



RAPPORT DU HCTISN SUR LES ANOMALIES DE LA CUVE EPR DE FLAMANVILLE 3

Juin 2017

Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire
C/O DGPR – Tour Séquoïa – 92055 La Défense Cedex
Tel : 01 40 81 89 75 / courriel : hctisn@gmail.com / www.hctisn.fr



INTRODUCTION

L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a rendu publique le 7 avril 2015¹ une anomalie de la composition de l'acier dans certaines zones du couvercle et du fond de la cuve du réacteur EPR de Flamanville².

Cette communication a fait suite à l'information à l'ASN fin 2014, de la part du concepteur et constructeur de réacteurs nucléaires AREVA, de résultats d'essais mécaniques réalisés sur un couvercle de cuve similaire à celui du réacteur EPR de Flamanville inférieurs à la valeur de référence mentionnée par la réglementation. Les résultats de ces essais, menés fin 2014, dans le cadre de la qualification technique de la cuve du réacteur, ont en effet mis en évidence la présence d'une zone présentant une concentration importante en carbone située en partie centrale du couvercle et conduisant à des valeurs de caractéristiques mécaniques plus faibles qu'attendues.

Le chantier de construction du réacteur EPR de Flamanville a débuté en 2007. Suite à une première phase de travaux de génie civil, la cuve du réacteur a été introduite en janvier 2014 dans le bâtiment destiné à l'abriter dénommé « bâtiment réacteur ».

Afin de justifier que les caractéristiques de l'acier du couvercle et du fond de la cuve, désignés respectivement « calotte supérieure » et « calotte inférieure », sont suffisantes et de démontrer la résistance de la cuve du réacteur de l'EPR, AREVA s'est lancé, dès avril 2015, dans la réalisation d'une nouvelle campagne d'essais approfondie sur un matériau représentatif des calottes inférieure et supérieure de la cuve. Cette démarche est en cours d'instruction par l'ASN qui a notamment fait appel à son appui technique, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et au Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GP ESPN)³.

Le Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN), en vertu de ses missions d'information, de concertation et de débat sur les risques liés aux activités nucléaires, a décidé, au cours d'une réunion plénière, le 18 juin 2015, de constituer un groupe de suivi afin de suivre l'instruction et le déroulement de la nouvelle campagne d'essais proposée par AREVA et de s'assurer du caractère complet de l'information du public et de la transparence sur ce dossier.

¹Communiqué de presse de l'ASN du 7 avril 2015 « Anomalies de fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville » disponible sur le site Internet de l'ASN : <https://www.asn.fr/Informer/Actualites/EPR-de-Flamanville-anomalies-de-fabrication-de-la-cuve>

²L'EPR (European Power Reactor) est un réacteur nucléaire de 3ème génération conçu au début des années 1990. L'EPR de Flamanville d'une puissance de 1650 MW électrique et dont l'autorisation de création a été délivrée par décret du 10 avril 2007, après avis de l'ASN est en construction depuis septembre 2007. Suite aux travaux de génie civil (gros œuvre), les premiers gros composants ont été introduits en 2014 (cuve, générateurs de vapeur...) et les montages mécaniques se poursuivent actuellement.

³Groupe constitué auprès du directeur général de l'ASN et composé d'experts nommés en raison de leur compétence dans le domaine des équipements sous pression, y compris hors secteur nucléaire. Ses membres sont issus de la société civile, de laboratoires de recherche universitaires, de bureaux de contrôle, d'organismes d'expertise, des exploitants concernés par les sujets traités ainsi que d'Autorités de sûreté étrangères.

Le HCTISN a été conforté dans sa démarche puisqu'il a été saisi le 5 octobre 2015⁴ par la ministre chargée de la sûreté nucléaire, en vue d'examiner les conditions dans lesquelles le public est informé des réponses aux trois questions suivantes :

- *« Comment cette anomalie s'est-elle produite et pourquoi a-t-elle été révélée neuf ans après la fabrication des pièces incriminées ?*
- *Quels sont les phénomènes physiques sous-jacents et leurs conséquences en termes de sûreté dans le contexte de l'EPR, expliqué dans un langage pédagogique ?*
- *Quelles sont les mesures prises par AREVA et EDF pour assurer l'information du public et la transparence de ce programme d'essais sur la cuve témoin, en particulier sur les tests qui sont réalisés et les résultats obtenus, ainsi que sur l'analyse de la conformité de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 au regard de la réglementation relative aux équipements sous pression nucléaires ? »*

Le groupe de suivi de ce dossier, dont les membres sont listés en annexe, est composé d'un parlementaire, de représentants des commissions locales d'information, d'associations de protection de l'environnement, de responsables d'activités nucléaires, d'organisations syndicales, de personnalités choisies pour leur compétence scientifique et de représentants de l'ASN, de l'IRSN et de services de l'État.

Dans un premier temps, ce groupe de suivi s'est réuni à trois reprises les 27 janvier 2016, 23 mars 2016 et 29 juin 2016 afin de retracer l'historique de la fabrication de la cuve de l'EPR et de mieux appréhender les enjeux liés à l'anomalie décelée.

Dans ce cadre, l'ASN a présenté à l'ensemble des membres une note⁵ sur l'historique de la fabrication de la cuve et de la qualification technique des calottes de cette dernière, sur le contexte réglementaire et sur les contrôles qu'elle a effectués et mandatés sur la cuve.

EDF et AREVA ont également établi, indépendamment l'un de l'autre, deux notes sur l'historique de la fabrication des calottes de la cuve de l'EPR. La note d'EDF porte notamment sur son rôle dans le cadre du suivi de la fabrication des calottes de la cuve. Celle d'AREVA porte sur les éléments concernant l'historique de la conception, de la fabrication et de la justification des calottes de la cuve.

Enfin, AREVA a également organisé deux visites pour les membres du groupe de suivi. La première a eu lieu le 13 mai 2016 au Centre Technique AREVA situé à Erlangen en Allemagne. C'est au sein de ce dernier qu'est réalisée une partie des essais complémentaires dans le cadre de la démarche de justification du caractère suffisant des caractéristiques de l'acier des calottes de la cuve. La seconde visite, en date du 23 novembre 2016, a eu lieu au sein de l'usine « Creusot Forge » d'AREVA, dans laquelle ont été forgées les deux calottes du couvercle et du fond de la cuve.

⁴Une copie de la saisine de la ministre du 5 octobre 2015 figure en annexe.

⁵Note en vue de la réunion du 23 mars 2016 du groupe de suivi du HCTISN portant sur l'anomalie de la cuve de Flamanville 3 disponible sur le site Internet de l'ASN :<https://www.asn.fr/Informer/Actualites/Historique-des-echanges-avec-Areva-fabrication-de-la-cuve-de-l-EPR-de-Flamanville>

Le groupe de suivi s'est ensuite réuni à quatre reprises les 5 octobre 2016, 21 février 2017, 25 avril 2017 et 24 mai 2017 pour synthétiser, dans le présent rapport, l'ensemble des informations recueillies. Les documents de travail ayant permis son élaboration sont listés en annexe et sont rendus public.

Ce rapport porte uniquement sur l'anomalie des calottes supérieure et inférieure de la cuve du réacteur de l'EPR de Flamanville, anomalie liée à une teneur en carbone supérieure à celle attendue en certaines zones.

Il constitue un rapport intermédiaire, fruit des premiers travaux du groupe de suivi du HCTISN et vise à synthétiser l'ensemble des informations qui lui ont été communiquées et à en préciser la chronologie en s'assurant de leur cohérence et de leur bonne compréhension par le public.

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCTION..... | 3 |
| 1.PROBLÉMATIQUE DES CALOTTES DE LA CUVE DE L'EPR..... | 10 |
| 1.1 L'EPR..... | 10 |
| 1.2 La cuve de l'EPR de Flamanville..... | 11 |
| 1.3 Les améliorations de conception de la cuve de l'EPR..... | 14 |
| 2.TECHNIQUES DE FABRICATION DES CALOTTES DE CUVES..... | 15 |
| 2.1 Technique de fabrication des calottes à l'usine Creusot Forge..... | 15 |
| 2.2 Rôle du carbone..... | 19 |
| 2.3 Conséquences potentielles de fortes concentrations en carbone..... | 20 |
| 2.4 Choix des fournisseurs..... | 22 |
| 2.5 Historique général des procédés de fabrication..... | 23 |
| 2.6 Point sur la réglementation applicable à la conception et à la fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville 3..... | 24 |
| 3.QUALIFICATION DES CALOTTES DE LA CUVE DE L'EPR DE FLAMANVILLE 3..... | 26 |
| 3.1 Choix des fournisseurs..... | 26 |
| 3.2 Choix du procédé de fabrication..... | 27 |
| 3.3 Origine de l'anomalie..... | 28 |
| 3.4 Contexte réglementaire et exigences exprimées par EDF..... | 30 |
| 3.5 Historique de la qualification technique des calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville et mise en évidence de l'anomalie en 2014..... | 31 |
| 3.6. Analyse de la chronologie liée à la mise en évidence de l'anomalie..... | 35 |
| 4.DÉMARCHE MENÉE PAR AREVA POUR TRAITER L'ANOMALIE DÉTECTÉE EN 2014 AU NIVEAU DES CALOTTES DE LA CUVE DE L'EPR..... | 37 |
| 5.MESURES DE TRANSPARENCE ET D'INFORMATION DU PUBLIC..... | 40 |
| 5.1 Information du public et des parties prenantes intéressées par EDF et AREVA..... | 40 |
| 5.2 Information du public et des parties prenantes intéressées par l'ASN et ses appuis techniques : l'IRSN et le GPESPN..... | 41 |
| 5.3 Information du public par d'autres parties prenantes intéressées et accès à l'expertise du dossier..... | 44 |
| 5.4 Information du public par les associations de protection de l'environnement..... | 46 |
| 6. AVIS ET RECOMMANDATIONS DU HCTISN..... | 47 |
| ANNEXE 1 : LISTE DES FIGURES DU RAPPORT..... | 51 |
| ANNEXE 2 : LISTE DES MEMBRES DU GROUPE DE SUIVI DU HCTISN DU DOSSIER RELATIF À L'ANOMALIE DE LA CUVE EPR..... | 52 |

| | |
|--|-----------|
| ANNEXE 3 : COURRIER DE SAISINE DE LA MINISTRE DU 5 OCTOBRE 2015..... | 53 |
| ANNEXE 4 : DOCUMENTS DE TRAVAIL ÉTABLIS DANS LE CADRE DU GROUPE DE SUIVI..... | 55 |
| ANNEXE 5 : ACTES DE COMMUNICATION À DESTINATION DU PUBLIC SUR LE DOSSIER DE L'ANOMALIE DE LA CUVE DU REACTEUR EPR DE FLAMANVILLE..... | 56 |

Sigles, abréviations et dénominations

| | |
|---------|--|
| ASN : | Autorité de sûreté nucléaire |
| BCCN : | Bureau de Contrôle des Chaudières Nucléaires de l'ASN (jusqu'en 2006) |
| CL : | Creusot Loire (maintenant AREVA, établissement site Creusot Forge) |
| DEP : | Direction des Équipements sous Pression nucléaires de l'ASN, successeur du BCCN (à partir de 2006) |
| EPR : | European Pressurized Reactor |
| ESPN : | Équipement Sous Pression Nucléaire |
| FA3 : | EPR de Flamanville 3 |
| FILAB : | Laboratoire d'analyses chimiques situé à Dijon |
| INB : | Installation nucléaire de base |
| IRSN : | Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire |
| JSW : | The Japan Steel Works ltd. |
| LSD : | Lingot à solidification dirigée |
| MWe : | Mégawatt électrique |
| MSNR : | Mission Sûreté Nucléaire et Radioprotection de la DGPR |
| N4 : | Réacteurs français d'EDF de 1450 MWe (Civaux 1 et 2, Chooz B1 et B2) |
| PTF : | Programme technique de fabrication |
| QT : | Qualification technique |
| RCC-M : | Règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires REP |

Lexique

Ductilité : Capacité d'un matériau à s'allonger, s'étendre, s'étirer sans se rompre.

Résilience : Capacité d'un matériau à absorber de l'énergie quand il se déforme sous l'effet d'un choc. La résilience d'un matériau dépend de la température. Elle caractérise sa résistance au choc. Le niveau de résilience est un indicateur du niveau de **ténacité**. Elle s'exprime en Joule.

Retassure : Défaut constitué par une cavité se formant dans les parties massives des pièces métalliques coulées due à la contraction du métal lors de sa solidification.

Ténacité : Capacité d'un matériau à résister à la propagation d'une fissure sous l'effet d'une sollicitation (par exemple : chargements mécaniques en pression et en température). Dans le cas de la cuve d'un réacteur nucléaire, cette propriété est notamment importante pour la résistance aux chocs thermiques, par exemple suite à une injection d'eau froide dans le circuit primaire du réacteur.

Zones de recette : Zones de la pièce choisies par convention pour le prélèvement des éprouvettes servant aux caractérisations chimiques et mécaniques du matériau.

Zone de ségrégation majeure : Zone d'hétérogénéité de composition en carbone observable visuellement, à l'échelle d'un lingot coupé en deux, grâce à un révélateur (attaque chimique). Les ségrégations majeures se différencient des ségrégations très locales, observables au microscope de plus ou moins fort grossissement.

1. Problématique des calottes de la cuve de l'EPR

1.1 L'EPR

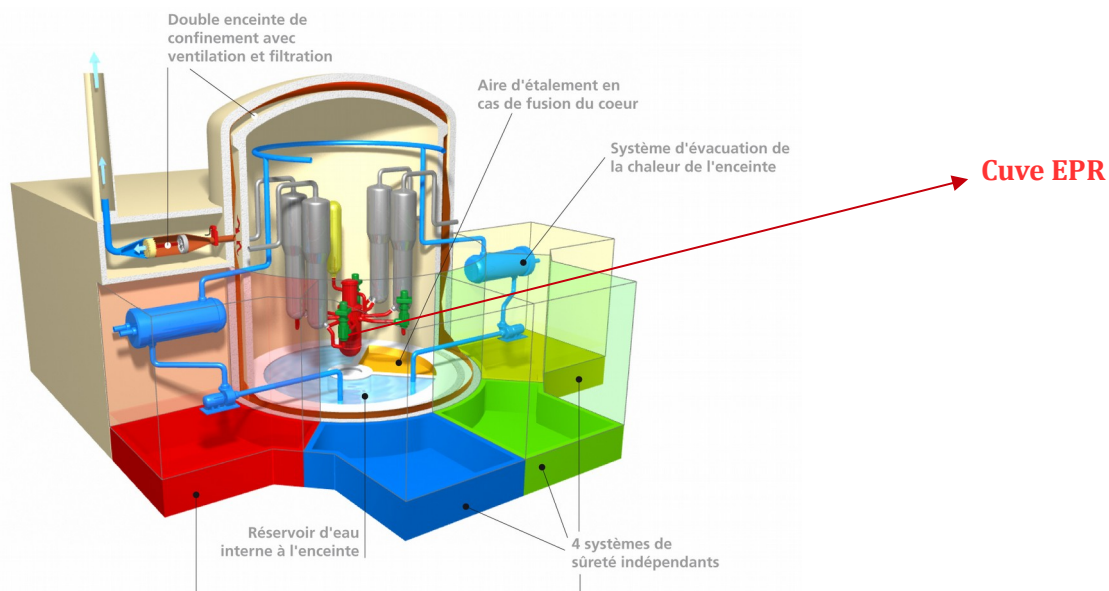
L'EPR est présentée par le concepteur et l'exploitant comme un réacteur de 3^{ème} génération « évolutionnaire » par rapport aux réacteurs à eau sous pression existants qui intègre toute l'expérience des générations précédentes. Sa conception remonte au début des années 1990 et reprend des éléments issus des réacteurs français N4 et des réacteurs allemands Konvoi.

La puissance électrique de l'EPR de Flamanville 3 est de 1 650 MW électriques (MWe), ce qui en fait un des réacteurs les plus puissants au monde.

Selon le concepteur et l'exploitant et dans le respect des objectifs fixés par l'ASN, les principales évolutions apportées à l'EPR par rapport aux générations précédentes visent à renforcer la défense en profondeur par :

- ◆ **un renforcement significatif du génie civil de l'îlot nucléaire contre les agressions externes de toute nature ;**
- ◆ **un renforcement de la prévention des accidents de fusion du combustible en cœur et en piscine d'entreposage par la mise en place de dispositions permettant de faire face à des défaillances multiples susceptibles d'affecter l'installation ;**
- ◆ **la mise en place de dispositions visant à limiter significativement les conséquences radiologiques en cas d'accident grave, et notamment la mise en place, sous la cuve du réacteur, d'un dispositif spécialement conçu pour récupérer, contenir et refroidir le cœur en fusion (« récupérateur de corium ») ;**
- ◆ **la mise en place de dispositions permettant de rendre extrêmement improbables avec un haut niveau de confiance les situations susceptibles de conduire à des rejets radioactifs précoces importants ;**
- ◆ **une durée de fonctionnement minimale de 60 ans prévue par le concepteur ;**
- ◆ **la séparation des systèmes de sécurité en 4 divisions géographiquement indépendantes, conférant à l'installation une meilleure protection aux effets des agressions internes et externes ;**
- ◆ **la mise en œuvre de gestions du combustible plus performantes, permettant une réduction des déchets radioactifs à vie longue ;**
- ◆ **des évolutions importantes sur la cuve détaillées au paragraphe 1.3.**

Figure 1 : Schéma en coupe de l'EPR
(Source : EDF)



1.2 La cuve de l'EPR de Flamanville

La cuve est un **équipement essentiel** car elle contient le combustible nucléaire. Elle fait partie du circuit primaire de la centrale électronucléaire.

La démonstration de sûreté nucléaire exclut la rupture de la cuve car aucune disposition raisonnable de limitation des conséquences, pour la gestion de l'installation, pour le personnel, la population et l'environnement ne peut être définie. Cette démarche repose sur des dispositions particulièrement exigeantes en matière de conception, de fabrication et de suivi en service visant à prévenir la rupture.

La cuve constitue une partie de la deuxième barrière de confinement des éléments radioactifs (la première est la gaine des assemblages de combustible et la troisième l'enceinte de confinement) et son rôle pour la sûreté de l'installation est primordial. Son **intégrité** doit être assurée et justifiée dans toutes les situations de fonctionnement normal, incidentel et accidentel du réacteur et pour toute la durée de son exploitation.

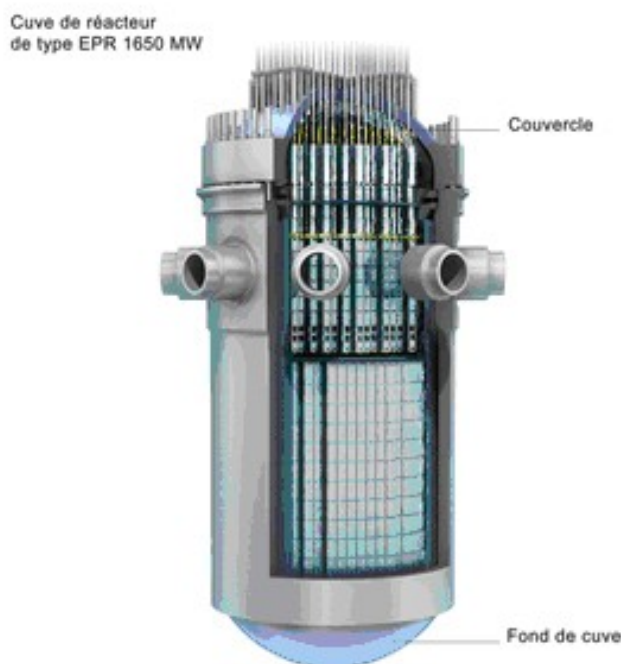
La cuve d'un réacteur est constituée essentiellement de deux types de pièces :

- les viroles, qui constituent la partie cylindrique de la cuve,
- les calottes, qui en forment les parties inférieure (fond) et supérieure (couvercle). Les calottes sont des pièces bombées de forte épaisseur.

Pendant le fonctionnement, la cuve est soumise aux conditions de pression et de température du circuit primaire, ainsi qu'à l'irradiation neutronique engendrée par les réactions nucléaires qui se produisent dans le cœur (avec cependant un moindre impact pour l'EPR que dans le cas d'une cuve classique du fait des protections spécifiques). Cette irradiation concerne principalement les parties cylindriques (**viroles**) de la cuve situées au droit du cœur.

Contrairement à d'autres équipements du circuit primaire, comme les générateurs de vapeur ou les couvercles de cuve, le remplacement d'un corps de cuve n'est pas une opération qui peut être envisagée par l'exploitant après la mise en service du réacteur : la durée de fonctionnement de la cuve conditionne donc directement la durée de fonctionnement de l'installation.

Figure 2 : Cuve EPR
(Source : ASN)



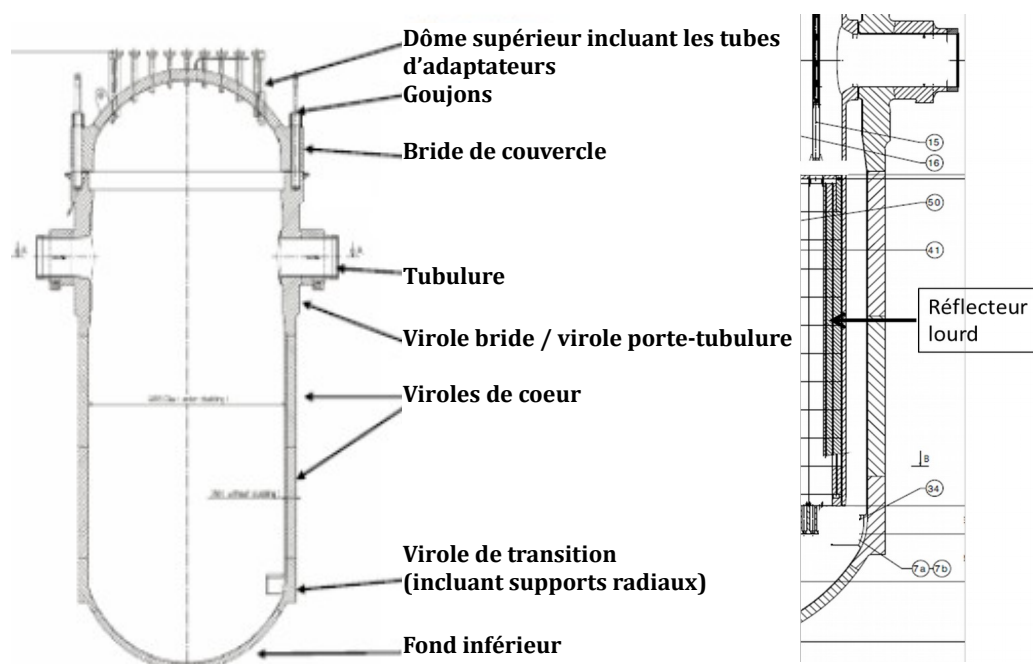
Les caractéristiques de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 sont les suivantes :

- ◆ **hauteur de l'ordre de 13 mètres (hors instrumentation en partie supérieure) ;**
- ◆ **diamètre externe de l'ordre de 5,8 mètres hors tubulures et de 7,5 mètres avec tubulures ;**
- ◆ **poids de l'ordre de 510 tonnes (poids du corps de cuve et du couvercle avec ses adaptateurs).**

La cuve de l'EPR est composée de :

- ◆ **deux viroles de cœur ;**
- ◆ **une virole porte-tubulure avec bride intégrée ;**
- ◆ **huit tubulures ;**
- ◆ **un anneau de transition et une bride de couvercle ;**
- ◆ **une calotte de fond de cuve ou fond inférieur ;**
- ◆ **une calotte de couvercle ou dôme supérieur.**

Figure 3 : Composants de la cuve EPR



Les dimensions des calottes de la cuve de l'EPR sont précisées dans le tableau suivant :

| | Calotte de couvercle | Calotte de fond de cuve |
|---|-----------------------------|--------------------------------|
| Épaisseur | 230 mm | 145 mm |
| Diamètre interne cuve | 4885 mm | 4885 mm |
| Rayon interne de courbure | 2695 mm | 2695 mm |
| Nombre de traversées⁶ | 107 | 0 |

⁶Traversées permettant d'assurer le passage des tiges de commande de grappes permettant la modulation du flux neutronique et par conséquent de la puissance du réacteur

1.3 Les améliorations de conception de la cuve de l'EPR

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

Le concepteur s'est concentré sur les points jugés les plus significatifs pour la sûreté, sur lesquels des progrès importants ont été réalisés :

- Amélioration des caractéristiques mécaniques en fin de vie grâce à la réduction du flux neutronique sur les viroles de cuve, par la mise en place d'un réflecteur lourd entre le cœur et la cuve ainsi qu'à une plus grande épaisseur d'eau ;
- Amélioration de la sûreté au travers de la suppression des traversées en fond de cuve : l'instrumentation du cœur du réacteur est introduite au moyen de traversées dans le couvercle de la cuve ;
- Amélioration des conditions de réalisation de certaines soudures : brides de tubulures plus favorables au soudage et au contrôle des soudures ;
- Réduction du nombre de soudures qui peuvent constituer des points faibles :
 - suppression d'une soudure à la jonction de la virole porte-tubulure et de la bride de cuve (ensemble forgé en une seule pièce) ;
 - au-delà de la cuve, les principaux piquages des tuyauteries primaires, raccordant les circuits auxiliaires au circuit primaire, sont forgés dans la masse et non plus rapportés par soudage ;
- Renforcement de la robustesse et des caractéristiques mécaniques de la cuve par le choix des matériaux : baisse des teneurs en soufre et en phosphore.

2. Techniques de fabrication des calottes de cuves

Les gros composants d'un réacteur sont en majorité réalisés par forgeage, qui permet d'obtenir des pièces de haute qualité, exemptes de défauts tels que les retassures inéluctables aux procédés de moulage, par exemple.

Pour ce qui concerne les cuves de réacteurs, les viroles, constituant la partie cylindrique de la cuve, et les calottes qui en forment les parties inférieure (fond) et supérieure (couvercle) sont des pièces forgées suivant des procédés différents.

2.1 Technique de fabrication des calottes à l'usine Creusot Forge

La technique de fabrication retenue pour la fabrication des calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville se base sur un « lingot conventionnel ». Elle est spécifique à l'usine Creusot Forge. D'autres procédés de fabrication existent pour forger les calottes de cuve, tels que détaillés au paragraphe 2.5.

Lors de leur élaboration, les opérateurs de l'aciérie comme de la forge visent à maîtriser la composition chimique de l'acier, dont la teneur en carbone compte tenu de son influence sur les caractéristiques mécaniques de la pièce. Un des objectifs au stade de la fabrication est en effet de limiter l'intensité des phénomènes de ségrégation de carbone ou d'hétérogénéité de composition en carbone afin de garantir à la pièce finie des propriétés mécaniques satisfaisantes au regard des sollicitations subies tout au long de son emploi.

Le forgeage d'une pièce, à partir d'un lingot plein tel que celui qui a été retenu pour réaliser les calottes de la cuve de Flamanville 3 comprend plusieurs phases, décrites ci-dessous :

- 1- Réalisation du lingot** : l'acier fondu est coulé dans une lingotière (moule). Compte tenu des échanges thermiques, le métal situé le long des parois et du fond de la lingotière se solidifie avant celui situé au centre et en haut de celle-ci.
- 2- Lors de cette phase de solidification**, le carbone migre dans les zones encore liquides ; la concentration en carbone est donc plus élevée que la moyenne dans les parties qui se solidifient en dernier, la partie haute et centrale du lingot, et plus basse que la moyenne dans les zones qui se solidifient en premier, les bords et la partie basse. Les phénomènes de ségrégation et l'hétérogénéité de concentration en carbone dans les grandes pièces métalliques sont classiques, connus par tous les métallurgistes.

Ils sont d'autant plus significatifs que le lingot est de taille importante. On parle de ségrégation positive du carbone dans les zones où la teneur en carbone est supérieure à la moyenne et de ségrégation négative dans les zones où elle est inférieure à la moyenne.

Figure 4 : Réalisation du lingot
(Source : AREVA)

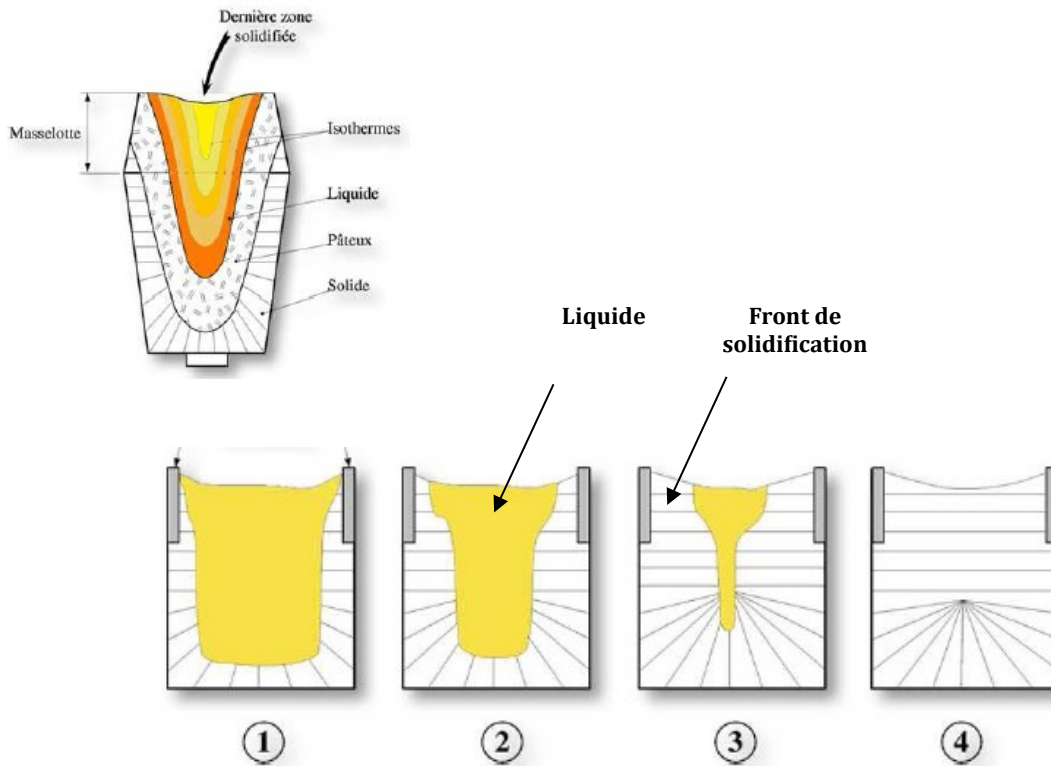
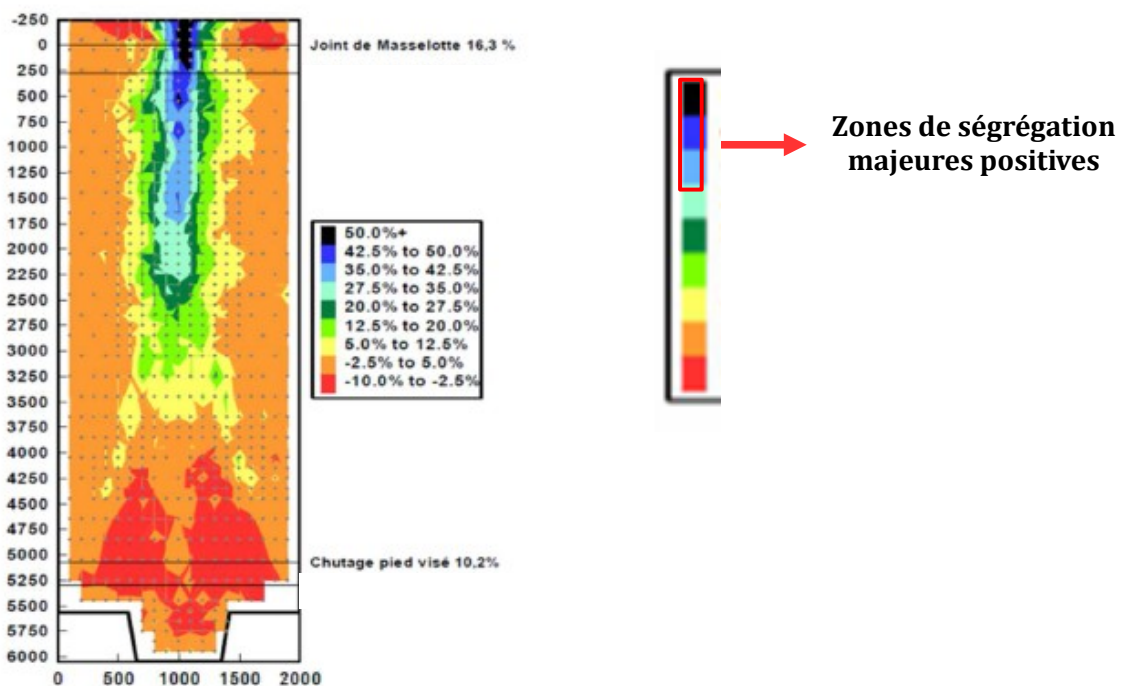
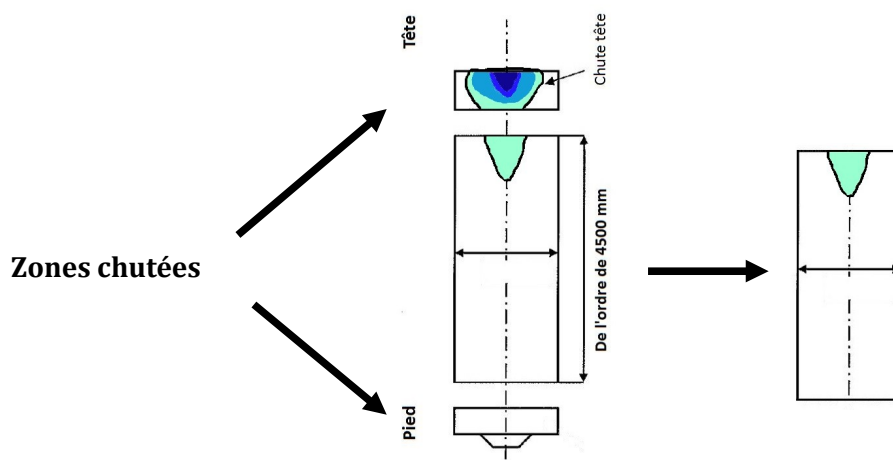


Figure 5 : Répartition du carbone dans le plan vertical au centre du lingot
(Source : Programme R&D AREVA)



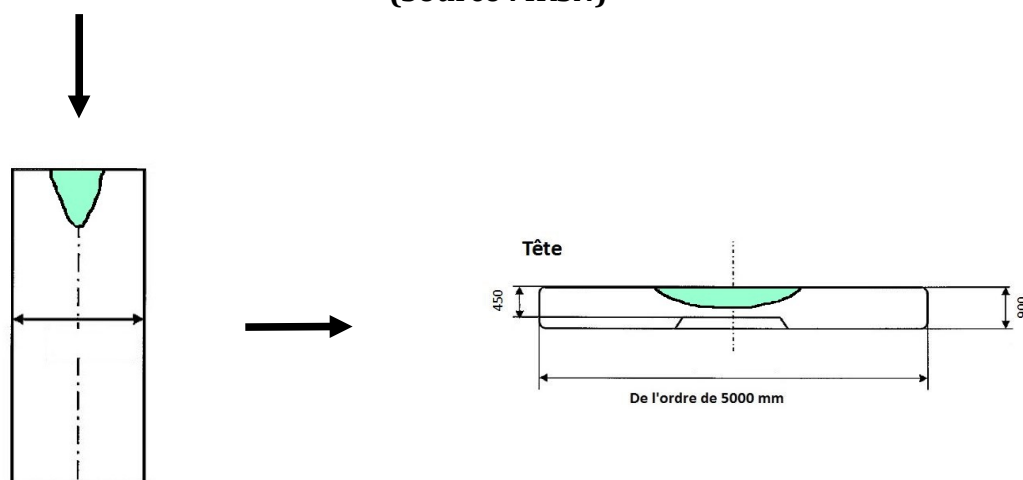
3- Phase de chutage : les parties supérieure et inférieure du lingot sont ensuite supprimées lors de l'opération dite de « chutage ». Le « chutage » de la partie supérieure permet en principe de supprimer la partie de la pièce où la concentration en carbone est la plus élevée (représentée en bleu sur la figure 6 ci-dessous), mais il laisse néanmoins subsister dans la partie haute de la pièce une zone de plus forte concentration en carbone (zone verte de la figure 6) dont les conséquences sont expliquées au paragraphe 2.3.

Figure 6 : Chutage du lingot
(Source : IRSN)



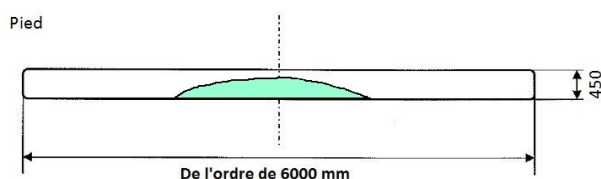
4- Phase d'écrasement : la pièce est ensuite écrasée. Du fait de cette opération, la zone de plus forte concentration en carbone s'étend sur un diamètre plus important et d'une hauteur en valeur absolue plus faible (de l'ordre de 10 fois plus faible).

Figure 7 : Écrasement du lingot
(Source : IRSN)



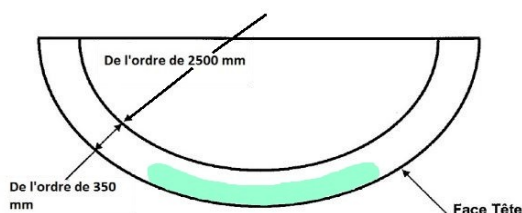
- 5- **Phase d'usinage** : la pièce est ensuite usinée sur les deux faces pour atteindre les dimensions requises avant la phase d'emboutissage décrite en 6. Durant cette opération, la pièce conserve le même diamètre et sa hauteur est réduite. Une partie de la zone à plus forte concentration en carbone est enlevée. La pièce est positionnée pour garantir une concentration en carbone minimale sur la face interne (zone où sera réalisé le soudage du revêtement pour certaines pièces dont les calottes).

Figure 8 : Usinage du lingot
(Source : IRSN)



- 6- **Phase d'emboutissage** : la pièce est emboutie et prend la forme requise (hémisphérique pour une calotte). Suite à cette opération, la zone de plus forte concentration en carbone se trouve donc à l'extérieur de la cuve.

Figure 9 : Emboutissage du lingot
(Source : IRSN)



- 7- **Phase d'usinage final et traitements thermiques** : À la suite de l'emboutissage, la pièce subit un nouvel usinage sur chaque face, précédant le traitement thermique (trempe). Après celui-ci, la pièce est de nouveau usinée pour obtenir les dimensions finales. Les trois usinages successifs pratiqués après le forgeage contribuent en pratique à l'élimination des zones de ségrégation les plus intenses, positives ou négatives.

2.2 Rôle du carbone

Le carbone est un élément d'alliage des aciers : il donne au métal sa résistance mécanique. Lorsque la teneur en carbone croît, la résistance mécanique augmente mais le métal devient aussi, d'une part, plus difficile à souder (on risque de créer des défauts pendant le soudage), et, d'autre part, moins ductile. La **ductilité** caractérise la capacité du métal à se déformer avant de rompre.

La teneur en carbone influe également sur la **ténacité** du métal qui caractérise sa tolérance au risque de rupture en cas de défauts métallurgiques, par exemple des fissures. La **résilience** qui correspond à la capacité d'un matériau à absorber de l'énergie sous l'effet d'un choc, est un indicateur du niveau de ténacité.

Le phénomène de rupture dit brutale peut apparaître en cas de conjonction :

- d'un défaut dans la pièce (fissure),
- d'une ténacité insuffisante du matériau à la température considérée,
- d'efforts induits par des chargements mécaniques en pression et/ou en température.

La teneur moyenne en carbone est donc spécifiée dans une plage assurant à la fois une bonne résistance mécanique, une bonne ductilité et une bonne ténacité du métal. Les aciers de cuve des réacteurs sont d'une nuance offrant de bonnes propriétés mécaniques (ductilité, ténacité, etc.) permettant notamment de résister à des niveaux de pression élevés avec des épaisseurs raisonnables et de bonnes propriétés de soudabilité. Et il convient, lors de l'élaboration du lingot et lors du forgeage, de limiter les incontournables phénomènes de ségrégation (positive ou négative).

Pour ce qui concerne les calottes de la cuve du réacteur EPR, leur fabrication a été réalisée, d'après les indications d'AREVA, avec une teneur moyenne en carbone visée à la coulée de 0,18 %. La teneur en carbone à la coulée est une donnée représentative de la teneur moyenne en carbone du lingot. Comme expliqué précédemment, le phénomène de ségrégation du carbone se produit lors du refroidissement du lingot. Ainsi, il peut se produire que la teneur en carbone atteigne, en certaines zones, 0,22 %⁷, du fait de ce phénomène de ségrégation, sans que ceci ne soit considéré comme préjudiciable à la qualité et la sûreté de la pièce.

La qualité des aciers a par ailleurs bénéficié de progrès dans la maîtrise des impuretés (soufre, phosphore, hydrogène, etc.) et de leur structure métallurgique, qui sont d'autres facteurs essentiels conditionnant la qualité des pièces et leurs caractéristiques mécaniques.⁸

⁷Ou 0,16 % en cas de phénomène de ségrégation négative

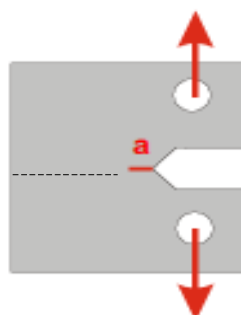
⁸Typiquement, les fabrications contemporaines à celles des calottes de cuve présentent :

- des teneurs en phosphore de l'ordre de 0,005 %,
- des teneurs en soufre de l'ordre de 0,002 %,
- des teneurs en hydrogène de l'ordre de 0,5 à 0,6 ppm.

2.3 Conséquences potentielles de fortes concentrations en carbone

Une augmentation de la concentration en carbone dans une pièce réduit la résistance du matériau de l'acier à la propagation d'une fissure (ténacité) en cas de défaut préexistant. La ténacité d'un matériau correspond à la force nécessaire à la propagation d'une fissure (symbolisée sur la figure 10 par le trait plein en rouge). Elle peut être mesurée sur des éprouvettes (échantillon du matériau).

Figure 10 : Propagation d'une fissure
(Source : IRSN)



Le comportement du matériau varie selon les plages de température.

La figure 11 ci-après illustre la variation de la ténacité en fonction de la température du matériau.

Dans la plage de température correspondant à des conditions normales de fonctionnement d'un réacteur, le matériau présente un comportement intégralement ductile.

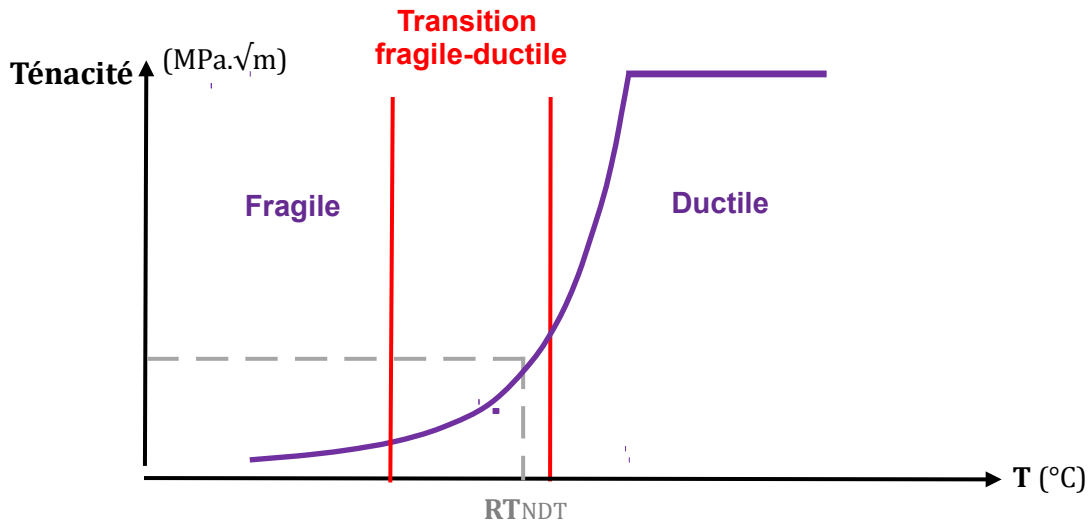
Lorsque la température décroît, le matériau voit sa ténacité diminuer et son comportement, en cas de fissure et de fortes contraintes mécaniques, passe progressivement d'un mode de rupture ductile à un mode de rupture par clivage (ou fragile). Il convient de souligner que la température de transition fragile-ductile⁹ doit être la plus basse possible afin de minimiser le risque de rupture brutale.

Dans les zones à plus forte concentration en carbone, il est typiquement constaté une fragilisation de l'acier, se traduisant par une diminution de la résilience, indicateur de la ténacité, et par une augmentation de la température de transition fragile-ductile.

Dans le cadre des études démontrant l'absence de risque de rupture brutale, il est vérifié que les sollicitations restent, en toutes situations (normales, incidentelles ou accidentelles), inférieures, avec des marges, à celles qui pourraient engendrer un phénomène de rupture brutale dans le cas où existerait un défaut.

⁹Température de transition fragile-ductile : température qui caractérise le passage du domaine de comportement ductile au domaine de comportement fragile.

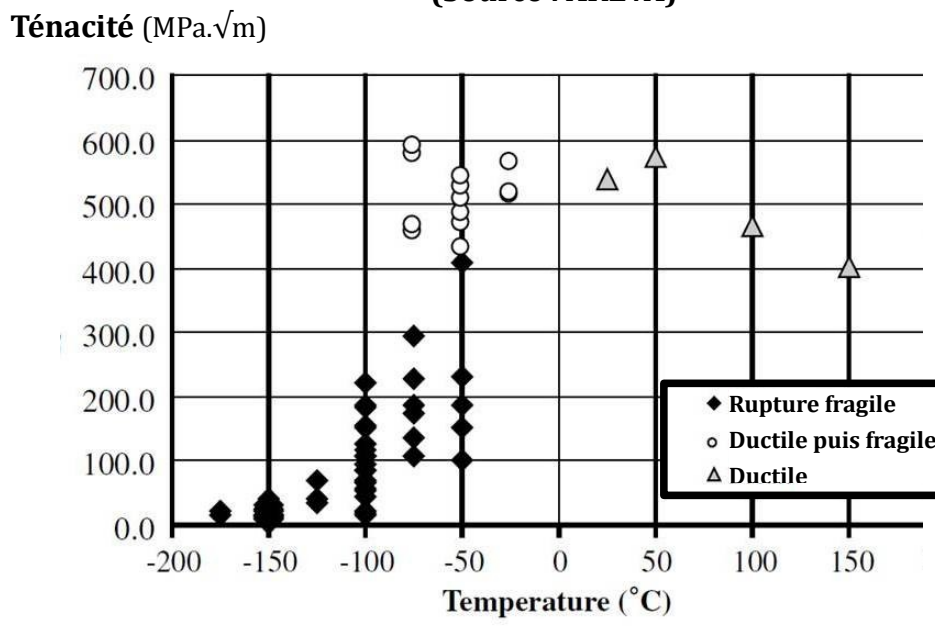
Figure 11 : Courbe de ténacité en fonction de la température
(Source : IRSN)



La forme de la courbe de ténacité a été établie à partir de programmes expérimentaux menés d'abord aux Etats-Unis, puis en France. L'index RT_{NDT} caractérise la température de transition entre le domaine fragile et le domaine ductile. Typiquement, les valeurs de RT_{NDT} des pièces forgées en acier du type des calottes de cuve sont de l'ordre de -20°C à -45°C .

Le principe de cette courbe est qu'elle doit couvrir les ténacités réelles du matériau. Un exemple de ténacité réelle mesurée sur un matériau de cuve est représenté sur la figure suivante :

Figure 12 : Ténacité mesurée sur un matériau de cuve en fonction de la température
(Source : AREVA)



La position de la courbe sur l'axe des abscisses, caractérisée par cet index RT_{NDT} est donc fondamentale. Plus la concentration en carbone est élevée, plus la courbe de ténacité et la zone de température de la transition fragile / ductile se décaleront vers la droite, c'est-à-dire vers des températures plus élevées. Le positionnement de cette courbe est déterminé au travers d'essais mécaniques.

Les valeurs de ténacité et de température de transition fragile-ductile mesurées dans les éprouvettes sont utilisées pour définir la courbe de ténacité limite à respecter dans les études mécaniques.

La démonstration générale de la tenue de la cuve par rapport au risque de rupture brutale repose sur :

- un défaut postulé dont la présence ne pourrait être exclue malgré les contrôles,
- les caractéristiques de ténacité en fonction de la température,
- des chargements définis par la pression et la température,
- la vérification du respect de critères assortis de coefficients de sécurité permettant de s'assurer que la sollicitation du défaut induite par le chargement reste inférieure à la ténacité.

2.4 Choix des fournisseurs

Le fabricant de la cuve, AREVA, commande auprès de sous-traitants les pièces qui vont constituer la cuve, au premier rang desquelles les pièces forgées : viroles et calottes. Sa politique industrielle générale consiste autant que possible à se mettre en mesure de faire appel à plusieurs fournisseurs potentiels pour une même pièce, dans une optique de sécurité des approvisionnements à long terme. Sa politique d'achat s'attache aussi, autant que faire se peut, à faire émerger ou maintenir une source d'approvisionnement française pour l'ensemble des pièces, dont les forgées.

Le processus général est le suivant :

- Les équipes d'ingénierie d'AREVA conçoivent et dimensionnent la pièce : choix de la géométrie (épaisseurs, etc.), des matériaux, etc.
- L'usine AREVA de Saint-Marcel (qui fabrique les équipements à partir des pièces forgées) établit une spécification d'approvisionnement qui sera transmise au forgeron en charge de réaliser la pièce.
- Le forgeron rédige un Programme technique de fabrication (PTF) qui détaille toutes les étapes de la fabrication, les paramètres qui seront suivis et les domaines d'acceptation de ces paramètres. Le PTF est transmis à l'ASN qui peut émettre des remarques.
- Ce document est revu par l'Ingénierie d'AREVA, les équipes de l'usine AREVA de Saint-Marcel et EDF, qui donnent leur accord avant la coulée de la pièce.

2.5 Historique général des procédés de fabrication

Différentes techniques de fabrication existent et ont été employées dans le cadre de la fabrication des calottes de cuve reposant sur l'emboutissage d'un disque, obtenu par découpage de tôles épaisses produites en laminoir ou par écrasement d'un lingot.

Au Creusot, deux types de lingots sont traditionnellement disponibles pour fabriquer les calottes de cuve et plus généralement les pièces dites écrasées (c'est-à-dire embouties à partir d'un disque forgé obtenu en écrasant un lingot : calottes de cuve et de pressuriseur, dômes de générateurs de vapeur, plaque à tubes des générateurs de vapeur, etc.) :

- le lingot dit conventionnel ;
- le lingot à solidification dirigée LSD limitant les ségrégations du carbone associées aux fabrications à partir de lingots conventionnels ; il est de dimension limitée et ne permet pas de réaliser les plus grosses pièces des réacteurs actuels.

A partir du début des années 90, dans le but de réduire le nombre de soudures sur les équipements de la chaudière nucléaire afin d'améliorer la sûreté, des pièces plus grosses ont été envisagées. Ce fut le cas d'abord sur les fonds primaires de générateurs de vapeur de remplacement dans les années 90 puis sur les couvercles de remplacement dans les années 2000. La taille de ces pièces n'était pas compatible avec un procédé utilisant le lingot dit LSD, ces fabrications ont donc été réalisées avec un procédé de type lingot conventionnel, dont l'utilisation s'est progressivement développée.

Ainsi, pour le parc nucléaire français, plusieurs procédés de fabrication se sont succédé 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) et palier N4 : (1984 - 1999) :** emboutissage d'un disque à partir de tôles plus épaisses laminées au Japon (fabricant The Japan Steel Works, LTD / JSW) puis à partir de disques forgés par Creusot Forge, issus de lingots à solidification dirigée ;
- **Couvercles de remplacement du palier 900 MWe (1994 - 2008) :** idem fabrication initiale dans un premier temps, puis quatre couvercles monoblocs¹⁰ 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 ;
- **Couvercles de remplacement 1300 MWe (1995 - 2008) :** idem fabrications initiales.

¹⁰ Les couvercles étaient traditionnellement constitués d'une calotte (la partie bombée) et d'une bride (qui permet de fixer le couvercle sur la cuve), assemblés par une soudure. Pour ce qui concerne les couvercles dits monoblocs, ceux-ci sont forgés en une seule pièce, ce qui permet d'éviter une soudure. Ceci répond à un objectif général favorable à la sûreté : limiter autant que faire se peut le nombre de soudures.

Pour ce qui concerne la fabrication des calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville, AREVA a décidé de les forger à partir d'un lingot conventionnel. Ce choix est expliqué au paragraphe 3.2.

Il convient de noter que, dans le cadre de la réalisation des calottes de cuve du réacteur de l'EPR finlandais OL3, le fabricant JSW (Japan Steel Works) a également fait le choix de les forger à partir d'un lingot conventionnel. Toutefois, la technique de forgeage spécifique développée par JSW permet un positionnement de la pièce finale en dehors de la zone de ségrégation majeure positive du lingot. Par conséquent, les calottes fabriquées par JSW pour le réacteur de l'EPR finlandais sont exemptes, d'après les indications d'AREVA et de l'autorité de sûreté finlandaise STUK, de zones de ségrégation majeure positive.

Pour ce qui concerne les calottes de cuve des deux réacteurs EPR actuellement en construction en Chine à Taïshan, celles-ci ont été fabriquées au sein de l'usine Creusot Forge selon le même procédé de fabrication que celui employé pour les calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville.

2.6 Point sur la réglementation applicable à la conception et à la fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville 3

Les exigences applicables au circuit primaire des réacteurs nucléaires ont évolué depuis la construction du programme électronucléaire français, afin de prendre en compte le retour d'expérience, l'évolution des connaissances et les modifications du cadre réglementaire relatif aux équipements non nucléaires.

La réglementation applicable lors de la fabrication de la cuve des réacteurs nucléaires actuellement en fonctionnement était constituée de l'arrêté du 26 février 1974 relatif à la construction du circuit primaire principal des chaudières nucléaires à eau pris en application du décret du 2 avril 1926 portant règlement sur les appareils à pression de vapeur.

L'ASN a travaillé à la fin des années 1990 à définir les règles applicables aux futurs réacteurs, et notamment le réacteur EPR, alors à l'étude. À cette occasion elle a saisi la section permanente nucléaire (SPN) de la commission centrale des appareils à pression (CCAP), qui a approuvé en octobre 1999 un document intitulé « *Règles techniques relatives à la construction des circuits primaires et secondaires principaux des réacteurs nucléaires à eau sous pression* », qui a par la suite été diffusé par l'ASN. Les exigences figurant dans ces règles techniques, et notamment les valeurs minimales des propriétés mécaniques et les exigences de qualification, préfiguraient les exigences de la réglementation actuelle¹¹.

La réglementation applicable à l'évaluation de la conformité de la cuve du réacteur EPR de Flamanville est constituée :

¹¹ Les règles techniques relatives à la construction des circuits primaires et secondaires principaux des réacteurs nucléaires à eau sous pression prévoyaient pour ce qui concerne les exigences relatives au choix des matériaux que « *Sauf justification particulière, les matériaux choisis doivent présenter les caractéristiques en valeur individuelle, en qualification et en recette, conformes aux règles des points 2 à 4 ci-après [incluant les valeurs minimales de résilience]* ».

- du décret n° 99-1046 du 13 décembre 1999 relatif aux équipements sous pression ;
- de l'arrêté du 12 décembre 2005 relatif aux équipements sous pression nucléaires, dit « arrêté ESPN ». Au titre de cet arrêté, la cuve est un équipement de niveau N1¹², c'est-à-dire le plus important pour la sûreté. Pour ce type d'équipement, cet arrêté prévoit que le matériau doit être suffisamment ductile et tenace. À ce titre, pour des aciers de type de celui utilisé pour la cuve, ces exigences sont respectées si le matériau présente les propriétés suivantes :
 - pour ce qui concerne la ductilité : une valeur d'allongement au moins égale à 20 % à une température de 20°C après rupture dans un test de traction ;
 - pour ce qui concerne la résilience : une énergie de flexion par choc au moins égale à 60 Joules à 0°C.

Ces valeurs n'ont pas été modifiées de façon significative depuis l'arrêté de 1974.

Il convient également de noter que cet arrêté « ESPN » du 12 décembre 2005 prévoyait une période transitoire permettant l'application de l'arrêté du 26 février 1974 pour les équipements sous pression nucléaires constitutifs du circuit primaire principal des chaudières nucléaires à eau, dont la fabrication était entamée moins de cinq ans après sa publication.

Le décret n° 99-1046 du 13 décembre 1999 a depuis été codifié dans le code de l'environnement, à droit quasiment constant. L'évaluation de la conformité de la cuve du réacteur EPR de Flamanville se poursuit actuellement en application des nouveaux textes qui découlent de cette codification :

- la section 12 du chapitre VII du titre V du livre V du code de l'environnement ;
- l'arrêté du 30 décembre 2015 relatif aux équipements sous pression nucléaires qui a remplacé l'arrêté du 12 décembre 2005 pour la partie relative à la fabrication de nouveaux équipements.

Depuis 2005, la réglementation exige que le fabricant apporte des garanties supplémentaires de la qualité des équipements par rapport à celle précédente. Le fabricant doit donc fournir plus de justifications et de démonstrations. Ainsi, les analyses de risques, les méthodes de qualification et les contrôles sont étendus.

¹²L'arrêté du 12 décembre 2005 définit les équipements de niveau N1 de la manière suivante : « Sont classés N1 les équipements sous pression nucléaires dont la défaillance peut conduire à des situations pour lesquelles le rapport de sûreté de l'installation nucléaire de base où ils sont installés ou destinés à l'être, complété par les dossiers associés, ne prévoit pas de mesures permettant de ramener l'installation dans un état sûr, ainsi que les équipements sous pression nucléaires constituant le circuit primaire principal et les circuits secondaires principaux des chaudières nucléaires à eau tels que définis par l'arrêté du 10 novembre 1999 ».

3. Qualification des calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville 3

3.1 Choix des fournisseurs

Pour la fabrication des éléments de la cuve du réacteur EPR de Flamanville, AREVA a eu recours à deux fournisseurs :

- **Creusot Forge (France)** pour les calottes supérieures et inférieures¹³, ainsi que pour les tubulures ;
- **JSW (*The Japan Steel Works, LTD.*) (Japon)** pour les viroles et l'anneau de transition.

La virole porte-tubulure ne pouvait être approvisionnée que chez JSW, seul au plan mondial à disposer des moyens industriels aptes à forger cette très grosse pièce, innovation de l'EPR permettant d'éviter une soudure entre viroles.

Ce schéma d'approvisionnement fut acté en septembre 2005 par AREVA, en tenant compte notamment des plans de charge et des calendriers de fabrication, tant chez JSW que chez Creusot Forge. Le client et l'ASN en ont été informés comme de coutume.

La mise au point et la révision du Programme Technique de Fabrication (PTF) se sont déroulées au premier semestre 2006. Il a été transmis à l'ASN le 27 juin 2006 et l'ASN a formulé des questions le 21 août 2006, notamment sur les singularités de la zone centrale et l'homogénéité des caractéristiques mécaniques.

La calotte du couvercle de la cuve a été coulée le **5 septembre 2006** et sa fabrication s'est achevée le **10 octobre 2006**. La calotte du fond de cuve a été coulée le **23 janvier 2007** et sa fabrication s'est achevée le **14 décembre 2007**.

Figure 13 : Tableau d'approvisionnement des composants
(Source : ASN)

| Approvisionnement des composants | Composant | Fabricant | Date de coulée | Fin de fabrication |
|----------------------------------|---|----------------------|-------------------|--------------------|
| | Virole porte-tubulure avec bride intégrée | JSW | 12/08/2005 | 24/08/2006 |
| | Tubulures G1, G2 et G4 | Creusot Forge | 01/04/2006 | 05/10/2006 |
| | Tubulure G3 | Creusot Forge | 10/01/2007 | 20/07/2007 |
| | Tubulures H1 à H4 | Creusot Forge | 27/03/2006 | 08/12/2006 |
| | Virole de cœur C1 | JSW | 25/10/2006 | 14/02/2007 |
| | Virole de cœur C2 | JSW | 25/10/2006 | 14/02/2007 |
| | Zone de transition | JSW | 25/05/2006 | 04/10/2006 |
| | Calotte de fond de cuve | Creusot Forge | 23/01/2007 | 14/12/2007 |
| | Calotte de couvercle de cuve | Creusot Forge | 05/09/2006 | 10/10/2006 |
| | Bride de couvercle | JSW | 05/09/2006 | 10/10/2006 |

¹³L'usine de Creusot Forge a aussi fourni les tubulures primaires.

3.2 Choix du procédé de fabrication

Creusot Forge a, suivant la règle, établi un Programme Technique de Fabrication (PTF). Celui-ci prévoyait notamment d'utiliser un lingot conventionnel.

Ce choix d'un lingot conventionnel par AREVA pour les calottes du réacteur EPR peut apparaître en contradiction avec les efforts accomplis au début des années 1980 pour réaliser des lingots LSD. Il s'inscrivait cependant 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.

Creusot Forge a ainsi écarté le lingot LSD pour le couvercle de la cuve du réacteur EPR car de taille insuffisante pour assurer, suivant les gammes de forgeage du Creusot, un bon taux de corroyage¹⁴ de cette pièce plus épaisse que les précédents couvercles¹⁵. Le choix du lingot conventionnel était par ailleurs dans la continuité de la fabrication d'un couvercle monobloc pour le réacteur n°3 de la centrale nucléaire de Cruas. Avant le lancement de la fabrication du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3, AREVA et EDF disposaient en effet de résultats d'essais favorables au niveau de la zone centrale du couvercle monobloc destiné au réacteur n°3 de Cruas.

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.

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.

La mise au point et la révision du PTF se sont déroulées au premier semestre 2006, après quoi il a été transmis à la Direction des Équipements sous Pression nucléaires de l'ASN (27 juin 2006) qui a formulé des demandes.

La calotte supérieure a été coulée le 5 septembre 2006 et la calotte inférieure le 23 janvier 2007.

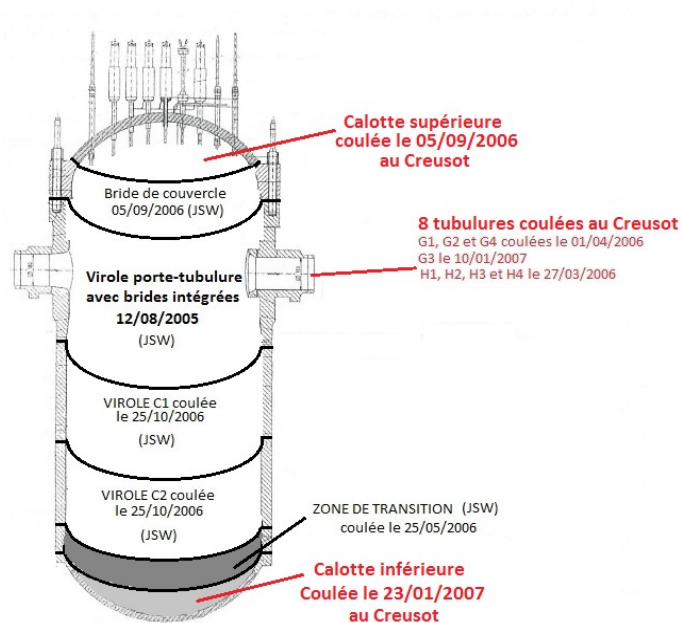
Les autres composants de la cuve furent tous coulés, après la publication de l' « arrêté ESPN » du 12 décembre 2005, entre le 1er avril 2006 et le 23 janvier 2007. La fabrication des calottes de la cuve a été terminée le 14 décembre 2007.

¹⁴Le 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.

¹⁵Par 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.

Ces différentes parties ont ensuite été assemblées et habillées d'un revêtement interne à l'usine de Saint-Marcel. Seules les 2 calottes et 8 tubulures ont été forgées en France.

Figure 14 : Fabrication des pièces de la cuve
(Source : ASN)



3.3 Origine de l'anomalie

La fabrication des calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville 3 a été réalisée à partir d'un **lingot de 156 tonnes** : les calottes inférieure et supérieure ont eu le même procédé de fabrication depuis la coulée du lingot jusqu'à l'opération d'emboutissage. Seuls les usinages ont été différents du fait de l'épaisseur différente des calottes (rappel : 145 mm pour la calotte inférieure et 230 mm pour la calotte supérieure).

Le procédé de fabrication retenu pour les calottes de la cuve de Flamanville n'a pas permis de limiter l'ampleur de l'hétérogénéité dans la pièce.

L'anomalie des calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville est liée à la présence d'une zone de ségrégation majeure positive excessive conduisant à des valeurs de résilience inférieures à 60 Joules (exigence de l'arrêté ESPN)¹⁶. Cette zone de ségrégation positive est issue du lingot utilisé pour le forgeage de la pièce. Elle n'a pas été totalement éliminée lors des phases de chutage et d'usinage telles que présentées dans le paragraphe 2.1.

¹⁶Rappel : comme indiqué au paragraphe 2.2, la teneur moyenne en carbone visée à la coulée pour les calottes de la cuve EPR était de 0,18%.

Les schémas suivants illustrent, de façon symbolique, l'origine de l'anomalie en mettant en évidence la localisation de cette zone de ségrégation majeure positive résiduelle après l'opération de chutage du lingot. A la fin de la phase d'emboutissage et d'usinage final, présentées également dans le paragraphe 2.1, elle se retrouve au niveau de la surface centrale et externe des calottes.

Figure 15 : Chutage du lingot lors du forgeage des calottes de la cuve EPR
(Source : IRSN)

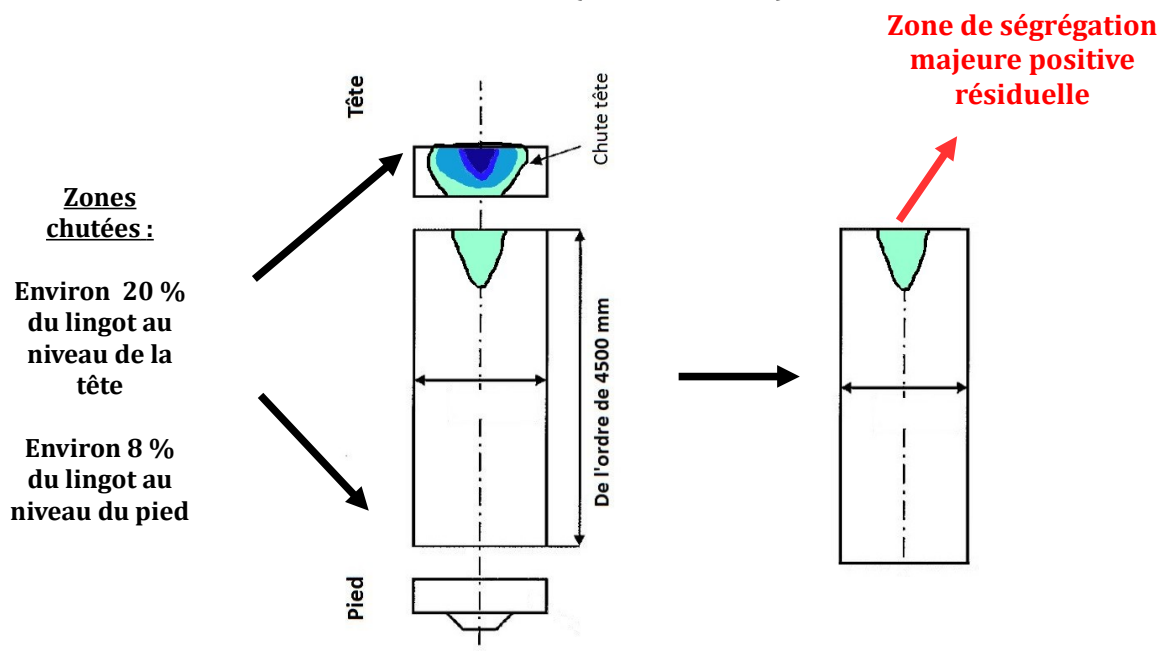
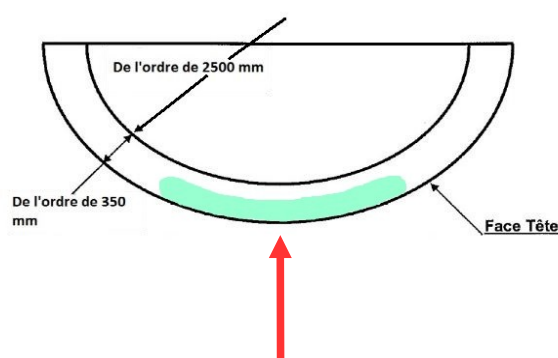


Figure 16 : Emboutissage du lingot EPR
(Source : IRSN)



Zone de ségrégation majeure positive en surface centrale et externe des calottes sur un diamètre d'environ 1 mètre

Le procédé de fabrication des calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville s'est écarté notablement des procédés retenus pour les calottes des cuves des réacteurs N4. Le risque associé à cette évolution (à une inhomogénéité des calottes résultant de cette évolution avec un lingot de masse plus importante) n'a pas été bien appréhendé ni par le fabricant, ni par l'exploitant. Pour ces derniers, la qualification du couvercle monobloc fabriqué pour la cuve du réacteur n°3 de la centrale de Cruas (couvercle de remplacement) laissait présager, pour la cuve de Flamanville 3, une issue favorable. En effet, le poids du lingot utilisé pour sa fabrication était d'environ 195 tonnes. Ainsi, celui utilisé pour la fabrication de la calotte de Flamanville 3, avec environ 156 tonnes, ne présentait a priori pas une sensibilité plus importante à la ségrégation. Mais le taux de chutage moins important pour respecter le poids final attendu a conduit à laisser dans la pièce une zone qui s'est avérée davantage ségrégée.

3.4 Contexte réglementaire et exigences exprimées par EDF

Comme précisé précédemment dans le paragraphe 2.6, la réglementation applicable au moment où ont été coulés les composants de la cuve du réacteur EPR de Flamanville, était constituée :

- du décret n° 99-1046 du 13 décembre 1999 relatif aux équipements sous pression ;
- de l'arrêté du 12 décembre 2005 relatif aux équipements sous pression nucléaires, dit « arrêté ESPN » publié le 22 janvier 2006.

Compte tenu de la date d'engagement de la fabrication de la cuve de Flamanville 3, les dispositions transitoires de l'arrêté en référence du 12 décembre 2005 permettaient d'appliquer la réglementation précédemment en vigueur, constituée de l'arrêté du 26 février 1974 relatif à la construction du circuit primaire principal des chaudières nucléaires à eau complété par les règles techniques relatives à la construction des circuits primaires et secondaires principaux des réacteurs nucléaires à eau sous pression d'octobre 1999. Ces textes fixaient des exigences sur les propriétés des matériaux comparables, notamment pour ce qui concerne les valeurs de résilience.

Néanmoins, l'exploitant et le fabricant ont décidé d'appliquer, dès Flamanville 3, les dispositions de l'arrêté en référence du 12 décembre 2005. Ainsi, la demande d'autorisation de création du réacteur EPR de Flamanville, déposée par EDF le 9 mai 2006, indique que l'arrêté en référence du 12 décembre 2005 sera appliqué pour les équipements sous pression nucléaires.

Cette initiative a été perçue positivement par l'ASN. Cependant, l'ampleur des travaux nécessaires pour définir les modalités d'application de ces dispositions a été à ce moment-là sous-estimée aussi bien par AREVA et EDF que par l'ASN .

Il convient également de noter que le contrat passé par AREVA avec FRANCE ESSOR (et par la suite Creusot Forge)¹⁷ en 2005 pour commander les calottes de cuve de Flamanville 3 spécifiait que les exigences à respecter étaient les dispositions de

¹⁷FRANCE ESSOR est une société (holding industrielle) du Groupe BOLLORE (Michel-Yves) créée en 1986, ayant acheté en 2003 la société Creusot Forge au groupe ARCELOR, puis l'ayant vendue en 2006 à AREVA.

l'arrêté « ESPN » du 12 décembre 2005 ainsi que celles des Règles de Conception et de Construction des Matériels mécaniques (RCC-M)¹⁸.

Comme indiqué plus loin, l'interprétation quant à l'application des valeurs minimales en dehors des zones de recette faisait toujours l'objet d'échanges techniques entre AREVA et l'ASN à l'époque.

La spécification technique de référence du RCC-M applicable aux calottes de cuve prévoit notamment que, pour les opérations de forgeage,

- un chutage suffisant doit être effectué pour éliminer la retassure et la majeure partie des ségrégations,
- la face inférieure de la calotte doit être située côté pied du lingot (hors de la zone de ségrégation majeure positive) afin d'éviter le risque de défauts sous revêtement.

EDF n'a pas exprimé d'exigence supplémentaire, notamment pour ce qui concerne les ségrégations en partie centrale et externe des calottes, considérant que cette zone ne faisait usuellement pas partie des zones jugées sensibles et que l'appréciation technique n'anticipait pas à l'époque une ségrégation de nature à s'interroger sur ses caractéristiques mécaniques.

3.5 Historique de la qualification technique des calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville et mise en évidence de l'anomalie en 2014

Le principe de qualification technique de composants, défini dans les règles techniques d'octobre 1999, a été repris dans l'arrêté « ESPN » du 12 décembre 2005. Il désigne le processus par lequel on démontre que l'on va atteindre la qualité attendue définie dans les spécifications de la pièce, que l'on maîtrise l'ensemble des paramètres qui les influencent et que l'on peut assurer la reproductibilité des fabrications.

L'arrêté « ESPN » requiert en effet, pour les équipements sous pression nucléaire de niveau N1, comme la cuve, que le fabricant identifie préalablement à la fabrication les composants qui présentent un risque d'hétérogénéité de leurs caractéristiques lié à l'élaboration des matériaux ou à la complexité des opérations de fabrication prévues. L'ensemble des opérations de la fabrication doit faire l'objet d'une qualification technique afin de s'assurer que les composants fabriqués présenteront les caractéristiques requises.

Suite à la publication le 22 janvier 2006 de l'arrêté « ESPN », les modalités de justification du respect de l'exigence de la qualification technique ont pris plusieurs années à se stabiliser.

¹⁸Le RCC-M est le code industriel qui prescrit les procédures, règles et pratiques qui représentent l'état de l'art de la profession pour concevoir, fabriquer, contrôler et justifier les pièces mécaniques destinées aux réacteurs nucléaires à eau sous pression.

La fabrication de la plupart des gros composants destinés à l'EPR de Flamanville, dont celle des calottes de la cuve, avait commencé dès 2005 avant que les modalités de qualification technique dans le cadre de l'application de l'arrêté « ESPN » ne soient définies et stabilisées. La stabilisation de ces modalités a en effet pris du temps compte tenu de l'intervention d'évolutions réglementaires après 30 années d'application d'une réglementation antérieure.

Le risque industriel était de facto pris par le fabricant. L'ASN avait d'ailleurs attiré l'attention d'AREVA sur cette prise de risque industriel par courrier du 16 juillet 2007.

Les premiers échanges relatifs aux qualifications techniques ont débuté mi 2005 et se sont concentrés, dès 2006, sur le développement d'une méthode générique de justification du respect de l'exigence. AREVA souhaitait utiliser la qualification dite M140 auparavant établie en application des RCC-M et qui correspond à une qualification industrielle développée par l'Association Française pour les règles de Conception, de construction et de surveillance en exploitation des matériels des Chaudières Electronucléaires (AFCEN).

Après plusieurs années de débat et de dossiers refusés, l'ASN a finalement indiqué le 19 février 2008 que la qualification M140 ne pouvait pas tenir lieu de qualification technique ESPN, faute de répondre à l'ensemble de ses objectifs.

En effet, la qualification M140 est une qualification industrielle **qui ne vise pas à caractériser l'ensemble du volume du composant**, mais se concentre sur les zones identifiées à la conception comme sensibles, par exemple au risque de rupture brutale (exemple : zones de soudure). Par ailleurs, elle peut reposer sur des essais réalisés sur des composants élaborés avec un autre programme technique de fabrication.

À cet égard, les calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville ont obtenu leur qualification M140 mais les éléments nécessaires à leur qualification technique ESPN ne sont pas réunis.

Il convient de noter que, dès 2006, même si les modalités de justification de la qualification technique n'étaient pas encore stabilisées, l'ASN (BCCN) a interrogé AREVA sur la manière d'apporter la preuve de l'homogénéité des propriétés mécaniques des calottes (lettre ASN du 21 août 2006).

AREVA a répondu, par courrier du 27 novembre 2006, que cette question ferait l'objet des dossiers de qualification technique à venir, après définition des modalités d'application de l'arrêté ESPN. AREVA était alors convaincu que la qualification M140 du RCC-M répondrait aux exigences de qualification technique de l'arrêté ESPN et que les calottes allaient satisfaire aux exigences de cet arrêté.

En septembre 2009, après de nombreux échanges sur le contenu des dossiers de qualification technique, **sont clarifiés, entre l'ASN et le fabricant, l'ensemble du processus de qualification technique au sens de l'arrêté ESPN, ses modalités pratiques d'application et le rôle de chacun**. Les problématiques techniques et métallurgiques reprennent leur place au centre des discussions.

Auparavant, en 2008, l'ASN avait exigé que désormais la coulée de nouvelles pièces soit soumise à la transmission préalable d'une première version recevable du dossier de qualification technique. Les pièces de Flamanville 3 coulées avant cette date devraient faire l'objet d'une qualification technique a posteriori répondant aux exigences de l'arrêté ESPN.

AREVA a produit plusieurs versions des Synthèses de Qualification Technique des calottes entre 2008 et 2010. En ce qui concerne la zone externe centrale, elles estimaient qu'après usinage, seules des ségrégations résiduelles demeureraient, assurant des propriétés mécaniques conformes. Ce jugement pouvait s'appuyer sur la connaissance de l'époque en matière de ségrégation des lingots conventionnels et en particulier sur les résultats satisfaisants de résilience obtenus sur une carotte prélevée en partie centrale du couvercle monobloc fabriqué pour Cruas 3 et sur l'estimation du positionnement de la pièce dans le lingot. Toutefois, cet argument n'apparaissait pas dans les dossiers de qualification transmis à l'ASN.

Dans le cadre des échanges techniques avec l'ASN sur les éléments de justification de la maîtrise des risques d'hétérogénéité et après avoir travaillé dans un premier temps à des simulations numériques fondées sur des données expérimentales de fabrication des pièces forgées, AREVA a proposé en 2011 de réaliser **des pièces « sacrificielles »¹⁹ afin de caractériser les risques d'hétérogénéité.**

Grâce aux données acquises sur les pièces « sacrificielles » réalisées depuis 2011, l'évolution de ces connaissances s'est faite progressivement.²⁰

La même année, l'ASN a saisi le **Groupe Permanent d'experts dédié aux ESPN (GP ESPN) à propos des règles de qualification technique à appliquer, au titre de l'arrêté ESPN, aux pièces susceptibles de présenter des hétérogénéités de caractéristiques.**

Lors de la séance du 23 novembre 2011, le GP ESPN a²¹:

- acté que les valeurs figurant dans la réglementation devaient être vérifiées en valeurs individuelles et non seulement moyennes ;
- 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 brutale²² ;

¹⁹Certaines zones des pièces ne peuvent pas faire l'objet d'expertise sans détruire la pièce : on parle alors de pièce sacrificielle. Des pièces sacrificielles sont, lorsque nécessaire, fabriquées et expertisées lors de la mise au point de procédés ou de pièces suffisamment différentes des précédentes pour que l'on ne puisse en garantir les propriétés sans une expertise spécifique.

²⁰De manière générique, il était en janvier 2011 acté que, faute de disposer de modèles de simulation étalonnés avec un ensemble suffisant de données expérimentales issues d'examen destructifs de pièces de forge, il serait recouru à des pièces sacrificielles.

²¹L'avis du GP ESPN du 23 novembre 2011 indique que « *Le Groupe permanent considère que les composants doivent présenter, en qualification, des caractéristiques mécaniques en valeurs individuelles au moins égales à celles indiquées dans l'arrêté ESPN. Un composant ne respectant pas les valeurs indiquées dans cet arrêté, dans certaines zones, ne peut être jugé acceptable que sous réserve qu'une justification particulière montre l'absence de conséquence de cette différence. Le groupe permanent considère qu'une telle démonstration ne peut que constituer un traitement a posteriori d'une qualification technique non concluante au regard des exigences figurant dans les spécifications. Elle ne peut être réalisée qu'au cas par cas sur des composants pour lesquels une connaissance précise des propriétés mécaniques obtenues existe.* »

²²Au vu des chargements mécaniques et des possibilités d'apparition de défauts.

- défini la marche à suivre pour 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.

Cet avis a représenté une évolution significative en matière de qualification technique, par rapport à la pratique du RCC-M qui prévalait jusqu'alors.

Le fond et les modes de preuve des qualifications techniques des calottes inférieure et supérieure du réacteur EPR de Flamanville diffèrent ensuite quelque peu.

En février 2012, AREVA a transmis une mise à jour de son document relatif à la qualification technique des pièces du réacteur EPR de Flamanville coulées avant janvier 2008 (pièces dites en antériorité) en y intégrant la calotte inférieure de la cuve du réacteur EPR afin d'analyser les écarts entre la nouvelle pratique stabilisée de l'exigence de la qualification technique et celle antérieure appliquée par AREVA.

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

En juillet 2012, compte tenu que, d'une part, les mesures de carbone réalisées en cours de fabrication de la calotte supérieure donnaient une valeur de concentration en carbone élevée en tête, et, d'autre part, qu'une autre calotte (dite UA supérieure²³) était devenue disponible pour procéder à des essais, **AREVA a proposé à l'ASN de prélever une carotte dans l'axe de celle-ci afin de réaliser des essais mécaniques et des analyses chimiques, pour compléter le dossier de la calotte supérieure.** La carotte de la calotte UA sup est considérée comme un complément à la qualification, AREVA estimant que les exigences seraient satisfaites.

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

Le 24 janvier 2014, la cuve de l'EPR est positionnée dans le puits de cuve situé au centre du bâtiment réacteur.

Ce n'est qu'en **septembre 2014 que la carotte prélevée sur la calotte UA supérieure fut exploitée**, après plusieurs échanges sur les modalités de réalisation des éprouvettes.

Les résultats en furent communiqués en octobre et novembre 2014, à EDF puis à l'ASN, montrant que les valeurs mentionnées par la réglementation n'étaient pas atteintes en partie centrale externe des calottes et que la concentration en carbone y était sensiblement supérieure à ce qui était attendu.

En effet, les valeurs mesurées sur deux séries de trois éprouvettes, prélevées sur la calotte UA supérieure, représentative de celles destinée à l'EPR de Flamanville, présentent une valeur moyenne de résilience de 52 Joules à 0°C et une valeur

²³La 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 des opérations de reprise du couvercle de la cuve liées au montage des adaptateurs des mécanismes de commande de grappes effectuées au cours de l'année 2011. En juillet 2012, à la suite d'échanges avec l'ASN 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.

minimale de 36 joules à 0°C, inférieures à la valeur de résilience de 60 Joules mentionnée par l'arrêté ESPN du 12 décembre 2005 (cf paragraphe 3.4).

Les investigations menées par AREVA pour déterminer l'origine de ces valeurs non conformes ont montré la présence d'une zone de ségrégation majeure positive sur un diamètre d'environ 1 mètre et la présence de ces ségrégations au quart de l'épaisseur. AREVA attribue les faibles valeurs de résilience mesurées à la présence de cette zone de ségrégation majeure positive issue du lingot utilisé pour le forgeage et non totalement éliminée lors des opérations de chutage.

3.6. Analyse de la chronologie liée à la mise en évidence de l'anomalie

Avec le recul, certaines données auraient dû amener à s'interroger dès 2007 sur la présence de ségrégations majeures positives :

- **Mise en évidence d'une valeur élevée de concentration en carbone sur la calotte supérieure lors d'un prélèvement de copeaux en 2007**

Lors du forgeage des calottes, AREVA a vérifié la bonne orientation des flans forgés (disques plats) des deux calottes avant de procéder à leur emboutissage pour leur donner une forme hémisphérique. Le soudage du revêtement intérieur de la cuve doit en effet être réalisé sur la face provenant du bas du lingot d'acier, c'est-à-dire sur celle dont la concentration en carbone est la plus faible.

Pour procéder à cette vérification, AREVA a prélevé et analysé en 2007 plusieurs copeaux de matière sur les deux faces de chacun des flans forgés. Sur le côté tête, les deux prélèvements effectués sur la calotte supérieure ont donné des valeurs de concentration de carbone élevées (0,265 % et 0,277 %) qui auraient pu amener à s'interroger sur la présence de ségrégations majeures positives excessives. Mais il faut rappeler qu'à cette date, ces mesures n'avaient pour les équipes de l'usine Creusot Forge, pour seul but spécifié dans le processus de fabrication, que de vérifier le bon repérage des côtés tête et pied du lingot.

Ces valeurs apparaissent en 2007 dans le dossier de synthèse de qualification M140 de janvier 2010 qui indique que les résultats sont conformes ainsi que dans les dossiers de qualification technique d'avril 2010 transmis à l'ASN. Dans ces dossiers, AREVA indique que les usinages réalisés postérieurement à ces prélèvements conduiront à éliminer la zone de ségrégation majeure positive.

- **Mise en évidence de mauvais résultats en 2013 lors de tests réalisés par le service R&D d'AREVA**

Des tests supplémentaires réalisés en 2013 sur l'acier d'un fond de générateur de vapeur (du même type que celui des calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville) avaient donné des résultats médiocres. Ces tests réalisés par AREVA, à Lyon, en R&D dans le cadre d'un travail de calibrage de modèles numériques et découplés des processus de qualification précités, auraient dû alerter AREVA.

Les équipes en charge des qualifications n'ont pas été informées de ces résultats par celles de la R&D. Notons aussi que ni l'ASN, ni EDF n'avaient été prévenus de ces mauvais résultats. Les équipes de la forge du Creusot, faisant alors partie d'AREVA, étaient également au courant de ces mauvais résultats d'essais issus de la R&D, (le rapport est transmis au siège d'AREVA depuis le Creusot), mais aucune réaction vis-à-vis des conséquences sur la qualité de l'acier des calottes de cuve ne semble avoir été prise à ce stade.

4. Démarche menée par AREVA pour traiter l'anomalie détectée en 2014 au niveau des calottes de la cuve de l'EPR

Suite à la détection fin 2014 de résultats d'essais de résilience plus faibles qu'attendus, réalisés dans le cadre de la qualification technique des calottes du couvercle du fond de la cuve sur une calotte représentative de celles des calottes de la cuve du réacteur EPR, AREVA a proposé en 2015 une démarche afin de justifier la tenue des calottes de cuve en conditions de fonctionnement normales, incidentelles et accidentelles.

La démarche de justification repose sur :

- un programme d'essais réalisés sur des éprouvettes prélevées dans des calottes issues du même procédé de fabrication (calottes sacrificielles), afin d'estimer les propriétés mécaniques des zones à forte concentration en carbone, principalement la ténacité et la température de transition fragile-ductile.
- une analyse métallurgique des procédés de fabrication et des conditions de fonctionnement démontrant l'absence de défaut nocif (perpendiculaires à la surface) dans les calottes en particulier compte tenu du fort taux de corroyage (écrasement d'un facteur 10 de la matière) et la réalisation de contrôles complémentaires pour le confirmer (contrôles sur le fond de cuve, sur le couvercle et sur des pièces sacrificielles).²⁴
- un dossier justifiant de la transposition des résultats obtenus sur les calottes sacrificielles aux calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville basé sur la comparaison des paramètres de fabrication, sur la comparaison des caractéristiques mécaniques en zones de recette et sur la comparaison des mesures de carbone en surface.
- le calcul des sollicitations maximales induites par les chargements en pression et en température dans les calottes dans la cuve résultant des conditions de fonctionnement normales, incidentelles et accidentelles. Ces calculs sont réalisés par des logiciels thermohydrauliques et mécaniques. Les situations de fonctionnement accidentelles considérées tiennent compte notamment des chocs thermiques (chaud ou froid).
- la vérification que les sollicitations dans les calottes dans les conditions de fonctionnement normales et accidentelles restent, en tenant compte des coefficients de sécurité applicables, en deçà des critères (courbe de ténacité limite) qui conduiraient à la propagation d'une fissure postulée de manière découplée et perpendiculaire à la surface.

²⁴Il convient de noter qu'AREVA a procédé à des contrôles sur les calottes de la cuve de l'EPR au stade de la fabrication dont les résultats ne l'ont pas conduit à relever des défauts inacceptables :

- un contrôle visuel de toutes les surfaces au cours des différentes phases de fabrications présentées au paragraphe 2.1,
- un contrôle par ressuage des surfaces interne et externe des calottes après l'usinage final,
- un contrôle volumique par ultrasons après usinage final.

La démarche de justification proposée par AREVA a été soumise à l'avis de l'ASN en 2015. Après l'instruction du dossier réalisée conjointement avec son appui technique l'IRSN et après le recueil de l'avis du Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GP ESPN) réuni à ce sujet le 30 septembre 2015, **l'ASN a pris position le 14 décembre 2015 en considérant acceptable, dans son principe, la démarche proposée par AREVA et en ne formulant pas d'objection au lancement du nouveau programme d'essais prévu sous réserve de la prise en compte de ses observations et de ses demandes.**

AREVA a lancé la campagne d'essais mécaniques en 2016 dans plusieurs laboratoires accrédités selon la norme NF EN ISO 17025 afin de renforcer la robustesse des résultats du programme d'essais et la confiance dans leur impartialité, comme demandé par l'ASN :

- le laboratoire du Centre Technique AREVA à Erlangen en Allemagne (laboratoire intervenant dans des programmes d'expertise pour des réacteurs nucléaires étrangers Doel 3, Tihange 2 et Olkiluoto 3 notamment).
- le laboratoire SCK.CEN à Mol en Belgique,
- le laboratoire d'AMEC en Angleterre.

Les mesures de taux de carbone dans chaque éprouvette ont été réalisées dans le laboratoire Filab en France, également accrédité selon la norme NF EN ISO 17025.

Au total, 1722 éprouvettes ont été testées dans le cadre du programme d'essais :

- 797 au laboratoire du Centre Technique AREVA de Erlangen,
- 670 au laboratoire SCK.CEN,
- 159 au laboratoire AMEC,
- 96 essais Pellini au laboratoire d'essais mécaniques de l'usine AREVA Saint-Marcel.

L'ASN a par ailleurs mandaté BUREAU VERITAS pour surveiller la mise en œuvre de l'ensemble du programme expérimental.

Au final, trois calottes sacrificielles issues de la même gamme de fabrication que les calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville et fabriquées également au sein de l'usine de Creusot Forge, contre deux prévues initialement, ont été utilisées dans le cadre du programme d'essais : une calotte supérieure fabriquée en 2013 et dédiée initialement au projet Hinkley Point au Royaume-Uni, deux calottes supérieure et inférieure fabriquées entre 2009 et 2011 et prévues initialement pour un projet aux États-Unis.

AREVA a transmis, en décembre 2016, son dossier de justification de la ténacité suffisante des calottes de cuve de Flamanville 3 incluant entre autres un dossier comportant les résultats d'essais sur les différentes calottes sacrificielles et la courbe de ténacité limite ainsi que les calculs des efforts maximaux induits par les

chargements en pression et en température dans les calottes de la cuve résultant des conditions de fonctionnement normales, incidentelles ou accidentelles.

Ces différents éléments ainsi que les réponses apportées par AREVA aux demandes formulées par l'ASN dans sa lettre du 14 décembre 2015 font actuellement l'objet d'un examen par l'IRSN et l'ASN afin de statuer sur leur acceptabilité et sur l'aptitude au service du couvercle et du fond de la cuve du réacteur EPR de Flamanville.

5. Mesures de transparence et d'information du public

L'exploitant EDF, le fabricant AREVA et l'Autorité de sûreté nucléaire ont informé le public le 7 avril 2015 de l'anomalie détectée au niveau des calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville dans le cadre des essais menés pour sa qualification technique. Les actions de communication de chacun des acteurs visant à informer le public sur l'origine de cette anomalie et les démarches menées dans le cadre de son traitement sont détaillées ci-dessous.

5.1 Information du public et des parties prenantes intéressées par EDF et AREVA

AREVA et EDF ont informé le public, via la publication de communiqués de presse sur leurs sites Internet, de l'anomalie détectée au niveau de la cuve du réacteur EPR dans le cadre de sa qualification technique et sur l'avancement des essais complémentaires menés pour justifier la résistance de la cuve.

Ils ont publié, le 7 avril 2015, un communiqué de presse commun relatif à la non-conformité des résultats des essais chimiques et mécaniques réalisés sur une pièce représentative du couvercle et du fond de la cuve. Ils indiquent dans ce communiqué que leurs équipes sont mobilisées pour réaliser, au plus tôt, des essais complémentaires, après accord de l'ASN, et pour apporter à cette dernière les informations pour démontrer la sûreté et la qualité des équipements concernés.

Le 13 avril 2016, ils ont fait état au public de l'avancement du programme d'essais portant sur le couvercle et le fond de la cuve via la publication d'un nouveau communiqué de presse commun. Ils y ont indiqué que le programme d'essais était étendu à une troisième pièce sacrificielle afin de conforter la représentativité des pièces testées et que le rapport définitif des analyses effectuées serait transmis à l'ASN à la fin de l'année 2016.

En complément, AREVA a publié, le 8 juillet 2015, un communiqué de presse afin d'informer le public des objectifs et de la chronologie des analyses effectuées durant la phase de fabrication du couvercle et du fond de la cuve en réaction aux affirmations de la presse à ce sujet.

EDF a également informé le public, via la publication d'un communiqué de presse le 19 avril 2015, des nouvelles exigences de l'ASN relatives aux spécifications mécaniques auxquelles doivent satisfaire les équipements du réacteur EPR, depuis l'arrêté relatif aux équipements sous pression nucléaires (ESPN) de 2005.

Par ailleurs, EDF a organisé un point presse le 3 septembre 2015 sur le sujet du chantier de l'EPR de Flamanville ainsi qu'un voyage de presse le 16 novembre 2016 sur le site de Flamanville. EDF a également donné des points d'information sur le

sujet de la cuve de l'EPR lors des réunions de la CLI de Flamanville, et plus particulièrement lors de la réunion du 28 septembre 2015.

AREVA et EDF ont aussi participé à la journée de dialogue technique du 15 septembre 2016 (cf. paragraphe 5.3) pour présenter leurs actions de contrôle et de surveillance respectives menées lors de la fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville.

Dans le cadre du groupe de suivi de l'instruction de l'anomalie, mis en place par le HCTISN, AREVA et EDF ont présenté les éléments concernant l'historique de la conception et de la fabrication des calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville à la demande des membres du groupe de suivi.

Il convient de noter que le dossier comportant les résultats d'essais menés dans le cadre de la démarche de justification de la tenue des calottes de cuve en conditions de fonctionnement normales et accidentelles, transmis par AREVA à l'ASN en décembre 2016 n'a pas été rendu public. En revanche, AREVA a publié le 11 mai 2017 sur son site Internet la note de synthèse²⁵ des résultats et des conclusions de son programme d'essais et des analyses menées dans le cadre de cette démarche de justification. Cette note s'appuie sur 21 notes techniques non publiées.

5.2 Information du public et des parties prenantes intéressées par l'ASN et ses appuis techniques : l'IRSN et le GPESPN

Conformément à ses missions de contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection et d'information du public dans ces domaines, l'ASN a informé le public des anomalies de fabrication des calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville via la publication d'un communiqué de presse le 7 avril 2015 sur son site Internet. Cette communication a décrit de manière factuelle les informations transmises par AREVA en fin d'année 2014 quant aux résultats d'essais de résilience réalisés dans le cadre de la qualification technique de la cuve, plus faibles qu'attendus. Ce communiqué indiquait également que pour traiter cet écart, AREVA avait proposé des essais complémentaires sur lesquels l'ASN serait amenée à se prononcer.

Afin d'informer le public sur l'anomalie elle-même et sur l'avancement des démarches menées pour la traiter, l'ASN a publié, périodiquement sur son site Internet des notes d'information sur ce dossier et les a regroupées au sein d'une rubrique dédiée et intitulée « Anomalies de la cuve de l'EPR ». Celles-ci, listées en annexe au présent rapport, portent notamment sur :

- l'anomalie en elle-même et l'historique de sa mise en évidence, à savoir :
 - des précisions techniques sur les anomalies de fabrication de la cuve de l'EPR,
 - l'historique de la mise en évidence de l'anomalie affectant la cuve et les échanges de l'ASN avec AREVA au sujet de la fabrication de la cuve,

²⁵Note de synthèse disponible sur la page Internet du site AREVA NP : http://www.aveva-np.com/businessnews/liblocal/docs/3_Actualites/Comprendre/Note_synthese_tenacite_calottes_cuve_EPR_FA3.pdf

- l'analyse et l'instruction en cours du dossier du traitement de l'anomalie, notamment :
 - les analyses du Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GPESPN) sur l'anomalie affectant le couvercle et le fond de la cuve de l'EPR, sur lesquelles s'appuie notamment l'ASN dans ses prises de décision,
 - les prises de position de l'ASN du 14 décembre 2015 et du 26 septembre 2016 sur la démarche menée par AREVA pour justifier de la ténacité suffisante des calottes de la cuve de l'EPR,
- les échanges de l'ASN avec EDF et AREVA :
 - la mise à disposition du public de plusieurs courriers adressés par l'ASN à AREVA depuis 2006 sur la fabrication de la cuve,
 - les éléments de l'audition du 8 décembre 2015 des exploitants EDF et AREVA par le collège de l'ASN sur l'application de la réglementation relative aux équipements sous pression nucléaires,
- les réponses de l'ASN aux sollicitations des parties prenantes intéressées et du public, avec notamment :
 - la mise en ligne de la présentation de l'ASN à l'audition organisée le 25 juin 2015 par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)²⁶
 - la mise en ligne de la présentation de l'ASN à l'audition organisée le 25 octobre 2016 par l'OPECST sur la sûreté des équipements sous pression nucléaires (ESPN) qui a entendu l'ASN et son appui technique l'IRSN, le fabricant AREVA, l'exploitant EDF, ainsi que le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN),
 - une note d'information de l'ASN du 4 août 2015 relative à l'anomalie et informant le public d'une réponse transmise par le Président de l'ASN au président du collectif pour le contrôle des risques radioactifs relative à l'anomalie et à la communication de l'ASN sur le sujet.

L'ASN donne également l'accès aux informations concernant ce dossier en mettant à disposition du public, sur son site Internet, au sein d'une rubrique dédiée au Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GPESPN)²⁷, les rapports d'instruction de ce dossier et les avis de ce groupe. Sont notamment disponibles :

²⁶Créé par la loi n° 83-609 du 8 juillet 1983, à la suite d'un vote unanime du Parlement, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST), composé de 18 députés et 18 sénateurs, a pour mission, aux termes de la loi, « d'informer le Parlement des conséquences des choix de caractère scientifique et technologique afin, notamment, d'éclairer ses décisions ». À cet effet, l'Office « recueille des informations, met en œuvre des programmes d'études et procède à des évaluations ». Il est assisté d'un conseil scientifique de 24 experts de réputation internationale.

²⁷Groupe composé d'experts issus de la société civile, des laboratoires de recherche universitaires, des bureaux de contrôle, des organismes d'expertise, des exploitants concernés par les sujets traités ainsi que des Autorités de sûreté étrangères.

- les deux rapports en date du 16 septembre 2015 et du 17 juin 2016, établis par l'ASN et son appui technique l'IRSN, au GPESPN relatifs respectivement à l'« Analyse de la démarche proposée par AREVA pour justifier de la ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 » et à un point d'étape de cette démarche,
- l'avis du 30 septembre 2015 du GPESPN et ses observations émises le 24 juin 2016 relatifs respectivement à la démarche proposée par AREVA pour justifier de la ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR et à l'avancement de cette démarche.

Les courriers de prise de position de l'ASN du 14 décembre 2015 et du 26 septembre 2016 faisant suite aux avis du GPESPN, mentionnés plus haut, sont disponibles sur cette même page du site Internet.

L'ensemble de ces documents est également disponible en anglais au sein de cette même rubrique.

L'IRSN, appui technique de l'ASN, donne également l'accès au public, via son site Internet, à ses documents concernant l'expertise de sûreté du réacteur EPR de Flamanville. Ses avis et rapports sur l'anomalie sont disponibles sur une page dédiée de son site Internet. L'IRSN publie également des notes d'information à destination du public. Concernant l'anomalie, l'IRSN a mis en ligne :

- ses avis et rapports d'analyse sur ce dossier en réponse aux saisines de l'ASN :
 - son avis du 3 avril 2015 sur la qualification technique des calottes du couvercle et du corps de la cuve transmis à l'ASN suite à une demande de cette dernière concernant les premiers éléments transmis par AREVA pour justifier le caractère suffisant de la ténacité du matériau des calottes de la cuve,
 - le rapport du 16 septembre 2015 établi par l'ASN et l'IRSN au GPESPN mentionné précédemment,
- des notes d'information destinées au public :
 - une note d'information du 9 juin 2016 relative à l'instruction technique du projet de réacteur EPR à Flamanville suite à la publication d'un article le 8 juin 2015 par Mediapart faisant état d' « *un rapport confidentiel de l'IRSN [...] sur les soupapes de sûreté de l'EPR de Flamanville* » et d' « *un autre rapport rendu en avril par l'IRSN à l'Autorité de sûreté [...] sur les problèmes de fabrication du couvercle et du fond de la cuve du réacteur* ». Dans sa note d'information, l'IRSN informe le public des instructions effectivement en cours sur ces sujets et de l'établissement de documents de travail dans le cadre de ces instructions. L'IRSN y indique également que des analyses approfondies sont encore nécessaires avant qu'il ne transmette les conclusions de son instruction à l'ASN et que ces conclusions pourront être

- rendues publiques via leur publication sur le site Internet de l'IRSN, suite à la prise de position de l'ASN.
- une note d'information du 18 octobre 2016 relative aux anomalies et irrégularités sur les réacteurs en fonctionnement d'EDF constatées lors des investigations consécutives à l'anomalie concernant les calottes de la cuve du réacteur EPR.
- les réponses de l'IRSN aux sollicitations des parties prenantes intéressées et notamment sa présentation lors de son audition du 25 octobre 2016 devant l'OPECST ainsi que la vidéo de l'audition.

5.3 Information du public par d'autres parties prenantes intéressées et accès à l'expertise du dossier

- Suivi du dossier relatif à l'anomalie de la cuve du réacteur EPR de Flamanville au sein du HCTISN

Suite à la communication de l'ASN en date du 7 avril 2015 d'anomalies de fabrication de la cuve du réacteur EPR de Flamanville, le HCTISN s'est saisi de ce dossier en effectuant un point précis de la situation lors d'une réunion plénière organisée le 18 juin 2015. Il a aussi périodiquement rendu compte à l'ensemble de ses membres des travaux du groupe de suivi constitué spécifiquement pour suivre ce dossier.

Les présentations effectuées au cours de la réunion plénière du 18 juin 2015 sont disponibles en ligne sur le site Internet du HCTISN (www.hctisn.fr) ainsi que les compte-rendus de l'ensemble des réunions du Haut comité retranscrivant notamment les échanges sur ce dossier.

Le groupe de suivi s'est réuni à sept reprises depuis le début de l'année 2016 afin de retracer l'historique de la fabrication de la cuve de l'EPR et de mieux appréhender les enjeux liés à l'anomalie décelée puis, pour synthétiser, dans le présent rapport, l'ensemble des informations recueillies.

Dans le cadre de ses travaux, deux visites ont également été organisées pour les membres du groupe par AREVA :

- La première visite a eu lieu le 13 mai 2016 au Centre Technique AREVA situé à Erlangen en Allemagne au sein duquel est réalisée une partie des essais complémentaires menés sur les pièces sacrificielles dans le cadre de la démarche de justification du caractère suffisant de la ténacité des calottes de la cuve. Lors de cette visite, ont notamment été présentés aux membres du groupe de suivi l'ensemble du programme de caractérisation des essais menés sur les pièces sacrificielles, ainsi que la réalisation en elle-même de certains essais. BUREAU VERITAS, organisme habilité pour évaluer la conformité des équipements sous pression et mandaté par l'ASN pour surveiller les essais complémentaires réalisés par AREVA, a également présenté les modalités de surveillance des essais (vérification documentaire, surveillance des opérations, traçabilité...);

- La seconde visite, en date du 23 novembre 2016, a eu lieu au sein de l'usine « Creusot Forge » d'AREVA, dans laquelle ont été forgées les deux calottes du couvercle et du fond de la cuve. L'historique de l'usine, la découverte des irrégularités de fabrication²⁸ mises en évidence lors de la revue de la qualité de la fabrication menée suite à la détection fin 2014 de l'anomalie de la cuve du réacteur EPR de Flamanville et le processus de traitement de ces irrégularités ont été présentés aux membres du groupe de suivi. Une visite des ateliers a également été réalisée.

Le HCTISN donne l'accès au public, via son site Internet (www.hctisn.fr), aux documents de travail établis dans le cadre du groupe de suivi. La liste de ces documents figure à l'annexe 4 du présent rapport.

➤ Auditions publiques des principaux acteurs organisées par l'OPECST

Des auditions ouvertes à la presse ont été organisées par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques les 25 juin 2015 et 25 octobre 2016. Elles portaient sur les enjeux des anomalies de fabrication détectées sur la cuve du réacteur EPR de Flamanville et sur la sûreté des équipements sous pression nucléaires. Les vidéos et les compte-rendus de ces auditions sont accessibles sur les sites Internet respectifs de l'Assemblée nationale et du Sénat. Les rapports issus de ces auditions sont listés en annexe du présent rapport.

Au cours de ces auditions, les principaux acteurs concernés ont été auditionnés afin de faire la lumière sur la nature des défauts, les conditions de leur identification, les investigations en cours et les mesures correctives envisageables. Ont notamment été entendus :

- l'exploitant EDF et le fabricant AREVA,
- l'ASN et son appui technique l'IRSN,
- le HCTISN.

Ont également participé à la première audition, des représentants de :

- la Direction générale de la Prévention des risques du ministère chargé de l'environnement et de l'énergie,
- l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA),
- l'Association française pour les règles de conception, de construction et de surveillance en exploitation des matériels des chaudières électronucléaires (AFCEN) et de l'Association pour la qualité des appareils à pression (AQUAP),
- du CEA et de l'Université catholique de Louvain.

²⁸ Ces irrégularités, si elles ont été mises en évidence à l'occasion de la revue qualité initiée après la découverte des anomalies des calottes de cuve de l'EPR, sont sans lien avec le problème technique de ségrégation majeure positive traité par le présent document.

- Journées de « dialogue technique » organisées par l'IRSN, l'ANCCLI, la CLI de Flamanville et l'ASN

Des journées de « dialogue technique » sur les anomalies affectant la cuve de l'EPR ont également été organisées par l'IRSN, l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (ANCCLI)²⁹, la CLI de Flamanville et l'ASN.

Le HCTISN y a participé dans le cadre d'une démarche de dialogue, notamment en termes d'accès aux connaissances scientifiques et techniques de l'IRSN. La CLI de Flamanville a également réuni ses membres le 28 septembre 2015 à ce sujet.

Depuis décembre 2015, trois réunions de « dialogue technique » organisées les 2 décembre 2015, 6 avril 2016 et 15 septembre 2016 ont permis aux acteurs de la société civile d'appréhender les enjeux de sûreté et d'apporter leur contribution. L'objectif de ces journées est de permettre aux membres de CLI et aux parties prenantes en général, d'accéder à l'expertise sur l'anomalie de la composition de l'acier sur la cuve du réacteur EPR de Flamanville et de pouvoir en discuter tout au long du processus d'instruction.

Parmi les questions abordées à la demande des participants issus de la société civile, la démarche de justification de la qualité de la cuve malgré les anomalies constatées et la représentativité des essais ont occupé une place centrale. Les programmes de ces réunions et les présentations effectuées au cours de ces réunions sont listées en annexe du présent rapport et sont publiées sur les sites Internet des organisateurs (sites Internet de l'IRSN, de l'ANCCLI et de l'ASN).

Une nouvelle réunion est prévue le 5 juillet 2017 et doit permettre de partager et discuter les principaux éléments du rapport d'instruction de l'ASN et de l'IRSN présentés en juin 2017 au GPESPN sur le dossier de justification de la ténacité suffisante des ca-lottes de cuve de Flamanville 3 transmis par AREVA en décembre 2016.

5.4 Information du public par les associations de protection de l'environnement

Plusieurs associations de protection de l'environnement ont présenté leurs points de vue sur le sujet de l'anomalie de la cuve de l'EPR de Flamanville via leurs sites Internet respectifs, notamment l'organisation internationale « Greenpeace » (<https://www.greenpeace.fr/>), l'association « Réseau sortir du nucléaire » (<http://www.sortirdunucleaire.org/>) ou encore l'association d'information et de surveillance de la radioactivité (ACRO) sur un site Internet dédié (<http://transparence-nucleaire.eu.org/>).

²⁹L'Association Nationale des Comités et Commissions Locales d'Information est une association régie par la loi du 1er juillet 1901 qui regroupe 37 Commissions Locales d'Information. En France, chaque installation nucléaire est pourvue d'une Commission Locale d'Information (CLI) qui informe la population sur les activités nucléaires et qui assure un suivi permanent de l'impact des installations nucléaires.

6. Avis et recommandations du HCTISN

Le HCTISN relève que depuis leur révélation le 7 avril 2015 par l'ASN, EDF et AREVA, les informations relatives à l'anomalie détectée au niveau des calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville dans le cadre des essais menés pour sa qualification technique ont fait l'objet d'une communication relativement hétérogène auprès du public par les différents acteurs concernés.

Le HCTISN souligne que l'ASN a publié régulièrement des notes d'information sur ce dossier afin notamment d'éclairer le public sur l'historique de ses échanges avec AREVA au sujet de la fabrication de la cuve et afin de l'informer de sa position quant à la démarche proposée par AREVA pour justifier l'aptitude à la mise en service de la cuve. L'ASN a ainsi mis à disposition du public plusieurs courriers qu'elle a adressés à AREVA depuis 2006 sur la fabrication de la cuve. Les réponses d'AREVA à ces courriers, n'ont, quant à elles, pas été rendues publiques. La mise en ligne par l'ASN, sur son site Internet, d'un « dossier pédagogique » dédié au sujet des « Anomalies de fabrication de la cuve de l'EPR »³⁰ permet au public d'accéder facilement à l'ensemble des notes d'information de l'ASN à ce sujet, dans un langage accessible et pédagogique, et d'obtenir les derniers éléments d'actualité.

De même, l'IRSN a donné accès au public à son expertise sur ce dossier en publiant, régulièrement depuis 2015, au sein d'une page dédiée de son site Internet³¹, ses avis, ses notes d'informations et ses présentations effectuées auprès de l'OPECST et au HCTISN sur ce dossier. La mise en ligne, au sein de la rubrique « Actualités » du site Internet de l'IRSN, des présentations effectuées au cours des rencontres du dialogue technique mis en place par l'IRSN, l'ANCCLI, la CLI de Flamanville et l'ASN sur ce sujet permet également de compléter l'accès, pour tout citoyen, à l'expertise sur ce dossier.

En revanche, le HCTISN note que la communication réalisée par l'exploitant EDF et le fabricant AREVA à destination du public sur ce sujet est plus succincte. Le 7 avril 2015, ces acteurs ont informé le public de l'anomalie détectée au niveau des calottes de la cuve puis, un an plus tard, le 13 avril 2016, ont rendu public l'état de l'avancement du programme des essais complémentaires mené dans le cadre de la démarche de justification de l'aptitude à la mise en service de la cuve.

EDF et AREVA n'ont pas expliqué au public l'origine de l'anomalie et l'historique de la conception et de la fabrication de la cuve du réacteur EPR. C'est uniquement dans le cadre du groupe de suivi du HCTISN qu'EDF et AREVA ont présenté ces éléments. Ils seront donc, de fait, accessibles au public à l'occasion de la publication du présent rapport. Le HCTISN tient d'ailleurs à souligner que ces acteurs, sur demande appuyée de l'ensemble des membres du groupe de suivi, ont apporté des informations précises sur ce sujet dans le cadre des échanges menés lors des réunions du groupe ainsi que

³⁰Dossier pédagogique dédié au sujet des « Anomalies de fabrication de la cuve de l'EPR » disponible sur le site Internet de l'ASN à l'adresse : <https://www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/Anomalies-de-la-cuve-de-l-EPR-et-irregularites-usine-Creusot-Forge-d-AREVA>

³¹Page du site Internet de l'IRSN relative aux « Avis et rapports sur les anomalies relatives aux ségrégations du carbone affectant les calottes de cuves de l'EPR de Flamanville 3 et certains fonds primaires de GV du parc en exploitation » : <http://www.irsln.fr/FR/expertise/theme/Pages/Avis-rapports-segregation-carbone.aspx#.WR1bQFXyjIU>

lors des visites du Centre Technique AREVA situé à Erlangen en Allemagne et au sein de l'usine « Creusot Forge » d'AREVA (cf. paragraphe 5.3).

Par ailleurs, la remise à l'ASN, à la fin de l'année 2016, du rapport définitif des analyses effectuées dans le cadre de la démarche de justification de l'aptitude à la mise en service de la cuve de l'EPR n'a pas fait l'objet de communication vers le public par EDF et AREVA. Le public n'a été informé ni de la forme ni du contenu de ce dossier établi par AREVA au moment de sa remise à l'ASN.

Depuis, AREVA a publié le 11 mai 2017 sur son site Internet la note de synthèse de ce dossier³² avec des éléments occultés au titre du secret industriel.

Le HCTISN note également qu'EDF et AREVA n'ont fait aucune communication vers le public quant aux scénarios alternatifs envisagés si les résultats de la démarche de justification de l'aptitude au service de la cuve du réacteur EPR s'avéraient non concluants.

Le HCTISN considère que le public a été informé de l'anomalie liée à la composition de l'acier dans certaines zones du couvercle et du fond de la cuve du réacteur EPR de Flamanville, essentiellement grâce à une communication active et rythmée de l'ASN et de son expert technique l'IRSN via la mise en ligne de documents sur leurs sites Internet respectifs. Ils ont aussi répondu aux sollicitations des médias.

La mise à disposition du public des compte-rendus des auditions des 25 juin 2015 et 25 octobre 2016 de l'ensemble des acteurs par l'OPECST sur les sites Internet de l'Assemblée nationale et du Sénat a permis d'apporter un éclairage supplémentaire sur ce dossier. Ces auditions ont permis de rendre publics les points de vue d'EDF et d'AREVA sur les causes des défauts de fabrication de la cuve et les démarches en cours pour justifier de son aptitude à la mise en service.

Le HCTISN salue par ailleurs et encourage les initiatives prises par l'IRSN, l'ANCCLI, la CLI de Flamanville et l'ASN pour favoriser l'accès à l'expertise sur ce dossier via notamment l'organisation de rencontres de dialogue technique et la mise en ligne des présentations associées.

Le HCTISN considère qu'AREVA et EDF devraient rendre publiques les réponses aux courriers que l'ASN leur a adressés depuis 2006 sur la fabrication de la cuve, afin d'améliorer la compréhension du public sur ce dossier. Le HCTISN considère par ailleurs qu'une information périodique et plus fréquente de la part d'EDF et d'AREVA vers le public afin de présenter le contenu de la démarche menée pour justifier la tenue des calottes de la cuve, tel que détaillé au paragraphe 4 du présent rapport, et afin de l'informer de l'avancement de cette démarche aurait permis au public de mieux apprécier les objectifs et l'ampleur des analyses complémentaires et études à mener.

³²Note de synthèse disponible sur la page Internet du site AREVA NP : http://www.aveva-np.com/businessnews/liblocal/docs/3_Actualites/Comprendre/Note_synthese_tenacite_calottes_cuve_EPR_FA3.pdf

Le HCTISN estime également qu'une communication de la part d'EDF et d'AREVA auprès du public sur les scénarios techniques alternatifs envisagés dans le cas où l'instruction conduirait à ne pas accepter le couvercle et le fond de cuve permettrait également de compléter son information sur l'ensemble du dossier et notamment sur les conséquences potentielles liées à l'anomalie de la cuve.

Le HCTISN recommande à l'ensemble des acteurs concernés de renforcer la transparence sur ce dossier afin de permettre à chaque individu de disposer de l'ensemble des informations liées à son instruction en vue de suivre le processus de décision et de participer à la consultation du public qui en découlera. Le HCTISN recommande en particulier à EDF et AREVA de rendre public le rapport définitif des analyses effectuées dans le cadre de la démarche de justification de l'aptitude à la mise en service de la cuve de l'EPR sur la base duquel l'ASN donnera sa position et d'informer le public des solutions alternatives envisagées si l'aptitude à la mise en service de la cuve n'est pas démontrée.

À cet effet, le HCTISN recommande à l'ensemble des acteurs de veiller à ce que les informations mises à disposition du public soient hiérarchisées, accompagnées d'éléments de compréhension et rédigées dans un langage pédagogique pour en faciliter leur lecture, le sujet étant complexe et très technique.

Enfin, le HCTISN note avec intérêt la communication faite par l'ASN auprès de ses homologues étrangères quant aux anomalies de fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville. Le HCTISN recommande à chacune des parties prenantes (fabricant, exploitant, ANCCLI, associations de protection de l'environnement, experts techniques,...) de partager ces informations avec leurs homologues étrangers. La traduction en anglais de ce rapport permettra de faciliter cette diffusion d'informations.

De manière générale, le HCTISN note que, les travaux du groupe de suivi ont permis de déclencher un changement d'attitude qui a conduit à la mise en place d'une nouvelle dynamique au sein du groupe de suivi et à une démarche de transparence de la part de l'ensemble des acteurs.

Ainsi, le HCTISN attend que le groupe de suivi prolonge sa mission jusqu'à la publication de la prise de position technique de l'ASN sur ce dossier.

ANNEXE 1 :

LISTE DES FIGURES DU RAPPORT

Figure 1 : Schéma en coupe de l'EPR – page 11

Figure 2 : Cuve EPR – page 12

Figure 3 : Composants de la cuve EPR – page 13

Figure 4 : Réalisation du lingot – page 16

Figure 5 : Répartition du carbone dans le plan vertical au centre du lingot – page 16

Figure 6 : Chutage du lingot - page 17

Figure 7 : Écrasement du lingot – page 17

Figure 8 : Usinage du lingot – page 18

Figure 9 : Emboutissage du lingot – page 18

Figure 10 : Propagation d'une fissure – page 20

Figure 11 : Courbe de ténacité en fonction de la température – page 21

Figure 12 : Ténacité du matériau en fonction de la température – page 21

Figure 13 : Tableau d'approvisionnement des composants – page 26

Figure 14 : Fabrication des pièces de la cuve – page 28

Figure 15 : Chutage du lingot lors du forgeage des calottes de la cuve EPR – page 29

Figure 16 : Emboutissage du lingot EPR – page 29

ANNEXE 2 :

**LISTE DES MEMBRES DU GROUPE DE SUIVI DU HCTISN
DU DOSSIER RELATIF À L'ANOMALIE DE LA CUVE EPR**

| Nom | Membre du HCTISN / Personnalité extérieure invitée | Collège du HCTISN / Société ou organisme |
|---------------------------|---|---|
| Ancelin Claudie | Personnalité extérieure invitée | EDF |
| Bettinelli Benoît | Secrétaire général du HCTISN | |
| Blaton Elisabeth | Secrétariat technique du HCTISN | |
| Boilley David | Membre suppléant HCTISN | Collège Association (ACRO) |
| Bonnemains Jacky | Membre titulaire HCTISN | Collège Association (Robin des bois) |
| Catteau Rémy | Personnalité extérieure invitée | ASN |
| Collet Julien | Personnalité extérieure invitée | ASN |
| Comets Marie-Pierre | Présidente du HCTISN | Collège des personnalités qualifiées |
| De L'Épinois Bertrand | Personnalité extérieure invitée | AREVA |
| Faucheux Christophe | Membre suppléant HCTISN | Collège des organisations syndicales (CFDT) |
| Gosselin-Fleury Geneviève | Membre titulaire HCTISN | Collège des parlementaires |
| Guétat Philippe | Membre suppléant HCTISN | Collège des organisations syndicales (CFE-CGC) |
| Guillemette Alain | Membre titulaire HCTISN | Collège Etat (DSND) |
| Herviou Karine | Personnalité extérieure invitée | IRSN |
| Lacote Jean-Paul | Membre titulaire HCTISN | Collège Association (FNE) |
| Laurent Michel | Membre titulaire HCTISN | Collège des CLI |
| Marchal Bruno | Personnalité extérieure invitée | AREVA |
| Miraucourt Jean-Marc | Personnalité extérieure invitée | EDF |
| Pochitaloff Pierre | Membre titulaire HCTISN Pilote du groupe de suivi | Collège des organisations syndicales (SPAEN) |
| Rollinger François | Membre suppléant HCTISN | Collège Etat (IRSN) |
| Rousselet Yannick | Membre titulaire HCTISN | Collège Association (Greenpeace) |
| Sené Monique | Membre titulaire HCTISN | Collège des CLI |
| Spautz Roger | Membre suppléant HCTISN | Collège Association (Greenpeace) |
| Viers Stéphanie | Secrétariat technique du HCTISN | |
| Wallendorff Claude | Membre titulaire HCTISN | Collège des CLI |

ANNEXE 3 :

COURRIER DE SAISINE DE LA MINISTRE DU 5 OCTOBRE 2015



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

La ministre

Paris, le 05 OCT. 2015

Madame la Présidente,


L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a rendu publique le 7 avril 2015 une anomalie de la composition de l'acier dans certaines zones du couvercle et du fond de cuve du réacteur de l'EPR de Flamanville.

AREVA a proposé à l'ASN de réaliser une campagne d'essais approfondie sur un couvercle représentatif pour connaître précisément la localisation de la zone concernée ainsi que ses propriétés mécaniques. L'ASN doit maintenant se prononcer sur le programme d'essai proposé, s'assurer de sa bonne réalisation et enfin statuer sur la résistance de la cuve du réacteur EPR de Flamanville, et fait appel pour cela à son appui technique, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et au groupe permanent d'experts dédié aux équipements sous pression nucléaires.

En vertu des missions que la loi confie au Haut comité à la transparence et à l'information sur la sécurité nucléaire que vous présidez, je souhaite vous saisir afin que le Haut comité veille à la transparence du processus et s'assure de la bonne transmission des informations vers la société civile.

Je souhaite en particulier qu'il examine les conditions dans lesquelles le public est informé des réponses aux questions suivantes :

- Comment cette anomalie s'est-elle produite et pourquoi a-t-elle été révélée 9 ans après la fabrication des pièces incriminées ?



Madame Marie-Pierre COMETS
Présidente du Haut-Comité pour la transparence et
l'information sur la sécurité nucléaire
DGPR Tour Séquoia
92055 PARIS LA DEFENSE CEDEX

Hôtel de Roquelaure – 246, boulevard Saint-Germain – 75007 Paris – Tél : 33 (0)1 40 81 21 22
www.developpement-durable.gouv.fr

- Quels sont les phénomènes physiques sous-jacents et leurs conséquences en terme de sûreté dans le contexte de l'EPR, expliqués dans un langage pédagogique ?
- Quelles sont les mesures prises par AREVA et EDF pour assurer l'information du public et la transparence de ce programme d'essais sur la cuve témoin, en particulier sur les tests qui seront réalisés et les résultats obtenus, ainsi que sur l'analyse de la conformité de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 au regard de la réglementation relative aux équipements sous pression nucléaires ?

Je souhaite qu'il ne puisse subsister, à l'issue du processus de tests et d'analyse, aucune zone d'ombre sur leurs conditions de réalisation et la teneur de leurs résultats.

Vous prendrez contact avec l'Autorité de sûreté nucléaire, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, AREVA et EDF pour organiser votre mission. L'agenda de votre mission sera élaboré en fonction de celui de l'instruction technique pilotée par l'ASN et se conclura par la rédaction d'un rapport public que vous me remettrez à l'issue de ce processus.

Je vous prie d'agréer, Madame la Présidente, l'expression de mes salutations les meilleures.



Ségolène ROYAL

ANNEXE 4 :

DOCUMENTS DE TRAVAIL ÉTABLIS DANS LE CADRE DU GROUPE DE SUIVI

- Note de l'ASN du 21 mars 2016 sur l'historique de la fabrication de la cuve et de la qualification technique des calottes de cette dernière, sur le contexte réglementaire et sur les contrôles qu'elle a effectués et mandatés sur la cuve : « Note en vue de la réunion du 23 mars 2016 du groupe de suivi du HCTISN portant sur l'anomalie de la cuve de Flamanville 3 »
- Note d'EDF du 29 juin 2016 : « Historique EDF des calottes de cuve de Flamanville 3 »
- Note d'AREVA du 26 juin 2016 : « Historique des calottes de cuve FA3 »
- Visite le 13 mai 2016 des membres du groupe de suivi du Centre Technique AREVA situé à Erlangen en Allemagne : Présentations par AREVA du programme d'essais menés sur les calottes sacrificielles et par Bureau Veritas des modalités de surveillance des essais
- Visite le 23 novembre 2016 des membres du groupe de suivi de l'usine Creusot Forge d'AREVA : Présentation par AREVA de l'historique de l'usine Creusot Forge, de la découverte des irrégularités de fabrication³³ mises en évidence lors de la revue de la qualité de la fabrication menée suite à la détection fin 2014 de l'anomalie de la cuve de l'EPR de Flamanville et le processus de traitement de ces irrégularités
- Comptes-rendus des réunions du groupe de suivi des 27 janvier 2016, 23 mars 2016, 29 juin 2016, 5 octobre 2016, 21 février 2017, 25 avril 2017 et 24 mai 2017

³³ Ces irrégularités, si elles ont été mises en évidence à l'occasion de la revue qualité initiée après la découverte des anomalies des calottes de cuve de l'EPR, sont sans lien avec le problème technique de ségrégation majeure positive traité par le présent document.

ANNEXE 5 :

ACTES DE COMMUNICATION À DESTINATION DU PUBLIC SUR LE DOSSIER DE L'ANOMALIE DE LA CUVE DU REACTEUR EPR DE FLAMANVILLE

1. Actes de communication d'AREVA :

- Communiqué de presse :

Communiqués de presse disponibles sur son site Internet à la page :

<http://www.avea.com/FR/actualites-10753/epr-de-flamanville-etat-d-avancement-du-programme-d-essais-de-la-cuve.html>

- Communiqué de presse commun à AREVA et EDF du 13 avril 2016 : EPR de Flamanville : état d'avancement du programme d'essais de la cuve
- Communiqué de presse commun AREVA du 8 juillet 2015 : Cuve de l'EPR de Flamanville : la chronologie établit la transparence d'AREVA

- Dossier d'actualité :

Dossier publié le 11 mai 2017 sur son site Internet relatif à la « Qualité des fabrications des composants des réacteurs nucléaires : focus sur la cuve du réacteur EPR de Flamanville 3 » comprenant notamment la note de synthèse dénommée « Justification de la ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 »

Dossier disponible à la page Internet : <http://www.avea-np.com/FR/businessnews-377/qualite-des-fabrications-des-composants-des-reacteurs-nucleaires-focus-sur-la-cuve-du-reacteur-epr-de-flamanville-3.html>

2. Actes de communication d'EDF :

- Communiqué de presse :

Communiqués de presse disponibles sur son site Internet à la page :

<https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/medias/tous-les-communiques-de-presse/epr-de-flamanville-etat-d-avancement-du-programme-d-essais-de-la-cuve>

- Communiqué de presse commun à AREVA et EDF du 7 avril 2015 : EPR de Flamanville : poursuite des essais de qualification de la cuve
- Communiqué de presse EDF du 2 juin 2015 : Conformité des équipements de Flamanville 3 aux nouvelles exigences sur les réacteurs nucléaires

- Communiqué de presse commun à AREVA et EDF du 13 avril 2016 : EPR de Flamanville : état d'avancement du programme d'essais de la cuve

- Point presse et voyage de presse :

EDF a organisé un point presse le 3 septembre 2015 sur le sujet du chantier de l'EPR de Flamanville.

Un voyage de presse a également été organisé le 16 novembre 2016 sur le site de Flamanville 3 avec une trentaine de journalistes.

3. Actes de communication de l'ASN :

- Communiqué de presse :

Communiqués de presse disponibles sur la page Internet du site de l'ASN :

<https://www.asn.fr/Informer/Actualites/>

<https://www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/Anomalies-de-la-cuve-de-l-EPR-et-irregularites-usine-Creusot-Forge-d-AREVA/Anomalies-de-la-cuve-de-l-EPR>

- Communiqué de presse du 7 avril 2015 « Anomalies de fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville »

- Communiqué de presse du 26 octobre 2016 « Audition par l'OPECST sur les anomalies et les irrégularités détectées sur les équipements sous pression nucléaires. L'ASN a fait le point sur le dossier » : L'ASN a participé le 25 octobre 2016 à l'audition organisée par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques sur la sûreté des équipements sous pression nucléaires (ESPN). L'OPECST a entendu l'ASN et son appui technique l'IRSN, le fabricant AREVA NP, l'exploitant EDF, ainsi que le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN).

- Notes d'informations :

Notes d'information disponibles sur la page Internet du site de l'ASN :

<https://www.asn.fr/Informer/Dossiers-pedagogiques/Anomalies-de-la-cuve-de-l-EPR-et-irregularites-usine-Creusot-Forge-d-AREVA/Anomalies-de-la-cuve-de-l-EPR>

- Note d'information de l'ASN jointe en annexe au communiqué de presse publiée le 8 avril 2015 sur « Les précisions techniques sur les anomalies de fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville »

- Note d'information du 23 juin 2015 : Lettre d'information n°17 : les actions de l'ASN pour le contrôle du chantier de construction du réacteur EPR de Flamanville : les points marquants

- Note d'information du 8 juillet 2015 : Historique de la mise en évidence de l'anomalie affectant la cuve de l'EPR de Flamanville (Taux de carbone trop élevé dans le couvercle et le fond de la cuve)

- Note d'information du 4 août 2015 : Note d'information relative à l'anomalie des calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville et informant le public d'une réponse transmise par le Président de l'ASN au président du collectif pour le contrôle des risques radioactifs relative à l'anomalie des calottes de la cuve de l'EPR et à la communication de l'ASN sur le sujet

- Note d'information du 30 septembre 2015 : L'ASN réunit le Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires sur l'anomalie affectant le couvercle et le fond de la cuve de l'EPR de Flamanville

- Note d'information du 16 décembre 2015 : Cuve de l'EPR de Flamanville 3 : l'ASN ne formule pas d'objection au lancement du nouveau programme d'essais avec lien vers le courrier du 14 décembre 2015 adressé par l'ASN à AREVA

- Note d'information du 19 janvier 2016 : Equipements sous pression nucléaires : le collège de l'ASN a auditionné EDF et AREVA

- Note d'information du 20 avril 2016 : L'ASN met à la disposition du public plusieurs courriers envoyés à AREVA depuis 2006 sur la fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville

- Note d'information du 3 mai 2016 : AREVA a informé l'ASN d'irrégularités concernant des composants fabriqués dans son usine de Creusot Forge

- Note d'information du 13 juin 2016 : L'ASN publie une note sur l'historique de ses échanges avec AREVA au sujet de la fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville

- Note d'information du 16 juin 2016 : Irrégularités détectées dans l'usine d'AREVA de Creusot Forge : l'ASN fait un point d'étape

- Rapports d'instruction, avis du GPESPN et courriers de prise de position de l'ASN :

Documents disponibles sur la page Internet du site de l'ASN :

<https://www.asn.fr/L-ASN/Appuis-techniques-de-l-ASN/Les-groupes-permanents-d-experts/Groupe-permanent-d-experts-equipements-sous-pression-nucleaires-GPESPN>

- Rapport établi par l'IRSN et la direction des équipements sous pression nucléaires (DEP) de l'ASN au Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires « Analyse de la démarche proposée par AREVA pour justifier de la ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 » - Séance du 30 septembre 2015 (Référence : CODEP-DEP-2015-037971 - Rapport IRSN/2015-00010 Version publique / parties grisées relevant du secret industriel)

- Avis du GPESPN du 30 septembre 2015 relatif à la démarche proposée par AREVA pour justifier de la ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3

- Courrier de prise de position de l'ASN à AREVA NP du 14 décembre 2015 relatif à la démarche de justification de la ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de la cuve

- Note de synthèse du 17 juin 2016 au Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires « Démarche proposée par AREVA pour justifier de la ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 - Point d'étape » (Référence : CODEP-DEP-2016-019209 - Rapport IRSN/2016-00005)

- Observations du GPESPN du 24 juin 2016 relatives à l'avancement de la démarche proposée par AREVA pour justifier de la ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3

- Courrier de prise de position de l'ASN à AREVA NP du 26 septembre 2016 relatif au point d'étape de la démarche de justification de la suffisance de la ténacité des calottes de fond et du couvercle demandant à AREVA NP de préparer une version publique du dossier qui sera remise à l'ASN

4. Actes de communication de l'IRSN :

- Avis et rapports d'analyse de l'IRSN :

Documents disponibles sur la page Internet du site de l'IRSN :

<http://www.irsn.fr/FR/expertise/theme/Pages/Avis-rapports-segregation-carbone.aspx>

- Rapport établi par l'IRSN et la direction des équipements sous pression nucléaires (DEP) de l'ASN au Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires « Analyse de la démarche proposée par AREVA pour justifier de la ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 » - Séance du 30 septembre 2015 (Référence ; CODEP-DEP-2015-037971 - Rapport IRSN/2015-00010 Version publique / parties grisées relevant du secret industriel)

- Avis IRSN n° 2015-00118 du 3 avril 2015 : Qualification technique des calottes du couvercle et du corps de la cuve du réacteur EPR de Flamanville – Avis publié le 24 juin 2015 en réponse à une demande de l'ASN, sur le choix de la « calotte de cuve » retenue pour réaliser des essais réglementaires et le programme de découpe associée, dans le cadre de la découverte d'un problème de fabrication affectant le couvercle et le fond de la cuve du réacteur EPR de Flamanville.

- Documents d'information de l'IRSN :

Documents disponibles sur la page Internet du site de l'IRSN :

<http://www.irsn.fr/FR/expertise/theme/Pages/Avis-rapports-segregation-carbone.aspx>

et

http://www.irsn.fr/fr/actualites_presse/actualites/

- Note d'information de l'IRSN du 18 octobre 2016 : Parc nucléaire d'EDF en fonctionnement - Anomalies et irrégularités constatées lors des investigations consécutives à l'anomalie concernant les calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville
- Note d'information de l'IRSN du 9 juin 2015 relative à l'instruction technique du projet de réacteur EPR à Flamanville
- Présentation de l'IRSN à l'OPECST le 25 octobre 2016 : Anomalies de fabrication des calottes de cuve EPR FA3 et de générateurs de vapeur du parc EDF
- Vidéo de l'audition de l'OPECST du 25 octobre 2016

5. Rapports de l'OPECST

Documents disponibles sur les pages Internet du site de l'Assemblée nationale et du Sénat :

<http://www.assemblee-nationale.fr/documents/index-general-oecst.asp>

et

<http://www.senat.fr/opecst/rapport.html>

- Rapport au nom de l'OPECST du 9 juillet 2015 sur "Le contrôle des équipements sous pression nucléaires : le cas de la cuve du réacteur EPR" – Compte-rendu de l'audition publique du 25 juin 2015 et de la présentation des conclusions du 8 juillet 2015

Référence Assemblée nationale : 2968 (14^{ème} législature)

Référence Sénat : 613 (2014-2015)

- Rapport au nom de l'OPECST du 9 mars 2017 sur "La sûreté des équipements sous pression nucléaires" – Compte-rendu de l'audition ouverte à la presse du 25 octobre 2016 et de la présentation des conclusions du 8 mars 2017

Référence Assemblée nationale : 4579 (14^{ème} législature)

Référence Sénat : 462 (2016-2017)

6. Journées de « dialogue technique » relatif à l'anomalie de fabrication de la cuve EPR de Flamanville 3

Présentations effectuées au cours de ces journées disponibles sur la page Internet du site de l'IRSN :

http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Nucleaire_et_societe/expertise-pluraliste/IRSN-ANCCLI/Pages/19-Seminaire-reacteur-EPR-cuve-anomalie_2015-2016.aspx

- Rencontre du 2 décembre 2015 - Enjeux de la démarche de justification de la cuve EPR

- Présentation de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 et de ses calottes, historique de l'élaboration des calottes et des démarches de qualifications (ASN)
- Démarche de justification des calottes (IRSN)
- Articulation de la démarche de justification avec la réglementation (ASN)

- Rencontre du 6 avril 2016 - Lettre de position de l'ASN sur la démarche de justification présentée par Areva, ainsi que sur la représentativité des pièces sacrificielles :

- Rappel des conclusions de la rencontre du 2 décembre 2015 (IRSN)
- Lettre de position de l'ASN du 14 décembre 2015 (ASN)
- Essais sur des pièces sacrificielles : représentativité (IRSN)
- Autres demandes de l'ASN (ASN)
- Calendrier et avancement des opérations (AREVA)

- Rencontre du 15 septembre 2016 - Anomalies de fabrication des pièces forgées, contrôles effectués à la fabrication de la cuve de Flamanville 3, évolutions de la démarche de justification :

- Anomalies de fabrication de pièces d'équipements sous pression nucléaires (Etat des lieux de l'ASN / Point de vue de Greenpeace)
- Contrôles effectués à la fabrication de la cuve (AREVA, EDF, ASN)

7. Communication des associations de protection de l'environnement auprès du public

Plusieurs associations de protection de l'environnement ont présenté leurs points de vue sur le sujet de l'anomalie de la cuve de l'EPR de Flamanville via leurs sites Internet respectifs, notamment :

- l'organisation internationale « Greenpeace » : <https://www.greenpeace.fr/>
- l'association « Réseau sortir du nucléaire » : <http://www.sortirdunucleaire.org/>
- l'association d'information et de surveillance de la radioactivité (ACRO) sur un site Internet dédié : <http://transparence-nucleaire.eu.org/>



HCTISN c/o DGPR
Ministère de la Transition écologique et solidaire
Tour Séquoïa
92055 La Défense cedex
Tel: +33 (0)1 40 81 89 75