

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2020-00103

Objet	Écarts relatifs au traitement thermique de détensionnement de soudures des générateurs de vapeur fabriqués par Framatome
Réf(s)	[1] Lettre ASN - CODEP-DEP-2019-048945 du 9 décembre 2019. [2] Avis IRSN - 2020-00021 du 10 février 2020. [3] Avis IRSN - 2020-00066 du 30 avril 2020.
Nbre de page(s)	9

En septembre 2019, EDF a informé l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) d'un écart consécutif au non-respect des plages de températures spécifiées par les règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires des réacteurs à eau pressurisée (code RCC-M) lors de traitements thermiques de détensionnement (TTD) réalisés dans l'atelier de fabrication de Framatome de Saint-Marcel. Le procédé de chauffage concerné utilise des moufles équipés de résistances électriques. Les moufles chauffants utilisés pour le TTD de joints soudés entre viroles de générateurs de vapeur (GV) sont disposés sur les faces interne et externe de ces joints.

Les soudures concernées par l'écart sont, selon les générateurs de vapeur :

- le joint de raccordement de la virole basse et de la virole médiane, dit joint TIF ;
- le joint de raccordement de la boîte à eau du GV et de la plaque à tubes, dit joint PIF ;
- le joint de raccordement de la virole tronconique et de la virole cylindrique de la partie supérieure du GV, dit joint final.

Le TTD a notamment pour objectif de relaxer les contraintes résiduelles éventuellement induites par les opérations de soudage. La température et la durée du TTD sont déduites des prescriptions du code RCC-M. En particulier, la température appliquée doit être comprise entre 595 °C et 620 °C.

En vue de caractériser l'écart, des essais, menés sur maquettes à l'échelle 1, ont confirmé l'existence d'hétérogénéités des températures de TTD des joints soudés, en particulier azimutales, et de dépassements des températures spécifiées.

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

Les essais ont également mis en évidence :

- une zone portée à une température significativement supérieure à la consigne, appelée « point chaud », située sous un « petit moufle » dont la densité de puissance de chauffe est plus importante que celle des autres moufles mis en place. Cette zone est soumise à un sur-revenu ;
- plusieurs zones portées à une température significativement inférieure à la température de consigne, appelées « points froids », localisées au niveau des jeux entre moufles. Ces zones sont soumises à un sous-revenu.

À partir des résultats de ces essais, l'exploitant a considéré de manière conservatrice que la température appliquée pendant le TTD des joints concernés par l'écart est comprise entre 500 °C et 700 °C.

Ces résultats, obtenus sur maquettes à l'échelle 1, seront complétés afin d'évaluer l'impact de l'écart sur les propriétés des matériaux. La réalisation de ce programme prendra plusieurs années.

Lors de ses avis précédents en références [2] et [3] sur le programme expérimental défini par l'exploitant pour évaluer l'impact de l'écart, l'IRSN n'a pas émis de commentaire sur la plage de températures proposée par l'exploitant pour décrire l'écart sur les différents joints soudés et a formulé des recommandations visant à compléter le programme expérimental proposé par l'exploitant.

Par la lettre en référence [1], l'ASN a demandé l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) concernant les éléments ci-dessous.

Pour ce qui concerne les conséquences de l'écart sur les propriétés mécaniques des matériaux, l'ASN demande à l'IRSN de se prononcer :

- sur la validité des hypothèses relatives aux propriétés mécaniques des matériaux retenues par l'exploitant en tant que données d'entrée des analyses du comportement mécanique, ainsi que sur la validité des hypothèses relatives aux contraintes résiduelles ;
- sur la pertinence des valeurs des caractéristiques mécaniques retenues, ainsi que sur la nature et l'estimation des contraintes résiduelles retenues ;
- dans le cas particulier du GV n° 335 du réacteur n° 2 de Fessenheim, sur la validité des éléments présentés par l'exploitant concernant la prise en compte de l'effet cumulé de la ségrégation résiduelle de carbone, en particulier sur l'abaissement de la température de transformation de phase AC1, correspondant à la température du début d'apparition de la phase austénitique lors de la chauffe, et de l'écart de TTD.

Pour ce qui concerne l'analyse du comportement mécanique des joints soudés, l'ASN demande à l'IRSN d'examiner les conclusions de l'exploitant relatives à l'analyse des dommages de déformation excessive, d'instabilité plastique et du risque de rupture brutale. L'ASN souhaite également que l'IRSN donne son avis sur les défauts postulés et sur la cohérence de leurs dimensions avec la performance des examens non destructifs.

L'IRSN présente ci-dessous les conclusions de son analyse de l'ensemble des points soulevés par la saisine de l'ASN. Pour ce qui concerne le comportement mécanique des joints soudés, l'IRSN a également analysé les risques de déformation progressive et de fatigue, ainsi que le risque de propagation de défaut.

Cas particulier du GV n° 335 du réacteur n° 2 de Fessenheim

Pour ce qui concerne le cas particulier du GV n° 335 du réacteur n° 2 de Fessenheim, l'exploitant a transmis des éléments permettant d'écarter le dépassement des températures de transformation métallurgique en cas de sur-revenu. De plus, les résultats des analyses de risque de rupture brutale, prenant en compte le cumul des effets de la ségrégation majeure en tête de la virole basse et de l'écart de TTD au niveau du joint TIF, présentent des marges élevées. Ainsi, le cas du GV n° 335 du réacteur n° 2 de Fessenheim n'appelle pas de remarque.

L'IRSN rappelle que ce réacteur a été mis à l'arrêt de façon définitive le 30 juin 2020.

Propriétés mécaniques des matériaux

Le dépassement des températures de TTD conduit à une dégradation des propriétés de traction et de résilience en cas de sur-revenu, et à un niveau de contraintes résiduelles supérieur à l'attendu en cas de sous-revenu. L'exploitant a prévu de réaliser à moyen terme des campagnes expérimentales à l'échelle 1 afin d'établir l'impact de l'écart sur les matériaux concernés. Néanmoins, en vue de démontrer à court terme le respect des exigences de sûreté, l'exploitant a défini des décotes à appliquer aux propriétés des matériaux prises en compte dans les analyses des dommages mécaniques. Ces décotes ont été établies à partir des résultats de trois campagnes expérimentales. Les propriétés du métal de base, du joint soudé et de la zone affectée thermiquement, ont été déterminées en faisant varier les paramètres essentiels du TTD. À l'issue de la réalisation de ces essais, l'exploitant a retenu la décote maximale des caractéristiques mécaniques mesurées à la température ambiante et à chaud, soit -22 % sur la limite d'élasticité, et -15 % sur la résistance à la traction. Un décalage maximal de +35 °C des courbes de transition de résilience a été observé par l'exploitant. Ce décalage est transposé aux valeurs de la température de référence de ductilité nulle (RT_{NDT}), qui sert à indexer la courbe de ténacité utilisée pour l'analyse du risque de rupture brutale.

L'IRSN a identifié un risque de transformation métallurgique non prévue à la conception et qui pourrait fragiliser le matériau si un dépassement de la température de transformation AC1 était observé lors du sur-revenu. Afin de répondre à ce point, l'exploitant a transmis les résultats d'essais dilatométriques menés sur des matériaux issus de coulées expérimentales et des matériaux industriels.

Les résultats de ces différentes campagnes expérimentales n'ont pas soulevé de commentaires de la part de l'IRSN dans la mesure où celles-ci ont été menées, suivant l'état de l'art en vigueur, sur des matériaux représentatifs ou des matériaux dont les compositions chimiques sont pénalisantes. Pour l'IRSN, les éléments fournis par l'exploitant ont permis d'écarter le risque de dépassement de la température de transformation AC1. Les décotes forfaitaires de propriétés mécaniques proposées par l'exploitant pour les matériaux concernés par l'écart n'appellent pas de remarques de la part de l'IRSN. En conclusion, et dans l'attente des compléments de résultats provenant des futurs programmes expérimentaux de l'exploitant, les décotes des propriétés des matériaux proposées par l'exploitant sont considérées acceptables par l'IRSN.

Contraintes résiduelles - Nature et valeurs des contraintes résiduelles

Afin d'estimer les niveaux de contraintes résiduelles à considérer dans les joints soudés en écart de TTD, l'exploitant s'est appuyé sur deux publications scientifiques : l'une présente un modèle de simulation numérique de soudage, et l'autre une étude expérimentale de relaxation de contraintes causée par un TTD. Les résultats issus de la première publication conduisent l'exploitant à conclure que la nature des contraintes résiduelles est de traction en peau externe et de compression en peau interne, et que le rapport des contraintes résiduelles entre les sens

transversal et longitudinal de la soudure est de 2/3. La deuxième publication permet d'estimer un niveau de contraintes résiduelles en sens longitudinal de l'ordre de 300 MPa, après un TTD à 500 °C. À partir de ces éléments, l'exploitant en vient à considérer des contraintes résiduelles de traction uniquement en peau externe, d'une valeur de 200 MPa en sens transversal sollicitant un défaut potentiel postulé dans le plan de la soudure.

Pour ce qui concerne les zones en sous-revenu des joints soudés TIF et finaux des réacteurs de 900 MWe, l'IRSN estime que les hypothèses actuelles relatives aux contraintes résiduelles, à savoir des contraintes résiduelles de compression en peau interne et de traction de 200 MPa en peau externe dans le sens transverse de la soudure, sont pertinentes. Toutefois, au vu de nombreux paramètres pouvant impacter le niveau de contraintes résiduelles, l'IRSN estime que l'exploitant devra vérifier ces hypothèses à travers son programme expérimental. **Ceci fait l'objet de la recommandation n° 1 en annexe 1.**

Pour ce qui concerne les zones en sous-revenu des autres joints soudés, à savoir les joints PIF, les joints avec réparation, et le joint final et les intersections avec les joints longitudinaux du GV/PL203 du réacteur n° 2 de Paluel, l'IRSN estime que les éléments fournis par l'exploitant ne sont pas représentatifs et ne permettent pas de conclure à un état de contraintes résiduelles de compression en peau interne de ces joints. Ainsi, pour ces joints, l'IRSN estime que l'exploitant doit réviser son analyse du risque de rupture brutale en considérant des contraintes résiduelles de traction en peau interne, d'un niveau cohérent avec celui déjà retenu en peau externe. **Ceci fait l'objet de la recommandation n° 2 en annexe 1.**

Par ailleurs, selon l'IRSN, aucun élément disponible ne permet de justifier l'hypothèse de l'exploitant selon laquelle les contraintes résiduelles seraient nulles dans les zones de traitement thermique conforme ou en sur-revenu. Par conséquent, l'IRSN estime que l'exploitant devrait considérer un niveau de contraintes résiduelles non-nul dans les analyses du risque de rupture brutale des zones en sur-revenu. Les valeurs forfaitaires proposées dans un premier temps devraient être conservatives et pourraient être ajustées, le cas échéant, dans un second temps, une fois les résultats du programme expérimental disponibles. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 1 en annexe 2.**

Analyse des risques de déformation excessive et d'instabilité plastique

Le risque de déformation excessive et d'instabilité plastique est impacté par une diminution des propriétés mécaniques, prise en compte par l'exploitant dans les zones en sur-revenu.

L'exploitant a réalisé une analyse des effets de l'écart de TTD sur le comportement mécanique des joints soudés (TIF, PIF et joint final) des GV des réacteurs impactés. Les décotes de propriétés de traction des matériaux ont été intégrées sur l'ensemble de la circonférence du joint soudé de façon pénalisante. Les contraintes dans les joints soudés ont été réévaluées en considérant différents paramètres, dont les diminutions d'épaisseur au niveau de ces joints.

L'IRSN estime que les données d'entrée des analyses présentées par l'exploitant devaient être mieux référencées. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 2 en annexe 2.**

L'exploitant a montré que, dans la plupart des cas, les critères de déformation excessive et d'instabilité plastique sont respectés. Cependant, pour les joints TIF de certains GV, les critères du code RCC-M sont dépassés pour les situations de référence et les situations exceptionnelles. Pour ces cas, l'exploitant a présenté une analyse complémentaire, de type élastoplastique. N'étant pas convaincu par les calculs présentés par l'exploitant, l'IRSN a réalisé ses propres calculs et a vérifié le respect des critères pour les différentes situations.

En conséquence, l'IRSN considère que le risque de déformation excessive et d'instabilité plastique peut être écarté pour l'ensemble des joints soudés en écart de TTD.

Analyse des risques de déformation progressive et de fatigue

Pour ce qui concerne la déformation progressive, le critère simplifié du code RCC-M utilisé par l'exploitant n'est pas applicable de plein droit, le critère de déformation excessive étant dépassé dans certaines situations. Les calculs en comportement élastoplastique évoqués dans le paragraphe précédent ont cependant conduit l'IRSN à accepter ce critère simplifié. L'exploitant a montré au cours de l'expertise que les critères de déformation progressive et de fatigue étaient respectés. Bien que certains facteurs d'usage soient élevés, l'IRSN estime que la démonstration de l'exploitant est acceptable.

Dimensions des défauts postulés et cohérence avec les performances des contrôles non destructifs

L'exploitant définit dans les dossiers de traitement d'écart les caractéristiques du défaut détectable pour lequel l'absence de nocivité doit être établie par l'analyse du risque de rupture brutale. Ce défaut, identique pour chaque modèle de GV et chaque type de joint soudé, est considéré comme plan, orienté parallèlement au plan du joint soudé, débouchant ou avec un ligament de 5 mm, situé en paroi interne ou externe, et de dimensions 5 mm x 20 mm (hauteur x longueur) au titre de la robustesse. L'exploitant écarte la présence de défauts de dimension supérieure compte tenu des résultats des contrôles non destructifs réalisés en fabrication (CND) d'une part, et des résultats des examens non destructifs (END) réalisés dans le cadre des programmes de base de maintenance préventive et au titre du traitement d'écart d'autre part.

L'IRSN a analysé l'ensemble des procédures associées aux CND réalisés en fabrication et aux END réalisés en service au titre du traitement d'écart ainsi que les résultats disponibles associés.

Concernant les joints TIF et le joint final, l'IRSN a conclu, au terme de son analyse, que la démarche de l'exploitant, consistant à garantir la détection de défaut préjudiciable au risque de rupture brutale, est acceptable tant pour les contrôles réalisés en fabrication que pour ceux réalisés dans le cadre du traitement d'écart.

Concernant les joints PIF, l'IRSN estime que l'analyse croisée des limitations intrinsèques des procédés de CND et d'END ainsi que l'observation de différences entre les résultats des CND et les résultats des END réalisés au titre de l'écart de TTD n'apportent pas une garantie suffisante de pouvoir détecter les défauts postulés dans l'analyse du risque de rupture brutale des joints en écart de TTD. C'est en particulier le cas des défauts postulés à proximité de la paroi externe et de ceux postulés à proximité de la paroi interne au niveau du revêtement (à l'interface entre l'acier faiblement allié du bol et le revêtement en acier inoxydable et au niveau de la jonction de la plaque de partition avec l'enveloppe du bol GV). Pour l'IRSN, de nouveaux contrôles sont à réaliser avec des moyens plus performants que ceux mis en œuvre jusqu'ici. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 3 en annexe 1.**

Risque de propagation de défauts

En cas de risque de propagation de défaut pendant le fonctionnement, les dimensions de défaut retenues dans les analyses de stabilité de défaut, qui sont issues des analyses des contrôles non destructifs, pourraient être remises en cause. Dans ce cas, il conviendrait de retenir des dimensions de défaut prenant en compte la propagation pendant le service.

Afin de justifier la validité des dimensions des défauts retenues dans ses analyses de rupture brutale, l'exploitant a apporté des éléments visant à démontrer l'absence de risque d'amorçage de la propagation des défauts sous l'effet des chargements cycliques. Ces éléments lui ont permis de conclure à l'absence de propagation de défaut pendant 40 années d'exploitation pour l'ensemble des défauts postulés dans les joints soudés des GV de 900 MWe, et pendant 5 années pour le GV/PL203 du réacteur n°2 du Paluel.

L'IRSN estime les éléments apportés par l'exploitant acceptables pour les défauts dans les joints soudés en écart de TTD dont l'amorçage est piloté uniquement par la fatigue thermomécanique, tels que les défauts en peau externe. Toutefois, pour les défauts postulés en peau interne des joints soudés qui sont en contact avec de l'eau, leur amorçage pourrait être accéléré par d'autres mécanismes d'amorçage du fait de la présence conjointe d'un niveau de contraintes résiduelles non négligeable et de l'environnement chimique. L'IRSN estime que l'exploitant devrait justifier que ces divers mécanismes de fissuration dans un environnement chimique, regroupés sous le nom d'EAC (environmentally assisted cracking), ne remettent pas en cause sa conclusion quant à l'absence de risque d'amorçage des défauts en peau interne des joints soudés en écart de traitement thermique de détensionnement. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 3 en annexe 2.**

Analyse du risque de rupture brutale

Méthodologie d'analyse du risque de rupture brutale

Le risque de rupture brutale comprend le risque de rupture ductile et le risque de rupture fragile. Dans le cadre du présent dossier, l'exploitant considère que l'écart de traitement thermique de détensionnement ne devrait pas conduire à un risque de rupture ductile puisque, d'une part, la ténacité élevée atteinte au palier ductile ne devrait pas être impactée par l'écart de TTD et que, d'autre part, les marges obtenues dans le dossier de conception sont élevées pour le défaut conventionnel de quart épaisseur. L'IRSN estime que ces arguments sont acceptables. Ainsi, seul le risque de rupture fragile est analysé par l'exploitant pour les joints en écart de TTD.

La stratégie d'analyse de l'impact de l'écart de TTD sur le risque de rupture brutale des joints soudés consiste à réévaluer les résultats du dossier d'analyse du comportement en tenant compte des caractéristiques des matériaux estimées pour les joints en écart et des contraintes résiduelles. Cette stratégie n'appelle *a priori* pas de commentaire de l'IRSN, qui note également la possibilité mentionnée par l'exploitant d'effectuer des analyses plus avancées en cas de besoin. Quant à la manière dont les contraintes résiduelles sont prises en compte dans l'analyse des joints en écart de TTD, l'IRSN estime que le conservatisme dû à l'application des coefficients de sécurité à l'ensemble des contraintes, y compris aux contraintes résiduelles, devrait permettre de couvrir un éventuel sous-conservatisme dû à l'absence de prise en compte de la correction de plasticité sur les contraintes résiduelles.

À la fin de l'expertise, l'exploitant a proposé une nouvelle formule pour prendre en compte les contraintes résiduelles dans les analyses du risque de rupture brutale, qui n'a néanmoins pas été utilisée dans le cadre du présent dossier. L'IRSN considère que la présente expertise portant sur le traitement d'un écart n'est d'ailleurs pas un cadre adéquat pour évaluer une nouvelle méthode d'analyse mécanique. Toutefois, ayant examiné la manière dont les coefficients de sécurité sont pris en compte selon la nouvelle formule par rapport aux codes et à la réglementation en vigueur, l'IRSN estime d'ores et déjà que la formule proposée pourrait ne pas être conservative, **ce qui le conduit à formuler l'observation n° 4 en annexe 2.**

Résultats de l'analyse du risque de rupture brutale des joints soudés en écart de TTD

L'IRSN note que l'exploitant n'a pas fait d'analyse spécifique pour chacun des GV concernés par l'écart de TTD, mais a choisi des configurations jugées enveloppes pour l'ensemble des GV. Pour ce qui concerne la variabilité des épaisseurs des joints soudés, l'exploitant a retenu l'épaisseur la plus faible, car ceci conduit à des contraintes dues à la pression plus élevées. Toutefois, il en va différemment des contraintes thermiques : une structure de plus forte épaisseur subit d'une manière générale de plus fortes contraintes sous l'effet d'un choc thermique qu'une structure globalement identique mais d'épaisseur moindre. Au vu de la variabilité importante de l'épaisseur des différents joints soudés en écart de TTD, l'IRSN estime que l'exploitant devra justifier que ses analyses permettent de couvrir

l'ensemble des géométries de joints soudés, notamment ceux de plus forte épaisseur. **Ceci fait l'objet de la recommandation n° 4 en annexe 1.**

L'IRSN a analysé les résultats d'analyse du risque de rupture brutale obtenus par l'exploitant, pour des défauts technologiques de dimensions 5 mm x 20 mm, qui sont les plus pénalisants et capables d'être détectés lors des CND ou des END. En ce qui concerne les joints soudés des réacteurs de 900 MWe, l'impact des contraintes résiduelles de 200 MPa (zone en sous-revenu) est plus grand que celui du décalage de la température de transition ductile-fragile de 35 °C (zone en sur-revenu) pour les joints TIF et PIF. L'effet est inversé pour le cas du joint final. Les facteurs de marge obtenus sont tous supérieurs aux critères pour les différentes catégories de situations, ce qui est satisfaisant.

Les critères d'absence de risque de rupture fragile sont également respectés pour les joints soudés du GV/PL203 du réacteur n° 2 de Paluel, sauf pour le cas du défaut postulé dans les joints longitudinaux en situations de 2^e catégorie. Pour ce dernier cas, l'exploitant a révisé son analyse et a obtenu un facteur de marge supérieur au critère. Par conséquent, l'IRSN estime acceptables les éléments apportés par l'exploitant.

Conclusion

À la demande de l'ASN, l'IRSN a analysé le dossier transmis par l'exploitant afin de justifier l'aptitude au service des joints soudés en écart de TTD.

L'IRSN a tout d'abord expertisé les différentes hypothèses retenues par l'exploitant, relatives aux caractéristiques des matériaux, aux contraintes résiduelles ainsi qu'aux dimensions des défauts postulés, et prises en compte dans ses analyses mécaniques.

L'IRSN a ensuite examiné les éléments transmis par l'exploitant pour justifier l'absence de risque de déformation excessive et d'instabilité plastique sous l'effet des chargements statiques et l'absence de risque de déformation progressive et de fatigue sous l'effet des chargements cycliques. Enfin, vis-à-vis du risque de rupture brutale dû aux défauts postulés dans les joints soudés, l'IRSN a analysé les éléments transmis par l'exploitant pour vérifier l'absence de risque d'amorçage de fatigue et de propagation instable de ces défauts en présence des chargements de service et des contraintes résiduelles.

À l'issue de son expertise, l'IRSN estime que, si l'analyse de l'exploitant a permis de conclure à l'aptitude au service des générateurs de vapeur concernés par l'anomalie de traitement thermique, il devra néanmoins la compléter pour répondre à l'ensemble des recommandations formulées en annexe 1 visant à conforter les hypothèses prises en compte dans l'analyse du risque de rupture brutale. Enfin, les essais prévus par l'exploitant lui permettront de consolider l'ensemble des hypothèses du dossier.

Pour le Directeur général et par délégation,
Frédérique PICHEREAU
Adjointe à la Directrice de l'expertise de sûreté

Annexe 1 à l'avis IRSN n° 2020-00103 du 2 juillet 2020

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande que l'exploitant prévoie des mesures sur maquette à l'échelle 1 des contraintes résiduelles en peau externe et en peau interne, afin de justifier les hypothèses relatives aux contraintes résiduelles des zones en sous-revenu retenues dans son dossier d'analyse du risque de rupture brutale des joints soudés en écart de traitement thermique de détensionnement.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande que l'exploitant révise l'analyse du risque de rupture brutale des zones en sous-revenu des joints PIF, des joints avec réparation, du joint final du GV/PL203 du réacteur n° 2 de Paluel et des zones d'intersection des joints longitudinaux de ce générateur de vapeur avec le joint final, en considérant des contraintes résiduelles de traction en leur peau interne, d'un niveau cohérent avec celui déjà retenu en peau externe.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande que l'exploitant réalise, au titre du traitement de l'écart, des examens non destructifs des joints PIF des générateurs de vapeur en anomalie de traitement thermique de détensionnement permettant de garantir la détection et la caractérisation de défauts, situés en peau interne ou en peau externe, dont les dimensions et l'orientation sont cohérentes avec les hypothèses des analyses du risque de rupture brutale.

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande que l'exploitant étudie l'influence de l'épaisseur des joints soudés sur les résultats d'analyse du risque de rupture brutale, notamment vis-à-vis des contraintes d'origine thermique. À défaut, l'exploitant devra réviser son analyse afin de couvrir l'ensemble des épaisseurs des joints en écart de traitement thermique de détensionnement.

Annexe 2 à l'avis IRSN n° 2020-00103 du 2 juillet 2020

Observations de l'IRSN

Observation n° 1

L'IRSN considère que l'exploitant devrait postuler un niveau de contraintes résiduelles pour l'analyse du risque de rupture brutale des zones en sur-revenu, en retenant un niveau conservatif dans l'attente des vérifications faites sur les maquettes de soudage et cohérent avec les autres dossiers d'analyse du risque de rupture brutale des autres composants de la chaudière, notamment celui relatif à la cuve.

Observation n° 2

L'IRSN estime que, dans les notes d'analyse mécanique des effets induits par l'écart de traitement thermique de détensionnement, l'exploitant devrait citer les notes des dossiers d'analyse du comportement dont les contraintes sont extraites, indiquer les repères des sections d'analyse des modèles qui ont été utilisés et préciser les facteurs appliqués à ces contraintes.

Observation n° 3

L'IRSN estime que l'exploitant devrait justifier que les divers mécanismes d'amorçage liés à l'environnement (EAC) ne remettent pas en cause sa conclusion quant à l'absence de risque d'amorçage des défauts en peau interne des joints soudés en écart de traitement thermique de détensionnement. À défaut, l'exploitant devrait justifier l'absence de nocivité de ces défauts en prenant en compte leur propagation après l'amorçage.

Observation n° 4

L'IRSN estime que la formule de prise en compte des contraintes résiduelles, présentée par l'exploitant mais non retenue dans le cadre de l'anomalie de traitement thermique de détensionnement des joints soudés des générateurs de vapeur, devrait être corrigée afin de répondre à la réglementation en vigueur ou d'avoir un niveau de conservatisme au moins équivalent à la pratique actuelle codifiée dans le code RSE-M.