



SÉGRÉGATION CARBONE

FONDS DES GENERATEURS DE VAPEUR
DU PARC NUCLÉAIRE EN EXPLOITATION

HCTISN du 6/12/2016

Historique du dossier ségrégation carbone des GV du parc

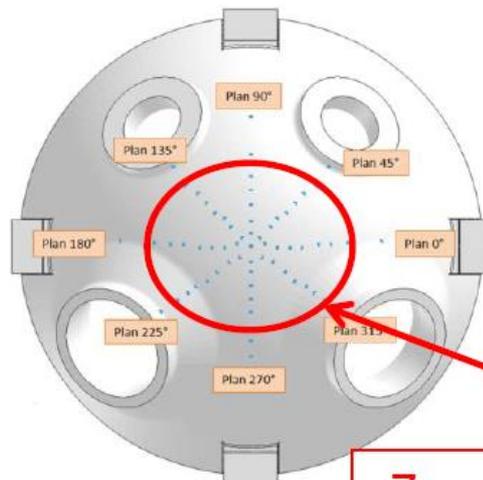
- Septembre 2015 : AREVA et EDF ont communiqué simultanément à l'ASN que leur analyse conduisait à identifier un risque de ségrégation sur 26 fonds de générateurs de vapeur (GV) fabriqués pour AREVA par le forgeron japonais JCFC et présents sur 12 réacteurs du parc.
- Une première analyse simplifiée et avec les hypothèses à date a été produite à l'ASN pour montrer la bonne confiance que les experts d'AREVA et d'EDF dans le domaine pouvaient avoir sur l'exploitabilité de ces GV en toute sûreté.
- Des éléments complémentaires (rapport R&D d'AREVA de 2013 dont EDF a été informé en 2016), ont conduit AREVA et EDF à rajouter les GV avec des fonds fabriqués dans les installations de Creusot Forges (CF) et issus de lingots conventionnels, à la liste des GV potentiellement concernés par le risque de ségrégation majeure positive résiduelle en carbone.

Historique du dossier ségrégation carbone des GV du parc

18 tranches concernées (46 GV)

- 26 GV de fabrication japonaise (JCFC) sur 12 réacteurs (dont 8 avec des GV issus de « gros » lingots) et 20 GV de fabrication française (CF) sur 8 réacteurs
- 2 tranches avec GV CF et JCFC à lingot conventionnel (BUG4 et TRI3)
- En dehors des 4 GV sur CIV1-CIV2, seuls les GV de Remplacement (GVR) sont concernés

Tranche	GV JCFC	GV CF
BLA1		3
BUG4	2	1
CHB1		3
CHB2		3
CIV1	2	
CIV2	2	
DAM2		3
DAM3	2	
DAM4		3
FES1	3	
GRA2	1	
GRA4	3	
SLB1	2	
SLB2		3
TRI1	3	
TRI2	2	
TRI3	1	1
TRI4	3	



Zone potentiellement ségrégée

Méthode engagée pour la démonstration exhaustive de la parfaite intégrité dans toutes les situations d'exploitation normales et incidentelles de ces GV

EDF et AREVA ont engagé des travaux similaires à ceux réalisés pour la cuve de Flamanville 3 :

- la **caractérisation de la zone ségrégée** (taux de ségrégation, extension de la zone, ...) et le **contrôle d'absence de défaut pour chaque GV**, ce qui est réalisé depuis mai 2016 lors de chaque arrêt du réacteur pour rechargement du combustible ;

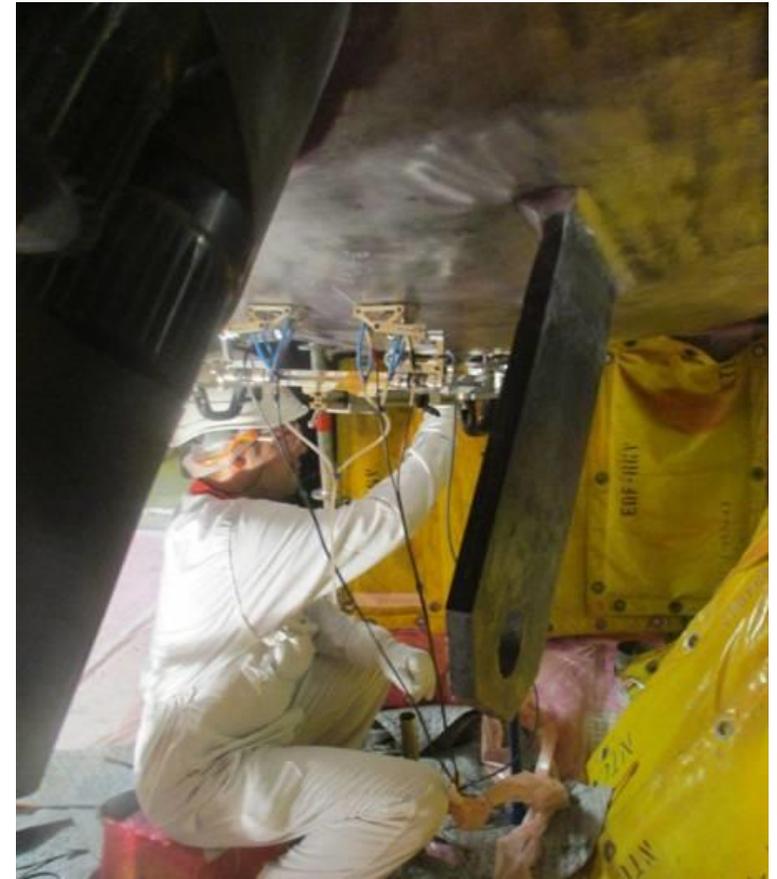
- l'**identification des transitoires les plus pénalisants** et la démonstration de l'**existence de marges** vis-à-vis du risque de rupture brutale **en postulant la présence de potentiels défauts** sur les équipements. Cette démonstration analytique est à produire avant chaque redémarrage de réacteurs et conditionne l'autorisation de redémarrage donnée par l'ASN ;

- la réalisation d'un **programme d'essais sur des pièces sacrificielles** représentatives des pièces présentes sur le parc. Ce programme nécessitera 2 à 3 ans pour être mené à son terme et permettra de retrouver les marges prises par prudence dans les dossiers

Caractérisation de la zone ségrégée : mesure du taux de carbone par spectrométrie



Contrôle d'absence de défauts



Cas des fonds JCFC issus des lingots de 120 tonnes : Analyse des données des Rapports de Fin de Fabrication (RFF)

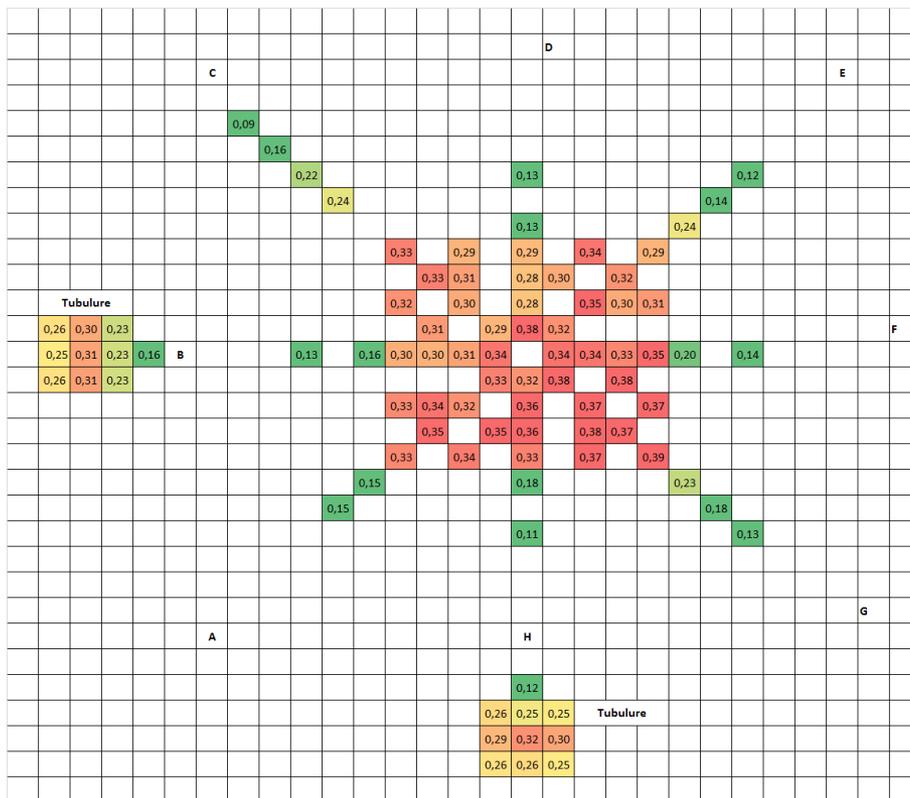
	Mesure côté tête	Mesure côté pied
GV 3 de Tricastin 1 GV/RA n°249	0,29 %	0,17 %
GV 2 de Tricastin 1 GV/RA n°250	0,31 %	0,19 %
GV 1 de Tricastin 1 GV/RA n°251	0,31 %	0,18 %

- Missions AREVA/EDF/JCFC du 29/06 au 02/07 puis du 12/09 au 13/09
- Prise de connaissance lors de la mission de juillet de l'existence d'un méplat en fond des GV issus des lingots 120 tonnes permettant des contrôles

Mesure de carbone sur les fonds JCFC 120 tonnes

Mesures de carbone par spectrométrie : les mesures ont été réalisées sur tous les réacteurs qui se sont arrêtés depuis mai 2016 (10 fonds)

% C moyen	% C max
0,324	0,389



- Les teneurs en carbone maximales mesurées sont supérieures à l'attendu (jusqu'à 0,39%)
- Une campagne de contre-mesures réalisées avec d'autres machines et d'autres opérateurs a confirmé les valeurs obtenues
- La démonstration d'intégrité nécessite de se prononcer sur le comportement mécanique d'une zone ségréguée à 0,4% de carbone et sur la teneur attendue en peau interne

accessibilité : interne EDF, Copyright 2016



Exemple du GV1 de TRI1 (pas de 50mm)

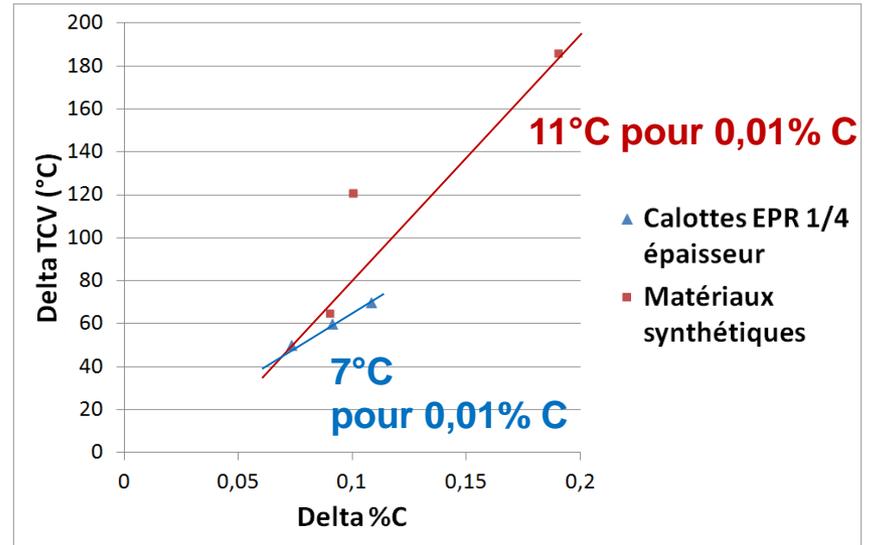
Dossier de justification d'aptitude au service

- ❑ EDF a transmis le 7 octobre 2016 un dossier de justification pour les fonds JCFC 120 tonnes
- ❑ EDF a complété ce dossier le 15 novembre, dans le cadre de l'instruction
- ❑ Le dossier contient :
 - Les propriétés mécaniques enveloppes à retenir pour un acier ségrégué en carbone à hauteur de 0,40%,
 - La description des transitoires thermo-hydrauliques à considérer, de type chocs chauds et chocs froids,
 - La justification des tailles de défauts à retenir pour les analyses mécaniques,
 - Les résultats des analyses mécaniques, selon RCC-M, indiquant les Facteurs de Marge minimaux, en toutes situation, en cohérence avec les mesures d'exploitation mises en œuvre sur les réacteurs concernés.

Estimation des propriétés mécaniques d'une zone ségrégée à 0,39%C

Exploitation des données disponibles :

-L'exploitation des résultats permet d'estimer une cinétique enveloppe d'augmentation de la température de transition de 11 °C pour une augmentation de 0,01% de carbone



Estimation d'un décalage enveloppe :

REX Calotte FA3 : $\Delta T_{CV}=70^{\circ}\text{C}$ pour une teneur égale à 0,29% C

+ augmentation de 11°C pour 0,01% C

$\Delta T_{CV}=180^{\circ}\text{C}$ pour 0,39%C

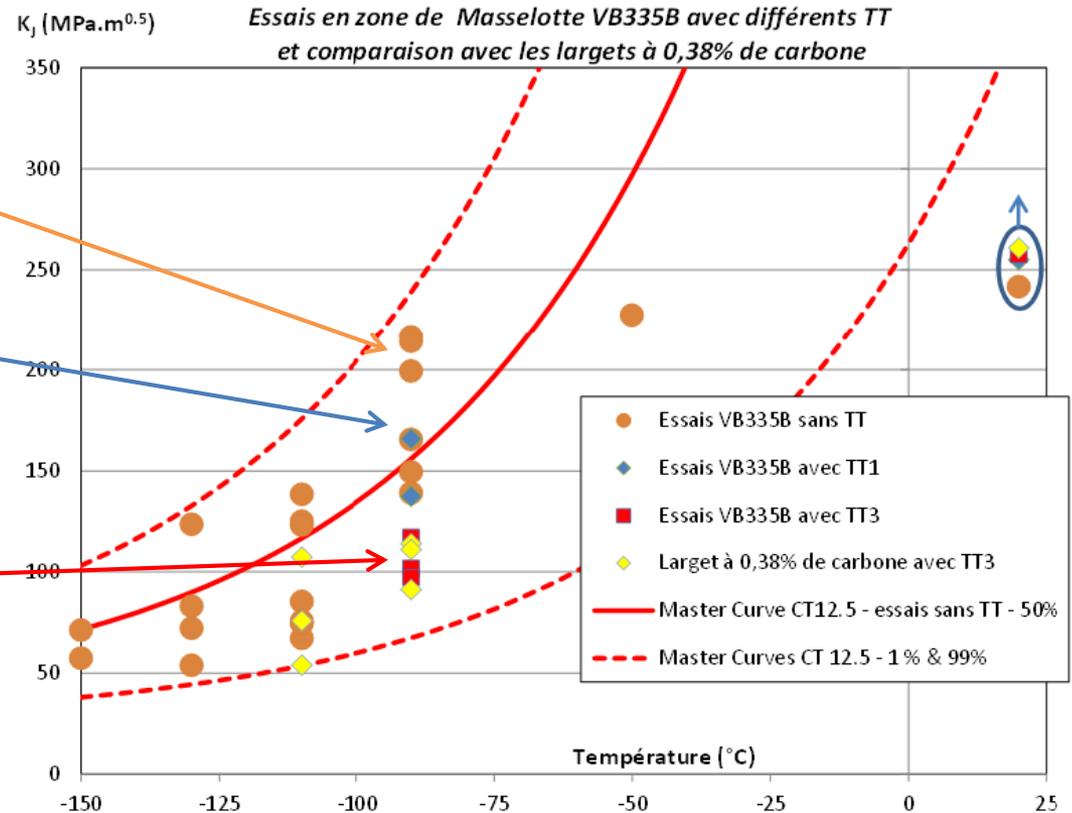
Que dire, au-delà des avis d'experts, d'un acier ségrégré à 0,4% ?

Essais sur deux matériaux ségrégrés à hauteur de 0,38%-0,40% en carbone (masselotte d'un lingot creux de virole et lingotin à chimie contrôlée)

Résultats pour un matériau représentatif de la peau externe

Résultats pour un matériau représentatif du méplat

Résultats pour deux matériaux représentatifs du ¼ épaisseur

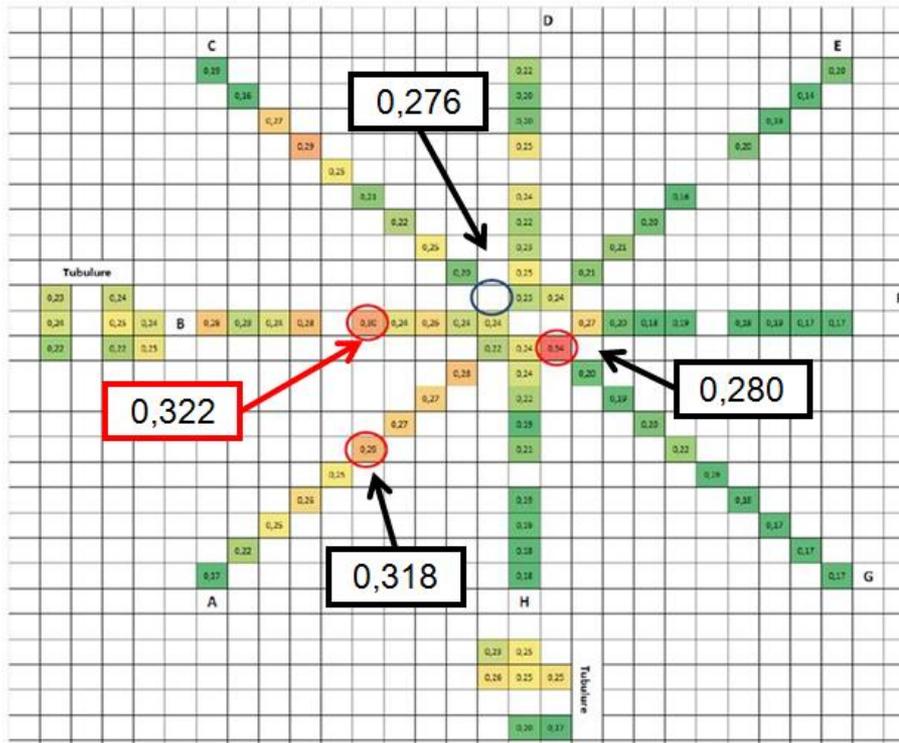


⇒ Diminution de la ténacité dans le domaine de la transition faible au regard du décalage enveloppe de 180°C retenu dans le dossier

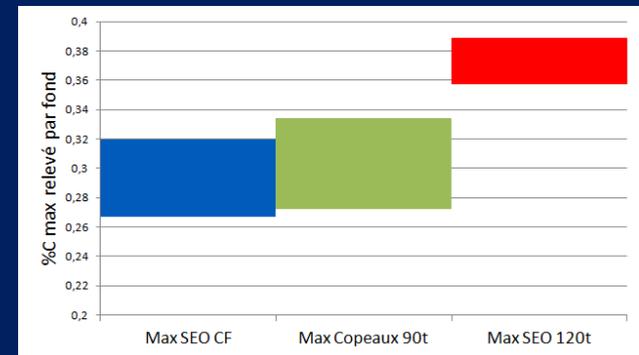
FONDS PRIMAIRES DE FABRICATION JCFC 90 tonnes

☐ Mesures de carbone par spectrométrie et prélèvements de copeaux :

% C moyen	% C max
Non significatif	0,334



→ Les fonds 90t présentent une ségrégation majeure positive légèrement supérieure à celles des fonds Creusot Forge



→ A la demande de l'ASN, la démonstration d'intégrité sera similaire à celle des fonds JCFC issus d'un lingot 120t

Conclusion des analyses chocs chauds - Chocs froids

Analyses mécaniques selon l'approche codifiée du RCC-M :

- Défauts postulés semi-elliptiques débouchant en peau externe ou en peau interne des fonds primaires JCFC des GV RA CPY, de dimensions 5x30 mm et 10x60 mm
- Décalages de RTNDT égaux à 35° et 70°C associés aux RTNDT de recette
- Décalages de 150°C et 200°C en zone centrale pour les chocs chauds, au titre d'une analyse de sensibilité

Absence de risque de rupture fragile :

Les facteurs de marge mécanique obtenus pour ces défauts débouchants et ces hypothèses de propriétés mécaniques, sont supérieurs à 1 en appliquant les coefficients de sécurité codifiés et en toutes situations du domaine de dimensionnement

Opérations de redémarrage des réacteurs et solde des contrôles

Tous les éléments transmis sur ce sujet, y compris les résultats les plus récents sur des matériaux à 0,40% de carbone, confirment les conclusions de notre dossier du 7 octobre sur l'aptitude des Générateurs de vapeur du Parc en exploitation à fonctionner en toute sûreté.

Ceci devrait permettre le démarrage des réacteurs, à l'issue de l'accord de l'ASN.

D'autres enjeux de sûreté se posent lorsque tous les réacteurs d'un site sont à l'arrêt

- Moins de sources de vapeur disponibles pour les besoins des équipements
- Moins de sources électriques internes disponibles pour les équipements
- Fortes activités à impact socio-organisationnel

Pour éviter cela, **EDF souhaiterait le report des contrôles de Tricastin 2 à fin février et de Civaux 1 (JCFC 90 tonnes) à fin mars 2017** (échéance actuelle au 18/01/2017)