

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

1. HISTORIQUE DE LA FABRICATION DE LA CUVE (CORPS ET COUVERCLE)....	4
2. HISTORIQUE DE LA QUALIFICATION TECHNIQUE DES CALOTTES DE LA CUVE.....	5
2.1. Historique du dossier de qualification.....	5
<i>Premier dossier de qualification technique des calottes de la cuve de Flamanville 3</i>	<i>5</i>
<i>Analyse des écarts par rapport aux modalités de respect de l'exigence de qualification technique</i>	<i>6</i>
<i>Essais sur la calotte supérieure UA.....</i>	<i>7</i>
<i>Démarche de justification du caractère acceptable de l'anomalie</i>	<i>7</i>
2.2. Chronologie de l'instruction du dossier de qualification des calottes de cuve	7
2.3. Dossiers liés à la qualification techniques émis par AREVA	10
3. ÉVENEMENTS INTERVENUS SUR LA CUVE.....	11
3.1. Mise en évidence d'une valeur élevée de concentration en carbone sur la calotte supérieure lors d'un prélèvement de copeaux en 2007.....	11
3.2. Réparation du couvercle suite à des écarts détectés lors des opérations de soudage	11
3.3. Montage du corps de cuve dans le bâtiment réacteur sur le site de Flamanville	12
4. CONTROLES REALISES OU MANDATES PAR L'ASN SUR LA CUVE	13
4.1. Inspections réalisées par l'ASN.....	13
4.2. Gestes d'évaluation mandatés par l'ASN à APAVE.....	14
4.3. Gestes d'évaluation mandatés par l'ASN à Bureau Veritas	15
4.4. Réunions des groupes permanents d'experts sur la cuve de Flamanville 3	16
5. HISTORIQUE DE LA REGLEMENTATION.....	17
5.1. Exigences sur les propriétés des matériaux.....	17
5.2. Exigence de qualification technique	19

Références :

Règlementation

- [1] Décret n°99-1046 relatif aux équipements sous pression
- [2] Décret n°2007-534 du 10 avril 2007 autorisant la création de l'installation nucléaire de base dénommée Flamanville 3, comportant un réacteur nucléaire de type EPR, sur le site de Flamanville (Manche)
- [3] Arrêté du 26 février 1974 relatif à la construction du circuit primaire principal des chaudières nucléaires à eau
- [4] Arrêté du 12 décembre 2005 relatif aux équipements sous pression nucléaires, dit « arrêté ESPN »
- [5] Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base
- [6] Règles techniques relatives à la construction des futurs CPP et CSP du 19 octobre 1999

Avis de l'IRSN

- [7] Avis de l'IRSN 2015-00118 du 3 avril 2015 sur la qualification technique du couvercle et du corps de cuve réacteur EPR FA3

Groupe permanent d'experts pour les ESPN

- [8] Lettre de suite du 17 février 2012 à AREVA du GP ESPN du 23 novembre 2011 sur la qualité attendue

Communiqué de presse

- [9] Communiqué de presse de l'ASN du 7 avril 2015 sur les anomalies de fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville

Dossiers d'AREVA et échanges avec l'ASN

- [10] Courrier d'AREVA à l'ASN daté du 3 octobre 2005 référencé NFQS/2005.0400 relatif aux approvisionnements pour cuve de réacteur
- [11] Programme de fabrication de la calotte supérieure de cuve du réacteur génération 3 – Creusot Forge – référence PTF 131 révision D datée du 21 juin 2006
- [12] Programme de qualification de la calotte supérieure de cuve du projet génération 3 – Creusot Forge - référence DQ 235 révision D datée du 21 juin 2006
- [13] Courrier de l'ASN à AREVA daté du 21 août 2006 référencé SG/MFG DEP-SD5-0343-2006 ASN-2006-36134 relatif à l'analyse de la qualification technique de la cuve de l'EPR de Flamanville
- [14] Courrier d'AREVA à l'ASN DEP daté du 27 novembre 2006 référencé AREVA NQSF 2006 0885 relatif à la qualification technique des approvisionnements anticipés constitutifs de la cuve EPR de Flamanville
- [15] Courrier d'AREVA à l'ASN daté du 27 novembre 2006 référencé NQS-F 2006.0936 relatif à la qualification technique des approvisionnements
- [16] Courrier de l'ASN à AREVA daté du 2 avril 2007 référencé PM/MFG-dép-DEP-0125-2007 ASN-2007-15116 relatif à l'évaluation de la conformité des ESPN et la documentation technique
- [17] Courrier de l'ASN à AREVA daté du 4 juillet 2007 référencé SG/MFG-dép-DEP-0279-2007 ASN-2007-30510 relatif à la qualification technique des procédés de fabrication de matériaux
- [18] Courrier de l'ASN à AREVA daté du 16 juillet 2007 référencé PM/CB-dép-DEP-0300-2007 aux qualifications techniques des opérations de fabrication. Projet Flamanville 3

- [19] Courrier de l'ASN à AREVA daté du 12 décembre 2007 référencé SG/MFG-dép-DEP-0550-2007 ASN-2007-57108 relatif au dossier de synthèse de la calotte supérieure de la cuve EPR
- [20] Courrier de l'ASN à AREVA daté du 19 février 2008 référencé ACS/MFG-dép-DEP-0083-2008 ASN-2008-09048 relatif au problème dans le processus de QT des GV/RO
- [21] Note AREVA - qualification technique de la calotte inférieure de la cuve EPR FA3 fabriquée par Creusot Forge – référence NEEMF 08.211 révision A – 28 février 2008
- [22] Note AREVA - qualification technique de la calotte supérieure de la cuve EPR FA3 fabriquée par Creusot Forge – référence NEEMF 08.204 révision A – 7 mars 2008
- [23] Note Creusot Forge - Calotte supérieure - Rapport de qualification M140 – document de synthèse - DS076 rév. D – 15 janvier 2010
- [24] Note Creusot Forge - Calotte inférieure - Rapport de qualification M140 – document de synthèse - DS079 rév. C – 11 janvier 2010
- [25] Note AREVA – Qualification technique de la calotte supérieure pour cuve EPR fabriquée par Creusot Forge - référence NEEL-F DC 91 - révision B – 2 avril 2010
- [26] Note AREVA – Qualification technique de la calotte inférieure pour cuve EPR fabriquée par Creusot Forge - référence NEEL-F DC 92 - révision B – 2 avril 2010
- [27] Courrier d'AREVA à l'ASN référencé PTSI/2010-0197 du 3 mai 2010 – EPR FA3 qualification technique des pièces coulées avant 2008
- [28] Courrier de l'ASN à AREVA référencé CODEP-DEP-2011-014592 du 29 mars 2011 relatif à la qualification technique pour FA3
- [29] Courrier d'AREVA à l'ASN référencé PTSI/201.0605 du 31 août 2011 – note d'antériorité traitant les écarts entre les SQT rédigées et celles émises avec la démarche stabilisée
- [30] Courrier d'AREVA à l'ASN référencé PTSI/2012.0107 du 23 février 2012 – note d'antériorité traitant les écarts entre les SQT rédigées et celles émises avec la démarche stabilisée
- [31] Courrier d'AREVA à l'ASN daté du 31 juillet 2012 référencé PTSI/2012.0397 auquel sont annexés les notes PEEM-F.12.1056/B et PTSI/2012.0398
- [32] Courrier d'AREVA à l'ASN daté du 31 juillet 2012 référencé PTSI/2012.0398 – réparation couvercle cuve, carottage calotte supérieure
- [33] Courrier d'AREVA à l'ASN daté du 3 septembre 2012 référencé PTSI/2012.0440 – EPR FA3 – composants soumis à qualification technique – calotte supérieure cuve
- [34] Courrier de l'ASN à AREVA référencé CODEP-DEP-055770 du 15 octobre 2012 - EPR FA3 - Qualification technique calotte supérieure de cuve - Report du point d'arrêt sur les options de carottage sur la calotte U/A CR/GN001 DV/038
- [35] Courrier d'AREVA à l'ASN référencé PTSI/2013.0650 du 4 octobre 2013 – note d'antériorité traitant les écarts entre les SQT rédigées et celles émises avec la démarche stabilisée
- [36] Courrier de l'ASN à AREVA daté du 26 novembre 2013 référencé EPR FA3 – Ensemble CPP CSP - Autorisation d'une première séquence de montage d'équipements primaires

1. Historique de la fabrication de la cuve (corps et couvercle)

	Composant	Fabricant	Date de coulée	Fin de fabrication
Approvisionnement des composants	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
	Fabrication à l'usine de Saint-Marcel	Début de la première opération de fabrication sur le corps de cuve (revêtement virole porte-tubulure)		27/04/2007
Début de la première opération de fabrication sur le couvercle de cuve (revêtement intérieur calotte)		20/11/2007		
Première épreuve hydraulique du corps de cuve (non validée)		14/03/2012		
Deuxième épreuve hydraulique du corps de cuve		26/07/2013		
Épreuve hydraulique du couvercle		18/12/2015		
Transport	Transport du corps de la cuve sur site		Du 06/09/2013 au 07/10/2013	
	Livraison du couvercle sur site de Flamanville		12/02/2016	
Opérations sur le site de Flamanville	Introduction dans le puits de cuve		24/01/2014	
	Fin du soudage sur la cuve des tuyauteries du circuit primaire principal		27/11/2014	

2. Historique de la qualification technique des calottes de la cuve

2.1. Historique du dossier de qualification

Premier dossier de qualification technique des calottes de la cuve de Flamanville 3

La présente section décrit le contexte dans lequel les fabrications des calottes de la cuve ont été réalisées, contexte qui dépasse le cas des calottes et concerne plus globalement toutes les pièces soumises à qualification technique au titre de l'arrêté en référence [4], c'est-à-dire les gros équipements de rechange destinés aux réacteurs en exploitation d'EDF, les équipements destinés à Flamanville 3 mais également ceux destinés à Penly 3. Chacun de ces équipements portaient des enjeux spécifiques en termes de planning, de charge de travail pour les usines d'AREVA et de sûreté pour le remplacement d'équipements des réacteurs en exploitation.

Les modalités de justification du respect de l'exigence de qualification technique sont aujourd'hui stabilisées ; ce n'était pas le cas lors de la fabrication des premiers gros composants du futur EPR de Flamanville 3, dans les années 2005 à 2007. Outre le fait que l'arrêté en référence [4] a été publié le 22 janvier 2006, la mise en place des modalités de justification de la qualification technique a pris plusieurs années. La fabrication de la plupart des gros composants destinés à l'EPR de Flamanville 3, dont celle des calottes de la cuve, a donc commencé dès 2005 avant que les qualifications techniques ne soient acquises.

Les échanges sur l'exigence de qualification technique se sont concentrés dès 2006 sur le développement d'une méthode générique de justification du respect de l'exigence. AREVA souhaitait utiliser la qualification M140 du RCC-M pour satisfaire l'exigence. Après plusieurs années de débat et de dossiers refusés, l'ASN a finalement indiqué en 2008 par le courrier en référence [20] que la qualification M140 ne pouvait pas tenir lieu de qualification technique, 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 seulement les zones analysées à la conception. Par ailleurs, elle peut reposer sur des essais réalisés sur des composants élaborés avec un autre programme technique de fabrication. À cet égard, on peut noter que les calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 ont obtenu leur qualification M140 ([23] et [24]), mais pas leur qualification technique.

Il est à noter que la question d'un risque d'hétérogénéité dans la zone centrale de la calotte supérieure de la cuve a cependant été abordée par l'ASN dès 2006 ([13]). Cette question n'a pas reçu de réponse sur le fond, AREVA renvoyant alors à un futur dossier ([14]).

En 2007, malgré des évolutions significatives, le contenu des dossiers de qualification technique demeurait insuffisant pour apporter la justification de la gamme de fabrication choisie et du programme d'essais destiné à montrer la maîtrise des risques d'hétérogénéité. L'ASN a alors décidé de mettre fin à cette situation qui permettait à AREVA de poursuivre la fabrication des pièces sans que des dossiers de qualification technique satisfaisants ne soient fournis en préalable. Ainsi, à partir du 1^{er} janvier 2008, l'ASN a conditionné toute nouvelle fabrication de composant à l'émission d'un dossier de qualification technique jugé recevable ([17]). La coulée du composant était donc dès lors conditionnée à la levée d'un point d'arrêt fixé par l'ASN. Ce point d'arrêt avait pour objectif de permettre à l'ASN de vérifier que le dossier de qualification technique était suffisamment abouti pour justifier les choix du programme technique de fabrication et pour permettre l'inspection des phases les plus sensibles de la fabrication. Ces points d'arrêt ne concernaient pas la fabrication des équipements dont les composants avaient déjà été élaborés, comme les calottes de la cuve, et qui de fait se poursuivait. L'ASN a mis en garde à plusieurs reprises AREVA sur le risque industriel que constituait le fait de poursuivre la fabrication des équipements sans que l'instruction des dossiers de qualification technique des composants entrant dans la fabrication de ces équipements sous pression nucléaires ne soit terminée ([18]).

L'introduction de points d'arrêt a incontestablement permis de faire progresser la qualité des dossiers de qualification technique. En 2009, l'instruction de la qualification technique de composants destinés à des générateurs de vapeur de rechange a permis d'aboutir à un format des dossiers de qualification et une méthode d'analyse des risques d'hétérogénéité jugés satisfaisants par l'ASN. En parallèle, les échanges techniques sur les analyses chimiques et structurales et les essais mécaniques nécessaires à la justification de la maîtrise des risques hétérogénéité se poursuivaient. Par exemple, AREVA a proposé en 2011 de réaliser des pièces sacrificielles pour les composants élaborés à partir de lingots écrasés ou à géométrie complexe afin de caractériser les effets d'hétérogénéité, après avoir travaillé dans un premier temps à des simulations numériques fondées sur les connaissances de l'élaboration des pièces forgées. La même année, l'ASN a réuni le groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires sur des cas pour lesquels les valeurs des caractéristiques mécaniques mentionnées par la réglementation ne pouvaient pas être respectées. Cette séance a permis de clarifier certains attendus en matière de qualification technique.

Pour les composants élaborés avant 2008, dont les calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville 3, AREVA a décliné la démarche de qualification technique a posteriori. L'émission de différentes versions des dossiers de qualification des calottes de cuve s'est échelonnée entre 2008 et 2010 ([21], [22], [25] et [26]). AREVA a finalement transmis à l'ASN une révision des deux dossiers de qualification technique en avril 2010, l'une pour la calotte supérieure ([25]) et l'autre pour la calotte inférieure ([26]). Ces dossiers avaient toutefois été rédigés avant que les échanges entre les fabricants et l'ASN n'aient abouti à une pratique stabilisée des justifications techniques de maîtrise des risques d'hétérogénéité.

Analyse des écarts par rapport aux modalités de respect de l'exigence de qualification technique

Pour les composants de Flamanville 3 soumis à l'exigence de qualification technique, dont l'élaboration a débuté avant que les modalités du respect de cette exigence ne soient stabilisées, l'ASN a demandé à AREVA de fournir une analyse des écarts entre la pratique stabilisée de l'exigence de la qualification technique et celle antérieure appliquée par AREVA. Une première analyse des écarts a été réalisée en 2010 par AREVA ([27]). L'ASN a considéré début 2011 que cette analyse devait être complétée et a notamment demandé d'étudier la possibilité de s'appuyer, si nécessaire, sur des essais réalisés ou à réaliser sur d'autres composants représentatifs ([28]).

Début 2012 ([30]), AREVA a ainsi transmis une nouvelle analyse des écarts pour la plupart des dossiers des composants destinés à l'EPR de Flamanville 3. Dans ce dossier, AREVA constate au vu de la pratique stabilisée que, pour la calotte inférieure, l'effet du poids de lingot, du type de lingot et du taux de chute sur la présence et l'ampleur des ségrégations majeures de carbone n'avait notamment pas été caractérisé. La calotte supérieure n'est quant à elle pas traitée.

Suite à ce constat, AREVA a proposé à l'ASN en juillet 2012 de réaliser des essais sur une pièce élaborée dans les mêmes conditions que celles des calottes de Flamanville 3 pour vérifier l'effet de ces paramètres ([31] et [32]). Après des échanges techniques pour s'assurer de la représentativité de la pièce sur laquelle ces essais seraient conduits et obtenir du fabricant la définition de la qualité attendue dans les zones à caractériser, AREVA a soumis un dossier ([33]) en septembre 2012 à l'ASN par lequel il :

- justifie que la calotte supérieure approvisionnée dans le cadre du contrat UA (EPR américain) chez Creusot Forge avec les mêmes paramètres d'élaboration que la calotte de cuve de Flamanville 3 est représentative de l'effet des ségrégations positives ou négatives de carbone ;
- propose de réaliser des essais mécaniques et des analyses chimiques dans une carotte de diamètre 80 mm prélevée dans la partie centrale de la calotte supérieure UA ;
- considère que la présence éventuelle de ségrégation résiduelle de carbone n'aurait pas d'impact sur les valeurs des essais mécaniques et ne modifie pas la qualité attendue initiale. AREVA a

notamment précisé que « la présence de ségrégation majeure résiduelle a peu d'impact sur les propriétés mécaniques de la pièce et qu'ainsi aucune décote des critères de recette minimum en traction et des critères sur les énergies de flexion par chocs n'est nécessaire dans ces zones » et que « cet aspect, localisé dans l'axe de la pièce sur la surface extérieure n'aura pas d'impact : sur les propriétés mécaniques [...] ». »

Au vu ces éléments, l'ASN n'a pas émis d'objection ([34]) aux opérations de carottage de la calotte supérieure UA et au programme des essais mécaniques associés.

Essais sur la calotte supérieure UA

En octobre 2014, AREVA a informé l'ASN par téléphone que les essais mécaniques réalisés sur la carotte prélevée sur la calotte supérieure UA ont montré des valeurs plus faibles qu'attendues.

À la suite de ces essais, le fabricant a réalisé des investigations pour confirmer ces écarts et déterminer leur origine. Les premiers éléments techniques fournis à l'ASN l'ont été dans le cadre de la première réunion tenue sur le sujet en décembre 2014.

Démarche de justification du caractère acceptable de l'anomalie

Début 2015, AREVA a rapidement proposé de réaliser de nouveaux essais mécaniques sur une autre calotte. L'ASN a interrogé AREVA sur la représentativité de cette calotte avec celles destinées à l'EPR de Flamanville 3 et a saisi l'IRSN en mars 2015. L'avis de l'IRSN est remis à l'ASN le 3 avril 2015.

L'ASN a rendu publique l'anomalie par un communiqué de presse du 7 avril 2015 ([9]).

2.2. Chronologie de l'instruction du dossier de qualification des calottes de cuve

03/10/2005	Courrier [10] d'AREVA informant l'ASN de l'approvisionnement de calottes de cuve au Creusot pour Flamanville 3
21/06/2006	Émission par AREVA des révisions D des programmes de fabrication [11] et des programmes de qualification [12] de la calotte supérieure de cuve. Les programmes de qualification comparent les programmes de fabrication des calottes de cuve 1300 MWe élaborées à partir de lingots à solidification dirigée de 58 tonnes et celui des calottes de la cuve des EPR élaborées à partir de lingots conventionnels de 157 tonnes.
21/08/2006	Courrier [13] de l'ASN envoyé à AREVA portant sur les documents [11] et [12] demandant notamment comment AREVA s'assure pour la calotte supérieure de l'absence de singularité dans la zone centrale de la calotte et de l'homogénéité des caractéristiques mécaniques entre le centre et la rondelle d'essais. Le programme de qualification a permis de mesurer les caractéristiques mécaniques dans toute l'épaisseur de la pièce. L'homogénéité entre les côtés tête et pied du lingot a ainsi été vérifiée. Cependant, l'homogénéité entre l'extérieur et le centre du lingot n'est pas vérifiée. Or, les procédés de forgeage subis par le centre et l'extérieur de la pièce sont différents, même si les taux de corroyage sont finalement égaux. Demande n° 10 : Je vous demande de m'indiquer la façon de s'assurer de l'absence de singularité dans la zone centrale de la calotte et de l'homogénéité des caractéristiques mécaniques entre le centre et la rondelle d'essais.
27/11/2006	Réponse [14] d'AREVA au courrier de l'ASN [13] indiquant que la réponse à la demande n°10 du courrier [13] sera apportée lors de la révision de la « position constructeur » sur la base d'autres fabrications forgées.
27/11/2006	Courrier [15] d'AREVA à l'ASN indiquant que les « positions constructeur » sont

	renommées « principes de qualification technique » et « synthèse de qualification technique »
02/04/2007	<p>Courrier [16] de l'ASN à AREVA alertant sur l'état de la documentation technique de la cuve de Flamanville 3</p> <p>Pour le cas de la cuve, la situation est également préoccupante puisque le contenu de la documentation technique est au même niveau que celui des générateurs de vapeur alors que la majorité des composants de la cuve est déjà sur le site de Châlon pour les opérations de revêtement par soudage et d'assemblage.</p>
16/07/2007	<p>Courrier [18] de l'ASN à AREVA alertant sur le risque industriel consistant à fabriquer des composants avant leur qualification technique.</p> <p>En effet, si la qualification technique conduit, notamment, à modifier le procédé de fabrication ou à identifier des paramètres essentiels supplémentaires, il se peut que la garantie de la qualité des pièces fabriquées auparavant ne puisse pas être apportée, ce qui conduirait au rebut de ces pièces. En outre, dans l'hypothèse où il pourrait être démontré que ces pièces ont la qualité requise, l'ASN n'aurait malgré tout pas pu mener sur la fabrication de ces pièces les contrôles visant à évaluer la conformité de leur fabrication de manière pertinente puisque les paramètres essentiels de cette dernière ne seraient pas connus au moment de sa réalisation.</p> <p>Par ailleurs, le fait de réaliser la pièce « de qualification » avant d'avoir élaboré le dossier de qualification, et notamment l'analyse de risque et la définition des essais de qualification, pose des difficultés du même ordre en termes de risques industriels et de possibilité de contrôle par l'ASN. Le courrier en référence [3] vous rappelait ainsi que, si une période transitoire devait être tolérée du fait que le choix d'appliquer l'arrêté en référence [1] est intervenu tardivement par rapport à la construction du réacteur de Flamanville 3, il n'était pas souhaitable que le fait de réaliser le dossier de qualification <i>a posteriori</i> se poursuive au-delà de la fin de l'année 2007.</p>
27/11/2007	Émission par AREVA d'un dossier de synthèse de la qualification M140 de la calotte supérieure [23].
12/12/2007	<p>Courrier [19] de l'ASN à AREVA refusant le dossier de synthèse de la qualification de la calotte supérieure [23].</p> <p>Vous m'avez transmis récemment le document en référence [1] qui s'intitule « <i>dossier de synthèse de la calotte supérieur (sic) CR/GN</i> ».</p> <p>Sur la forme, je note que le corps du texte de ce document comporte une version française et une version anglaise ; cependant, les annexes sont majoritairement en langue anglaise, ce qui est contraire à ma demande formulée dans le courrier en référence [2].</p> <p>Sur le fond, je note que ce document regroupe les résultats d'essais de recette et complémentaires que vous avez demandés à votre fournisseur Creusot Forge ; cependant, je constate que ce document ne contient aucune démonstration de l'homogénéité de ces résultats dans la calotte.</p> <p>En l'état actuel, ce document ne peut pas être considéré à part entière comme « dossier de synthèse » de la qualification technique au sens entendu entre nos services.</p>
28/02/2008 et 07/03/2008	<p>Émission par AREVA d'une refonte des synthèses de qualification technique des calottes de cuve [21] [22].</p> <p>Ce document pointe le risque lié aux ségrégations majeures positives du carbone. Il conclut toutefois, en se basant sur des essais réalisés en périphérie, à l'homogénéité de la composition chimique et au très bon niveau de résilience dans l'ensemble de la pièce.</p>
18/02/2009	Annonce par AREVA d'une révision des synthèses de qualification technique des calottes de cuve en juin et juillet 2009
30/07/2009 et 31/07/2009	Émission par AREVA d'une révision A d'une nouvelle refonte des synthèses de qualification technique des calottes de cuve ([25] et [26])
12/02/2010	Annonce par AREVA d'une future révision des synthèses de qualification technique des calottes de cuve en mars 2010
02/04/2010	<p>Émission par AREVA d'une révision B des synthèses de qualification technique des calottes de cuve ([25] et [26])</p> <p>Comme les synthèses [21] et [22] ces révisions concluent à l'homogénéité des propriétés chimiques et mécaniques dans la pièce en se basant uniquement sur des essais réalisés</p>

	en périphérie.
03/05/2010	Courrier [27] d'AREVA à l'ASN sur les écarts entre la qualification technique réalisée et la pratique d'octobre 2009
29/03/2011	Courrier [28] de l'ASN à AREVA en réponse au courrier [27] demandant d'analyser la possibilité de s'appuyer sur des essais réalisés ou à réaliser sur d'autres composants Par ailleurs, dans l'éventualité où un écart à la doctrine de qualification technique ou une absence de prise en compte d'un sujet technique transverse serait détecté, il sera nécessaire d'en identifier les possibilités de traitement. A ce titre, vous pourrez notamment analyser la possibilité de vous appuyer, le cas échéant, sur des essais réalisés, ou à réaliser, sur d'autres composants.
31/08/2011	Courrier [29] d'AREVA à l'ASN transmettant une nouvelle note d'analyse des écarts entre la qualification technique réalisée et la pratique stabilisée. Cette note ne traite pas les calottes de cuve.
23/02/2012	Courrier [30] d'AREVA à l'ASN transmettant la révision B de la note d'analyse des écarts entre la qualification technique réalisée et la pratique stabilisée. La calotte inférieure est intégrée à l'analyse, mais pas la calotte supérieure.
31/07/2012	Courriers [31] et [32] d'AREVA à l'ASN proposant des essais dans la calotte supérieure UA afin de caractériser l'influence des paramètres liés au lingot et au taux de chute
03/09/2012	Courrier [33] d'AREVA mettant à jour la note transmise par le courrier [31] en réponse à des demandes de l'ASN transmises par courriel. Les demandes de l'ASN portaient notamment sur la définition de la qualité attendue au centre des calottes.
27/09/2012	Information d'AREVA indiquant que le carottage dans la calotte supérieure UA est une priorité afin de pouvoir ensuite utiliser cette calotte comme outillage pour l'épreuve hydraulique du corps de cuve de Flamanville 3. AREVA indique que le prélèvement des éprouvettes dans la calotte supérieure UA n'est pas planifié comme une priorité, les personnes qui en sont en charge étant mobilisés sur la réparation du couvercle de Flamanville 3.
15/10/2012	Courrier [34] de l'ASN à AREVA en réponse au courrier [31]. Accord sur la réalisation d'essais dans la calotte supérieure UA.
04/10/2013	Courrier [35] d'AREVA à l'ASN transmettant une nouvelle version de la note d'analyse des écarts entre la qualification technique réalisée et la pratique stabilisée. Les deux calottes sont intégrées à cette note.
12/10/2014	Information téléphonique d'AREVA à l'ASN : des résultats d'essai mécanique sur les éprouvettes prélevées sur le couvercle de l'EPR UA sont non conformes. AREVA engage de nouveaux essais.
07/11/2014	Information téléphonique d'AREVA à l'ASN : les résultats des nouveaux essais réalisés sur le couvercle de l'EPR UA sont également non conformes.
08/12/2014	Début des échanges techniques sur l'anomalie entre l'ASN et AREVA
25/03/2015	Saisine de l'IRSN par l'ASN
03/04/2015	Avis [7] de l'IRSN
07/04/2015	Communiqué de presse [9] de l'ASN sur les anomalies de fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville

2.3. Dossiers liés à la qualification techniques émis par AREVA

Document	Référence		Révision	Date de la révision
Information sur le lancement de l'approvisionnement des composants	NFQS/2005.0400		-	03/10/2005
Spécification d'approvisionnement des calottes forgées pour fond et couvercle de cuve	BUHSGN/NCR005		C	30/01/2006
Programme de qualification M140 (= programme d'essais complémentaires)	Sup	DQ 235	D	21/06/2006
			G	23/07/2007
	Inf	DQ 236	C	19/12/2006
			F	16/10/2007
Programme technique de fabrication	Sup	PTF 131	D	21/06/2006
			G	19/03/2007
	Inf	PTF 134	C	12/12/2006
			E	05/10/2007
Rapport de qualification M140	Sup	DS 076	B	27/11/2007
			D	08/01/2010
	Inf	DS 079	B	10/01/2008
			C	11/01/2010
Première version de synthèse de qualification technique	Sup	NEEMF 08.204	A	07/03/2008
	Inf	NEEMF 08.211	A	28/02/2008
Deuxième version de synthèse de qualification technique	Sup	NEEL-F DC 91	A	31/07/2009
			B	02/04/2010
	Inf	NEEL-F DC 92	A	30/07/2009
			B	02/04/2010

3. Évènements intervenus sur la cuve

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

Avant de procéder à leur emboutissage afin de leur donner une forme hémisphérique, AREVA a vérifié la bonne orientation des flans forgés (disques plats) à l'origine des deux calottes. 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. Ces prélèvements ont conduit à deux faits notables :

- 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 dès 2007 sur la présence de ségrégations majeures positives. Ces valeurs apparaissent en 2007 dans la version B du dossier de synthèse de la qualification M140 en référence [23], mais le procès-verbal d'essais annexé (page 117/140) indique que les résultats sont conformes. Il en est également fait mention dans les dossiers de synthèse de qualification techniques en références [22] et [25] (révision B, la révision A ne les mentionnent pas). Toutefois AREVA précise systématiquement dans ces dossiers que les usinages réalisés postérieurement à ces prélèvements conduiront à éliminer la zone de ségrégation majeure positive ;
- Creusot Forge avait initialement inversé par erreur l'orientation de la calotte supérieure. Cette inversion a été détectée avant l'emboutissage et a conduit AREVA à ouvrir une fiche de non-conformité et l'ASN à réaliser une inspection le 16 mars 2007.

3.2. Réparation du couvercle suite à des écarts détectés lors des opérations de soudage

Lors de la fabrication du couvercle de la cuve de Flamanville deux écarts de qualité importants ont été détectés sur les soudures des adaptateurs. Le traitement de ces écarts a conduit AREVA à proposer à l'ASN, en juillet 2011, une solution de remise en conformité de grande ampleur qui a impliqué la reprise complète de plusieurs étapes de la fabrication du couvercle.

Les écarts concernaient :

- dans un premier temps, la détection, à l'automne 2010, de défauts au niveau de soudures situées sur le couvercle, au niveau des adaptateurs ;
- dans un second temps, la mise en évidence, en juin 2011, lors des opérations de remise en conformité destinées à corriger l'écart précédent, d'une épaisseur insuffisante de la couche de métal, appelée beurrage, située sous ces soudures.

L'ASN a demandé à AREVA d'analyser de manière détaillée l'impact potentiel de ces opérations sur la qualité du couvercle. L'ASN a également demandé à AREVA de proposer des mesures particulières pour garantir la qualité de la réparation. Après avoir examiné ces éléments et reçu l'avis du Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires placé auprès d'elle, l'ASN a accepté qu'AREVA procède à la remise en conformité du couvercle avec la méthode de réparation proposée.

Les opérations de remise en conformité des soudures, dont chaque étape a fait l'objet d'un accord de l'ASN, se sont révélées plus complexes que prévu. Elles ont été effectuées sous une surveillance renforcée de l'ASN et d'APAVE, organisme mandaté par l'ASN. Les dernières opérations de remise en conformité ont été achevées en octobre 2015.

L'ASN a rendu public ces éléments, notamment dans plusieurs notes d'information publiées sur son site internet et dans ses lettres d'information consacrées à l'EPR de Flamanville.

3.3. Montage du corps de cuve dans le bâtiment réacteur sur le site de Flamanville

Le corps de cuve a été introduit dans le bâtiment réacteur sur le site de Flamanville le 24 janvier 2014.

La réglementation relative aux équipements sous pression nucléaires permet à un fabricant de terminer la fabrication de son équipement sur le site de construction du réacteur. Elle ne demande à l'ASN de se positionner sur la conformité de l'équipement aux exigences essentielles de sécurité qu'à la fin de la fabrication. L'ASN délivre alors un procès-verbal d'évaluation de la conformité. En particulier, la réglementation ne demande pas à l'ASN d'autoriser le montage sur site, cette décision relevant du fabricant et de l'exploitant.

Toutefois, l'ASN considérait que certaines conditions préalables au montage étaient nécessaires afin qu'elle puisse délivrer à la fin de la fabrication le procès-verbal d'évaluation de la conformité. Ces prérequis portaient notamment les exigences de qualité et de sûreté lors du montage et sur la disponibilité de la documentation technique liée à chacune des différentes séquences. Par courrier en référence [36] du 26 novembre 2013, à la suite d'une instruction technique portant sur ces points, l'ASN a donné son accord au lancement du montage du circuit primaire de Flamanville 3 et à l'introduction du corps de cuve dans le bâtiment réacteur.

Cette instruction n'a cependant pas pris en compte l'état d'avancement des justifications de la conception et des qualifications techniques de la cuve. En effet, l'introduction du corps de la cuve dans le bâtiment réacteur n'a pas d'impact sur la conception et les qualifications techniques.

4. Contrôles réalisés ou mandatés par l'ASN sur la cuve

Dans le cadre de l'arrêté en référence [4], l'ASN est en charge de la réalisation de l'évaluation de la conformité de la cuve de Flamanville 3. Pour réaliser une partie des gestes d'évaluation, l'ASN a mandaté les organismes APAVE et Bureau Veritas.

4.1. Inspections réalisées par l'ASN

L'ASN a réalisé 33 inspections de fabrication dans le cadre de l'évaluation de la conformité de la cuve de Flamanville 3.

Entité inspectée	Thème	Date
CREUSOT FORGE	Traçage des éprouvettes	10/10/2006
INDUSTEEL	Essais mécaniques	16/10/2006
CREUSOT FORGE	Emboutissage calotte cuve	16/03/2007
AREVA NP	Soudage du revêtement virole AB	04/05/2007
AREVA NP	Analyse revêtement cuve	31/05/2007
CREUSOT FORGE	EPR calottes de cuve	13/06/2007
AREVA NP	Revêtement calotte cuve	19/12/2007
AREVA NP	Zone raccordement sur calotte inférieure	05/05/2008
AREVA NP	Revêtement alésage tubulure + usinage	13/03/2008
AREVA NP	Beurrage lamages calotte couvercle	13/06/2008
AREVA NP	Embout/tubulure + TTD	13/06/2008
AREVA NP	Viroles cœur	21/07/2008
AREVA NP	Tubulure / virole PT	27/11/2008
AREVA NP	GV et cuve	06/03/2008
AREVA NP	Soudage TCE tubulure-embout	07/07/2008
AREVA NP	Soudage par friction des adaptateurs	23/07/2008
AREVA NP	END du joint C1-C2	05/12/2008
AREVA NP	US TOFD adaptateurs	30/03/2009
APAVE	Joint final de la cuve	28/05/2010
APAVE	Réparation des adaptateurs du couvercle	17/01/2011
AREVA NP	Condition de contrôle et de réparation des adaptateurs du couvercle de cuve	20/01/2011
AREVA NP	Conditions de réparations et d'expertises du couvercle	17/05/2011
APAVE	Contrôles par ressuage du métal de base suite aux réparations du couvercle	13/12/2012
AREVA NP	Contrôles par ressuage du métal de base suite aux réparations du couvercle	13/12/2012
AREVA NP	Élimination des beurrages du couvercle de cuve	19/07/2012
APAVE	Épreuve hydraulique du corps de cuve	14/03/2012
AREVA NP	Réalisation des beurrages du couvercle	17/04/2013
AREVA NP	Réalisation de l'épreuve hydraulique de la cuve	26/07/2013
AREVA NP	Soudage des traversées du couvercle de cuve	05/12/2014
APAVE	Soudage des traversées du couvercle de cuve	05/12/2014

BUREAU VERITAS	Transfert de la cuve à Flamanville	13/02/2014
AREVA CREUSOT FORGE	Fabrications sur la période 2005-2010	22/01/2016
AREVA CREUSOT FORGE	Prise en compte des anomalies génériques	22/01/2016

4.2. Gestes d'évaluation mandatés par l'ASN à APAVE

Inspections réalisées par APAVE

Partie de l'ESPN Cuve	Opérations	Nombre d'inspections / année									Total
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Corps de cuve / Couvreclé	Soudage et autre assemblage permanent	3	2	9	2	0	1	0	0	0	17
	Formage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Traitements thermiques	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
	Contrôles non-destructifs	1	1	7	6	86	39	1	4	0	145
	Autre procédé ou opération	0	0	12	9	17	48	0	2	0	88
	Vérification finale	0	0	0	0	29	34	1	6	0	70
Réparation couvreclé	Soudage et autre assemblage permanent	0	0	0	0	0	328	330	638	0	1296
	Formage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Traitements thermiques	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
	Contrôles non-destructifs	0	0	0	2	35	198	258	116	2	611
	Autre procédé ou opération	0	0	0	5	77	162	103	4	3	354
	Vérification finale	0	0	0	0	0	0	10	27	5	42
Internes	Soudage et autre assemblage permanent	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
	Formage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Traitements thermiques	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Contrôles non-destructifs	0	0	0	0	0	0	4	7	1	12
	Autre procédé ou opération	0	0	0	0	0	0	32	25	2	59
	Vérification finale	0	0	0	0	0	7	14	47	5	73
Incore	Soudage et autre assemblage permanent	0	0	0	4	3	0	0	1	1	9
	Formage	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
	Traitements thermiques	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	Contrôles non-destructifs	0	0	2	2	4	0	0	1	1	10
	Autre procédé ou opération	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2
	Vérification finale	0	0	0	2	0	0	0	7	3	12
TOTAL		4	3	35	33	253	818	756	885	24	2811

Partie de l'ESPN Cuve	Thème	Nombre de rapports d'examen
Corps de cuve / Couvercle	Conception	159
	Fabrication	248
	Vérification finale	115
Réparation couvercle	Conception	43
	Fabrication	455
	Vérification finale	29
Internes	Conception	5
	Fabrication	27
	Vérification finale	8
Incore	Conception	65
	Fabrication	26
	Vérification finale	14
TOTAL		1194

4.3. Gestes d'évaluation mandatés par l'ASN à Bureau Veritas

Mandats rattachés à la cuve FA3	Détails des opérations liées au mandat ou faisant suite au mandat (toutes campagnes complémentaires intégrées)	Vacations préparation/ rapportage	Vacations Gestion *	Vacations Inspection terrain	Année de réalisation des opérations
CODEP-DEP-2012-052493	Carottage de la calotte UA supérieure	2	3	1	2012
	Prélèvement des éprouvettes et réalisation des essais destructifs sur la carotte de la calotte UA supérieure (résiliences, tractions, filiations carbone et dureté et analyses chimiques)	44	3	33	2014
	Traitement et solde des constats de Bureau Veritas (notamment prélèvements complémentaires sur éprouvettes pour analyse chimique)	4	4	2	2015
CODEP-DEP-2015-047685	Essais complémentaires à mi épaisseur sur la carotte de la calotte UA supérieure (résilience, traction et analyses chimiques)	3	3	5	2016
CODEP-DEP-2015-014203	Détermination de la position de la ségrégation dans la calotte UK supérieure (cartographie en surface extérieure et dans l'épaisseur)	6	12	6	2015
CODEP-DEP-2015-040183	Détermination de la position de la ségrégation dans la calotte UA inférieure (cartographie en surface extérieure et dans l'épaisseur)	35	80	40	2015 et 2016
	Découpe des blocs ségrégés de la calotte UK supérieure				
	TTDS des blocs ségrégés de la calotte UK supérieure et des blocs de recette des calottes UK supérieure, UA inférieure, FA3 inférieure et FA3 supérieure				
CODEP-DEP-2015-050472	Report de marquage, découpe et essais destructifs (traction, résilience, ténacités, analyses chimiques...) sur les blocs ségrégés et de recette des calottes UK sup, FA3 inf, FA3 sup et UA inf	15	91	55	2016
Total en jour.homme		109	196	142	

* Les vacances de gestion incluent tous les gestes nécessaires à Bureau Veritas pour le traitement du dossier mais sont des missions réalisées dans les locaux de Bureau Veritas (gestion des constats, rédaction des plans d'inspection, instruction documentaire, réunions, supports techniques...)

4.4. Réunions des groupes permanents d'experts sur la cuve de Flamanville 3

Groupe	Intitulé	Date
SPN	EPR - Virole porte-tubulures de la cuve	02/07/2003
SPN	Examen des choix de conception de l'enceinte des mécanismes de commande de grappes du réacteur EPR	26/04/2005
SPN	EPR - Examen des choix de conception de la virole porte-tubulures et du couvercle de la cuve EPR	05/01/2006
GP ESPN	Opérations de réparations du couvercle de la cuve destinée au réacteur EPR de Flamanville 3	14/09/2011
GP ESPN	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	30/09/2015

La section permanente nucléaire (SPN) de la commission centrale des appareils à pression (CCAP) a examiné les choix de conception retenus pour le couvercle de la cuve au cours de sa séance du 5 janvier 2006. Le procédé d'élaboration des calottes et leur conception n'avaient alors pas été spécifiquement examinés par la SPN. Dans sa lettre de suite, l'ASN avait demandé d'approfondir l'analyse de faisabilité industrielle de la solution d'un couvercle de type monobloc, qui présente l'avantage de supprimer un joint soudé.

5. Historique de la réglementation

Les exigences applicables aux circuits primaires et secondaires principaux 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.

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*, diffusé par l'ASN par le courrier en référence [6].

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 actuelle.

La réglementation applicable à la fabrication de la cuve de l'EPR de Flamanville est constituée de la réglementation actuellement en vigueur :

- le décret n° 99-1046 du 13 décembre 1999 relatif aux équipements sous pression en référence [1] ;
- l'arrêté du 12 décembre 2005 relatif aux équipements sous pression nucléaires (ESPN) en référence [4]. Au titre de cet arrêté, la cuve est un équipement de niveau N1¹, c'est-à-dire le plus important pour la sûreté.

Cette réglementation exige que le fabricant apporte plus de garanties 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 démarches de qualification, les contrôles et les vérifications sont renforcés.

Les dispositions transitoires de l'arrêté en référence [4] permettaient, compte tenu de la date d'engagement de la fabrication de la cuve de Flamanville 3, d'appliquer également la réglementation précédemment en vigueur (arrêté en référence [3] complété par les règles techniques en référence [6]). La demande d'autorisation pour l'EPR de Flamanville, déposée par EDF le 9 mai 2006, indique que l'arrêté en référence [4] sera appliqué pour les équipements sous pression nucléaires.

5.1. Exigences sur les propriétés des matériaux

Réglementation actuelle

Le décret relatif aux équipements sous pression en référence [1], qui est applicable à tous les équipements, nucléaires ou non, exige (point 4.1.a de son annexe 1) que « *les matériaux destinés aux parties sous pression doivent [...] notamment être suffisamment ductiles et tenaces* ».

Ce décret stipule également (point 7.5 de son annexe 1) que « *un acier est considéré comme suffisamment ductile pour satisfaire au point 4-1 a) si son allongement après rupture dans un test de traction réalisé selon une procédure*

¹ L'arrêté en référence [4] 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 susvisé ».

standard est au moins égal à 14 % et si on énergie de flexion par choc sur éprouvette ISO V est au moins égale à 27 J, à une température au plus égale à 20 °C, mais non supérieure à la plus basse température de fonctionnement prévue ».

Pour les équipements sous pression nucléaires de niveau N1, les plus importants pour la sûreté, des valeurs minimales plus contraignantes ont été fixées par l'arrêté en référence [4]. Elles sont respectivement, pour des aciers du type de celui utilisé pour la cuve, égales à 20 % pour les valeurs d'allongement à 20 °C et 60 J pour l'énergie de flexion par choc à 0 °C. Ces valeurs, si elles sont respectées, sont considérées démontrer que le matériau est suffisamment tenace et ductile. Dans le cas où ces valeurs ne sont pas respectées, il appartient au fabricant de justifier de la mise en œuvre de dispositions appropriées permettant d'obtenir un niveau de sécurité global équivalent : « *les dispositions ci-après sont applicables en règle générale. Toutefois, lorsqu'elles ne sont pas appliquées, y compris dans les cas où les matériaux ne sont pas spécifiquement visés et où les normes harmonisées ne sont pas appliquées, le fabricant doit justifier de la mise en œuvre de dispositions appropriées permettant d'obtenir un niveau de sécurité global équivalent* » (point 7 de l'annexe 1 du décret en référence [1]).

Réglementation précédente

L'arrêté en référence [3] imposait des exigences sur les caractéristiques mécaniques des matériaux dans son article 16 :

« § 1. - Les matériaux seront choisis de façon à éviter tout risque de rupture brutale en exploitation.

§ 2. - Les matériaux destinés à être assemblés par des joints soudés présenteront une aptitude satisfaisante au soudage dans les conditions prévues et permettant en outre de satisfaire aux dispositions de l'article 23.

§ 3. - Mis à part le cas prévu à l'article 17, seront considérés a priori comme ne satisfaisant pas aux conditions précédentes :

- les aciers dont le maximum de la résistance à la traction, à 20 °C, excède 70 hbar (1) ou dont l'allongement pour cent après rupture est inférieur à 18 ;

- les aciers dont la valeur moyenne à 0 °C de la résilience dite KCV, mesurée sur trois éprouvettes, est inférieure à 5 daJ/cm² pour un maximum de la résistance à la traction inférieur à 60 hbar ou inférieur à 7 daJ/cm² pour un maximum de la résistance à la traction compris entre 60 et 70 hbar.

§ 4. - Le constructeur pourra toutefois employer, sous réserve des observations du chef d'arrondissement minéralogique chargé du contrôle, un acier qui ne réponde pas aux prescriptions du paragraphe 3, s'il peut justifier ce choix de façon probante en ce qui concerne l'aptitude au soudage de cet acier et le risque de rupture brutale tant dans le métal de base que dans les régions intéressées par la soudure. À cet effet, il joindra au dossier prévu à l'article 14 un rapport justificatif. »

Pour le matériau de la cuve, la valeur de résilience à retenir était de 7 daJ/cm² (soit 56 J suite à la normalisation ISO de ces essais). Cette valeur est comparable à celles spécifiées dans les règles techniques en référence [6] et l'arrêté en référence [4].

Il est à noter que le §4 de l'article 16 permet au constructeur de s'affranchir du respect de cette valeur s'il peut justifier ce choix de façon probante en ce qui concerne, notamment, le risque de rupture brutale dans le métal de base.

Par ailleurs, les règles techniques en référence [6] imposent des caractéristiques minimales des matériaux : « *Sauf justification particulière, les matériaux choisis doivent présenter des caractéristiques en valeur individuelle, en qualification et en recette, conformes aux règles des points 2 à 4 ci-dessous. [...]*

3. Les matériaux à structure ferritique autres que ceux de boulonnerie doivent présenter, y compris dans les soudures (recette et coupons témoins), un allongement à rupture à température ambiante supérieur ou égal à 20 %, une énergie de flexion par choc sur éprouvette ISO V à 0°C supérieure ou égale à 40 J et une résistance à la traction à température

ambiante limitée à 800 MPa. La limite de 40 J est portée à 60 J pour les matériaux dont la résistance à la traction à température ambiante est supérieure ou égale à 600 MPa.

Pour l'acier de la cuve, la valeur de résilience minimale est de 60 J en valeur individuelle, en recette et en qualification.

5.2. Exigence de qualification technique

Réglementation actuelle

Pour les équipements sous pression nucléaires de niveau N1, l'exigence essentielle de sécurité définie au 3.2 de l'annexe 1 de l'arrêté [4] comme la « qualification technique » requiert 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 fait l'objet d'une qualification technique. Celle-ci a pour objet d'assurer que les composants fabriqués dans les conditions et selon les modalités de la qualification auront les caractéristiques requises ».*

La qualification technique des calottes de cuve porte sur l'élaboration du matériau qui présente un risque d'hétérogénéité de ses caractéristiques.

Pour l'évaluation de la conformité à cette exigence, la pratique actuelle conduit à ce que le fabricant introduise auprès de l'ASN, en préalable à l'élaboration du matériau d'un composant qu'il a identifié comme nécessitant une qualification technique, une demande d'évaluation de la conformité à cette exigence. Cette demande est accompagnée d'une documentation technique qui explicite notamment :

- la qualité attendue du matériau, issue de l'évaluation particulière du matériau qui doit définir les valeurs qui seront utilisées dans les calculs de conception ainsi que les caractéristiques essentielles du matériau et de sa mise en œuvre ;
- l'analyse des risques d'hétérogénéité de ces caractéristiques ;
- les essais destructifs et les essais non destructifs qui permettent de caractériser l'effet des hétérogénéités ;
- les modalités de mesure des paramètres de fabrication qui influent sur les risques d'hétérogénéité et dont l'impact n'est vérifié que sur un composant de qualification (paramètres dits essentiels).

Pour justifier de la maîtrise des propriétés qui ne peuvent pas être mesurées sur tous les composants, le fabricant peut être amené à réaliser une pièce sacrificielle sur laquelle il réalise les essais précités.

Réglementation précédente

L'arrêté en référence [3] ne prescrivait pas de démarche de qualification des matériaux.

Les règles techniques en référence [6] ont instauré une qualification de certaines opérations de fabrication : *« Les opérations de fabrication devant faire l'objet d'une qualification sont définies. En particulier, les opérations de revêtement, de soudage et de fonderie sont soumises à qualification ».*