



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 16 juin 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2023-00087

Objet : EPR de Flamanville – Examen des résultats des contrôles non destructifs des soudures SET-IN et TOCE des tuyauteries du circuit primaire principal classés en indications parasites.

Réf. : Lettre ASN – CODEP-DEP-2021-027705 du 2 septembre 2021.

Lors des contrôles non destructifs (CND) de fin de fabrication par radiographie (RT) ou lors des examens non destructifs (END) réalisés au cours de la visite complète initiale¹ (VCI) par ultrasons (UT) des soudures en exclusion de rupture du circuit primaire principal (CPP) du réacteur EPR de Flamanville (EPR FA3), EDF a détecté un nombre important d'indications parasites uniquement² (IPU). Ce type d'indication peut être à l'origine, par exemple, de lignes sombres ou claires sur les radiogrammes. L'enjeu de sûreté porte alors sur la garantie d'absence de défauts inacceptables dans les soudures des tuyauteries du CPP de l'EPR FA3.

Par la lettre citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a alors souhaité recueillir l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur :

- la validité et la robustesse de la méthode de classement des indications IPU : celles dites « IRP (Indication radiographiques particulières) » détectées lors des CND par RT et celles détectées lors des END par UT ;
- l'analyse du classement des indications retenues par rapport aux défauts définis par le code RCC-M³ et ceux définis dans les dossiers défauts inacceptables⁴ (DDI) pour lesquels une justification des performances des contrôles est requise.

Tenant compte de l'enjeu de sûreté, cette expertise a été réalisée autour de deux questions : les indications relevées sont-elles bien des indications parasites ? Ces indications pourraient-elles masquer un défaut ?

¹ La visite complète initiale est une étape réglementaire, préalable à la mise en service de l'installation, pour réaliser un état initial de référence de l'installation avant son exploitation.

² Une indication parasite est un signal, une image ou une caractéristique qui ne correspond pas à un défaut physique mais à un effet produit par la structure métallurgique du composant examiné, son état de surface ou sa géométrie. Lorsque ce type d'indication ne masque pas un défaut physique alors elle devient une indication parasite uniquement.

³ Règles du code de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires.

⁴ Dans le cadre du dossier d'évaluation de la conformité des branches primaires, le fabricant doit spécifier les défauts de fabrication inacceptables et justifier du respect de l'exigence essentielle de sûreté du point 3.4 de l'annexe 1 de l'arrêté ESPN.

MEMBRE DE
ETSON

1. CARACTERE PARASITE DES INDICATIONS

1.1. INDICATIONS DETECTEES LORS DES CND DE FIN DE FABRICATION

Lors des CND par RT des soudures TOCE⁵ réalisés entre 2011 et 2016, la présence d'IRP de type 4a⁶ et de type 8⁷ a été notée dans les procès-verbaux de ces contrôles. Ces indications sont confirmées par des analyses réalisées par des experts d'EDF à partir de la relecture des radiogrammes.

Lors des CND par RT des soudures SET-IN⁸ réalisés en 2011, aucune indication IRP de type 4a n'a été notée dans les procès-verbaux de ces contrôles. En revanche, de telles indications ont été identifiées en 2020, lors de la relecture des radiogrammes par les experts d'EDF.

La procédure de classement transmise par EDF décrit les principes d'interprétation des radiogrammes. L'interprétation est fondée sur la détection d'une variation de densité optique à l'interface entre le matériau de base et le matériau d'apport de la soudure (IRP de type 4a) ou au centre de la soudure (IRP de type 8). Ce classement ne fait pas référence à l'emploi d'une nuance particulière des matériaux de base et d'apport. Il ne précise pas non plus le procédé de soudage ni la géométrie des assemblages soudés pour le classement de ces IRP. Les seuils de notation et de caractérisation des IRP ne sont pas définis par rapport à des seuils quantitatifs en longueur ou des seuils quantitatifs de variation de densité optique. La position des IRP par rapport au chanfrein de la soudure n'est pas non plus spécifiée. Pour EDF, ces critères sont difficilement quantifiables et c'est la raison pour laquelle EDF a besoin d'experts « habilités IRP » pour identifier, interpréter et classer les IRP et, si nécessaire, prendre la décision de déclencher des gestes complémentaires lors des contrôles comme le prévoit la procédure de classement.

La notion d'IRP n'est pas documentée dans la littérature et les experts sont habilités IRP par EDF exclusivement. Ainsi, pour compléter son dossier, EDF a transmis des éléments de compréhension suivants :

- Pour les IRP de type 4a dans les soudures TOCE : de nombreux travaux expérimentaux existent depuis 1989 pour comprendre leur origine ;
- Pour les IRP de type 8 dans les soudures TOCE : elles ont été découvertes sur deux réacteurs EPR dont celui de Flamanville. Des travaux expérimentaux ont alors été réalisés entre 2012 et 2014 ;
- Pour les IRP de type 4a dans les soudures SET-IN : EDF transpose les résultats des soudures TOCE aux soudures SET-IN, sans aucun essai complémentaire.

L'IRSN a alors analysé le retour d'expérience (REX) sur plusieurs dizaines d'années d'exploitation et pour plusieurs réacteurs du parc en exploitation. En effet, les soudures TOCE de raccordement des tuyauteries primaires à la cuve et aux générateurs de vapeur font l'objet d'un END par radiographie à chaque visite complète. **Pour l'IRSN,**

⁵ Les soudures TOCE (TIG Orbital à chanfrein étroit) sont dites homogènes entre métal de base inox forgé/forgé (soit 28 au total) ou entre métal de base inox forgé/moulé (soit 8 au total) sur le CPP. Le périmètre de l'expertise de l'IRSN concerne les soudures TOCE non réparées.

⁶ Selon EDF, « l'image IRP de type 4a est une image d'interface (plages de densité optiques différentes situées à la liaison entre le métal de base et le bord de la soudure). Ces plages de densité optiques sont la conséquence d'une absorption différentielle du rayonnement transmis par des milieux métallurgiques différents ».

⁷ Selon EDF, « l'image IRP de type 8 est une image circonférentielle sombre et diffuse située dans l'axe de la soudure, décelable uniquement avec une source ¹⁹²Ir. Cette image de diffraction est la conséquence d'une orientation préférentielle des grains métallurgiques de soudage vers le centre de la soudure ».

⁸ Les soudures de raccordement de trois piquages aux tuyauteries primaires principales du CPP sont dénommées SET-IN. Le traitement d'un écart à la conception sur ces soudures a consisté à poser un collier de maintien au niveau de ces piquages pour limiter l'aire de brèche qui résulterait de la rupture totale de la soudure et à ne plus considérer les soudures SET-IN dans le périmètre d'exclusion de rupture.

l'analyse de ce REX combinée aux travaux menés par EDF pour mieux comprendre l'origine des IRP de type 4a dans les soudures TOCE montrent que ces indications sont bien de type parasite.

En revanche, l'IRSN souligne le faible REX sur les IRP de type 8 dans les soudures TOCE et sur les IRP de type 4a dans des soudures similaires aux soudures SET-IN, ce qui ne permet pas d'apporter des éléments d'appréciation sur le classement de ces IRP. De plus, l'IRSN constate des divergences d'interprétation entre certains PV des contrôles de fin de fabrication sur EPR FA3 et les avis d'experts d'EDF sur la base de la relecture des radiogrammes pour identifier les IRP de type 4a dans les soudures SET-IN et les IRP de type 8 dans les soudures TOCE. **L'IRSN considère qu'EDF doit être plus vigilant sur le classement de ces indications, en particulier lors de l'élaboration des avis d'experts EDF et déployer des gestes complémentaires afin de garantir le caractère parasite de ces indications. Ce point est repris dans la recommandation présentée en annexe 1.**

1.2. INDICATIONS DETECTEES LORS DE LA VCI

EDF a détecté lors de la VCI des soudures TOCE et SET-IN des indications classées parasites avec les END par UT. La procédure de classement, aussi appelée « discrimination artefact/défaut », permet de classer une indication en parasite lorsque celle-ci s'apparente, par exemple, à une zone de bruit de structure ou à un écho de géométrie⁹. Cette étape vise à identifier les indications notables dont l'origine n'est pas liée à la présence d'un défaut dans la zone soumise à examen. Pour l'IRSN, la fiabilité du classement d'une indication en parasite dépend fortement de la maîtrise et de la connaissance de nombreux paramètres influents tels que la géométrie, la structure métallurgique, la forme de chanfrein qui est étroit pour les soudures TOCE et en X pour les soudures SET-IN avec une géométrie complexe en selle de cheval. **Les travaux expérimentaux issus de la R&D de l'IRSN montrent alors que la discrimination artefact/défaut, bien que complexe, serait mieux maîtrisée pour les soudures TOCE que les soudures SET-IN. Une vigilance doit toutefois être apportée par EDF sur les soudures TOCE de raccordement à la volute de pompe primaire due à la structure métallurgique en acier moulé de cette dernière qui limiterait les performances de contrôles par ultrasons.**

Concernant les soudures SET-IN, l'IRSN a analysé quelques fichiers d'acquisition transmis par EDF afin d'observer la signature acoustique des indications parasites. L'IRSN constate que certaines indications ne sont pas notées dans les PV ou alors classées comme parasite alors qu'elles sont dans la zone soumise à examen et qu'elles pourraient être similaires à des échos provenant d'un défaut. **Pour l'IRSN, EDF doit intégrer la procédure de discrimination artefact/défaut dans la qualification du procédé afin de gagner en confiance sur le caractère parasite de ces indications dans les soudures SET-IN et plus largement dans les soudures en exclusion de rupture des tuyauteries du CPP.**

2. RISQUE DE MASQUER UN DEFAUT

2.1. INDICATIONS DETECTEES LORS DES CND DE FIN DE FABRICATION PAR RT

Les défauts de fabrication considérés comme inacceptables sont identifiés selon le code de référence RCC-M et dans le DDI de chaque type de soudure.

L'IRSN a concentré son analyse sur le risque que les IRP de type 4a masquent des défauts, en bord de chanfrein, de type manque de fusion (dans le cas des soudures TOCE et SET-IN) et sur le risque que les IRP de type 8 masquent des défauts, au centre de la soudure, de type soufflures¹⁰ alignées (dans le cas de soudures TOCE).

⁹ Écho provenant de la réflexion sur une surface d'une grande dimension par rapport à la longueur d'onde utilisée, par exemple un écho provenant du fond d'une pièce ou alors un écho provenant d'une singularité géométrique.

¹⁰ Inclusions gazeuses dans le métal fondu. Elles peuvent être dues à des causes diverses et en fonction de celles-ci se présentent sous différents aspects, sphéroïdales ou allongées, isolées, réparties ou alignées parallèlement à l'axe de la soudure.

Concernant les défauts de type manque de fusion en bord de chanfrein dans les soudures TOCE, EDF démontre qu'un défaut plan d'ouverture 110 µm, de hauteur 2 mm et de longueur 10 mm est détectable par le procédé de contrôle RT. Compte tenu de la très faible désorientation de la source de rayonnement par rapport aux chanfreins étroits du procédé TOCE, de la position relative du défaut et de l'IRP de type 4a non superposable, du caractère continu de l'IRP de type 4a et du bon niveau de confiance sur la procédure de classement des IRP de type 4a dans les soudures TOCE, **l'IRSN estime que le risque qu'une IRP de type 4a masque un défaut de type manque de fusion en bord de chanfrein des soudures TOCE est faible.**

Concernant les défauts de type soufflures alignées dans les soudures TOCE, EDF justifie que leur détection est démontrée par celle d'un défaut volumique de diamètre supérieur à 1 mm. Toutefois, l'IRSN a constaté des divergences entre le PV (par exemple notation d'IRP de type 8) et l'avis d'experts d'EDF (IRP de type 8 et soufflures alignées conformes au référentiel) sans qu'aucun geste complémentaire ne soit réalisé pour garantir l'absence de défauts inacceptables.

Concernant les défauts de type manque de fusion en bord de chanfrein dans les soudures SET-IN, EDF démontre la détection d'un défaut plan d'ouverture 200 µm, de hauteur 2 mm et de longueur 10 mm. Cependant, en raison de la géométrie spécifique des chanfreins des soudures SET-IN, l'IRSN estime qu'il peut subsister des doutes quant à la fiabilité des résultats des END réalisés et que le risque qu'une IRP de type 4a masque un défaut de type manque de fusion, proche de la paroi interne, ne peut pas être écarté.

Ainsi, l'IRSN considère nécessaire de consolider l'identification et la caractérisation d'IRP de type 8 détectées dans les soudures TOCE et de type 4a détectées dans les soudures SET-IN dans le but de garantir que l'IRP ne masque pas un défaut.

L'IRSN a alors testé des traitements d'images des films numérisés des soudures TOCE transmis par EDF pour discriminer des zones avec indications alors qu'elles n'ont pas été notées dans les PV de contrôle ni dans les avis d'experts.

Pour autant, EDF considère que la numérisation des radiogrammes n'apporte pas d'élément supplémentaire, point que l'IRSN réfute. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation présentée en annexe 1.**

2.2. INDICATIONS DETECTEES LORS DE LA VCI PAR UT

Les objectifs des END par UT lors de la VCI sont différents de ceux réalisés lors des CND de fin de fabrication. Pour les soudures SET-IN, les objectifs sont, par exemple, d'assurer la détection d'un défaut préjudiciable à l'intégrité de la structure dans les conditions de fonctionnement les plus pénalisantes. Il s'agit alors de garantir l'absence d'un défaut débouchant en paroi interne, de hauteur et longueur supérieure ou égale à 10 mm et 60 mm respectivement. Pour garantir le caractère parasite uniquement de l'indication, l'analyste doit appliquer une étape de la procédure de discrimination artefact/défaut. Or, à partir de sa propre relecture des fichiers d'acquisition transmis par EDF, l'IRSN émet des réserves sur certaines interprétations des résultats. À cet égard, l'IRSN rappelle une des exigences du RSE-M¹¹ « *lorsqu'un doute subsiste sur le statut de l'indication, parasite ou défaut, ou qu'il n'est pas possible de conclure sur le fait que le parasite ne masque pas un défaut, l'indication doit être considérée comme un défaut* ». **Ainsi, l'IRSN considère qu'EDF doit réaliser un suivi en service pour garantir le caractère IPU avec un procédé qualifié.**

EDF s'est alors engagé à réaliser un suivi en service des soudures SET-IN de l'EPR FA3 et propose de le réaliser avec un procédé désormais qualifié. De plus, de manière à assurer les gestes de discrimination artefact/défaut, hors périmètre qualifié, EDF prévoit de les réaliser à titre d'expertise (cf. engagement en annexe 2).

Compte tenu de l'engagement d'EDF, le suivi en service est acquis pour les soudures SET-IN, ce qui est satisfaisant dans le principe. L'IRSN ne dispose toutefois pas du dossier de qualification et ne connaît donc pas

¹¹ Le code RSE-M réunit les règles de surveillance en exploitation des matériels mécaniques des îlots nucléaires REP.

le périmètre de qualification et les revendications de performances. **Enfin, tenant compte du fait que la procédure de discrimination artefact/défaut n'est pas dans le périmètre qualifié, l'IRSN considère qu'un examen complémentaire permettrait de garantir l'absence de défauts débouchants en paroi interne**, tel qu'il est déjà réalisé sur les soudures du parc en exploitation dont la géométrie est similaire à celle des soudures SET-IN.

3. CONCLUSION

Concernant les indications de type IRP détectées lors des contrôles par radiographie en fin de fabrication, des interprétations différentes sont constatées par l'IRSN entre les PV de contrôles et les avis d'experts sans qu'EDF ait identifié les raisons ni réalisé systématiquement des gestes complémentaires lors du classement des IRP de type 8 dans les soudures TOCE et de type 4a dans les soudures SET-IN. De plus, le risque qu'une IRP de type 4a masque un défaut de type manque de fusion en bord de chanfrein des soudures SET-IN ne peut être écarté. Ainsi, pour l'IRSN, EDF doit consolider l'identification et la caractérisation des IRP pour garantir l'absence de défauts inacceptables dans les soudures SET-IN et les soudures TOCE.

Concernant les indications parasites uniquement détectées lors des contrôles par ultrasons en VCI, à partir de sa propre relecture de plusieurs fichiers d'acquisition, l'IRSN émet des réserves sur certaines interprétations des résultats acquis dans les soudures SET-IN. EDF s'est engagé à suivre en service les IPU notées lors de la VCI, ce qui est satisfaisant dans le principe. Le point restant en suspens est l'attestation de qualification pour laquelle l'IRSN ne dispose pas des éléments formels et ne connaît donc pas le périmètre de la qualification ni les revendications de performances. Enfin, selon l'IRSN, EDF doit intégrer la procédure de discrimination artefact/défaut dans la qualification du procédé afin de gagner en confiance sur le caractère parasite de ces indications détectées dans les soudures SET-IN et plus largement dans les soudures en exclusion de rupture des tuyauteries du CPP.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Thierry PAYEN

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2023-00087 DU 16 JUIN 2023

Recommandation de l'IRSN

L'IRSN recommande qu'EDF garantisse l'absence de défauts inacceptables dans les soudures TOCE et SET-IN du circuit primaire principal de l'EPR de Flamanville grâce à la consolidation de l'identification et de la caractérisation d'IRP de type 8 détectées dans les soudures TOCE et de type 4a dans les soudures SET-IN. Pour cela, EDF pourra réaliser une relecture des films numérisés à titre d'expertise, en complément de la lecture des films réalisée visuellement au négatoscope.

ANNEXE 2 A L'AVIS IRSN N° 2023-00087 DU 16 JUIN 2023

Engagement principal de l'exploitant

EDF s'est engagé à réaliser le suivi en service des soudures SET-IN de l'EPR FLA3 et propose de réaliser ce suivi avec le procédé désormais qualifié, déployé lors de la VCI de 2017. De manière à assurer les gestes de discrimination artefact/défaut, hors périmètre qualifié (comme pour l'ensemble des procédés qualifiés depuis l'entrée en vigueur de l'arrêté exploitation de 1999), EDF prévoit de les réaliser en expertise. Ainsi, le suivi des indications parasites uniquement (IPU notées lors de la VCI) sera placé sous la supervision d'un expert aux compétences reconnues sur ce procédé, de manière à garantir la détection d'une éventuelle évolution de ces indications. L'utilisation du procédé déployé lors de la VCI rendra ce suivi plus aisé et plus robuste : une éventuelle évolution des indications historiques ne pourra pas être imputable à un changement de procédé.