

**BPA**Date d'application : **15 DEC. 2016****NOTE SITE**

NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2
ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE

D453416059110

Indice : 01

25 pages

Annule et remplace le document référencé :

Document(s) associé(s) :

Domaine :

Thème :

Résumé : Les fonds primaires des GV/RA 251 (GV1), GV/RA 250 (GV2) et GV/RA 249 (GV3) installés à Tricastin 1 sont des pièces forgées écrasées issues de lingots conventionnels de fabrication JCFC. 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.

Qualité surveillée : OUI

Accessibilité : INTERNE

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

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 2/25
		D453416059110	

Diffusion

Destinataire(s)	Nbre	Destinataire(s)	Nbre
		ASN Lyon	

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 3/25
		D453416059110	

SOMMAIRE

	Page
1. OBJET	3
2. DEMARCHE DE JUSTIFICATION	4
2.1. CONNAISSANCE DE LA ZONE SEGREGEE ET RESULTAT DES MESURES DE TAUX DE CARBONE	4
2.2. PROPRIETE DE TENACITE ET DECALAGE DE RT _{NDT} A CONSIDERER TENANT COMPTE D'UNE SEGREGATION MAJEURE POSITIVE RESIDUELLE EN CARBONE	8
2.3. DEFAUTS POSTULES	9
2.3.1. CND DE FABRICATION	10
2.3.2. EXAMENS COMPLEMENTAIRES REALISES EN 2016.....	12
2.3.2.1. RESSUAGE.....	12
2.3.2.2. END VOLUMIQUE	12
2.3.3. DEFAUTS POSTULES A PRENDRE EN COMPTE DANS LES ANALYSES MECANIQUE	13
2.4. SITUATIONS CONSIDEREES.....	15
2.4.1. METHODE D'ANALYSE	15
3. RESULTATS DES ANALYSES MECANIQUES	16
3.1. TRANSITOIRES DE CHOCS CHAUDS	16
3.2. TRANSITOIRES DE CHOCS FROIDS :	20
4. PROGRAMME SUR PIECES SACRIFICIELLES	22
5. CONCLUSION	22
6. REFERENCES.....	24

1. OBJET

Les fonds primaires des GV/RA 251 (GV1), GV/RA 250 (GV2) et GV/RA 249 (GV3) installés à Tricastin 1 sont des pièces forgées écrasées issues de lingots conventionnels de 120 tonnes de fabrication JCFC (Japan Casting Forging Corporation). A ce titre, ils sont susceptibles de présenter une zone de ségrégation majeure positive résiduelle

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 4/25
		D453416059110	

L'objectif de ce document est de justifier la tenue en service de ces fonds primaires en évaluant l'impact d'un abaissement local potentiel 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 JUSTIFICATION

L'analyse de nocivité des défauts postulés dans les fonds primaires des GV/RA 251, GV/RA 250 et GV/RA 249 est présentée dans les documents [3], [4] et [5].

Ces documents évaluent, dans le domaine fragile et de la 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 sont pris en compte.

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

Les fonds primaires de fabrication JCFC présentent une zone décarburée en surface externe. Toutefois pour les fonds JCFC issus des 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/RA 251, GV/RA 250 et GV/RA 249 de TRI1). 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 représentations graphiques simplifiées suivantes :

rappelés sur les

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRE DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 5/25
		D453416059110	

Figure 1 : Résultats obtenus sur les GV/RA 251 (GV1) de TRI1.

Ces mesures mettent en évidence sur le GV/RA 251 (GV1) :

- une zone ségrégée au centre du bol avec des teneurs en carbone maximales détectées atteignant 0,386% au point G4.
- une zone ségrégée au niveau des tubulures avec une valeur moyenne de 0,27% de carbone sur les tubulures TB et TH et des valeurs maximales détectées atteignant 0,31% sur la tubulure TB et 0,32% sur la tubulure TH.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 6/25
		D453416059110	
<p style="text-align: center;">Figure 2 : Résultats obtenus sur les GV/RA 250 (GV2) de TRI1.</p> <p><u>Ces mesures mettent en évidence sur le GV/RA 250 (GV2) :</u></p> <ul style="list-style-type: none">- une zone ségrégée au centre du bol avec des teneurs en carbone maximales détectées atteignant 0,359% au point B1.- une zone ségrégée au niveau des tubulures avec une valeur moyenne de 0,24% de carbone sur les tubulures TB et TH et des valeurs maximales détectées atteignant 0,30% sur la tubulure TB et 0,28% sur la tubulure TH.			
QUALITE SURVEILLEE			
<small>Copyright. Ce document est la propriété d'EDF. Toute communication, reproduction, publication, même partielle est interdite sans autorisation écrite d'EDF - 151216131735</small>			

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDOS PRIMAIRE DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 7/25
		D453416059110	

Figure 3 : Résultats obtenus sur les GV/RA 249 (GV3) de TRI1.

Ces mesures mettent en évidence sur le GV/RA 249 (GV3) :

- une zone ségrégée au centre du bol avec des teneurs en carbone maximales détectées atteignant 0,385% au point A2.
- une zone ségrégée au niveau des tubulures avec une valeur moyenne de 0,27% de carbone sur les tubulures TB et TH et des valeurs maximales détectées atteignant 0,29% sur la tubulure TB et 0,34% sur la tubulure TH.

Des analyses chimiques sur prélèvement de copeaux ont été réalisées en complément dans deux zones du fond primaire du GV 3. Les prélèvements ont été réalisés à 50 mm du centre sur l'axe G (point G1) et à 100 mm du centre sur l'axe H (point H2). Les teneurs mesurées par spectrométrie d'étincelle selon la cartographie de la figure 3 sont comprises entre 0,34 et 0,36%. Les résultats sont présentés dans le tableau 1

Tableau 1 : Analyses chimiques réalisées sur prélèvement de copeaux sur le GV3 de TRI1

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDOS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHÈSE	Indice 01	Page 8/25
		D453416059110	

Les valeurs en carbone sont légèrement inférieures aux valeurs mesurées par spectrométrie mais confirment l'existence d'une zone de ségrégation majeure supérieure à 0,30%.

Conclusion sur l'état de connaissance de la ségrégation carbone des GV

Les mesures par spectrométrie d'émission optique et les analyses chimiques par prélèvement de copeaux mettent en évidence :

- une zone ségrégée au centre du bol avec des teneurs en carbone maximales détectées atteignant jusqu'à 0,39% au niveau du GV/RA 251. 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 0,34% de carbone au niveau du GV/RA 249 (tubulure TH).

2.2. PROPRIÉTÉ DE TENACITÉ ET DÉCALAGE DE RT_{NDT} À CONSIDÉRER TENANT COMPTE D'UNE SEGREGATION MAJEURE POSITIVE RESIDUELLE EN CARBONE

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.

Les valeurs de RT_{NDT} initiale pour chaque GV/RA de la TN1 sont les suivantes

$$\begin{aligned} \text{GV/RA 251 (GV1) - } RT_{NDT}^{initiale} &= \quad \text{°C} \\ \text{GV/RA 250 (GV2) - } RT_{NDT}^{initiale} &= \quad \text{°C} \\ \text{GV/RA 249 (GV3) - } RT_{NDT}^{initiale} &= \quad \text{°C} \end{aligned}$$

Ainsi la valeur de RT_{NDT} de recette maximale retenue pour Tricastin 1 est la suivante :

$$RT_{NDT}^{initiale} = \quad \text{°C}$$

- ΔRT_{NDT}^v = décalage de RT_{NDT} tenant compte des effets de vieillissement. Le décalage retenu est égal à \quad °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.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHÈSE	Indice 01	Page 9/25
		D453416059110	

Les mesures de taux de carbone présentées dans le paragraphe précédent conduisent à considérer une zone moins ségréguée d'une part, regroupant la paroi interne du fond primaire pour laquelle la teneur maximale en carbone en peau interne peut être évaluée de manière conservatrice à 0,26 % et la zone de transition des tubulures ; et une zone plus ségréguée d'autre part, correspondant à la zone centrale en peau externe du fond primaire.

Pour la première zone, 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_{NDTseg} de °C et °C sont retenus.

Pour la zone de transition des tubulures, les décalages ΔRT_{NDTseg} de °C et °C sont retenus. Pour prendre en compte les valeurs ponctuelles à 0,33-0,34% du GV/RA 249 (GV3), une sensibilité à un décalage ΔRT_{NDTseg} de °C est également proposée dans l'annexe B de la note [3]. Le décalage de °C

Pour l'autre zone, au niveau du bol central en peau externe des fonds primaires, 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 JCFC ont été identifiés.

Les défauts inacceptables retenus sont :

- Les inclusions exogènes,
- Les replis-criques,
- 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 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 bols des fonds JCFC. Le contrôle complémentaire par ressuage réalisé en exploitation permet de se prémunir de la présence de tels défauts.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDOS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 10/25
		D453416059110	

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 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 et en zone courante des tubulures (y compris la zone de transitions des THP) :

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 circonférentielle et de dimensions x mm,
- La mise en évidence de défauts non débouchants d'orientation radiale ou circonférentielle :
 - ✓ En zone centrale, de dimensions x mm, présentant un ligament par rapport à la paroi externe inférieur ou égal à mm,

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 11/25
		D453416059110	
<p style="text-align: center;">✓ En zone courante des tubulures, de dimensions x mm, présentant un ligament par rapport à la paroi externe inférieur ou égal à mm,</p> <p>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 x mm et présentant un ligament inférieur ou égale à mm par rapport à la paroi externe,</p> <p>- <u>En zone de transition des tubulures :</u></p> <p>Des travaux de simulation démontrent la capacité du contrôle de fabrication à mettre en évidence des défauts circonférentiels de dimensions x mm,</p> <p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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			
Copyright. Ce document est la propriété d'EDF. Toute communication, reproduction, publication, même partielle est interdite sans autorisation écrite d'EDF - 151216131735			

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 12/25
		D453416059110	

2.3.2. EXAMENS COMPLÉMENTAIRES RÉALISÉS EN 2016

2.3.2.1. RESSUAGE

Pour les zones non couvertes par la magnétoscopie, **un examen complémentaire par ressuage** a été mis en œuvre 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 trous d'homme primaires 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.

Aucune indication n'a été notée lors de ce contrôle complémentaire sur les fonds primaires des GV/RA 251, GV/RA 250 et GV/RA 249 installés à Tricastin 1

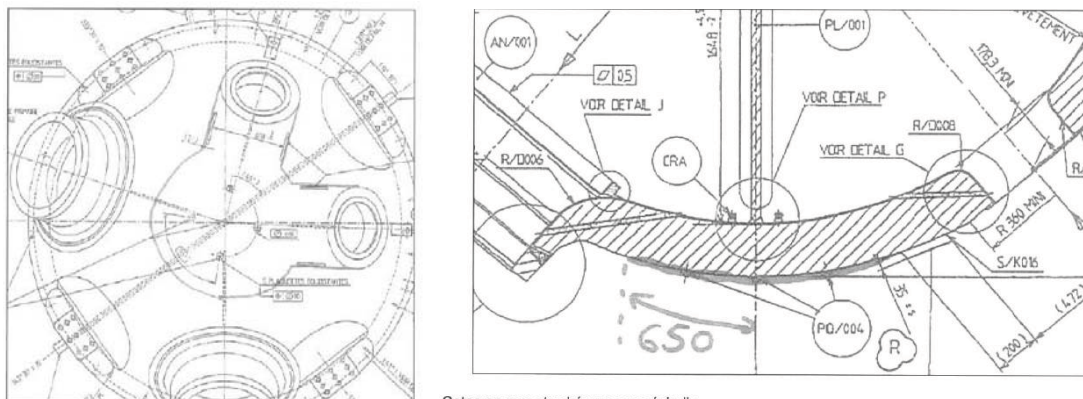


Figure 4 : zone du ressuage effectué en 2016 sur les fonds GV/RA 251, GV/RA 250 et GV/RA 249 de TRI1

2.3.2.2. END VOLUMIQUE

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 mm et de longueur mm, de forme elliptique et d'orientation radiale.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 14/25
		D453416059110	

- En peau externe (sensible aux chocs chauds): défaut semi-elliptique de dimensions x mm situé dans le bol, hors zone de transitions, et défauts semi-elliptiques de dimensions x mm dans la zone de transition des tubulures et x mm en zone de transition des THP. Le défaut de x mm retenu dans la zone de transitions des trous d'homme est enveloppe de celui détectable dans cette zone (de x : mm),
- En peau interne (sensible aux chocs froids): défaut semi elliptique de dimensions x 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 ségréguée et suivant deux orientations.

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 (cf. figure ci-dessous). La zone de transition des tubulures est directement soumise aux chargements extérieurs provenant de la boucle primaire.

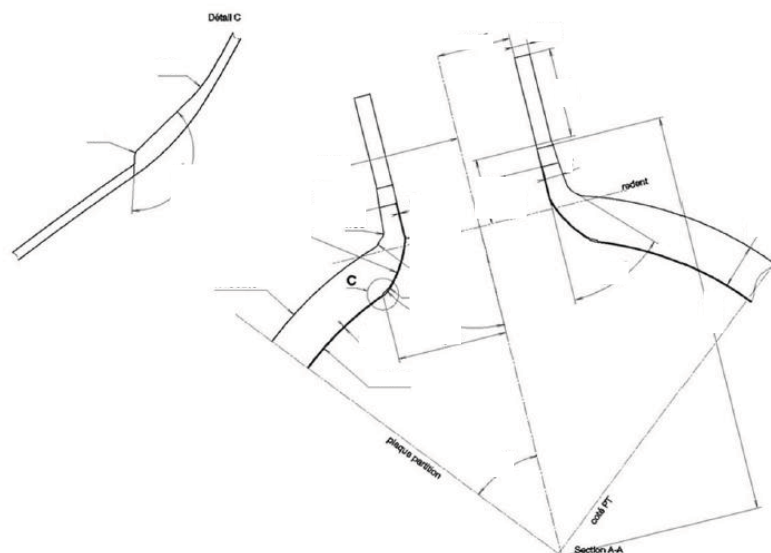


Figure 5 : Zone de transition des tubulures

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.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHÈSE	Indice 01	Page 15/25
		D453416059110	

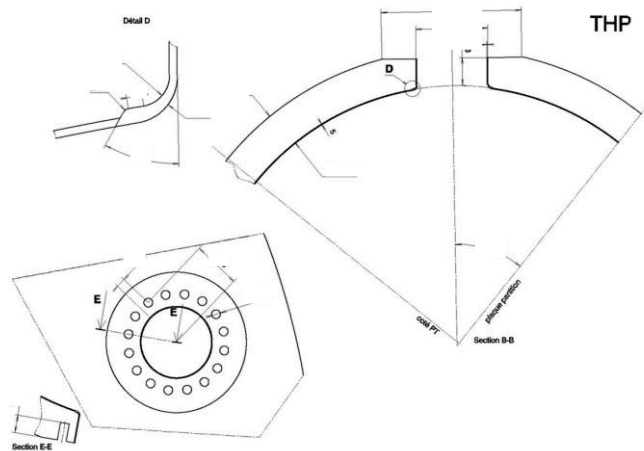


Figure 6 : Zone de transition des trous d'homme primaire

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 et chocs thermiques froids 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 dans les notes [3] et [4].

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. Les situations considérées sont prises en compte dans l'analyse mécanique [5].

2.4.1. MÉTHODE D'ANALYSE

Les contraintes d'origine mécanique et thermique sont calculées par les 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 :

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

Avec :

- K_{cp} = facteur d'intensité de contrainte corrigé plastiquement à l'extrémité (fond ou paroi) du défaut postulé
- KIC = ténacité caractérisant la résistance du matériau à la rupture fragile (KIC dépend de la température indexée sur RT_{NDT})
- α = coefficient de sécurité

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 16/25
		D453416059110	

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,
 - o au niveau du fond du bol GV hors zones de transitions des tubulures (pour des décalages de RT_{NDT} de \dots °C et \dots °C),
 - o au niveau des zones de transitions des tubulures (pour des décalages de RT_{NDT} de \dots °C et \dots °C, ainsi qu'une sensibilité à un décalage \dots °C pour le GV/RA 249).
- **Les transitoires de chocs froids** pour un défaut situé en peau interne,
 - o au niveau du fond du bol GV et des zones de transitions des tubulures et des THP (pour des décalages de RT_{NDT} de \dots °C et \dots °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

Concernant le fond du bol GV, hors zones de transitions des tubulures :

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 la note en référence [4]. Ce document évalue 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.

Plus particulièrement, il y est évalué le risque de rupture fragile des fonds primaires de GV/RA en peau externe **sollicités sous chocs chauds pour les décalages de RT_{NDT} de \dots et \dots °C** en dehors des zones de transitions des tubulures pour les situations normales et perturbées et pour le transitoire de \dots (transitoire pénalisant vis-à-vis des situations de catégories 3 et 4).

Les RT_{NDT} initiales retenues sont :

- \dots °C correspondant à la RT_{NDT} de recette des GV de TRI1.
- \dots °C, valeur du code RCC-M permettant de couvrir l'ensemble des fonds RA.

Trois zones sont distinguées pour des distances :

- 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.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHÈSE	Indice 01	Page 17/25
		D453416059110	

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 transitoire de (transitoire de 4^{ème} catégorie) est également présentée.

Le défaut postulé est débouchant en peau externe de dimensions x mm sur l'ensemble de la zone.

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

Nota : présentation ci-dessous des transitoires présentant les marges les plus faibles.

• Situations normales et perturbées :

- ✓ Pour une distance comprise entre 0 et 300 mm de l'axe GV :

RT _{NDT} initiale	ΔRT_{NDT}	Défaut mm	
		$K_{ic} / (2 K_{cp})$	Transitoire
° C	—		1C
			1C
° C	—		1C
			1C

- ✓ Pour une distance comprise entre 300 et 700 mm de l'axe GV :

RT _{NDT} initiale	ΔRT_{NDT}	Défaut mm	
		$K_{ic} / (2 K_{cp})$	Transitoire
° C	—		1C
			1B
° C	—		1C
			1B

- ✓ Pour une distance supérieure à 700 mm de l'axe GV, hors zones de transitions :

RT _{NDT} initiale	ΔRT_{NDT}	Défaut mm	
		$K_{ic} / (2 K_{cp})$	Transitoire
° C	—		1C
			1C
° C	—		1C
			1C

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 18/25
		D453416059110	

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

• Transitoire de _____ :

Le transitoire de _____ peut être scindé en deux variantes caractérisées par des températures initiales différentes : $^{\circ}C$ et $^{\circ}C$, conformément à la note référence [3].

- ✓ Pour une distance comprise entre 0 et 300 mm de l'axe GV :

RT_{NDT} initiale	ΔRT_{NDT}	Défaut mm	
		$K_{ic} / (1,2 K_{cp})$	Transitoire
$^{\circ}C$	_____	_____	C4V2
			C4V2

- ✓ Pour une distance comprise entre 300 et 700 mm de l'axe GV :

RT_{NDT} initiale	ΔRT_{NDT}	Défaut mm	
		$K_{ic} / (1,2 K_{cp})$	Transitoire
$^{\circ}C$	_____	_____	C4V2
			C4V2

- ✓ Pour une distance supérieure à 700 mm de l'axe GV, hors zones de transitions :

RT_{NDT} initiale	ΔRT_{NDT}	Défaut mm	
		$K_{ic} / (1,2 K_{cp})$	Transitoire
$^{\circ}C$	_____	_____	C4V2
			C4V2

Les résultats des calculs montrent que le transitoire C4 variante 2 (température initiale de $^{\circ}C$) est le plus pénalisant. Pour un défaut de x mm et un décalage enveloppe de RT_{NDT} de $^{\circ}C$ et de $^{\circ}C$, les critères sont respectés en considérant la RT_{NDT} initiale de recette des GV/RA 251, GV/RA 250 et GV/RA 249 de $^{\circ}C$.

Conclusion pour les fonds primaires, hors zones de transitions :

Ces éléments montrent que, sous chargement de type « chocs chauds », le risque de rupture fragile est écarté pour les fonds des GV/RA 251, GV/RA 250 et GV/RA 249 de TRI1 dans l'ensemble des zones du bol primaire hors zones de transitions (celles-ci étant traitées par la suite selon [3]) et pour toutes les catégories de situations, en considérant :

- Un défaut débouchant en peau externe de dimension x mm,
- La RT_{NDT} de recette des fonds primaires des GV/RA 251, GV/RA 250 et GV/RA 249 ($^{\circ}C$),
- Un décalage enveloppe de RT_{NDT} de + $^{\circ}C$ et $^{\circ}C$.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site	Indice	Page
	NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	01	19/25
		D453416059110	

Concernant les zones de transitions, l'analyse du risque de rupture fragile sous chocs chauds est réalisée dans la note [3].

Les résultats en termes de facteurs de marge sont présentés ci-dessous pour un défaut débouchant postulé en peau externe de dimensions x mm pour les zones de transitions des tubulures et x mm pour les zones de transitions des THP.

Pour les différentes situations analysées, les RT_{NDT} initiales considérées sont :

- La RT_{NDT} maximale spécifiée de °C issue du code RCC-M,
- La RT_{NDT} maximale de recette de °C issue du RFF
- la RT_{NDT} de recette de °C issue du RFF associé à un décalage de RT_{NDT} de °C pour le GV/RA 249 (GV3).

Nota : les résultats fournis avec la RT_{NDT} de °C sont fournis à titre informatif, seuls les résultats issus de la RT_{NDT} de recette (°C) étant à prendre en compte pour les conclusions de l'analyse.

Les décalages de RT_{NDT} pris en compte dans l'analyse (°C et °C) restent applicables compte tenu des valeurs de taux de carbone mesurées dans les zones de transitions des GV/RA 251, GV/RA 250 et GV/RA 249. Dans la note [3], une analyse de sensibilité a été produite pour un décalage de RT_{NDT} de °C pour couvrir de façon enveloppe les points isolés avec un taux de carbone supérieur à 0,32% identifiés sur le GV/RA 249 (GV3).

Analyse des situations précisées dans le DDS et des transitoires hors DDS :

L'analyse des transitoires du DDS VD3 900 MWe ainsi que des transitoires hors DDS a été étudiée dans la note [3].

Le tableau ci-dessous synthétise, pour les situations étudiées, les marges disponibles par rapport au critère RCC-M en fonction de la localisation du défaut et en prenant en compte les mesures compensatoires de la note en référence

- Pour les zones de transitions des tubulures (défaut de x mm), les facteurs de marge minimaux sont les suivants :

RTNDT initiale	$\Delta RTNDT$	Défaut x mm	
		$K_{ic} / (\alpha K_{cp})$	Transitoire
° C	—	—	28C plage basse
		—	28D plage basse
° C	—	—	28D plage basse
		—	28D plage basse

Par ailleurs, un cas d'étude complémentaire a également été réalisé dans la zone de transition des tubulures du GV/RA 249. En considérant la RT_{NDT} de recette de ce GV issue du RFF de °C, un décalage de RT_{NDT} égal à °C et l'ensemble des situations étudiées, le facteur de marge minimal est de 1,00 pour un défaut de x mm (annexe B de la note [3]).

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 20/25
		D453416059110	

- Pour les zones de transitions des THP (défaut de x mm), les facteurs de marge minimaux sont les suivants :

RT _{NDT} initiale	ΔRT _{NDT}	Défaut x mm*	
		K _{ic} / (αK _{cp})	Transitoire
° C	—		28D plage basse
			28D plage basse
° C	—		28D plage basse
			C4-1

*Il est important de souligner que le défaut postulé dans cette zone de x mm est de taille largement supérieure au défaut détectable en CND de dimensions x mm

En considérant l'application des mesures compensatoires en exploitation 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 x mm pour les zones de transition des tubulures est démontrée dans toutes les catégories de situation. La stabilité est également démontrée dans toutes les catégories de situation pour un défaut de mm x mm, taille très conservatrice par rapport à celle du défaut détectable de x mm, pour les zones de transition des THP avec un décalage ΔRT_{NDT} égal à ° C et ° C.

Par ailleurs, en considérant un décalage ΔRT_{NDT} égal à ° C associé à la RT_{NDT} de recette du GV/RA 249 (GV3) de ° C, les résultats ci-dessus montrent que la stabilité des défauts considérés de mm x mm pour les zones de transition des tubulures est démontrée dans toutes les catégories de situation.

3.2. TRANSITOIRES DE CHOCS FROIDS :

L'analyse mécanique en référence [5] évalue l'impact d'un abaissement local des propriétés de ténacité du matériau lié à la présence d'une zone ségrégée en carbone et vis-à-vis de la stabilité d'un défaut postulé débouchant (dimensions x mm) en peau interne des fonds primaires des GV/RA 251, GV/RA 250 et GV/RA 249 de TRI1.

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

Les transitoires de 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} catégories retenus sont analysés dans la note référence [5] 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 de RT_{NDT} de °C et de °C, dus à la ségrégation carbone, est considérée pour analyser l'impact éventuel d'un abaissement des propriétés de ténacité.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDOS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 21/25
		D453416059110	

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

- ✓ Pour une distance comprise entre 0 et 300 mm de l'axe GV :

RTNDT initiale	$\Delta RTNDT$	Défaut mm	
		$K_{ic} / (\alpha K_{cp})$	Transitoire
			28D2-2
			58-2

- ✓ Pour une distance comprise entre 300 et 700 mm de l'axe GV :

RTNDT initiale	$\Delta RTNDT$	Défaut mm	
		$K_{ic} / (\alpha K_{cp})$	Transitoire
			28D2-2
			58-2

- ✓ Pour une distance supérieure à 700 mm de l'axe GV, hors zones de transitions de tubulures :

RTNDT initiale	$\Delta RTNDT$	Défaut mm	
		$K_{ic} / (\alpha K_{cp})$	Transitoire
			28D2-2
			58-2

- ✓ Pour les zones de transition des tubulures :

RTNDT initiale	$\Delta RTNDT$	Défaut mm	
		$K_{ic} / (\alpha K_{cp})$	Transitoire
			28D2-2
			58-2

Conclusion :

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

Le défaut étudié de $\phi \times$ mm, débouchant en peau interne du fond primaire et des zones de transition des tubulures, ne présente donc pas de risque de rupture fragile sous chargements de chocs froids en considérant des décalages de ΔRT_{NDT} de \dots et \dots °C et la RT_{NDT} initiale de recette des GV/RA 251, GV/RA 250 et GV/RA 249 de \dots °C.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 22/25
		D453416059110	

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 GV/RA 251 (GV1), GV/RA 250 (GV2) et GV/RA 249 (GV3) installés à Tricastin 1 sont des pièces forgées écrasées issues de lingots conventionnels de 120 tonnes de fabrication JCFC. A ce titre, leur zone centrale est susceptible de présenter une zone de ségrégation majeure positive en carbone. Par ailleurs, les mesures de carbone réalisées en 2016 attestent que des zones ségréguées affectent les fonds des bols primaires et les zones de transition des tubulures.

Ces mesures ont mis en évidence des zones ségréguées en carbone au niveau des tubulures avec des valeurs maximales détectées atteignant 0,34 % en carbone. Au centre des bols des GV/RA 251, GV/RA 250 et GV/RA 249, une zone plus ségréguée a été relevée avec des teneurs en carbone maximales détectées localement atteignant jusqu'à 0,39 %.

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 et les END surfaciques (ressuages) et volumiques (ultrasons) réalisés en exploitation n'ont pas mis en évidence d'indications supérieures au seuil de notation sur le fond de bol GV et 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 :

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHÈSE	Indice 01	Page 23/25
		D453416059110	

Le risque de rupture fragile est écarté pour les fonds des GV/RA 251, GV/RA 250 et GV/RA 249 dans l'ensemble des zones du bol primaire hors zones de transitions des tubulures et pour toutes les catégories de situations, en considérant :

- Un défaut débouchant en peau externe de dimension x mm,
- La RT_{NDT} de recette du fond primaire du GV ($^{\circ}C$),
- Un décalage de RT_{NDT} de $^{\circ}C$ et $^{\circ}C$ lié à la ségrégation carbone.

En considérant l'application des mesures compensatoires en exploitation la valeur de RT_{NDT} initiale maximale issue des recettes ($^{\circ}C$) avec un décalage ΔRT_{NDT} égal à $^{\circ}C$ et $^{\circ}C$, les calculs montrent que les défauts considérés de x mm x x mm dans les zones de transitions des tubulures n'induisent pas de risque de rupture fragile pour toutes les situations. De la même façon, un défaut de x mm x x mm dans les zones de transitions des THP n'induit pas de risque de rupture fragile pour toutes les situations avec ΔRT_{NDT} égal à $^{\circ}C$ et $^{\circ}C$.

Par ailleurs, en considérant la **RT_{NDT} initiale issue du recette du GV/RA 249 (GV3) de $^{\circ}C$** , les calculs montrent qu'un défaut considéré de x mm x x mm dans les **zones de transition des tubulures** n'induit pas de risque de rupture fragile pour toutes les situations avec ΔRT_{NDT} égal à $^{\circ}C$.

✓ Transitoires de chocs froids :

Pour l'ensemble des transitoires, en considérant l'application des mesures compensatoires en exploitation et zones étudiées (fond du bol GV et zones de transitions des tubulures), les facteurs de marges sont tous supérieurs à 1.

Le défaut étudié (x mm), débouchant en peau interne du fond primaire, n'induit donc pas de risque de rupture fragile sous chargements de chocs froids en considérant des décalages de RT_{NDT} de $^{\circ}C$ et $^{\circ}C$ et la RT_{NDT} initiale de recette des GV/RA 249, GV/RA 250 et GV/RA 251 de $^{\circ}C$.

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

Les mesures de carbone ont été réalisées sur la surface extérieure des fonds des bols GV (concentration locale maximale de 0,39 % en carbone sur le GV/RA 251) ainsi qu'au niveau des zones de transition des tubulures (concentration locale maximale de 0,34 % en carbone sur le GV/RA 249).

Les hypothèses retenues en termes d'extension de la zone ségrégée, de décalage de RT_{NDT} et de défaut postulé, ont été analysées et justifiées. Ces éléments ont été consolidés par des mesures de carbone et par des END en amont de la remise en service de ces appareils au sens de l'arrêté du 10/11/1999. 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 des GV/RA 251, GV/RA 250 et GV/RA 249 de Tricastin 1, ne remet pas en cause l'exigence définie d'intégrité, en toutes situations et donc l'aptitude au service de ces composants.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 24/25
		D453416059110	

6. REFERENCES

[3] Note AREVA BUCLRA/NGV3090 indice H NT- « Analyse du risque de rupture fragile des fonds primaires GV/RA de Tricastin 1 ».

[4] Note CMHMTTC 2016.461 du 7 octobre 2016 – « Analyse de risque de rupture fragile des fonds de type RA pour des décalages importants de RT_{NDT} sous transitoires de chocs chauds ».

[5] Note BUCLRA/NGV3105 indice A du 10/11/2016 – « Analyse de risque de rupture fragile des fonds primaires GV/RA JCFC CPY soumis à un choc froids ».

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1, GV2 ET GV3 DE LA TRANCHE 1 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 01	Page 25/25
		D453416059110	
QUALITE SURVEILLEE			