

Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires

Opérations de remise en conformité du couvercle de cuve destiné au réacteur EPR de Flamanville 3

Synthèse du rapport – séance du 14 septembre 2011

Au cours des derniers mois, deux écarts de qualité importants ont été détectés par AREVA lors de la fabrication du couvercle de cuve destiné au réacteur EPR de Flamanville 3.

À l'automne 2010, AREVA a détecté, lors d'un contrôle de fabrication, des défauts dans les soudures des adaptateurs situés sur le couvercle de la cuve. Après évaluation du dossier proposé par AREVA pour traiter cet écart, l'ASN avait autorisé la réparation de ces soudures, ce qui nécessitait le meulage puis la reprise de l'ensemble des soudures des adaptateurs.

Lors de la mise en œuvre de cette réparation, AREVA a détecté un deuxième écart : l'épaisseur de la couche de métal située sous les soudures, appelée beurrage (voir figure 2), était insuffisante au niveau d'environ 50 soudures. Cet écart concerne également des meulages réalisés au cours de la fabrication initiale du couvercle.

Pour traiter cet écart, AREVA a proposé une solution de remise en conformité de grande ampleur, impliquant la reprise de plusieurs étapes de fabrication du couvercle de cuve, ainsi que la réalisation d'opérations nouvelles. Le rapporteur considère qu'une vigilance particulière s'impose lors de la définition et de la mise en œuvre de ces étapes de réparation, afin de s'assurer que les opérations critiques sont bien identifiées et les risques associés maîtrisés.

1. Description du couvercle de cuve de l'EPR de Flamanville 3

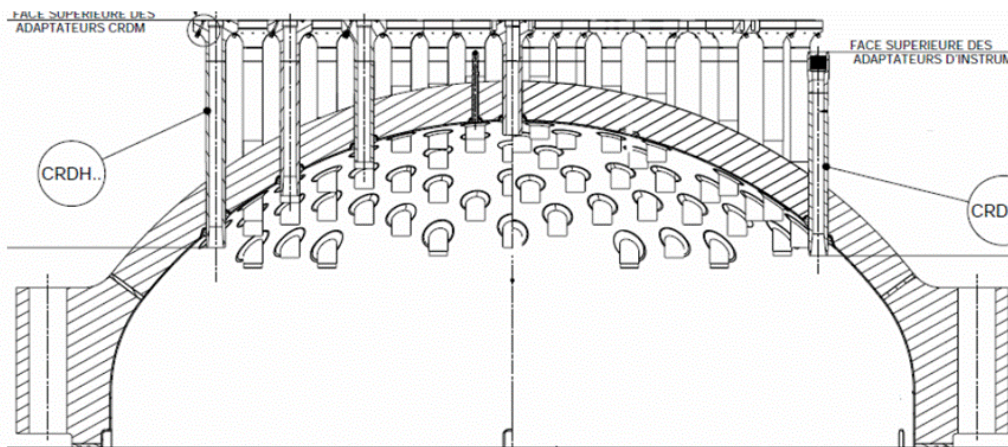


Figure 1 : schéma du couvercle de la cuve de l'EPR

Le couvercle de la cuve (voir figure 1) est composé de deux pièces jointes par soudage :

- la bride du couvercle est un anneau forgé muni d'orifices pour le passage des goujons, qui assurent la fermeture du couvercle sur le corps de la cuve. La face inférieure de la bride comporte un revêtement et est usinée pour réaliser les gorges de logement des joints assurant l'étanchéité entre le couvercle et la cuve;
- la calotte est une pièce forgée de forme partiellement sphérique dans laquelle pénètrent des adaptateurs, frettés et soudés, destinés au passage des tiges de commande de grappes de contrôle et aux gaines d'instrumentation du cœur du réacteur, le tube-guide de thermocouple sous dôme et le tube d'évent.

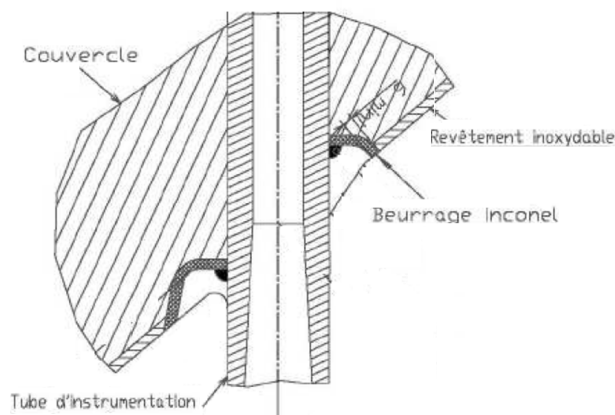


Figure 2 : schéma d'une soudure d'adaptateur

Le couvercle de la cuve de l'EPR présente un nombre d'adaptateurs importants : 105. Dans un objectif de sûreté, la totalité de l'instrumentation passe par le couvercle afin d'éliminer les pénétrations de fond de cuve par conception. L'encombrement du couvercle de la cuve de l'EPR est en conséquence plus important que celui des couvercles actuellement en exploitation.

2. Détection de défauts dans les soudures des adaptateurs

Deux contrôles sont réalisés par AREVA dans le cadre du processus de fabrication des couvercles de cuve pour s'assurer de la qualité des soudures réalisées au niveau des adaptateurs :

- un contrôle de la surface de la soudure, par ressuage, réalisé régulièrement au cours du soudage : toutes les 3 couches de soudage ;
- un contrôle par ultrasons, effectué après réalisation de l'ensemble des soudures.

Dans le cas du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3, le contrôle par ressuage n'a pas mis en évidence de défaut important. Le contrôle par ultrasons a quant à lui permis la détection de nombreux défauts de petite taille sur le couvercle, environ 6400, à l'interface entre l'adaptateur et la soudure. AREVA a attribué l'origine de ces défauts à deux facteurs :

- une évolution du mode opératoire de soudage par rapport aux couvercles (non EPR) réalisés précédemment qui a conduit notamment à la réalisation d'un remplissage de la soudure par séquences de 3 couches au lieu de deux couches de soudage et au remplacement d'opérations de meulage et de fraisage entre les couches de soudage par des opérations de brossage ;
- des conditions d'accessibilités moins bonnes liées à la géométrie du couvercle de l'EPR.

AREVA a réalisé des expertises sur plusieurs adaptateurs, représentatifs de différentes configurations géométriques et présentant un nombre élevé de défauts. Ces expertises ont permis de caractériser la nature des défauts :

- pour les plus petits d'entre eux, il s'agit d'inclusions d'oxydes liées à la composition du métal constituant la soudure ;
- les plus grands sont des inclusions de laitier dues à l'utilisation d'un procédé de soudage à l'électrode enrobée ;
- aucun défaut important dû au procédé de soudage lui-même n'a été observé.

Les expertises ont également mis en évidence la faible taille des défauts, dont plus de 90% présentaient une hauteur inférieure à 1mm. Les défauts observés dans les soudures ne présentent donc pas de nocivité particulière. En revanche, leur nombre important traduit une dérive du procédé de soudage remettant en cause la qualité de ces soudures dans leur globalité. Il était donc nécessaire de reprendre l'ensemble de ces soudures, avec des précautions renforcées.

L'expertise a également permis de noter la présence de défauts en plus grand nombre du côté le moins facilement accessible de la soudure, ce qui suggère une influence de la géométrie, et donc du design, du couvercle sur les difficultés de réalisation des soudures.

À la suite de cet écart, AREVA a défini des mesures correctives pour la réalisation de ce type de soudures, consistant notamment en des contrôles intermédiaires plus fréquents et des précautions plus importantes en matière de meulage entre les différentes couches de soudage. AREVA a également mis en place des changements organisationnels, consistant entre autres en une meilleure supervision des opérateurs.

Ces mesures correctives ont été testées au cours de la réparation de la soudure de deux adaptateurs du couvercle de cuve destiné au réacteur EPR de Flamanville 3. La qualité obtenue lors de ces réparations est apportée des garanties sur la qualité des soudures qui feront l'objet des mêmes mesures. Le rapporteur note cependant que cette soudure ne fait pas l'objet d'un contrôle volumique à 100% et souligne que le contrôle ultrasonore mis en place est utilisé en limite de performance. AREVA s'est engagé à améliorer le procédé actuellement disponible. Le rapporteur considère que le caractère suffisant du contrôle ultrasonore pour garantir, en complément des autres contrôles et précautions de réalisation, la qualité des soudures devra être démontrée par AREVA. Le rapporteur considère en outre que les études doivent se poursuivre pour améliorer ces procédés de contrôle.

3. Mise en évidence de beurrages d'épaisseur insuffisante

Au cours d'opérations de meulage (affouillement) réalisées dans le cadre de la réparation des soudures des adaptateurs présentant des indications, AREVA a réalisé des mesures dimensionnelles en vue de vérifier l'épaisseur de beurrage résiduelle après meulage. Ces mesures complètent les dispositions prises pour garantir que la profondeur d'affouillement est correcte. Celles-ci reposent sur l'utilisation d'un gabarit correspondant au profil théorique du beurrage.

Ces mesures dimensionnelles ont mis en évidence une épaisseur résiduelle de beurrage inférieure à l'épaisseur minimale requise. La garantie d'une épaisseur de beurrage suffisante est en effet nécessaire pour rester dans le domaine de qualification de la soudure, qui garantit sa qualité de réalisation. Lorsque des soudures sont réalisées sur un beurrage d'épaisseur insuffisante, il est possible de générer des fissures dans le métal de base du couvercle de la cuve, sous le beurrage. Une réparation et un contrôle approfondi des beurrages concernés sont donc nécessaires.

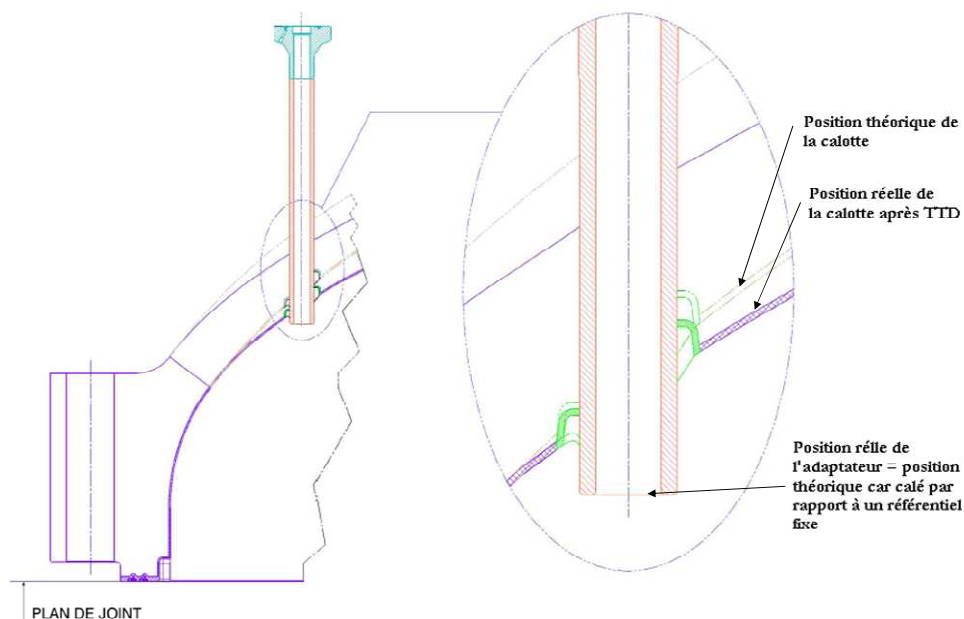


Figure 3 : déformation du couvercle lors de la fabrication

L'analyse de cet écart a montré que les légères déformations du couvercle au cours de sa fabrication, lors du soudage des deux parties principales du couvercle et du traitement thermique¹ qui suit (voir figure 3) n'avaient pas été prises en compte pour l'utilisation des gabarits, ce qui a conduit à un meulage trop profond.

Cet écart s'est produit lors des opérations d'affouillement réalisées en vue de reprendre les soudures présentant des défauts mais également lors des opérations de meulage réalisées lors de la fabrication initiale du couvercle, avant soudage des adaptateurs.

4. Remise en conformité complète du couvercle

À la suite de la détection de cet écart, AREVA a défini une solution de remise en conformité de grande ampleur du couvercle de cuve destiné à l'EPR de Flamanville 3 qui consiste en :

- l'élimination de l'ensemble des adaptateurs et des soudures ;
- le meulage des beurrages d'épaisseur insuffisante ainsi que des deux premiers millimètres de métal sous ce beurrage ;
- la réalisation de nouveaux beurrages ;
- la réalisation d'un traitement thermique pour détensionner les soudures réalisées ;
- le remplacement des anciens adaptateurs par de nouveaux adaptateurs ;
- le soudage de ces adaptateurs, après mise en place de mesures correctives prenant en compte le retour d'expérience tiré de l'observation d'indications dans les soudures initialement réalisées.

Les premières phases de cette remise en conformité, que sont l'usinage des adaptateurs et des soudures, ont déjà été mises en œuvre par le passé sans qu'aucun écart important ne soit à signaler. Cependant, les autres étapes de la réparation sont des opérations qui s'éloignent des procédés mis en œuvre lors de la fabrication « usuelle » des couvercles de cuve et doivent, à ce titre, faire l'objet d'une attention particulière.

A la demande de l'ASN, AREVA a donc réalisé un travail d'identification des risques susceptibles d'être associés à chaque étape de la réparation. Pour chacun de ces risques, AREVA a proposé des mesures destinées à maîtriser le procédé de réparation, en se rapprochant autant que possible des conditions usuelles de fabrication et a proposé la réalisation de contrôles intermédiaires afin de détecter les éventuelles dérives des procédés. Le rapporteur considère que les dispositions présentées par AREVA doivent être complétées sur certains points (voir ci-après). AREVA s'est engagé à réaliser les travaux associés.

Lors des opérations d'usinage des adaptateurs et des soudures, la maîtrise de la géométrie et du positionnement du couvercle est un enjeu important. AREVA doit donc préciser les modalités permettant de s'assurer du bon positionnement du couvercle lors de ces opérations. AREVA devra également définir plus précisément les contrôles qui seront réalisés en précisant notamment leur nature exacte, leur incertitude de mesure, leur fréquence et les critères d'acceptabilité associés ainsi que les actions envisagées en cas de dérive constatée des procédés d'usinage.

Lors de la réalisation du beurrage, il sera nécessaire pour AREVA de s'assurer que sa qualité et son épaisseur sont satisfaisantes. La réalisation des opérations de beurrage s'accompagnera de contrôles qui devront permettre de détecter d'éventuelles dérives du procédé. La nature exacte de ces contrôles, leur incertitude de mesure, leur fréquence et les critères d'acceptabilité doivent également être plus clairement définis par AREVA.

¹ Le traitement thermique de dimensionnement est une opération consistant à chauffer la pièce afin de relâcher les contraintes mécaniques créées en cours de fabrication.

Par ailleurs, la géométrie du couvercle sur lequel seront effectuées les réparations diffère de la géométrie d'un couvercle au cours de sa fabrication « usuelle ». En effet, la présence des alésages des adaptateurs au lieu d'un simple pré-trou rend les conditions de réalisation du beurrage plus difficiles. Afin de valider la qualité des opérations prévues, AREVA doit s'appuyer sur des procédés qualifiés et réaliser des essais sur maquette afin de prendre en compte toutes les spécificités du procédé de réparation.

Un nouveau traitement thermique sera également réalisé. Ses conditions de réalisation (durée et température) doivent être définies afin de s'assurer qu'il assurera son rôle de détensionnement des soudures et que sa durée ne remettra pas en cause les propriétés mécaniques du couvercle. Par ailleurs, des mesures préventives doivent être mises en place afin de limiter les déformations du couvercle lors de cette opération. AREVA s'est engagé à définir les modalités permettant de minimiser ces déformations. AREVA a également proposé la réalisation d'un rechargement préventif de certaines zones qui permettra, après traitement thermique, de disposer d'une réserve d'épaisseur permettant de rétablir les dimensions précises requises pour ces parties du couvercle, dites cotes « fonctionnelles ». Le choix d'AREVA de limiter cette démarche à certaines zones jugées les plus critiques doit faire l'objet de justifications appropriées qu'AREVA s'est engagé à transmettre à l'ASN.

AREVA doit enfin transmettre une analyse permettant de justifier la résistance mécanique du couvercle réparé en prenant en compte les hypothèses les plus pénalisantes envisagées au cours de la réparation. AREVA s'est engagé à fournir des éléments en préalable à l'usinage des beurrages et à réaliser ensuite une analyse mécanique complète.

Sous réserve de la prise en compte de ces engagements lors des opérations concernées, le rapporteur considère qu'AREVA peut engager la réparation du couvercle avec la méthode proposée.

5. Analyses complémentaires

L'ASN considère que l'observation de nombreuses indications dans les soudures des adaptateurs du couvercle de cuve doit conduire AREVA à se réinterroger sur les conditions de réalisation et de contrôle de ce type de soudure ainsi que sur le domaine de validité des qualifications des modes opératoires de soudage et sur d'éventuelles évolutions du design des couvercles de cuve.

Par ailleurs, l'ASN a demandé à AREVA et EDF de s'assurer que des défauts ayant pour origine la mauvaise utilisation d'un gabarit, tels que ceux constatés sur le couvercle du réacteur EPR de Flamanville, n'ont pu être générés sur des couvercles du parc en exploitation, lors de reprises effectuées sur leurs soudures ou leur beurrage.

6. Conclusion

Sous réserve de la fourniture par AREVA des compléments demandés, avant réalisation des opérations concernées, le rapporteur estime acceptable que la remise en conformité du couvercle soit engagée suivant la méthode de réparation proposée. Cependant, afin d'apporter toutes les garanties sur la maîtrise de l'ensemble des opérations avant la mise en œuvre de chacune des étapes de la réparation, le rapporteur considère nécessaire qu'AREVA démontre, en réalisant notamment une analyse de risques et des procédures opérationnelles détaillées prenant en compte les demandes formulées:

- que l'ensemble des risques liés à la réparation ont été identifiés, que les mesures préventives adaptées ont été mises en place et que les procédures correspondantes sont disponibles ;
- que des contrôles adaptés ont été définis afin de détecter toute dérive du procédé de réparation et qu'aucune opération n'est susceptible de conduire à une remise en cause des exigences essentielles de sécurité ou de radioprotection, définies par la réglementation, qui ne pourrait être détectée de façon certaine.

Le rapporteur considère que la mise en œuvre du procédé de réparation proposé par AREVA doit s'accompagner d'une surveillance accrue par l'ASN et l'organisme notifié et agréé mandaté par elle pour

contribuer à l'évaluation de conformité de la cuve du réacteur EPR de Flamanville 3. À ce titre, et afin d'assurer une surveillance adaptée aux enjeux liés à la remise en conformité de ce couvercle, le rapporteur considère que les éléments permettant de garantir la maîtrise de chacune des étapes de la réparation et le caractère adapté de la surveillance réalisée devront avoir été établis et examinés avant chaque étape de la réparation.

Le rapporteur précise que l'acceptabilité, sur le principe, de la méthode de remise en conformité du couvercle de cuve ne préjuge pas de l'acceptabilité du couvercle finalement réparé qui ne pourra être évaluée qu'après la mise en œuvre de l'ensemble des étapes de la réparation et des contrôles associés. En particulier, le rapporteur considère qu'AREVA devra s'assurer de l'absence de défauts dans le couvercle de la cuve sous les beurrages dont l'épaisseur est insuffisante, faute de quoi le principe de la remise en conformité devra être réexaminé.