

Fontenay-aux-Roses, le 12 juillet 2019

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2019-00158

Objet : EDF - Réacteurs électronucléaires de 900 MWe
Avis sur les réponses aux demandes CONFs 22, 23, 24 et 26 de la lettre de suite au GP ESPN du 10 juin 2015

Réf. 1. Lettre ASN CODEP-DCN-2016-007286 du 20 avril 2016
2. Lettre ASN CODEP-DEP-2018-041046 du 9 août 2018
3. Lettre ASN CODEP-DEP-2018-050415 du 19 octobre 2018

En 2009, EDF a annoncé à l'ASN son souhait de prolonger significativement la durée de fonctionnement des réacteurs de 900 MWe au-delà de 40 ans. La poursuite de leur exploitation nécessite une actualisation des études de conception mécaniques en prenant en compte le retour d'expérience (REX) d'exploitation.

Dans cette perspective, le dossier d'orientation du réexamen périodique, associé aux quatrièmes visites décennales (VD4) des réacteurs de 900 MWe et à la poursuite de leur fonctionnement potentiellement jusqu'à 20 ans après les VD4, présenté par EDF, a été soumis à l'avis du groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GP ESPN) le 10 juin 2015. À l'issue de cette consultation, l'ASN a formulé 19 demandes (numérotées CONFs n° 11 à 29) par le courrier cité en première référence.

Parmi ces demandes, figuraient deux demandes relatives au nouveau référentiel d'évaluation des dommages par fatigue, d'une part, et à l'application de la méthode de relaxation des contraintes mécaniques dites secondaires, d'autre part.

Par ailleurs, à l'issue de la réunion du GP ESPN du 15 mars 2018 consacrée au processus de maîtrise du vieillissement et de l'obsolescence des systèmes, structures et composants, EDF a présenté ses engagements. L'un de ces engagements concerne la mesure de la température de transition fragile/ductile RT_{NDT}^1 initiale des viroles des pressuriseurs.

Dans ce cadre, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a sollicité, par les courriers cités en deuxième et troisième références, l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), à propos des réponses fournies par EDF concernant les trois sujets suivants :

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 8 440 546 018

¹ RTNDT : Reference Temperature for Nil Ductility Transition (Température de référence de ductilité nulle)

- le nouveau référentiel d'évaluation des dommages liés à la fatigue des aciers austénitiques et austéno-ferritiques et des alliages à base de nickel du circuit primaire principal (CPP) et des aciers ferritiques des circuits secondaires principaux (CSP) ;
- les torseurs résiduels induits dans les tuyauteries du CPP lors de remplacements de générateurs de vapeur (RGV) où lors de remplacements de tronçons de branche froide (RTBF) du circuit primaire ;
- la température de transition fragile/ductile (RT_{NDT}) initiale de l'acier des viroles de pressuriseur.

Le référentiel d'évaluation des dommages liés à la fatigue

L'évaluation des dommages liés à la fatigue consiste à étudier le comportement mécanique des composants soumis à des chargements cycliques. Les variations de contrainte qui résultent de ces chargements sont comparées aux amplitudes de contrainte admissibles données par les courbes de fatigue de conception. La courbe de fatigue décrit le comportement du matériau, elle permet de faire le lien entre le chargement (contrainte ou déformation équivalente) et le nombre de cycles à partir duquel un dommage de fatigue est à redouter. Des études comprenant des essais menés à l'air libre et d'autres menés sous eau, dans des conditions chimiques et thermiques représentatives des milieux primaire et secondaire des réacteurs à eau sous pression (REP), ont montré un effet pénalisant de ces milieux sur la fatigue de matériaux métalliques. Les résultats de ces études ont conduit EDF à mettre à jour son référentiel d'évaluation des dommages liés à la fatigue pour les aciers austénitiques et austéno-ferritiques et les alliages à base de nickel du CPP et pour les aciers ferritiques des CSP.

En mars 2015, les principes de ce nouveau référentiel ont été examinés par le groupe permanent d'experts des équipements sous pression nucléaires (GP ESPN). À la suite de cet examen, des demandes ont été formulées et EDF a fourni un certain nombre de compléments pour y répondre. L'avis de l'IRSN quant à la validité des méthodes d'analyse, ainsi qu'à la pertinence et au caractère suffisant des bases de données utilisées par EDF pour répondre à ces demandes est présenté ci-dessous.

Fatigue environnementale en milieu primaire des aciers austénitiques, austéno-ferritiques et des alliages à base de nickel

L'existence d'un effet d'environnement est un phénomène avéré qui n'a pas bien été appréhendé historiquement lors de l'établissement des courbes de fatigue de conception. À la suite de nombreux travaux à l'étranger et en France, EDF prévoit de prendre en compte cet effet en définissant de nouvelles courbes de fatigue et en introduisant un facteur d'environnement, déterminé selon une démarche adaptée du référentiel international existant pour les aciers austénitiques et austéno-ferritiques, à savoir le rapport américain NUREG/CR-6909.

L'IRSN considère que le nouveau référentiel d'évaluation des dommages liés à la fatigue prévu par EDF est cohérent dans son ensemble mais nécessite d'être consolidé sur plusieurs points précisés ci-après.

La nouvelle courbe de fatigue retenue par EDF pour les aciers austénitiques et austéno-ferritiques n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN. Cette courbe est en effet établie par comparaison à la majorité des données dont EDF dispose et selon la démarche décrite par le rapport américain NUREG/CR-6909. L'IRSN a toutefois constaté qu'EDF n'a pas valorisé l'ensemble des résultats d'essais de fatigue dont il dispose, certains étant récents, alors que

ce serait nécessaire pour consolider la prise en compte de l'état de surface dans la détermination des coefficients de transposition². Ce point fait l'objet de l'**observation n° 1** en annexe 2.

En ce qui concerne les alliages à base de nickel, EDF s'est en revanche écarté de la démarche du rapport américain NUREG/CR-6909 pour établir la courbe de fatigue : EDF a en effet considéré la même courbe que pour les aciers austénitiques alors que le rapport NUREG présente une courbe différente. EDF justifie son choix par comparaison aux données expérimentales disponibles, mais cette comparaison montre que toutes les données ne sont pas couvertes. Enfin, la courbe que retient EDF aboutit à des prévisions de dommages moins conservatives que celles obtenues selon la courbe du rapport NUREG/CR-6909, également en retrait par rapport aux aciers austénitiques ou austéno-ferritiques. Ceci n'est pas satisfaisant et conduit l'IRSN à formuler la **recommandation n° 1** en annexe 1.

EDF a introduit un coefficient appelé « *Fen_intégré* » pour limiter le conservatisme associé à la prise en compte des effets d'environnement tels que définis par le NUREG sur le nombre de cycles à rupture. L'IRSN note qu'EDF retient deux valeurs distinctes pour ce coefficient selon que la vitesse de sollicitation est constante ou variable. Ces deux valeurs sont établies à partir de résultats d'essais de fatigue sur éprouvettes et leur conservatisme est justifié par le conservatisme de la prédiction du nombre de cycles de fatigue à rupture à laquelle ils permettent d'aboutir. Pour consolider cette justification, EDF envisage de réaliser environ 200 essais supplémentaires de fatigue sur des éprouvettes en aciers austénitiques mais seulement cinq essais pour les aciers austéno-ferritiques. Pour l'IRSN, le nombre d'essais prévus pour les aciers austéno-ferritiques est insuffisant. Ce point fait l'objet de la **recommandation n° 2** en annexe 1.

D'une manière générale, EDF justifie le conservatisme de sa méthode de prévision de dommages de fatigue par comparaison graphique des prévisions réalisées et des données expérimentales. L'analyse graphique réalisée par EDF n'apporte cependant pas d'information quant à la fiabilité de la prédiction de la durée de vie comme, par exemple, un taux de défaillance accepté. Cette information mériterait d'être précisée. Ce point fait l'objet de l'**observation n° 2** en annexe 2.

En ce qui concerne les techniques expérimentales utilisées par EDF pour constituer sa base de données, l'IRSN relève un manque dans l'estimation des incertitudes de mesure et identifie un certain nombre de pistes d'amélioration détaillés ci-dessous.

L'exploitation des résultats des essais de fatigue ayant servi à établir les valeurs du coefficient « *Fen_intégré* » ne tient pas compte des incertitudes liées à la précision des capteurs de mesure du déplacement. Pour l'IRSN, l'influence de ce facteur d'incertitude doit être évaluée, ce qui fait l'objet de la **recommandation n° 3** en annexe 1.

Pour ce qui concerne les aciers austéno-ferritiques, EDF a montré que l'effet du vieillissement thermique sur le dommage de fatigue était négligeable. Cette conclusion repose sur un faible nombre d'essais mais EDF a prévu d'en réaliser de nouveaux. Afin d'accélérer le vieillissement, EDF porte ses éprouvettes à 400°C. Pour l'IRSN, cette température, supérieure aux températures d'exploitation, est susceptible d'activer des phénomènes différents de ceux qui se produisent à 350°C. L'IRSN considère qu'EDF devrait mener de nouveaux essais pour étudier les effets du vieillissement thermique sur le comportement en fatigue des aciers austéno-ferritiques, mais avec des éprouvettes vieilles à des températures inférieures ou égales à 350°C. Ceci fait l'objet de l'**observation n° 3** en annexe 2.

² On distingue deux coefficients de transposition : le coefficient sur le nombre de cycles et le coefficient sur l'amplitude de déformation. Ils permettent d'établir la courbe de fatigue à partir d'une courbe moyenne en air obtenue expérimentalement à partir d'essais de fatigue réalisés sur éprouvette pour couvrir la variabilité induite par différents paramètres comme la nuance du matériau, l'effet d'échelle (éprouvettes de taille réduite par rapport aux pièces réelles et sollicitées de manière uniaxiale), les états de surface et la variabilité du chargement sur une pièce réelle (présence de paliers et de vitesses de déformation variables...).

EDF a pris en compte l'état de surface comme paramètre d'influence sur le comportement en fatigue. A cet égard, EDF a fait réaliser différentes éprouvettes présentant des rugosités dans une gamme donnée. Pour ce qui concerne les éprouvettes en acier austéno-ferritiques, EDF a défini cette gamme uniquement à partir des spécifications techniques de fabrication des produits étudiés alors que, selon l'IRSN, l'état de surface est susceptible d'évoluer au cours de l'exploitation. Ceci conduit l'IRSN à formuler l'**observation n° 4** en annexe 2.

Pour ce qui concerne les essais de fatigue réalisés à l'air libre, l'IRSN constate que ces essais n'ont pas toujours été réalisés suivant les normes en vigueur et estime qu'EDF devrait évaluer l'impact de ces pratiques sur son référentiel. Ce point fait l'objet de l'**observation n° 5** en annexe 2.

Pour ce qui concerne les essais de fatigue réalisés en présence d'eau, l'IRSN note qu'il n'existe pas de norme d'essai et constate que les pratiques expérimentales d'EDF et de ses partenaires sont variables. Ce point fait l'objet de l'**observation n° 6** en annexe 2.

À la connaissance de l'IRSN, le retour d'expérience des réacteurs à eau sous pression n'a pas mis en évidence de ruptures ou de fuites induites par de la fatigue accentuée par des effets d'environnement en milieu primaire. Dans ces conditions, la prise en compte de cet effet résulte d'observations faites en laboratoire. Il en résulte que le calcul du dommage de fatigue est fondé sur un nombre important d'hypothèses, et qu'il devient particulièrement complexe avec la prise en compte de l'effet d'environnement. Face à cette complexité, l'IRSN considère que les données issues d'essais de laboratoire, dès lors qu'elles servent à élaborer la méthode de calcul des dommages de fatigue, ne suffisent pas à valider cette méthode. Pour l'IRSN, la méthode ne pourra être validée que par confrontation au retour d'expérience d'exploitation. Pour ce faire, EDF prévoit de définir un suivi en service renforcé des zones du CPP pour lesquelles l'effet d'environnement augmenterait significativement le risque de fissuration par fatigue, ce qui, dans le principe, est satisfaisant.

En conclusion, l'IRSN considère que la prise en compte des effets d'environnement sur la résistance en fatigue des matériaux métalliques du circuit primaire, telle que proposée par EDF, est acceptable sous réserve de la prise en compte des recommandations mentionnées ci-dessus.

Fatigue environnementale en milieu secondaire des aciers ferritiques

EDF considère que la chimie nominale du milieu secondaire n'affecte pas le comportement en fatigue des aciers ferritiques. Pour affirmer cela, EDF se fonde sur le principal paramètre à considérer, la teneur en oxygène dissous, et sur un seuil de 40 ppb, reconnu internationalement, en-deçà duquel les effets d'environnement sur la fatigue sont faibles. Pour EDF, la courbe de fatigue du code RCC-M couvre le faible effet de l'environnement constaté en-deçà de ce seuil.

Néanmoins, EDF a identifié des cas de fonctionnement où la teneur en oxygène dissous est supérieure à 40 ppb. À la lumière du retour d'expérience, EDF montre que le nombre de cas est limité et écarte la nécessité de définir un facteur d'environnement.

L'IRSN reconnaît la prépondérance de la teneur en oxygène dissous et le seuil de 40 ppb. Néanmoins, même lorsque la teneur en oxygène dissous est inférieure à 40 ppb, des résultats d'études internationales montrent que d'autres facteurs, et en particulier la teneur en soufre, peuvent accroître la sensibilité des aciers ferritiques aux effets d'environnement. EDF n'a pas explicité la prise en compte de ce paramètre dans ses travaux. Ainsi, l'IRSN considère que la pertinence de la courbe de fatigue du code RCC-M afin de couvrir les effets d'environnement sur la fatigue

des aciers ferritiques des CSP utilisés sur le palier 900 MWe reste à démontrer pour les aciers à haute teneur en soufre. Ceci conduit l'IRSN à formuler la **recommandation n° 4** en annexe 1.

EDF prévoit de surveiller les zones où le seuil de teneur en oxygène de 40 ppb serait dépassé. Pour l'IRSN il est possible de hiérarchiser ces zones en tenant compte des circuits où des écarts à la chimie nominale sont possibles, des vitesses et des niveaux de chargement mécanique, et de la composition des aciers, pour définir les zones à surveiller, tous ces facteurs étant susceptibles d'augmenter la sensibilité aux effets d'environnement. Ce point fait l'objet de la **recommandation n° 5** en annexe 1.

Enfin, EDF écarte le mécanisme de fatigue-corrosion en se fondant sur des arguments qualitatifs, tels que la gamme des vitesses de déformation mécanique induites par les transitoires, ainsi que le nombre de cycles de sollicitation. Pour l'IRSN, ces arguments devraient reposer sur des seuils et des données quantifiés. Ce point fait l'objet de l'**observation n° 7** en annexe 1.

En conclusion, l'IRSN considère que les justifications du choix de la courbe de référence du comportement en fatigue des aciers ferritiques en milieu secondaire et des critères de sélection des zones à surveillées sont incomplètes. Des compléments sont à apporter par EDF afin de pouvoir statuer sur la pertinence du référentiel retenu.

Les torseurs résiduels

Les remplacements de générateur de vapeur (RGV) ou de tronçons de tuyauterie primaire en branche froide (RTBF) nécessitent des ajustements de longueurs et des déplacements à l'origine de torseurs d'efforts rémanents dans les tuyauteries, désignés dans ce qui suit par « torseurs résiduels ». L'impact de ces chargements additionnels, non pris en compte à la conception, sur le comportement mécanique des tuyauteries du CPP fait l'objet d'études complémentaires de la part d'EDF. Les paragraphes ci-dessous présentent l'avis de l'IRSN sur la validité des torseurs retenus en tant que données d'entrée de ces études.

Afin de déterminer les torseurs résiduels, EDF s'appuie sur un modèle aux éléments finis d'une boucle de CPP qui permet de reproduire les différentes opérations industrielles réalisées lors d'un RGV ou d'un RTBF : découpage, accostage, soudage, retrait des outillages.

Dans un premier temps, les torseurs sont calculés en considérant les valeurs nominales des retraits dus aux opérations de soudage³ et des positions d'accostage mesurées lors de chaque remplacement. Ces torseurs sont appelés torseurs résiduels du REX d'intervention (sans incertitude) et sont associés à un RGV ou un RTBF donné. L'analyse des résultats de ces calculs, réalisés pour l'ensemble des RGV ou RTBF d'un même palier, permet de déterminer, en un lieu donné de la boucle, les valeurs maximales de chaque composante des torseurs et ainsi d'établir les torseurs résiduels enveloppe du REX d'intervention (sans incertitude). EDF se fonde alors sur ces torseurs résiduels enveloppe du REX d'intervention (sans incertitude) pour réaliser les études de comportement mécanique des tuyauteries. **La méthode de détermination des torseurs résiduels sans incertitude ainsi que les zones d'application de cette méthode n'appellent pas de commentaire de la part de l'IRSN.**

Dans un deuxième temps, EDF estime les incertitudes portant sur les positions d'accostage et le retrait de soudage. Les valeurs des incertitudes liées aux positions d'accostage retenues par EDF n'appellent pas de remarque de l'IRSN. En ce qui concerne le retrait de soudage, l'IRSN souligne que le procédé TOCE est mis en œuvre depuis 1993. Ainsi, la valeur de l'incertitude associée au retrait de soudage retenue par EDF n'appelle pas de commentaire de l'IRSN

³ Procédé « Tungsten inert gas », ou TIG, orbital à chanfrein étroit (TOCE)

pour les RGV postérieurs à 1993, soit la plupart des opérations de RGV effectuées par EDF à l'exception de celle effectuée sur le réacteur n°1 du CNPE de Dampierre. Ce remplacement a eu lieu en 1990 et les valeurs du retrait de soudage, comme l'incertitude associée, ne sont pas appropriées dans ce cas. Ceci conduit l'IRSN à formuler la **recommandation n°6** en annexe 1.

Dans un troisième temps EDF évalue l'incidence des incertitudes de soudage et d'accostage sur les torseurs résiduels en calculant des torseurs résiduels « avec incertitude », en utilisant un modèle du comportement mécanique de la boucle et en considérant des combinaisons linéaires de déplacements. Cette étape de calcul n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN.

EDF a inclus dans ses études des cas dits de « RGV atypiques » où des positions d'accostage extrêmes sont spécialement retenues afin de maximiser les couples et les efforts en des lieux sensibles des lignes de tuyauterie. Ces positions sont déterminées à partir du retour d'expérience sur 16 cas atypiques de GV remplacés. Ils représentent environ 20% de l'ensemble des GV remplacés du palier 900 MWe et concernent 12 réacteurs. L'IRSN relève que ces cas atypiques de GV remplacés correspondent à des opérations réalisées entre 1990 et 2014. Ainsi, pour l'IRSN, les positions d'accostage retenues dans les études d'EDF reflètent les opérations de RGV telles que réalisées à ce jour, mais rien ne garantit a priori qu'elles couvriront les opérations à venir. Ce constat conduit l'IRSN à formuler l'**observation n°8** en annexe 2.

Au terme de sa démarche, EDF compare les torseurs résiduels (avec incertitude) aux torseurs résiduels enveloppe du REX d'intervention (sans incertitude). EDF conclut de cette comparaison que, pour la configuration d'accostage dite standard, la prise en compte des incertitudes n'est pas de nature à remettre en cause les hypothèses des études mécaniques déjà réalisées. En revanche, pour les configurations d'accostages atypiques, certaines composantes des torseurs (avec incertitude) sont significativement supérieures à celles des torseurs résiduels enveloppe du REX d'intervention (sans incertitude). Ces constats motivent des études complémentaires de la part d'EDF, actuellement en cours.

En l'absence des conclusions des études actuellement en cours, l'IRSN ne peut pas valider l'ensemble des torseurs résiduels avec incertitude retenus *in fine* par EDF pour les études de mécanique. Néanmoins, l'IRSN considère comme acceptable la démarche qu'EDF a retenue pour les établir, sous réserve de la prise en compte des recommandations mentionnées ci-dessus.

Température de transition de référence (RT_{NDT}) de l'acier des viroles de pressuriseur

Pour les produits constitutifs des pressuriseurs des réacteurs de 900 MWe, la RT_{NDT} initiale n'a pas été déterminée à l'occasion de la recette de ces composants. Pour les besoins de l'analyse du risque de rupture brutale, une valeur de RT_{NDT} initiale a été estimée rétroactivement par Framatome en 2004, dans le cadre de l'élaboration des dossiers de référence réglementaires.

Pour estimer cette valeur, EDF s'appuie, d'une part, sur des valeurs d'énergie de flexion par choc mesurées à une température de 0°C sur des éprouvettes prélevées au stade de la recette et, d'autre part, sur une analyse en trois étapes, fondée sur des corrélations entre différents paramètres, qui permet *in fine* d'estimer la RT_{NDT} initiale en fonction de l'énergie de flexion. **Le principe d'établir la RT_{NDT} initiale en fonction de l'énergie de flexion selon les trois étapes retenues par EDF n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Pour valider l'analyse en trois étapes établie ci-dessus, EDF a comparé les valeurs de RT_{NDT} mesurées en recette pour des tubulures de cuve en acier forgé avec les valeurs prédites par son analyse. Cette comparaison s'avère satisfaisante selon EDF.

Pour l'IRSN, le cas de validation retenu par EDF n'est pas adapté car il concerne des mesures réalisées sur des pièces en acier forgé qui ne sont pas représentatives des viroles du pressuriseur, fabriquées à partir de tôles. L'IRSN a conduit sa propre validation à partir de mesures réalisées en recette sur des calottes de cuve de réacteurs du palier 900 MWe, pièces réalisées à partir de tôles et dont les caractéristiques mécaniques sont considérées comparables à celles de l'enveloppe du pressuriseur. Cette validation permet à l'IRSN de conclure que **la démarche d'estimation des valeurs de RT_{NDT} initiales des produits constitutifs des pressuriseurs des réacteurs de 900 MWe comporte suffisamment de conservatisme pour être acceptable pour ces composants déjà fabriqués.**

Pour le Directeur général et par délégation,

Olivier DUBOIS

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe 1 à l'avis IRSN/2019-00158 du 12 juillet 2019

Recommandations

Recommandation n° 1 :

L'IRSN recommande qu'EDF retienne une courbe de conception pour les alliages à base de nickel d'un niveau de conservatisme similaire à celle retenue pour les nuances d'acier austénitiques et austéno-ferritiques.

Recommandation n° 2 :

L'IRSN recommande qu'EDF étende la base d'essais de fatigue en milieu primaire REP des aciers austéno-ferritiques dans des proportions comparables à la base de données disponible pour les aciers austénitiques, afin de consolider les valeurs du facteur d'environnement intégré (« Fen-intégré ») pour ce type d'acier.

Recommandation n° 3 :

L'IRSN recommande qu'EDF évalue l'incidence de la prise en compte de l'incertitude liée à la précision du capteur de mesure du déplacement sur le calcul du coefficient « Fen-intégré », et ce pour l'ensemble des dispositifs expérimentaux utilisés pour établir les valeurs de ce coefficient.

Recommandation n° 4 :

L'IRSN recommande qu'EDF vérifie que la courbe de fatigue qu'il retient pour son analyse du comportement en fatigue en environnement (courbe de conception du code RCC-M) tient effectivement compte de données relatives à des aciers à haute teneur en soufre représentatifs de ceux présents sur son parc de réacteurs. Si tel n'est pas le cas, EDF devra définir et appliquer un facteur correctif pour tenir compte de la composition chimique des aciers présents sur les circuits secondaires principaux des réacteurs du palier 900 MWe.

Recommandation n° 5 :

Au titre du suivi en service, afin d'identifier et de hiérarchiser les zones les plus sensibles à la fissuration par fatigue des circuits secondaires principaux, l'IRSN recommande qu'EDF complète sa démarche en examinant en particulier, au-delà de la seule présence d'oxygène :

- les circuits où des écarts à la chimie nominale sont possibles (entrée d'eau brute, zones d'ébullition, zones sous dépôts, purges....) ;
- les vitesses et niveaux de chargement mécanique dans les zones considérées ;
- les zones comprenant des aciers au comportement particulier eu égard au dommage de fatigue et aux effets de l'environnement (teneur en soufre, notamment).

En particulier, les cas ayant conduit à de la fissuration sur le parc devront faire l'objet d'une analyse détaillée.

Recommandation n° 6 :

L'IRSN recommande qu'EDF détermine la valeur du retrait de soudage induit par le procédé spécifique utilisé lors du remplacement des générateurs de vapeur du réacteur n° 1 de Dampierre.

Annexe 2 à l'avis IRSN/2019-00158 du 12 juillet 2019

Observations

Observation n° 1 :

L'IRSN considère qu'EDF devrait valoriser l'ensemble des essais de fatigue réalisés en air sur des éprouvettes meulées pour consolider la justification de la prise en compte de l'influence de l'état de surface (dit « effet composant ») sur les coefficients de transposition sur le nombre de cycles et sur l'amplitude de déformation.

Observation n° 2 :

L'IRSN considère qu'EDF devrait justifier la pertinence des coefficients de pondération introduits pour tenir compte des effets d'environnement dans le calcul des dommages de fatigue, par une quantification de la fiabilité de la prédiction de la durée de vie résultant de leur prise en compte, compte tenu de l'ensemble des données expérimentales disponibles.

Observation n° 3 :

L'IRSN estime qu'EDF devrait mener les essais complémentaires de fatigue destinés à étudier les effets du vieillissement thermique sur des éprouvettes austéno-ferritiques vieilles à des températures inférieures ou égales à 350 °C.

Observation n° 4 :

L'IRSN estime qu'EDF devrait consolider la valeur de rugosité retenue pour les éprouvettes en acier austéno-ferritique en tenant compte de la rugosité observée après plusieurs années d'exploitation, déterminée par des mesures en peau interne de composants déposés.

Observation n° 5 :

L'IRSN considère qu'EDF devrait identifier dans sa base de données d'essais les résultats expérimentaux issus d'essais non normalisés ou réalisés selon la norme NF A03-403 après juin 2016 et évaluer l'incidence de leur prise en compte sur la caractérisation de la courbe de fatigue de conception.

Observation n° 6 :

L'IRSN considère qu'EDF devrait informer ses prestataires d'essais de fatigue en environnement représentatif du circuit primaire des REP des bonnes pratiques expérimentales à appliquer. Les informations transmises devront être cohérentes avec les dispositions de la norme ISO 12106 et prendre en compte les spécificités de ce type d'essais.

Observation n° 7 :

L'IRSN estime qu'EDF devrait quantifier le niveau de vitesse de chargement au-delà duquel le mécanisme de fatigue-corrosion peut être écarté.

Observation n° 8 :

À l'occasion de chaque futur remplacement de générateurs de vapeur et de tronçon de branche froide sur un réacteur de 900 MWe, l'IRSN estime qu'EDF devrait s'assurer que les torseurs résiduels calculés à partir des positions d'accostage utilisées lors de ces opérations de remplacement sont effectivement couverts par les torseurs résiduels actuellement réputés majorants.