

## Réacteur EPR Flamanville-3 : Point sur les soudures des tuyauteries principales de vapeur

Manon BESNARD, Yves MARIGNAC - 16 avril 2019 (v3.1)<sup>1</sup>

*Les défauts de qualité dans la réalisation et le suivi des soudures des tuyauteries de vapeur du circuit secondaire de l'EPR de Flamanville 3, en regard du niveau de qualité attendu, sont apparus pour les premiers à partir de 2013. Ils n'ont pourtant été officiellement connus d'EDF qu'à la mi-2015, notifiés à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) qu'au début 2017 et communiqués au public début 2018.*

*Ces problèmes, dont EDF affirmait au départ qu'ils n'auraient aucun impact sur les délais et les coûts du chantier, sont un an plus tard encore en cours de caractérisation et d'instruction.*

*Ils remettent en cause le principe d'exclusion de rupture retenu par EDF dans la démonstration de sûreté, consistant à garantir avec un haut degré de confiance que la rupture de ces tuyauteries peut être exclue, pour s'affranchir ensuite de toute disposition visant à maîtriser une telle situation. Cette exigence est inscrite dans le décret d'autorisation de création (DAC) de l'EPR de Flamanville.*

*La remise en cause de l'atteinte des exigences supplémentaires liées à cette exclusion de rupture est d'autant plus forte que certaines soudures n'atteignent même pas la qualité attendue réglementairement pour des soudures qui ne seraient pas sous exclusion de rupture.*

*Les problèmes de qualité constatés, qui trouvent en fait des causes anciennes et profondes, soulèvent des questions de sûreté complexes et lourdes de conséquences. Un an après les déclarations en février et avril 2018 de deux événements significatifs sur ces défaillances vis-à-vis des exigences de qualité, les premières conclusions de l'instruction technique ont été tirées à l'issue de l'examen par le Groupe permanent d'experts auprès de l'ASN sur les équipements sous pression nucléaires (GPESPN), les 9 et 10 avril.*

*Le choix d'EDF de recourir à l'exclusion de rupture, dont le respect repose sur la vérification a posteriori des exigences supplémentaires que cela introduit, la multiplication des défaillances à toutes les étapes, depuis la conception et la fabrication jusqu'au contrôle, et le caractère très tardif des détections et des actions correctives créent une nouvelle fois une situation inacceptable de fait accompli : le constat que la qualité est nettement inférieure à celle qui était attendue n'intervient qu'une fois que tout est en place.*

*Cette situation est particulièrement problématique pour les soudures situées sur chacun des circuits issus des quatre générateurs de vapeur au niveau de la traversée d'enceinte, peu accessibles à la réparation. Le rétablissement de la complétude de la démonstration de sûreté s'avère dans ces conditions très difficile.*

*La voie privilégiée par EDF, consistant pour les soudures les plus difficilement réparables à justifier l'atteinte des objectifs visés par l'exclusion de rupture malgré le non respect des exigences de qualité associées, n'apparaît ni acceptable ni techniquement atteignable, compte tenu des dégradations de cette qualité.*

*La priorité doit donc être donnée à la réparation des soudures pour retrouver le niveau d'exigence prévu, même si le processus de réparation long et très délicat doit retarder la mise en service de plusieurs années.*

*Si cette réparation devait s'avérer trop difficile, EDF n'aurait plus d'autre choix que de renoncer à l'application du principe d'exclusion de rupture sur ces traversées d'enceinte. Cela impliquerait d'importantes modifications d'études et matérielles pour rendre l'installation robuste à une situation de rupture, sans doute tout aussi longues et difficiles à mettre en œuvre que les réparations. L'abandon de cette exigence nécessiterait également de modifier le décret d'autorisation pour tenir compte de cette évolution.*

<sup>1</sup> La présente version complète, sur la base de l'information rendue publique depuis sur ce dossier par EDF, l'IRSN et l'ASN, le briefing publié par WISE-Paris peu de temps après la première information du public sur ce dossier, survenue le 22 février 2018, voir WISE-Paris, Réacteur EPR Flamanville-3 – Problèmes de soudures des tuyauteries principales de vapeur, briefing du 3 mars 2018. Cette mise à jour intègre, outre les positions prises par les acteurs au fil du dossier, les éléments techniques et avis rendus publics par l'ASN à l'issue de l'instruction, le 11 avril 2019.

## 1. Introduction

Le dossier des soudures de l'EPR est devenu public le 22 février 2018, lorsqu'EDF a fait état d'un événement significatif déclaré quelques mois plus tôt à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et concernant la « *détection d'un écart dans la qualité de réalisation des soudures du circuit qui évacue la vapeur des générateurs de vapeur vers la turbine de l'EPR de Flamanville 3* »<sup>2</sup>. Ce problème concerne le non respect d'exigences plus fortes que celles imposées par la réglementation relative aux équipements sous pression nucléaire (ESPN), et visant à éliminer le risque de rupture de ces tuyauteries vapeur principales (dites VVP), qui évacuent la vapeur vers la turbine. Le 10 avril 2018, EDF déclarait un second événement générique, concernant la non détection de défauts de soudures lors des contrôles de fin de fabrication des tuyauteries du circuit secondaire principal, comprenant notamment, outre les boucles VVP, les circuits d'alimentation en eau des générateurs de vapeur (ARE)<sup>3</sup>.

Dans les deux cas, EDF a cherché à minimiser la portée de ces incidents. En février 2018, l'exploitant promettait de « *démontrer que les caractéristiques mécaniques de ce circuit sont conformes à l'attendu, dans des délais compatibles avec le planning du projet* ». En avril, il envisageait la possibilité que « *le projet nécessite un ajustement de son planning et de son coût* », mais affirmait encore que « *l'ensemble des contrôles et [de l'] expertise s'achève[r] d'ici fin mai* ».

Les problèmes de qualité constatés, qui trouvent en fait des causes anciennes et profondes, soulèvent des questions de sûreté complexes et lourdes de conséquences. Un an après ces déclarations, l'instruction technique du dossier se poursuit, et connaît une étape majeure avec son examen, les 9 et 10 avril 2019, par le Groupe permanent d'experts auprès de l'ASN sur les équipements sous pression nucléaires (GPESPN)<sup>4</sup>. Les options envisagées pour le traitement des écarts et la résolution du problème restent toutes difficiles et seront, quelques soient les orientations retenues à l'issue de cet examen par l'ASN, encore longues à mettre en œuvre.

## 2. Point de situation

L'accumulation des problèmes de qualité, manifestée par deux événements significatifs successivement déclarés par EDF, met en cause l'atteinte des objectifs de qualité associés à la réalisation des soudures du circuit secondaire du réacteur, et particulièrement celle des tuyauteries vapeur principales, sur lesquelles porte, par un choix de conception d'EDF, une exigence particulièrement élevée.

### Origine du problème

EDF a choisi par conception, pour l'EPR de Flamanville, de placer sous le principe de l'exclusion de rupture un tronçon des tuyauteries vapeur principales (circuit VVP) significativement plus étendu que celui couvert sur les réacteurs actuellement en service. Ce principe consiste à apporter par des exigences de haute qualité à la conception, à la fabrication et lors de l'exploitation, des garanties sur le caractère hautement improbable d'une rupture : dès lors que cette démonstration est apportée, l'exploitant peut s'affranchir de l'étude d'une situation de rupture dans la suite de la démonstration de sûreté. Cela lui permet de renoncer aux dispositions, de génie civil notamment, qui seraient nécessaires pour maîtriser les dommages associés à la rupture d'une telle tuyauterie à haute énergie et ramener le réacteur à un état sûr dans cette situation.

L'exigence d'exclusion de rupture pour les tuyauteries VVP est inscrite dans le décret du 10 avril 2007 d'autorisation de création (DAC) de l'EPR de Flamanville, dont l'article 2.II-1 précise : « *des dispositions sont prises pour garantir tout au long de la vie de l'installation l'intégrité (...) des tuyauteries primaires et secondaires principales pour lesquelles la survenue d'une rupture circonférentielle doublement débattue n'est*

---

<sup>2</sup> EDF, *Déclaration d'un événement significatif relatif à la détection d'un écart dans la qualité de réalisation des soudures du circuit qui évacue la vapeur des générateurs de vapeur vers la turbine de l'EPR de Flamanville 3*, 22 février 2018.

<sup>3</sup> EDF, *EDF détecte des écarts de qualité sur certaines soudures du circuit secondaire principal de l'EPR de Flamanville et lance des contrôles complémentaires*, communiqué de presse, 10 avril 2018.

<sup>4</sup> ASN, *Soudures de l'EPR : l'ASN réunira le 9 avril son groupe permanent d'experts*, note d'information, 26 mars 2019. La séance du 9 avril 2019, consacrée à la discussion technique, s'est tenue en présence notamment d'observateurs de la Commission locale d'information (CLI) de Flamanville, de l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (ANCCLI) et du Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN), ainsi que de représentants d'autorités de sûreté nucléaire étrangères de pays construisant ou exploitant des réacteurs EPR. La séance du 10 avril, consacrée à la rédaction de l'avis du GPESPN, s'est tenue en présence des seuls membres du Groupe et de représentants de l'appui technique (ASN et IRSN).

pas retenue dans les conditions de fonctionnement de référence étudiées dans le rapport de sûreté »<sup>5</sup>. Ces dispositions doivent couvrir trois aspects : « la qualité de la conception et la vérification associée, la qualité de la fabrication et les contrôles associés, le suivi en service (...) ».

Cette exigence réglementaire a été traduite par l'exploitant EDF et le fabricant de ces circuits Framatome en exigences techniques spécifiques, portant notamment sur les soudures. Celles-ci s'appuient sur les exigences les plus strictes des Règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires de réacteur à eau pressurisée, ou code RCC-M (équipements classés au niveau 1) qu'elles renforcent par des critères plus stricts, concernant notamment pour les soudures les métaux de base, les assemblages soudés ou les procédures de réalisation, de vérification et de suivi.

L'événement significatif déclaré par EDF le 30 novembre 2017 et porté à la connaissance du public le 22 février 2018 concerne des problèmes d'application de ces exigences sur les 66 soudures de ces tronçons VVP<sup>6</sup>. Les exigences relatives à la démarche d'exclusion de rupture n'ont en effet ni été transmises contractuellement au sous-traitant réalisant les soudures, ni prises en compte dans la surveillance par EDF du fabricant et par le fabricant de son sous-traitant. Ce problème concerne à la fois 8 soudures réalisées en préfabrication en usine par Nordon-Ponticelli<sup>7</sup> dans les ateliers de Nordon à Nancy de 2012 à 2014, correspondant aux 4 traversées d'enceinte (une par générateur de vapeur), et 58 autres réalisées sur site à Flamanville à partir de 2015.

Un deuxième événement significatif, déclaré par EDF le 10 avril 2018, porte sur la non détection de défauts de soudure lors des contrôles de fin de fabrication des tuyauteries du circuit secondaire principal, comprenant notamment, outre les tuyauteries VVP qui évacuent la vapeur depuis les générateurs de vapeur vers la turbine pour la production d'électricité, les circuits qui alimentent au contraire en eau les générateurs de vapeur (ARE) – et qui ne sont pas concernés par le même niveau d'exigence de qualité<sup>8</sup>. Ce problème, susceptible de remettre en cause la qualité des soudures y compris vis-à-vis des exigences classiques du code RCC-M, concerne au total 150 soudures, dont les 66 déjà concernées par le premier événement.

## Historique du dossier

Les premières soudures des tuyauteries VVP sont réalisées en usine entre octobre 2012 et mars 2014. Il s'agit de 8 soudures de tuyauteries devant être installées au niveau des traversées de l'enceinte de confinement. Le fabricant, Framatome, n'a pas transmis à son sous-traitant en charge de la réalisation des soudures en usine, Nordon-Ponticelli, les exigences spécifiques liées à l'hypothèse d'exclusion de rupture. Ces exigences semblent par ailleurs mal notifiées par EDF à son fabricant, au sens où elles ne sont pas explicitement détaillées dans les documents contractuels<sup>9</sup>.

Dès le début de la fabrication, des écarts se manifestent, non seulement vis-à-vis des exigences spécifiques à l'exclusion de rupture, mais également des exigences techniques du code RCC-M. Ces premiers écarts concernent notamment les délais de réalisation et de dépouillement des assemblages témoins (censés être réalisés dans des conditions représentatives des assemblages soudés et destinés à en contrôler les propriétés mécaniques). Les premières valeurs de résilience inférieures aux attendus ne sont ainsi obtenues qu'en octobre 2013 et juin 2014. EDF ne semble en avoir été informée par le fabricant et son sous-traitant que le 24 août 2015. Le même type de difficultés a été observé par l'ASN sur le chantier des soudures réalisées sur site.

Dès 2015, des fiches de non conformité concernant les exigences du référentiel d'exclusion de rupture sont émises. L'ASN, prévenue oralement en janvier 2017 par l'exploitant, n'en sera officiellement informée que le 15 mars 2017 par un courrier d'EDF, qui confirme que les soudures des traversées du bâtiment réacteur sont concernées et que les exigences n'ont pas été spécifiées au sous-traitant. EDF indique selon l'ASN dans son

<sup>5</sup> Décret n°2007-534 du 10 avril 2007 autorisant la création de l'installation nucléaire de base dénommée Flamanville 3, comportant un réacteur nucléaire de type EPR, sur le site de Flamanville (Manche), *Journal officiel*, 11 avril 2007. La rupture circonférentielle doublement débattue correspond à l'hypothèse de brèche pénalisante retenue conventionnellement pour le dimensionnement lorsque l'exclusion de rupture n'est pas appliquée à un circuit de ce type.

<sup>6</sup> EDF, 22 février 2018, *op. cit.*

<sup>7</sup> Ces deux entreprises sont intervenues conjointement comme prestataire auprès du fabricant Framatome pour la réalisation des soudures sous la forme d'un groupement momentané d'entreprises solidaire (GMES).

<sup>8</sup> EDF, 10 avril 2018, *op. cit.* Le circuit ARE, qui présente en enjeu moindre pour la sûreté par rapport au circuit VVP, n'est non seulement pas couvert par le principe d'exclusion de rupture, mais classé au niveau 3 de qualité vis-à-vis du code RCC-M, moins exigeant que le niveau 1 qui s'applique au circuit VVP même lorsque, comme sur les réacteurs actuellement en service, il n'est pas couvert par l'exclusion de rupture.

<sup>9</sup> ASN, *Inspection n°INSSN-CAE-2018-0143 des 27 et 28 février 2018 – Montages mécaniques*, lettre de suite d'inspection CODEP-CAE-2018-019467 du 24 avril 2018.

courrier que cet écart « *n'est pas jugé, au regard de l'ensemble des éléments constatés, comme un dysfonctionnement grave ou répété du système de management de la qualité* »<sup>10</sup>.

En août 2015, les soudures sur site commencées depuis avril 2015 sont suspendues. Les opérations reprennent en novembre 2015, sans que des actions correctives n'aient été menées, jusqu'à l'inspection de l'ASN du 21 février 2017 lors de laquelle cette dernière constate que « *les exigences spécifiques liées à l'exclusion de rupture ne sont pas connues sur le site et leur respect ne fait pas l'objet d'un contrôle et d'une surveillance* »<sup>11</sup>, EDF se limitant à surveiller la conformité au code RCC-M. EDF ne déclarera un événement significatif que le 30 novembre 2017. Certaines de ces exigences seront finalement contractualisées entre le fabricant et son sous-traitant en avril et août 2017<sup>12</sup>, l'ensemble des exigences liées à l'exclusion de rupture n'étant toujours pas couvertes. Malgré cela, en juin 2018, l'ASN constate que certaines des exigences contractualisées en avril et août 2017 ne sont toujours pas notifiées dans les documents du fournisseur Fives-Nordson et que la surveillance de Framatome n'a pas permis de détecter cet écart.

Sans attendre une saisine par l'ASN dans le cadre de l'instruction technique du dossier, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) s'est rapidement mobilisé pour analyser les processus de surveillance de la qualité remis en cause par ces premières constatations. Dans un avis publié en avril 2018, il constate « *des écarts à diverses étapes de la réalisation, que ce soit au stade de la spécification technique, de la réalisation des approvisionnements, de l'établissement des modes opératoires de soudage et de la réalisation des assemblages soudés ou encore lors de l'exécution des contrôles de réalisation ou de montage* »<sup>13</sup>.

Le manque de transmission des exigences a eu un impact dans les choix de fabrication. D'après l'IRSN, les produits d'apports retenus « *n'ont pas toutes les qualités requises pour la réalisation d'équipements en exclusion de rupture* » et « *la conformité des approvisionnements à la spécification n'a pas pu être attestée* ». Par ailleurs, « *la qualification des modes opératoires de soudage (...) ne respecte pas l'ensemble des règles de l'art* ». L'IRSN dénonce « *une maîtrise insuffisante du référentiel technique applicable* », un « *défaut de culture de sûreté* », des « *défaillances humaines et organisationnelles* », un « *manque de rigueur des fournisseurs* », des « *insuffisances du système de surveillance* » d'EDF. De manière générale, « *l'organisation mise en place pour la réalisation du réacteur EPR-FA3 n'a pas permis de remettre en question, à temps, certains choix technologiques (...) ou de traiter certains dysfonctionnements organisationnels potentiellement préjudiciables à la sûreté* »<sup>14</sup>.

Fin mars 2018, EDF informe l'ASN de la découverte, lors des contrôles d'EDF réalisés dans le cadre de la Visite complète initiale (VCI) réalisés début mars, de défauts qui n'avaient pas été identifiés par les contrôles de fin de fabrication réalisés par les sous-traitants. Des tuyauteries en exclusion de rupture sont concernées par ces défauts<sup>15</sup>, mais également d'autres soudures des tuyauteries ARE, VDA et VVP<sup>16</sup>. EDF déclare l'événement significatif le 10 avril 2018. L'IRSN précise qu'il s'agit de « *défauts de fabrication inacceptables sur des soudures des circuits secondaires principaux, mettant en cause leur conformité au référentiel de conception* »<sup>17</sup>.

Suite à son inspection du 10 avril 2018, l'ASN dresse un constat accablant. Elle note que « *l'organisation et les conditions de travail lors des contrôles de fin de fabrication ont globalement nui à la qualité des contrôles* ». Elle remarque également « *une surveillance inadaptée de ces prestations par EDF, exploitant de l'installation, et Framatome, constructeur* » et déplore le « *manque d'implication et d'attitude interrogative de la part de l'exploitant et du fabricant dans la mise en œuvre des actions de surveillance* ». La qualité de dossiers de fin de fabrication examinés par l'ASN « *n'est pas à la hauteur de ce qui est attendu pour des éléments importants pour la protection des intérêts* » et des enjeux de suivi en exploitation de la qualité de ces équipements<sup>18</sup>. Pour l'IRSN, « *la qualité des contrôles réalisés en fin de fabrication ne permettait pas de répondre aux objectifs du*

<sup>10</sup> ASN, *Exclusion de rupture – Tuyauteries VVP*, lettre de position CODEP-DCN-2018-000199, courrier à EDF du 2 février 2018.

<sup>11</sup> ASN, *Inspection n°INSSN-CAE-2017-0653 du 21 février 2017 – Montages mécaniques*, CODEP-CAE-2017-009906, lettre de suite d'inspection du 10 mars 2017.

<sup>12</sup> ASN, 24 avril 2018, *op. cit.*

<sup>13</sup> IRSN, *Réacteur EPR de Flamanville Surveillance de la qualité de réalisation des systèmes et équipements mécaniques redevables d'un classement de sûreté*, avis IRSN/2018-00099, 11 avril 2018.

<sup>14</sup> IRSN, 11 avril 2018, *op. cit.*

<sup>15</sup> ASN, *L'ASN a mené une inspection le 10 avril 2018*, note d'information, 11 avril 2018.

<sup>16</sup> ASN, *Soudures des circuits secondaires principaux du réacteur EPR de Flamanville 3 – Point d'information*, présentation au HCTISN, 28 juin 2018.

<sup>17</sup> IRSN, *Réacteur EPR de Flamanville – Examen automatique par ultrasons des soudures des lignes VVP en exclusion de rupture*, avis IRSN/2018-00301, 12 novembre 2018.

<sup>18</sup> ASN, *Inspection n°INSSN-CAE-2018-0149 du 10/04/2018 – Contrôles non destructifs de fin de fabrication des tronçons VVP et ARE*, CODEP-CAE-2018-018979, lettre de suite d'inspection du 18 avril 2018.

*référentiel technique relatif aux soudures des traversées VVP en exclusion de rupture et que les nouveaux contrôles réalisés ne relèvent donc pas uniquement de l'analyse contradictoire. (...) Ces nouveaux contrôles doivent être considérés comme des contrôles de fin de fabrication »<sup>19</sup>.*

## **Cadre de l'instruction**

Suite à l'information de l'autorité début 2017, EDF semble avoir présenté une première fois à l'ASN sa démarche proposée pour traiter le problème des soudures le 19 octobre 2017. L'ASN a jugé en février 2018 que cette démarche n'était pas acceptable en l'état, et a demandé à EDF de lui « *transmettre un dossier autoportant reprenant l'analyse des écarts portant sur la démarche d'exclusion de rupture* », incluant notamment les « *exigences initiales associées à la démarche d'exclusion de rupture* », « *l'historique de la détection du traitement des écarts* », la démarche prévue par EDF pour traiter ces écarts, et l'analyse du cumul des autres écarts détectés avec ceux concernant l'exclusion de rupture<sup>20</sup>.

Le 18 avril 2018, suite à une inspection, l'ASN a demandé également à EDF « *d'analyser les causes profondes des dysfonctionnements de [sa] surveillance et de celle de Framatome* »<sup>21</sup>. Quelques jours plus tard, elle a de plus demandé à EDF de lui « *fournir une chronologie détaillée des faits* »<sup>22</sup>. En octobre 2018, l'ASN a jugé les réponses d'EDF insuffisantes, soulignant qu'elles ne permettent pas de comprendre les dysfonctionnements dans le traitement des écarts et ne fournissent pas d'explication sur le caractère tardif de l'information de l'ASN<sup>23</sup>.

Suite aux premiers échanges, EDF fait une proposition plus complète de démarche le 23 juillet 2018. Celle-ci privilégie la justification du caractère suffisant des propriétés mécaniques des soudures pour écarter leur réparation. Le 2 octobre 2018, au vu de l'incertitude qui pèse sur cette possibilité de laisser les soudures en l'état, l'ASN « *invite [EDF] à engager dès à présent, en parallèle de l'instruction de [son] dossier, les actions préalables à la remise en conformité des soudures qu'[EDF envisage] actuellement de maintenir en l'état* ».

EDF a finalement transmis en décembre 2018 une stratégie détaillée de traitement des écarts qui, tout en analysant différentes possibilités de réparation des soudures, y compris des huit les plus difficiles d'accès, situées au niveau des traversées d'enceinte, privilégie la justification de leur qualité suffisante. L'objectif de cette justification est de démontrer que, bien que les exigences relatives à la haute qualité de conception et de fabrication de ces soudures, et au haut niveau de confiance dans cette qualité n'aient pas été respectées, les propriétés mécaniques des soudures peuvent être jugées assez bonnes, avec un niveau de confiance assez bon, pour maintenir l'hypothèse d'exclusion de leur rupture. Il s'agit, en d'autres termes, de convaincre l'ASN que les objectifs visés par la démarche de qualité inhérente à l'exclusion de rupture sont atteints malgré le non respect des exigences de moyens associées.

L'instruction technique a été menée par la Direction des équipements sous pression (DEP) de l'ASN. Elle a analysé en détail les propositions formulées par EDF pour développer une analyse destructive de soudures témoins, justifier leur représentativité des soudures en place, caractériser ainsi les propriétés mécaniques des matériaux mis en jeu et démontrer que celles-ci sont suffisantes en regard des situations attendues, s'appuyant sur certains points de cette démonstration sur un avis technique apporté par l'IRSN (notamment sur la caractérisation des propriétés de ténacité des soudures et sur la caractérisation du phénomène de vieillissement sous déformation).

L'ASN a également examiné les propositions de réparation formulées par EDF, tout en soulignant que son incitation à engager les actions nécessaires à la mise en œuvre de ces réparations n'avait toujours pas été prise en compte par EDF début 2019. Aussi, l'ASN a notamment demandé le 15 janvier 2019 « *d'engager sans délai l'approvisionnement de la manchette* » nécessaire pour les différents scénarios de réparation présentés par l'exploitant<sup>24</sup> (voir plus loin).

---

<sup>19</sup> IRSN, 12 novembre 2018, *op. cit.*

<sup>20</sup> ASN, 2 février 2018, *op. cit.*

<sup>21</sup> ASN, 18 avril 2018, *op. cit.*

<sup>22</sup> ASN, 24 avril 2018, *op. cit.*

<sup>23</sup> ASN, *Exigences d'exclusion de rupture et défauts non détectés lors des contrôles de fin de fabrication*, lettre de position CODEP-DEP-2018-048051, courrier à EDF du 2 octobre 2018.

<sup>24</sup> ASN, *Démarche de traitement des écarts affectant les soudures des lignes vapeur principales en exclusion de rupture du réacteur EPR de Flamanville*, rapport au Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires, CODEP-DEP-2019-001227, 26 mars 2019.

Par ailleurs, l'ASN a demandé au cours de l'instruction à EDF, suivant l'analyse présentée par l'IRSN sur le caractère potentiellement générique des défaillances d'organisation de la qualité observées dans ce dossier<sup>25</sup>, d'étendre sa revue de qualité « à un périmètre plus large d'équipements et de sous-traitants »<sup>26</sup>.

### 3. Enjeux de sûreté

Les défaillances accumulées dans la réalisation des soudures du circuit secondaire de l'EPR de Flamanville, et plus particulièrement celles des tuyauteries vapeur principales placées en exclusion de rupture, affectent profondément la qualité de ces soudures et par là même, la démonstration de sûreté. La situation de fait accompli à laquelle l'absence de détection et d'action corrective a conduit représente une défaillance majeure de la gouvernance du risque nucléaire dans la conduite de ce chantier, qui affecte la mise en œuvre des principes de la défense en profondeur.

#### Atteintes à la qualité

L'instruction technique, centrée sur les propositions d'EDF visant à justifier la qualité suffisante des soudures par un programme de caractérisation de leurs propriétés mécaniques, a par contraste mis en évidence les conséquences pour la qualité des soudures, et la confiance dans cette qualité, des nombreuses défaillances observées aux différentes étapes du processus de conception, de fabrication et de vérification de ces soudures.

Il ressort de cette analyse que la qualité des soudures a été affectée non seulement par rapport aux exigences renforcées introduites pour répondre à la démarche d'exclusion de rupture, mais aussi par rapport aux exigences classiques du code RCC-M. Par exemple, le rapport<sup>27</sup> remis au Groupe permanent pour les équipements sous pression nucléaire de l'ASN indique que la qualification de mode opératoire de soudage (QMOS) utilisée pour la réalisation des 8 soudures de traversée ne présentait pas certains essais requis par le code RCC-M. La non conformité de la QMOS, à la fois vis-à-vis du code RCC-M et vis-à-vis des exigences liées à l'exclusion de rupture, aurait dû être détectée avant les opérations de soudage, ce qui aurait permis d'éviter les écarts (notamment des valeurs de résilience trop basses). Le rapporteur considère qu'un autre mode opératoire de soudage aurait dû être choisi. Par ailleurs, une indication non volumique considérée comme inacceptable par le code RCC-M a été détectée sur l'une des huit soudures de traversée en exclusion de rupture.

Les faibles valeurs de résilience obtenues sur les assemblages témoins peuvent s'expliquer par un mauvais choix de métaux d'apport, le type de flux retenu par le fabricant, ou encore un taux de recyclage du flux important (pratique déconseillée par le code RCC-M). Ces faibles valeurs de résilience ont été détectées dès octobre 2013. Constatant ces valeurs, Nordon-Ponticelli a choisi de réaliser des contre-essais qui donnent des résultats conformes au code RCC-M mais sans marge, et de retenir les contre-essais sans avoir pourtant justifié la non représentativité des premiers essais – une pratique non conforme aux recommandations de la réglementation. Les résultats fournis par ces contre-essais restent par ailleurs non conformes aux exigences renforcées liées à l'exclusion de rupture dont le sous-traitant n'avait pas contractuellement connaissance. Le rapporteur considère que les premiers résultats auraient dû conduire à la suspension de la QMOS et des fabrications restantes<sup>28</sup>.

D'autres constats peuvent remettre en question l'atteinte de la haute qualité attendue pour des soudures en exclusion de rupture. Les huit soudures de traversées ont fait l'objet de nombreuses réparations (13 réparations pour 8 soudures), ce qui aurait dû conduire le fabricant à s'interroger sur son mode opératoire. La liste des écarts n'est pas encore entièrement connue, leur recensement par EDF étant toujours en cours. Le rapporteur a identifié quatre typologies d'écarts au code RCC-M : les écarts dimensionnels, les écarts liés aux activités de soudage, les écarts liés aux activités de contrôles non destructifs et les écarts documentaires.

#### Enjeu de l'exclusion de rupture

Si 150 soudures au total sont potentiellement concernées par les défauts de contrôle sur l'ensemble des tuyauteries principales du circuit secondaire (circuits VVP et ARE), ce sont surtout les 66 soudures des circuits VVP qui posent un problème majeur. Celles-ci, situées sur chacune des quatre boucles entre la sortie du

---

<sup>25</sup> IRSN, 11 avril 2018, *op. cit.*

<sup>26</sup> ASN, 2 octobre 2018, *op. cit.*

<sup>27</sup> ASN, 26 mars 2019, *op. cit.*

<sup>28</sup> ASN, 26 mars 2019, *op. cit.*

générateur de vapeur et le raccordement en aval de la vanne d'isolement vapeur de cette boucle, font en effet l'objet d'une « exclusion de rupture ».

EDF a fait très en amont, par conception, le choix d'étendre à ces tronçons, en particulier à la partie allant du générateur de vapeur à la traversée d'enceinte, ce principe d'exclusion. Cela constitue un changement assumé par rapport à la situation en vigueur sur le parc de réacteurs en service. Ce choix a été validé par l'ASN dans le cadre de l'instruction relative à la démonstration de sûreté du réacteur EPR de Flamanville 3. L'exclusion de rupture a depuis fait l'objet d'une définition réglementaire générale comme une « *hypothèse consistant, dans l'analyse de sûreté d'un équipement contenant du fluide, à ne pas prendre en compte la rupture complète de cet équipement comme un évènement initiateur* »<sup>29</sup>.

Ainsi, ce principe revient à accepter de ne pas couvrir, ou seulement partiellement, la situation de rupture de ces tuyauteries dans la démonstration de sûreté – c'est-à-dire à ne pas envisager l'ensemble des conséquences d'une rupture ni mettre en place des dispositions, notamment de génie civil, pour en maîtriser les effets ; en contrepartie, des exigences renforcées doivent être appliquées à la conception et à la fabrication de ces tuyauteries, afin de garantir un haut niveau de qualité, et d'obtenir un haut niveau de confiance sur l'exclusion pratique du risque de rupture.

Lorsqu'EDF affirme en février 2018 que « *ces tuyauteries sont bien conformes à la réglementation des équipements sous pression nucléaire* » (c'est-à-dire aux exigences du RCC-M), et que « *ces circuits sont aptes à assurer leur mission en toute sûreté* », il masque évidemment l'enjeu essentiel, qui porte sur le non respect par ces tuyauteries des exigences relatives à la haute qualité nécessaire au maintien de l'exclusion de rupture. Ces exigences sont toutefois d'autant plus remises en cause au regard des défaillances du contrôle mises en évidence par le deuxième événement significatif déclaré, en avril 2018, qui interrogent le respect pour l'ensemble des 150 soudures du circuit, dont les 66 des boucles VVP, des exigences réglementaires classiques.

La rupture éventuelle de ces tuyauteries VVP, qui transportent la vapeur à un débit de plusieurs tonnes par minute et sous une pression de plusieurs dizaines de bars, est une situation critique vis-à-vis de la sûreté. Les conséquences sont différentes selon que cette rupture se produit sur une partie des tuyauteries située à l'intérieur de l'enceinte de confinement, que l'échappement de vapeur va mettre sous pression, entre les deux enceintes de l'EPR, espace confiné où la montée en pression risque d'être beaucoup plus brutale, ou hors de cette enceinte dans la partie conventionnelle de l'installation. Dans tous les cas, la fuite survenant sur une des boucles de refroidissement est susceptible de provoquer un déséquilibre des pressions au sein du générateur de vapeur concerné, et un déséquilibre thermique et de réactivité dans le cœur du réacteur qui peuvent eux-mêmes engendrer de nouveaux désordres. La rupture brutale d'une tuyauterie et le dégagement qui s'ensuit sont également susceptibles de causer des dommages aux structures de génie civil et aux équipements environnants, ce qui doit s'analyser au cas par cas.

EDF a fait le choix pour l'EPR de Flamanville, par rapport à la démonstration de sûreté en vigueur sur les réacteurs en service de son parc, d'étendre l'application du principe dit « d'exclusion de rupture » à l'ensemble de ces tuyauteries principales de vapeur. Cela signifie que l'hypothèse de la rupture n'est pas retenue dans la démonstration de sûreté : en conséquence, aucune disposition spécifique n'est prise dans le cadre du dimensionnement du réacteur EPR pour faire face aux conséquences d'une telle rupture. En contrepartie de cette économie de moyens, les équipements placés en exclusion de rupture doivent être conçus et fabriqués selon des exigences de « haute qualité », afin de garantir que leur rupture en situation normale ou accidentelle peut effectivement être écartée.

L'application à ces tuyauteries du principe d'exclusion de rupture relève d'un choix d'EDF, qui a donc considéré qu'il était préférable d'apporter les garanties contre ce risque de rupture en amont que de développer des moyens de gérer les situations de rupture en aval. Ce choix d'EDF impliquait donc, en connaissance de cause, de recourir à une qualité de conception et de fabrication supérieure à ce qu'impose la réglementation des équipements sous pression nucléaires (ESPN) pour des équipements dont la rupture est étudiée dans la démonstration de sûreté.

L'affirmation d'EDF selon laquelle, au motif qu'ils respecteraient les exigences de la réglementation ESPN, « *en tout état de cause, (...) ces circuits sont aptes à assurer leur mission en toute sûreté* »<sup>30</sup>, est donc délibérément trompeuse. La sûreté impose précisément, parce que ces circuits ont été placés en exclusion de rupture, que des exigences supplémentaires soient appliquées, ce qu'EDF a normalement formalisé par la définition d'un

<sup>29</sup> Avis relatif au vocabulaire de l'ingénierie nucléaire (liste de termes, expressions et définitions adoptés), *Journal officiel*, 23 septembre 2015.

<sup>30</sup> EDF, 22 février 2018, *op. cit.*

référentiel spécifique de qualité « exclusion de rupture » pour la fabrication de ces tuyauteries. Les défaillances observées dans l'application de ce référentiel, et plus généralement dans la qualité de réalisation des soudures, conduit au constat que les tuyauteries ne sont pas conformes à l'exigence supérieure de qualité attendue pour pouvoir en exclure la rupture dans la démonstration de sûreté.

### Situation de fait accompli

Il est dans tous les cas très clair que l'état d'avancement de la réalisation a fortement influencé le déroulement, et donc potentiellement le résultat de l'instruction technique. On peut d'ailleurs souligner, en regard des enjeux dont est porteur ce dossier et au titre du retour d'expérience à en tirer, une défaillance très claire dans l'analyse de risque de ce chantier par le constructeur et futur exploitant EDF pour le cas critique des soudures des traversées. La présence de soudures dont la qualité était aussi cruciale pour la démonstration de sûreté dans une position aussi peu accessible et donc difficilement réparable constituait un risque qui aurait pu, et donc dû être anticipé, soit en modifiant la conception des traversées pour prévoir la possibilité de réparation si nécessaire, soit en prévoyant un point d'arrêt sur la validation de la qualité au niveau exigé des soudures prémontées avant leur mise en place dans les traversées.

La détection et le signalement rapide de ce problème, avant l'implantation sur le site des tuyauteries concernées par les problèmes en préfabrication et la réalisation de la grande majorité des soudures, auraient plus facilement pu conduire à une demande de reprise complète des équipements. Plus les travaux sont avancés, plus la balance entre l'option consistant à réparer pour se mettre au niveau initialement requis et l'option consistant à justifier le caractère malgré tout suffisant des réalisations non conformes penche en faveur de la seconde. Ainsi, plus l'identification, la reconnaissance et le traitement du problème sont tardifs, plus l'industriel bénéficie d'une situation de fait accompli.

L'ASN le regrette elle-même en indiquant que la reprise des opérations de soudage sur site en novembre 2015 « sans que l'écart au référentiel d'exclusion de rupture pour les soudures de traversées n'ait été résorbé (...) a contribué à rendre plus compliquées d'éventuelles opérations de réparation ou de remplacement ultérieures de ces soudures »<sup>31</sup>.

EDF a détecté les premiers écarts dès l'été 2015. Ceux-ci se sont produits sur des soudures réalisées en usine, qui concernent a priori des parties de tuyauterie trop peu accessibles une fois mises en place dans l'installation pour réaliser les soudures sur le chantier du réacteur. Il a cependant fallu attendre début 2017 pour que ce problème soit signalé à l'ASN. Les tuyauteries soudées en usine ont dans l'intervalle été acheminées et mises en place à Flamanville à partir de 2016<sup>32</sup>, empêchant par là même toute reprise dans les meilleures conditions des soudures correspondantes.

De plus, les activités de soudure ne semblent avoir été ni vraiment interrompues (même si une pause a été observée dans le courant de l'année 2015) ni significativement corrigées suite à la découverte de cet écart, et s'être au contraire poursuivies, cette fois sur les tuyauteries mises en place sur le chantier. Il a fallu une inspection de l'ASN sur le chantier pour identifier de nouveaux écarts concernant ces soudures réalisées in situ. Ce constat est d'autant plus troublant que le motif évoqué par EDF pour expliquer l'écart, à savoir une non transmission du référentiel spécifique « exclusion de rupture » aux prestataires réalisant les soudures, semblait devoir être facilement corrigé une fois qu'il avait été identifié.

Les délais apparemment constatés entre l'identification des premiers écarts et le développement d'actions correctives ont permis de n'ouvrir véritablement l'instruction qu'une fois tous les équipements concernés en place, alors que les premières détections auraient dû permettre d'intervenir en amont. L'ASN a demandé à l'exploitant de mener « une analyse approfondie des dysfonctionnements survenus au sein de ses services et de ceux de ses fournisseurs » et d'expliquer l'information tardive de l'ASN<sup>33</sup>. Il est difficile à ce stade de déterminer si ces délais sont dus à un dysfonctionnement grave de l'organisation interne d'EDF vis-à-vis de la maîtrise de la qualité sur le chantier de l'EPR, ou si une volonté délibérée de retarder le traitement des écarts a pu entrer en jeu pour bénéficier de ce fait accompli. Il convient en tous cas d'analyser au fond les raisons de cette dérive et d'en tenir compte dans la détermination des actions correctives.

---

<sup>31</sup> ASN, 2 octobre 2018, *op. cit.*

<sup>32</sup> ASN, *Réacteur EPR de Flamanville, Écarts détectés dans la réalisation de certaines soudures des tuyauteries principales d'évacuation de la vapeur*, note technique, 27 février 2018.

<sup>33</sup> ASN, *Soudures de l'EPR : un travail technique important reste à faire*, note d'information, 3 octobre 2018.



## Atteinte à la défense en profondeur

Si l'exclusion de rupture est dans tous les cas retenue dans la démonstration de sûreté pour les gros composants dont la rupture entraînerait des conséquences trop difficiles à maîtriser, elle ne constitue pas la démarche privilégiée dans la démonstration de sûreté pour les autres équipements. Elle introduit en effet une déviation vis-à-vis du principe fondamental de défense en profondeur, qui repose sur la mobilisation en poupées russes de cinq niveaux successifs de protection contre le risque d'accident. Les trois premiers niveaux, qui visent la prévention de l'accident, sont la qualité de conception et de fabrication, la qualité des règles et des pratiques d'exploitation, et les moyens correctifs permettant de répondre à différentes situations sans aller jusqu'à l'accident<sup>34</sup>. L'application de l'exclusion de rupture revient, pour les équipements et risques de ruptures considérés, à renoncer au troisième niveau de cette défense en profondeur, au profit d'un renforcement du premier niveau.

L'absence de disposition visant à garder la maîtrise de l'installation en cas de rupture d'une tuyauterie de vapeur est une évolution importante qui devrait être justifiée au cas par cas par les bénéfices attendus du point de vue de la robustesse globale de la démonstration de sûreté : il s'agit de montrer qu'il semble plus atteignable de renforcer les équipements contre le risque de rupture que de mettre en place les dispositifs de réponse à cette éventuelle rupture.

Les premiers constats rendus publics sur l'existence de défauts et sur les conditions de détection, d'information et de lancement de l'instruction en vue de leur traitement montrent au contraire que le choix de l'exclusion de rupture porte un risque fort et difficile à prévenir d'affaiblissement de la démonstration de sûreté.

Le choix de recourir à l'exclusion de rupture permet à l'exploitant de remplacer une exigence dans la démonstration de sûreté, qui serait contrôlable dès la conception, par une exigence sur la qualité qui prévoit des dispositions avant la fabrication mais dont la bonne mise œuvre ne peut être vérifiée qu'après la fabrication. Il augmente ainsi le risque que la non détection de problèmes de qualité introduise une défaillance majeure dans la défense en profondeur. En effet, le poids de la bonne mise en œuvre des exigences de « haute qualité » est d'autant plus grand qu'aucune disposition n'a été étudiée dans la démonstration de sûreté pour faire face aux conséquences de la défaillance du composant. Ce choix rend la démonstration de sûreté plus vulnérable à des irrégularités liées à des défaillances dans les processus de qualité, mais aussi à des irrégularités de nature frauduleuse et des dissimulations, comme en sont apparus plusieurs exemples chez les fournisseurs d'EDF ces dernières années. Cette approche, reposant sur le contrôle ex-post des réalisations, nécessite une grande confiance dans la qualité et la sincérité de l'action des fabricants qui n'est aujourd'hui plus acquise.

Le recours au principe d'exclusion constitue enfin une fragilisation de la démarche de sûreté lorsque, comme c'est désormais le cas avec les tuyauteries vapeur de l'EPR de Flamanville-3, il conduit à ce que les problèmes de qualité ne soient avérés qu'après l'achèvement des fabrications et même de l'installation des équipements sur le site. Cela entraîne en effet des difficultés telles sur le plan industriel à reprendre les fabrications qu'elles peuvent conduire à privilégier une approche dérogatoire de justification du caractère suffisant des réalisations, bien que non conformes aux exigences initialement attendues.

## 4. Traitement de la situation

En l'absence de justification de l'exclusion de rupture d'une part et d'étude des conséquences de cette rupture d'autre part, la démonstration de sûreté est incomplète. L'apport des compléments nécessaires est une condition préalable à la validation par l'ASN de la complétude de cette démonstration de sûreté, et donc à l'autorisation de mise en service de l'EPR de Flamanville.

Trois voies sont théoriquement envisageables pour « traiter l'écart », c'est-à-dire rétablir la complétude de la démonstration de sûreté : la première consiste à apporter une justification du caractère acceptable en l'état des soudures, sans réparation ; la seconde consiste au contraire à rétablir la conformité des soudures aux exigences fixées par des réparations ; la troisième consiste, si aucune de ces deux voies ne permet de rétablir l'exigence d'exclusion de rupture ou n'est retenue pour le faire, à renoncer à l'application de ce principe aux circuits VVP, et à adapter les études et les dispositions de sûreté de l'installation en conséquence.

---

<sup>34</sup> Les deux derniers niveaux sont ceux de la maîtrise de l'accident grave, visant à ramener l'installation dans un état sûr en limitant les rejets dans l'environnement, et de la gestion de l'accident majeur, tournés vers la protection des populations vis-à-vis de rejets qui ne sont plus limités.

## **Justification en l'état**

La justification en l'état est l'option qu'EDF privilégie dans ce dossier, lorsqu'il lui semble possible de démontrer que les écarts observés ne sont pas de nature à altérer les caractéristiques du matériau et les propriétés mécaniques qui en sont attendues. L'enjeu consiste à la fois à caractériser le matériau et à vérifier que ses propriétés mécaniques de résistance à la rupture sont suffisantes, à vérifier qu'il ne présente pas de défauts de compacité (micro-fissures, bulles) qui par leur taille ou leur emplacement seraient susceptibles d'amorcer une rupture sous certaines contraintes, et à obtenir ces résultats avec un niveau de confiance suffisant.

L'enjeu est bien sûr différent pour les soudures potentiellement concernées par des écarts ou des défauts mais relevant d'un niveau d'exigence moindre, et les soudures des circuits VVP, présentant un niveau d'exigence conforme au principe d'exclusion de rupture.

Pour ces dernières, la qualité au sens des bonnes propriétés mécaniques, et la confiance dans cette qualité doivent toutes les deux, pour prétendre au respect de l'exigence associée à l'exclusion de rupture, atteindre un haut niveau. Il s'agit, tout en constatant que l'atteinte de cette exigence par le respect des spécifications initiales n'a pas été assurée, de montrer que le résultat obtenu présente néanmoins une qualité suffisante pour remplir les objectifs de l'exclusion de rupture, c'est-à-dire rendre hautement improbable le risque d'une rupture. Les propriétés mécaniques attendues, en matière de ténacité notamment, doivent être obtenues avec une marge importante vis-à-vis des sollicitations envisageables en fonctionnement, et ces résultats doivent être obtenus avec une incertitude suffisamment faible pour garantir cette marge.

Une telle démarche est d'abord contestable sur le fond : elle repose en effet sur l'idée d'atteindre par des moyens dégradés un objectif – de qualité et de confiance – dont l'atteinte passe justement par des moyens renforcés. Ainsi, le DAC de l'EPR de Flamanville ne fixe pas, pour garantir l'intégrité des tuyauteries vapeur principales en exclusion de rupture, de valeurs à atteindre, mais des exigences au niveau de la qualité de conception et de vérification d'abord, de fabrication et de contrôle ensuite : indépendamment du résultat obtenu sur les soudures réalisées et des propriétés réelles du matériau, il est incontestable que ces conditions n'ont pas été respectées.

Si elle devait être envisagée, cette démarche aurait en tout état de cause peu de chances d'aboutir. En effet, l'atteinte du haut niveau de qualité et de confiance propre à l'exigence d'exclusion de rupture passe par un ensemble de dispositions dont certaines, telles que le choix des matériaux de base et d'assemblage susceptibles d'apporter les meilleures caractéristiques ou la qualification adéquate des modes de soudure, n'ont pas été respectées. Ces écarts vis-à-vis de la démarche, au niveau des choix de conception ou de fabrication, sont irrémédiables.

La voie envisagée par EDF consisterait à établir une caractérisation plus approfondie des soudures pour en justifier les propriétés mécaniques suffisantes vis-à-vis du risque de rupture, en regard des différentes sollicitations thermiques et mécaniques envisageables dans les situations de fonctionnement normal et d'accident. Outre que ces situations ne sont à ce stade pas suffisamment caractérisées, par voie de conséquence du choix de garantir une robustesse enveloppe des soudures par leur haut niveau de qualité, cette démarche se heurte techniquement à deux obstacles difficilement surmontables. Le premier concerne les propriétés mêmes du matériau des soudures, qui semblent compte tenu des choix de conception et de fabrication difficilement en mesure de présenter les marges importantes attendues. Le second concerne la difficulté à caractériser avec la précision et la confiance nécessaire les propriétés de ce matériau, compte tenu notamment de la variabilité des procédés de soudage mis en œuvre, des incertitudes introduites par les défaillances du suivi et du contrôle, du manque de représentativité des échantillons disponibles (assemblages témoins, autres soudures sacrificielles) du fait des écarts dans leur propre réalisation et de leur faible nombre, et de la difficulté à étendre de façon suffisante le nombre de ces échantillons.

## **Réparation des soudures**

La deuxième voie, consistant à réparer les soudures pour les réaliser cette fois avec un niveau de confiance dans leur qualité suffisant, semble donc nécessaire pour établir une conformité à l'exigence d'exclusion de rupture des soudures des circuits VVP. Par ailleurs, des opérations de réparations sont dans tous les cas nécessaires pour traiter les défauts détectés par EDF lors des recontrôles effectués à partir de mars 2018 – qu'il s'agisse des soudures VVP ou des autres parties du circuit secondaire.

Dans le dossier remis par EDF à l'ASN le 23 juillet 2018 pour préciser la démarche de traitement des écarts envisagée par l'exploitant, celui-ci a proposé la remise à niveau de certaines soudures du circuit VVP, et le maintien en l'état d'autres soudures, dont les 8 soudures de traversée de l'enceinte. En octobre 2018, l'ASN

constatait que cette stratégie nécessite, qu'il s'agisse du volet justification – comme évoqué ci-dessus – ou du volet réparation, un programme d'essai conséquent et potentiellement incertain. C'est pourquoi l'ASN invitait EDF à « *engager dès à présent (...) les actions préalables à la remise en conformité des soudures que vous envisagez actuellement de maintenir en l'état* »<sup>35</sup>. Dans son courrier, l'ASN considère que la remise en conformité doit être l'option privilégiée.

EDF a introduit dans la discussion le principe de réparations là où elles sont « raisonnablement possibles ». Cela devrait conduire à procéder de manière uniforme à la réparation de toutes les soudures suffisamment accessibles, c'est-à-dire l'ensemble des 58 soudures réalisées sur site. L'instruction technique relative aux conditions de réalisation de ces réparations reste cependant en cours et devra être achevée avant que l'ASN ne se prononce sur la mise en œuvre de ces réparations.

La question plus cruciale concerne les 8 soudures des traversées d'enceinte, dont la réparation présente, outre le fait que leur localisation les rend peu accessible, des difficultés techniques particulières. EDF considère que les difficultés et les délais associés ne permettent pas d'envisager raisonnablement cette réparation, et ne semble à ce titre pas avoir engagé activement sa réparation.

Ces soudures sont situées dans l'espace inter-enceintes (entre la paroi interne et la paroi externe de la double enceinte de confinement), à la jonction entre la partie du circuit arrivant du générateur de vapeur, interne à l'enceinte, et la partie externe, située au sortir de l'enceinte dans le bâtiment des auxiliaires de sauvegarde (BAS). Les deux tuyauteries correspondantes ne sont pas directement soudées l'une à l'autre mais raccordées à une flasque annulaire (d'où la présence de deux soudures VVP dans chaque traversée). Celle-ci assure notamment la liaison avec des dispositifs destinés à rendre la tuyauterie, protégée par ailleurs par un manchon, avec la paroi interne d'une part et la paroi externe d'autre part. Le premier dispositif, côté interne, doit notamment assurer l'étanchéité de cette jonction, en lien avec l'exigence de sûreté sur l'étanchéité globale de l'enceinte nécessaire à sa fonction de confinement. Le second, côté externe, est un dispositif complexe destiné à assurer un bon maintien de la tuyauterie mais surtout une capacité d'amortissement, nécessaire à la tenue de l'ensemble au séisme<sup>36</sup>.

L'opération de réparation devra donc permettre de rétablir la qualité des soudures, ce qui implique l'élimination de l'essentiel du matériau de soudure actuel, la réalisation d'une nouvelle soudure selon un procédé qualifié et dans des conditions de contrôle appropriées, et le traitement thermique de cette soudure.

Deux options semblent envisageables pour cela. La première consiste à réaliser ces opérations sans dépose de la tuyauterie : cela implique de gérer, dans l'espace étroit de l'inter-enceintes, le déplacement des différents dispositifs associés à cette traversée afin d'accéder aux deux soudures et l'ensemble des opérations de réparation, avec le risque d'endommager les dispositifs nécessaires à l'étanchéité de l'enceinte d'une part, et à la tenue sismique d'autre part. Un important programme d'étude, de qualification et d'essais serait nécessaire afin d'obtenir l'assurance suffisante sur la maîtrise de l'opération, tant vis-à-vis de la qualité de la réparation que de la prévention du risque d'endommagement des dispositifs associés à la traversée. La seconde option consiste à découper la tuyauterie au niveau des soudures de chaque côté de l'enceinte et à déposer les équipements ou structures de génie civil gênant le passage pour retirer l'ensemble du tronçon de traversée, et reprendre en atelier l'ensemble des deux soudures entre les tuyauteries et la flasque, dans des conditions a priori plus maîtrisables, avant de replacer le tout. Cette option nécessite également d'importantes étapes de préparation, et introduit des besoins importants de reconstruction, l'ensemble pouvant engager des délais tout aussi longs voire davantage que la première option.

Ainsi les délais précisément nécessaires à cette réparation, incluant l'ensemble des étapes d'étude et de qualification ainsi que l'approvisionnement en pièces de remplacement (pour les parties des dispositifs affectés par ces opérations que l'accès aux soudures nécessiterait d'endommager), restent à ce stade incertains. Pour l'option de réparation en place retenue par EDF, selon les scénarios et sur la base des informations fournies par EDF, le seul approvisionnement pourrait nécessiter des délais de l'ordre de 12 à 26 mois ; la réalisation des opérations sur site pourrait ensuite durer plus d'un an<sup>37</sup>. Ces délais ne tiennent pas totalement compte de celui nécessaire en amont à la validation par l'ASN de la démarche détaillée de réparation proposée par EDF, ni du temps nécessaire à la réalisation éventuelle de maquettes permettant de tester en grandeur réelle les opérations de réparation avant de les maîtriser suffisamment pour les exécuter sur le réacteur.

---

<sup>35</sup> ASN, 2 octobre 2018, *op. cit.*

<sup>36</sup> En particulier, un séisme est susceptible d'entraîner un déplacement différentiel des deux parois de l'enceinte, avec un effet possible de cisaillement de la tuyauterie ou d'endommagement de la structure que vise à prévenir ce dispositif.

<sup>37</sup> ASN, 26 mars 2019, *op. cit.*

## Renoncement à l'exclusion de rupture

L'état actuel du dossier ne permet pas de garantir le rétablissement de l'exigence d'exclusion de rupture sur les soudures VVP, nécessaire au respect du DAC de l'EPR, et à la complétude de sa démonstration de sûreté. En premier lieu, la démarche de justification du maintien en l'état n'est pas susceptible de rétablir le haut niveau de confiance indispensable au respect de cette exigence. Ensuite, la réparation des soudures présente, pour les 8 soudures des traversées d'enceinte, des difficultés et des incertitudes susceptibles de ne pas permettre le rétablissement par cette voie de la qualité nécessaire.

Dès lors, la nécessité de renoncer au principe d'exclusion de rupture doit être envisagée pour les circuits VVP couverts dans l'état actuel de la démonstration de sûreté par ce principe, sinon totalement du moins, de façon plus limitée, pour les soudures des traversées d'enceinte. Cela impliquerait de reprendre l'ensemble des études impactées par l'introduction d'une hypothèse conventionnelle de rupture des tuyauteries au niveau de ces soudures, et de tirer les enseignements de ces modifications d'études pour définir et mettre en œuvre les renforcements des dispositions de sûreté nécessaires pour maîtriser ces situations de rupture, y compris, lorsque les règles d'étude l'imposent, lorsqu'une telle rupture se cumule avec d'autres éléments de nature accidentelle.

Cette voie semble peu avoir été considérée à ce stade de l'instruction. Les domaines potentiellement impactés concernent d'abord l'ensemble des études relatives à la maîtrise du réacteur, en lien avec le déséquilibre que la rupture brutale d'une des boucles VVP est susceptible de produire au niveau du générateur concerné d'abord, puis via la boucle correspondante du circuit primaire, au niveau du cœur du réacteur lui-même. Cette situation semble avoir été prise en compte à titre conservatif, ou pouvoir être considérée comme étant couverte par des situations prises en compte dans les études correspondantes.

L'autre volet important est celui des dommages causés aux structures et aux équipements proches par une éventuelle rupture. Cela concerne en particulier les effets de surpression liés à la libération rapide de vapeur, qui ne se posent pas si ce dégagement se produit vers l'intérieur de l'enceinte, dimensionnée pour une telle montée en pression, mais sont susceptibles de remettre en cause la tenue du BAS si le dégagement devait se produire de ce côté. Outre cet effet mécanique, la vapeur dégagée peut également dégrader certaines fonctions ou endommager des équipements par l'effet de saturation humide ou thermique.

L'autre phénomène à envisager est celui des dommages susceptibles d'être causés par le recul ou le fouettement des tuyauteries sous l'effet de la rupture. Ceci concerne notamment, dans le cas des soudures de traversée d'enceinte, l'effet de recul de part et d'autre. Face à ces différents risques, un relèvement du dimensionnement de certains dispositifs, ainsi qu'un renforcement des structures de génie civil et la mise en place d'ancrages renforcés des tuyauteries doivent être envisagés. Le déploiement des études et renforcements correspondants nécessiterait là encore d'importants délais, qui pourraient s'avérer supérieurs aux délais nécessaires à la réparation.

Outre les difficultés techniques que cette démarche de renonciation à l'exclusion de rupture soulèverait, elle se heurterait également à un obstacle réglementaire. L'abandon de cette exigence figurant dans le DAC du réacteur constituerait en effet sans doute sur le plan juridique une modification substantielle, au sens de l'article L. 593-14-II du Code de l'environnement<sup>38</sup>. Une nouvelle autorisation de création, obtenue dans les mêmes conditions que la première, c'est-à-dire sur la base d'un dossier de demande d'autorisation révisé et soumis à enquête publique, serait dès lors nécessaire.

## Conclusion de l'instruction

L'examen du dossier par le Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaire (GPESPN), qui s'est réuni les 9 et 10 avril 2019, a permis d'apporter une première conclusion technique à l'instruction des propositions d'EDF pour le traitement de l'écart que constitue la non conformité aux exigences de qualité des soudures, en particulier pour ce qui concerne le point le plus crucial que constituent les huit soudures des traversées d'enceinte<sup>39</sup>. Dès le 11 avril 2019, l'ASN a rendu public l'avis que

<sup>38</sup> Celui-ci stipule que « une nouvelle autorisation [sous les mêmes formes que l'autorisation de création] est requise en cas de modification substantielle d'une installation nucléaire de base, de ses modalités d'exploitation autorisées ou des éléments ayant conduit à son autorisation. Le caractère substantiel de la modification est apprécié suivant des critères fixés par décret en Conseil d'État au regard de son impact sur la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 [sécurité et santé publiques, protection de l'environnement...] ». L'article R. 593-47.-I définit en application une modification substantielle comme « un changement de sa nature ou un accroissement de sa capacité maximale », « une modification des éléments essentiels mentionnés à l'article L. 593-8 », ou « un ajout, dans le périmètre de l'installation, d'une nouvelle installation nucléaire de base ».

<sup>39</sup> Le scénario de réparation des 58 autres soudures, qui ont été réalisées sur place, a été considéré mais pas discuté au fond.

lui a remis le GPESPN<sup>40</sup>, ainsi que le rapport au Groupe permanent de sa Direction des équipements sous pression (DEP)<sup>41</sup>, complété par un avis de l'IRSN<sup>42</sup>, sur lequel s'est fondé la discussion.

L'instruction technique se cale sur la démarche de traitement des écarts proposée par EDF, qui articule ainsi que le rappelle la DEP « *trois étapes successives : (...) la possibilité de remettre à niveau les soudures en procédant par exemple à leur réparation ou leur remplacement ; la possibilité de renoncer à la démarche d'exclusion de rupture pour ces soudures ; enfin, si la remise à niveau des soudures et le renoncement à la démarche d'exclusion de rupture ne sont pas considérés comme possibles, [la justification] que le maintien en l'état des soudures ne remet pas en cause la conformité aux objectifs de la démarche d'exclusion de rupture* ». C'est en vertu de cette démarche qu'EDF privilégie et détaille, après analyse des difficultés liées aux deux premières étapes, le maintien en l'état pour les soudures des traversées.

Le rapport de la DEP et l'avis de l'IRSN rappellent la compréhension que l'on peut avoir à ce stade du dossier sur l'origine et le cumul des défaillances observées, et discutent les options de traitement des écarts présentées par EDF. S'ils présentent une analyse des trois scénarios de réparation sur place des soudures des traversées présentés par EDF, ils concentrent leur attention sur l'analyse technique de la proposition privilégiée par EDF, consistant à justifier la qualité suffisante vis-à-vis de l'exclusion de rupture de ces soudures pour les maintenir en l'état.

La DEP conclut sur le sujet que « *certaines écarts identifiés sur les soudures de traversée des lignes VVP du réacteur EPR de Flamanville, (...) constituent des écarts forts aux exigences définies (...) pour répondre aux objectifs liés à la démarche d'exclusion de rupture encadrée par le décret d'autorisation de création (...). C'est en particulier le cas des valeurs de résilience obtenues sur les assemblages témoins des soudures de traversée, l'absence de preuve de la maîtrise du phénomène de vieillissement sous déformation et la présence d'un défaut considéré inacceptable par le code de construction RCC-M* »<sup>43</sup>.

L'IRSN a plus spécifiquement analysé les propositions d'EDF sur la caractérisation des propriétés de ténacité des soudures et sur la caractérisation du phénomène de vieillissement sous déformation. Sur le premier point, l'IRSN a conclu que le programme d'essais proposé par EDF ne permettait pas de garantir « *les valeurs minimales des propriétés mécaniques des matériaux de soudures réalisées* ». Sur le second, l'IRSN a estimé que l'approche d'EDF ne permettait pas de garantir que les résultats seraient conservatifs.

L'exploitant doit dès lors, comme le souligne la DEP, « *apporter la justification de l'atteinte d'une qualité suffisante pour garantir l'intégrité des lignes VVP tout au long de la vie de l'installation et cela avec un haut niveau de confiance* », par d'autres moyens que la preuve du respect des exigences initiales. À l'issue de l'examen, la DEP « *considère également que la démarche proposée par EDF pour justifier le maintien en l'état des soudures de traversée, qui doit rester une démarche de repli, doit être significativement complétée afin notamment de démontrer que les propriétés des soudures de traversée sont suffisantes et connues avec un haut niveau de confiance* ». C'est le sens de l'essentiel des 15 recommandations proposées dans le rapport à l'examen du GPESPN.

La DEP conclut ainsi que « *l'acceptabilité du traitement des écarts affectant les soudures de traversée proposé par EDF qui envisage leur maintien en l'état est incertaine à ce stade* ». Elle considère parallèlement, s'agissant de la réparation, que « *les scénarios proposés ne présentent pas de contraintes rédhibitoires mais qu'il est nécessaire que l'exploitant poursuive le développement des études et réalise les qualifications afin de rendre acceptable les risques résiduels identifiés* ». Soulignant que les délais, d'approvisionnement des pièces notamment, constituent l'un des principaux arguments valorisés par EDF pour conclure à la non faisabilité des réparations – particulièrement si celles-ci doivent intervenir avant la mise en service –, le rapport affirme toutefois que « *l'exploitant ne peut se prévaloir des conséquences de son choix de ne pas avoir anticipé les opérations de réparation pour justifier de ne pas les mettre en œuvre* ».

Enfin, le rapport note que l'éventuel « *renoncement à la démarche d'exclusion de rupture (...) a un impact important sur la démonstration de sûreté et nécessite la reprise de plusieurs catégories d'études avec un résultat incertain* », et que « *le délai associé à (...) ces études, à leur instruction puis aux modifications*

---

<sup>40</sup> ASN, Avis et recommandations du Groupe Permanent « Equipements sous pression nucléaire » du 09/04/2019 sur la démarche d'EDF de traitement des écarts affectant les soudures des lignes vapeur principale en exclusion de rupture du réacteur EPR de Flamanville, CODEP-MEA-2019-017616, 11 avril 2019.

<sup>41</sup> ASN, 26 mars 2019, op. cit.

<sup>42</sup> IRSN, Exigences d'exclusion de rupture et défauts non détectés lors des contrôles de fin de fabrication, avis IRSN/2019-00057, 22 mars 2019.

<sup>43</sup> ASN, 26 mars 2019, op. cit.

*matérielles importantes qui en découleraient pourraient conduire à des durées excédant le délai de réparation des soudures ».*

La DEP conclut de cette analyse de la démarche proposée que *« le[s] scénario[s] de remise en conformité doi[ven]t être privilégié[s] et, au regard de l'ensemble des considérations précédentes, [il est] nécessaire qu'EDF poursuive l'analyse et la préparation de la mise en œuvre de ces scénarios afin d'en identifier tous les risques et les parades associées »*<sup>44</sup>. L'IRSN conclut dans le même sens dans son avis séparé, affirmant *« qu'EDF devrait, plutôt que rechercher à justifier une acceptabilité en l'état, procéder à la remise en conformité des soudures concernées »*<sup>45</sup>.

Le Groupe permanent, après examen des éléments présentés par EDF à l'appui d'une démarche de justification du maintien en l'état des soudures des traversées d'enceinte, et des nombreuses réserves sur cette démarche conduisant à différentes recommandations, a conclu que le niveau de confiance dans la qualité insuffisante des soudures était suffisant pour éliminer cette voie. Ainsi, le GPESPN *« constate un ensemble particulièrement élevé d'écart(s) (...), qui conduisent à un niveau de qualité nettement inférieur à celui qui était requis. (...) Ces éléments constituent des obstacles majeurs à l'application d'une démarche d'exclusion de rupture »*<sup>46</sup>.

Le Groupe permanent en tire l'avis *« qu'EDF, à défaut de renoncer à tout ou partie de l'exclusion de rupture, doit procéder à la remise en conformité de ces traversées »*, fermant ainsi la voie à l'option du maintien en l'état. Il souligne, s'agissant des solutions envisageables pour la réparation, que *« compte tenu des risques avancés par EDF pour les scénarios de remise en conformité présentés, il est indispensable d'ouvrir le champ des investigations »* : cette préconisation porte en particulier sur la nécessité d'étudier le scénario, envisagé mais écarté à ce stade, d'un retrait et d'une remise en place des tuyauteries concernées afin de procéder à la reprise de leurs soudures en atelier.

L'ASN doit désormais prendre position sur la démarche à retenir par EDF, qui devra encore, si l'autorité suit ces différents avis et prescrit une réparation, être étudiée en détail et présentée pour validation par l'ASN avant d'être mise en œuvre. Il semble peu probable que l'autorité ne suive pas les avis de sa DEP, de l'IRSN et de son groupe permanent d'experts. EDF a indiqué dans un communiqué de presse le 11 avril 2019 que l'avis du GPESPN *« pourrait impacter le calendrier de mise en service et le coût de construction »* et qu'une mise à jour du calendrier et du coût de l'EPR serait réalisée après publication de l'avis de l'ASN<sup>47</sup>.

Il restera par ailleurs à traiter de la question plus large du retour d'expérience tiré de ce dossier, à deux niveaux. Le premier concerne l'extension des vérifications à l'ensemble des réalisations du même type sur le chantier de l'EPR de Flamanville, demandée par l'ASN à EDF en octobre 2018 et sur laquelle aucun élément de bilan n'a été présenté à ce jour. Le second concerne l'organisation même de la conduite et du suivi de ce type de réalisation. Le GPESPN a ainsi souligné, à propos des problèmes de qualité des soudures, que *« ces écarts découlent notamment de défaillances depuis la spécification jusqu'à la surveillance, en incluant le traitement des écarts. Le Groupe permanent considère indispensable que cette situation soit analysée en profondeur et que les différents acteurs en tirent les conclusions »*.

---

<sup>44</sup> ASN, 26 mars 2019, *op. cit.*

<sup>45</sup> IRSN, 22 mars 2019, *op. cit.*

<sup>46</sup> ASN, 11 avril 2019, *op. cit.*

<sup>47</sup> EDF, *Point d'actualité sur l'EPR de Flamanville*, communiqué de presse, 11 avril 2019.