurs en cas d'évolution anormale du débit de fuite du primaire vers le secondaire.

L'IRSN note que, dans la nouvelle révision de la DT 024 (règle de fonctionnement à fuite faible), il est prescrit la réalisation de mesure de débit de fuite par une méthode de dosage tritium, notamment en cas d'indisponibilité d'une chaîne KRT VVP N16. L'IRSN considère que cette nouvelle prescription

devrait permettre à EDF de rendre plus homogène l'évaluation du débit de fuite par dosage chimique sur l'ensemble de son parc. L'IRSN estime qu'EDF devrait présenter à l'ASN son analyse du retour d'expérience de l'évaluation du débit de fuite du primaire vers le secondaire par la méthode du dosage du tritium à l'issue des premières années d'application de l'indice 2 de la DT 024.

Dans la DT 171 (disponibilité de la surveillance KRT-APG), il apparaît que le débit de purge peut s'inverser dans certains cas et que la chaîne KRT-APG pourrait alors ne plus donner une indication fiable. Pour éviter cette inversion de débit, la DT 171 prescrit alors l'isolement de la purge d'un ou plusieurs GV. L'IRSN estime que l'exploitant devrait se positionner sur l'amélioration du fonctionnement des purges des GV afin de limiter les dépôts dans le compartiment secondaire et afin de garantir l'efficacité de la détection de fuite du primaire vers le secondaire par les chaînes KRT-APG.

Pour ce qui concerne le choix des GV qui doivent faire l'objet d'examens télévisuels périodiques des PE, l'IRSN note que l'exploitant a retenu un seul GV par tranche pour l'ensemble des examens prévus. L'IRSN estime que cela n'est pas acceptable. En effet, d'une part il apparaît au vu des résultats des examens télévisuels réalisés que les GV d'une même tranche peuvent avoir des taux de colmatage assez différents, d'autre part le colmatage est un facteur prépondérant vis-à-vis du risque d'instabilité fluide-élastique. Il faut donc maîtriser ce facteur, d'autant que l'instabilité fluide-élastique peut conduire à la rupture d'un tube de GV à très court terme. L'IRSN estime donc que l'ensemble des GV doit faire l'objet d'une surveillance périodique par ETV. Cela fait l'objet de la recommandation n°4.

Enfin, l'expertise du tube fuitard L12C62 extrait du GV 3 de Fessenheim 2 a montré la présence de corrosion intergranulaire (IGA) sur la circonférence extérieure de ce tube au niveau de la PE supérieure, en dépit d'une température « faible ». Une fissure de fatigue à grand nombre de cycles se serait alors propagée à partir d'une zone présentant de l'IGA d'une profondeur inférieure au seuil de détection et aurait conduit à une fuite de ce tube. L'exploitant prévoit en conséquence de boucher les tubes non soutenus de l'ensemble du parc en alliage 600MA dans les zones de passage percé. L'exploitant a prévu de consolider sa stratégie par des expertises de tubes extraits. L'IRSN estime que l'exploitant doit compléter celle-ci en y intégrant les tubes en alliage 600TT et les plaques entretoises à trous foliés. Cela fait l'objet de la recommandation n°5.

Pour le directeur général
et par délégation

Le Directeur Adjoint
de l'Expertise de Sûreté
P. QUENTIN

P.J. : 1 annexe

Recommandations relatives à la surveillance de l'état de propreté des GV

Recommandation n° 1 :

Pour l'ensemble des GV de type 68/19, 51B et 51Bi et 73/19, l'IRSN recommande que l'exploitant se fixe des limites de taux de colmatage à ne pas dépasser en cohérence avec ses études. La programmation des nettoyages préventifs chimiques, de 10 ans pour les GV conditionnés à bas pH et de 15 ans pour les GV conditionnés à haut pH, sera alors revue afin de garantir que le taux de colmatage limite considéré dans les études ne sera pas dépassé. L'ensemble des GV doit faire l'objet d'une surveillance renforcée afin de ne pas dépasser le taux de colmatage maximum retenu dans les études.

Recommandation n° 2 :

L'IRSN recommande que, dans l'attente des résultats des études relatives à l'analyse de l'instabilité fluide-élastique pour un mode de fonctionnement en prolongation de cycle, l'exploitant limite l'utilisation de ce mode de fonctionnement pour les tranches comportant des GV de type 51B et 51Bi.

Recommandation n° 3 :

L'IRSN recommande que les GV des tranches de Chooz B1, Civaux 1 et 2 fassent l'objet d'une mesure de leur taux de colmatage, afin de vérifier que celui-ci est inférieur à la valeur du taux de colmatage retenue par l'exploitant dans ses études, à savoir 25% en branche chaude et 20% en branche froide en PE supérieure.

Recommandation n° 4 :

Dans sa stratégie de maintenance, l'exploitant a retenu un seul GV par tranche du parc pour les examens télévisuels destinés à évaluer le colmatage. Etant donné l'influence du colmatage sur le risque d'instabilité fluide-élastique, l'IRSN recommande que l'exploitant prévoie un examen télévisuel périodique de l'ensemble des GV des tranches du parc.

Recommandation n° 5 :

L'IRSN recommande que l'exploitant complète sa stratégie de prise en compte de l'IGA, notamment en considérant :

- les GV dont les tubes en alliage 600TT présentent des microstructures à risque ou sont soumis à une chimie potentiellement plus nocive, par exemple ceux avec présence de plomb, de soufre, de sodium ou de cuivre ;
- la mise en œuvre d'expertises sur des tubes en alliage 600TT extraits (ne se limitant pas à ceux de Cruas 4) ;
- la possibilité d'observer de l'IGA dans les passages brochés, ceux-ci pouvant former des espaces confinés et un encastrement, qui peut engendrer un plus faible amortissement du tube et des amplitudes de vibration plus importantes.