

## Défauts de fabrication sur la cuve du réacteur EPR de Flamanville-3

**Auteur:** Yves Marignac, Directeur de WISE-Paris

*E-mail : yves.marignac@wise-paris.org / Mobile : +33.(0)6.07.71.02.41*

### Résumé

Les défauts de fabrication détectés fin 2014 sur le couvercle et le fond de la cuve du réacteur EPR (European Pressurized Water Reactor) en construction à Flamanville-3 sont susceptibles, de par leur taille et leurs caractéristiques, de remettre sérieusement en cause la tenue mécanique de ces pièces essentielles pour la sûreté, et par là même l'ensemble de la démonstration de sûreté du réacteur.

La raison pour laquelle un phénomène bien connu d'hétérogénéité n'a pas été maîtrisé par Areva lors du forgeage de ces pièces dans son usine du Creusot reste à investiguer. La raison pour laquelle les défauts ont été détectés ou rendus publics si tardivement, bien après que la cuve soit en place dans le bâtiment réacteur, devra aussi être examinée.

Justifier la sûreté de la cuve défectueuse constitue désormais un défi majeur pour le fabricant Areva et pour l'exploitant EDF. La seule alternative à la production d'une démonstration acceptable consiste à réparer ou remplacer les équipements défectueux, ce qui apparaît difficilement réalisable et particulièrement coûteux dans le cas du fond de cuve. Par conséquent, c'est bien l'avenir de l'ensemble du projet Flamanville-3 qui est remis en question.

Au niveau international, d'autres réacteurs EPR en construction ou en projet semblent être concernés. Au moins une part des quatre pièces que constituent les couvercles et fonds de cuve des EPR de Taishan-1 et -2, en Chine, est ainsi en cause. Des pièces similaires qui ont pu être produites par avance pour d'autres projets, dont Hinkley Point-C en Grande-Bretagne, pourraient également être touchées.

---

Le 7 avril 2015, l'Autorité de sûreté nucléaire française (ASN) a publié un communiqué<sup>1</sup> annonçant la découverte de défauts de fabrication de la cuve du réacteur EPR de Flamanville-3, rapidement confirmée par un communiqué commun du fabricant Areva et de l'exploitant EDF<sup>2</sup>. Quelques précisions ont été données par l'ASN le 8 avril dans une note d'information<sup>3</sup>. La synthèse qui suit s'appuie sur ces éléments ainsi que sur des compléments d'information obtenus lors d'échanges par mail et par téléphone avec l'ASN par WISE-Paris les 9 et 10 avril, et quelques recherches additionnelles.

### Importance de la cuve pour la sûreté du réacteur

La cuve du réacteur, qui abrite la réaction de fission du combustible nucléaire, est l'un des équipements les plus cruciaux pour la sûreté d'un réacteur nucléaire. Ceci est d'autant plus vrai dans le cas du réacteur EPR en construction à Flamanville : avec une capacité nominale de 1.650 MWe, sa cuve est conçue pour contenir plus de combustible – et donc plus de potentiel de danger – que n'importe quel autre réacteur dans le monde. En particulier, l'exclusion de toute rupture de la cuve constitue un point majeur de la démonstration de sûreté. Compte tenu des conditions extrêmes rencontrées par la cuve en termes de charge mécanique, hydraulique, thermique et radioactive, des exigences de robustesse mécanique très fortes sont imposées à la cuve. La pression et la température de dimensionnement sont respectivement de 176 bar et de 351°C.

La cuve du réacteur EPR est un cylindre d'environ 12,7 mètres de hauteur et 5,7 mètres de diamètre (7 mètres en incluant les tubulures), formé essentiellement de cinq composants : trois tores appelés viroles, dont celui placé en position haute porte les tubulures connectant la cuve aux boucles du circuit primaire, plus le fond de cuve, sont soudés pour former le corps de la cuve, refermé par un

---

<sup>1</sup> ASN, « Anomalies de fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville », 7 avril 2015 :

<http://www.asn.fr/Informer/Actualites/EPR-de-Flamanville-anomalies-de-fabrication-de-la-cuve>

<sup>2</sup> Areva / EDF, « EPR de Flamanville : poursuite des essais de qualification de la cuve », 7 avril 2015 :

<http://www.areva.com/FR/actualites-10490/epr-de-flamanville-poursuite-des-essais-de-qualification-de-la-cuve.html>

<sup>3</sup> ASN, « Précisions techniques sur les anomalies de fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville », 8 avril 2015 :

<http://www.asn.fr/Media/Files/Precisions-techniques-sur-les-anomalies-de-fabrication-de-la-cuve-de-l-EPR-de-Flamanville>

couvercle séparé. Chacun de ces composants forgés, ainsi que l'ensemble des soudures, font l'objet d'exigences spécifiques.

Le problème rendu public le 7 avril 2015 concerne le couvercle et le fond de cuve, deux pièces plus petites que les viroles principales de la cuve. Alors que ces dernières ont, du fait de leur taille supérieure aux capacités des forges d'Areva, été fabriquées par Japan Steel Works (JSW) – dans la seule forge au monde capable de couler des lingots de la taille nécessaire aux plus gros composants de l'EPR –, le couvercle et le fond ont été forgés par Areva dans son usine du Creusot (l'ensemble de la cuve étant ensuite assemblé par Areva).

### Nature des défauts

Le couvercle de cuve est constitué d'une bride forgée, et d'une calotte en forme de section sphérique, d'épaisseur 23 cm environ, traversée par des tubes soudés. Le fond de cuve est constitué d'une calotte forgée de forme similaire mais de moindre épaisseur (environ 14,5 cm), soudée par l'intermédiaire d'un anneau de transition aux viroles principales. Le corps ainsi constitué de la cuve pèse environ 410 tonnes, tandis que le couvercle pèse environ 116 tonnes.

Les pièces concernées sont toutes composées d'acier 16MND5. Le défaut constaté est une ségrégation, c'est-à-dire une concentration accrue de carbone dans l'acier dans certaines zones des calottes du couvercle et du fond, due à l'élimination insuffisante lors du forgeage de la partie haute du lingot, où ce carbone tend à se concentrer. La raison pour laquelle un phénomène aussi bien connu n'a pas été maîtrisé constituera, selon l'ASN, une partie importante de l'instruction à mener.

Ce défaut a été mis en évidence lors de tests pratiqués en octobre 2014 : ces examens destructifs ont consisté à prélever sur un couvercle « témoin », fabriqué dans les mêmes conditions, une carotte centrale pour mesurer la concentration de carbone, et des échantillons calibrés, appelés éprouvettes, pour mesurer les qualités mécaniques du matériau. Les résultats constatés sur ce couvercle sont les suivants.

- La concentration en carbone atteint 0,30 % dans la zone centrale de la pièce forgée. La teneur de la coulée est pourtant, selon les règles de fabrication applicables, choisie pour assurer que les variations inévitables de concentration dans la pièce restent partout inférieures à 0,22 %, qui est la limite supérieure fixée dans le Code technique applicable et qui correspond à la valeur maximale pour laquelle les tests, les études et le retour d'expérience permettent de qualifier les propriétés mécaniques de l'acier 16MND5 au niveau attendu. En d'autres termes, comme le souligne l'ASN, la concentration trouvée au cœur de la zone ségrégée sort donc significativement du domaine connu.
- La concentration en carbone affecte les propriétés mécaniques du matériau, exprimées en termes de ductilité du matériau (sa capacité à se déformer sans se rompre) et d'autre part de ténacité (sa capacité à résister à la propagation d'une fissure). Celle-ci est mesurée par un test de résilience (la capacité du matériau à absorber l'énergie d'un choc, exprimée en Joules). Les tests pratiqués sur plusieurs éprouvettes représentatives de la zone ségrégée ont montré une résilience comprise entre 36 J et 64 J, pour une moyenne des résultats de 52 J. La valeur moyenne fixée par la réglementation pour ces pièces est de 60 J. Compte tenu des marges prises à la fabrication, la valeur de résilience attendue sur une telle pièce, et obtenue sur la zone non ségrégée est supérieure à 100 J.
- La zone ségrégée est une zone concentrique d'environ 1,20 mètre de diamètre située sur la surface externe du couvercle comme du fond de la cuve. La profondeur de cette ségrégation reste à déterminer.

Le couvercle et la cuve de Flamanville-3 ayant été fabriqués dans les mêmes conditions, il est extrêmement probable qu'ils présentent des défauts très similaires, même si le degré de transposabilité des résultats fait partie des éléments à analyser. De plus, des examens chimiques non destructifs réalisés sur ces deux composants ont confirmé la présence de tels défauts.

### Chronologie

L'ASN a reçu de la part d'Areva une première information sur les résultats de ces tests en décembre 2014. Ces essais destructifs faisaient partie de la procédure de qualification par l'autorité des composants d'équipements sous pression nucléaires (ESPN) que tout fabricant doit respecter avant leur mise en exploitation (indépendamment de l'autorisation de mise en service qui doit être obtenue par l'exploitant).

Le couvercle et le fond de la cuve de l'EPR de Flamanville-3 semblent avoir été forgés dès 2006 (c'est-à-dire avant même l'obtention de l'autorisation de création d'un nouveau réacteur à Flamanville, délivrée par un décret en avril 2007).

Des défauts majeurs sur le couvercle de la cuve, d'une nature différente du problème en cause aujourd'hui, ont été identifiés par Areva à l'automne 2010 et en juin 2011. Le premier concerne les soudures d'adaptateurs, le second concerne les soudures de plus de 50 traversées du couvercle (sur plus de 107 traversées au total). En octobre 2011, l'ASN a autorisé Areva à procéder à une opération de reprise et réparation poussée de ces défauts, plutôt qu'à remplacer le couvercle. Bien qu'une partie des traversées se situe probablement dans la zone ségréguée, le processus de réparation, qui est en voie d'achèvement, s'est apparemment déroulé sans identifier le problème de ségrégation, ni en tenir compte.

Aucun problème de soudure de ce type n'ayant été soulevé concernant le corps de la cuve, celui-ci a été livré sur le site de Flamanville en octobre 2013 et mis en place en janvier 2014. Pourtant le programme d'essais destructifs nécessaire dans le cadre de la qualification du couvercle et du fond de cuve n'a été proposé à l'ASN par Areva qu'en septembre 2012. Enfin, les tests qui ont mis en évidence la zone ségréguée n'ont été réalisés qu'en octobre 2014.

Rien n'explique pour l'instant pourquoi le processus industriel est allé jusqu'au positionnement du corps de la cuve dans le puits de cuve puis à la poursuite pendant plusieurs mois de la construction des ouvrages de génie civil et de montage des circuits autour de cette cuve, alors même que les essais de qualification en cause n'avaient pas commencé. Ceci questionne à la fois la raison pour laquelle Areva n'a pas repéré ce problème majeur plus tôt dans le processus, et la raison pour laquelle EDF a décidé de procéder au montage alors que cette qualification n'était pas complète. L'ASN a confirmé que l'explication du caractère tardif des tests fera pleinement partie de son investigation.

### **Enjeu réglementaire**

Au terme de sa construction, le réacteur EPR de Flamanville-3 devra obtenir une autorisation d'exploitation, délivrée par l'ASN dans le cadre du régime des installations nucléaires de base (INB), avant d'entrer en service commercial. Avant cette autorisation, tous les équipements sous pression nucléaires (ESPN) de l'installation, au premier rang desquels la cuve du réacteur, doivent obtenir la certification de l'ASN dans le cadre d'une réglementation spécifique, qui a été renforcée en 2005. Bien que le décret de 2005 autorise à titre dérogatoire l'application des exigences antérieures pendant une période de cinq ans, l'ASN a spécifié que les exigences issues de la réglementation de 2005 s'appliquent pleinement, dans la mesure où Areva n'a jamais demandé à bénéficier de cette dérogation pour les équipements de l'EPR.

La réglementation exige que le fabricant démontre que la cuve respecte toutes les spécifications mécaniques, dont la résilience est une composante importante. Concernant les pièces concernées par les défauts, la réglementation impose à Areva soit de démontrer que le couvercle et le fond de la cuve respectent les critères mécaniques, inclus la résilience de 60 J en moyenne, soit de justifier par d'autres moyens qu'un niveau équivalent de sûreté est atteint.

Il est donc en théorie possible que la cuve défectueuse puisse obtenir la certification par le biais d'une démonstration de sûreté alternative. La nature et la taille des défauts constatés rendent toutefois la construction de cette démonstration, si elle est possible, très difficile. Il faut par ailleurs noter que dans la mesure où le couvercle et le fond de cuve sont soumis en exploitation ou en situation accidentelle à des contraintes différentes, l'évaluation de l'impact des défauts sur leur sûreté n'aboutira pas nécessairement aux mêmes conclusions sur les deux pièces. En particulier, les traversées du couvercle de cuve, destinées au passage de dispositifs de contrôle et d'instrumentation, introduisent des faiblesses potentielles au niveau des soudures, tout en augmentant les contraintes mécaniques. Le fond de cuve, à l'inverse, ne comporte aucune traversée (ce qui constitue en fait une nouveauté importante de la conception de l'EPR, par rapport aux réacteurs français précédents qui comportent des pénétrations de fond de cuve).

La première étape du processus de réévaluation devrait consister en une nouvelle série de tests, qui a déjà été annoncée. Areva a proposé à l'ASN un programme d'essais qui reste à détailler et que celle-ci doit encore approuver. Ce programme devrait principalement s'appuyer sur de nouveaux essais destructifs sur le couvercle témoin qui a déjà été utilisé. Ces nouveaux essais viseront plus spécifiquement

que la première campagne à caractériser de manière détaillée les défauts. Areva devra également renforcer la justification du caractère transposable de ces résultats au couvercle et au fond de cuve effectivement en place à Flamanville-3. Bien que ce programme soit encore soumis à des discussions, la ministre de l'Écologie a d'ores et déjà annoncé que les résultats en seront présentés en octobre 2015. L'ASN examinera ensuite l'ensemble des justifications apportées par Areva sur la base de ces résultats. Il est trop tôt pour savoir si ces résultats seront conclusifs, dans un sens ou dans l'autre, et dans quel délai l'ASN sera en mesure d'arrêter une position définitive.

Des questions pourraient également se poser sur le statut juridique de la décision qui en découlera, et sur la manière dont elle pourrait être attaquée par les industriels concernés ou par des opposants au projet, en fonction de son orientation. En particulier, l'obtention d'un éventuel feu-vert après une telle modification de la démonstration pourrait être sujette, selon la nature de cette modification et son interprétation, à une nouvelle procédure d'autorisation comportant une enquête publique. Par ailleurs, dans un tel contexte, des questions importantes risquent de se poser sur la responsabilité respective des autorités et des industriels, en cas d'abandon du projet comme de démarrage du réacteur.

### **Solutions alternatives**

Si Areva échoue à produire une justification alternative conclusive pour compléter le dossier de sûreté, alors la seule alternative envisageable pour obtenir l'autorisation de mise en service sera de réparer ou de remplacer les pièces défectueuses. La fabrication d'un nouveau couvercle de cuve serait tout à fait possible – moyennant la résolution du problème à l'origine du défaut actuel. Concernant le fond de cuve, il apparaît très improbable de trouver une solution en séparant le fond du corps de la cuve pour le réparer ou le remplacer séparément, ou de le réparer in situ. Toute solution de réparation ou de remplacement conduirait ainsi presque certainement à devoir évacuer le corps de la cuve. Une telle opération serait sans précédent et générerait des défis techniques très difficiles, compte tenu de l'état d'avancement de la construction et de l'absence d'espace dans le bâtiment réacteur.

Les obstacles techniques à franchir par toute solution éventuelle de réparation ou de remplacement du fond de cuve, et les questions majeures et inédites qu'elle soulèverait du point de vue de la sûreté, entraîneraient de fortes incertitudes et des coûts très élevés. Les alternatives techniquement réalisables, s'il en existe, soulèveront d'importantes questions de rentabilité. En d'autres termes, l'évaluation économique des scénarios correspondants pourrait conclure que l'abandon du projet est moins coûteux que la réparation ou le remplacement, surtout si l'on prend en compte des facteurs tels que les coûts financiers associés à de nouveaux délais importants, ou les économies réalisées sur les coûts futurs du démantèlement si le réacteur devait ne pas démarrer.

### **Implications internationales**

La question se pose également des impacts potentiels sur d'autres projets de réacteurs EPR où des défauts similaires pourraient être mis en évidence. Il n'existe aujourd'hui pas de raison particulière de penser que des couvercles ou fonds de cuve qui ont été forgés par Japan Steel Works ont connu les mêmes problèmes. Ceci concerne notamment les pièces utilisées pour la cuve du réacteur EPR d'Olkiluoto en Finlande, qui n'est donc pas directement concerné.

En revanche, les mêmes défauts sont attendus sur les couvercles et fonds qui ont été forgés au Creusot pour d'autres réacteurs EPR. Bien qu'on ne sache pas encore clairement combien et lesquels des deux couvercles et des deux fonds de cuve des réacteurs chinois de Taishan-1 et -2, il est confirmé par l'ASN qu'au moins deux parmi ces quatre pièces ont été forgées au Creusot. Des questions pourraient dès lors se poser, au cours de l'instruction parallèle de cet événement, sur la cohérence des évaluations techniques et des décisions prises par les autorités de sûreté en France et en Chine.

Il conviendra également de clarifier rapidement si d'autres couvercle(s) ou fond(s) de cuve ont déjà été forgés dans le cadre d'anticipations de commandes, notamment pour le projet de deux réacteurs EPR de Hinkley Point-C en Grande-Bretagne, voire pour le projet de Jaïtapur en Inde, et dans ce cas s'ils ont été ou non forgés au Creusot selon le même procédé que ceux de Flamanville-3.