

Note relative à l'examen de l'aptitude au service du fond et du couvercle de la cuve du réacteur EPR de Flamanville

Rappel du contexte

Fin 2014, EDF a découvert une anomalie concernant la composition chimique de l'acier constitutif de la partie centrale du couvercle et du fond de la cuve du réacteur EPR de Flamanville fabriquée par Creusot Forge¹.

L'anomalie constatée est constituée par la présence de carbone en excès par rapport aux spécifications (teneur atteignant localement 0,32 % pour une teneur attendue d'au maximum 0,22 %), dans l'acier des calottes hémisphériques utilisées pour fabriquer le couvercle et le fond de la cuve de ce réacteur². De fortes concentrations en carbone dans une pièce ont pour conséquence une diminution des propriétés de ténacité de l'acier, c'est-à-dire de la capacité du matériau à résister à la propagation d'une fissure en cas de défaut préexistant.

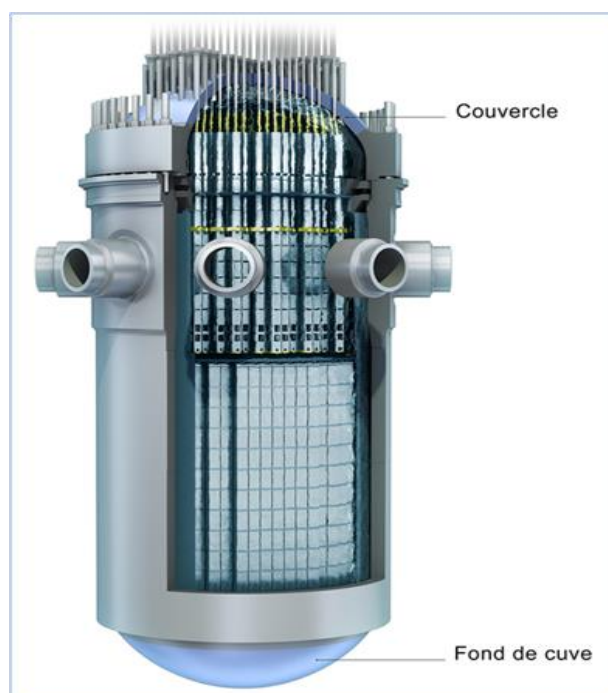


Schéma de la cuve de l'EPR

Les dimensions importantes **du couvercle et du fond** de la cuve de l'EPR ont conduit à faire évoluer le procédé de fabrication des pièces par rapport à la pratique antérieure, en utilisant notamment un lingot de masse plus élevée que pour les cuves des réacteurs actuellement en service. L'excès de carbone dans l'acier résulte de l'utilisation d'une technique de forgeage à partir d'un lingot dit « conventionnel », de fort tonnage, pour laquelle toutes les précautions n'ont pas été prises afin d'éliminer les parties en excès de carbone (à savoir les zones dites « *de ségrégation majeure positive du carbone* » ou « *zones ségrégées* » dans le lingot) : le phénomène physique de ségrégation intervient inévitablement lors du refroidissement du lingot, qui ne se réalise pas de manière homogène. Après coulée et solidification de l'acier, les lingots de grandes dimensions comportent ainsi des zones d'hétérogénéités de leur composition chimique, en particulier de leur concentration en carbone, dont il est important de maîtriser l'ampleur et la localisation.

¹ Cette anomalie a été détectée lors de la qualification technique requise au titre de la réglementation des équipements sous pression nucléaires lors d'essais mécaniques réalisés sur une calotte similaire à celles de l'EPR de Flamanville.

² Un renforcement des exigences en matière de prévention du risque d'hétérogénéité des pièces a été introduit dans la réglementation applicable aux équipements sous pression nucléaires issue de l'arrêt du 12 décembre 2005.

Démarche de justification de la résistance mécanique du couvercle et du fond de la cuve de l'EPR de Flamanville

Areva NP a proposé, en 2015, une démarche de justification de la résistance mécanique du couvercle et du fond de cuve au regard du risque de rupture brutale résultant des conditions de fonctionnement normales et accidentelles.

Cette démarche vise à démontrer que le risque de rupture brutale peut être considéré comme exclu ; la rupture de la cuve n'est en effet pas prise en compte dans la démonstration de sûreté d'un réacteur à eau sous pression. Le risque de rupture brutale existe lorsqu'il y a présence concomitante :

- ▶ d'un défaut dans le matériau dont les caractéristiques (définies par sa position, son orientation et ses dimensions) en font un défaut nocif ;
- ▶ d'un matériau insuffisamment tenace (terme caractérisant la résistance à la rupture) ;
- ▶ d'une sollicitation (on parle également de *chargement*) mécanique ou thermique important.

La démarche de justification à l'égard du risque de rupture brutale proposée par Areva NP repose ainsi sur :

- ▶ la **vérification de l'absence de défaut nocif** dans les calottes de l'EPR de Flamanville ;
- ▶ un **programme d'essais** réalisés sur des éprouvettes³ prélevées dans des calottes issues du même procédé de fabrication (calottes sacrificielles⁴), afin d'estimer les propriétés mécaniques (principalement la ténacité) des zones à forte concentration en carbone ;
- ▶ le **calcul des contraintes maximales** induites par les chargements en pression et en température dans les calottes de la cuve résultant des conditions de fonctionnement normales ou accidentelles du réacteur. Ces calculs sont réalisés par des logiciels de simulation des phénomènes thermohydrauliques, thermiques et mécaniques ;
- ▶ la **vérification que la ténacité minimale du matériau est supérieure à celle requise** pour résister aux efforts maximaux résultant des chargements en pression et en température de la cuve.

Cette démarche a fait l'objet d'une instruction conjointe de l'ASN/DEP (entité responsable de l'expertise de la fabrication des équipements sous pression au sein de l'ASN) et de l'IRSN, formalisée par un rapport commun, et d'un examen par le groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GP ESPN) le 30 septembre 2015, sur la base de ce rapport. A l'issue de ces examens, l'ASN a pris position en considérant acceptable, dans son principe, la démarche proposée par Areva NP, sous réserve de demandes à prendre en compte lors sa mise en

³ Échantillons de matière sur lesquels sont réalisés les essais.

⁴ Des essais destructifs ne sont pas réalisables sur le couvercle et le fond de la cuve du réacteur EPR de Flamanville, puisqu'ils conduiraient à les rendre inutilisables. Les essais destructifs du programme ont donc été conduits sur des échantillons prélevés dans trois pièces sacrificielles, les calottes supérieures initialement prévues pour les projets EPR aux États-Unis et en Grande-Bretagne, et la calotte inférieure prévue pour le projet EPR aux États-Unis.

œuvre. Au vu des premiers résultats d'essais, Areva NP a fait évoluer sa démarche et complété le programme d'essais.

Areva NP a transmis en décembre 2016 le dossier d'analyse des conséquences de l'anomalie couvercle et du fond de la cuve du réacteur EPR de Flamanville sur leur aptitude au service. Il conclut à l'aptitude au service des deux composants sans qu'il soit nécessaire de réaliser des contrôles de suivi en service.

Conclusions de l'expertise réalisée

Ce dossier d'Areva NP a également fait l'objet d'une instruction conjointe de l'ASN/DEP et de l'IRSN. Cet examen est formalisé dans un rapport commun qui a été présenté au GP ESPN lors de sa réunion des 26 et 27 juin 2017 afin que ce dernier rende un avis à l'ASN, préalablement à sa prise de position.

Les principales conclusions de cet examen sont les suivantes :

- ▶ contrôles de fabrication : l'ASN/DEP et l'IRSN ont confirmé, au vu des résultats communiqués par Areva NP, **l'absence de détection de défauts nocifs** (contrôles de fabrication et actions complémentaires requises à la suite du GP du 30/09/15) et la cohérence entre la taille des défauts postulés dans les analyses de mécanique d'Areva NP a été définie de manière cohérente avec les performances de ces contrôles⁵ ;
- ▶ caractérisation du matériau : la présence d'une ségrégation résiduelle du carbone est bien à l'origine de la modification des propriétés mécaniques. Le comportement observé reste toutefois celui attendu pour ce type d'acier (acier ferritique), utilisé pour la fabrication de l'ensemble des cuves des réacteurs en fonctionnement. La modification des propriétés mécaniques se traduit principalement par une augmentation de la température de transition entre le comportement fragile du matériau et son comportement ductile, de l'ordre d'une dizaine à quelques dizaines de degrés. En conséquence, le fait qu'Areva NP retienne une ténacité cohérente avec l'augmentation de la température de transition constatée à l'issue des essais réalisés est satisfaisant. EDF s'est par ailleurs engagé à réaliser un programme d'essais afin de conforter les hypothèses retenues pour tenir compte du vieillissement thermique du matériau, ce qui est satisfaisant ;
- ▶ chargements thermomécaniques : les nombreux échanges tenus au cours de l'instruction sur l'exhaustivité des situations à considérer et leur caractérisation (pression, température, débit) ont amené Areva NP à compléter son dossier initial et à consolider sa démonstration. La démarche adoptée par Areva NP pour identifier les situations à l'origine des sollicitations les plus sévères du couvercle et du fond de la cuve est au final jugée satisfaisante, de même que le caractère conservatif des chargements qui ont pu en être déduits ;

⁵ Il s'agit de s'assurer que les défauts étudiés sont plus grands que les défauts qui pourraient rester dans la pièce après les contrôles, car trop petits pour être vus. Plus le défaut est grand, plus il est susceptible de s'amorcer : étudier un défaut plus grand que ceux qui pourraient rester dans la pièce est une garantie de sécurité.

- analyse mécanique du risque de rupture brutale : les conclusions de l'analyse menée par l'ASN/DEP de l'IRSN montrent que les propriétés mécaniques du matériau en zone ségréguée sont suffisantes pour prévenir le risque de rupture brutale. Les marges obtenues, tout en étant plus faibles que celles qui seraient obtenues pour un matériau exempt de ségrégation positive de carbone, restent en effet supérieures aux critères de conception.

Les défaillances constatées sur les processus de qualification technique, l'utilisation d'un procédé de fabrication ne permettant pas de s'affranchir des risques liés à la ségrégation résiduelle en carbone et la réduction des marges pour le risque redouté de rupture brutale traduisent le fait que le premier niveau de défense en profondeur⁶ est affecté.

La démarche de justification d'Areva NP, si elle permet de démontrer la suffisance des marges, ne permet pas, seule, de restaurer l'ensemble des garanties que doit apporter ce premier niveau de défense en profondeur. **Aussi, la démarche de justification proposée par Areva NP nécessite d'être complétée par des dispositions de suivi en service permettant de renforcer la démarche d'ensemble de défense en profondeur.**

L'ASN/DEP et l'IRSN considèrent que les contrôles en service du fond et du couvercle prévus par EDF devraient être adaptés de manière à vérifier l'absence d'apparition de défaut au cours de l'exploitation de l'installation, l'installation ayant été conçue par EDF et Areva NP pour une durée d'exploitation de 60 ans. Si la faisabilité de tels contrôles apparaît acquise pour la calotte du fond de la cuve, celle-ci reste à établir pour le couvercle, compte tenu des nombreuses pénétrations présentes pour le passage des mécanismes de commande de grappes (destinées à contrôler la réaction nucléaire), l'instrumentation du cœur et le tube d'évent.

En conclusion, l'aptitude au service des calottes de cuve du réacteur EPR a été justifiée par Areva NP malgré l'anomalie constatée. Toutefois, des dispositions de suivi en service additionnelles doivent être mises en œuvre pour contrôler périodiquement ces équipements durant l'exploitation de l'installation. A défaut de pouvoir développer de tels contrôles pour le couvercle, son remplacement devrait être réalisé à l'horizon de quelques années.

Les possibilités de mise en conformité de la cuve (remplacement du fond et du couvercle de la cuve) n'ont pas été analysées dans le cadre de cet examen. Ce point sera instruit par l'ASN dans le cadre de l'élaboration de sa décision.

Dans le cadre de sa démarche d'ouverture à la société, l'IRSN a mis en place, en partenariat avec l'Association Nationale des Comités et Commissions Locales d'Information (Anccli), la Commission Locale d'information (CLI) de Flamanville et l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), un dialogue technique sur l'anomalie dans la composition de l'acier sur la cuve du réacteur EPR de Flamanville

⁶ Le principe de défense en profondeur est le principe fondamental de conception des réacteurs nucléaires. Il consiste à mettre en œuvre différents niveaux de défense successifs (caractéristiques intrinsèques, dispositions matérielles et procédures), destinés à prévenir les incidents et accidents et, en cas d'échec de la prévention, à en limiter les conséquences.

(Manche). Ce dialogue technique a pour objectif de permettre l'accès à l'expertise et des échanges sur celle-ci avec les acteurs de la société. Trois rencontres ont eu lieu en décembre 2015, avril 2016 et septembre 2016⁷, afin de revenir sur les enjeux du dossier relatif aux calottes de la cuve EPR de Flamanville et de la démarche de justification de leur aptitude au service. Une nouvelle rencontre sera organisée début juillet 2017 pour présenter et échanger sur les éléments techniques de l'instruction et des conclusions du rapport commun de l'ASN/DEP et de l'IRSN.

⁷ Plus d'informations : www.irsn.fr/dialogues-cuve-EPR