

Fontenay-aux-Roses, le 6 août 2014

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis/IRSN N° 2014-00314

Objet : REP - Maîtrise du vieillissement

Fiches d'analyse du vieillissement et dossiers d'aptitude à la poursuite d'exploitation génériques des réacteurs du palier 1300 MWe
Internes de cuve, équipements électriques, structures et ouvrages de génie civil

Réf.

[1] Lettre ASN CODEP-DCN-2013-065170 du 3 décembre 2013

[2] Avis IRSN - IRSN/2014-00210 du 28 mai 2014 : « Réacteurs électronucléaires - EDF - Paliers 900 MWe et 1300 MWe - Critères d'usure admissible des guides de grappe ».

Dans le cadre du réexamen de sûreté associé aux troisièmes visites décennales des réacteurs de 1300 MWe, l'Autorité de sûreté nucléaire a souhaité par sa lettre en référence [1] disposer de l'avis de l'IRSN sur :

- les Fiches d'analyse du vieillissement (FAV),
- les Dossiers d'aptitude à la poursuite de l'exploitation (DAPE),

issus de la mise en œuvre, par EDF, de sa démarche de maîtrise du vieillissement des systèmes, structures et composants. En particulier, vous demandez l'avis de l'IRSN sur la garantie d'une démonstration suffisante au regard des enjeux de sûreté associés à ces composants.

Les FAV ont été établies par EDF à l'issue du recensement des composants importants pour la sûreté pour lesquels un mécanisme de vieillissement pourrait avoir, entre la troisième et la quatrième visite décennale, des effets pouvant porter atteinte à la sûreté des installations. Ces FAV tiennent compte du caractère avéré ou potentiel du mécanisme du vieillissement, de l'adaptation des dispositions d'exploitation ou de maintenance et des difficultés de réparation ou de remplacement, et un statut leur est attribué.

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

Le statut associé aux FAV est 0, 2 ou 1 selon les cas :

- le *statut 0* est associé aux cas pour lesquels les dispositions courantes d'exploitation et de maintenance sont adaptées à la maîtrise du vieillissement et pour lesquels la réparation ou le remplacement peuvent être réalisés sans anticipation importante, tant pour un mécanisme de vieillissement avéré que potentiel ;
- le *statut 2* correspond aux cas où des effets significatifs du vieillissement peuvent être attendus pour la période d'exploitation considérée, sans véritable possibilité d'action préventive et pour lesquels la réparation ou le remplacement sont difficiles ; il correspond également aux cas où les effets du vieillissement sont uniquement potentiels, sans toutefois pouvoir être exclus, mais pour lesquels la surveillance et la maîtrise du développement du mécanisme de vieillissement sont difficilement réalisables ;
- Le *statut 1* est un statut provisoire dans l'attente d'une instruction complémentaire pour affecter un statut 0 ou 2.

Les composants ou les structures pour lesquels une ou plusieurs FAV ont un *statut 2*, sont considérés comme *sensibles*, un mode de vieillissement pouvant affecter la sûreté du réacteur et conditionner ainsi sa durée d'exploitation. Selon la méthodologie établie par EDF, ils donnent alors lieu à la constitution d'un dossier d'aptitude à la poursuite de l'exploitation (DAPE) *générique*.

Le présent avis concerne les équipements internes de la cuve du réacteur, les équipements électriques ainsi que les structures et des ouvrages de génie civil. Six DAPE génériques pour ces équipements et ces structures ont été établis par EDF:

- le DAPE des internes de cuve ;
- le DAPE des câbles électriques K1 situés en ambiance « points chauds » ;
- le DAPE des traversées électriques d'enceinte ;
- le DAPE du contrôle-commande ;
- le DAPE des structures de génie civil vis-à-vis des risques de gonflement du béton ;
- le DAPE des enceintes des réacteurs.

L'analyse de l'IRSN vise à vérifier que la maîtrise du vieillissement de tous ces composants est suffisante jusqu'à leur quatrième visite décennale (VD4) pour garantir le respect des enjeux de sûreté associés. Cette expertise concerne en particulier les FAV en statut temporaire (statut 1) et la suffisance des six DAPE constitués par EDF dans ce cadre.

La maîtrise du vieillissement des internes de cuve

Les équipements internes de la cuve des réacteurs du palier 1300 MWe ont été conçus sous licence Westinghouse sur la base de ceux de la centrale de South Texas (TGX) aux États-Unis, eux-mêmes conçus en application de la sous-section NG du code ASME III. Le Dossier d'analyse du comportement (DAC) des internes de cuve du palier 1300 MWe est construit sur la base du rapport des contraintes réalisé pour TGX en tenant compte des modifications géométriques et des différences de

sollicitations. Le dossier des situations (DDS) considéré est le dossier d'origine du palier 1300 MWe. Il ne tient pas compte des révisions ultérieures ; la configuration de fonctionnement du réacteur en « dôme froid » n'est par exemple pas prise en compte.

Dans le DAPE des internes de cuve, EDF indique qu'il envisage d'actualiser le DAC existant en situations normales et perturbées avec un dossier des situations mis à jour. EDF envisage aussi d'actualiser le DAC pour les situations accidentelles de 3^{ème} et 4^{ème} catégories avec la prise en compte de la configuration « dôme froid ». De plus, en complément de la reprise du DAC, EDF considère qu'une reprise des études pourrait servir de référence à une évaluation des jeux admissibles au niveau des organes de guidage des équipements internes de cuve. La mise à jour du DAC est prévue par EDF de manière à pouvoir être intégrée à la prochaine version du DAPE prévue en 2017¹. L'actualisation du DAC servira notamment de justification à la prolongation de la durée d'exploitation des réacteurs de 1300 MWe au-delà de la quatrième visite décennale.

Compte tenu de l'historique du dossier d'analyse du comportement des internes de cuve, l'IRSN considère que la mise à jour de ce dossier envisagée par EDF est essentielle pour se prononcer sur l'aptitude à la poursuite de l'exploitation, et qu'un soin particulier devra être apporté à la reconstitution des chargements pris en compte. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 1.**

Pour l'IRSN, les FAV établies par EDF pour les internes de cuve ne prennent pas en compte tous les mécanismes pouvant intervenir. C'est le cas par exemple du phénomène de ségrégation induite par l'irradiation (Radiation Induced Segregation ou RIS). Cette position de l'IRSN a été présentée lors de la réunion préparatoire à la réunion du Groupe Permanent Réacteur du 17 avril 2014 consacrée à l'examen du nouveau référentiel d'étude de l'accident par perte de réfrigérant primaire (APRP) et EDF a pris un engagement sur ce point. Une nouvelle FAV sera donc créée lors de l'établissement de la prochaine version du recueil des FAV du palier 1300 MWe. **En dehors de cette remarque, l'IRSN considère le recueil de FAV comme exhaustif par rapport aux mécanismes de dégradation à prendre en compte.**

Les mécanismes de vieillissement qui peuvent affecter les internes de cuve sont identifiés à partir des études de conception, du retour d'expérience et des essais de laboratoire. EDF a ainsi considéré la fissuration par fatigue (12 FAV), la relaxation due ou non à l'irradiation (1 FAV), l'usure (7 FAV), la corrosion sous contrainte des aciers inoxydables en milieu primaire (5 FAV), la corrosion sous contrainte assistée par l'irradiation (2 FAV), et les autres dommages liés à l'irradiation que sont le fluage (4 FAV), le gonflement (3 FAV) et la fragilisation (4 FAV).

Concernant l'usure affectant les portées stellites des broches de guidage de la plaque supérieure de cœur et des clavettes et glissières de maintien radial, EDF considère que le mécanisme d'usure est potentiel. Pour ces équipements, EDF indique néanmoins que l'état de surface de ces zones a évolué dans le temps, les examens visuels révélant des traces de contact plus ou moins marquées, avec une perte de matière dans certains cas. Le suivi télévisuel des surfaces stellites est adapté à l'observation du phénomène d'usure et mis en œuvre, sur certaines tranches, dès les VD2 pour le

¹ Le processus de maîtrise du vieillissement d'EDF prévoit une révision des DAPE génériques tous les cinq ans.

palier 1300 MWe. EDF envisage de recourir à un outil de contrôle permettant de quantifier les jeux. EDF indique que la méthode sera qualifiée et déployée sur une tranche 900 MWe en VD3 et que l'extension à une tranche 1300 MWe sera ensuite étudiée. **L'exploitation des résultats de ces futures mesures fait l'objet de l'observation n°2 de la part de l'IRSN.**

Concernant l'usure des guides de grappe (GDG), EDF a développé et qualifié un procédé d'examen in situ et a réalisé à l'aide de cet outillage, en 2012 et 2013, l'examen de l'ensemble des GDG de quatre réacteurs du palier 1300 MWe et de trois réacteurs du palier 900 MWe. Certains guides de grappe des tranches du palier 1300 MWe présentent d'ores et déjà des usures importantes. Le mécanisme est donc avéré. EDF n'est néanmoins pas en mesure à ce jour d'identifier et de valider une cinétique d'usure. En l'absence de la connaissance de la cinétique d'usure et de la géométrie locale entre la grappe et le guide de grappes, l'IRSN considère que, si la mesure périodique du temps de chute permet vraisemblablement de se prémunir des dysfonctionnements en situations normales, elle pourrait être insuffisante pour se prémunir de dysfonctionnements en situations accidentelles. **L'IRSN considère que le statut 1 de cette fiche est pertinent dans l'attente de la définition de critères d'usure limite (critères de fin de vie), d'un programme de contrôle périodique et d'un échéancier de remplacement.** Ceci a par ailleurs fait l'objet de l'avis en référence [2].

Le caractère avéré ou potentiel du gonflement des aciers inoxydables induit par l'irradiation, n'est pas tranché par les experts à ce jour. Il en est de même de l'existence d'un seuil d'irradiation au-dessous duquel aucun gonflement n'apparaîtrait. EDF considère le mécanisme comme potentiel. Néanmoins, la FAV en lien avec l'action de ce phénomène sur les cloisons-renforts est en statut 2, du fait de la difficulté de remplacement. L'IRSN n'a pas de remarque sur ce statut du fait du caractère potentiel du mécanisme et dans la mesure où le débat d'expert n'est pas clos. Si toutefois le gonflement devenait avéré, EDF pourrait faire face à une difficulté de maîtrise du vieillissement compte tenu du caractère difficilement réparable ou remplaçable des composants concernés. **L'IRSN estime important de pouvoir statuer définitivement sur ce mécanisme dans les années à venir, en particulier au travers des enseignements du programme GONDOLE.**

Les autres mécanismes de vieillissement et le statut des FAV correspondantes n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.

En complément de l'analyse du retour d'expérience national et international, le DAPE des internes de cuve fait état d'un certain nombre de recherches menées par EDF pour améliorer la compréhension des phénomènes physiques à l'origine des mécanismes de vieillissement avérés ou potentiels pour les internes de cuve. L'IRSN souligne notamment la qualité des travaux menés sur les phénomènes induits par l'irradiation des aciers inoxydables.

Le remplacement ou la réparation de composants des internes de cuve est considéré par EDF comme difficile voire hautement difficile, compte tenu de son propre retour d'expérience ou du retour d'expérience international. Contrairement au palier 900 MWe, EDF ne dispose pas de jeu d'internes de rechange pour le palier 1300 MWe. EDF indique qu'aucune action de remplacement d'internes n'est envisagée, seules les réparations de composants localisés sont envisagées. Le remplacement

d'internes vieilliss ou endommagés serait, selon EDF, une opération de maintenance exceptionnelle très lourde qui pourrait potentiellement poser des problèmes de longue indisponibilité, de radioprotection, de manutention et de stockage de déchets. L'IRSN constate qu'EDF ne réalise les études de faisabilité d'une réparation ou d'un remplacement que si un dommage risque de conduire à une situation inacceptable. Comme sur le palier 900 MWe, plusieurs FAV sont néanmoins de statut 2. Elles concernent essentiellement les dommages dus à l'irradiation (fragilisation, fluage et gonflement) et le cloisonnement de cœur en particulier. L'IRSN considère que, compte tenu du caractère avéré de certains phénomènes et de l'importance du cloisonnement de cœur pour la sûreté, la maîtrise du vieillissement de ce composant passe par l'anticipation des opérations de son remplacement. **Ceci fait l'objet de la recommandation n° 1.**

La maîtrise du vieillissement et de l'obsolescence des équipements électriques

Pour les équipements électriques, la démarche de maîtrise du vieillissement repose, en plus de l'analyse du retour d'expérience, des FAV et des DAPE, communs à la démarche suivie pour les autres équipements, sur les notes de synthèse de qualification progressive. Ces notes ont pour objectif de justifier sur la base d'analyses, d'expertises et d'essais, que l'équipement vieilli présentant un requis de tenue et/ou d'opérabilité en conditions accidentelles (séisme inclus) sur site, peut être exploité pour une durée additionnelle au-delà de la durée de référence prise en compte lors de sa qualification initiale.

L'examen des FAV relatives aux équipements électriques n'appelle pas de remarque de l'IRSN en dehors de trois FAV traitant du vieillissement, respectivement, des matériels de distribution électrique, des câbles K3 et de la connectique des motorisations.

Les FAV des matériels de distribution électrique dans leur état actuel ne permettent pas de décrire correctement les mécanismes de vieillissement pouvant affecter les matériaux sensibles des armoires électriques, les polymères notamment. Un certain nombre d'éléments de justification sont prévus au niveau des notes de stratégie de qualification progressive concernant la vulnérabilité au séisme d'équipements au sein des armoires (contacteur, disjoncteur notamment). Néanmoins, l'IRSN estime que les FAV ne couvrent pas l'ensemble des vulnérabilités. En particulier, pour ce qui concerne la dégradation des isolants qui peut mener à des courts-circuits en cas de retestage de tableaux électriques de puissance ou au démarrage de motorisations, la démarche consistant à caractériser au niveau des armoires électriques la sensibilité des matériaux aux contraintes d'échauffement ou de sollicitation mécanique (connexion/déconnexion), à identifier les zones au niveau des armoires électriques avec des contraintes significatives et à effectuer des expertises ciblées sur les matériels sensibles, n'a pas fait l'objet d'une formalisation par EDF. **Ce point fait l'objet de l'observation n° 3.**

EDF a émis une FAV générique concernant la dégradation de la gaine et des isolants de câbles, assurant la distribution de l'énergie ou la transmission de signaux, et soumis à des contraintes d'échauffement particulières. Le domaine d'application de cette FAV n'est pas restreint aux câbles

K1², ainsi les câbles situés hors du bâtiment du réacteur (câbles K3³) et soumis à un échauffement ou à des conditions d'humidité particulières sont également couverts par cette FAV en statut 2. Malgré ce statut 2, l'IRSN note que le vieillissement des câbles K3, bien que brièvement mentionné dans le DAPE des câbles K1, n'est pas traité au sein d'un DAPE comme le prévoit la méthode générale d'EDF. Sur le plan technique, l'IRSN considère que le statut 2 de la FAV est parfaitement justifié pour les câbles K3. En outre, dans le cadre de la réunion du Groupe permanent réacteurs en 2012 consacrée à l'extension de durée de fonctionnement (GP DDF), EDF s'est engagé à mener un programme de prélèvement sur ce type de câbles. **Ceci conduit à la recommandation n° 2.**

Des éléments issus du retour d'expérience, antérieurs à la mise à jour des FAV pour les réacteurs du palier de 1300 MWe, mettent en évidence l'usure de connectique sur certaines motorisations menant à une augmentation de leur résistivité et à des échauffements ponctuels de liaisons électriques favorisant les courts-circuits. Cette problématique n'est pas correctement tracée dans les FAV transmises par EDF. Elle a néanmoins fait l'objet de travaux de R&D de la part d'EDF dont les conclusions principales ont été reprises pour les câbles à haute tension. EDF indique que l'usure des connectiques des têtes de câbles des motorisations à haute tension est avérée mais que les effets induits seraient détectables par la mise en œuvre de mesures de température. Pour l'IRSN, compte tenu de l'existence d'un mécanisme de vieillissement avéré et d'un moyen de détection en cours de déploiement, les connectiques des motorisations doivent faire l'objet d'une FAV de statut 1. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 4.**

EDF a actuellement établi trois DAPE génériques pour les équipements électriques, relatifs respectivement aux câbles K1, aux traversées électriques et au contrôle-commande. Du fait des similarités technologiques entre le palier 900 et 1300 MWe, les DAPE relatifs aux câbles K1 et aux traversées électriques bénéficient des enseignements des prélèvements réalisés sur les deux paliers. Concernant le DAPE relatif aux contrôle-commande, celui-ci est propre à chaque palier, le retour d'expérience concernant les mécanismes de défaillance potentiels des composants actifs et passifs étant néanmoins mutualisé entre paliers.

Le DAPE du contrôle-commande traite de la rénovation prévue à l'occasion des troisièmes visites décennales, du bilan du retour d'expérience de comportement en service avec notamment le détail des actions visant à limiter les contraintes auxquelles sont soumis les équipements, des mécanismes de vieillissement identifiés au travers du retour d'expérience et des actions de recherche, ainsi que de la synthèse des principaux risques d'obsolescence et des moyens mis en œuvre pour y faire face.

En ce qui concerne les actions destinées à limiter l'échauffement et les sollicitations mécaniques, le DAPE prévoit un certain nombre d'actions génériques. Compte tenu de l'importance de ces phénomènes, vu leur impact sur le vieillissement, l'IRSN considère que la description faite dans le DAPE est insuffisante eu égard aux enjeux associés.

² Câble K1 situé à l'intérieur de l'enceinte de confinement, ayant à assurer leur fonction en toutes situations de la tranche et en cas de séisme.

³ Câble K3 situé à l'extérieur de l'enceinte de confinement, ayant à assurer leur fonction en cas de séisme.

Par ailleurs, EDF effectue un bilan annuel de l'expérience d'exploitation des cartes du contrôle-commande. L'IRSN considère cette stratégie comme adaptée afin de maintenir les cartes en conditions opérationnelles pour les situations d'exploitation nominales (hors séisme) mais néanmoins, que l'approche proposée par EDF présente l'inconvénient de ne pas anticiper l'usure prématurée d'un composant. Pour l'IRSN, le calcul du taux de défaillance en fonction de l'âge des équipements serait utile à cet égard.

Concernant l'identification des mécanismes de vieillissement au travers du retour d'expérience et des actions de recherche, l'IRSN considère que la liste établie par EDF pourrait être enrichie de certaines actions d'expertise réalisées par EDF et par ses fournisseurs. En outre, le volet concernant les méthodes de diagnostic ne présente pas les nouvelles méthodes en cours de développement chez EDF (connectique, dérive de performances de certains composants, tests de thyristors, localisation de perte de résistivité, etc.) ce qui, pour l'IRSN, mériterait d'être intégré.

Concernant l'identification des équipements à fort risque d'obsolescence, le DAPE identifie correctement les mesures mises en œuvre pour le contrôle-commande de niveau 1 et 2. L'IRSN constate néanmoins qu'EDF n'a pas identifié les instrumentations et relayages qui pourraient faire l'objet d'une obsolescence technologique et seraient, à terme, remplacés par des composants électriques programmés.

L'ensemble de ces remarques concernant le DAPE du contrôle commande fait l'objet de l'observation n°5.

Le DAPE des câbles, tel que proposé par EDF, ne concerne que la partie courante des câbles K1, hors connectiques, et s'intéresse principalement à la dégradation des polymères d'isolation. Sur ce point, le DAPE présenté par EDF ne contient pas d'évolution par rapport au DAPE des câbles du palier 900 MWe.

Dans le but d'évaluer la dégradation subie par les polymères d'isolation, EDF réalise notamment des prélèvements de câbles avec une périodicité décennale. Ces prélèvements ont lieu sur le site de Paluel, choisi comme site témoin des réacteurs du palier de 1300 MWe. L'IRSN relève que les prélèvements prévus sur le site de Paluel auront lieu sur les mêmes liaisons que celles sur lesquelles ont eu lieu les prélèvements pour le palier de 900 MWe, mais que certaines liaisons électriques de puissance à basse tension (*BT-puissance*) présentes sur le palier 1300 MWe sont soumises à une dose intégrée beaucoup plus importante. L'IRSN considère par conséquent qu'EDF doit modifier son plan de prélèvement. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°3.**

Le bilan du retour d'expérience international sur le vieillissement des câbles sous irradiation a abouti à certaines conclusions comme la nécessité de prendre en compte les effets conjugués de la température, du débit de dose et du temps dans les essais d'irradiation. De même, l'importance de mesures effectuées sur des matériels vieillis pour juger de leur vieillissement effectif est largement reconnue. Enfin, l'application d'un critère mécanique empirique unique (allongement à la rupture supérieur à 50 %) est insuffisante pour juger de l'avancement du vieillissement pour différentes formulations de polymères – les travaux de JNES montrent en effet que certains matériaux présentant des valeurs d'élongation à la rupture supérieure à 50 % avant le test en condition accidentelle ne

maintiennent pas les performances électriques requises lorsqu'ils sont soumis au profil thermodynamique de qualification. Pour ces raisons, l'IRSN considère que les études d'EDF doivent être poursuivies dans ce domaine. Ceci fait l'objet de l'observation n° 6.

Le DAPE des traversées électriques traite du maintien dans le temps des performances⁴ de ces composants, en termes de transport d'énergie ou d'information et d'étanchéité. EDF a centré son analyse sur les composants dont les performances sont sensibles à l'irradiation et à la température à savoir les joints VITON®, les isolateurs en polysulfone fermant les extrémités des barreaux en inox (traversées haute tension) et l'isolant des conducteurs PEEK (polyétheréthercétone) pour les liaisons K1 de diamètre inférieur à un certaine jauge (AWG8) ou KAPTON® (polyimide) enrubanné avec colle FEP pour les liaisons K1 de diamètre supérieur à cette jauge.

Compte tenu des essais réalisés par EDF, le maintien des performances dans le temps est globalement assuré, hormis pour l'isolant KAPTON® enrubanné pour lequel le maintien des propriétés électriques n'est pas acquis sur le long terme. Pour l'IRSN, les barreaux K1 dont la partie conductrice est d'un diamètre supérieur à 3,26 mm (AWG8) (KAPTON® enrubanné) ne peuvent prétendre à une qualification à long terme pour un profil thermodynamique en bâtiment réacteur, du fait de la diminution de la résistance d'isolement induite, et devraient donc être remplacés. A cet égard, EDF étudie l'extrusion du PEEK sur les conducteurs de grosse section afin d'obtenir des caractéristiques mécaniques et physico-chimiques du PEEK extrudé sur ces sections, identiques à celles obtenues en extrusion industrielle pour les conducteurs K1 de petite section. EDF prévoit l'envoi d'une note de synthèse de qualification pour cette solution fin 2015. L'IRSN considère que cette qualification devrait préférentiellement être prononcée par essais en prenant en compte les travaux de R&D d'EDF sur la sensibilité des mécanismes de vieillissement des polymères aux différents facteurs d'influence (débit de dose, température ou échauffement, notamment). Ceci fait l'objet de l'observation n° 7.

La maîtrise du vieillissement des ouvrages et des structures de génie civil

Le DAPE des enceintes des réacteurs 1300 MWe jusqu'à leur VD4 présente les mécanismes de vieillissement des enceintes de confinement et leur impact sur les fonctions de sûreté. Ce DAPE synthétise également les dispositions de surveillance des enceintes. En effet, la maintenance des enceintes est fondée sur une surveillance périodique programmée visant à garantir la pérennité des ouvrages. Cette surveillance s'exerce en fonctionnement du réacteur, lors des arrêts pour rechargement du cœur et lors des épreuves globales d'étanchéité. Ainsi, EDF assure le suivi de l'étanchéité des enceintes de confinement et de leur comportement mécanique, notamment l'évolution de la précontrainte de l'enceinte.

Pour démontrer leur aptitude au service, EDF présente, de manière synthétique, les études de réévaluation du comportement mécanique des enceintes, ainsi que son analyse des résultats des mesures de déformation des enceintes et des épreuves d'étanchéité. Les enceintes présentent, dans

⁴ Les performances d'étanchéité doivent être assurées pour tout type de traversée dans l'ensemble des situations, les performances électriques doivent être assurées pour l'ensemble des situations normales, limites et en cas de séisme pour les traversées K2, l'ensemble des situations (normales ou accidentelles, séisme inclus) pour les traversées avec requis K1.

l'ensemble, un bon comportement mécanique. Lors des dernières épreuves d'étanchéité, toutes les enceintes testées ont respecté le critère de taux de fuite global.

L'IRSN considère que la démarche présentée par EDF dans le DAPE des enceintes des réacteurs 1300 MWe jusqu'aux VD4 permet de garantir la maîtrise de vieillissement des enceintes.

Le DAPE des réacteurs du palier 1300 MWe vis-à-vis des risques de gonflement présente les différentes pathologies possibles, à savoir l'alcali-réaction (RAG) et la réaction sulfatique interne (RSI).

L'IRSN considère que la démarche d'EDF visant à garantir la maîtrise du vieillissement vis-à-vis de la RAG, est acceptable.

Concernant la RSI, EDF présente une description du phénomène chimique et, de manière générale, la détection de cette pathologie et les principaux paramètres déclencheurs. Au cours de l'instruction, EDF a présenté le classement de sensibilité à l'égard de cette pathologie pour tous les bâtiments réacteurs du palier 1300 MWe, ainsi que la méthode et les critères de classement. Cette méthode s'appuie sur quatre paramètres que sont la composition du liant, le taux d'alcalins actifs du béton, l'environnement et la température maximale atteinte au cœur du béton à la prise.

La méthode d'évaluation de la sensibilité des ouvrages au risque de développement de la RSI appelle les deux remarques qui suivent.

D'une part, la méthode d'EDF ne prend pas en compte les teneurs du ciment en aluminates tricalciques ((CaO)₃(Al₂O₃) ou C₃A) et en trioxyde de soufre (SO₃), alors que ces molécules sont celles qui, associées à l'eau, produisent l'ettringite différée à l'origine du gonflement. Pour l'IRSN, la teneur des ciments en aluminates tricalciques et en trioxyde de soufre sont des paramètres importants pour l'évaluation du risque de développement de la RSI, qui doivent par conséquent se rajouter aux paramètres pris en compte par EDF dans sa méthode.

D'autre part, le paramètre associé à l'environnement, à savoir l'exposition des ouvrages à l'eau, n'est pas estimé correctement. EDF considère en effet que le risque de développement de la RSI est équivalent pour un environnement sec ou d'humidité modérée (XH1) et pour un environnement avec alternance d'humidité et de séchage, voire d'humidité élevée (XH2) ; le risque est en revanche plus élevé pour une structure en contact permanent avec l'eau (XH3). Ceci n'est pas satisfaisant selon l'IRSN. En effet, s'appuyant sur des résultats de travaux de recherche, l'IRSN constate que la RSI peut se développer dans une éprouvette sans nécessairement l'immerger dans l'eau mais en maintenant cette éprouvette dans une ambiance humide, avec un taux d'humidité de l'air proche de la saturation. Au vu de ces résultats, l'IRSN considère que les classes d'exposition à l'environnement XH1 et XH2 ne sont pas équivalentes mais, *a contrario*, que ce sont les classes d'exposition XH2 et XH3 qui sont équivalentes en termes de risque de développement de la RSI. Pour l'IRSN, EDF doit revoir la mise en œuvre de sa méthode en conséquence.

Ces deux points font l'objet de la recommandation n° 4.

Les parties d'ouvrage présentant un risque élevé selon le classement établi par EDF à l'égard du développement de la RSI sont les radiers des enceintes de Penly 1, Nogent 1 & 2 et Belleville 1 & 2 . EDF précise que la classification des autres ouvrages IPS n'est pas disponible car l'application de la

méthode aux bâtiments autres que les enceintes n'a pas été réalisée. En outre, EDF indique qu'aucune apparition du phénomène RSI n'a été détectée à ce jour sur ces ouvrages.

L'IRSN note que seules les enceintes ont fait l'objet d'une analyse vis-à-vis du risque RSI, ce qui n'est pas satisfaisant. Il conviendra qu'EDF applique sa méthode de classement aux autres ouvrages IPS des installations du palier 1300 MWe. **Ceci fait l'objet de la recommandation n° 5.**

Enfin, l'IRSN rappelle que, à l'issue de la réunion du Groupe Permanent Réacteurs de 2013 consacrée à la thématique du confinement, l'ASN a demandé qu'EDF présente une analyse du risque d'apport d'eau extérieure pour les ouvrages classés à risque potentiel de gonflement important et très important, pour la RAG et la RSI, or ces éléments n'apparaissent pas dans le DAPE constitué par EDF. De la même manière, le DAPE doit être complété des éléments de méthodologie sur l'évaluation du risque de développement de la RSI communiqués par EDF au cours de l'instruction, et des résultats du classement qui sera effectué pour l'ensemble des ouvrages IPS. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 8.**

Les FAV relatives aux ouvrages et aux structures de génie civil, notamment les FAV au statut temporaire, n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN, en dehors de la FAV consacrée à la RSI et de la FAV concernant le vieillissement des extensomètres du système d'auscultation des enceintes de confinement.

Pour la FAV relative à la RSI, EDF précise que le suivi défini dans les programmes de base de maintenance préventive (PBMP) relatifs aux ouvrages de génie civil est adapté à la détection de ce phénomène et que ce risque est pris en compte dans une fiche de maintenance du génie civil (FMGC). Cette FMGC présente notamment le logigramme décisionnel à suivre en cas de détection de défauts caractéristiques de la RAG ou de la RSI. Elle est également associée à une procédure de surveillance des ouvrages en exploitation. L'IRSN souligne que le suivi des déformations de l'enceinte, par des mesures d'extensométrie notamment, permet de détecter d'éventuels gonflements du béton. Cette FMGC ne prévoit cependant pas le cas où un gonflement serait détecté à partir des résultats des mesures d'extensométrie, ce qui n'est pas satisfaisant. **Ceci fait l'objet de la recommandation n° 6.**

La FAV relative à la RSI précise que le suivi des ouvrages est adapté en faisant référence à des PBMP. L'IRSN relève que le PBMP de l'enceinte de confinement n'est pas référencé, ce qui n'est pas satisfaisant. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 9.**

Dans la FAV relative au vieillissement des extensomètres du système d'auscultation des enceintes de confinement, EDF précise que, sur certaines enceintes, des extensomètres ont fourni des valeurs erratiques ou ont été déclarés hors service. Ces appareils n'étant pas remplaçables, EDF a développé une solution palliative : les extensomètres de parement. Ils sont progressivement mise en œuvre sur le parc EDF. Devant cette évolution des dispositions de surveillance, l'IRSN considère que le statut 0 de la FAV concernée est inadapté. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 10.**

Conclusion

Sur la base de son analyse du recueil des fiches d'analyse du vieillissement et des dossiers d'aptitude à la poursuite de l'exploitation constitués par EDF, concernant les équipements autres que ceux appartenant au circuit primaire principal, l'IRSN considère, sous réserve de la prise en compte des recommandations en annexe, que la démonstration de la maîtrise du vieillissement des réacteurs du palier de 1300 MWe apportée jusqu'à leur quatrième visite décennale (VD4) est suffisante au regard des enjeux de sûreté associés aux systèmes, structures et composants concernés.

Pour le Directeur général, par ordre

Franck BIGOT

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Recommandations

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF étudie la faisabilité d'une opération de remplacement des équipements internes inférieurs de la cuve des réacteurs du palier de 1300 MWe, de façon à anticiper leur dégradation, compte tenu du caractère difficilement maîtrisable des mécanismes de vieillissement qui les affectent. L'étude d'EDF devra notamment évaluer l'intérêt de disposer, comme sur le palier de 900 MWe, d'un jeu d'équipements internes de remplacement en amont d'une telle opération.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande que les câbles K3 subissant des contraintes d'échauffement ou d'humidité particulières fassent l'objet d'un DAPE dans lequel sera justifiée la maîtrise de leur vieillissement et où seront reversés les résultats des essais sur prélèvement prévus par EDF.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF étende le programme de prélèvement proposé sur Paluel aux liaisons électrique de puissance à basse tension -*BT-puissance*- situées dans des conditions de débit de dose élevé (proche ou supérieur à 0,1 Gy/h).

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande qu'EDF revise sa méthode de classification des ouvrages par rapport au risque de développement de la RSI :

- en tenant compte de la teneur du ciment en aluminates tricalciques (C3A) et en trioxyde de soufre (SO₃) ;
- en considérant que le risque induit pour la classe d'environnement XH2 (exposition à une humidité élevée) est équivalent à celui induit pour la classe d'environnement XH3 (contact durable avec l'eau) et non la classe d'environnement XH1 (humidité modérée).

Recommandation n° 5

L'IRSN recommande qu'EDF étende l'application de sa méthodologie de classement vis-à-vis du risque de RSI à tous les ouvrages IPS des installations du palier 1300 MWe.

Recommandation n° 6

L'IRSN recommande qu'EDF fasse évoluer la Fiche de maintenance du génie civil (FMGC) de sorte à préciser la procédure à suivre en cas de détection d'un gonflement du béton par les mesures d'extensométrie.

Observations

Observation n° 1

L'IRSN considère qu'à l'occasion de la mise à jour du dossier d'analyse du comportement des internes de cuve, EDF devrait reconstituer, au plus près de la réalité, les cartographies thermiques et de rayonnement gamma rencontrées en exploitation, et vérifier le caractère enveloppe du cumul de ces phénomènes dans la vérification du comportement mécanique des structures internes proches du cœur, notamment pour les différentes pièces de l'ensemble cloisons-renforts-enveloppe de cœur.

Observation n° 2

Dans l'attente du déploiement de moyens de contrôle de l'usure des portées stellitées, l'IRSN considère qu'EDF devrait engager des études en vue de déterminer l'impact d'une augmentation des jeux sur le comportement des internes de cuve. Une fois les contrôles réalisés, l'IRSN considère qu'EDF devrait démontrer que les exigences fonctionnelles relatives à la géométrie des portées stellitées indiquées dans le DAC sont respectées, et ceci avant les quatrièmes visites décennales des réacteurs du palier 1300 MWe.

Observation n° 3

L'IRSN considère que, pour les connecteurs et les matériels internes aux armoires de la distribution électrique, EDF devrait :

- identifier les mécanismes de vieillissement pouvant mener à un court-circuit en cas d'appel de courant ou à une perte de fonctionnalité lors d'un séisme ;
- identifier les matériaux devant faire l'objet d'une surveillance (isolants, zones de contact des connecteurs, dispositions de maintien en polymère notamment) ;
- justifier la suffisance des actions de surveillance mises en œuvre sur le parc pour détecter ces phénomènes ;
- présenter les enseignements de ces actions de surveillance.

Les résultats de ces études devraient être intégrés aux notes de synthèse de qualification progressive des armoires de distribution électrique qu'EDF a proposé de transmettre à l'IRSN d'ici fin 2015.

Observation n° 4

L'IRSN considère que l'état de dégradation des connectiques des motorisations devrait être suivi en exploitation par des mesures d'échauffement visant à assurer que, lors du démarrage des motorisations, l'âme du conducteur reste bien en deçà des critères de température définis dans le cahier des spécification technique relatif aux câbles. A cet égard, ces matériels devraient faire l'objet d'une FAV de statut 1.

Observation n° 5

L'IRSN considère que le DAPE du contrôle commande devrait, lors de sa prochaine mise à jour, tenir compte des aspects suivants :

- décrire plus en détail les actions mises en œuvre dans le but de limiter les sollicitations thermiques des armoires de contrôle-commande et les sollicitations mécaniques de leur connectique ;
- présenter, pour les cartes IPS, un calcul du taux de défaillance en fonction de l'âge des équipements ;
- enrichir le volet consacré à l'acquisition de données issues du retour d'expérience des actions d'expertise des cartes défaillantes menées chez les fournisseurs et des enseignements des expertises et essais réalisés par EDF dans le cadre des actions « pérennité de la qualification » et « polymères » ;
- compléter le volet consacré aux méthodes de diagnostic afin de donner de la visibilité sur les méthodes en cours de validation et sur leur utilisation potentielle ;
- identifier les instrumentations et relayages qui pourraient faire l'objet d'une obsolescence technologique et seraient remplacés par des composants électriques programmés.

Observation n° 6

L'IRSN considère qu'EDF devrait poursuivre les essais de caractérisation physico-chimique et mécanique sur des câbles K1 prélevés sur site. Ces essais devraient être définis à travers un programme de prélèvement régulier visant à déterminer l'état de dégradation réel des polymères et à évaluer les cinétiques de consommation des antioxydants.

Observation n° 7

L'IRSN considère que la qualification de barreaux de traversée K1 devrait préférentiellement être prononcée par essais en prenant en compte les travaux de R&D d'EDF sur la sensibilité des mécanismes de vieillissement des polymères aux différents facteurs d'influence (débit de dose, température ou échauffement, notamment).

Observation n° 8

L'IRSN considère qu'EDF devrait intégrer au DAPE des structures de génie civil des réacteurs 1300 MWe vis-à-vis des risques de gonflement du béton :

- la méthodologie et les critères de sensibilité à la RSI ;
- le résultat de ce classement pour tous les ouvrages IPS des installations du palier 1300 MWe ;
- la synthèse de l'analyse demandée par l'ASN du risque d'apport d'eau extérieure pour les ouvrages classés à risque important et très important, pour la RAG et la RSI.

Observation n° 9

L'IRSN considère qu'EDF devrait réviser la FAV relative à la RSI en incluant, dans les références, les PBMP de l'enceinte de confinement.

Observation n° 10

Dans l'attente de la finalisation de la mise en œuvre des extensomètres de parement, l'IRSN considère que la FAV relative au vieillissement des extensomètres du système d'auscultation des enceintes de confinement devrait avoir le statut 1.