

Fontenay-aux-Roses, le 21 janvier 2013

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN N° 2013 - 00021

Objet : Tenue de la visserie des internes de groupes motopompes primaires

Réf. : [1] Lettre CODEP-DEP-2012-058239 du 30 octobre 2012

Par lettre citée en référence [1], l'ASN a demandé l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) au sujet de la tenue en service de la visserie des internes de groupe motopompe primaire (GMPP) du palier N4 et pour l'EPR.

Cette demande fait suite aux phénomènes de dégradation mis en évidence par les contrôles et expertises de vis de guide-eau et vis de palier hydrostatique (PHS) déposées lors des arrêts programmés en 2012 des réacteurs n°2 des centrales de Chooz B et Civaux.

Les dégradations observées proviennent :

- soit d'un desserrage des vis du guide-eau, induisant des contacts au passage de la roue de la pompe et une fissuration par fatigue mécanique, voire des chocs conduisant à la rupture de la tête de vis. C'est le cas d'une vis, dont la tête ruptée a été retrouvée sous la grille anti-débris d'un assemblage combustible du réacteur n°2 de Chooz B, événement qui a conduit aux dépôts, contrôles et expertises d'autres vis de guide-eau et de PHS sur les réacteurs n°2 des centrales de Chooz B et Civaux ;
- soit de corrosion sous contrainte (CSC) en milieu primaire ; c'est le cas de nombreuses vis de guide-eau et de PHS en acier A-286, matériau non conforme car proscrit pour ces vis depuis la revue de conception de 1992 en raison de sa sensibilité à la CSC. C'est aussi le cas pour une vis en acier inoxydable, matériau pourtant conforme à la conception révisée.

Sur la base des éléments transmis par EDF, l'examen demandé à l'IRSN porte sur les points suivants :

- l'adéquation des nuances de matériaux utilisés pour les vis, vis-à-vis des mécanismes de dégradation associés, au vu des éléments à jour de l'état de l'art et du retour d'expérience national et international,
- les critères de maintenance de la visserie proposés par EDF dans les différents programmes de base de maintenance préventive (PBMP), dont les PBMP « OMF », ainsi que dans les règles nationales de maintenance (RNM).

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

Dans un premier temps, l'IRSN a analysé le risque d'amorçage et de propagation d'une fissure de corrosion sous contrainte pour l'ensemble des visseries des internes des GMPP en prenant en compte les seuils retenus par l'exploitant, les résultats disponibles de la R&D nationale et internationale ainsi que le retour d'expérience du parc nucléaire mondial.

Risque pour la visserie en acier de nuance A-286

Le seuil en contrainte au-delà duquel le risque de CSC devient potentiel est de 550 MPa à 350°C selon la revue de conception d'EDF de 1992. Aux Etats-Unis, ce seuil a été revu et l'EPRI retient désormais un seuil variable de 690 MPa à la mise en service à 500 MPa pour 100 000 heures de fonctionnement. Les valeurs de contraintes dans la visserie dépassant les critères français et américain pour l'ensemble des vis en A-286, l'IRSN conclut que le risque de CSC des vis des liaisons roue-arbre, de fixation du diffuseur et de la couronne thermique - toutes en A-286 - ne peut être exclu. De plus, certaines de ces vis sont microbillées ce qui peut être un facteur aggravant selon l'EPRI.

L'IRSN note par ailleurs que cette nuance d'acier, bien qu'utilisée pour la boulonnerie des GMPP du parc électronucléaire, et présentant un REX de fissuration important, ne figure pas dans le « dossier matériau » des dossiers de référence réglementaires.

Risque pour la visserie en acier de nuance 316

EDF retient comme critère pour l'amorçage d'une fissure en milieu nominal, une dureté de surface supérieure à 240 HV_{0,1}. De plus, l'exploitant indique que la propagation est possible lorsque la dureté dépasse 310 HV_{0,1} et que les sollicitations ne sont pas totalement statiques. EDF retient dans ce cas une cinétique de fissuration de 0,15 µm/h, valeur jugée « sur-conservative ».

L'IRSN constate que le critère d'amorçage retenu par EDF est cohérent et même pénalisant par rapport aux résultats de R&D en milieu primaire nominal. La valeur retenue (dureté de 240 HV_{0,1}) est une valeur basse qui peut conduire à un grand nombre de vis concernées. En fin d'instruction, EDF a réévalué son seuil d'amorçage à 300 HV_{0,1} par analyse du retour d'expérience. Pour l'IRSN, ce seuil est néanmoins invalidé pour les zones occluses (absence de circulation du fluide primaire environnant) de par le retour d'expérience international. Ensuite, l'IRSN ne peut considérer la valeur de cinétique de fissuration comme « sur conservative » alors qu'il existe des valeurs plus élevées dans la littérature et que des conditions locales en partie liées aux conditions occluses pourraient accélérer le phénomène. Sur la base d'une vitesse de 0,4 µm/h, issue de la littérature, une fissure traverserait une tête de vis du PHS en deux cycles. L'IRSN note par ailleurs que les expertises de la vis de nuance 316 provenant de la fixation du PHS et trouvée fissurée en 2012 ont confirmé la présence d'un endommagement par CSC sur une vis ne présentant pas d'anomalie. L'IRSN conclut que l'endommagement par CSC est avéré et conforme au retour d'expérience international pour les vis en acier 316 écroui du PHS.

Dans ses avis précédents publiés en 2012 au sujet des dégradations des vis du guide-eau, l'IRSN a considéré que le risque principal pour la sûreté du réacteur est l'émission d'un ou de plusieurs corps migrant qui pourraient dégrader le revêtement interne de la cuve par corrosion localisée liée à une dépassement mécanique ou à une corrosion sous contrainte. Dans ce cas, le fluide primaire pourrait être en contact avec l'acier ferritique de la cuve en moins d'un cycle de 17 à 18 mois. Ce risque est

générique et peut concerner tous les corps migrants émis par des vis fissurées des internes en fonction de leur taille.

L'IRSN considère, comme EDF, qu'il n'y a pas de risque de blocage d'un rotor de GMPP en cas de corps errant de la taille d'une tête de vis de guide-eau.

L'IRSN considère également que la fissuration par CSC de plusieurs vis de fixation du PHS d'un GMPP N4 pourrait conduire à un dysfonctionnement ou une perte fonctionnelle du PHS dans sa fonction de guidage de la ligne d'arbres, qui est essentielle compte tenu de la rotation du GMPP à une vitesse nominale très proche d'une vitesse critique. Un comportement de crise vibratoire du GMPP pourrait, même décelé, contribuer au risque de blocage de rotor de GMPP qui est une situation de 4^{ème} catégorie. C'est donc une situation « *hautement improbable mais dont on convient d'étudier les conséquences sur la sûreté du matériel* ». L'IRSN estime donc que tout doit être fait lors des contrôles afin de se prémunir d'une telle situation.

Compte tenu des dégradations de vis d'internes de GMPP observées en 2012, EDF a défini une importante stratégie de maintenance selon trois axes :

- une modification de la conception des vis du guide-eau de façon à résoudre les problèmes de desserrage. La mise en place de cette modification sera achevée sur le palier N4 en 2013 et son efficacité sera validée par des contrôles sur deux GMPP en 2015. L'IRSN considère que la modification retenue est bien de nature à réduire le risque de desserrage mais note que l'augmentation du couple de serrage, de 270 à 420 N.m contribue à augmenter les niveaux de contraintes et donc à favoriser l'apparition de la CSC pour ces vis. Pour l'IRSN, une évolution du programme de maintenance périodique doit donc nécessairement être envisagée pour prendre en compte ce risque réévalué. Ceci conduit l'IRSN à émettre la recommandation n°1 ;

- la prévention du risque de rupture par CSC des vis du guide-eau et du PHS en 316L écroui : celle-ci repose sur un programme d'investigation qui doit apporter rapidement à EDF une visibilité sur l'état du parc. Le but est de confirmer le caractère générique ou atypique de ce cas de fissuration observé après 94 000 heures d'exploitation. En cas de confirmation d'un caractère générique, EDF mettrait en place par la suite un programme de surveillance ou de remplacement préventif à caractère périodique et systématique. A ce titre, EDF envisage de remplacer en 2013, lors de leur arrêts programmés, toutes les vis du guide-eau des GMPP des réacteurs n°2 de Chooz B et Civaux (exception faite du GMPP n°1 du réacteur n°2 de Chooz B dont la durée de fonctionnement est nettement plus faible) et d'en expertiser un certain nombre. Concernant les vis du PHS, EDF remplacera toutes les vis des GMPP n°2, 3 et 4 du réacteur n°2 de Chooz B mais attendra 2014 pour aller contrôler 2 PHS du réacteur n°2 de Civaux. Concernant les vis du guide-eau, l'IRSN considère que le programme de remplacement est satisfaisant mais que les expertises des vis déposées pourraient être étendues. Cette remarque est une remarque générale et concerne l'ensemble des expertises des vis déposées. Ceci conduit l'IRSN à émettre l'observation n°1. Il ne peut être exclu que

les vis de PHS soient d'une nuance non conforme (A-286 au lieu de 316). Pour les vis de nuance A-286 - qui pourraient être présentes - le risque de CSC en milieu primaire existe après un fonctionnement de l'ordre de 80 à 100 000 heures. De plus, même si ces vis sont bien de nuance 316, le risque de CSC est avéré et il n'existe qu'un « point zéro » très partiel réalisé en 2012 sur deux pompes. Ceci conduit nécessairement l'IRSN à demander un remplacement de l'ensemble de ces vis pour les pompes qui ont atteint une durée de fonctionnement similaire. Ceci concerne à la fois les trois pompes de Chooz B1 mais également les quatre pompes de Civaux 1 et permettra de s'affranchir du risque de maintien en place de vis ayant déjà fonctionné près de 110 000 heures. Ceci conduit l'IRSN à émettre à la recommandation n°2 ;

- la prévention du risque de rupture par CSC de la boulonnerie et de la visserie en A-286 ; celle-ci repose sur une poursuite du programme de surveillance sur des matériels témoins représentatifs du parc du point de vue de leur ancienneté. EDF estime que les critères de contrainte pris à la conception apportent des marges par rapport au risque d'amorçage de CSC, confirmées par les conclusions du programme de surveillance sur la période de 2000 à 2007 et non remises en cause par le retour d'expérience. Pour continuer d'appréhender le comportement de l'A-286 dans le temps, EDF programme plusieurs expertises en 2013 (125 000 h) et une entre 2015 et 2017 (140 000 h). EDF compte sur les remplacements des hydrauliques de GMPP sur la période 2018-2028 pour envisager l'opportunité de suivre la visserie au-delà de 160 000 h. L'IRSN constate qu'EDF ne retient qu'un seul contrôle pour les goujons de liaison roue-arbre en 2013. Compte tenu qu'une dégradation par CSC est fortement probable, l'IRSN estime que la proposition d'EDF est insuffisante pour déceler ce mode de dégradation. Il conviendrait pour l'IRSN d'effectuer les mêmes examens sur au moins une autre pompe que le GMPP n°3 de Chooz B1. Ceci conduit à la recommandation n°3. Concernant la fixation du diffuseur et de la couronne thermique, l'IRSN est d'accord avec le volume de contrôle retenu par EDF mais considère là aussi que le volume des expertises pourrait être augmenté. Ceci est pris en compte dans l'observation n°1.

Au-delà de 2013, EDF a présenté un programme de veille pour le suivi des vis d'internes allant jusqu'en 2020. L'IRSN estime l'approche de veille satisfaisante dans son principe mais qu'il est prématuré de se positionner sur sa suffisance : il devra en effet être actualisé en fonction des résultats des expertises à venir. A ce jour, vu les durées de fonctionnement cumulées des pompes des réacteurs n°2 de Chooz B et Civaux qui n'ont pas été expertisées en 2012, l'IRSN considère qu'un programme d'expertise ambitieux devrait être défini pour ces réacteurs en 2014. L'IRSN constate également dès à présent que le seuil des 160 000 heures retenu n'est pas en cohérence, pour les goujons en A-286, avec les enseignements du REX américain et, pour les vis en 316 des PHS, avec les résultats de l'expertise de la vis n°11 du PHS du réacteur n°2 de la centrale de Civaux. Il conviendrait de réviser ce seuil à une valeur plus faible qui ne doit pas dépasser 100 000 heures.

Actuellement, la prévention du risque de fissuration par CSC de la boulonnerie et de la visserie repose sur une poursuite du programme de surveillance de pompes témoins, représentatives du parc du point de vue de leur ancienneté.

Compte tenu du REX des réacteurs n°2 des centrales de Chooz B et de Civaux, l'application du programme de surveillance basé uniquement sur des pompes témoins ne peut pas garantir l'état correct de tous les composants sur toutes les pompes. En effet, l'IRSN rappelle que la maintenance conditionnelle par visite témoin consiste en la visite complète d'un matériel, les résultats d'une expertise approfondie du matériel conditionnant la poursuite de la maintenance conditionnelle. De ce fait, cette visite doit faire l'objet d'un rapport ou procès-verbal d'expertise spécifique, la détection d'un défaut nécessitant de réaliser une analyse pour définir :

- les enjeux pour déterminer l'urgence des actions à réaliser sur les autres matériels ;
- l'origine du défaut et ainsi toutes les causes impliquant un mécanisme de dégradation ;
- le caractère générique du mécanisme pour savoir si d'autres matériels de la famille peuvent être concernés.

Les actions à engager à l'issue de l'analyse peuvent conduire à une augmentation de la taille de l'échantillon, à un retour à une visite systématique ou à une évolution de la périodicité de la visite.

Ainsi, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF fasse évoluer son programme de maintenance préventive des GMPP du palier N4 et justifie la suffisance de ces évolutions sur la base d'une analyse de maintenance, conformément à son guide méthodologique de la maintenance par matériels témoins, pour tenir compte du REX et des évolutions de conception des fixations des vis de guide-eau.

Ceci fait également l'objet de la recommandation n°1.

Palier EPR

Compte tenu de la similitude de conception des fixations des internes et des niveaux de contrainte, l'ensemble des améliorations de conception et de montage concernant le palier N4 doit s'appliquer également au palier EPR. A cette occasion, la mise à jour du chapitre de la revue de conception concernant les liaisons boulonnées des GMPP du palier N4 permettra de valider la conception des visseries du palier EPR mais également les dispositions de surveillance leur étant appliquées dès les premières années d'exploitation. Il conviendra qu'EDF présente, en même temps, un programme de suivi en service, prenant en compte également le GEE, guide d'exploitation et d'entretien du constructeur. Ceci fait l'objet de l'observation n°2.

Paliers 900 et 1300 MWe

Pour ce qui concerne le risque de desserrage des vis du guide-eau, EDF a mis en place un amendement aux programmes de base de maintenance préventive pour vérifier le couple de serrage. Ce contrôle sera réalisé lors des déposes d'hydrauliques. L'IRSN considère ce programme comme satisfaisant.

Vis-à-vis de la fissuration des vis par CSC et des cinétiques du mécanisme, EDF n'identifie pas de risque pour les vis de guide-eau des GMPP 900 et 1300 MWe concernées, ces vis n'étant pas écrouies. Au cours de l'instruction, l'IRSN a demandé des compléments d'information sur la fabrication de ces vis - non reçus à ce jour - afin de statuer sur la nécessité de faire évoluer les dispositions de maintenance préventive. Au vu du retour d'expérience, de la sensibilité de l'acier de nuance 316 et en l'absence d'information complémentaire, l'IRSN estime qu'EDF doit présenter un programme de

contrôle par sondage sur les vis de guide-eau des GMPP des réacteurs de 900 et 1300 MWe. Ceci fait l'objet de la recommandation n° 4.

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

F. MENAGE

Annexe à l'avis IRSN 2013-00021 du 21/01/2013

Recommandations

Evaluation des risques de corrosion sous contraintes : remplacements, contrôles et expertises

Recommandation n° 1 : programme de maintenance préventive des GMPP du palier N4

L'IRSN recommande qu'EDF fasse évoluer son programme de maintenance préventive des GMPP et justifie la suffisance de ces évolutions sur la base d'une analyse de maintenance, conformément à son guide méthodologique de la maintenance par matériels témoins, pour tenir compte du REX et des évolutions de conception des fixations des vis du guide-eau.

Recommandation n° 2 : visserie du palier hydrostatique (PHS) des GMPP de Civaux 1

L'IRSN recommande que l'ensemble des vis des PHS des GMPP n° 1 à 4 du réacteur n° 1 de la centrale de Civaux soient remplacées au cours du prochain arrêt programmé.

Recommandation n° 3 : visserie de liaison roue-arbre en acier A-286 des GMPP du palier N4

L'IRSN recommande qu'EDF complète son programme d'inspection des vis de liaison roue-arbre en ajoutant le contrôle d'au moins une autre liaison choisie sur un GMPP du réacteur n° 1 de la centrale de Civaux.

Recommandation n° 4 : visserie des guide-eau des GMPP des paliers 900 et 1300 MWe

La corrosion sous contrainte des vis de fixation du guide-eau en acier 316 écroui étant avérée, l'IRSN recommande qu'EDF présente un programme de contrôle par sondage des vis des guide-eau des GMPP des paliers 900 MWe et 1300 MWe et mette à jour son analyse de sûreté des conséquences liées à l'émission des corps errants résultant de dégradations de ces vis.

Observation n° 1 : programme d'expertise des vis déposées

L'IRSN considère que lors des prochains arrêts des réacteurs n° 1 des centrales de Chooz B et Civaux, EDF devrait définir un programme d'expertise plus ambitieux en incluant des examens destructifs d'un nombre conséquent de vis déposées.

Observation n° 2 : visserie des internes de GMPP du palier EPR

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF prenne soin de définir les dispositions de surveillance appliquées à la visserie des internes des GMPP dès les premières années d'exploitation, en prenant en compte le retour d'expérience du palier N4. Ce programme de suivi en service prendra en compte également le GEE, guide d'exploitation et d'entretien, du constructeur.