

## Note technique

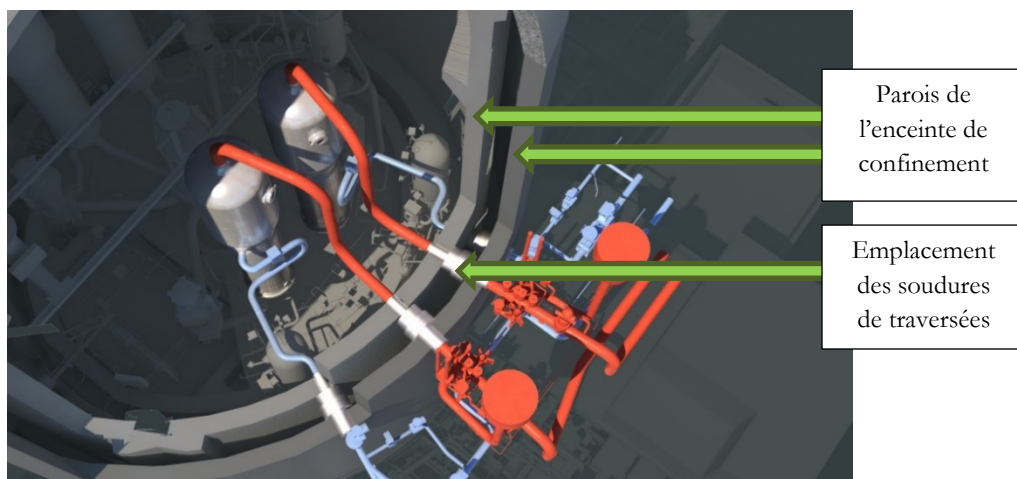
### Réacteur EPR de Flamanville

#### Écarts affectant les soudures des tuyauteries principales d'évacuation de la vapeur situées au niveau des traversées de l'enceinte de confinement du réacteur EPR de Flamanville

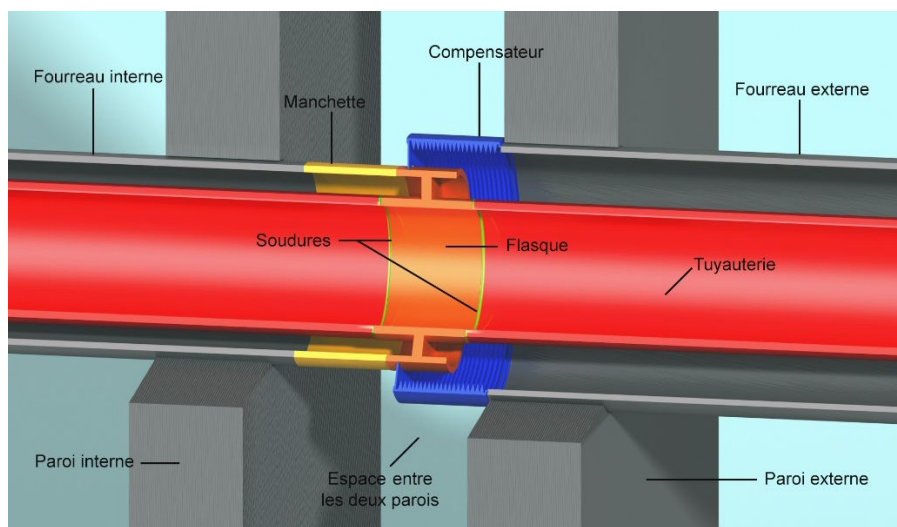
#### 1. Description des équipements concernés

Les tuyauteries principales d'évacuation de la vapeur (aussi appelées « lignes vapeurs principales » ou VVP) sont des tuyauteries transportant la vapeur sous pression, produite dans les générateurs de vapeur, vers la turbine. Sur un réacteur de type EPR, elles sont au nombre de quatre.

Ces tuyauteries traversent l'enceinte de confinement du réacteur, composé de deux parois. Entre ces deux parois se trouvent, sur chacune des quatre tuyauteries, deux soudures dites de « traversées ».



*Vue d'ensemble des tuyauteries VVP (représentées en rouge)*



*Coupe simplifiée d'une traversée*

## 2. Principe de défense en profondeur et démarche d'exclusion de rupture

La conception des installations nucléaires repose sur le principe de défense en profondeur, qui conduit à la mise en œuvre de niveaux de défense successifs destinés à prévenir les incidents et accidents et à en limiter les conséquences<sup>1</sup>.

Pour les équipements sous pression nucléaires, la défense en profondeur repose sur la qualité de conception et de fabrication (premier niveau), le contrôle des équipements en fin de fabrication et en service (deuxième niveau) et des dispositions sur l'installation permettant de limiter les conséquences de leur rupture (troisième niveau).

Dans le cas des tuyauteries VVP, EDF a souhaité mettre en œuvre une démarche dite « d'exclusion de rupture », qui consiste à prendre des dispositions permettant de s'assurer du caractère hautement improbable de la rupture des équipements, et ainsi ne pas avoir à définir de dispositions au titre du troisième niveau de défense en profondeur.

Il est à noter qu'une telle démarche s'applique aussi à d'autres équipements tels que la cuve et les générateurs de vapeur, pour lesquels il n'est pas techniquement possible de définir des dispositions au titre du troisième niveau de défense en profondeur. Il ne s'agit alors plus d'un choix de l'exploitant mais d'une nécessité liée à la technologie des réacteurs à eau sous pression.

## 3. Exigences liées à la démarche d'exclusion de rupture et écarts constatés

La démonstration du caractère hautement improbable de la rupture des équipements soumis à une démarche d'exclusion de rupture passe notamment par un renforcement significatif de la qualité de leur conception et de leur fabrication par rapport aux dispositions retenues pour des équipements de même importance pour la sûreté du réacteur.

Pour cela, EDF et son fabricant Framatome ont proposé des exigences liées à la démarche d'exclusion de rupture, qui complètent des dispositions issues du code RCC-M<sup>2</sup> normalement appliquées à ce type d'équipement. Ces exigences consistent notamment en des critères renforcés sur les propriétés mécaniques des soudures des tuyauteries VVP. Ces exigences ne résultent pas de dispositions réglementaires mais ont été définies par EDF en cohérence avec les propriétés mécaniques qui ont été obtenues pour les soudures de traversées des derniers réacteurs construits en France et sont similaires à ce qui a été retenu, et atteint, pour les réacteurs EPR construits à l'étranger.

Les écarts sont intervenus lors de la déclinaison de ces exigences, de la réalisation des soudures et de leur contrôle et ne remettent pas en cause la conception du réacteur EPR.

En particulier ces exigences liées à la démarche d'exclusion de rupture n'ont pas été transmises par Framatome à son fournisseur chargé des opérations de fabrication des tuyauteries VVP. Le fournisseur a donc appliqué les dispositions du code RCC-M, qui ne sont pas suffisantes pour prétendre à une démarche d'exclusion de rupture.

Les caractéristiques mécaniques d'un matériau ne peuvent être déterminées de manière directe qu'en réalisant des essais destructifs. Toutefois, des choix de conception adéquats et une bonne qualité de fabrication permettent d'apporter des garanties sur la reproductibilité du procédé de soudage, et donc sur le résultat obtenu. Pour cela, le code RCC-M prévoit un dispositif en plusieurs étapes, qui doivent chacune faire l'objet d'une attention particulière, avec notamment :

- le choix d'un matériau d'apport approprié ;
- la qualification préalable des modes opératoires de soudage utilisés ;
- la vérification par des essais de recette de la qualité des matériaux d'apport approvisionnés ;

---

<sup>1</sup> Cette démarche figure à l'article 3.1 de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base.

<sup>2</sup> Le code RCC-M (Règles de Conception et de Construction des matériels Mécaniques) est un guide professionnel qui définit des règles de fabrication des composants mécaniques destinés aux réacteurs nucléaires.

- la réalisation d'assemblages témoins<sup>3</sup> dans des conditions représentatives des soudures de production, sur lesquels seront réalisés des essais destructifs ;
- la réalisation des contrôles non destructifs permettant de garantir l'absence de défauts dans les soudures réalisées.

L'instruction a montré que de **nombreux écarts sont survenus lors de ces différentes étapes de fabrication** : matériau d'apport inapproprié, qualification incomplète du mode opératoire de soudage, détection *a posteriori* d'écarts dans la réalisation des essais de recette ayant conduit à surestimer les propriétés mécaniques, assemblages témoins réalisés tardivement et dans des conditions non-représentatives des soudures de production... L'ASN constate ainsi de manière générale une mauvaise maîtrise des opérations et des procédés.

Les écarts identifiés étaient en outre souvent traités tardivement, une fois la fabrication des traversées terminées. Certains écarts ont été mis en évidence par l'ASN et l'IRSN en 2018 dans le cadre de l'instruction du dossier d'EDF.

#### 4. Conséquences des écarts

Ces écarts se sont traduits pour les huit soudures de traversées par des valeurs de résilience<sup>4</sup>, obtenues sur des assemblages témoins et sur des pièces sacrificielles, inférieures aux exigences de la démarche d'exclusion de rupture, et dans certains cas à celles du code RCC-M, et présentant une forte variabilité. Les essais ont aussi montré un phénomène de vieillissement sous déformation<sup>5</sup> non maîtrisé et qui ne trouve à ce stade pas encore d'explication satisfaisante.

Par ailleurs, le nombre et la nature des écarts constatés remettent en cause les conditions de réalisation de ces soudures et la capacité de pouvoir connaître avec un haut de niveau de confiance les propriétés réelles des soudures réalisées.

Par conséquent, l'ASN considère, comme son groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GP ESPN), que les conditions de fabrication nécessaires à l'application d'une démarche d'exclusion de rupture n'ont pas été remplies et que la rupture des soudures ne peut plus être considérée comme hautement improbable, ce qui remet en cause la possibilité de pouvoir mener une démarche d'exclusion de rupture.

L'ASN note par ailleurs la présence de nombreux écarts au code RCC-M, qui sont de nature à remettre en cause la conformité réglementaire de ces soudures, qui reste donc à démontrer.

#### 5. Position de l'ASN sur la proposition d'EDF d'une réparation différée

EDF a sollicité par courrier du 7 juin 2019 l'avis de l'ASN sur la possibilité de réparer ces soudures en 2024, quelques années après la mise en service du réacteur.

EDF s'appuie principalement, pour justifier de la sûreté du réacteur entre sa mise en service et la réparation des soudures, sur le caractère hautement improbable de leur rupture. Une telle approche ne peut toutefois plus être retenue à l'issue de l'instruction menée et de l'avis du GP ESPN.

L'ASN considère donc qu'une démarche visant à justifier du caractère acceptable d'une réparation différée nécessiterait de considérer l'ensemble des conséquences d'une rupture, afin de montrer le caractère suffisant des modifications à apporter au réacteur avant sa mise en service. A ce titre, les études de robustesse qu'EDF estime pouvoir mener d'ici la mise en service du réacteur sont partielles et ne permettent pas d'apprécier l'ensemble des conséquences d'une rupture.

---

<sup>3</sup> Lors de la réalisation de soudures de production, des soudures appelées « assemblages témoins » sont réalisées dans des conditions permettant d'assurer la représentativité de ces assemblages témoins vis-à-vis des soudures de production. Les essais mécaniques destructifs sont alors réalisés sur ces assemblages témoins.

<sup>4</sup> La résilience est la capacité d'un matériau à absorber de l'énergie quand il se déforme sous l'effet d'un choc.

<sup>5</sup> Le vieillissement sous déformation est un phénomène conduisant à une fragilisation de la structure du métal au cours du temps et selon la température. Des essais réalisés début 2019 ont mis en évidence que l'ampleur du phénomène sur les soudures des tuyauteries VVP est supérieure à celle prise en compte à la conception.

La rupture d'une tuyauterie VVP peut notamment conduire aux phénomènes suivants :

- la libération de quantités importantes de vapeur et d'énergie, qui peut endommager d'une part les équipements situés dans les locaux voisins, d'autre part les bâtiments qui abritent les tuyauteries VVP ;
- des sollicitations mécaniques importantes de la tuyauterie accidentée, qui pourraient endommager les équipements situés à proximité ou qui sont reliés à la tuyauterie ;
- l'onde de pression résultant de la rupture, qui se propage dans le circuit secondaire et soumet les structures internes des générateurs de vapeur à des sollicitations importantes ;
- le refroidissement du circuit primaire à la suite de la rupture, qui conduit à un apport de réactivité dans le cœur pouvant conduire à un endommagement du combustible.

Faute de pouvoir réaliser les études avec les règles conventionnelles de la démonstration de sûreté de l'EPR, EDF pourrait recourir à des règles et hypothèses adaptées, dont il faudrait toutefois justifier qu'elles conduisent à un niveau de sûreté acceptable. L'ASN estime que la possibilité de réaliser des études suffisamment convaincantes apparaît très incertaine et identifie dès à présent plusieurs obstacles :

- EDF envisage de ne pas prendre en compte l'événement aggravant le plus pénalisant, comme c'est le cas habituellement. L'ASN considère toutefois que dans ce cas, l'aggravant de non-fermeture de la vanne d'isolement vapeur du générateur de vapeur voisin ne peut être écarté, car il est probable que cette vanne soit endommagée en cas de rupture d'une soudure ;
- les soudures sont situées entre les parois de l'enceinte de confinement, et donc dans un espace confiné, lequel est traversé par de nombreuses tuyauteries et câbles électriques. Les scénarios de rupture de soudures de traversée n'ont jamais été étudiés, notamment au regard des conséquences dans l'espace entre-enceinte. Mener de telles études nécessiterait le développement de méthodes spécifiques (modélisation des phénomènes, outils de simulation...).

L'ASN considère donc que la proposition d'EDF présente des difficultés majeures et que la réparation des soudures de traversées avant la mise en service du réacteur demeure la solution de référence.