

## Historique des calottes de cuve FA3

---

Ce document présente les éléments concernant l'historique de la conception, de la fabrication et de la justification des calottes de la cuve de Flamanville 3.

Pour tenter d'éviter les anachronismes, il s'efforce d'examiner quelles étaient les priorités, les connaissances et les pratiques dans les différentes périodes concernées.

La jurisprudence technique et réglementaire développée depuis la publication de l'arrêté ESPN ainsi que les connaissances actuelles, fondées en particulier sur la réalisation de tests sur un certain nombre de pièces de forge depuis le début des années 2010 (« pièces sacrificielles »), ont significativement modifié la perception et l'appréciation de ces questions, par rapport à l'état de l'art et de la pratique du début des années 2000.

L'évolution du référentiel s'est faite progressivement et son appréhension a pu en être inhomogène, au sein d'organisations complexes et diverses.

Les priorités relatives aux caractéristiques des calottes ont porté sur les zones soumises aux plus forts chargements mécaniques, aux zones de soudure et aux zones où doit être posé le revêtement en inox (face interne de la cuve et du couvercle), car elles présentent les enjeux de sûreté les plus significatifs.

La zone centrale externe des calottes ne revêtant pas la même priorité, la traçabilité des choix et justifications était par essence moins développée. L'analyse historique ne peut donc atteindre le même niveau d'exhaustivité que sur d'autres sujets techniques.

De manière factuelle, ce document reprend le détail des dates et événements des fabrications et des échanges de courriers avec l'ASN DEP. Il intègre aussi les échanges avec l'exploitant.

Il n'aborde pas le programme d'essais en cours, destiné à vérifier les caractéristiques mécaniques des calottes de Flamanville 3 et à se prononcer sur leur aptitude à l'emploi.

## 1. HISTORIQUE DE LA FORGE DU CREUSOT

---

L'histoire industrielle du Creusot remonte à 1782 et la réputation mondiale de ce site a été bâtie par la famille Schneider à partir du milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle.

Ce groupe familial, qui fut un acteur majeur du développement industriel français (mines, sidérurgie, métallurgie), donna naissance à Creusot Loire en 1973.

Le dépôt de bilan de Creusot Loire, en 1984, a conduit à la séparation des activités du groupe. L'aciérie, la tôlerie, la fonderie et la forge du Creusot furent en 1985 intégrés au groupe Usinor, dans la société Creusot Loire Industrie (devenue depuis Industeel).

La forge a été filialisée le 1<sup>er</sup> avril 2001 puis cédée à France Essor (détenu à 95% par Yves Bolloré), le 1<sup>er</sup> août 2003. Elle a finalement intégré le groupe AREVA le 8 septembre 2006.

La forge a souffert, dans les années quatre-vingt-dix et la première moitié des années deux mille, d'investissements limités en matière de R&D et de préparation de l'outil de production aux enjeux futurs. Y a aussi contribué la séparation entre l'aciérie et la forge, entraînant une moindre proximité entre la forge et les compétences de métallurgie localisées à l'aciérie, ainsi qu'une vague de départs significative dans les années deux mille.

Une reprise des investissements et un mouvement de reconstitution des compétences ont été engagés à partir du rachat de la forge par AREVA. Ceci s'est traduit par des efforts significatifs dans les domaines de la sécurité au travail (priorité après le rachat), des fours de traitement thermique, des bâches de trempe, des moyens d'usinage (numérisation des machines par exemple), des presses (rénovation des deux presses puis investissement dans une nouvelle presse) et des moyens de forgeage (bras manipulateur), etc. Les effectifs ont crû de 70% entre 2006 et 2009.

La coulée des calottes de Flamanville 3 est concomitante du rachat de la forge par AREVA et donc antérieure à son intégration opérationnelle dans le groupe.

## 2. CONCEPTION DE LA CUVE

---

La conception de la cuve s'est déroulée sur la période 1995 – 2003.

Elle s'est concentrée sur les points jugés les plus significatifs pour la sûreté, sur lesquels des progrès importants ont été réalisés grâce à un travail conséquent :

- Réduction du flux neutronique sur les viroles de cuve grâce à la mise en place d'un réflecteur lourd entre le cœur et la cuve ainsi qu'à une plus grande épaisseur d'eau ;
- Suppression des traversées en fond de cuve (instrumentation par le couvercle) et conception des traversées de couvercle résultant de ce choix ;
- Brides de tubulures plus favorables au soudage et au contrôle des soudures (soudures « set-on » au lieu de « set-in ») ;
- Suppression d'une soudure à la jonction de la virole porte-tubulure et de la bride de cuve (ensemble forgé en une seule pièce) ;
- Matériaux : baisse des teneurs en soufre et en phosphore ; Inconel 690.

Cette conception s'est placée dans une tendance de fond visant, depuis les années quatre-vingt-dix, à limiter le nombre des soudures des composants primaires et à rendre les soudures subsistantes plus aisément contrôlables, en forgeant des pièces plus grosses.

Ceci répondait d'ailleurs à un objectif exprimé par la réglementation (règles techniques de 1999) : « Il convient notamment, de façon proportionnée à l'importance pour la sûreté et aux sollicitations qu'ils subissent, de ... limiter le nombre des soudures, et en particulier les soudures longitudinales et les soudures dans les zones notablement soumises à l'irradiation. »

Ainsi furent produits des fonds de générateurs de vapeur (GV) intégrant les pieds de l'appareil, des dômes de GV en une seule pièce intégrant la tubulure d'échappement de la vapeur, des couvercles de cuve monobloc dispensant d'une soudure entre la calotte et la bride<sup>1</sup>, des tubulures primaires intégrant des piquages forgés, etc.

Deux couvercles monoblocs furent forgés au Creusot en 2003, destinés à Cruas et Chinon (900 MWe). La question du forgeage d'un couvercle monobloc pour l'EPR a été examinée. Approfondir cette possibilité faisait d'ailleurs partie des principales recommandations de la réunion de la Section Permanente Nucléaire du 5 Janvier 2006 concernant la conception du couvercle de Flamanville 3 : « le rapporteur recommande néanmoins d'approfondir l'analyse

<sup>1</sup> Les couvercles de cuve sont usuellement constitués d'une calotte (partie bombée) et d'une bride, soudées entre elles. La bride permet le boulonnage du couvercle sur la cuve, au moyen de goujons.

de la faisabilité industrielle de la solution « couvercle monobloc » qui présente l'avantage de supprimer un joint soudé ».

Cette solution n'a in fine pas été retenue, l'équipement de l'usine Saint-Marcel de Chalon ne permettant pas, à l'époque, de revêtir un couvercle de cette dimension fait en une seule pièce.

L'attention était prioritairement portée aux caractéristiques métallurgiques et mécaniques des zones potentiellement sensibles à la rupture brutale et des zones à souder ou revêtir.

Cette attention se reflète dans les spécifications définies par AREVA et approuvées par EDF. Si celles-ci prévoient l'application de l'arrêté ESPN, elles ne comprennent pas d'exigences spécifiques et explicites concernant les propriétés en partie centrale externe des calottes.

La documentation technique et de spécification de la cuve de l'EPR avait par ailleurs été produite par AREVA antérieurement à la commande de Flamanville 3, dans le cadre de travaux de préparation d'un éventuel projet en Chine. Un dossier de commande avait été préparé ; les standards et la documentation technique correspondaient à ceux définis pour les EPR français. Le jeu documentaire a ensuite été réaffecté au jeu de forgés de Flamanville 3.

Cette réaffectation a fait l'objet d'un examen approfondi par AREVA et EDF. Celui-ci s'est conclu par une revue technique conjointe, en 2006, qui a estimé que les spécifications et processus d'approvisionnement de ces forgés permettaient de respecter les exigences s'appliquant au projet de Flamanville 3. A la suite de cette réunion, avant la coulée des calottes, EDF a donné son accord à cette réaffectation.

### **3. CHOIX DES FOURNISSEURS**

---

Les pièces forgées constituent des approvisionnements pour la fabrication de la cuve. Le fabricant de la cuve, en l'occurrence AREVA, passe commande à un forgeron, Le Creusot ou JSW par exemple. Le choix du forgeron relève du fabricant et il est approuvé par l'exploitant.

La politique industrielle générale consiste à pouvoir faire appel à plusieurs fournisseurs pour une même pièce, dans une optique de sécurité des approvisionnements à long terme.

Une seule pièce de la cuve de l'EPR ne peut être approvisionnée que chez un seul fournisseur : au plan mondial, seul JSW dispose des moyens industriels aptes à forger la bride porte tubulure, innovation de l'EPR permettant d'éviter une soudure entre viroles.

La politique d'achat s'attache aussi, dans la mesure du possible, à faire émerger ou maintenir une source d'approvisionnement française pour l'ensemble des pièces.

Les forgerons retenus pour la cuve et les tuyauteries primaires de Flamanville 3 ont été :

- JSW pour les viroles et la bride du couvercle,
- Creusot Forge pour les tubulures primaires et les calottes supérieures et inférieures.

Ce schéma d'approvisionnement fut acté en septembre 2005, en tenant compte notamment des plans de charge et des calendriers de fabrication, tant chez JSW que chez Creusot Forge.

## 4. CHOIX DE LA GAMME DE FABRICATION

Le choix et la mise au point du mode de fabrication relèvent du forgeron. La gamme de fabrication choisie pour la calotte de couvercle s'appuyait sur un lingot dit conventionnel.

Plusieurs techniques avaient historiquement été employées pour forger les calottes de cuve :

- Palier 900 MWe (1973 – 1987) : emboutissage d'un disque à partir de tôles épaisses produites en laminoir.
- Palier 1300 Mwe (1977 – 1993) : emboutissage d'un disque à partir de tôles plus épaisses laminées au Japon (fabrication JSW) puis à partir de disques forgés au Creusot, issus de lingots à solidification dirigée. Ce type de lingot, dit LSD, avait été développé afin de limiter la ségrégation et de retrouver des caractéristiques d'homogénéité se rapprochant de celles des tôles laminées (qualification en 1978).
- Palier N4 : (1984 – 1999) : idem.
- Couvercles de remplacement du palier 900 Mwe : idem fabrication initiale dans un premier temps, puis quatre couvercles monoblocs furent forgés, deux par JSW puis deux par Le Creusot, à partir de plus gros lingots dits « lingots conventionnels », remplaçant ainsi le lingot LSD (2006-2007). Les couvercles monoblocs dispensent d'une soudure entre la bride et la calotte, soudure qui se trouve par ailleurs dans la zone du couvercle mécaniquement la plus chargée.
- Couvercles de remplacement 1300 MWe : idem fabrications initiales.

Le choix d'un lingot conventionnel pour les calottes de l'EPR pouvait apparaître en contradiction avec les efforts faits dans le début des années 1980 de réaliser des lingots LSD visant à éliminer des ségrégations mais il s'inscrivait dans la tendance générale à l'augmentation de la taille des pièces, motivée par la réduction du nombre de soudures et supposant un plus grand recours à ce lingot, significativement plus gros que le lingot LSD.

Les codes RCC-M ou ASME laissaient d'ailleurs une ouverture à la réalisation de pièces ne présentant pas un taux de carbone uniforme, en fonction de leur domaine d'utilisation, c'est à dire lorsqu'il pouvait être montré que la zone n'était pas sensible la rupture brutale au vu de ses chargements mécaniques et des possibilités d'apparition de défauts la caractérisant. Ceci apparaît implicitement dans le code ASME, par exemple, qui fixe une exigence de maintenir les teneurs en carbone en dessous de 0,25% dans la partie des calottes extérieure au mi- rayon et ne fixe pas d'exigence sur le taux de carbone en partie centrale de la pièce.

Il a été jugé que le lingot LSD ne pouvait pas être employé pour le couvercle de l'EPR car de taille insuffisante pour assurer, suivant les gammes de forgeage du Creusot, un bon taux de corroyage<sup>2</sup> de cette pièce plus épaisse que les précédents couvercles<sup>3</sup>.

Le choix d'un lingot conventionnel était par ailleurs dans la continuité de l'expérience récente de la fabrication des deux couvercles monoblocs pour le parc en exploitation.

<sup>2</sup> Le taux de corroyage mesure le degré de déformation de la pièce sous l'effet du forgeage. C'est en effet le travail de déformation par l'action de forgeage qui donne au métal la grande qualité qui caractérise les produits de forge, en refermant les éventuels défauts liés à la coulée, tels que les criques ou cavités, en affinant la structure métallurgique et en accroissant les propriétés mécaniques de l'acier. Plus une pièce est grosse par rapport au volume initial de métal, moins la déformation sera importante avant d'atteindre la forme définitive de la pièce et plus bas sera le taux de corroyage.

<sup>3</sup> Par rapport au palier N4, le couvercle de l'EPR est significativement plus épais afin de pallier le plus grand nombre de traversées, l'instrumentation passant par le couvercle et non plus par le fond de la cuve, ainsi qu'un bombement moindre.

Pour la calotte inférieure de la cuve, dont les dimensions proches de celle du N4 auraient vraisemblablement permis d'utiliser un lingot LSD, Creusot Forge a décidé d'appliquer la même gamme de fabrication que pour le couvercle, par souci de standardisation industrielle.

Sur la base de ce choix, Creusot Forge établit un Programme Technique de Fabrication (PTF).

Le PTF a ensuite été soumis, suivant les modalités en vigueur, au département métallurgie et spécifications de l'usine AREVA de Saint-Marcel (le client des forgés), au département matériaux et technologie de l'ingénierie parisienne d'AREVA puis à EDF.

Plusieurs échanges et mises à jour du PTF ont eu lieu entre les acteurs, sans remise en cause de la gamme de forgeage à partir d'un lingot conventionnel ni demande de mesures de qualification technique supplémentaires concernant l'homogénéité et les caractéristiques du matériau hors zones sensibles, zones de soudage ou zones de recette.

La mise au point et la révision du PTF se sont déroulées au premier semestre 2006, après quoi il a été transmis à la DEP (27 juin 2006).

La DEP a levé le point d'arrêt de fabrication le 22 août 2006 et EDF Ceidre le 28 août. La calotte supérieure a été coulée le 5 septembre 2006 et la calotte inférieure le 23 janvier 2007.

Le paragraphe 7 décrit la chronologie détaillée de l'élaboration des calottes.

## **5. SYNTHÈSE DES ÉCHANGES AVEC L'ASN DEP ET DU PROCESSUS DE QUALIFICATION TECHNIQUE**

---

L'instruction du dossier des calottes de cuve FA3 s'est déroulée dans le cadre plus global de la définition des principes et modalités de la qualification techniques au sens de l'ESPN puis, dans un second temps, de la prise en compte des ségrégations pour les pièces dites « écrasées » (calottes de cuve ; dômes, fonds et plaques tubulaires de GV).

### **a) Coulée et forgeage des calottes**

La réglementation ESPN ne définit pas explicitement les jalons de validation et le fait de devoir ou non imposer certaines étapes en préalable à telle ou telle opération ; ceci a été défini au fur et à mesure ; les règles sont aujourd'hui clarifiées.

La fourniture d'un dossier de qualification jugé recevable, en préalable aux coulées de pièces de forge, a par exemple été imposée à partir de janvier 2008.

La coulée des forgés de la cuve de Flamanville 3 étant antérieure à cette décision, le démarrage des gestes de fabrication n'a pas été soumis par l'ASN DEP à la fourniture préalable d'un dossier de qualification technique ; la fabrication a donc pu commencer et avancer indépendamment des discussions sur la qualification technique.

Le Programme Technique de Fabrication a toutefois, selon l'usage, été transmis au BCCN avant coulée du lingot et début des opérations de forgeage.

### **b) Discussion des modalités génériques des qualifications techniques**

Les premiers échanges relatifs aux Qualifications Techniques ont débuté mi 2005, avant même la publication de l'arrêté ESPN, dans le cadre de l'évaluation de la faisabilité de la réutilisation, pour le projet FA3, des qualifications dites M140 du RCC-M.

Au cours de l'été 2006, le BCCN a posé un certain nombre de questions relatives aux approvisionnements anticipés de la cuve de FA3, dont une sur la manière d'apporter la preuve de l'homogénéité des propriétés mécaniques des calottes (lettre du 21 août).

Il a été répondu (lettre AREVA du 27 novembre) que ceci ferait l'objet des dossiers de Qualification Techniques, dont le contenu allait se discuter dans les semaines à venir, dans le cadre de la définition des modalités d'application de l'ESPN.

A cette époque, AREVA est convaincu que les qualifications M140 du RCC-M répondent aux attentes de l'ESPN et considère que les calottes vont répondre aux exigences du RCC-M.<sup>4</sup>

La question de la preuve de l'homogénéité des calottes de la cuve de Flamanville 3 est donc reportée à l'issue des discussions génériques sur les dossiers de qualifications techniques.

Début 2007, en réponse à une proposition faite par AREVA fin 2006, l'ASN/DEP transmettait un contenu type de « Dossier de Qualification Technique ». Compte tenu, du caractère novateur de la démarche, il a alors été retenu de lancer un cas test sur la virole intermédiaire de FA3. Celui-ci a été transmis en juin 2007.

Lors de la réunion de restitution d'instruction, début novembre 2007, l'ASN/DEP reconnaissait une amélioration importante du dossier, par rapport aux documents précédents.

Cette période s'est par ailleurs caractérisée par le très grand volume de questions et de points difficiles à faire converger quant aux modalités d'application de l'ESPN (analyses de risques, défauts inacceptables, paramètres essentiels de fabrication, etc). Ceci contribue à expliquer que la convergence sur les modalités de qualification technique n'ait eu lieu que tardivement et que le dialogue approfondi sur les pièces individuelles ait été différé.

En septembre 2009 sont clarifiés l'ensemble du processus de qualification technique au sens de l'ESPN, ses modalités pratiques d'application et le rôle de chacun. Dans les semaines qui ont suivi, AREVA proposait une nouvelle version de la note de Synthèse de Qualification Technique (SQT) qui allait être testée, avec succès, en janvier 2010, avec la coulée de la virole A/B de Penly 3.

Les dossiers et courriers des années suivantes montrent que le fabricant distinguait les pièces qui seraient fabriquées dans le futur, devant suivre la pleine démarche de qualification ESPN, et les pièces déjà forgées, qui pourraient faire l'objet d'un processus de justification à posteriori. Cette distinction entre pièces « en antériorité » et pièces futures est importante pour éclairer les modalités de qualification proposées et appliquées pour les calottes, déjà forgées.

### c) Qualification technique des calottes

Fin 2009, une fois clarifiée la doctrine de la qualification technique, les problématiques techniques et métallurgiques reprennent leur place au centre des discussions.

Ainsi la question de l'homogénéité des pièces dites « écrasées » revient au premier plan. La particularité de ces pièces réside dans le fait que des zones concernées par la présence de ségrégations majeures résiduelles, pouvant affecter les propriétés mécaniques, ne peuvent pas être caractérisées par des essais de recette ou de qualification sans « sacrifice » de pièce.

<sup>4</sup> Cette démarche pouvait être confortée par la recommandation suivante de la SPN de 2005 : « *dans l'hypothèse où la solution du couvercle monobloc ne pourrait pas être mise en œuvre et compte tenu des évolutions dimensionnelles du couvercle de l'EPR par rapport aux couvercles de rechange approvisionnés chez le forgeron Creusot Forge, le Projet devra préciser si la qualification technique, telle qu'exigée dans le projet d'arrêté relatif aux ESPN, peut être supportée, en partie, par la qualification des couvercles de rechange établie suivant le chapitre M140 du code RCC-M* ».

Actant que les qualifications techniques des pièces « écrasées » allaient, dans le cadre de l'ESPN, exiger des modes de preuve plus détaillés que ceux précédemment requis hors zones sensibles, une revue technique interne était organisée en mars 2010. Le plan d'actions en découlant était lancé deux mois plus tard :

- simulation numérique de solidification et de forgeage,
- travail de redéfinition de la qualité attendue,
- modèle prédictif de propriétés mécaniques.

Celui-ci devait, entre autres, permettre d'étayer le futur dossier de Qualification Technique des calottes de la cuve de Flamanville 3. Ces actions ont été présentées à la DEP, à plusieurs reprises au cours de l'année 2010, les 17 juin, 13 juillet et le 30 novembre.

\*\*\*

Entretemps, AREVA avait produit plusieurs versions des Synthèses de Qualification Technique des calottes : qualifications M140 du RCC-M et deux versions ESPN, la dernière début avril 2010. Celle-ci abordait, de manière succincte, l'homogénéité des calottes en partie centrale externe, estimant qu'après usinage, seules des ségrégations résiduelles demeurerait, assurant des propriétés mécaniques conformes.

Ce jugement pouvait s'appuyer sur la connaissance de l'époque en matière de ségrégation des lingots conventionnels et sur l'estimation du positionnement de la pièce dans le lingot<sup>5</sup>.

La connaissance des lingots conventionnels reposait notamment sur l'expertise détaillée d'une plaque tubulaire, forgée à partir d'un lingot dit 2400 (la valeur indique le diamètre), au début des années quatre-vingts. Elles pouvaient aussi se référer, en matière de calottes, au forgeage de deux couvercles monoblocs pour le parc (900 MWe), dont les résultats de résilience obtenus sur une carotte en partie centrale étaient satisfaisants.

Il est apparu depuis que les lingots conventionnels utilisés de nos jours semblent présenter une ségrégation sensiblement supérieure au lingot 2400 examiné dans les années quatre-vingts, phénomène qui n'avait pas été prévu<sup>6</sup>. Il est aussi constaté que la ségrégation en tête de lingot est un phénomène potentiellement plus variable qu'escompté.

L'évolution de ces connaissances s'est faite progressivement, grâce aux données acquises sur les pièces sacrificielles réalisées depuis 2011. Il y a donc eu, du point de vue technique, un élément de surprise dans les résultats obtenus ultérieurement (carotte dans la calotte UA supérieure, dite UA sup, dont les résultats ont été communiqués en 2014 : cf infra), même si, avec le recul, certains indices ou certaines données auraient pu susciter un questionnement plus précoce des phénomènes pouvant de manière générale affecter la ségrégation des lingots conventionnels et celle des calottes en particulier.

<sup>5</sup> Il est aussi à noter que la valeur de résilience à prendre en compte dépend, dans l'arrêté ESPN, de la résistance mécanique du métal: « Les matériaux à structure ferritique (...) présentent (...) une énergie de flexion par choc sur éprouvette ISO V à 0 °C supérieure ou égale à 40 J (...). La limite de 40 J est portée à 60 J pour les matériaux dont la résistance à la traction à température ambiante est supérieure ou égale à 600 MPa ». Pour une cuve fabriquée en acier 16MND5, il pouvait être anticipé des exigences correspondant à la gamme basse de résistance mécanique. Ce n'est qu'ultérieurement que la valeur de 60J a dû s'imposer, tous réalisant que la teneur en carbone à la coulée (0,18%) et un positionnement des pièces, en forge, plutôt haut dans le lingot conduisaient à des caractéristiques de traction supérieures au seuil de 600 MPa.

<sup>6</sup> Les lingots conventionnels ont évolué : légère augmentation du diamètre (passage du lingot 2400 à un lingot 2550) et augmentation sensible du poids moyen, le poids de chaque lingot variant suivant les besoins de la pièce (de 110 t à 190t)

En ce qui concerne la calotte inférieure, ce jugement s'appuyait de surcroît sur la teneur en carbone relevée en partie centrale externe de la pièce de qualification (0,19%).

\*\*\*

De manière générique, il était en janvier 2011 acté que, faute de disposer d'un modèle prédictif étalonné avec un ensemble suffisant de données expérimentales issues d'examens destructifs de pièces de forge, il serait recouru à des pièces sacrificielles.

Début février 2011, une seconde revue avait été organisée au sein d'AREVA. Il y était décidé qu'une calotte sacrificielle fonderait la qualification technique du projet de Penly 3.

En mars 2011, l'ASN/DEP demandait une « note d'antériorité » pour les dossiers de qualifications techniques des pièces coulées avant janvier 2008. L'objet de cette note était d'identifier l'ensemble des différences entre les qualifications techniques M140 réalisées au titre du RCC-M et celles découlant des modalités d'application de l'arrêté ESPN.

Fin août 2011, AREVA transmettait ce document à la DEP. Cette première version du document n'incluait pas des calottes.

#### **d) Le GP ESPN du 23 novembre 2011**

En juillet 2011, le fabricant ayant indiqué que les valeurs de l'arrêté pourraient ne pas être atteintes dans certaines zones de pièces qui allaient être fabriquées et demandant d'examiner les possibilités de décote des caractéristiques mécaniques (redéfinition de la qualité attendue), la DEP avait décidé de saisir le GP ESPN.

AREVA transmettait, le 28 septembre 2011, un dossier en préparation de ce GP.

Ce dossier se concentrait de toute évidence sur les futures fabrications et qualifications techniques et n'abordait pas les dossiers antérieurs. Ainsi, les calottes de la cuve de Flamanville 3 n'y figuraient pas. Néanmoins, le dossier comporte un tableau concernant les pièces de Penly 3, à venir, pour lesquelles une décote de la qualité attendue était à prévoir. Les calottes de cuve y figurent : la résilience attendue passe de 80 Joules (spécification) à 60.

En matière de pièces écrasées, ce dossier se concentrait essentiellement sur les plaques tubulaires, dont la très forte épaisseur limite l'efficacité de la trempe au cœur de la pièce, laissant augurer une baisse des propriétés mécaniques<sup>7</sup>. Ce phénomène n'était a priori pas jugé concerner, ou dans une bien moindre mesure, les calottes de la cuve, moins épaisses.

Le dossier traitait aussi des fonds primaires des GV de remplacement, sensiblement plus épais, également, que le couvercle et le fond de la cuve.

Lors du GP ESPN du 23 novembre 2011, il était acté que les valeurs réglementaires devaient être vérifiées en valeurs individuelles et non seulement moyennes.

Le GP avait aussi considéré que la démonstration de l'atteinte des caractéristiques spécifiées par l'arrêté devait être recherchée en tout point, y compris lorsqu'il pouvait être montré que la zone n'était pas sensible à la rupture brutale au vu des chargements mécaniques et des possibilités d'apparition de défauts. Le GP avait également défini la marche à suivre pour

---

<sup>7</sup> La plus forte diminution de propriétés mécaniques n'est de ce fait pas constatée dans la zone de concentration en carbone la plus élevée. Celle-ci connaît même des propriétés conformes aux valeurs de l'arrêté.



statuer sur l'aptitude au service d'une pièce dans laquelle l'état de l'art ne permettrait pas, en dehors des zones sensibles, de justifier le respect en tout point des valeurs de l'arrêté ESPN<sup>8</sup>.

La lettre de suite de l'ASN/DEP, transmise le 17 février 2012, confirmait l'avis du GP ESPN.

Cette possibilité de demander et justifier une décote de la qualité attendue, ouverte par le GP ESPN, n'a pas été utilisée pour les calottes de Flamanville 3, corroborant que la prévision faite à l'époque était que les calottes ne poseraient pas de problèmes liés à la ségrégation et que la qualification de ces pièces en antériorité pourrait être acquise.

#### e) Poursuite des qualifications techniques

Le fond et les modes de preuve des qualifications techniques des calottes inférieure et supérieure diffèrent quelque peu.

En février 2012, AREVA mettait à jour son document relatif à l'antériorité des pièces de Flamanville 3 coulées avant janvier 2008, pour y intégrer les calottes **inférieures**.

AREVA proposait que leur qualification technique soit acceptée en l'état, au vu des résultats de la qualification M140 (dont une valeur de concentration de carbone de 0,19% en tête, au centre), sans complément spécifique à la zone centrale.

Par ailleurs, les caractéristiques mécaniques mesurées, dans les semaines précédentes, sur une carotte prélevée au centre d'un fond primaire sacrificiel de GV de remplacement, avaient respecté les valeurs réglementaires. Le fond primaire de GV étant réputé enveloppe des calottes, car plus épais et forgé dans les mêmes conditions, ce résultat confortait le dossier de la calotte inférieure.

En juillet 2012, compte tenu que, d'une part, les mesures de carbone réalisées en cours de fabrication de la calotte **supérieure** donnaient 0,27% en tête, et, d'autre part, que la calotte dite UA supérieure<sup>9</sup> était devenue disponible, il était proposé de prélever une carotte dans l'axe de celle-ci, pour compléter le dossier de la calotte supérieure.

La « note d'antériorité » de la calotte supérieure était dans cette perspective mise à jour en septembre. Elle s'appuie sur le jugement de la SQT de 2010 suivant lequel l'usinage devait éliminer la ségrégation, conforté, là aussi, par les résultats de la carotte du fond primaire de GV de remplacement sacrificiel, pour estimer que les caractéristiques mécaniques de la calotte supérieure respecteraient les valeurs réglementaires<sup>10</sup>. La carotte de la calotte UA sup est considérée comme un complément à la qualification.

<sup>8</sup> Démarche qui est en train d'être appliquée par le programme d'essai en cours, en particulier fondée sur la détermination et l'analyse des ténacités.

<sup>9</sup> La calotte UA supérieure était destinée à un projet d'EPR aux Etats-Unis. Elle avait ensuite été réservée comme pièce de remplacement en cas d'échec de la réparation du couvercle de Flamanville 3. En juillet 2012, à la suite d'échanges avec l'ASN/DEP après l'abandon du scénario de secours, il a été décidé que la calotte UA supérieure serait utilisée pour compléter la justification par antériorité de la conformité des calottes.

<sup>10</sup> Il est ultérieurement apparu, en mars 2016, que cette carotte prélevée au centre du fond primaire sacrificiel de GV n'interceptait pas la ségrégation qui affectait la pièce et que d'autres mesures réalisées sur cette pièce étaient de nature à attirer l'attention sur l'étendue et le niveau exacts que peuvent atteindre les ségrégations dans ces pièces. En effet, dans le cadre d'un programme de R&D visant à développer un modèle numérique de prédiction de la ségrégation et des propriétés mécaniques des pièces forgées, MOPPEC, un programme de caractérisation supplémentaire avait été mené sur la carotte centrale et sur une carotte excentrée de 250 mm. L'information et étant destinée à des équipes différentes et ayant été traitée dans des contextes différents, le lien possible entre les essais de R&D et les essais réalisés pour la qualification technique n'a pas été fait à l'époque ; il ne l'a été que

Il est à noter que ces documents ne citent pas la carotte du couvercle UA sup comme un complément à la qualification de la calotte inférieure.

La DEP donne le 15 octobre 2012 son autorisation à l'opération de carottage du couvercle UA sup et celle-ci est effectuée le 12 novembre 2012.

Ce n'est qu'en septembre 2014 que la carotte UA sup fut exploitée, après de nombreux échanges sur les modalités de réalisation des éprouvettes ; les résultats en furent communiqués en octobre et novembre, à EDF puis à l'ASN.

#### **f) Synthèse de la démarche de qualification des calottes de cuve de Flamanville 3**

Il ressort donc, de la période des échanges sur la qualification technique des calottes :

- Que les spécifications du contrat passé avec Creusot Forge en 2005 pour commander les calottes de cuve de Flamanville 3 ne comportaient pas d'exigences particulières et explicites concernant la partie centrale et externe.
- Que le passage d'un lingot LSD à un lingot conventionnel n'a pas déclenché de questionnement plus approfondi sur la ségrégation en partie centrale externe ni de complément de qualification.
- Que l'expérience jugée positive des couvercles monoblocs de remplacements forgés peu de temps auparavant par Le Creusot a pu conforter ceci.
- Que, dans la gestion des qualifications techniques, l'attention ne s'est pas prioritairement portée sur la partie centrale externe des calottes de la cuve de Flamanville 3, d'une part, parce qu'elles ne font pas partie des zones sensibles, et, d'autre part, parce que ces pièces étaient « en antériorité » par rapport aux modalités de qualification technique progressivement établies en application de l'arrêté ESPN.
- Que l'appréciation technique n'anticipait pas à l'époque une ségrégation de nature à s'interroger sur les caractéristiques mécaniques en zone centrale externe des calottes.

Cette appréciation se fondait en particulier sur le dépouillement d'un lingot conventionnel au début des années quatre-vingts ainsi que sur les résultats jugés satisfaisants d'éprouvettes prélevées lors de l'alésage des couvercles monoblocs.

- Que celle-ci a semblé confirmée par de bons résultats obtenus sur une carotte prélevée au centre d'un fond primaire sacrificiel de GV de remplacement. Ce résultat a servi à conforter le dossier de qualification technique de ces calottes « en antériorité ».

Or les faibles résiliences mesurées en d'autres points de cette même carotte ainsi sur une autre carotte de ce même fond sacrificiel, dans le cadre d'un programme de R&D et à destination d'équipes différentes, sont jusqu'à très récemment (mars 2016) restées inconnues des équipes établissant les dossiers de qualification technique.

- Qu'à aucun moment une décote de la qualité attendue des calottes n'a été annoncée ni demandée, alors que ceci était possible, comme suite au GP ESPN de novembre 2011.
- Que, pour Areva, la calotte inférieure était qualifiée au vu des résultats produits dans le cadre de la qualification M140, confortés par les bonnes résiliences obtenues sur la carotte du fond primaire sacrificiel d'un GV.

---

début 2016 quand des investigations complémentaires ont été conduites à la suite de résultats de mesures de carbone sur les fonds primaires des GV de remplacement RP3.

- Que la carotte UA sup a été considérée comme un complément au dossier de qualification de la calotte supérieure. Celui-ci se fondait sur le jugement que l'usinage avait ôté l'essentiel de la ségrégation, étayé par les données de la carotte du fond primaire de GV. En complément, une concentration de carbone ayant été mesurée à 0,27% en tête, il avait été jugé utile de faire des essais sur une carotte de la calotte UA sup afin d'étayer définitivement que l'usinage avait ôté l'ensemble de la ségrégation.

Il n'a pas été fait de lien entre cette carotte UA sup et la qualification de la calotte inférieure, les mesures de carbone y ayant été basses en tête avant usinage.

- Qu'il est apparu progressivement, grâce aux différentes pièces sacrificielles réalisées à partir de 2010, que la ségrégation dans les lingots conventionnels peut être sensiblement plus élevée que celle qui avait été cartographiée dans le lingot dit 2400 examiné en détail dans les années quatre-vingts. Le lingot conventionnel a en effet progressivement évolué en diamètre (lingot 2550) et en poids au cours des années, sans que l'influence de ces paramètres sur la ségrégation n'aient fait l'objet d'investigations poussées. Les résultats des couvercles monoblocs ont pu y contribuer.

De plus, il est apparu que le positionnement de certaines pièces dans le flanc forgé ainsi que l'augmentation des teneurs en carbone spécifiées à la coulée ont joué un rôle défavorable vis-à-vis de la ségrégation en partie centrale externe.

Il y a donc eu, du point de vue technique, un élément de surprise dans les résultats obtenus en 2014 (calotte UA sup), même si, avec le recul, certains indices ou certaines données auraient pu susciter un questionnement plus précoce des phénomènes pouvant affecter la ségrégation des lingots conventionnels et des calottes de cuve.

- Que la qualification technique définitive et l'aptitude au service des calottes seront prononcées au vu des résultats du programme d'essais en cours.

#### **g) Livraison et installation de la cuve**

L'accord de l'ASN DEP est nécessaire pour réaliser l'épreuve hydraulique d'un équipement ; cet accord porte en particulier sur la recevabilité des notes de qualification technique. Cet accord a été donné par l'ASN DEP pour le corps de cuve le 22 février 2012, par une lettre adressée à l'APAVE, responsable du suivi et de la validation de l'épreuve hydraulique.

Ainsi, l'épreuve hydraulique du corps de cuve a eu lieu le 26 juillet 2013 et l'Apave l'a validée. Du point de vue de la réglementation des appareils à pression, plus rien ne s'opposait alors à l'expédition et à l'installation du corps de cuve sur le site de Flamanville 3.

L'ASN DEP avait néanmoins soumis à son autorisation l'expédition et le montage de la cuve, pour s'assurer des conditions de transport, de manutention, de stockage sur site, de propreté du chantier et de montage (« ESPN sur site ») ainsi que de la bonne réalisation d'opérations qui ne pourraient ensuite plus être reprises (Examen Visuel Final, relevé des cotes critiques).

Les échanges ont sur ces points aussi été longs, très approfondis, les réunions nombreuses et les questions multiples et minutieuses. Beaucoup d'énergie y a été consacrée pendant plusieurs mois. (A la même époque, la réparation du couvercle, délicate et de haute technicité, concentrait également une grande part de l'attention et des ressources).

Cette autorisation fut délivrée le 6 septembre 2013 par l'Organisme notifié agréé.

Le corps de cuve a été expédié le 6 septembre 2013, arrivé sur le site le 7 octobre 2013, puis installé dans le bâtiment réacteur de FA3 en janvier 2014.

## 6. HISTORIQUE DETAILLE ET TRAÇABILITE DES ECHANGES AVEC L'ASN DEP

Dates	Evènement
05/01/2006	Réunion SPN portant sur la conception du couvercle de Fa3. Rapport BCCN.
24/08/2005	Lettre AREVA NFQS2005-335 précisant les modalités retenues par AREVA sur le contenu des « Positions Constructeur » portant sur le principe de fabrication et de qualification des pièces pour l'EPR France.
12/12/2005	Emission de l'arrêté relatif aux ESPN incluant l'exigence de qualification technique.
21/08/2006	Courrier BCCN SG/MFG-DEP-SD5-0345-2006 portant sur l'analyse des documents de qualification technique des approvisionnements anticipés de la cuve EPR, destinée à FLAMANVILLE, avec en particulier pour les calottes la demande N°10 d'indiquer la façon de s'assurer de l'absence de singularité dans la zone centrale de la calotte et <b>de l'homogénéité</b> des caractéristiques mécaniques entre le centre et la rondelle d'essais
27/11/2006	Courrier AREVA NQS-F-2006.0885 apportant les premiers éléments de réponse au courrier SG/MFG-DEP-SD5-0345-2006 du 21/08/2006. En ce qui concerne la demande N°10 du courrier ASN-DEP portant sur l'homogénéité des caractéristiques mécaniques, une analyse de la démarche retenue et une justification est annoncé avec une révision de la «Position constructeur ». Courrier AREVA NQS-F-2006-0936 complétant le courrier précédent et donnant les principes retenus pour la qualification technique.
27/11/2006	Courrier AREVA NQS-F 2006. 0936 Proposition de sommaire de « Dossier de Qualification Technique.
29/01/2007	Courrier PM/MFG-DEP-DEP-0041-2007 de l'ASN-DEP qui définit le contenu type d'un « Dossier de Qualification Technique.
26/03/2007	Courrier AREVA N° NQS-F/2007.0230 répondant au courrier ASN-DEP PM/MFG-DEP-DEP-0041-2007 sur le contenu des dossiers de qualification technique et indiquant que la démarche préconisée par l'ASN est lourde à mettre en œuvre et qu'un premier dossier tel que demandé sera présenté pour validation de la démarche à la fin avril 2007.
08/06/2007	Courrier AREVA N° NQS-F/2007.0426 transmettant le premier dossier de qualification technique sous le modèle demandé par l'ASN-DEP courrier PM/MFG-DEP-DEP-0041-2007.
04/07/2007	Courrier ASN-DEP N° SG/MFG-DEP-DEP-0279-2007 relative aux modalités d'application des nouvelles QT devant être lancé à partir de l'année 2008.
16/07/2007	Courrier de l'ASN PM/CB-DEP-DEP-0300-2007 indiquant les pièces de série ne doivent pas être lancées avant l'achèvement de la pièce de qualification, et les pièces de qualification n'auraient pas dû être lancées avant d'avoir élaboré le dossier de qualification et en particulier l'analyse de risque.
20/07/2007	Réunion ASN-DEP/AREVA portant sur la structure et le contenu des dossiers de qualification technique et l'analyse du dossier de qualification transmis comme exemple par le courrier NQS-F/2007-0426. CR NQS-F/2007.0528 rév B.
09/10/2007	Courrier AREVA NQS-F2007-0704 actant des modalités d'application pour les pièces de QT à partir du 01/01/2008 qui sont définies dans le courrier ASN SG/MFG-DEP-DEP-0279-2007.

Dates	Evènement
06/11/2007	Réunion ASN-DEP/AREVA portant sur les éléments des SQT apportant la démonstration que le niveau d'homogénéité des propriétés souhaitées, en tout point de la pièce, est compatible avec la qualité attendue. Cas examiné : Virole intermédiaire de GV de FA3. DEP reconnaît une amélioration importante du dossier.
12/12/2007	Lettre ASN-DEPN° SG/MFG-DEP-DEP-0550-2007 indiquant que le dossier DS076 révision B de la calotte de couvercle ne constitue pas le dossier de synthèse de QT car il n'apporte aucune démonstration de l'homogénéité des résultats obtenus sur la calotte. – CR NQS-F/2007.0767
11/03/2008	Transmission par bordereau au BCCN des positions constructeur : <ul style="list-style-type: none"> <li>- SQT NEEM-F-08.204 révision A relative à la calotte de fond de cuve</li> <li>- SQT NEEM-F-08-211 révision A relative à la calotte de couvercle de cuve.</li> </ul>
12/03/2008	Courrier AREVA NQS-F/2008.0220 listant les points durs sur les SQT : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Défauts inacceptables</li> <li>- Justification de la localisation des éprouvettes</li> <li>- Mesure et critère H2 dans les PTF</li> <li>- Impositions sur les méthodes d'analyses chimiques (EN 17025)</li> <li>- Représentativité de l'analyse de coulée dans le cas d'utilisation de plusieurs poches</li> <li>- Justification de l'utilité des empreintes Baumann</li> <li>- Référence des lingotières dans le cas des lingots creux</li> <li>- Qualité attendue</li> <li>- Balancement de la pièce dans l'ébauche de forge</li> <li>- Incertitude liées à la détermination des résultats de résilience</li> <li>- Absence d'essais de résilience en tête</li> <li>- Justification de l'aspect pénalisant des essais de résilience en sens travers.</li> <li>- Enregistrement des paramètres essentiels</li> </ul>
11/04/2008	Lettre ASN-DEP N°JCVH/MFG-DEP-DEP-0167-2008 relative aux dossiers de qualification technique et indiquant que la proposition AREVA faite par le courrier NQS-F/2008-0220 du 12 mars 2008 est incomplète, l'ASN-DEP dresse donc une liste de demandes supplémentaires.
16/09/2008	Courrier AREVA NQS-F/2008.0744 apportant des compléments d'information suite aux remarques de l'ASN-DEP sur la non recevabilité des dossiers de QT
18/09/2008	Réunion ASN-DEP/EDF/AREVA portant sur le contenu des SQT – CR NQS-F/2008.0758
20/10/2008	Réunion ASN-DEP/AREVA portant sur la définition, l'analyse et l'identification des paramètres influents – CR NQS-F/2008.0866
03/03/2009	Courrier DEP-0138-2009 Evaluation de conformité des viroles coniques de GV FA3. Irrecevabilité du dossier.
20/03/2009	Courrier AREVA NQS-F/2009.0342 donnant les éléments de réponses aux lettres de suite d'inspection de l'ASN-DEP au Creusot DEP-DEP-0118-2008 et DEP-DEP-0737-2008
02/04/2009	Réunion ASN-DEP/AREVA portant sur la recevabilité des dossiers de qualification technique de GV/RO– CR NQS-F/2009.0522
19/05/2009	Réunion ASN-DEP/AREVA sur le projet FA3 avec un point particulier sur les QT, la DEP demande de fournir la liste des pièces soumises et propose de

Dates	Evènement
	découpler le sujet défaut inacceptable du traitement des SQT. CR NQS-F/2009.0665.
03/08/2009	Transmission par bordereau à la DEP : - de la SQT de la calotte de couvercle NEEL-F-DC-91 révision A - de la SQT du fond de cuve NEEL-F-DC-92 révision A.
14 au 18/09/2009	Inspection DEP. Lettre ASN N° DEP-DEP-0614-2009 – CR de la surveillance des fabrications des ESPN – Une demande sur les principes de définition de la liste des pièces soumises à qualification technique et une demande sur l'amélioration des dossiers de qualification technique (processus et partage des responsabilités fabricant et fournisseur de matériau).
06/10/2009	Réunion ASN-DEP/AREVA portant sur la démarche de qualification technique – CR DEP-DEP-0649-2009. Réunion collaborative.
14/12/2009	Echange oral AREVA DEP (S. Limousin). Interrogation sur la géométrie des Fonds primaires GV RO/RP (pièces écrasées).
29/01/2010	Réunion ASN-DEP/AREVA/JSW sur le contenu des SQT, la définition et le contrôle des paramètres essentiels, l'analyse de risque d'hétérogénéité. CR NEEM-F 10 0174 révision A
26/03/2010	Revue technique interne AREVA sur pièces écrasées.
01/04/2010	Réunion ASN-DEP/EDF/AREVA/JSW sur le contenu des SQT améliorées suite aux relevés de décision du séminaire ASN/AREVA du 05/01/2010.
09/04/2010	Transmission par bordereau à la DEP : - de la SQT de la calotte de couvercle NEEL-F-DC-91 révision B - de la SQT du fond de cuve NEEL-F-DC-92 révision B.
05/2010	Lancement d'un plan d'action AREVA Pièces écrasées.
03/05/2010	Lettre AREVA PTSI2010-197 faisant l'analyse des dossiers de QT des pièces élaborées avant 2008 et dressant les écarts par rapport aux attendus de l'ASN-DEP énoncés lors du séminaire de janvier 2010. En ce qui concerne les calottes de cuve il est identifié une absence de caractérisation mécanique par rapport au risque d'hétérogénéité lié à la solidification du lingot et à celui d'hétérogénéité lié au TTQ.
11/06/2010	Lettre ASN-DEP N° CODEP-DEP-2010-030581 indiquant les améliorations aux modèle de SQT proposée par le courrier AREVA PTSI/2010-0146 du 25 mars 2010.
17/06/2010	Réunion ASN-DEP/AREVA portant sur les modalités de QT des pièces écrasées. CR PTSI2010-0385. Présentation du plan d'action AREVA.
28/06/2010	Décision interne AREVA. Les SQT Calottes de cuve FA3 seront basées sur modèle prédictif de propriétés.
13/07/2010	Réunion ASN-DEP/AREVA portant sur les modalités de QT des pièces écrasées. (Suite du 17/06/2010). Annonce d'un fond sacrificiel GV/RP.
21/09/2010	Réunion ASN-DEP/AREVA portant sur l'identification des paramètres influents sur l'opération de tremp. CR PTSI2010-0647
30/11/2010	Réunion ASN-DEP/AREVA (suite réunions des 17/06/2010 et 13/07/2010) : 1 l'avancement des travaux relatifs à l'élaboration du modèle prédictif des caractéristiques mécaniques pour les pièces à géométrie complexe (pièce écrasée). 2 Présentation par l'ASN-DEP du format des SQT à l'état final – CR PTSI2010-0889
03/01/2011	Réunion ASN-DEP/AREVA qualification technique des pièces à géométrie

Dates	Evènement
	complexe (pièce écrasée) recours aux pièces sacrificielles tant que le modèle prédictif n'est pas validé. CR PTSI2011-0004
01/02/2011	2 <sup>ème</sup> revue technique interne AREVA sur pièces écrasées. Stratégie de dossier calottes de cuve. Pièce sacrificielle pour PY3.
25/02/2011	Courrier ASN-DEP N° CODEP-DEP-2011-011645 demandant de compléter les justifications relatives aux paramètres influents de la trempe.
22/03/2011	Préparation 4x4. Annonce DEP qu'elle souhaite impliquer l'IRSN pour le modèle de prédiction de propriétés.
29/03/2011	Courrier ASN-DEP N° CODEP-DEP-2011-014592 demandant une note d'antériorité pour toutes les pièces soumises à QT réalisées avant 2008.
11/03/2011	Courrier PTSI2011-0205 transmettant à l'ASN les notes d'études PEEL-F-DC11 et 14 en révision A et relatives aux prédictions des propriétés mécaniques et justification de la validation physique du logiciel Forge.
04/2011	Décision AREVA de lancer un bloom sacrificiel.
29/04/2011	Courrier ASN-DEP N° CODEP-DEP-2011-025258 demandant la tenue d'une réunion sur les justifications des décotes dans le cadre de la définition de la qualité attendue en QT.
20/05/2011	Courrier ASN-DEP-2011-029446 définissant le contenu d'une SQT à l'état final et des notes de conformité pour les pièces de série. L'envoi de ces documents étant un pré-requis pour les essais sous pression des ESPN
31/05/2011	Courrier AREVA PTSI2011-0407 apportant les éléments technique sur le domaine de validité du poids de lingot. Réponse au courrier ASN-DEP, CODEP-DEP-2011-029446
07/06/2011	Réunion ASN-DEP/AREVA portant sur la justification de la Qualité Attendue décotée. – CR PTSI2011-0429
29/06/2011	Courrier ASN-DEP N° CODEP-DEP-2011-036297 application de l'exigence de QT conditions de réalisation d'essais sur une pièce ayant le statut de pièce sacrificielle.
04/07/2011	Réunion de présentation à l'IRSN du modèle prédictif des propriétés mécaniques dans les pièces écrasées. CR PTSI2011-0518
08/07/2011	Lettre ASN-DEP N° CODEP-DEP-2011-038048 donnant les préalables aux levées des points d'arrêt pour la coulée des pièces avec décote des caractéristiques mécaniques et informant de l'intention de l'ASN de saisir un GP ESPN sur le sujet qualité attendue.
31/08/2011	Courrier AREVA N° PTSI2011.0605 transmettant la note d'antériorité des qualifications techniques EPR FA3 réalisés avant le 01/01/2008. Réponse au courrier CODEP-DEP-2011-014592
09/09/2011	Courrier AREVA PTSI2011-0618 en réponse au courrier CODEP-DEP-2011-036297 sur l'indépendance des paramètres de QT et les conditions de réalisation des pièces sacrificielles.

Dates	Evènement
26/09/2011	Courrier AREVA PTSI2011-0648 complétant le courrier PTSI2011-0618 du 09/09/2011 sur les conditions de réalisation des pièces sacrificielles.
28/09/2011	Courrier AREVA PTSI2011-0656 transmettant le dossier de synthèse de justification de la qualité attendue des pièces en décote ESPN N° PEEM-F-DM-10062 rev A.
07/10/2011	Courrier ASN-DEP N° CODEP-DEP-2011-056386 conditions de réalisation des pièces sacrificielles et éléments attendus pour la démonstration de l'indépendance des paramètres de fabrication dont l'influence y est contrôlée.
25/10/2011	Courrier ASN-DEP N° CODEP-DEP-2011-059581 modalités d'information de l'ASN-DEP suite à l'évolution en cours de fabrication de la documentation technique applicable aux pièces de QT.
23/11/2011	<p>GP ESPN sur la qualité attendue</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapport CODEP-DEP-2011061827 : Non-respect de caractéristiques mécaniques fixées par l'arrêté ESPN pour certains composants destinés à l'EPR de Flamanville 3 ou de générateurs de vapeur de remplacement</li> <li>- CODEP MEA 2011 065518 Avis du GP ESPN sur l'acceptabilité des caractéristiques mécaniques des matériaux de certains composants destinés à l'EPR Flamanville 3 et aux générateurs de vapeur de remplacement</li> <li>- CODEP-MEA-2012-046997 Verbatim du GP ESPN sur la qualité attendue.</li> </ul> <p>PTSI2011-0883 : Grille de lecture de l'avis du GPESPN du 23/11/2015</p>
25/11/2011	Courrier ASN-DEP N°CODEP-DEP-2011-063984 demandant des renseignements supplémentaires sur l'utilisation d'un modèle prédictif des propriétés mécaniques lors de la QT des pièces complexes (pièces écrasées).
24/01/2012	Courrier PTSI2012.0042 apportant des compléments sur le modèle prédictif des propriétés mécaniques dans le cadre des QT de pièces écrasées.
17/02/2012	Lettre ASN-DEP CODEP-DEP-2011-067787 définissant les modalités d'application des recommandations du GP ESPN sur la qualité attendue des pièces écrasées
22/02/2012	CODEP-DEP-2012-008372 Cuve - Avis de l'ASN sur les préalables à l'essai de résistance à la pression au titre du respect de l'exigence de qualification technique
27/02/2012	Courrier DEP à APAVE sur EHY cuve Fa3 (QT n'ont pas relevé de pb).
23/02/2012	Courrier AREVA PTSI/2012-0107 transmettant la note d'antériorité révisée des pièces de QT réalisé avant 2008- Ajout de la calotte de fond de cuve EPR FA3.
30/03/2012	Courrier AREVA PTSI2012-0168 transmettant les documents de QT de la calotte de couvercle UA dans le cadre de la solution de back-up du couvercle FA3.
31/07/2012	<p>Courrier AREVA PTSI2012.0397 transmettant la note d'antériorité de la QT de la calotte de couvercle de cuve EPR FA3.</p> <p>Courrier AREVA PTSI/2012.0398 information de la réalisation d'un carottage dans l'axe central de la calotte de couvercle EPR UA pour compléter le dossier de QT des calottes de cuve EPR FA3</p>
03/09/2012	Courrier AREVA PTSI2012.0440 transmettant la note d'antériorité révisée pour la calotte de couvercle de cuve EPR FA3 pour intégrer :



Dates	Evènement
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La position des ségrégations majeures résiduelles dans la pièce</li> <li>- La définition de la qualité attendue</li> <li>- La justification de la pertinence des essais vis-à-vis de la position des ségrégations majeures résiduelles dans la pièce</li> </ul> <p>La justification que les essais à mi- épaisseur situés au plan de joint sont pertinents pour contrôler le paramètre « temps de maintien » et qu'un essai à mi- épaisseur de la carotte n'est pas nécessaire. Jugement optimiste basé sur les résultats de FP GV/RP sacrifié avec valeurs réglementaires vérifiées à mi- épaisseur.</p>
15/10/2012	<p>Courrier CODEP-DEP-2012-055770 autorisant les opérations de carottage sur la calotte supérieure UA et reportant le point d'arrêt à la fin des opérations du document de suivi PQ 1370 rev.B. La levée de ce point d'arrêt est soumise à l'examen de la documentation liée aux prélèvements d'éprouvettes dans la carotte, aux essais correspondants et à la justification de la représentativité d'un coupon d'archive de la calotte supérieure FA3 pour vérifier l'effet du transfert du four de traitement thermique à la bache de trempe.</p>
06/05/2013	<p>Réunion AREVA/DEP ayant pour objectif de présenter l'analyse d'antériorité envoyée par courrier PTSI/2012.0107 (envoyée le 27/02/2012) et d'échanger sur les éléments à compléter.</p>
28/05/2013	<p>Lettre de suite CODEP-DEP-2013-028330 présentant le relevé d'actions associé à la réunion du 06/05/2013. En ce qui concerne les calottes de cuve, la DEP accepte la démarche proposée par AREVA de considérer la calotte inférieure comme une pièce de série de la calotte supérieure.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Calotte Supérieure (pièce écrasée):</i> La DEP est en attente du dossier de SQT final. AREVA complète ce dossier avec des essais dans l'axe à ¼ et ¾ épaisseur sur une pièce réalisée avec un PTF similaire à celui utilisé pour FA3 pour vérifier l'effet du taux de chutage. La DEP a accepté la démarche. Le sujet est en cours, la DEP est en attente du dossier finalisé.</li> <li>• <i>Calotte inférieure :</i> Le PTF est similaire à celui de la calotte supérieure du couvercle avec un poids légèrement plus faible. AREVA propose de considérer cette pièce comme une pièce de série de la calotte supérieure. La DEP ne s'oppose pas à cette démarche, le dossier de SQT et la note d'antériorité est à revoir dans ce sens.</li> </ul>
12/08/2013	<p>Lettre de suite de l'Epreuve hydraulique du corps de cuve CODEP-DEP-2013-043837</p>
6/09/2013	<p>ESPN – SE-13-EXP-001 rev 1 Attestation Apave autorisant l'expédition du corps de cuve</p>
21/01/2014	<p>ARV-DEP-00010 Envoi de deux programmes d'essais à l'ASN DEP dont le programme pour les essais sur la carotte UA sup</p>
25/02/2014	<p>Report du point d'arrêt CODEP-DEP-2014-004773 Validation par l'ASN DEP de la levée du point d'arrêt pour prélèvement d'éprouvette et réalisation des essais</p>
8/12/2014	<p>Présentation des résultats des essais sur la carotte UA sup (suite à l'information faite en octobre à l'ASN DEP)</p>
18/02/2015	<p>Présentation détaillée des résultats sur la carotte UA sup et des premières investigations (cartographies carbone de surface, analyses RFFs, ...)</p>
28/04/2015	<p>ARV-DEP-00268 – Calottes FA3 – Dossier de conception et choix technologique. Cette note marque le début de l'instruction du dossier calottes conduisant au GP ESPN du 30 /09/2015 et à la réalisation du programme d'essai</p>

## 7. HISTORIQUE DETAILLE DES FABRICATIONS DES CALOTTES FA3

DATES	EVENEMENTS	
	Calotte supérieure	Calotte inférieure
27/09/2005	Commande AREVA St Marcel N°05/51163 vers Creusot Forge	
03/10/2005	Information de l'ASN-DEP par AREVA le (courrier NFQS2005-0400) des approvisionnements chez Creusot Forge portant en autre : <ul style="list-style-type: none"> <li>• CR/GN001 – FI/001 (fond de cuve) délai au 30/10/2006</li> <li>• CR/GN001 – FS/002 (couvercle de cuve) délai au 28/02/2007</li> </ul>	
03/01/2006 au 21/06/2006	Etablissement de la documentation par Creusot Forge et Validation par AREVA St Marcel – AREVA PEEM et EDF CEIDRE <ul style="list-style-type: none"> <li>- PTF131 révision D</li> <li>- Programme d'essais DQ235 rev D</li> </ul>	
27/06/2006	Transmission des documents (PTF et DQ) à l'ASN-DEP par bordereau	
22/08/2006	Levée du point d'arrêt de début de fabrication par AREVA St Marcel	
28/08/2006	Levée du point d'arrêt de début de fabrication par EDF Ceidre	
05/09/2006	Début de fabrication - Coulée du lingot et analyse chimique à la coulée	
03/01/2006 au 12/12/2006		Etablissement de la documentation par Creusot Forge et Validation par AREVA St Marcel – AREVA PEEM et EDF CEIDRE <ul style="list-style-type: none"> <li>- PTF134 révision C</li> <li>- Programme d'essais DQ236 rev C</li> </ul>
20/12/2006	Transmission des documents (PTF et DQ) à l'ASN-DEP par bordereau	
28/12/2006	Levée du point d'arrêt de début de fabrication par AREVA St Marcel	
12/01/2007	Levée du point d'arrêt de début de fabrication par EDF Ceidre	
23/01/2007	Début de fabrication - Coulée du lingot et analyse chimique à la coulée	
12/02/2007	Vérification par analyse chimique du Carbone et du soufre de l'orientation du flan par rapport à la position tête/pied du lingot.	
08/3/2007	Ouverture par Creusot Forge de la fiche d'écart 07.009 suite à la mauvaise orientation des pentes en périphérie du flan par rapport à la position tête/pied du lingot avec proposition de réusinage du flan pour se remettre en conformité au PTF	
	Couverture par AREVA St Marcel de la fiche d'écart CF N°07.009 par la fiche d'écart	

DATES	EVENEMENTS	
	Calotte supérieure	Calotte inférieure
		07/12001.
15/3/2007	Autorisation d'AREVA St Marcel pour réaliser l'emboutissage avec un point d'arrêt au TTQ	
16/03/2007	Visite d'inspection de l'ASN-DEP à Creusot Forge au cours de laquelle l'information sur l'écart sur la position du flan par rapport à la position tête / pied est donnée	
23/03/2007	L'ASN-DEP transmet à AREVA la lettre de suite (SG/MFG-DEP-DEP-0112-2007) de la visite d'inspection du 16/3/2007 avec une observation relative à la fiche d'écart sur l'orientation du flan.	
03/04/2007	Révision par Creusot Forge de la Fiche 07.009 pour modifier l'écran thermique au TTQ suite au ré-usinage du flan avant emboutissage pour le remettre en conformité au PTF	
02/05/2007	Courrier ASN-DEP SG/MFG-DEP-DEP-0163-2007 relative à l'inversion des coté tête et pied du flan de calotte de couvercle de cuve EPR FA3 demandant en outre les causes de l'écart et les actions correctives à mettre pour prévenir de leurs récurrences	
11/05/2007	Acceptation par AREVA et EDF du traitement de la fiche d'écart Creusot Forge FNC N°07.009	
31/05/2007		Vérification par analyse chimique du Carbone et du soufre de l'orientation du flan par rapport à la position tête/pied du lingot.
21/05/2007 au 01/06/2007	Réalisation du Traitement Thermique de Qualité	
13/06/2007	Visite d'inspection de l'ASN-DEP à Creusot Forge portant sur le poinçonnage des couronnes d'essais	
14/06/2007	Lettre de suite SG/MFG-DEP-DEP-0242-2007 relative à la visite d'inspection de l'ASN-DEP au Creusot du 13/06/2007 avec des demandes portant sur les exigences essentielles de traitements thermiques	
10/07/2007 au 21/09/2007	Réalisation des essais de recette et qualification M140 : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyses chimiques</li> <li>- Essais Mécaniques</li> <li>- Examens métallurgiques</li> </ul>	
03/10/2007 au 10/10/2007	Réalisation des CND (US et Ressuage) et contrôles dimensionnels de fin de fabrication	
10/10/2007	Courrier AREVA NQS-F/2007-0703 donnant les éléments de réponse au courrier ASN-DEP DEp-DEP-0163-2007 sur l'inversion des faces tête et pied du flan de calotte de couvercle de	

DATES	EVENEMENTS	
	Calotte supérieure	Calotte inférieure
	cuve EPR FA3	
10/10/2007	Validation du RFF par AREVA et EDF	
07/10/2007 au 12/10/2007		Réalisation du Traitement Thermique de Qualité
16/10/2007	Expédition de la calotte de couvercle à AREVA St Marcel	
21/11/2007 au 23/11/2007		Réalisation des CND (US et Ressuage) et contrôles dimensionnels de fin de fabrication
26/11/2007		Fiche d'écart FNC 07.044 ouverte par Creusot Forge pour un écart de 0.2mm sur le rayon maxi et 1.2mm sur l'épaisseur mini
30/11/2007		Acceptation en l'état de la calotte par AREVA St Marcel et prise en compte de l'écart dans le DAC
04/12/2007	Transmission par AREVA à l'ASN-DEP du rapport de qualification M140 DS076 révision B (Envoi par bordereau)	
13/11/2007 au 6/12/2007		Réalisation des essais de recette et qualification M140 : - Analyses chimiques - Essais Mécaniques - Examens métallurgiques
12/12/2007	Lettre ASN-DEPN° SG/MFG-DEP-DEP-0550-2007 indiquant que le dossier DS076 révision B de la calotte de couvercle ne constitue pas le dossier de synthèse de QT car il n'apporte aucune démonstration de l'homogénéité des résultats obtenus sur la calotte.	
14/12/2007		Validation du RFF par AREVA et EDF
17/12/2007		Expédition de la calotte de couvercle à AREVA St Marcel
16/01/2008	Transmission par AREVA à l'ASN-DEP du rapport de qualification M140 DS076 révision C (envoi par bordereau)	
24/01/2008		Transmission par AREVA à l'ASN-DEP du rapport de qualification M140 DS079 révision B (envoi par bordereau)
03/08/2009	Transmission à l'ASN-DEP de la SQT de la calotte supérieure – note NEEL-F DC 91 A	Transmission à l'ASN-DEP de la SQT du fond de cuve – note NEEL-F DC 92 A
16/02/2010	Transmission par AREVA à l'ASN-DEP du rapport de qualification M140 DS076 révision D relatif à la calotte de couvercle	
25/03/2010		Transmission par AREVA à l'ASN-DEP du rapport de qualification M140 DS079 révision C relatif à la calotte de couvercle