



Phénomène de corrosion sous contrainte détecté sur des portions de tuyauteries de circuits auxiliaires du circuit primaire principal de plusieurs réacteurs du parc nucléaire.

Point de situation

Plénière du HCTISN du 18 octobre 2022

Sommaire

1. Avancement de l'instruction du dossier

- Contrôles et expertises /
classement des lignes
- Développement END
- Tenue mécanique des
soudures
- Cinétique de corrosion
sous contrainte

2. Analyse de sûreté

3. Stratégie de traitement

4. Réparations

5. Conclusion

1.1 Contrôles et expertises

EDF a poursuivi un programme intense de dépotes des équipements pour expertiser les soudures, afin de borner les zones affectées par la corrosion sous contrainte et caractériser les soudures porteuses de FSI :

- Opérations réalisées sur 8 réacteurs (CIV1, PEN1, CAT4, FLA2, CHB3, TRI3, FES2, BUG4)
- Opérations en cours sur 4 réacteurs (CHZB1, CIV2, CHZB2, CAT3)
- Au 7/10/2022, 112 expertises réalisées en laboratoire

Une présence de défauts variable selon la conception des réacteurs

Absence de défaut de CSC	Présence de défauts de CSC
RIS FES2, BUG4, CHB3, TRI3 (palier 900 MW) : résultats 2022 qui confirment l'absence de défaut précédemment constatés sur SLB2, BLA2 et BLA3 RIS FLA2 (palier 1300 MW P4)	RIS PEN1, CAT3 (palier 1300 MW P'4) RIS CIV1 et CHZB1 (palier N4) RRA CHB3 (palier 900 MW), défaut initié sur un défaut de soudage RRA CIV1 (palier N4)

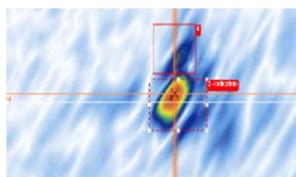
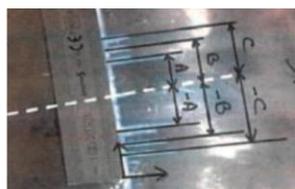
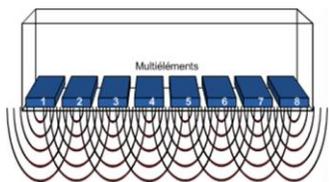
1.1 CLASSEMENT DES LIGNES

Type de lignes	N4	1300- P'4- DPY	1300 - P4 - PQY	CPY	CPO
RIS BF / RIS AQ BF					
RIS BC				Ligne de petit diamètre sur CPY (< 8")	Ligne de petit diamètre sur CPO (< 8")
RRA BF				Pas de ligne de refoulement RRA en BF sur CPY (circuit commun au RIS BF)	Pas de ligne de refoulement RRA en BF sur CPO (circuit commun au RIS BF)
RRA BC					

Nota 1 : Bien que non sensibles, RRA BF et RIS BC du P'4 sont rapportées en vert car des expertises exploratoires y ont été menées.
 Nota 2 : les hauteurs maximales indiquées ont été déterminées sur expertises métallurgiques, excepté sur la soudure A18 RIS BF4 de CIV1 où la hauteur de 6,45 mm a été déterminée avec l'UT amélioré

1.2 Développement du procédé UT amélioré

Principe : des ondes sphériques se propagent dans le matériau à plusieurs distances de la soudure (offsets) et sont analysées afin de mesurer la plus grande longueur et hauteur de défaut.



Ce procédé est développé par EDF.

Les principaux éléments constitutifs d'une chaîne « UT améliorés » sont :

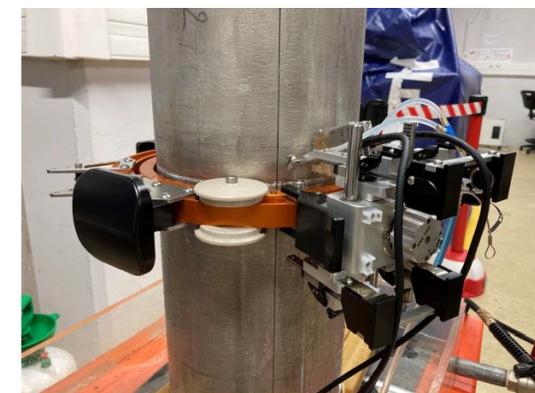
- 1/ Un poste UT dit « avancés » qui permet l'enregistrement, le traitement et la relecture de signaux UT grâce un logiciel spécifique
- 2/ d'un moyen mécanisé actionné manuellement par le contrôleur (appelé « cerce ») ou automatisé via un robot (appelé « porteur ») qui assure le déplacement de la solution UT sur la zone à contrôler
- 3/ un traducteur (ou capteur) UT qui assure l'examen de la zone à contrôler équipé d'un sabot qui permet son adaptation au bon diamètre. Pour cette application, 2 fréquences sont utilisées : 2Mhz et 4 MHz

Démarche de performances basée sur la corrélation entre défauts réels expertisés en laboratoire et mesures de hauteur réalisées en UT (plus de 50 fissures ainsi comparées).

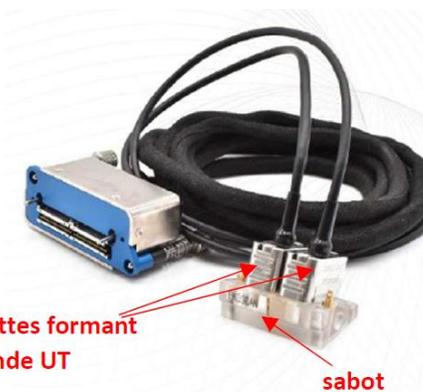
Les performances actuelles sont : un biais de mesure de 0,1 mm de sous-dimensionnement et une incertitude à 2σ de 1 mm sur le mesure de hauteur.



Poste UT avancés



Porteur



2 barrettes formant une sonde UT

sabot

Sonde ultrasonore équipée de son sabot

1.3 Industrialisation du procédé UT amélioré

Organisation développement / acquisitions / analyses :

Le procédé est actuellement déployé en mode « expertise » sur la fin 2022 par 4 sociétés différentes avec surveillance EDF.

Le premier objectif est d'augmenter le nombre d'intervenants formés et qualifiés sur ce procédé (formation théorique, une pratique et un examen qualifiant) :

perspectives fin d'année : plus de 60 intervenants prestataires auront finalisé ce parcours sur les 80 engagés

Le périmètre de responsabilité de l'intervenant site se limite à une validation qualité des acquisitions des fichiers (périmètre des formations). L'analyse est portée par EDF qui émet les rapports d'examen et d'expertise associés.

Le second objectif est aussi d'assurer le compagnonnage du tissu industriel en vue de le rendre autonome sur la partie analyse.

EDF intègre le REX opérationnel des interventions pour faire évoluer le procédé en vue d'une industrialisation 01/2023.

Matériel disponible :

A date, EDF dispose de 20 chaînes : 16 dédiées aux interventions sur site, 2 dédiées au développement/amélioration du procédé suite au REX terrain, 2 pour la formation et l'évaluation des intervenants.

1.4 Tenue mécanique des soudures

- Hauteur du défaut critique : hauteur déterminée par une approche codifiée en deçà de laquelle la tenue mécanique de la soudure est assurée pour tous les transitoires d'exploitation, courante, incidentelle ou accidentelle.
- Analyse de 91 soudures sur les systèmes RIS et RRA de tous les paliers.
- Prise en compte d'hypothèses conservatives :
 - Défaut simulé présent sur toute la circonférence de la tuyauterie
 - Lois de comportement des matériaux pénalisantes
- Le programme de calculs mécaniques est pratiquement terminé, en support à la stratégie de maintenance.
- **A date, tous les défauts expertisés en laboratoire et issus des examens non destructifs sont justifiés par une analyse à la rupture brutale sur un défaut axisymétrique en approche réglementaire.**
- **Poursuite des échanges techniques avec l'ASN et l'IRSN pour valider l'ensemble des hypothèses associées à ces résultats.**

1.5 Connaissances sur la cinétique du phénomène

L'ensemble des éléments disponibles à date :

- REX international (représentatif, mais en incluant tout de même le cas non représentatif des REB)
- Données expérimentales de CSC (nationales et internationales)
- Simulations numériques et études de sensibilité
- Données et études de la chimie primaire montrant une faible teneur en O₂ résiduel
- Résultats des expertises

met en évidence :

- Un amorçage de la CSC relativement précoce (plutôt < 10 ans)
- Combiné à des cinétiques de propagation < 0,5 mm/an pour les températures et chargements mécaniques enveloppe des BF

En perspective :

- Un programme d'essais de CSC complémentaire est en cours de définition pour compléter la connaissance et la quantification de la CSC dans des conditions très faiblement oxygénées (entre 5 et 200 ppb) susceptibles de se produire très ponctuellement et pour lesquelles aucune donnée expérimentale n'est disponible.
- Un programme de caractérisation plus poussée des oxydes dans les fissures expertisées

2. Analyse de sûreté

- Résultats des calculs mécaniques qui couvrent les cas expertisés (N4 RIS BF / RRA BC, P'4 RIS BF, P4 RIS/BF, CPY RRA BC) en approche codifiée
- Stabilité démontrée d'un défaut traversant et d'étendue 45° sur RIS BF 1300 (DPY)
- Critères de sûreté respectés pour la rupture doublement débattue de deux lignes RIS BF 1300, CPY, BUG et N4 selon une approche réaliste
 - Pas d'aménagement de mesures de conduite pour la phase long terme identifié.
 - Démarche similaire en cours pour des ruptures sur RRA.
- Mesures compensatoires tranche en fonctionnement mises en place par une disposition transitoire
 - anticiper la détection d'un défaut
 - réduire les impacts d'exploitation du type transitoire thermique

Sur la base des résultats d'expertise disponibles, la sûreté des réacteurs est assurée

Déclaration d'un évènement significatif sûreté générique pour le N4 et le 1300 P'4

3. Stratégie de traitement : END avec UT amélioré

Le nouveau procédé d'examen non destructif, l'UT amélioré, a été mis en œuvre en mode « expertise » depuis juillet 2022.

EDF a initié son programme de contrôles non destructifs avec l'UT amélioré pour borner les zones affectées par la corrosion sous contrainte et caractériser les soudures porteuses de FSI :

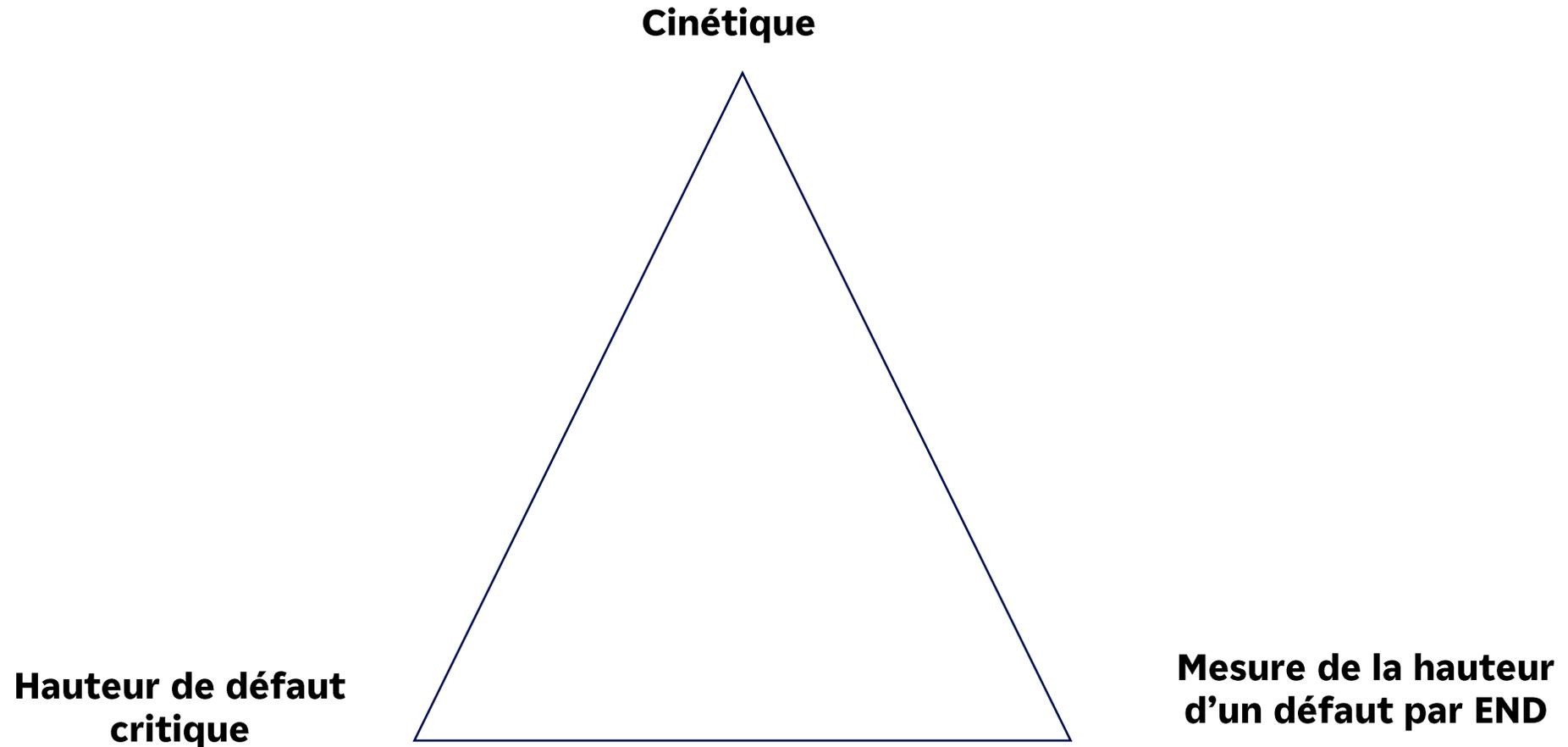
- Opérations réalisées sur 2 réacteurs : DAM2 (VD4 900), GRA3 (VD4 900)
- Opérations engagées sur 2 réacteurs : CAT1 (FSI), PEN2 (premier contrôle)
- Opérations à venir sur 3 autres réacteurs : FLA1 (FSI), GOL1 (VD3 1300, premier contrôle), BLA1 (VD4 900)

Examens avec l'UT amélioré - état au 07/10/22

	RIS BF	RIS BC	RRA BC
CIV1	5 (*)		2
CIV2	5		
CHZB1	1		
CHZB2			
PEN1	3	4	
CAT1	5		
CAT3	5		
FLA2	9		
BUG3	1		
CHB3			2
TRI3			1
DAM2			2
GRA3			2
TOTAL	34	4	9

Total d'examens réalisés avec UT amélioré > 45

3. Stratégie de traitement : future stratégie de maintenance



3. Stratégie de traitement : examens non destructifs avec l'UT amélioré à compter de janvier 2023, dans le cadre de la future stratégie de maintenance

- **Contrôles sur les lignes sensibles, dans la zone d'intérêt, avec l'UT amélioré**

- **Intégration des soudures réparées dans la liste des soudures à contrôler**

- **Point 0 à partir du 01/01/2023**

- 900 : première mise en œuvre sur VP/VD
- P4 : première mise en œuvre sur VP/VD
- P'4 : première mise en œuvre sur ASR/VP/VD

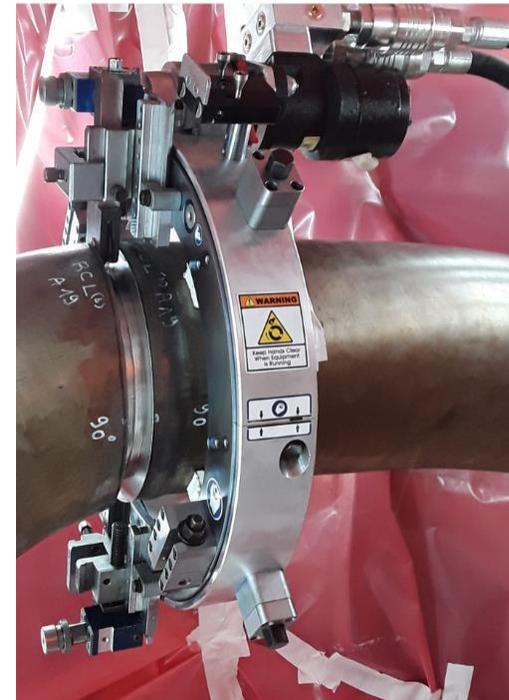
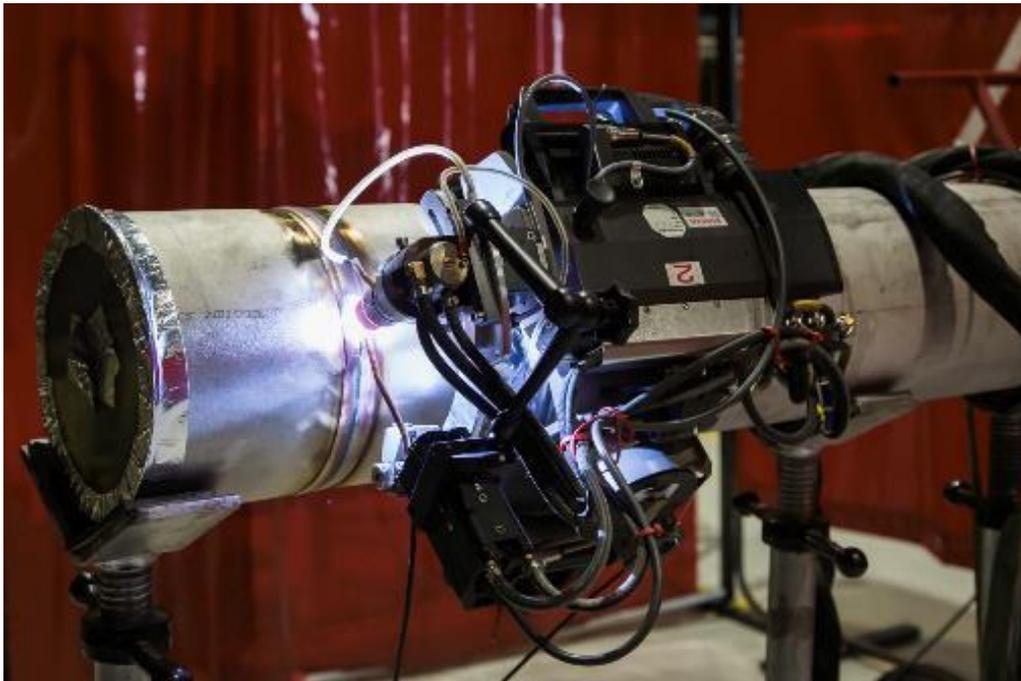
Nota : N4 : définition de la périodicité de contrôle des soudures réparées dans la future stratégie de maintenance

4. Réparations

- Un programme de remplacement largement engagé :

- Opérations de remplacement soldées à TRI3, CHB3, BUG4, CAT4, CIV1
- Opérations de remplacement en cours à CIV2, CHZB1, CHZB2, PEN1, FLA2, CAT3

- **Utilisation de procédés de soudage qualifiés et maîtrisés par les industriels**, avec optimisation de certains paramètres pour réduire la sensibilité des soudures à la corrosion sous contrainte



5. Conclusion

Le plan d'actions se déroule comme attendu : développement de l'UT amélioré, détermination des hauteurs de défaut critique, cinétique de corrosion sous contrainte.

Des instructions techniques nourries et en échange permanent avec l'ASN et l'IRSN.

Les expertises et analyses réalisées permettent, dans l'état actuel de nos connaissances, de classer les lignes selon leur sensibilité au risque d'apparition de défauts de corrosion sous contrainte :

- Lignes fortement sensibles : N4 RIS BF
- Lignes sensibles : N4 RRA aspiration, P'4 RIS BF
- Lignes peu sensibles : P4 RIS BF, CPY RRA aspiration
- Lignes non sensibles : CPY RIS BF, BUG RIS BF et RRA aspiration, P4 RRA (BC et BF), P'4 RRA (BC et BF)

Confirmation du bon état de sûreté des tranches :

- Résultats des calculs mécaniques qui couvrent les cas expertisés
- Mesures compensatoires tranche en fonctionnement mises en place
- Critères de sûreté APRP GB respectés pour la rupture doublement débattue de deux lignes RIS BF 1300 selon une approche réaliste

Une stratégie de traitement jugée « appropriée » par l'ASN (position de juillet 2022)

Des opérations de remplacement des lignes, qui sont pour certaines terminées et réussies (5 réacteurs).

Mise en œuvre de la nouvelle stratégie de maintenance (zones à contrôler, UT amélioré) qui doit être présentée à l'ASN en novembre 2022, en vue d'une mise en œuvre à partir du 01/01/23.



Merci



ANNEXE – Volumétrie de quelques activités réalisées pour le projet CSC – état des lieux au 15/09/22

