



Note de dossier

Date: 20.10.2017 Pages: 17 Annexes: - Pièces jointes: -
Destinataires internes: -
Destinataire externe: -
Responsable: MATE
Visa

Visa du supérieur hiérarchique

Classification keine
Numéro de dossier 10KEX
Référence ENSI-AN-10147

Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone

Table des matières

1	Contexte	3
1.1	Historique	3
1.2	Activités internationales de la WENRA (Association des autorités de surveillance nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest)	4
2	Bases techniques	5
2.1	Ségrégation carbone	5
2.2	Conséquences des teneurs accrues en carbone	5
2.3	Pièces forgées concernées	5
2.4	Emplacement des anomalies en carbone	6
2.5	Preuve de l'intégrité structurelle	6
3	Générateurs de vapeur de la centrale nucléaire de Beznau (KKB)	7
3.1	Indications de l'exploitant	7
3.1.1	Structure des générateurs de vapeur	7
3.1.2	Exigences à satisfaire par les pièces forgées, fabrication et réception de ces pièces	7
3.1.3	Résultats de la vérification de la documentation des boîtes à eau	8
3.1.4	Résultats de la vérification de la documentation de fabrication des plaques tubulaires	8



Classification: **keine**
Numéro de dossier/Publidocs: 10KEX / ENSI-AN-10147
Titre: Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable: 20.10.2017 / MATE

3.1.5	Résultats du contrôle de la documentation des voûtes de couvercles	9
3.2	Résultats des contrôles faits par l'ASIT	10
3.3	Avis de l'IFSN	10
4	Générateur de vapeur de la centrale nucléaire de Gösgen (KKG)	13
4.1	Indications de l'exploitant	13
4.1.1	Structure des générateurs de vapeur	13
4.1.2	Exigences à satisfaire par les pièces forgées, fabrication et réception de ces pièces	13
4.1.3	Résultats de la vérification de la documentation de fabrication des plaques tubulaires	14
4.2	Résultats des contrôles faits par l'ASIT	14
4.3	Avis de l'IFSN	15
5	Références	16



Classification: **keine**
Numéro de dossier/Publidocs: 10KEX / ENSI-AN-10147
Titre: Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable: 20.10.2017 / MATE

1 Contexte

1.1 Historique

Le 7 avril 2015, l'autorité française de sûreté nucléaire ASN a informé le public que des zones à teneur en carbone trop élevée avaient été détectées dans le couvercle et le fond de la cuve du réacteur de la centrale nucléaire française de Flamanville 3 actuellement en construction.

Dans le cadre de l'analyse de ces constatations ordonnée par l'ASN, des lacunes ont été découvertes dans la documentation de fabrication d'autres composants de la centrale nucléaire de Flamanville 3. Les composants concernés provenaient de la forge française Creusot Forge. A la suite de cela, le groupe AREVA, auquel appartient Creusot Forge, a procédé à une analyse de l'ensemble des documents relatifs à la fabrication des pièces forgées. Plus de 9000 irrégularités, y compris plusieurs cas de falsifications de documents, ont été découvertes à cette occasion dans la documentation.

C'est la raison pour laquelle l'IFSN a demandé en juin 2016 que les centrales nucléaires suisses se procurent des informations et vérifient si des composants fabriqués à Creusot Forge étaient utilisés, ou sont éventuellement toujours utilisés, avec une documentation de fabrication erronée. Toutes les centrales ont pu confirmer que les certificats relatifs aux matériaux et à la fabrication concernant la totalité des pièces forgées utilisées pour les principaux composants de sécurité étaient intégralement documentés. Aucun indice de falsification dans les documents de fabrication des centrales nucléaires suisses n'a été trouvé.

Indépendamment de la thématique de la falsification, l'analyse des constatations faites sur le couvercle et le fond du réacteur de Flamanville 3 ont montré que, en fonction du processus de fabrication, d'autres pièces forgées d'une certaine taille pouvaient également présenter des zones à teneur en carbone accrue. Par la suite, l'ASN a étendu ses investigations notamment aux générateurs de vapeur des centrales nucléaires françaises.

Ces investigations ont permis de constater que des boîtes à eau des générateurs de vapeur des centrales nucléaires des séries 900 et 1450 MWe, fabriquées par Creusot Forge ou Japan Casting & Forging Cooperation (JCFC) étaient concernées par des zones à concentration élevée en carbone. Le 18 octobre 2016, l'ASN a ordonné des analyses approfondies pour 12 de ces 18 centrales nucléaires. EDF, l'exploitante des centrales nucléaires françaises, devait apporter la preuve que les matériaux des générateurs de vapeur avaient la résistance nécessaire en dépit d'une trop forte teneur en carbone.

Cette démarche a conduit l'IFSN à faire également vérifier les générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et de Gösgen. En décembre 2016, l'IFSN a demandé aux centrales nucléaires de Beznau et de Gösgen, par les courriers /1/ et /2/, de faire contrôler la qualité et l'exécution des pièces forgées des générateurs de vapeur du point de vue du respect de la spécification des matériaux. Le rapport à rédiger à ce propos et à soumettre à l'IFSN doit contenir, en plus des indications sur le fabricant, les normes de construction et les contrôles de réception effectués, des informations détaillées sur le processus de fabrication.

Les centrales nucléaires de Mühleberg et de Leibstadt ont été exemptées de la demande de l'IFSN car leurs réacteurs à eau bouillante ne comportent pas de générateurs de vapeur.

Lors d'une étape suivante, l'IFSN a demandé à son expert l'Association suisse d'inspection technique (ASIT), par les courriers /3/ et /4/, de vérifier les indications fournies dans les rapports du point de vue de l'exhaustivité et de la vérifiabilité.



Classification: **keine**
Numéro de dossier/Publidocs: 10KEX / ENSI-AN-10147
Titre: Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable: 20.10.2017 / MATE

1.2 Activités internationales de la WENRA (Association des autorités de surveillance nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest)

Un atelier organisé par l'ASN sur la thématique de la ségrégation carbone a eu lieu début septembre 2017. En plus des représentants français (ASN, IRSN) et de l'IFSN, des représentants de la Suède, des Pays-Bas, de la Belgique, de la Slovaquie, de la Russie, de l'Allemagne, du Japon et du Royaume-Uni ont participé à cet atelier. Les différents représentants ont présenté la situation dans leur pays en ce qui concerne les analyses, les résultats et les mesures adoptées.

Le deuxième jour, les recommandations pour la WENRA ont été débattues et formulées en clôture de l'atelier. Elles s'adressent en particulier aux constructeurs et aux exploitants de centrales nucléaires, et les encouragent à mettre en place une réglementation plus claire des responsabilités pour la qualification du processus de fabrication, la surveillance, l'enregistrement, l'assurance qualité et le retour d'expérience.

Avec les demandes /1/ et /2/, l'IFSN a pris des mesures comparables à celles adoptées dans les autres pays membres de la WENRA.



Classification: **keine**
Numéro de dossier/PubliDocs: 10KEX / ENSI-AN-10147
Titre: Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable: 20.10.2017 / MATE

2 Bases techniques

2.1 Ségrégation carbone

Les zones à teneur en carbone accrue détectées en France sont imputables à ce que l'on appelle la ségrégation carbone. Les ségrégations sont des hétérogénéités qui apparaissent lors du refroidissement du lingot de fonte. Comme la solubilité de différents éléments ajoutés, par exemple le carbone, est plus faible dans le solide que dans la matière fondue, ces éléments s'accumulent dans la masse fondue résiduelle pendant le processus de refroidissement. Dès lors que la masse fondue se solidifie de l'extérieur vers l'intérieur, le milieu du lingot, qui se solidifie en dernier, est le plus touché par de telles ségrégations.

On distingue entre:

- ségrégation positive: zone située dans la partie supérieure du lingot de fonte avec une concentration en carbone supérieure aux valeurs spécifiées.
- ségrégation négative: zone située dans la partie inférieure du lingot avec une concentration en carbone inférieure aux valeurs spécifiées.

La zone à ségrégation carbone positive est importante car une forte augmentation de la teneur en carbone contribue à une diminution de la résilience d'entaille et de la ténacité à la rupture.

2.2 Conséquences des teneurs accrues en carbone

En ce qui concerne les composants du circuit primaire d'une centrale nucléaire, il convient de s'assurer qu'ils résistent aux contraintes auxquelles ils risquent d'être soumis et remplissent leurs fonctions. Compte tenu de ces exigences, des aciers alliés à teneur en carbone de 0.25% au maximum sont utilisés pour les boîtes à eau et les plaques tubulaires des générateurs de vapeur.

En France, une teneur en carbone pouvant atteindre 0.40% a été constatée localement dans certaines boîtes à eau. Les écarts induits par la fabrication se traduisant par une teneur accrue en carbone entraînent une modification des caractéristiques des matériaux, la résistance à la traction et la limite d'élasticité étant alors accrues, tandis que la résistance à la rupture fragile diminue en raison d'une ductilité réduite.

2.3 Pièces forgées concernées

L'intensité et la dimension des zones de ségrégation carbone dépendent du type et des dimensions des lingots. Ces zones sont, en principe, plus marquées dans les gros lingots que dans les petits.

Lors du forgeage du lingot de fonte et de l'usinage mécanique qui le suit, l'essentiel de ces zones de ségrégation est en général éliminé par découpe. Les analyses effectuées en France ont cependant montré qu'en cas de découpe insuffisante, la pièce finie pouvait comporter des zones de ségrégation carbone positives dépassant la valeur prescrite.

D'après les analyses françaises, ce sont notamment les pièces forgées à partir de gros lingots conventionnels de fonte, sur lesquels la partie centrale n'a pas été retirée, qui sont concernées. A côté des couvercles et des fonds de cuve de réacteurs, cela touche aussi la boîte à eau, la plaque tubulaire et la voûte du couvercle des générateurs de vapeur. Dans la présente évaluation, l'IFSN s'est concentrée sur ces trois pièces forgées.



Classification: **keine**
Numéro de dossier/Publidocs: 10KEX / ENSI-AN-10147
Titre: Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable: 20.10.2017 / MATE

2.4 Emplacement des anomalies en carbone

Comme expliqué dans le chapitre 2.1, les concentrations de carbone les plus fortes apparaissent dans la partie supérieure du centre des lingots. Même après le forgeage, des zones de concentration accrues en carbone peuvent se trouver au centre des pièces forgées si la découpe effectuée a été insuffisante.

Les échantillons nécessaires à l'analyse de la composition chimique de l'acier et à la détermination des propriétés des matériaux sont prélevés dans les parties des pièces forgées situées près des bords conformément aux standards en vigueur aujourd'hui. Un prélèvement d'échantillon dans le centre, qui présente potentiellement les concentrations de carbone les plus fortes, n'est pas impérativement prescrit. Il peut donc arriver que des teneurs en carbone localement excessives ne soient pas détectées lors de la fabrication.

2.5 Preuve de l'intégrité structurelle

L'intégrité structurelle est d'abord garantie quand la pièce est dimensionnée pour les charges spécifiées conformément aux règles des normes de construction applicables. Dans certains cas, des considérations ultérieures d'intégrité structurelle deviennent nécessaires, par exemple en cas de nouvelles exigences sortant du cadre des cas de charges spécifiés à l'origine ou consécutivement à la détection de défauts induits par le fonctionnement ou inhérents la fabrication. Les écarts dus à la fabrication, sous forme de teneur en carbone accrue, conduisent à une altération des caractéristiques des matériaux, avec une augmentation de la résistance à la traction et de la limite d'élasticité tandis que, d'un autre côté, la résistance à la rupture fragile diminue en raison d'une ductilité réduite. En fonction de la pièce et des conditions de charge, des analyses de rupture par fatigue mécanique à l'endroit de fissures potentielles, par exemple pour les contraintes exercées par les chocs thermiques, peuvent s'avérer judicieuses. En France, cette manière de procéder a été retenue pour les boîtes à eau des générateurs de vapeur concernées.



Classification:	keine
Numéro de dossier/Publidocs:	10KEX / ENSI-AN-10147
Titre:	Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable:	20.10.2017 / MATE

3 Générateurs de vapeur de la centrale nucléaire de Beznau (KKB)

3.1 Indications de l'exploitant

La KKB a répondu par les lettres /7/ et /8/ à la demande de l'IFSN /1/ et adressé les documents justificatifs /9/-/14/.

3.1.1 Structure des générateurs de vapeur

Chacune des deux tranches de la KKB, d'une puissance de 380 MWe, dispose de deux générateurs de vapeur. Ceux-ci proviennent de l'entreprise Framatome (aujourd'hui AREVA) et ont remplacé les générateurs de vapeur Westinghouse d'origine en 1993 (tranche 1) et en 1999 (tranche 2). La raison de ces remplacements était la sensibilité à la corrosion des tubes des générateurs de vapeur, qui avait entraîné des pertes de puissance de plus en plus fréquentes à la suite de travaux de réparation nécessaires.

Les générateurs de vapeur de la KKB sont des échangeurs verticaux, constitués par l'assemblage de différentes pièces forgées. Le côté primaire comprend la boîte à eau (demi-sphère forgée en continu, avec raccords d'entrée et de sortie), la plaque tubulaire forgée et les tubes d'échange de chaleur (tubes en U). Les côtés entrée et sortie de la boîte à eau sont délimités par une plaque de partition soudée.

La chambre secondaire cylindrique se trouve au-dessus de la plaque tubulaire. A son extrémité, le diamètre de l'enveloppe augmente à proximité du dôme à vapeur, fermé par la voûte du couvercle incluant le raccord de vapeur fraîche. L'ensemble de la partie cylindrique et conique de la chambre secondaire est formé d'anneaux forgés en continu soudés les uns avec les autres.

3.1.2 Exigences à satisfaire par les pièces forgées, fabrication et réception de ces pièces

La partie primaire du générateur de vapeur relève de la classe de sécurité 1, la partie secondaire de la classe de sécurité 2. Les pièces forgées ont été fabriquées par Creusot Forge (CF), Kobe Steel (KS), et Japan Steel Works (JSW).

La fabrication des composants des générateurs de vapeur a été réalisée conformément aux directives DSN, à la réglementation de l'ASCP, aux normes de construction ASME, section III, sous-section NB, et aux critères de spécification des composants. La surveillance de la fabrication et la réception des générateurs de vapeur ont été faites par l'ASCP (aujourd'hui ASIT), l'expert de l'IFSN.

Les vérifications faites sur les composants incluent l'analyse de la composition chimique de l'acier, le contrôle des dimensions, l'essai de résilience, l'essai de choc par masse tombante, le contrôle des fissures superficielles, le contrôle par ultrasons, les contrôles visuels et les tests techno-mécaniques. En plus des exigences de l'ASME, des essais d'élasticité à chaud sont réalisés.

En outre, conformément aux critères de spécification des composants, la teneur en carbone de l'analyse des pièces pour le matériau SA 508 Class 3 a été limitée à 0.22% de carbone au maximum. D'après les normes de construction ASME sect. III, une teneur en carbone de 0.25% au maximum est autorisée. Une des raisons de la limitation de la teneur en carbone est la meilleure soudabilité lorsque la teneur en carbone est plus faible.

Pour l'évaluation du risque de ségrégation carbone, les composants ferritiques forgés du générateur de vapeur ont été soumis à une vérification complète. Une fiche technique comportant des données sur le



Classification:	keine
Numéro de dossier/Publidocs:	10KEX / ENSI-AN-10147
Titre:	Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable:	20.10.2017 / MATE

lot, la teneur en carbone, les valeurs de résilience, la T_{NDT} (température de ductilité nulle), le type, la taille et le poids des lingots et le taux de rejet a été rédigée chacun de ces composants.

Les indications évaluées dans les chapitres 3.1.3 et suivants se réfèrent à des pièces forgées fabriquées dans un lingot de fonte conventionnel non embouti.

3.1.3 Résultats de la vérification de la documentation des boîtes à eau

Les boîtes à eau des générateurs de vapeur de la KKB 1 ont été fabriquées par Creusot Forge (CF), celles de la KKB 2 par Japan Steel Works (JSW). Un seul signalement d'écart a été documenté dans le cadre de la fabrication des quatre boîtes à eau. Sur l'une d'elles, il a été constaté une insuffisance de matériau sur le pied de support. Après meulage de l'endroit concerné et un contrôle réussi de l'absence de fissures superficielles, l'écart a été accepté par l'ASCP (aujourd'hui ASIT).

Les lingots pour les boîtes à eau ont dans une première étape été forgés sous forme d'ébauche puis usinés mécaniquement. Ce procédé appelé «forging blank from a conventional ingot and machining» a été développé par JSW et aussi utilisé par CF pour la fabrication des boîtes à eau de la KKB. Par contre, les boîtes à eau des générateurs de vapeur français concernés ont été fabriquées par moulage à chaud à partir d'une plaque forgée d'un lingot conventionnel («hot forming of a forged blank issued from a conventional type of ingot»).

Alors qu'il n'existe pratiquement aucun risque d'anomalie carbone avec les techniques de fabrication utilisées pour la KKB, avec le procédé français de fabrication, un haut risque pèse sur les zones de ségrégation subsistant dans la pièce forgée. Cela est confirmé par les analyses effectuées chez le fabricant des pièces utilisées à Beznau. Les analyses effectuées chez CF et JSW ont révélé des teneurs en carbone de 0.17 à 0.18% et se situaient donc nettement au-dessous de la valeur prescrite de 0.22% de carbone au maximum.

Pour les boîtes à eau des générateurs de vapeur de la KKB 2, il existe de plus une mesure informative de la teneur en carbone, directement faite au centre des pièces forgées. Ces mesures ont été réalisées pour déterminer la teneur locale en carbone et en soufre et servaient à s'assurer du bon placage dans le fond du lingot d'origine. Lors de ces mesures, une teneur maximale en carbone de 0.22% a été constatée dans la partie supérieure («top of ingot»). Celle-ci respecte la valeur prescrite de 0.22% de carbone au maximum.

Dans la tranche 1, ces mesures ont également été réalisées selon les instructions d'AREVA, mais elles n'ont pas été consignées sur procès-verbal. En dépit de l'absence de mesures, un résultat comparable est attendu pour la KKB 1, compte tenu de la technique de fabrication identique.

3.1.4 Résultats de la vérification de la documentation de fabrication des plaques tubulaires

Toutes les plaques tubulaires de la KKB ont été fabriquées par Creusot Forge (CF). Dans le cadre de la fabrication des quatre plaques tubulaires, aucun signalement d'écart n'a été documenté.

Pour la fabrication des plaques tubulaires des générateurs de vapeur de la KKB, la technique de fabrication utilisée était la même que pour les centrales nucléaires françaises. Avec cette technique de fabrication, il n'est en principe pas possible d'exclure des concentrations de carbone accrues au centre des plaques tubulaires.

Les analyses de pièces réalisées sur les quatre plaques tubulaires ont révélé des teneurs en carbone entre 0.14 et 0.18% qui étaient donc au-dessous de la valeur prescrite de 0.22% de carbone au maximum.



Classification:	keine
Numéro de dossier/Publidocs:	10KEX / ENSI-AN-10147
Titre:	Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable:	20.10.2017 / MATE

Pour les plaques tubulaires des générateurs de vapeur de la tranche 2, il existe des mesures informatives de la teneur en carbone faites directement au centre des pièces forgées. Ces mesures ont été réalisées pour déterminer la teneur locale en carbone et en soufre et servaient à s'assurer du bon placage dans le fond du lingot de fonte d'origine.

Lors de ces mesures, une teneur maximale en carbone de 0.22% a été constatée dans la partie supérieure («top of ingot»). Cette valeur individuelle se situe légèrement au-dessus de la valeur prescrite $\leq 0.22\%$ pour les analyses de pièces, mais au-dessous de la valeur maximale admissible de 0.25% selon les normes de construction applicables de l'ASME, section III. Après les mesures de teneur en carbone, l'usinage mécanique final de la pièce a été effectué, au cours duquel du matériau supplémentaire a été retiré de la zone de ségrégation positive de la pièce forgée. La teneur en carbone a donc encore été réduite dans la zone positive.

Dans la tranche 1, ces mesures de la teneur en carbone ont aussi été directement effectuées au centre des pièces forgées conformément aux directives d'AREVA, mais n'ont pas été consignées sur procès-verbal. En dépit de l'absence de documentation des mesures, le fabricant part de l'hypothèse que pour la KKB 1, compte tenu de la technique de fabrication identique, les valeurs de teneur en carbone sont comparables à celles données par les mesures effectuées au centre de la plaque tubulaire de la tranche 2.

Comme avec la technique de fabrication utilisée pour les plaques tubulaires, des ségrégations carbone sont en principe possibles, et comme une seule mesure est insuffisamment représentative pour les exclure, il convient de prendre en compte des teneurs en carbone accrues dans les plaques tubulaires.

Afin de justifier que les propriétés mécaniques des plaques tubulaires sont satisfaisantes en dépit d'une éventuelle augmentation des teneurs en carbone, la KKB avance les arguments suivants:

- La charge déterminante d'une fissure éventuelle du point de vue de la rupture fragile est le test de pression réalisé côté primaire de la boîte à eau. La conception ménage encore des réserves supplémentaires, si bien que la charge ne dépasse en aucun cas 80% pour le test de pression.
- Pendant la durée de vie du composant, il ne faut pas s'attendre à une fissure de fatigue car, du fait de la conception, du point de vue de la fatigue, le facteur d'utilisation («fatigue usage factor») est minime dans la partie centrale de la plaque tubulaire.
- En raison du processus de fabrication et des contrôles non destructifs réalisés pendant et après la fabrication, la présence d'un défaut de fabrication subsistant peut être exclue.
- Les fissures potentielles dans les plaques tubulaires seraient limitées localement à la partie située entre deux orifices car la géométrie spéciale de ce composant, une plaque multi-perforée, limite l'extension de fissures éventuelles. Par ailleurs, le gradient de tension limite la profondeur possible des fissures dans le sens de l'épaisseur.

En résumé, cette évaluation réalisée pour la KKB amène à conclure que la présence attendue d'une ségrégation carbone positive dans les plaques tubulaires des générateurs de vapeur peut être acceptée du point de vue du comportement à la rupture fragile et que l'intégrité des plaques tubulaires n'est donc pas affectée.

3.1.5 Résultats du contrôle de la documentation des voûtes de couvercles

Toutes les voûtes de couvercles des générateurs de vapeur de la KKB ont été fabriquées par Creusot Forge (CF). Dans le cadre de la fabrication des quatre voûtes de couvercles, un seul signalement d'écart



Classification: **keine**
Numéro de dossier/PubliDocs: 10KEX / ENSI-AN-10147
Titre: Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable: 20.10.2017 / MATE

a été documenté. Une mesure par ultrasons a été effectuée à 2 MHz au lieu de 4 MHz sur l'une des quatre voûtes de couvercles. Cet écart a été accepté par l'ASIT.

Les analyses de pièces réalisées sur les quatre voûtes de couvercle ont révélé des teneurs en carbone de 0.15 à 0.18% qui étaient donc inférieures à la valeur prescrite de 0.22% de carbone au maximum.

Des mesures de concentration en carbone à proximité de la zone critique («center of top of ingot»), donnant des valeurs situées dans la plage autorisée pour le carbone, sont également disponibles pour les voûtes de couvercles.

3.2 Résultats des contrôles faits par l'ASIT

Les documents ont été vérifiés par l'expert ASIT désigné par l'IFSN du point de vue de l'exhaustivité et de la vérifiabilité.

Le résultat du contrôle de l'ASIT a été transmis à l'IFSN avec le rapport /5/ de l'ASIT.

L'expert de l'ASIT, avec son rapport de surveillance des travaux et la documentation finale archivée à l'ASIT, a contrôlé les indications données dans les rapports /9/ - /13/ adressés par la KKB.

Les contrôles de l'expert, conformément aux directives et à la réglementation, commencent par le traitement thermique de la pièce forgée, le prélèvement d'échantillon et l'usinage final. Les étapes précédentes, comme l'enregistrement des données relatives au lingot, le rejet, les mesures de carbone supplémentaires pour la détermination du côté du gainage et les étapes intermédiaires du processus de forgeage (forgeage provisoire, pré-usinage mécanique) ne font pas partie des contrôles.

Ne font donc pas partie du rapport de surveillance des travaux ni de la documentation finale archivée à l'ASIT les indications détaillées (indications sur les lingots) figurant dans les rapports /9/ - /13/ à propos du processus de forgeage, qui reposent sur les longues années d'expérience du fabricant et constituent son savoir-faire. L'expert constate cependant, dans son rapport /5/, que les données fournies par les fabricants dans les rapports /9/ - /13/, permettent de tirer certaines conclusions sur le processus de forgeage.

Les données sur les matériaux figurant dans les rapports /9/ - /13/ ont été contrôlées avec les documents disponibles à l'ASIT et concordent, à une exception près. Celle-ci concerne les indications RT_{NDT} dans les documents /11/ et /13/. Dans ces deux documents, des valeurs différentes sont indiquées pour la même pièce forgée. Comme les valeurs indiquées dans /11/ concordent avec les indications figurant dans les documents dont dispose l'ASIT, l'ASIT suppose qu'il y a eu erreur de transcription dans le document /13/.

Pour l'expert, les évaluations du document /10/ sont vérifiables et plausibles. L'expert attire l'attention sur le fait que les résultats figurant dans /10/ sont contenus dans la documentation finale, qu'il a lui-même contrôlée et approuvée.

3.3 Avis de l'IFSN

Les documents /9/-/13/ adressés par la KKB relatifs à la qualité et à la fabrication des pièces forgées pour le générateur de vapeur ont été contrôlés par l'IFSN et l'ASIT du point de vue de l'exhaustivité et de la vérifiabilité.



Classification: **keine**
Numéro de dossier/Publidocs: 10KEX / ENSI-AN-10147
Titre: Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable: 20.10.2017 / MATE

Ont été classés comme potentiellement concernées par la présence d'une ségrégation carbone des pièces forgées fabriquées à partir d'un gros lingot de fonte conventionnel non embouti. Pour les générateurs de vapeur de la centrale de Beznau, ce sont les pièces forgées de la boîte à eau, de la voûte de couvercle et de la plaque tubulaire.

La surveillance de la fabrication desdites pièces forgées selon la réglementation en vigueur à l'époque a été faite par l'expert ASCP (aujourd'hui ASIT) nommé par l'ISFN.

Chaque boîte à eau, d'un poids de 19 t environ, a été fabriquée à partir d'un lingot de fonte de 120 t environ. Les analyses réalisées pendant la fabrication et les mesures supplémentaires de carbone effectuées par le fabricant n'ont révélé aucune augmentation des teneurs en carbone. Contrairement aux pièces forgées concernées en France, les boîtes à eau destinées à la KKB ont été fabriquées avec une technique pour laquelle il n'existe pratiquement aucun risque d'anomalies carbone.

Chaque voûte de couvercle, d'un poids de 15 t environ, a été fabriquée à partir d'un lingot de fonte de 84 t environ. Les analyses réalisées pendant la fabrication n'ont révélé aucune augmentation des teneurs en carbone. En s'appuyant sur les mesures de concentration de carbone disponibles à proximité de la zone critique («center of top of ingot») de la voûte du couvercle, l'ISFN suit l'avis de la KKB selon lequel les valeurs carbone de la voûte se situent dans la plage autorisée.

Chaque plaque tubulaire d'un poids de 29 t environ a été fabriquée à partir d'un lingot de fonte de 80 t environ. Lors de la fabrication, une teneur en carbone de 0.23% a été mesurée sur l'une des plaques tubulaires du générateur de vapeur B dans la partie supérieure («top of ingot»). Cette mesure individuelle se situe certes au-dessous de la valeur maximale de 0.25% autorisée par les normes de construction ASME, section III. Toutefois, compte tenu de la technique de fabrication utilisée, une augmentation des teneurs en carbone dans le centre des plaques tubulaires ne peut pas être totalement exclue. La KKB est donc d'avis que l'intégrité structurelle des plaques tubulaires reste garantie en dépit d'une éventuelle augmentation de la teneur en carbone.

L'ISFN est d'accord avec l'estimation de la KKB, selon laquelle la conception des générateurs de vapeur ménage des réserves par rapport aux charges maximales à attendre. En raison du faible facteur d'usure, des fissures de fatigue ne risquent pas de se produire.

Les critères de conception des normes de construction basés sur les contraintes ne sont pas affectés par une augmentation de la teneur en carbone car cela n'influe pas négativement sur les propriétés de résistance déterminantes ici. L'augmentation de la résistance va cependant de pair avec une moindre ductilité perceptible en raison d'une diminution de la ténacité à la rupture dans la zone de transition cassant-ductile. La défaillance causée par une rupture par fatigue mécanique suppose la présence d'une amorce de fissure ou d'un défaut de type fissure, ce qui peut toutefois être exclu avec une grande certitude en raison des contrôles non destructifs réalisés pendant et après la fabrication.

De plus, la formation et la propagation potentielles de fissures seraient limitées localement à la zone située entre deux orifices, si bien que même une fissure très improbable traversant la paroi ne causerait qu'une légère fuite entre le côté primaire et le côté secondaire et n'aurait que des implications limitées sur l'intégrité structurelle de la plaque tubulaire.

En résumé, on peut conclure que la vérification des documents de fabrication par l'ISFN et l'ASIT n'a révélé aucun indice d'écarts par rapport aux contraintes de conception. Les présents résultats des contrôles effectués permettent de partir de l'hypothèse qu'il ne faut pas s'attendre à des conséquences négatives sur l'intégrité structurelle des différents composants des générateurs de vapeur en raison d'une éventuelle ségrégation carbone.

Du point de vue de l'ISFN, ces constatations n'appellent aucune mesure supplémentaire.



Classification:

Numéro de dossier/PubliDocs:
Titre:

keine

10KEX / ENSI-AN-10147

Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone

Date / responsable:

20.10.2017 / MATE



Classification: keine
Numéro de dossier/Publidocs: 10KEX / ENSI-AN-10147
Titre: Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable: 20.10.2017 / MATE

4 Générateur de vapeur de la centrale nucléaire de Gösgen (KKG)

4.1 Indications de l'exploitant

La KKG a répondu par la lettre /15/ à la demande de l'IFSN /2/ et adressé le rapport justificatif /16/.

4.1.1 Structure des générateurs de vapeur

La KKG dispose en tout de trois générateurs de vapeur. Ils proviennent de l'entreprise Gutehoffnungshütte Sterkrade AG à Oberhausen, en Allemagne. Celle-ci avait été chargée de la fabrication de presque tous les générateurs de vapeur de la Kraftwerks Union AG (KWU). Dans le cas de la KKG, les générateurs de vapeur avaient été préfabriqués en Allemagne et transportés chacun en deux parties à la KKG, où l'assemblage définitif a été réalisé par soudure.

Les générateurs de vapeur de la KKG sont des échangeurs de chaleur verticaux, constitués par l'assemblage de différents composants laminés et forgés. Le côté primaire comprend la boîte à eau, comportant une zone annulaire et une voûte en tôle laminée emboutie soudées ensemble. D'autres composants côté primaire sont la base de la plaque tubulaire forgée et les tubes d'échange de chaleur (tubes en U).

Au-dessus de la plaque tubulaire se trouve la chambre secondaire, entièrement réalisée en tôle laminée.

4.1.2 Exigences à satisfaire par les pièces forgées, fabrication et réception de ces pièces

La totalité du générateur de vapeur, c'est-à-dire la partie primaire et secondaire, a été classée à la KKG dans la classe de sécurité 1, la plus haute. Les pièces forgées correspondantes ont été fabriquées par l'entreprise Reisholz, à Düsseldorf. Au moment de leur fabrication, en 1975, il n'y avait encore aucune directive suisse spécifique. La fabrication se faisait selon la réglementation nucléaire du code ASME, section III, sous-section NB et la spécification des composants RE-L 813 rév. j de la KWU, avec les spécifications correspondantes pour les matériaux. De la sorte, plusieurs contrôles approfondis ont été réalisés, comme l'exigeait le code ASME. Ils comprenaient:

- des contrôles supplémentaires par ultrasons,
- des mesures de dureté pour prouver l'uniformité de la trempe,
- une détermination de la granulométrie, avec la contrainte que la granulométrie au sens de l'ASTM soit égale ou inférieure à 5,
- des empreintes Baumann (contrôle de la ségrégation soufre),
- des échantillons et éprouvettes supplémentaires pour les tests de résilience et
- des endroits supplémentaires de prélèvements d'échantillons pour les analyses et les essais de traction.

Comme le fabricant avait, pour la technique de forgeage appropriée pour les différentes pièces forgées, la réputation de disposer d'un savoir-faire qui lui était spécifique, il n'y a pas d'indications détaillées dans les documents de fabrication sujets à réception (plans de production et de séquences d'essais) relatifs aux chutes en haut et en bas de la pièce, aux dimensions du lingot et au moule à coquilles.



Classification: keine
Numéro de dossier/Publidocs: 10KEX / ENSI-AN-10147
Titre: Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable: 20.10.2017 / MATE

Les étapes de fabrication sujettes à réception dans les plans de production et de séquences d'essais ont été surveillées par l'ASCP elle-même, ou par un organisme de réception mandaté par l'ASCP (aujourd'hui ASIT).

Dans les générateurs de vapeur de la KKG, seules les plaques tubulaires sont potentiellement concernées par des anomalies de teneur en carbone.

4.1.3 Résultats de la vérification de la documentation de fabrication des plaques tubulaires

Les plaques tubulaires des générateurs de vapeur de la KKG ont été fabriquées par l'entreprise Reisholz. Dans le cadre de la fabrication des trois générateurs de vapeur, aucun signalement d'écart ne figure dans la documentation.

Les teneurs en carbone de 0.18 à 0.19% évaluées pour les trois plaques tubulaires se situaient à l'intérieur de la plage prescrite de 0.17 à 0.25 % pour le matériau ferritique 22 NiMoCr 3 7 (1.6571).

Pour l'essai de dureté et la réévaluation subséquente dans la résistance à la traction, un écart de 40 MPa a été mesuré entre la plus petite et la plus grande valeur. Les résultats ont montré qu'une trempe uniforme avait été obtenue.

Les empreintes Baumann n'ont rien donné, c'est-à-dire qu'il n'y avait pas de ségrégation soufre. Les analyses structurelles n'ont rien révélé non plus. Les contrôles par ultrasons de deux des plaques tubulaires n'ont rien détecté devant être signalé. Sur la troisième plaques tubulaire, dans la zone du flanc de jointure le plus récent pour la soudure circulaire de raccordement à l'enveloppe, quelques réactions aux ultrasons ont été constatées. Cette zone a été rectifiée au tour et retouchée avec apport par soudage de matériau de même nature.

4.2 Résultats des contrôles faits par l'ASIT

L'expert ASIT, avec son rapport de surveillance des travaux et la documentation finale archivée à l'ASIT, a contrôlé les indications figurant dans le rapport /16/ de la KKG.

En se basant sur les exigences du code ASME et sur les spécifications de la KWU pour les composants, des instructions de contrôle spécifiques à l'objet et des fiches techniques de valeurs prescrites ont été élaborées, qui contenaient toutes les exigences à satisfaire et avaient été approuvées par l'ASIT.

L'expert constate dans son rapport /6/ que dans son rapport /16/, la KKG n'a décrit que les contrôles conformes aux spécifications de la KWU pour les matériaux et pas les contrôles ni leur étendue conformément aux fiches techniques de valeurs prescrites. D'après /6/, il s'agit là de divergences rédactionnelles qui ne mettent pas en doute l'exhaustivité ni l'exactitude de la documentation de fabrication des pièces forgées considérées.

D'après /6/, les étapes de contrôle ont été surveillées par l'ASCP (aujourd'hui ASIT) ou l'organisme TÜV-Rheinland mandatée par elle.

Dans le rapport /6/ de l'ASIT, il est en outre expliqué que – mis à part les divergences rédactionnelles évoquées plus haut –, les indications figurant dans /16/ concordent avec les documents de l'ASIT et que les contrôles réalisés sur les différentes pièces satisfaisaient aux exigences des normes de construction et de spécification des composants.



Classification:	keine
Numéro de dossier/Publidocs:	10KEX / ENSI-AN-10147
Titre:	Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable:	20.10.2017 / MATE

4.3 Avis de l'IFSN

Le document /16/ relatif à la qualité et à l'exécution des pièces forgées pour les générateurs de vapeur a été contrôlé par l'IFSN et l'ASIT du point de vue de l'exhaustivité et de la vérifiabilité.

Ont été classées comme potentiellement concernées par la présence d'une ségrégation carbone des pièces forgées, fabriquées à partir d'un gros lingot de fonte conventionnel non embouti. Pour la centrale nucléaire de Gösgen, cela concerne la pièce forgée plaque tubulaire.

La surveillance de la fabrication selon la réglementation en vigueur à l'époque a été faite par l'expert ASCP (aujourd'hui ASIT) nommé par l'ISFN.

Le contrôle de la documentation de fabrication n'a révélé aucun indice d'une augmentation de la concentration en carbone dans les plaques tubulaires des générateurs de vapeur de la KKG. Les arguments avancés dans le cas de la KKB pour garantir l'intégrité de la structure en dépit d'un éventuel enrichissement en carbone restent aussi valables pour la KKG.

En résumé, on peut conclure que la vérification des documents de fabrication par l'IFSN et l'ASIT n'a révélé aucun indice d'un écart avec les exigences de conception. Les présents résultats permettent de partir de l'hypothèse qu'il n'y a pas à attendre d'effets négatifs sur l'intégrité de la structure des différents composants des générateurs de vapeur en raison d'une éventuelle ségrégation carbone.

Du point de vue de l'IFSN, ces constatations n'appellent aucune mesure supplémentaire.



Classification: keine
Numéro de dossier/Publidocs: 10KEX / ENSI-AN-10147
Titre: Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable: 20.10.2017 / MATE

5 Références

- /1/ ENSI-Brief (KAD/GUJ-14/16/056) vom 09.12.2016 „Kernkraftwerk Beznau, Block 1 und 2, Überprüfung der Qualität von Schmiedeteilen der Dampferzeuger, ENSI Geschäftsnummer 14/16/056)
- /2/ ENSI-Brief (KAD/GUJ-17/16/056) vom 09.12.2016 „Kernkraftwerk Gösgen, Überprüfung der Qualität von Schmiedeteilen der Dampferzeuger, ENSI Geschäftsnummer 17/16/056)
- /3/ ENSI-Brief (WMI-14/16/056) vom 15.05.2017 „SVTI-Nuklearinspektorat, Projekt DEKMA, Nachweis der Qualität von Dampferzeuger Schmiedeteilen, Beauftragung zur Prüfung eingereichter Dokumente“
- /4/ ENSI-Brief (WMI-17/16/056) vom 11.07.2017 „SVTI-Nuklearinspektorat, Nachweis der Qualität von Dampferzeuger Schmiedeteilen, Beauftragung zur Prüfung eingereichter Dokumente“
- /5/ SVTI-Bericht (J22114) vom 21.09.2017 „Bericht über die Qualität der Dampferzeuger-Schmiedeteile“
- /6/ SVTI-Bericht (J22397) vom 04.10.2017 „Bericht: Überprüfung der Dokumente über den Nachweis der Qualität von Dampferzeuger-Schmiedeteilen“
- /7/ [REDACTED]
- /8/ [REDACTED]
- /9/ [REDACTED]
- /10/ [REDACTED]
- /11/ [REDACTED]
- /12/ [REDACTED]
- /13/ [REDACTED]
- /14/ [REDACTED]



Classification: **keine**
Numéro de dossier/PubliDocs: 10KEX / ENSI-AN-10147
Titre: Contrôle des générateurs de vapeur des centrales nucléaires suisses de Beznau et Gösgen du point de vue de la ségrégation carbone
Date / responsable: 20.10.2017 / MATE

/15/

[Redacted content for page 15]

/16/

[Redacted content for page 16]