



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 3 novembre 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00206

Objet : Référentiel d'application de la démarche d'exclusion de rupture aux composants non ruptibles et aux tuyauteries primaires et de vapeur principales des réacteurs EPR2.
Dossier d'options des tuyauteries de vapeur principales.

Réf. : [1] Avis IRSN 2021-00002 du 7 janvier 2021.
[2] Avis IRSN 2021-00049 du 31 mars 2021.
[3] Lettre ASN – CODEP-DEP-2022-016748 du 2 mai 2022.

Dans le cadre du projet de réacteurs EPR2, EDF retient une démarche d'exclusion de rupture pour les gros composants du circuit primaire principal (CPP), les tuyauteries primaires principales et les tuyauteries de vapeur des circuits secondaires principaux (CSP). Les gros composants sont dits « non ruptibles » (CNR) et les tuyauteries sont dites « en exclusion de rupture » (EDR). Dans les deux cas, cette démarche repose sur des exigences de conception, de fabrication, de contrôle et de suivi en service renforcées visant à obtenir un très haut niveau de qualité de conception et de réalisation pour ces composants. EDF a donc établi un référentiel d'application de la démarche d'exclusion de rupture pour les composants CNR et les tuyauteries en EDR.

S'agissant des tuyauteries de vapeur principales (VVP), EDF a engagé un dialogue compétitif avec ses fournisseurs afin de rechercher les solutions techniques permettant d'assurer le respect des exigences du référentiel d'application de la démarche d'exclusion de rupture. À ce titre, EDF a défini un ensemble de caractéristiques mécaniques pour les tubes et les soudures que les fournisseurs devront s'engager à atteindre. Les valeurs ont été définies au regard du retour d'expérience de la fabrication des tuyauteries des CSP de l'EPR de Flamanville (EPR FA3).

Par ailleurs, dans le cadre de l'instruction de la démarche d'exclusion de rupture et de son référentiel d'application pour le projet EPR2, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé à EDF de fixer des objectifs ambitieux de marges mécaniques pour toutes les zones considérées comme sensibles au regard de la fatigue et de la rupture brutale sur le parc électronucléaire. EDF a présenté les critères mécaniques qu'il entend appliquer ainsi que des études mécaniques préliminaires qui présentent les marges évaluées pour les composants CNR et les tuyauteries en EDR.

MEMBRE DE
ETSON

Enfin, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a émis deux avis cités en première et deuxième références sur le caractère acceptable des dossiers d'options constitués par EDF pour les gros composants et les tuyauteries primaires principales du projet EPR2. Le dossier d'options des tuyauteries de vapeur principales n'avait pu être étudié, certaines options structurantes n'étant pas encore levées. Ce dernier dossier ayant été finalisé, le second avis peut désormais être complété.

Par la lettre citée en troisième référence, l'ASN sollicite l'avis de l'IRSN sur :

- le caractère acceptable du dossier d'options des tuyauteries de vapeur principales ;
- le caractère exigeant des valeurs des caractéristiques mécaniques définies par EDF, en tenant compte de la synthèse des résultats obtenus sur les assemblages soudés des tuyauteries VVP de l'EPR FA3 ;
- les objectifs de marges fixés par EDF pour chacun des équipements CNR ou EDR et sur leur caractère ambitieux, de sorte qu'ils constituent des dispositions particulièrement exigeantes. L'assurance de l'atteinte effective, à terme, de ces objectifs est également questionnée.

Sur la base du dossier initial d'EDF, complété par des éléments transmis au cours de l'expertise, l'IRSN présente ci-après les conclusions de son évaluation sur les points susmentionnés.

Dossier d'options des tuyauteries de vapeur principales

Le périmètre du dossier d'options couvre l'équipement de tuyauterie appelé MSL (pour « *main steam line* ») qui comprend les tuyauteries de vapeur principales des CSP, de la sortie du générateur de vapeur jusqu'au point fixe situé en aval de la vanne d'isolement vapeur, y compris les soudures des soupapes de sûreté sur la ligne de vapeur principale au niveau de leur embout extrudé.

Les principales évolutions de conception, par rapport au réacteur EPR FA3, concernent tout d'abord le tracé des tuyauteries qui sera raccourci dans le bâtiment du réacteur (BR) et allongé dans le bâtiment des auxiliaires de sauvegarde (BAS). Ceci est en lien avec les modifications prévues pour ces bâtiments dans le cadre du projet EPR2. EDF cherche aussi à limiter le nombre de soudures et à privilégier des soudures de préfabrication, plus faciles à réaliser que des soudures sur site. À ce titre, différentes options sont envisagées comme l'utilisation de pièces monobloc dites « double cintre » ou le montage de pièces pré-assemblées au sein du « module clarinette »¹.

Par rapport à la conception de l'EPR FA3, un second train de décharge à l'atmosphère est ajouté afin de mieux contrôler la pression secondaire lorsque les débits à évacuer sont faibles. Ceci répond à de nouvelles exigences en exploitation normale de l'EPR2.

Le retour d'expérience de l'EPR FA3 est également pris en compte pour la conception des traversées du BR et des BAS. Par exemple, l'épaisseur des fourreaux sera augmentée pour limiter les problèmes d'accostage. Le contrôle de la soudure située en aval de la traversée du BR sera facilité si l'option « flasque traversée monobloc » est retenue. Des dispositions sont prévues pour faciliter l'accostage des tronçons de tuyauteries et limiter le risque de sous épaisseur au niveau des soudures.

L'IRSN note que beaucoup de choix de conception de l'EPR FA3 sont reconduits. Le tracé reprend le tracé général de l'EPR FA3 avec un raccourcissement de la longueur des tuyauteries VVP à l'intérieur du BR et un allongement dans le BAS. Les dispositions prévues pour maîtriser le risque d'hétérogénéité du matériau associée à ces

¹ Le « module clarinette » comprend le tronçon grande clarinette, le corps de la vanne d'isolement vapeur et le tronçon petite clarinette assemblés par soudage en préfabrication.

tronçons allongés sont jugées satisfaisantes par l'IRSN. Les traversées des bâtiments vont bénéficier de modifications issues du retour d'expérience de l'EPR FA3. De plus, la mise en œuvre sera facilitée compte tenu de la suppression de la double enceinte du BR.

L'utilisation de l'acier de nuance P355NH (tubes) ou P355GH (pièces forgées) est reconduite. Un dossier de qualification spécifique réglementaire sera établi, ce matériau n'étant pas encore introduit dans le code de conception. À l'issue, une synthèse de qualification de l'ensemble des parties principales sera émise.

Le nombre de soudures circulaires pour chacune des tuyauteries VVP de diamètre nominal 750 mm sera compris entre 12 et 14 selon les options finalement retenues. Il y aura donc au plus le même nombre de soudures que pour l'EPR FA3. Des dispositions issues du REX de l'EPR FA3 sont prévues pour limiter les non-conformités, notamment les sous-épaisseurs au niveau des soudures. Il est rappelé aussi que toutes les soudures seront réalisées en TIG² orbital automatique, c'est-à-dire la même technologie que celle retenue par exemple pour la reprise des soudures des traversées des tuyauteries VVP de l'EPR FA3.

Les dispositions de protection des tuyauteries VVP contre les agressions sont reconduites de l'EPR FA3.

Certaines options sont encore à l'étude : l'utilisation d'un flasque monobloc pour les traversées, celle d'un tronçon « double cintre » dans le BAS, le recours au module clarinette et enfin l'arasage en paroi interne de toutes les soudures. Ces options seront levées en vue de l'obtention du décret d'autorisation de création.

Au vu de l'ensemble de ces éléments, l'IRSN considère que le dossier d'options des tuyauteries VVP présenté par EDF est satisfaisant car il intègre un ensemble d'améliorations par rapport à l'EPR FA3 qui portent principalement sur les jonctions soudées : choix d'un procédé de soudage TIG orbital automatique, amélioration de la maîtrise des épaisseurs et de la contrôlabilité. L'IRSN estime que la levée des options susmentionnées serait un gain supplémentaire pour la sûreté. L'IRSN n'a pas identifié dans ce dossier d'élément pouvant remettre en cause l'application de la démarche d'exclusion de rupture.

Caractéristiques mécaniques définies pour le dialogue compétitif avec les fournisseurs

Pour l'approvisionnement des tubes des tuyauteries VVP, EDF a défini un jeu de caractéristiques mécaniques provisoires qui comprend des valeurs de traction, de résilience et de dureté, à atteindre à différentes températures. Pour le dialogue compétitif, ce jeu comprend en plus des valeurs de résistance à la déchirure ductile. Toutes ces valeurs obligatoires sont complétées par un jeu de critères plus exigeant mais optionnel, afin de définir une cible ambitieuse pour le dialogue compétitif. Ces valeurs optionnelles visent à améliorer les marges au regard du risque de rupture brutale.

L'IRSN a vérifié que les valeurs de traction étaient bien en accord avec les normes européennes applicables. Les valeurs de résilience requises sont plus exigeantes que celles retenues lors de l'approvisionnement des tubes similaires de l'EPR FA3 ; néanmoins l'examen de la synthèse des valeurs de recette des tubes approvisionnés pour l'EPR FA3 montre que l'atteinte de ces valeurs n'est pas acquise à ce jour. EDF affirme être conscient de cette difficulté et poursuit le dialogue avec les fournisseurs afin de les inciter à une démarche de progrès. Pour l'IRSN, EDF doit effectivement poursuivre ses efforts, notamment avec ses fournisseurs, pour **atteindre les valeurs de résilience définies dans ce cadre**. Par ailleurs, les valeurs de résistance à la déchirure ductile exigées au titre du dialogue compétitif sont nettement plus élevées que celles retenues pour le projet EPR FA3 et que la valeur de 100 kJ/m² retenue comme critère de sûreté pour l'EPR2. La synthèse des résultats de l'EPR FA3 montre que ces valeurs ont été atteintes sans difficulté. L'IRSN note enfin que les critères optionnels pourront également permettre d'accroître les marges au regard d'autres modes de dommages mécaniques à condition de retenir certaines valeurs issues du dialogue compétitif en tant que valeurs pour la recette des tubes.

² TIG : Tungsten Inert Gas.

S'agissant des soudures, EDF retient des valeurs de traction et de résilience au moins égales à celles retenues dans le métal de base et en zone affectée thermiquement. Les propriétés de résistance à la déchirure ductile seront discutées et ajustées à l'issue des premiers essais sur des assemblages soudés qui devraient avoir lieu en 2023. Les valeurs retenues seront applicables aux soudures de préfabrication et aux soudures sur site de manière indifférenciée.

Pour ce qui concerne les procédés de soudage des tuyauteries VVP, le dialogue technique est en cours. L'IRSN rappelle qu'il est attendu des procédés de soudage spécifiquement développés dans le cadre de la démarche d'exclusion de rupture. En effet, le retour d'expérience de l'application de cette démarche pour le réacteur EPR FA3 a montré que des sous-traitants avaient utilisé des procédés de soudage pré-existants non développés pour l'exclusion de rupture. Pour l'IRSN, la démarche d'exclusion de rupture n'est acceptable que si un soin particulier est apporté au cours de la fabrication.

En conclusion, l'IRSN note que les valeurs définies pour le dialogue compétitif sont égales voire supérieures à celles utilisées pour le projet EPR FA3. Ces valeurs permettent de garantir un fonctionnement des tuyauteries de vapeur principales uniquement au plateau ductile pendant toute la durée de vie du réacteur EPR2. Les valeurs proposées apparaissent atteignables au vu de la synthèse disponible pour l'EPR FA3, à l'exception des valeurs de résilience pour lesquelles l'instruction se poursuit. L'IRSN considère donc que ces éléments répondent au caractère exigeant demandé par le guide ASN n° 22 concernant le choix et l'utilisation de matériaux dans le cadre de la démarche d'exclusion de rupture.

Critères mécaniques retenus et marges évaluées lors des études préliminaires

Les critères mécaniques retenus par EDF pour les composants CNR sont ceux du code RCC-M pour les matériels de niveau 1³. Pour les tuyauteries en exclusion de rupture, les critères applicables aux tuyauteries de niveau 1 du même code sont retenus et EDF propose un renforcement des exigences par un abaissement de la valeur maximale du facteur d'usage de fatigue limitée à 0,5 au lieu de 1. Néanmoins, il ne s'agit que d'une valeur visée : un dépassement pourrait rester acceptable sur la base de justifications. EDF souligne que le jeu de critères d'origine est reconnu et largement éprouvé, ayant déjà été retenu pour des fabrications similaires. Le facteur d'environnement est pris en compte pour les études de fatigue dans toutes les zones du CPP ; *a contrario* il n'est pas nécessaire de le prendre en compte pour les tuyauteries VVP. Ceci constitue une nouveauté par rapport à la conception de l'EPR FA3.

Pour l'IRSN, le choix des critères de niveau 1 du code RCC-M est acceptable pour les composants et tuyauteries relevant d'une démarche d'exclusion de rupture, sous réserve de la mise en place d'apports d'une autre nature, comme des renforcements de la robustesse de la conception, de la qualité de fabrication ou du suivi en service. D'une manière générale, au stade de la conception, **l'IRSN considère néanmoins que le facteur d'usage doit présenter une valeur faible pour se prémunir du dommage de fatigue**. Pour les composants CNR, la démarche pour évaluer le risque de dommage par fatigue est reconduite à l'identique de celle appliquée au parc existant et à l'EPR FA3, complétée par la prise en compte du facteur d'environnement, ce qui constitue un renforcement de la robustesse des études. L'ensemble de cette démarche est donc satisfaisant. Pour les tuyauteries en EDR, la valeur visée du facteur d'usage est abaissée à 0,5, ce qui est la valeur retenue classiquement pour considérer que la zone est dite « *non concernée* » au regard du dommage de fatigue. Pour l'IRSN, le choix de cette valeur est donc pertinent.

³ Le niveau 1 du code RCC-M est utilisé pour les équipements dont la conception et la fabrication doivent être les plus soignées.

En conséquence, les critères mécaniques du référentiel d'application de la démarche d'exclusion de rupture aux composants non ruptibles et aux tuyauteries en EDR sont identiques à l'exception du critère relatif au dommage de fatigue. Or, sur les réacteurs en fonctionnement, le facteur d'usage de fatigue peut atteindre à 60 ans une valeur supérieure à 0,5 pour certaines zones des composants similaires aux composants CNR de l'EPR2. Pour l'IRSN, l'alignement strict de la valeur limite du facteur d'usage de fatigue au sein du référentiel n'est pas souhaitable car une valeur plus restrictive pour les composants CNR pourrait conduire à faire évoluer leur conception et ne pas bénéficier d'un retour d'expérience positif en matière de conception, de fabrication et d'exploitation sur les composants similaires, y compris sur le ou les matériaux utilisés et les procédés de fabrication mis en œuvre ; alors qu'il s'agit justement — selon l'IRSN — de la première des conditions à satisfaire pour que l'exclusion de rupture puisse être envisagée pour un équipement mécanique. Ainsi, la solution la plus satisfaisante du point de vue de la sûreté est de continuer à bénéficier de méthodes de fabrication éprouvées pour les composants CNR et de réaliser des contrôles en service adaptés.

Finalement, les critères proposés par EDF pour les composants CNR et les tuyauteries en EDR sont jugés satisfaisants par l'IRSN. En cas de dépassement de la valeur visée pour le facteur d'usage de fatigue pour les tuyauteries en EDR, EDF prévoit que des justifications seront apportées. **Pour l'IRSN, cela devrait conduire également à la mise en place d'un suivi en service adapté.**

Le bilan des marges préliminaires présenté par EDF a été établi dans le cadre d'un processus itératif d'amélioration vis-à-vis de la prévention des dommages de fatigue et de rupture brutale. Ce processus est encore en cours et vise à valider l'engagement de la fabrication des équipements sous pression nucléaires et à établir la liste des zones sensibles. La dernière étape qui aura lieu ultérieurement sera une revue complète des dossiers en support à la déclaration de conformité. L'IRSN n'a pas de remarque sur ce processus.

S'agissant des composants CNR, le bilan des marges préliminaires montre que certaines zones du pressuriseur et des générateurs de vapeur pourraient présenter des dépassements de critères relatifs aux risques de fatigue et de rupture brutale. Des optimisations sont encore en cours, notamment sur les chargements thermohydrauliques et le statut final de ces zones n'est pas encore établi. EDF propose un plan d'actions et un échéancier pluriannuel de façon à confirmer au plus tôt le statut de ces zones, ce qui apparaît satisfaisant.

S'agissant des tuyauteries en EDR, les critères mécaniques devraient pouvoir, selon l'IRSN, être respectés pour l'ensemble des soudures circulaires de résistance de ces tuyauteries. Toutefois, le facteur d'usage de fatigue inférieur à 0,5 est dépassé à ce jour dans certaines zones de quatre piquages, malgré les optimisations réalisées en matière de conception, de réduction des sollicitations et de calcul mécanique. Les études se poursuivent selon certaines voies d'amélioration mais il n'est pas exclu que ces dépassements subsistent. Il ne s'agit que de quelques zones bien identifiées et pour lesquelles EDF s'engage à justifier le choix de conception. Sous réserve que toutes les voies d'amélioration aient été investiguées, l'IRSN considère que la situation est acceptable à condition qu'EDF s'engage sur un programme de suivi en service de ces zones afin de prévenir tout risque de dommage par fatigue. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation en annexe.** Hormis ces dépassements observés à ce jour par rapport à la valeur visée en fatigue, les analyses mécaniques vis-à-vis des autres modes d'endommagement, notamment du risque de rupture brutale, ne présentent que quelques dépassements ponctuels et limités pour lesquels des voies de résorption sont identifiées. En conclusion, l'IRSN estime que les critères mécaniques de la démarche d'exclusion de rupture pour les tuyauteries du CPP et les tuyauteries VVP devraient pouvoir être respectés.

L'IRSN estime que les marges finales disponibles pour un équipement ou une tuyauterie reposent sur des dispositions particulièrement exigeantes en matière de conception, de fabrication et de suivi en service visant à prévenir leur rupture. Plus particulièrement, les marges obtenues à l'issue des études mécaniques sont le reflet du cumul des conservatismes propres à chaque volet des études en retenant des transitoires thermohydrauliques pénalisants au regard des différents modes d'endommagement, des valeurs minimales des caractéristiques mécaniques des matériaux, des coefficients de sécurité ainsi qu'un défaut hypothétique suffisamment profond pour évaluer le risque de rupture brutale. Les valeurs figurant dans le bilan des marges

préliminaires ne reflètent qu'une partie des conservatismes de l'analyse mécanique. L'IRSN rappelle aussi que les calculs mécaniques ont été rendus plus robustes par la prise en compte du facteur d'environnement en fatigue ainsi que par une définition plus précise des chargements thermohydrauliques au niveau des piquages. L'IRSN considère donc que les calculs mécaniques actuels intègrent des améliorations par rapport aux pratiques antérieures, qu'ils ont été réalisés en cohérence avec l'état actuel des connaissances et que, s'ils présentent des marges, celles-ci sont suffisantes pour une démarche d'exclusion de rupture.

Conclusion

À l'issue de son expertise, l'IRSN considère satisfaisant le dossier d'options des tuyauteries VVP présenté par EDF. En outre, l'IRSN estime que les valeurs des caractéristiques mécaniques des tuyauteries VVP définies pour le dialogue compétitif présentent bien un caractère exigeant.

Par ailleurs, l'IRSN considère acceptables les critères mécaniques retenus pour les composants non ruptibles et les tuyauteries en exclusion de rupture. Le bilan des marges préliminaires montre que ces critères devraient pouvoir être respectés à l'exception de quelques zones où les optimisations se poursuivent. L'IRSN estime que si le facteur d'usage de fatigue dépasse finalement la valeur de 0,5 pour les tuyauteries en exclusion de rupture, un suivi en service adapté devra être mis en place. Pour l'ensemble des autres zones, l'IRSN considère que les calculs mécaniques réalisés présentent des marges suffisantes pour une démarche d'exclusion de rupture.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Thierry PAYEN

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2022-00206 DU 3 NOVEMBRE 2022

Recommandation de l'IRSN

L'IRSN recommande qu'EDF mette en place un suivi en service adapté de l'ensemble des zones des tuyauteries en exclusion de rupture pour lesquelles un facteur d'usage de fatigue supérieur à 0,5 serait obtenu à l'issue des études réalisées en support à la déclaration de conformité. Cette exigence de suivi en service devra figurer dans le référentiel d'application de la démarche d'exclusion de rupture.