



SERVICE MANAGEMENT DE LA FIABILITE

Date d'Application :

NOTE SITE

NOTE TECHNIQUE

JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES

DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE

D5110/NT/16219

Indice : 00

25 pages

Document(s) associé(s) :

Macro-Processus\Processus :

Résumé : Les fonds primaires des trois GV 47/22 installés à Bugey 4 sont des pièces forgées écrasées issues de lingots conventionnels d'origine Creusot Forge pour le GV n°1 (RA261) et d'origine Japan Casting & Forging Corporation pour les GV n°2 (RA260) et 3 (RA259). A ce titre, leur zone centrale est susceptible de présenter une zone de ségrégation majeure positive résiduelle en carbone. L'analyse proposée dans ce document évalue l'impact d'un abaissement local des propriétés de ténacité du matériau, lié à la présence de la ségrégation, vis-à-vis du risque de rupture brutale. Les résultats obtenus ne remettent pas en cause l'exigence définie d'intégrité, en toutes situations et donc l'aptitude au service de ces composants.

Document réexaminable : NON

Par :

Périodicité :

Qualité Surveillée : OUI

Accessibilité : Interne

Intérêt Documentaire : NON

Rédacteur		Contrôleur		Approbateur	
Nom/Site	Visa	Nom/Site	Visa	Nom/Site	Visa

CNPE du Bugey	Note Site NOTE TECHNIQUE JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 2/25
		D5110/NT/16219	

Adresse de Rangement : SIG/SDO

Diffusion Interne au CNPE BUGEY

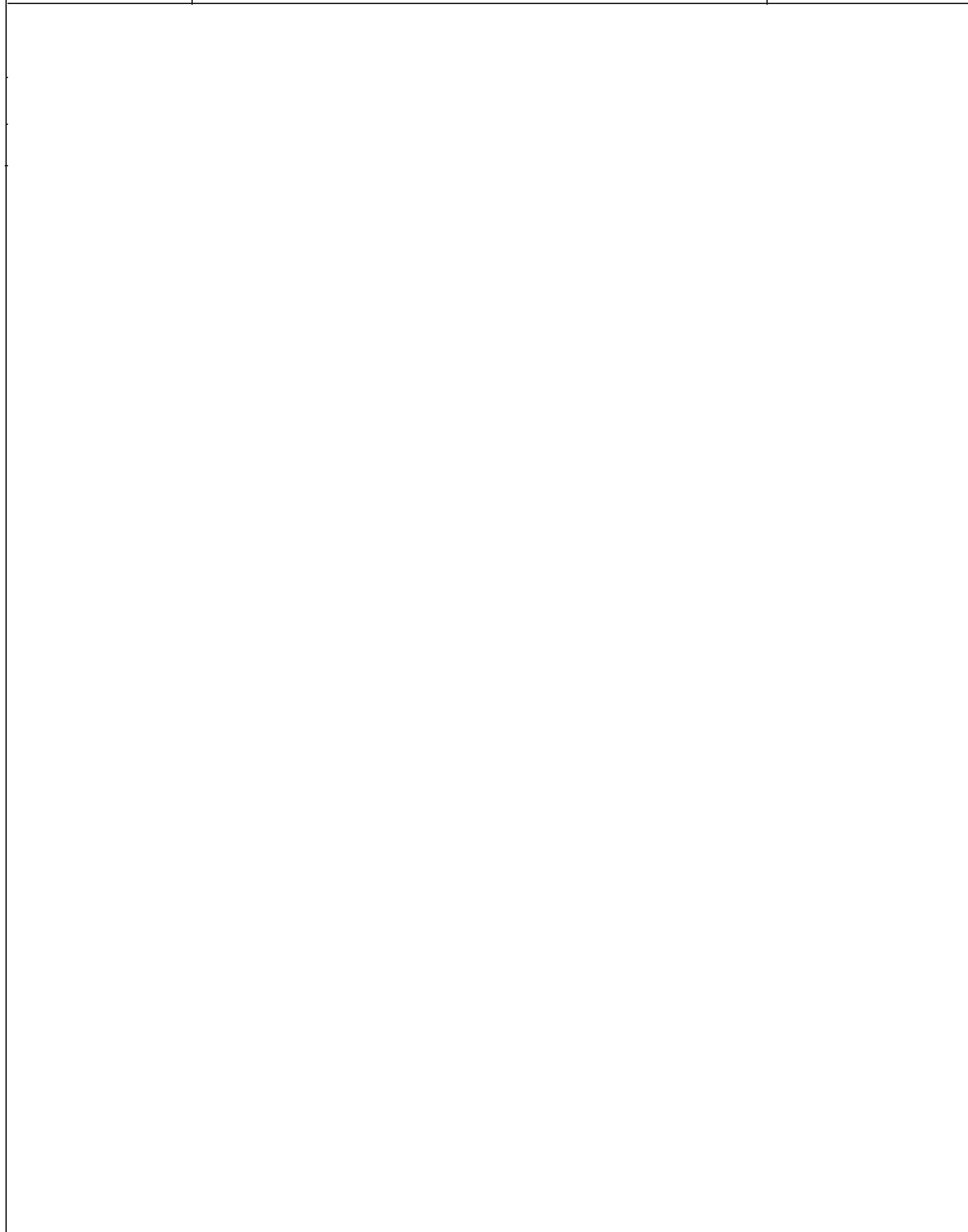
Diffusion Documentations Satellites			Diffusion Interne à l'Unité		
Lieu de classement	Service	Nbre	Destinataire(s)	Service	Nbre

Diffusion Externe à l'Unité

Destinataire(s)	Service	Nbre	Destinataire(s)	Service	Nbre
			ASN LYON		

QUALITE SURVEILLEE

CNPE du Bugey	Note Site NOTE TECHNIQUE JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 3/25
		D5110/NT/16219	



QUALITE SURVEILLEE

CNPE du Bugey	Note Site NOTE TECHNIQUE JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 4/25
			D5110/NT/16219

SOMMAIRE

		Page
1.	OBJET	5
2.	DEMARCHE DE LA JUSTIFICATION	5
2.1.	CONNAISSANCE DE LA ZONE SEGREGEE ET RESULTAT DES MESURES DE TAUX DE CARBONE	5
2.1.1.	POUR LE FOND CF DU GV/RA261 (GV N°1)	5
2.1.2.	POUR LES FONDS JCFC DES GV/RA260 (GV N°2) ET GV/RA259 (GV N°3)	7
2.2.	PROPRIETES DE TENACITE ET DECALAGES DE RT _{NDT}	8
2.3.	DEFAUTS POSTULES	9
2.3.1.	CND DE FABRICATION	10
2.3.2.	EXAMEN COMPLEMENTAIRE PAR RESSUAGE REALISE EN 2016	12
2.3.3.	EXAMENS COMPLEMENTAIRES PAR ULTRASONS REALISES EN 2016	12
2.3.4.	DEFAUTS POSTULES A PRENDRE EN COMPTE DANS LES ANALYSES MECANQUES	13
2.4.	SITUATIONS CONSIDEREES	15
2.5.	METHODE D'ANALYSE	15
3.	RESULTATS DES ANALYSES MECANQUES	16
3.1.	TRANSITOIRES DE CHOCS CHAUDS	16
3.1.1.	AUGMENTATION DE RT _{NDT} DE °C ET °C	17
3.1.2.	AUGMENTATION DE RT _{NDT} DE °C ET °C (FONDS JCFC DES GV/RA260 ET GV/RA259)	18
3.2.	TRANSITOIRES DE CHOCS FROIDS (FONDS JCFC DES GV/RA260 ET GV/RA259)	20
4.	PROGRAMME SUR PIECES SACRIFICIELLES	22
5.	CONCLUSION	22
6.	REFERENCES	24

QUALITE SURVEILLEE

1. OBJET

Les fonds primaires des 3 GV installés à Bugey 4 sont des pièces forgées écrasées issues de lingots conventionnels de fabrication CF¹ ou JCFC². A ce titre, leur zone centrale est susceptible de présenter une zone de ségrégation majeure positive résiduelle en carbone

RF GV	N° GV	Origine bol
4RCP001GV	GV/RA261	CF
4RCP002GV	GV/RA260	JCFC 120T
4RCP003GV	GV/RA259	JCFC 120T

L'objectif de ce document est de justifier la tenue en service de ces fonds primaires en évaluant l'impact d'un abaissement local des propriétés de ténacité du matériau, lié à la présence de la ségrégation majeure positive en carbone, vis-à-vis du risque de rupture brutale.

2. DEMARCHE DE LA JUSTIFICATION

L'analyse de nocivité des défauts postulés dans les fonds primaires des GV n°1 (RA261), GV n°2 (RA260) et GV n°3 (RA259) est présentée dans les documents en référence [8], [9] et [10].

Ces documents évaluent, dans le domaine fragile et de transition, l'impact d'un abaissement local potentiel des propriétés de ténacité. Il s'agit plus précisément d'étudier la stabilité d'un défaut postulé dans la pièce en considérant une RT_{NDT} fin de vie pour laquelle les effets du vieillissement et de la ségrégation majeure positive sont pris en compte.

2.1. CONNAISSANCE DE LA ZONE SEGREGEE ET RESULTAT DES MESURES DE TAUX DE CARBONE

Des mesures ont été réalisées par spectrométrie d'émission optique à source étincelle sur la surface des fonds primaires des trois GV dans l'objectif de délimiter l'extension de la zone de ségrégation majeure positive en carbone.

2.1.1. POUR LE FOND CF DU GV/RA261 (GV N°1)

Le maillage principal correspond à un pas de mesure de 50 mm sur 8 axes. Les mesures sont réalisées sur chaque axe tant que deux valeurs consécutives ne sont pas inférieures à 0,22% (voir Figure 1). Un maillage complémentaire est proposé dans le secteur présentant les valeurs maximales.

¹ Creusot Forge

² Japan Casting & Forging Corporation

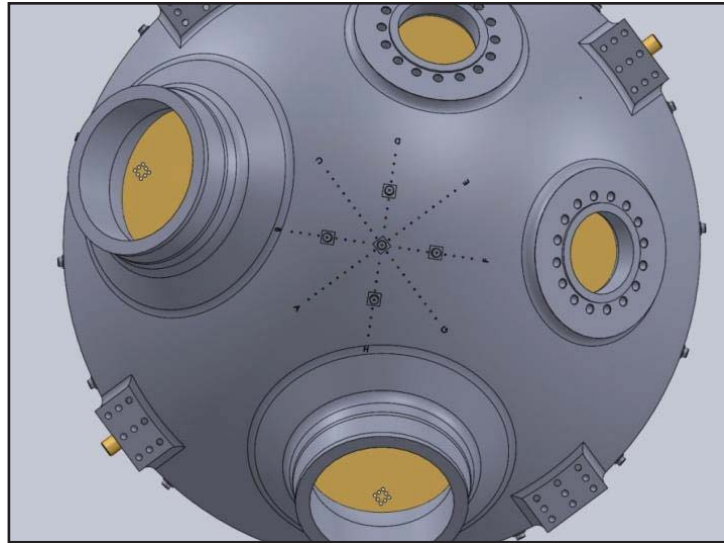


Figure 1 – Maillage principal des points de mesure par spectrométrie (pointillé noir).

Le maillage retenu et les résultats obtenus sont détaillés
représentations graphiques simplifiées en Figure 2 :

et rappelés sur les

Figure 2 – Représentation graphique des mesures taux de carbone du fond du GV/RA261

Il apparaît que ce fond primaire présente une zone ségrégée excentrée d'environ 150 mm du centre géométrique avec un maximum de 0,32% détecté dans le secteur DE. Cette zone ségrégée présente un rayon d'environ 300 mm.

Au voisinage des tubulures les valeurs mesurées sont en dessous de 0,22%.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE du Bugey	<p style="text-align: center;">Note Site NOTE TECHNIQUE JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE</p>	Indice 00	Page 7/25
		D5110/NT/16219	

2.1.2. POUR LES FONDS JCFC DES GV/RA260 (GV N°2) ET GV/RA259 (GV N°3)

Les fonds primaires de fabrication JCFC présentent une zone décarburée en surface externe. Toutefois, pour les fonds JCFC issus de lingots 120 tonnes, de modèle 47/22 avec pieds intégrés, un méplat central a été usiné en surface externe après traitement thermique (cas des GV n°2 et GV n°3 de Bugey 4). Cet usinage est suffisant pour retirer la couche décarburée, ainsi des mesures par spectrométrie optique à source étincelle ont été réalisées dans cette zone.

Les zones au voisinage des tubulures sont également des zones usinées. Elles peuvent faire l'objet de mesures de taux de carbone par spectrométrie d'émission optique à source étincelle.

Le maillage retenu et les résultats obtenus sont détaillés et rappelés sur les représentations graphiques simplifiées en Figure 3 et Figure 4 :

GV/RA260 (GV n°2) :

Figure 3 – Représentation graphique des mesures taux de carbone du fond du GV/RA260

Au niveau du centre du bol, la valeur maximale détectée est de 0,37% au point de mesure G-1. Compte tenu des valeurs obtenues, notamment les valeurs aux points 4, il a été proposé un maillage secondaire similaire à ceux réalisés au niveau des fonds GV de fabrication Creusot-Forge comprenant les points complémentaires 3-1 et 4-1 des secteurs AB, BC, CD, DE, EF, FG, GH et HA. La valeur maximale détectée reste de 0,37% aux points G1. On note que la macro-ségrégation est bien présente au centre du bol.

Au niveau des tubulures, une zone ségrégée a été caractérisée avec des valeurs maximales détectées atteignant 0,29% (tubulure TB) et 0,32% (tubulure TH) de carbone.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE du Bugey	<p style="text-align: center;">Note Site NOTE TECHNIQUE JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIREs DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE</p>	Indice 00	Page 8/25
		D5110/NT/16219	

GV/RA259 (GV n°3) :

Figure 4 – Représentation graphique des mesures taux de carbone du fond du GV/RA259

Ces mesures mettent en évidence une zone ségrégée au centre du bol avec des teneurs en carbone maximales détectées atteignant jusqu'à 0,37% au point de mesure G1 et H4. Au-delà d'un rayon de 200 mm, c'est-à-dire en dehors du méplat central, les valeurs obtenues confirment la présence d'une couche décarburée en surface extérieure.

Au niveau des tubulures, une zone ségrégée a été caractérisée avec des valeurs maximales détectées atteignant 0,31% de carbone dans les tubulures.

2.2. PROPRIETES DE TENACITE ET DECALAGES DE RT_{NDT}

La ténacité KIC du matériau est définie selon le paragraphe ZG 6110 du code RCC-M :

- T est la température du matériau à l'instant et à l'extrémité du défaut où l'analyse est effectuée.
- RT_{NDT} est la température de transition de référence du matériau.

La valeur de RT_{NDT} fin de vie retenue prend en compte les effets de vieillissement et de la ségrégation et est déterminée suivant la formule suivante :

$$RT_{NDT} = RT_{NDT}^{initiale} + \Delta RT_{NDT}^v + \Delta RT_{NDT}^{seg}$$

Avec :

- $RT_{NDT}^{initiale} = RT_{NDT}$ de recette du fond primaire hors effet de ségrégation majeure positive en carbone.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE du Bugey	Note Site NOTE TECHNIQUE JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FOND PRIMAIRES DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 9/25
		D5110/NT/16219	

Les valeurs retenues correspondent :

- à la valeur de recette (°C) pour les fonds JCFC du GV/RA260 et GV/RA259
- à la valeur maximale spécifiée (°C) pour le fond CF du GV/RA261
celui-ci ayant fait l'objet, conformément au RCC-M, d'une seule vérification du respect du critère. Pour le GV/RA261, cette dernière n'est pas remise en cause par l'éventuelle incertitude de la détermination de la température TNDT au Creusot . Cette conclusion repose sur les arguments suivants :
 - l'essai Pellini est un essai d'arrêt dans le métal de base et le préchauffage impacte la ZAT sous cordon,
 - des vérifications expérimentales existent et montrent l'absence d'effet notable du préchauffage dans les conditions du RCC-M et du CPFC (avec des éprouvettes Pellini fabriquées avec un bi-cordon).
- ΔRT_{NDT}^V = décalage de RT_{NDT} tenant compte des effets de vieillissement.
Le décalage retenu est égal à °C selon le chapitre ZG 6120 du code RCC-M.
- ΔRT_{NDT}^{seg} = décalage de RT_{NDT} tenant compte d'un effet de ségrégation majeure positive en carbone.

Les mesures de taux de carbone présentées dans le paragraphe 2.1 conduisent à considérer :

- d'une part, des zones moins ségréguées, regroupant :
 - les zones de transitions des tubulures et des trous d'homme des GV/RA260 et GV/RA259,
 - la paroi interne du fond primaire des GV/RA260 et GV/RA259 pour laquelle la teneur maximale en carbone en peau interne peut être évaluée de manière conservative à 0,26%
 - la paroi externe du fond primaire du GV/RA261.
- d'autre part, une zone plus ségréguée, correspondant à la zone centrale en peau externe du fond primaire des GV/RA260 et GV/RA259.

Pour les premières zones, en accord avec le REX obtenu sur les calottes de Flamanville 3 et l'exploitation des essais de résilience réalisés sur le fond sacrificiel , caractérisé lors de la qualification technique ESPN puis dans le cadre d'un programme de R&D , deux décalages ΔRT_{NDT}^{seg} de °C et °C sont retenus.

Pour l'autre zone, deux décalages additionnels de RT_{NDT} de et °C viennent compléter l'analyse de l'impact d'un abaissement de propriété de ténacité du fait d'une ségrégation carbone. Ces valeurs additionnelles sont cohérentes avec le décalage enveloppe de RT_{NDT} de °C associé à la présence d'une zone de ségrégation majeure positive pouvant atteindre 0,39% de carbone

L'ensemble des analyses mécaniques relatives à l'étude de tenue à la rupture brutale de défauts postulés dans les zones ségréguées, avec prise en compte des valeurs enveloppes de décalages de RT_{NDT} , est développé dans la présente note. L'influence des transitoires de types chocs chauds et froids est prise en compte.

2.3. DEFAUTS POSTULES

Les défauts potentiels générés par le procédé de fabrication des fonds primaires ont été identifiés.

Les défauts inacceptables retenus sont :

- Les inclusions exogènes,
- Les replis-criques,

QUALITE SURVEILLEE

CNPE du Bugey	Note Site NOTE TECHNIQUE JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 10/25
		D5110/NT/16219	

- Les défauts dus à l'hydrogène (DDH),
- Les défauts de surface en arrondis de tubulure liés à l'extrusion.

Cette analyse a été formalisée dans le cadre des premières fabrications de GV de rechange ESPN. Au vu des similarités de gammes de fabrication, elle peut être élargie aux fonds primaires JCFC et Creusot Forge obtenus à partir d'un lingot conventionnel.

Seule l'hypothèse d'élimination des défauts par l'usinage des surfaces n'est pas transposable aux surfaces externes des fonds JCFC. Le contrôle complémentaire par ressuage réalisé en exploitation permet de se prémunir de la présence de tels défauts.

L'analyse réalisée, complétée par une relecture des Procès Verbaux disponibles dans les rapports de fin de fabrication montre qu'aucun défaut inacceptable n'a été détecté lors des CND mis en œuvre en fin de fabrication.

2.3.1. CND DE FABRICATION

Ces contrôles en fabrication correspondent à :

- **Des contrôles volumiques par ultrasons** réalisés conformément au MC2300 après usinage final ou à un stade aussi avancé que possible pour les parties non contrôlables au stade final.

Les zones inspectées correspondent à 100 % du volume de la pièce, y compris les tubulures. L'exploration est effectuée au demi-bond à partir de la surface interne en :

Des travaux d'illustrations de performances visant à établir les capacités des CND UT vis-à-vis des défauts postulés pour les analyses mécaniques sont rappelés . Les résultats sont détaillés ci après :

En zone centrale (y compris des trous d'homme) et en zone courante des tubulures :

Des travaux de simulation et des essais sur maquettes représentatives ont montré que le contrôle permet :

- la mise en évidence de défauts débouchants en paroi externe, d'orientation radiale ou circumférentielle et de dimensions mm,
- la mise en évidence de défauts non débouchants d'orientation radiale ou circumférentielle et de dimensions mm :

QUALITE SURVEILLEE

CNPE du Bugey	Note Site NOTE TECHNIQUE JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FOND PRIMAIRE DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 11/25
		D5110/NT/16219	

externe inférieur ou égal à mm,

- en zone courante des tubulures,

pour les défauts présentant un ligament par rapport à la paroi interne ou externe inférieur ou égal à mm.

Par ailleurs, des travaux de simulation illustrent la capacité du contrôle de fabrication à mettre en évidence des défauts d'orientation circonférentielle ou longitudinale, de dimensions mm et présentant un ligament de mm par rapport à la paroi externe,

Les capacités de détectons associées aux CND réalisés en zone centrale s'appliquent également aux zones de transitions fond/trous d'homme.

En zone de transition des tubulures :

Des travaux de simulation démontrent la capacité du contrôle de fabrication à mettre en évidence des défauts circonférentiels, pouvant être localisés en toute position dans le volume de la zone contrôlée et de dimensions mm,

Le CND est en capacité de détecter un défaut d'orientation circonférentielle, de dimension mm, débouchant perpendiculairement en paroi externe ou présentant un faible ligament par rapport à la paroi externe.

En conclusion, les CND UT mis en œuvre lors de la fabrication ont des performances suffisantes pour détecter les défauts postulés dans les analyses mécaniques en peau externe.

- **Un contrôle par ressuage** réalisé au stade final sur l'ensemble des surfaces à revêtir en paroi interne du bol. Le seuil de prise en compte et les critères de rejet des indications de surface requis par la spécification M2143 sont les suivants :

- **Un contrôle par magnétoscopie** réalisé au stade final. Les zones inspectées correspondent aux surfaces internes et externes de la tubulure et jusqu'à 225 mm mini du congé de raccordement sur les surfaces interne et externe du bol. Le seuil de prise en compte et les critères de rejet des indications de surface requis par la spécification M2143 sont les suivants :

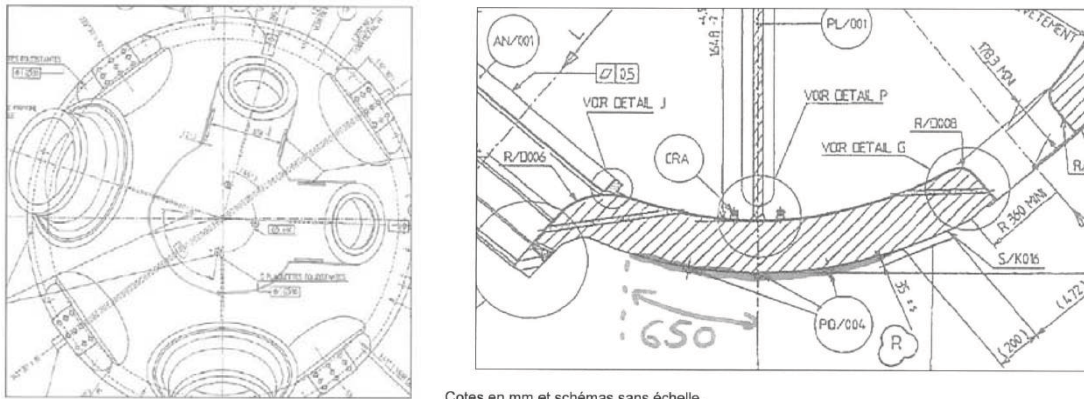
QUALITE SURVEILLEE

2.3.2. EXAMEN COMPLEMENTAIRE PAR RESSUAGE REALISE EN 2016

Pour les zones non couvertes par la magnétoscopie, **un examen complémentaire par ressuage** a été mis en œuvre en exploitation en 2016. La zone examinée est définie pour compléter le contrôle surfacique réalisé par magnétoscopie en fabrication sur les tubulures tout en assurant une zone de recouvrement significative entre les deux zones. Elle comprend :

- une zone centrée sur le fond de GV de diamètre 1300 mm,
- une prolongation de cette zone en direction des deux trous d'homme primaire (jusqu'au raccordement des fonds primaires et THP à l'exclusion de la soudure),
- les seuils retenus sont toute indication linéaire de longueur supérieure ou égale à mm pour le seuil de notation et à mm pour le seuil de caractérisation.

Une indication de longueur mm a été notée sur le bol du GV2 mais **aucune indication supérieure au seuil de caractérisation** n'a été relevée lors de ce contrôle complémentaire sur l'ensemble des fonds primaires de Bugey 4



Cotes en mm et schémas sans échelle.

Figure 5 – Zone de ressuage en 2016 réalisée sur les fonds des GV de Bugey 4

2.3.3. EXAMENS COMPLEMENTAIRES PAR ULTRASONS REALISES EN 2016

Le procédé de fabrication du fond concerné ne conduit pas à suspecter la présence de défaut volumique, y compris dans la zone de transition des tubulures. Les résultats des CND mis en œuvre en fabrication confirment cette conclusion.

Néanmoins, des contrôles volumiques complémentaires par ultrasons ont été mis en œuvre en exploitation :

- par ultrasons sur la zone centrale du fond primaire (zone d'examen de rayon 650 mm) de la paroi externe jusqu'à la mi-épaisseur

Le procédé utilisé permet de détecter dans la zone d'examen et jusqu'à mm de profondeur tout défaut plan non débouchant de hauteur de mm et de longueur de mm, de forme elliptique et d'orientation radiale. L'extension d'analyse pour la plage d'épaisseur comprise entre mm et mm (au-delà de la mi-épaisseur qui est mm) n'a mis en évidence aucun signal caractéristique du défaut recherché.

Pour les 3 fonds primaires des GV de Bugey 4, l'examen par ultrasons permet de conclure à l'absence de défaut plan tel que défini précédemment dans la zone couverte par le procédé.

- par ultrasons sur la zone de transition des tubulures sur un secteur angulaire s'étendant entre 0 et 180°C par rapport à l'axe de chaque tubulure

CNPE du Bugey	Note Site NOTE TECHNIQUE JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FOND PRIMAIRE DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 13/25
		D5110/NT/16219	

Le procédé utilisé permet de détecter tout défaut plan de mm perpendiculaire à la face de sondage (externe) et d'orientation longitudinale (dans l'axe de la tubulure) et présentant un ligament inférieur à mm

Pour les fonds JCFC des GV/RA260 et GV/RA259 de Bugey 4, l'examen par ultrasons permet de conclure à l'absence de défaut plan tel que défini précédemment dans le volume examiné.

Cet examen n'a pas été réalisé sur le fond CF du GV/RA261 car la ségrégation ne s'étend pas jusqu'à la zone de transition des tubulures.

Les performances des Contrôles Non Destructifs réalisés en fabrication et des Examens Non Destructifs réalisés en exploitation dans ces différentes zones, montrent que la détection des défauts postulés dans les analyses mécaniques (cf. § 2.3.4) est assurée

2.3.4. DEFAUTS POSTULES A PRENDRE EN COMPTE DANS LES ANALYSES MECANIQUES

L'analyse des gammes de fabrication, et particulièrement des taux de corroyage élevés

ne conduit pas à suspecter la présence de défauts dans le volume de la pièce.

Pour la surface externe, cette conclusion est confirmée par l'analyse des CND de fabrication et vérifiée en zone centrale par des END complémentaires mis en œuvre en exploitation (cf. § 2.3.1 et 2.3.2).

Dans le cas particulier des tubulures, les taux de corroyage élevés permettent de la même façon d'exclure la présence de défaut dans le volume. Par ailleurs, l'opération d'extrusion des tubulures ne conduit pas à générer des défauts dans le volume mais peut générer des défauts en surfaces interne et externe du type replis de matière peau externe ou ouverture de défauts surfaciques en peau interne. Ce risque est couvert par le CND par magnétoscopie dont les résultats confirment l'absence de défauts surfaciques (cf. § 2.3.1).

Pour la surface interne des JCFC pour lesquels la ségrégation est importante en peau externe et l'hypothèse d'une potentielle extension de la ségrégation jusqu'à la peau interne doit être considérée, cette conclusion est confirmée par l'analyse des CND de fabrication. Concernant le cas hypothétique des Défauts Sous Revêtement (DSR), il peut être noté que, d'une part, les précautions de fabrication vis-à-vis de la fissuration à froid ont été prises en fabrication, et que, d'autre part, dans la partie centrale des fonds, le revêtement a été déposé à l'électrode enrobée, ce qui conduit à des Zones Affectées Thermiquement (ZAT) de faible profondeur (inférieure à mm). Au delà de cette zone centrale d'un diamètre de mm, le fond est revêtu par un procédé automatique qui engendre une taille de ZAT inférieure à mm.

Les défauts postulés dans les analyses mécaniques sont donc les suivants selon les zones d'études :

- **En peau externe** (sensible aux chocs thermiques chauds) : défaut semi-elliptique de dimensions mm situé dans le bol, hors zone de transitions, et défauts semi-elliptiques de dimensions mm et mm dans la zone de transitions. Les études complémentaires sur la détection des défauts proches de la surface externe sur la zone de transition des tubulures permettent de réduire la taille du défaut postulé de mm à mm pour les GV/RA260 et GV/RA259, compte-tenu des UT réalisés dans cette zone et de la consolidation des performances CND. Le défaut de mm retenu dans la zone de transitions des trous d'homme est enveloppe de celui détectable dans cette zone (de mm), comme précisé au § 2.3.1
- **En peau interne** (sensible aux chocs thermiques froids) pour les fonds JCFC des GV/RA260 et GV/RA259 : défaut semi-elliptique de dimensions mm couvrant les éventuels défauts sous revêtement compte tenu de la ZAT liée au procédé de soudage.

Ces défauts postulés sont placés selon différents axes par rapport au centre géométrique du fond primaire, sur une distance au centre suffisante pour couvrir l'étendue de la zone ségrégée et suivant deux orientations.

QUALITE SURVEILLEE

Plusieurs zones sont distinguées en fonction de la distance au centre géométrique du fond primaire :

- Entre 0 et 300 mm du centre du fond,
- Entre 300 et 700 mm du centre du fond (cette plage permet de couvrir le raccordement entre le fond primaire sphérique et la tubulure),
- Pour une distance supérieure à 700 mm du centre du fond, à l'exclusion des zones dites de transitions définies ci-après,
- Dans les zones de transition des tubulures et trous d'homme primaires.

La zone de transition des tubulures est définie comme la zone entre la partie mince de la tubulure (zone en direction de la tuyauterie raccordée et dont les dimensions sont similaires à celles de la tuyauterie) et la partie plus épaisse dont l'extrémité se raccorde au fond sphérique (voir Figure 6). La zone de transition des tubulures est directement soumise aux chargements extérieurs provenant de la boucle primaire.

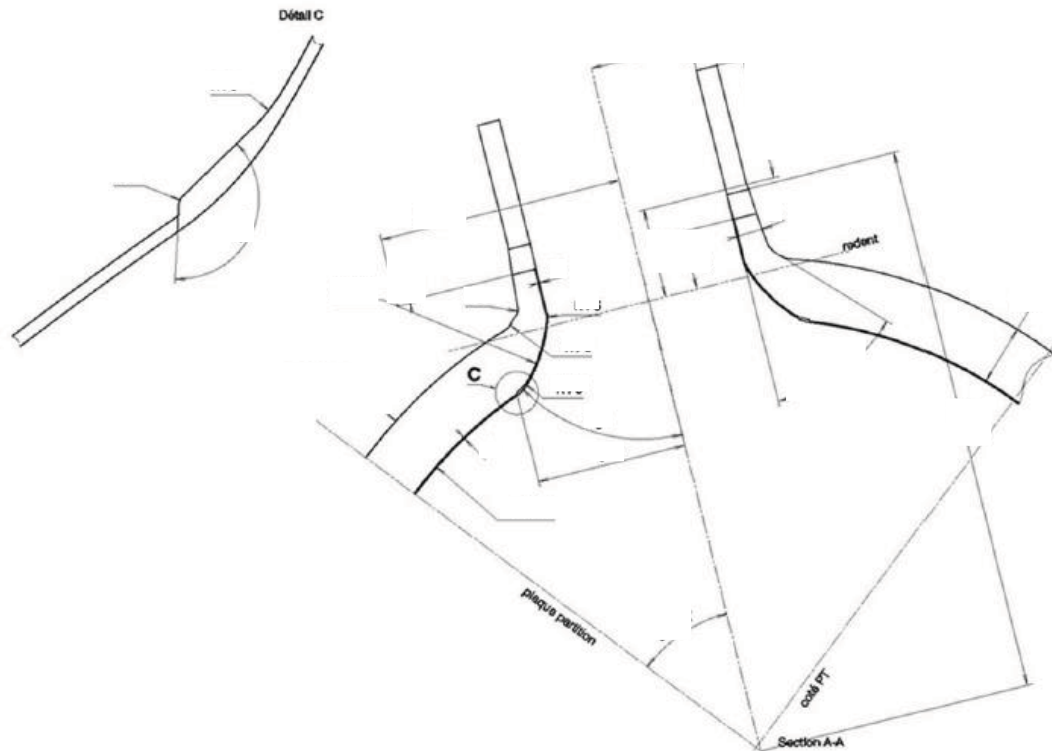


Figure 6 – Zone de transition des tubulures

La zone de transition des trous d'homme est définie comme la zone entre la face plane usinée du trou d'homme et le fond sphérique (voir Figure 7).

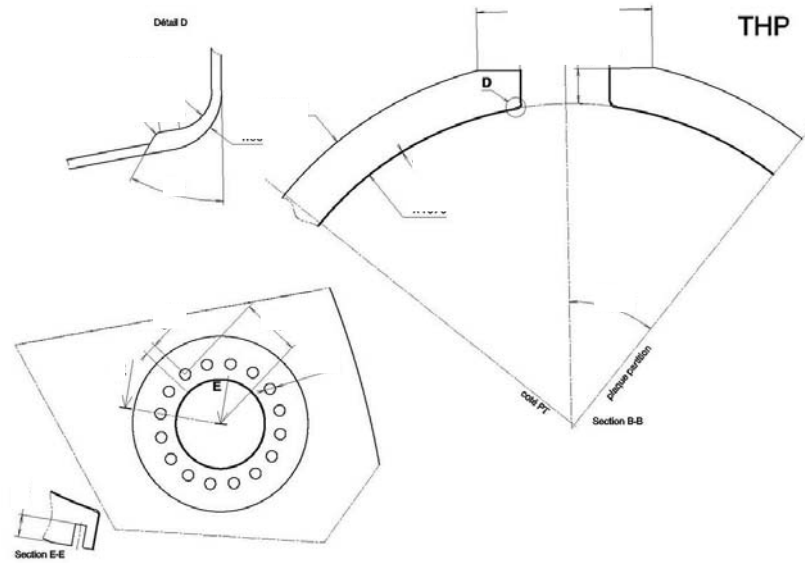


Figure 7 – Zone de transition des trous d'homme primaires

2.4. SITUATIONS CONSIDEREES

Les situations considérées sont celles décrites dans le dossier des situations (DDS) mais également les situations additionnelles au DDS consécutives à la recherche de chocs thermiques chauds (pour les fonds JCFC et CF) et chocs thermiques froids (pour les fonds JCFC) au niveau du fond primaire.

Les situations générant des chocs thermiques chauds introduisent effectivement des gradients thermiques dans l'épaisseur qui génèrent des contraintes d'ouverture en cas de défauts postulés en peau externe. Les situations considérées sont prises en compte dans les notes en référence [8] et [10] (référence [10] uniquement valable pour les fonds JCFC des GV/RA260 et GV/RA259).

L'occurrence d'un choc thermique froid en peau interne de structure génère une contrainte de traction (fonction de l'amplitude du choc) au voisinage de la peau interne. Suite aux résultats des mesures de taux de carbone, seuls les GV/RA260 et GV/RA259 pour lesquels une ségrégation carbone est potentiellement envisagée au-delà de la mi-épaisseur sont concernés par l'analyse en référence [9]. Les situations considérées sont prises en compte dans l'analyse mécanique en référence [9].

2.5. METHODE D'ANALYSE

Les contraintes d'origines mécanique et thermique sont calculées par des simulations effectuées sur les modèles éléments finis 3D. Ces contraintes permettent ensuite de déterminer le facteur d'intensité de contrainte corrigé plastiquement, noté K_{cp} , et évalué pour chaque extrémité (fond ou paroi) du défaut postulé. Le calcul de K_{cp} s'appuie sur la méthode codifiée des fonctions d'influence ainsi que sur la méthode codifiée K_{cp} (afin d'évaluer l'effet de la plasticité) en accord avec le chapitre ZG 5100 du code RCC-M et l'annexe 5.4 du code RSE-M.

Pour une situation donnée et pour chaque défaut postulé, un facteur de marge noté F_m est défini comme suit :

$$F_m = \frac{K_{IC}}{\alpha \cdot K_{cp}} \quad (1)$$

Avec :

- K_{cp} = facteur d'intensité de contrainte corrigé plastiquement à l'extrémité (fond ou paroi) du défaut postulé.

CNPE du Bugey	<p style="text-align: center;">Note Site NOTE TECHNIQUE JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRE DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE</p>	Indice 00	Page 16/25
		D5110/NT/16219	

- KIC = ténacité caractérisant la résistance du matériau à la rupture fragile (KIC dépend de la température indexée sur RT_{NDT}).
- α = coefficient de sécurité.

Selon l'annexe ZG du code RCC-M, le coefficient de sécurité α est défini comme suit :

La stabilité vis-à-vis du risque de rupture fragile d'un défaut postulé dans une zone ségréguée est démontrée dès lors que le facteur de marge (défini par la relation (1)) est supérieur ou égal à 1.

Le comportement mécanique des défauts postulés, vis-à-vis du risque de rupture brutale, est analysé pour :

- **les transitoires de chocs chauds** pour des défauts situés en peau externe, au niveau :
 - du fond du bol JCFC des GV/RA260 et GV/RA259 hors zones de transitions des tubulures (pour des décalages enveloppes de RT_{NDT} de °C et °C),
 - des zones de transitions des tubulures des fonds JCFC des GV/RA260 et GV/RA259 (pour des décalages de RT_{NDT} de °C et °C),
 - du fond du bol CF du GV/RA261 (pour des décalages de RT_{NDT} de °C et °C).
- **les transitoires de chocs froids** pour un défaut situé en peau interne, sur l'ensemble des zones des fonds JCFC des GV/RA260 et GV/RA259 (pour des décalages de RT_{NDT} de °C et °C). Un défaut enfoui est également étudié afin d'analyser l'impact d'une baisse de ténacité entre la peau interne et la mi-épaisseur du bol GV.

3. RESULTATS DES ANALYSES MECANIQUES

3.1. TRANSITOIRES DE CHOCS CHAUDS

L'analyse du risque de rupture fragile des fonds de type RA pour des décalages importants de RT_{NDT} sous transitoires de chocs chauds est réalisée dans les notes en référence [8] et [10]. Ces documents évaluent l'impact d'un abaissement local des propriétés de ténacité du matériau dans le domaine fragile, lié à la présence de la zone ségréguée en carbone.

Les RT_{NDT} initiales retenues sont :

- °C correspondant à la RT_{NDT} de recette des fonds JCFC des GV/RA260 (GV n°2) et GV/RA259 (GV n°3),
- °C, valeur du code RCC-M permettant de couvrir l'ensemble des fonds RA et valeur retenue pour le fond CF du GV/RA261 (GV n°1), l'analyse du RFF ne permettant pas de définir une valeur de recette inférieure à °C.

Trois zones sont distinguées pour l'étude :

- entre 0 et 300 mm de l'axe du fond de GV,
- entre 300 et 700 mm de l'axe du fond de GV (incluant les pieds de tubulures),
- supérieures à 700 mm de l'axe du fond de GV hors zones de transitions.

L'analyse est réalisée en situations normales et perturbées sur la base du DDS VD3. Ces situations de catégorie 2 couvrent celles de catégorie 3 grâce à l'application des mesures compensatoires d'exploitation mises en place pour pallier les risques de chocs chauds

Une analyse du

QUALITE SURVEILLEE

transitoire de (transitoire de 4ème catégorie) est également présentée.

Le défaut postulé est débouchant en peau externe de dimensions mm hors zones de transitions, de mm dans les zones de transitions des tubulures, et de mm dans les zones de transitions des trous d'homme.

Les facteurs de marge F_m sont calculés pour les différentes situations considérées et localisations dans le bol GV.

Les résultats des analyses des chocs chauds sont scindés en deux parties en fonction du niveau de ségrégation constaté :

- augmentation de RT_{NDT} de °C et °C (cf. référence [8]) : concerne les zones de transitions des tubulures des bols JCFC des GV/RA260 et GV/RA259 (pas de ségrégation majeure positive au niveau des tubulures du fond CF du GV/RA261) ainsi que le fond du bol CF du GV/RA261,
- augmentation de RT_{NDT} de °C et °C (cf. référence [10]) : concerne le fond des bols JCFC des GV/RA260 et GV/RA259 hors zone de transitions.

3.1.1. AUGMENTATION DE RT_{NDT} DE °C ET °C

Situations de catégories 2, 3, 4 et EHP :

Les résultats présentés ci-dessous sont les marges les plus faibles obtenues sur les différents transitoires étudiés pour chaque zone.

- zone entre 0 et 300 mm du centre du fond :

RT_{NDT} initiale	ΔRT_{NDT}^{seg}	Défaut a = mm	
		$F_M = KIC / (\alpha \cdot Kcp)$	Transitoire
			1C
			1C
			1C
			1C

- zone entre 300 et 700 mm du centre du fond (incluant le raccordement fond sphérique/tubulure) :

RT_{NDT} initiale	ΔRT_{NDT}^{seg}	Défaut a = mm	
		$F_M = KIC / (\alpha \cdot Kcp)$	Transitoire
			28B plage basse
			28D plage basse
			28D plage basse
			28D plage basse

QUALITE SURVEILLEE

- zone au-delà de 700 du centre du fond, hors zones de transitions :

RT _{NDT} initiale	ΔRT _{NDT} ^{seg}	Défaut a = mm	
		F _M = KIC / (α.Kcp)	Transitoire
			28B plage basse
			28D plage basse
			28B plage basse
			1C

- dans les zones de transitions des tubulures et trous d'homme :

RT _{NDT} initiale	ΔRT _{NDT} ^{seg}	Défaut a = mm (tubulures)		Défaut a = mm (trous d'homme)	
		F _M = KIC / (α.Kcp)	Transitoire	F _M = KIC / (α.Kcp)	Transitoire
					28B plage basse
					C4-1
					28D plage basse
					C4-1

En situations de catégories 2, 3, 4 et EHP, la stabilité des défauts postulés, situé en peau externe est démontrée (F_M ≥ 1) avec un décalage enveloppe de RT_{NDT} de °C dans toutes les zones considérées.

Conclusion pour le bol CF du GV/RA261, hors zones de transitions :

La stabilité vis-à-vis du risque de rupture fragile des défauts postulés est démontrée en considérant un décalage de RT_{NDT} dû à la ségrégation égal à °C et °C sur la zone d'étude.

La zone de transition n'est pas étudiée car la ségrégation ne s'étend pas jusqu'à cette zone.

A titre complémentaire, hors zones de transition, la stabilité d'un défaut débouchant de mm en considérant un décalage de RT_{NDT} dû à la ségrégation égal à °C et à °C est présenté dans la note en référence [8].

Conclusion pour les zones de transitions des bols JCFC des GV/RA260 et GV/RA259 :

Les résultats en termes de facteurs de marge sont présentés ci-dessus pour des défauts débouchants postulés en peau externe, de dimensions mm pour la zone de transitions des tubulures et mm pour la zone de transitions des trous d'homme.

En considérant l'application des mesures compensatoires en exploitation et la valeur de RT_{NDT} initiale maximale issue des recettes (°C), avec un décalage ΔRT_{NDT} égal à °C et °C, les résultats ci-dessus montrent que la stabilité des défauts considérés de mm et de mm est démontrée pour toutes les situations.

3.1.2. AUGMENTATION DE RT_{NDT} DE °C ET °C (FONDS JCFC DES GV/RA260 ET GV/RA259)

Dans la note en référence [10], il est évalué plus particulièrement le risque de rupture fragile des fonds primaires de GV/RA de Bugey 4 en peau externe sollicités sous chocs chauds pour les décalages de RT_{NDT} de °C et °C en dehors des zones de transitions pour les situations normales et perturbées et pour le transitoire de (transitoire pénalisant vis-à-vis des situations de catégorie 3 et 4).

Les résultats présentés ci-dessous sont les marges les plus faibles obtenues sur les différents transitoires étudiés pour chaque zone.

QUALITE SURVEILLEE

Situations normales et perturbées :

- zone entre 0 et 300 mm du centre du fond :

RT _{NDT} initiale	ΔRT _{NDT} ^{seg}	Défaut a = mm	
		F _M = KIC / (2.Kcp)	Transitoire
			1C
			1C

- zone entre 300 et 700 mm du centre du fond (incluant le raccordement fond sphérique/tubulure) :

RT _{NDT} initiale	ΔRT _{NDT} ^{seg}	Défaut a = mm	
		F _M = KIC / (2.Kcp)	Transitoire
			1C
			1C

- zone au-delà de 700 du centre du fond, hors zones de transitions :

RT _{NDT} initiale	ΔRT _{NDT} ^{seg}	Défaut a = mm	
		F _M = KIC / (2.Kcp)	Transitoire
			1C
			1C

Les résultats montrent qu'en situations normales et perturbées, la stabilité d'un défaut postulé de mm, situé en peau externe, est démontrée (F_M ≥ 1) avec des décalages enveloppes de RT_{NDT} de °C et °C dans les zones considérées.

Transitoire de _____ :

Le transitoire de _____ peut être scindé en deux variantes caractérisées par des températures initiales différentes : °C et °C, conformément à la note en référence [10].

- zone entre 0 et 300 mm du centre du fond :

RT _{NDT} initiale	ΔRT _{NDT} ^{seg}	Défaut a = mm	
		F _M = KIC / (1,2.Kcp)	Transitoire
			C4V2
			C4V2

- zone entre 300 et 700 mm du centre du fond (incluant le raccordement fond sphérique/tubulure) :

RT _{NDT} initiale	ΔRT _{NDT} ^{seg}	Défaut a = mm	
		F _M = KIC / (1,2.Kcp)	Transitoire
			C4V2
			C4V2

QUALITE SURVEILLEE

- zone au-delà de 700 du centre du fond, hors zones de transitions :

RT _{NDT} initiale	ΔRT _{NDT} ^{seg}	Défaut a = mm	
		F _M = KIC / (1,2.Kcp)	Transitoire
			C4V2
			C4V2

Les résultats montrent qu'en situations normales et perturbées, la stabilité d'un défaut postulé de mm, situé en peau externe, est démontrée ($F_M \geq 1$) avec des décalages enveloppes de RT_{NDT} de °C et °C dans les zones considérées.

Conclusion pour les bols JCFC des GV/RA260 et GV/RA259, hors zones de transitions :

Ces éléments montrent que, sous chargement de type « chocs chauds », le risque de rupture fragile est écarté pour le fond des bols JCFC des GV/RA260 et GV/RA259 dans l'ensemble des zones du bol primaire hors zones de transitions (celles-ci étant traitées au § 3.1.1 selon la note en référence [8]) et pour toutes les catégories de situations, en considérant :

- un défaut débouchant en peau externe de dimension mm,
- la RT_{NDT} initiale de recette du fond primaire des fonds JCFC des GV/RA260 et GV/RA259 (°C),
- un décalage enveloppe de RT_{NDT} de °C et °C.

3.2. TRANSITOIRES DE CHOCS FROIDS (FONDS JCFC DES GV/RA260 ET GV/RA259)

Les décalages de RT_{NDT} pris en compte dans l'analyse en référence [8] (°C et °C) restent applicables pour les zones de transitions des fonds JCFC des GV/RA260 et GV/RA259 compte tenu des valeurs de taux de carbone mesurées dans ces zones. Ces zones ne nécessitent donc pas d'étude relative aux transitoires de type chocs froids contrairement aux fonds des GV/RA260 et GV/RA259 plus ségrégués.

L'analyse mécanique en référence [9] évalue l'impact d'un abaissement local des propriétés de ténacité du matériau lié à la présence d'une zone ségréguée en carbone, vis-à-vis de la stabilité d'un défaut postulé débouchant (dimensions mm) en peau interne du fond primaire GV.

L'analyse d'un défaut non débouchant de mm, enfoui à mm de la peau interne est également réalisée avec prise en compte d'un décalage enveloppe ΔRT_{NDT} de °C.

Les transitoires de 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} catégories retenus sont analysés dans la note en référence [9] avec prise en compte des mesures compensatoires mises en place pour limiter les transitoires de chocs froids

La RT_{NDT} maximale de recette de °C associée à des décalages ΔRT_{NDT} de °C et de °C liés à la ségrégation carbone, est considérée pour analyser l'impact éventuel d'un abaissement des propriétés de ténacité.

Les facteurs de marge F_m sont calculés pour les différentes situations considérées et localisations dans le bol GV. Seuls les transitoires présentant les marges les plus faibles sont détaillés.

- zone entre 0 et 300 mm du centre du fond :

RT _{NDT} initiale	ΔRT_{NDT}^{seg}	Défaut a = mm	
		F _M = KIC / ($\alpha \cdot K_{cp}$)	Transitoire
			28B2-2
			58-2

- zone entre 300 et 700 mm du centre du fond (incluant le raccordement fond sphérique/tubulure) :

RT _{NDT} initiale	ΔRT_{NDT}^{seg}	Défaut a = mm	
		F _M = KIC / ($\alpha \cdot K_{cp}$)	Transitoire
			28B2-2
			58-2

- zone au-delà de 700 du centre du fond, hors zones de transitions :

RT _{NDT} initiale	ΔRT_{NDT}^{seg}	Défaut a = mm	
		F _M = KIC / ($\alpha \cdot K_{cp}$)	Transitoire
			28D2-2
			58-2

- dans les zones de transitions des tubulures et trous d'homme :

RT _{NDT} initiale	ΔRT_{NDT}^{seg}	Défaut a = mm	
		F _M = KIC / ($\alpha \cdot K_{cp}$)	Transitoire
			28D2-2
			58-2

Conclusion :

Pour l'ensemble des transitoires et zones étudiés, les facteurs de marges sont tous supérieurs à 1.

Le défaut étudié de mm, débouchant en peau interne du fond primaire et des zones de transitions des tubulures, ne présente donc pas de risque de rupture fragile sous chargements de chocs froids en considérant des décalages ΔRT_{NDT} de °C et °C et la RT_{NDT} initiale de recette des fonds JCFC des GV/RA260 et GV/RA259 de °C.

CNPE du Bugey	Note Site NOTE TECHNIQUE JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 22/25
		D5110/NT/16219	

4. PROGRAMME SUR PIECES SACRIFICIELLES

un programme matériau est proposé. L'objectif est de disposer, sur des pièces sacrificielles représentatives, d'une distribution de ténacités associées à des teneurs en carbone variables.

La justification de résistance mécanique dans le domaine fragile s'appuiera ensuite sur la vérification que l'ensemble des points de ténacité reste enveloppé par la courbe de l'annexe ZG indexée sur la RT_{NDT} de recette décalée de la valeur ΔRT_{NDT}^{seg} .

La justification de résistance mécanique dans le domaine ductile consistera par ailleurs à vérifier la conformité des résultats obtenus vis-à-vis des valeurs de références de l'annexe ZG du code RCC-M.

5. CONCLUSION

Les fonds primaires des trois GV installés à Bugey 4 sont des pièces forgées écrasées issues de lingots conventionnels (de 120 tonnes de fabrication JCFC pour les GV/RA260 et GV/RA259, et de fabrication CF pour le GV/RA261). A ce titre, leur zone centrale est susceptible de présenter une zone de ségrégation majeure positive résiduelle en carbone. Par ailleurs, les mesures de carbone réalisées au cours de l'arrêt pour rechargement de 2016 attestent que des zones ségrégées en carbone affectent le fond du bol primaire des trois GV et les zones de transitions des tubulures pour les fonds JCFC.

Ces mesures ont mis en évidence une zone ségrégée en carbone au niveau des tubulures des fonds JCFC avec des valeurs maximales détectées atteignant 0,32% en carbone. Au centre du bol des fonds JCFC, une zone plus ségrégée a été relevée avec des teneurs en carbone maximales détectées localement atteignant jusqu'à 0,37%. Pour le fond CF, une zone plus ségrégée a été relevée avec des teneurs en carbone maximales détectées localement atteignant jusqu'à 0,32% au centre du bol.

La stabilité d'un défaut postulé dans ces zones a été étudiée en considérant une RT_{NDT} fin de vie pour laquelle les effets de vieillissement et de ségrégation en carbone sont pris en compte de façon enveloppe.

Les CND mis en œuvre lors de la fabrication, les END surfaciques (ressuages) et volumiques (ultrasons) réalisés en exploitation n'ont pas mis en évidence d'indications supérieures aux seuils de caractérisation sur le fond du bol GV, ni sur les zones de transitions des tubulures. En outre, l'analyse des gammes de fabrication, et particulièrement des taux de corroyage élevés ne conduit pas à suspecter la présence de défauts dans le volume de la pièce, y compris dans les zones de transitions des tubulures.

Les analyses mécaniques mettent en évidence :

– Transitoires de chocs chauds :

Pour le bol CF du GV/RA261 (GV n°1), le risque de rupture fragile est écarté pour le fond du GV dans l'ensemble des zones du bol primaire hors zones de transitions et pour toutes les catégories de situations, en considérant :

- un défaut débouchant en peau externe de dimensions mm,
- la RT_{NDT} du RCC-M (°C),
- un décalage ΔRT_{NDT} de °C et °C lié à la ségrégation carbone.

La zone de transition n'est pas étudiée car la ségrégation ne s'étend pas jusqu'à cette zone.

Pour les bols JCFC des GV/RA260 (GV n°2) et GV/RA259 (GV n°3), le risque de rupture fragile est écarté pour les fonds de ces GV dans l'ensemble des zones du bol primaire, hors zones de transitions

QUALITE SURVEILLEE

CNPE du Bugey	Note Site NOTE TECHNIQUE JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 23/25
		D5110/NT/16219	

traitées indépendamment, et pour toutes les catégories de situations, en considérant :

- un défaut débouchant en peau externe de dimensions mm,
- la RT_{NDT} de recette du fond primaire du GV n°2 et du GV n°3 (°C),
- un décalage ΔRT_{NDT} de °C et °C lié à la ségrégation carbone.

Pour les zones de transitions, en considérant l'application des mesures compensatoires en exploitation et la valeur de RT_{NDT} initiale maximale issue des recettes (°C), avec un décalage ΔRT_{NDT} égal à °C et °C, les calculs montrent que le défaut considéré de mm pour les zone de transitions des tubulures (compte-tenu des contrôles UT réalisés dans cette zone et de la consolidation des performances CND) et de mm dans les zones de transitions des trous d'homme n'induit pas de risque de rupture fragile pour toutes les situations.

– Transitoires de chocs froids :

Pour les bols JCFC des GV/RA260 (GV n°2) et GV/RA259 (GV n°3), pour l'ensemble des transitoires, en considérant l'application des mesures compensatoires en exploitation et zones étudiés (fond du bol GV et zones de transitions des tubulures), les facteurs de marges sont tous supérieurs à 1.

Le défaut étudié (mm), débouchant en peau interne du fond primaire, n'induit donc pas de risque de rupture fragile du bol sous chargements de chocs froids en considérant des décalages ΔRT_{NDT} de °C et °C et la RT_{NDT} initiale de recette du GV/RA260 et du GV/RA259 de °C.

De plus, l'analyse menée montre que le défaut non débouchant de dimensions mm, situé à mm de la peau interne n'induit pas de risque de rupture fragile du bol en considérant un décalage enveloppe ΔRT_{NDT} de °C.

Les mesures de carbone ont été réalisées sur la surface extérieure des fonds des bols GV (concentration locale maximale de 0,37 % en carbone sur les fonds JCFC des GV/RA260 et GV/RA259 et 0,32% pour le fond CF du GV/RA261) ainsi qu'au niveau des tubulures (concentration locale maximale de 0,32% en carbone sur le fond JCFC du GV/RA260, 0,31% sur le fond JCFC du GV/RA259 et inférieure à 0,22% pour le fond CF du GV/RA261).

Les hypothèses retenues en termes d'extension de la zone ségréguée, de décalage de RT_{NDT} et de défauts postulés, ont été analysées et justifiées. Ces éléments ont été consolidés par des END en amont de la remise en service de l'appareil au sens de l'arrêté du 10/11/1999 en référence [31]. Un programme "matériau" sur pièces sacrificielles sera également réalisé pour conforter le caractère enveloppe des hypothèses retenues pour le décalage de RT_{NDT} .

Avec l'ensemble des éléments disponibles, l'analyse permet de conclure que la présence d'une ségrégation majeure positive résiduelle en carbone dans les fonds primaires des trois GV de Bugey 4, ne remet pas en cause l'exigence définie d'intégrité, en toutes situations et donc l'aptitude au service de ce composant.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE du Bugey	<p style="text-align: center;">Note Site NOTE TECHNIQUE JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE</p>	Indice 00	Page 24/25
		D5110/NT/16219	

6. REFERENCES

- [8] BUCLRA/NGV3117 A – Note Areva – Analyse du comportement de l'enceinte – Analyse du risque de rupture fragile des fonds primaires GV/RA de Bugey 4.
- [9] BUCLRA/NGV3118 A – Note Areva – Analyse du comportement de l'enceinte – Analyse du risque de rupture fragile des fonds primaires GV/RA JCFC de Bugey 4 soumis à des chocs froids.
- [10] CMHMTTC2016.537 A – Note Areva – Analyse du risque de rupture fragile des fonds de Bugey 4 pour des décalages importants de RT_{NDT} sous transitoires de chocs chauds.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE du Bugey	Note Site NOTE TECHNIQUE JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV DE BUGEY 4 – NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 25/25
		D5110/NT/16219	

[31] Arrêté du 10 novembre 1999 relatif à la surveillance de l'exploitation du circuit primaire principal et des circuits secondaires principaux des réacteurs nucléaires à eau sous pression.

QUALITE SURVEILLEE