

Date d'application : **03 FEV. 2017**

NOTE SITE

**NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1 ET
GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE**

D453416089873

Indice : 00

23 pages

Annule et remplace le document référencé :

Document(s) associé(s) :

Domaine :

Thème :

Résumé : Les fonds primaires des GV/RA 245 (GV1) et GV/RA 243 (GV2) installés à Tricastin 2 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 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 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 2/23
		D453416089873	

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 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice	Page
		00	3/23
		D453416089873	

SOMMAIRE

		Page
1.	OBJET.....	4
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	6
2.3.	DEFAUTS POSTULES.....	7
2.3.1.	CND DE FABRICATION.....	8
2.3.2.	EXAMENS COMPLEMENTAIRES REALISES EN 2016 ET 2017.....	10
2.3.2.1.	RESSUAGE.....	10
2.3.2.2.	END VOLUMIQUE	10
2.3.3.	DEFAUTS POSTULES A PRENDRE EN COMPTE DANS LES ANALYSES MECANIQUES	11
2.4.	SITUATIONS CONSIDEREES.....	13
2.4.1.	METHODE D'ANALYSE.....	13
3.	RESULTATS DES ANALYSES MECANIQUES	14
3.1.	TRANSITOIRES DE CHOCS CHAUDS	14
3.2.	TRANSITOIRES DE CHOCS FROIDS :.....	18
4.	PROGRAMME SUR PIECES SACRIFICIELLES	20
5.	CONCLUSION	20
6.	REFERENCES.....	22

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 4/23
		D453416089873	

1. OBJET

Les fonds primaires des GV/RA 245 (GV1) et GV/RA 243 (GV2) installés à Tricastin 2 sont des pièces forgées écrasées issues de lingots conventionnels de 120 tonnes de fabrication JCFC¹ (Japan Casting Forging Corporation). A ce titre, ils sont susceptibles de présenter une zone de ségrégation majeure positive résiduelle

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 245 et GV/RA 243 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 245 et GV/RA 243 de TRI2). 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.

Les résultats des mesures spectrométriques sont détaillés dans l'avis technique Ceidre [1]. Ils sont rappelés sur les représentations graphiques simplifiées suivantes :

¹ Le fond primaire du GV/RA 244 (GV3) également installé à Tricastin 2 est une pièce forgée écrasée issue d'un lingot LSD. Il n'est donc pas concerné par la problématique.

CNPE de Tricastin	<p style="text-align: center;">Note Site</p> <p style="text-align: center;">NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE</p>	Indice 00	Page 5/23
		D453416089873	

Figure 1 : Résultats obtenus sur les GV/RA 245 (GV1) de TRI2.

Ces mesures mettent en évidence sur le GV/RA 245 (GV1) :

- une zone ségrégée au centre du bol avec des teneurs en carbone maximales détectées atteignant 0,38% au point H2.
- 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 0,27% sur la tubulure TH.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 6/23
		D453416089873	

Figure 2 : Résultats obtenus sur les GV/RA 243 (GV2) de TRI2.

Ces mesures mettent en évidence sur le GV/RA 243 (GV2) :

- une zone ségrégée au centre du bol avec des teneurs en carbone maximales détectées atteignant 0,33% au point A1
- une zone ségrégée au niveau des tubulures avec des valeurs maximales détectées atteignant 0,26% sur la tubulure TB et 0,30% sur la tubulure TH. Les valeurs moyennes en teneur de carbone sont de 0,20% sur la tubulure TB et de 0,22% sur la tubulure TH.

2.2. PROPRIETE DE TENACITE ET DECALAGE DE RT_{NDT} A CONSIDERER 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

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRE DES GV1 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 7/23
		D453416089873	

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.

La valeur de recette est disponible pour le fond du GV/RA 245 et GV/RA 243 de TRI2 : RT_{NDT} initiale = °C

- 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 précédent conduisent à considérer des zones moins ségréguées d'une part, regroupant :

- les zones de transition des tubulures,
- la paroi interne du fond primaire des GV/RA 245 et GV/RA 243 pour laquelle la teneur maximale en carbone en peau interne peut être évaluée de manière conservatrice à 0,26 %

Et une zone plus ségréguée d'autre part, correspondant à la zone centrale en peau externe du fond primaire des GV/RA 245 et GV/RA 243.

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 [REDACTED], caractérisé lors de la qualification technique ESPN puis dans le cadre d'un programme de R&D [REDACTED] deux décalages ΔRT_{NDT}^{seg} de °C et °C sont retenus.

Pour l'autre zone, deux décalages additionnels de RT_{NDT} de [REDACTED] 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),

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 8/23
		D453416089873	

- Les défauts de surface en arrondis de tubulure liés à l'extrusion.

Cette analyse a été formalisée dans la référence 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.

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 :

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

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 10/23
		D453416089873	

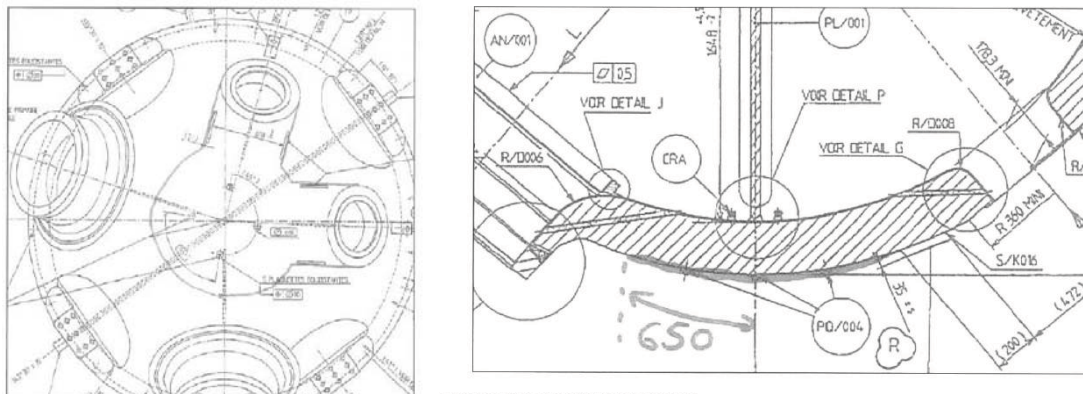
2.3.2. EXAMENS COMPLÉMENTAIRES RÉALISÉS EN 2016 ET 2017

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 245 et GV/RA 243 installés à Tricastin 2 .



Cotes en mm et schémas sans échelle.

Figure 4 : zone du ressuage effectué en 2016 sur les fonds GV/RA 245 et GV/RA 243 de TRI2

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 PRIMAIRE DES GV1 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 11/23
		D453416089873	

Pour les fonds GV/RA 245 et GV/RA 243 de Tricastin 2, l'examen par ultrasons permet de conclure à l'absence de défaut plan tel que défini précédemment dans la zone couverte par le procédé (jusqu'à mm de profondeur) ; l'extension d'analyse pour la plage d'épaisseur mm à mi-épaisseur (mm) n'a mis en évidence aucun signal caractéristique du défaut recherché.

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

Le procédé utilisé permet de détecter tout défaut plan de x 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 GV/RA 245 et GV/RA 243, l'examen par ultrasons permet de conclure à l'absence de défaut plan tel que défini précédemment dans le volume examiné.

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. 2.3.3) est assurée .

2.3.3. DÉFAUTS POSTULÉS À PRENDRE EN COMPTE DANS LES ANALYSES MÉCANIQUES

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. § 2.3.2).

Pour la surface interne, 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.

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 en volume mais peut générer des défauts en surface interne et externe du type replis de matière en peau externe ou ouverture de défauts surfaciques en peau interne. Ce risque est couvert par le contrôle par magnétoscopie dont les résultats confirment l'absence de défauts surfaciques .

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

- 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 dans la zone de transition des THP. Ce dernier est enveloppe de celui détectable dans la zone de transition des THP (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.

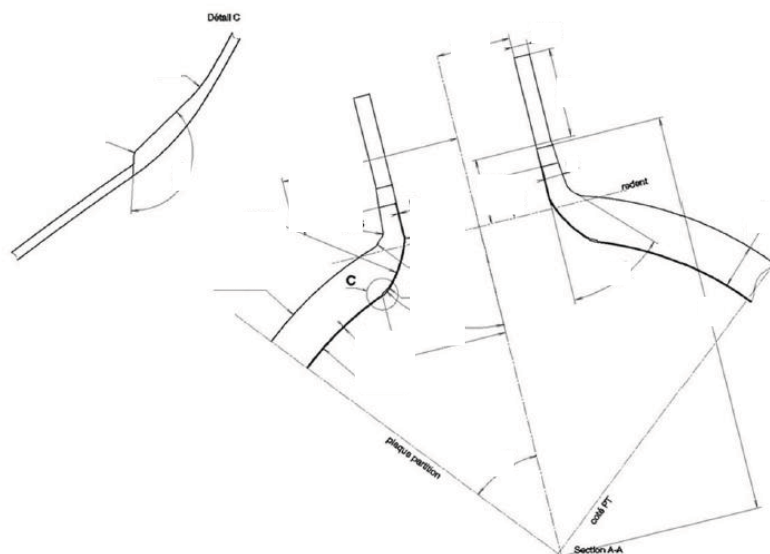


Figure 5 : Zone de transition des tubulures

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.

CNPE de Tricastin	<p align="center">Note Site</p> <p align="center">NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE</p>	Indice 00	Page 13/23
		D453416089873	

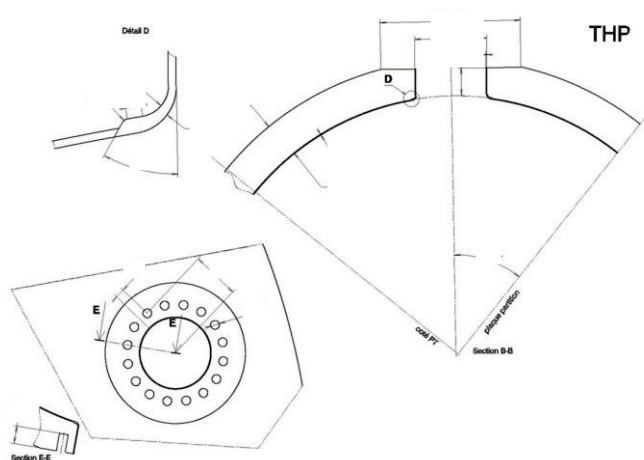


Figure 6 : Zone de transition des trous d'homme primaire

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 :

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

Avec :

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

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 14/23
		D453416089873	

- 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 GV hors zones de transitions des tubulures (pour des décalages enveloppes de RT_{NDT} de $^{\circ}C$ et $^{\circ}C$),
 - au niveau des zones de transitions des tubulures (pour des décalages de RT_{NDT} de $^{\circ}C$ et $^{\circ}C$).
- **Les transitoires de chocs froids** pour un défaut situé en peau interne,
 - au niveau du fond du bol GV et des zones de transitions des tubulures (pour des décalages de RT_{NDT} de $^{\circ}C$ et $^{\circ}C$). 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. Cette étude est générique et applicable à tous les GV RA CPY (avec prise en compte de la RT_{NDT} de recette correspondante). En effet, pour cette étude la seule hypothèse liée à la tranche concerne les efforts aux tubulures (séisme et chargements de RGV). Or l'impact de ces efforts aux tubulures est limité pour cette analyse qui porte sur la zone courante du bol hors zones de transition d'épaisseur.

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

Les RT_{NDT} initiales considérées sont :

- $^{\circ}C$ correspondant à la RT_{NDT} de recette des GV/RA 245 et GV/RA243 de TRI2.
- $^{\circ}C$, 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)

QUALITE SURVEILLEE

- 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 le risque 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 Fm sont calculés, pour différentes situations considérées et localisations dans le bol GV.

Nota : présentation ci-dessous des transitoires avec 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

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 [4].

- ✓ 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 245 et GV/RA 243 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 245 et GV/RA 243 de TRI2 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 245 et GV/RA 243 ($^{\circ}C$),
- Un décalage enveloppe de RT_{NDT} de $^{\circ}C$ et $^{\circ}C$.

QUALITE SURVEILLEE

Concernant les zones de transitions des tubulures, 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 $^{\circ}C$ issue du code RCC-M.
- La RT_{NDT} maximale de recette de $^{\circ}C$ issue du RFF .

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

Les décalages de RT_{NDT} pris en compte dans l'analyse ($^{\circ}C$ et $^{\circ}C$) restent applicables compte tenu des valeurs de taux de carbone mesurées dans les zones de transitions de tubulures des GV/RA 245 et GV/RA 243

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, les facteurs de marge minimaux sont les suivants :

- 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	
		$K_{ic} /$ (αK_{cp})	Transitoire
$^{\circ}C$	—	—	28C plage basse
			28D plage basse
$^{\circ}C$	—	—	28D plage basse
			28D plage basse

- 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
			28D plage basse

*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.

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 ségréguée 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 245 et GV/RA 243 de TRI2.

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.

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
° C	—	—	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
° C	—	—	28D2-2
			58-2

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

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

- ✓ Pour les zones de transition des tubulures :

RTNDT initiale	$\Delta RTNDT$	Défaut mm	
		$K_{ic} / (\alpha K_{cp})$	Transitoire
° C	—	—	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 x 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 et °C et la RT_{NDT} initiale de recette des GV/RA 245 et GV/RA 243 °C.

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRES DES GV1 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 20/23
		D453416089873	

Les valeurs maximales de teneur de carbone estimées montrent que la ségrégation carbone est plus importante à mi-épaisseur qu'en peau interne. Une analyse a donc été menée en postulant un décalage forfaitaire enveloppe de RT_{NDT} ($^{\circ}C$ de décalage) et en plaçant un défaut non débouchant située à mm de l'interface revêtement/métal de base. Vis-à-vis des contraintes thermiques induites par un choc froid, cet emplacement de défaut est plus pénalisant qu'un défaut enfoui plus profondément dans la matière. Cette analyse a permis de démontrer qu'un défaut non débouchant de dimensions x mm, situé à mm de la peau interne ne présente pas de risque de rupture fragile en considérant un décalage de RT_{NDT} de $^{\circ}C$. Ceci permet donc de couvrir l'ensemble des défauts enfouis de x mm situés entre la peau interne et la mi-épaisseur du bol GV.

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 245 (GV1) et GV/RA 243 (GV2) installés à Tricastin 2 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 0,30 % en carbone. Au centre des bols des GV/RA 245 et GV/RA 243, une zone ségréguée a été relevée avec des teneurs en carbone maximales détectées localement atteignant jusqu'à 0,38 %.

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.

QUALITE SURVEILLEE

CNPE de Tricastin	Note Site NT - JUSTIFICATION DE LA TENUE EN SERVICE DES FONDS PRIMAIRE DES GV1 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 21/23
		D453416089873	

Les analyses mécaniques mettent en évidence :

✓ Transitoires de chocs chauds :

Sous chargement de chocs chauds, le risque de rupture fragile est écarté pour les fonds des GV/RA 245 et GV/RA 243 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 (°C),
- Un décalage de RT_{NDT} de 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 ΔRT_{NDT} égal à °C et °C, les calculs montrent que les défauts considérés de mm x mm dans les zones de transitions des tubulures et de mm x mm dans les zones de transition des THP ne présentent pas de risque de rupture fragile pour toutes les situations.

✓ 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, ne présente donc pas de risque de rupture fragile sous chargements de chocs froids en considérant des décalages de RT_{NDT} de et °C et la RT_{NDT} initiale de recette des GV/RA 245 et GV/RA 243 de °C.

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

Les mesures de carbone ont été réalisées sur la surface extérieure des fonds des bols GV (concentration locale maximale de 0,38 % en carbone sur le GV/RA 245) ainsi qu'au niveau des zones de transition des tubulures (concentration locale maximale de 0,30 % en carbone sur le GV/RA 245).

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 245 et GV/RA 243 de Tricastin 2, 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 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 22/23
		D453416089873	

6. REFERENCES

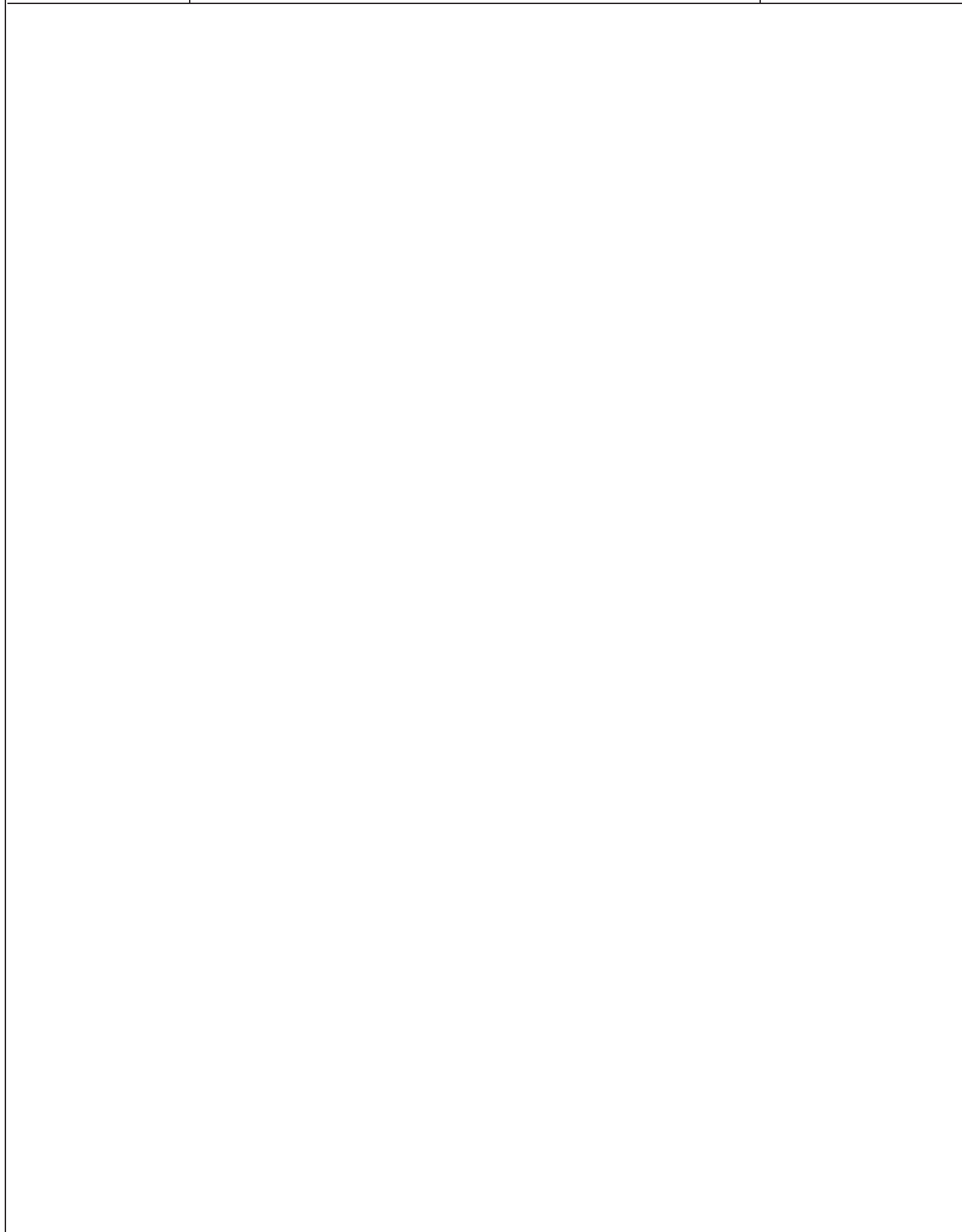
[3] Note AREVA BUCLRA/NGV3084 indice C - « Analyse du risque de rupture fragile des fonds primaires GV/RA de Tricastin 2 ».

[4] Note CMHMTc 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 ET GV2 DE LA TRANCHE 2 DE TRICASTIN - NOTE DE SYNTHESE	Indice 00	Page 23/23
		D453416089873	



QUALITE SURVEILLEE