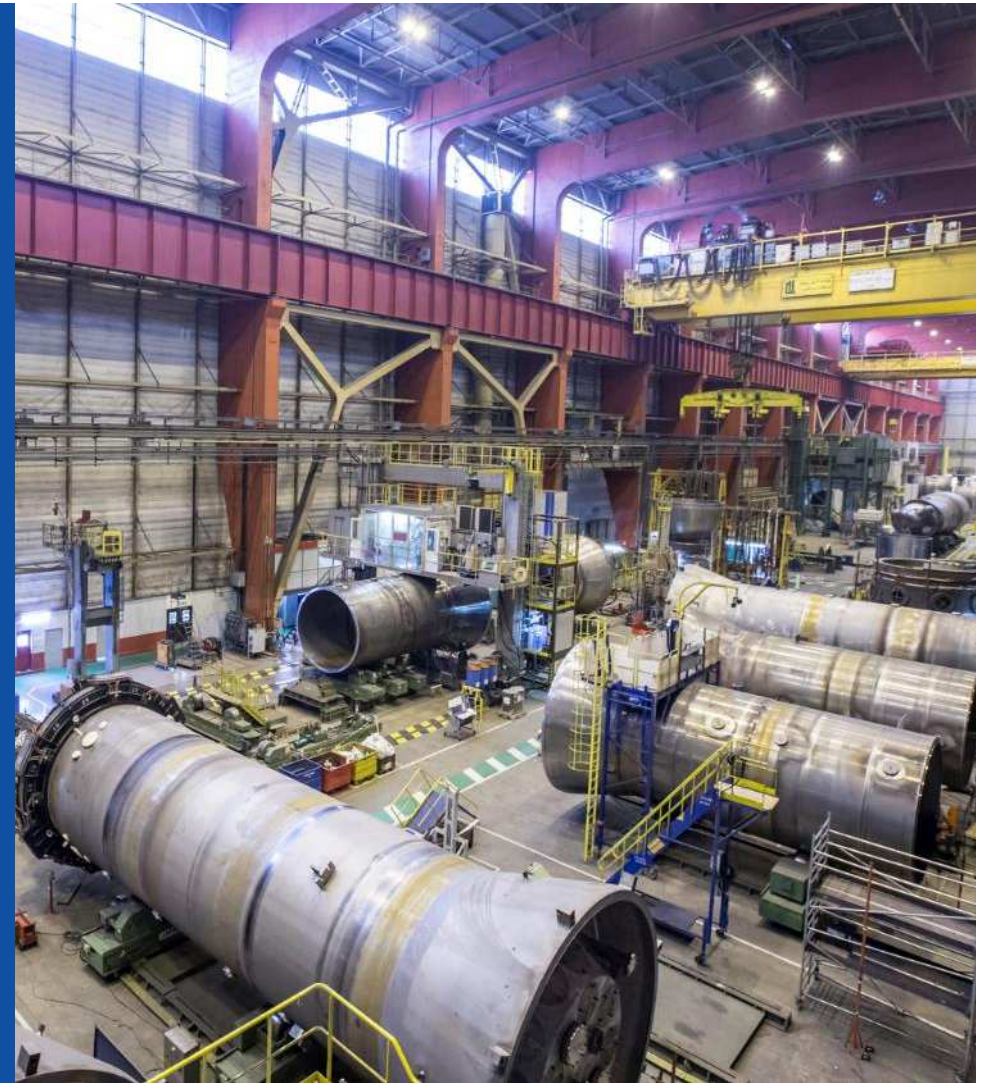


framatome



Traitement Thermique de Détensionnement des soudures de générateurs de vapeur et de pressuriseurs

Session plénière du HCTISN
22 janvier 2020



Sommaire

1. Procédés mis en œuvre et périmètre de l'écart
2. Impacts potentiels de l'écart sur la tenue mécanique des équipements
3. Résultats des analyses mécaniques : démonstration d'intégrité des équipements
4. Programme d'approfondissement de l'analyse et de traitement des écarts
5. Traitement de l'écart et position vis-à-vis de la sûreté

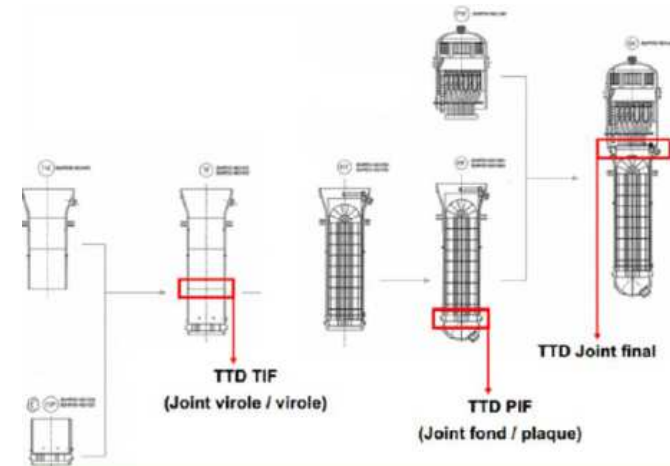
Procédés mis en œuvre et périmètre de l'écart (1/4)

Rôle du TTD

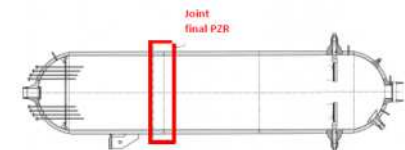
- Les opérations de soudage des aciers faiblement alliés des gros composants nécessitent un traitement thermique de détensionnement (TTD) qui permet de :
 - Réduire le niveau des contraintes résiduelles de soudage
 - Ajuster les propriétés mécaniques dans le métal fondu et la zone affectée thermiquement au soudage et atteindre un bon compromis entre résistance mécanique et ténacité

Conditions de réalisation du TTD

- Lorsque la dimension des composants le permet, les TTD sont réalisés de manière globale dans un four. C'est le cas des cuves, des couvercles de cuve et des sous-ensembles de générateurs de vapeur (GV) et de pressuriseur
- Lorsque la dimension de l'équipement ou du sous-ensemble ne permet pas un traitement en four et/ou à certaines étapes de fabrication, il est nécessaire de procéder à un traitement local. C'est le cas :
 - Des joints virole basse / virole médiane de GV
 - Des joints plaque tubulaire / fond primaire de GV
 - Des joints finaux de GV (virole conique / virole de tubulure)
 - Des joints finaux de pressuriseur



Joints GV concernés par l'écart



Joint pressuriseur concerné par l'écart

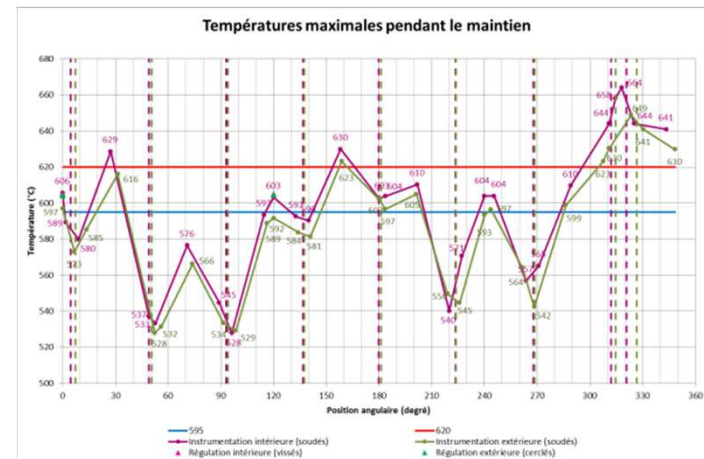
Procédés mis en œuvre et périmètre de l'écart (2/4)

Origine de l'écart

- Plusieurs technologies de TTD ont été utilisées par Areva NP, devenu Framatome, en s'appuyant sur des sociétés spécialisées dans ce domaine
- Juin 2019 - Dans le cadre de l'industrialisation du TTD par induction, des simulations numériques ont été conduites pour comparaison avec la technologie de mouffles équipées de résistance électrique. L'interprétation de ces simulations conduit à identifier une incertitude sur le respect de la plage de température fixée de 595 à 620°C
- Juillet 2019 - Réalisation d'un premier essai exploratoire de TTD pour le procédé de mouffles équipées de résistance électrique sur une maquette échelle 1 par une société prestataire
 - Plage de température de l'ordre de 500 à 700°C
 - Essai invalidé - Montage et mode opératoire non représentatif
- 26 août 2019 - Réalisation d'un deuxième essai avec une maquette échelle 1 par les équipes de Framatome
 - Plage de température : $528^{\circ}\text{C} \leq T \leq 664^{\circ}\text{C}$
 - ⇒ **Confirmation de variation de température en dehors de la plage de température visée**
 - ⇒ **Information de Framatome vers EDF puis vers l'ASN :**
1ère réunion ASN / EDF / Framatome le 4/09/2019



Illustrations du montage pour l'essai n°2



Mesure des températures maximales au palier – Essai n°2

Procédés mis en œuvre et périmètre de l'écart (3/4)

Travaux d'établissement du périmètre de l'écart

- Inventaire et analyse des procédés et modes opératoires des TTD locaux des joints de GV et de pressuriseur
- Consultation des sociétés spécialisées prestataires pour les différentes technologies de TTD mises en œuvre pour ces joints
- Analyse des causes techniques pour identifier les facteurs influençant le non-respect des températures minimum et maximum
- Bornage des procédés de TTD locaux générant des hétérogénéités de température telles qu'identifiées sur les produits Framatome

⇒ La mise en cause de la performance du procédé est associée au premier ordre à la présence de discontinuités de chauffe et de discontinuités d'isolation

⇒ Le procédé de mofles équipées de résistance électrique est le seul mettant en jeu ces deux types de discontinuités

L'écart identifié n°9039238 concerne les procédés identifiés comme concernés par ces causes techniques

- Procédé de TTD local par mofles équipées de résistance électrique mis en œuvre et développé par une société prestataire spécialisé puis internalisé par Framatome à l'usine de St Marcel
- Communication du bornage vers ASN le 17/09/2019

Centrale	TIF (VM/VB)	PIF (FP/PT)	Final
BUG3	RB330, RB331 et RB332		
FES2	RB333, RB334 et RB335	RB333, RB334 et RB335	
BLA3	RP381, RP382 et RP383		RP381
BLA4	RO347, RO348 et RO349	RO348 et RO349	
DAM4			RU287, RU289 et RU290
PAL2			PL203
GRA5	RP384, RP386		

Jointes GV du parc concernés par l'écart

Centrale / Projet	TIF (VM/VB)	PIF (FP/PT)	Final
GRA6	RP385		
GVR RP3	RP387, RP388, RP389		
GVR ND	ND393, ND394, ND395, ND396, ND397, ND398, ND399, ND400, ND414, ND416, ND418, ND419	ND393	
FA3	GN321, GN322, GN323, GN324	GN321, GN322, GN323, GN324	PR/GN075 GN321, GN322, GN323

Jointes des fabrications concernées par l'écart

Procédés mis en œuvre et périmètre de l'écart (4/4)

Consolidation des connaissances des performances des autres procédés de TTD locaux

- Framatome a engagé un programme visant à consolider les connaissances des performances des autres procédés de TTD locaux mis en œuvre sur les équipements fournis par Framatome, en usine et sur chantier dont :
 - Les procédés de TTD des assemblages de GV bi-bloc sur site
 - Les procédés de TTD par résistance céramique
 - Les procédés de TTD par induction
- Ces analyses visent l'ensemble des configurations (dispositions matérielles et modes opératoires) de TTD locaux pour les différentes géométries traitées
- Suite à ces investigations, Framatome a identifié un écart concernant le procédé de TTD par résistance céramique et informé l'ASN par courrier le 20/01/2020

Après les avoir suspendues, Framatome reprend graduellement les opérations de TTD locaux

- Sur instruction d'un dossier adéquat avec l'ASN, nous reprenons graduellement ces opérations pour nos fabrications d'équipements lourds
- Des vérifications sur les TTD locaux de chantier sont également réalisées



Illustration du matériel pour TTD bi-bloc

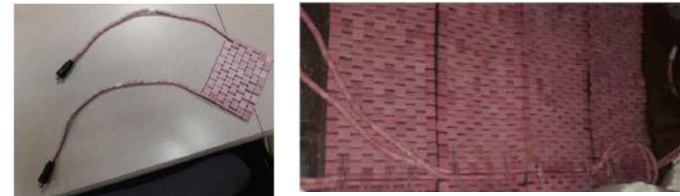


Illustration du matériel pour TTD résistance céramique

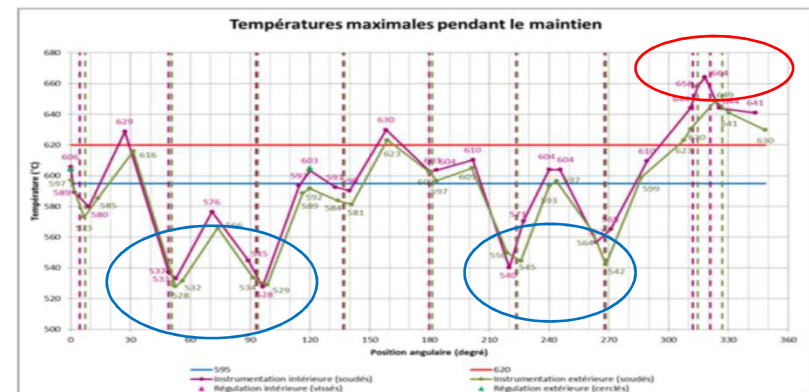


Illustration du matériel pour TTD induction

Impacts potentiels de l'écart

Impacts potentiels d'un TTD à des températures plus élevées ou moins élevées que visées

- TTD à des températures plus élevées que visées
 - Diminution des propriétés de résistance (en traction du matériau) : limite d'élasticité $R_{p0,2}$ et résistance mécanique R_m
 - ⇒ Impact sur la tenue en pression
 - Augmentation de la température de transition fragile/ductile, diminution de la ténacité à froid du matériau
 - ⇒ Impact concernant le dommage de rupture fragile c'est-à-dire la robustesse à la présence d'une fissure potentielle à froid sous sollicitation thermique/mécanique
- TTD à des températures moins élevées que visées
 - Moindre détensionnement (relaxation) des contraintes résiduelles de soudage
 - ⇒ Impact concernant le dommage de rupture fragile, c'est-à-dire la robustesse à la présence d'une fissure potentielle à froid sous sollicitation thermique/mécanique



Températures maximales au palier mesurées pendant l'essai d'Août 2019

Résultat des analyses mécaniques : Démonstration d'intégrité des équipements

Methodologie

- Des températures minimales et maximales ont été considérées, afin d'estimer les conséquences de l'écart (quantification des impacts sur les propriétés des matériaux)
- Avec cette plage de températures, des pénalités enveloppes ont été établies sur les propriétés matériaux
- Les analyses mécaniques ont été réalisées pour vérifier que des marges adéquates avec ces pénalités demeurent vis-à-vis de la tenue des équipements

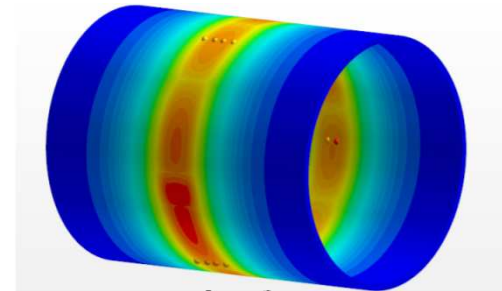
Résultats des analyses mécaniques

- Pour les réacteurs du parc EDF en fonctionnement
 - En situation de TTD à température plus élevée que visée
 - La tenue en pression est démontrée en respectant les coefficients de sécurité visés en conception
 - La tenue en rupture fragile (robustesse à la présence d'une fissure potentielle) est démontrée en respectant les coefficients de sécurité visés en conception
 - En situation de TTD à température plus basse que visée
 - La tenue en rupture fragile (robustesse à la présence d'une fissure potentielle) est démontrée en respectant les coefficients de sécurité visés en conception
- ⇒ Ces analyses permettent de démontrer l'intégrité des équipements pour toutes les situations
- Pour l'EPR FA3, des analyses mécaniques identiques ont été menées en préalable à la phase d'essai à chaud pour démontrer le respect de la tenue des équipements dans ces situations

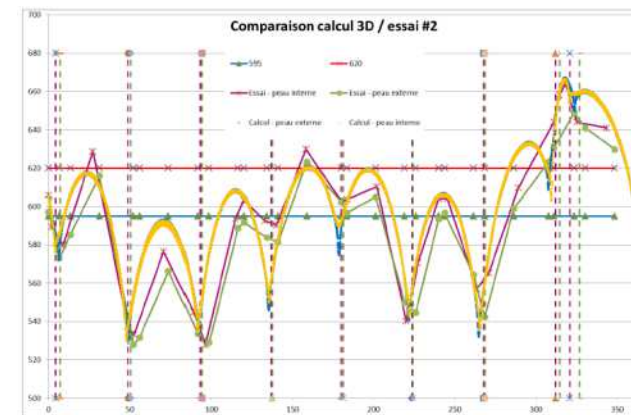
Programme d'approfondissement de l'analyse et de traitement des écarts (1/2)

Au-delà des travaux de consolidation de la connaissance des performances des autres procédés de TTD locaux

- Poursuite des travaux d'analyses thermiques
 - ⇒ Conforter et affiner les hypothèses thermiques et, le cas échéant, **dépénaliser les hypothèses enveloppes préliminaires**
- Réalisation d'un programme approfondi de caractérisation des matériaux
 - ⇒ Caractériser précisément l'impact sur les propriétés matériaux pour différents niveaux de température couvrant la plage de température de l'écart
 - ⇒ Conforter et affiner les hypothèses de pénalités sur les propriétés matériaux et, le cas échéant, **dépénaliser les hypothèses enveloppes préliminaires**



Simulation numérique joint TIF GVR 900 MWe



Comparaison calcul / mesure – essai n°2

Programme d'approfondissement de l'analyse et de traitement des écarts (2/2)

Compléments pour les équipements en cours d'évaluation de conformité

Framatome et EDF sont en relation avec l'ASN concernant la prise en compte de cet écart et ses modalités de traitement pour les composants en cours d'évaluation de conformité

Réalisation de caractérisations supplémentaires

- Essais mécaniques sur les matériaux des équipements concernés
- Mesures (dureté, épaisseurs), et contrôles non destructifs sur les joints concernés

Framatome étudie la faisabilité de remise en état partielle par réalisation d'un programme adapté de TTD

- Une reprise de TTD supprimerait l'impact des températures plus basses que prévu mais ne corrigerait pas l'impact de températures plus élevées que prévu
- La faisabilité d'une telle opération n'est pas acquise, car elle amène des enjeux techniques et industriels complexes
⇒ **Nécessité d'une approche au cas par cas**

Traitement de l'écart et position vis-à-vis de la sûreté

Nature de l'écart et position vis-à-vis de la sûreté

Le non-respect d'une exigence du code de fabrication RCC-M est susceptible de remettre en cause l'intégrité des générateurs de vapeur identifiés de fabrication comme non-ruptibles.

De ce fait, **EDF a dans un premier temps considéré cette situation comme redevable d'un écart de conformité en émergence au titre de l'arrêté INB**, afin de pouvoir caractériser et apporter la démonstration de l'intégrité de chaque équipement, et cela en toute situation de la démonstration de sûreté (position validée lors des CSNE des 6 et 9 septembre 2019).

Les études ont permis de démontrer :

- **l'intégrité des GV 900 MW (GRA5 inclus)** : position validée lors des CSNE des 09 et 17 septembre 2019
- **l'intégrité du GV n° 335 de FES2 (cumulant un défaut de chute)** : position validée lors des CSNE des 11 et 17 septembre 2019
- **l'intégrité du GV n° 203 de PAL2** : position validée lors du CSNE du 19 septembre 2019

Au titre de l'arrêté INB, l'exigence définie d'intégrité des équipements étant respectée, EDF a finalement pu considérer le non-respect de la plage de température lors des TTD comme un écart à l'AIP de fabrication, redevable d'un Evénement Significatif pour la Sûreté selon le critère 8 de la DI 100 avec un classement au niveau 0 en dessous de l'échelle INES. Celui-ci a été déclaré le 15 octobre 2019.

Traitement de l'écart et position vis-à-vis de la sûreté

Traitement de l'écart

Les démonstrations sont complétées lors de chaque arrêt réacteur pour maintenance par un programme de contrôle sur les soudures incriminées des GV.

Ce programme permet de conforter :

- Les données constructeur et les caractéristiques considérées dans le dossier de justification
- La démonstration de l'intégrité des équipements par des contrôles non destructifs

Pour chaque réacteur concerné, les résultats de ces contrôles ainsi que l'ensemble des démonstrations sont regroupés dans un Dossier de Traitement d'Écart nécessaire à la non-objection de l'ASN sur le passage à 110°C, conformément à l'arrêt d'exploitation de 1999.



Traitement de l'écart et position vis-à-vis de la sûreté

Dynamique de traitement et prochaines étapes

- Le RGV de GRA5 a pu reprendre, sous condition de présenter un dossier complété des résultats du programme de contrôle lors du passage à 110°C. L'ASN n'a pas formulé d'objection à la remise en exploitation des GV.
- Le dossier de traitement de l'écart concernant le réacteur de BLA4 a été transmis à l'ASN. L'ASN n'a pas formulé d'objection à la remise en exploitation des GV.
- Le dossier de traitement de l'écart concernant le réacteur de PAL2 a été transmis à l'ASN. L'instruction est en cours dans le cadre de l'arrêt de tranche pour rechargement.
- Un dossier a été transmis à l'ASN pour chaque réacteur impacté par l'écart. Ces dossiers seront complétés par les résultats du programme de contrôle qui sera réalisé lors des arrêts pour rechargement de ces derniers.
- Un rapport de l'ESS a été envoyé fin décembre 2019.
- Un programme de caractérisation a été présenté à l'ASN et se déroulera sur 2020 et 2021. Il doit permettre de minimiser les pénalités retenues pour les démonstrations de l'intégrité des équipements. L'instruction du programme est en cours par l'ASN et l'IRSN, conduisant à de nombreuses questions/réponses.
A son solde, l'ensemble du référentiel documentaire de ces équipements sera mis à jour, ce qui clôturera définitivement l'événement.