



Phénomène de CSC

détecté sur des portions de tuyauteries de circuits auxiliaires du circuit primaire principal de plusieurs réacteurs nucléaires

HCTISN du 07/06/2022



SOMMAIRE

1. CONNAISSANCES THEORIQUES & COMPREHENSION
2. AVANCEMENT DU PLAN D' ACTIONS :
 - CONTRÔLES ET EXPERTISES
 - COMPREHENSION ET BORNAGE
 - DEVELOPPEMENT END
3. ANALYSE DE SÛRETÉ
4. RÉPARATIONS
5. CONCLUSIONS

Défauts de CSC – HCTISN du 07/06/2022

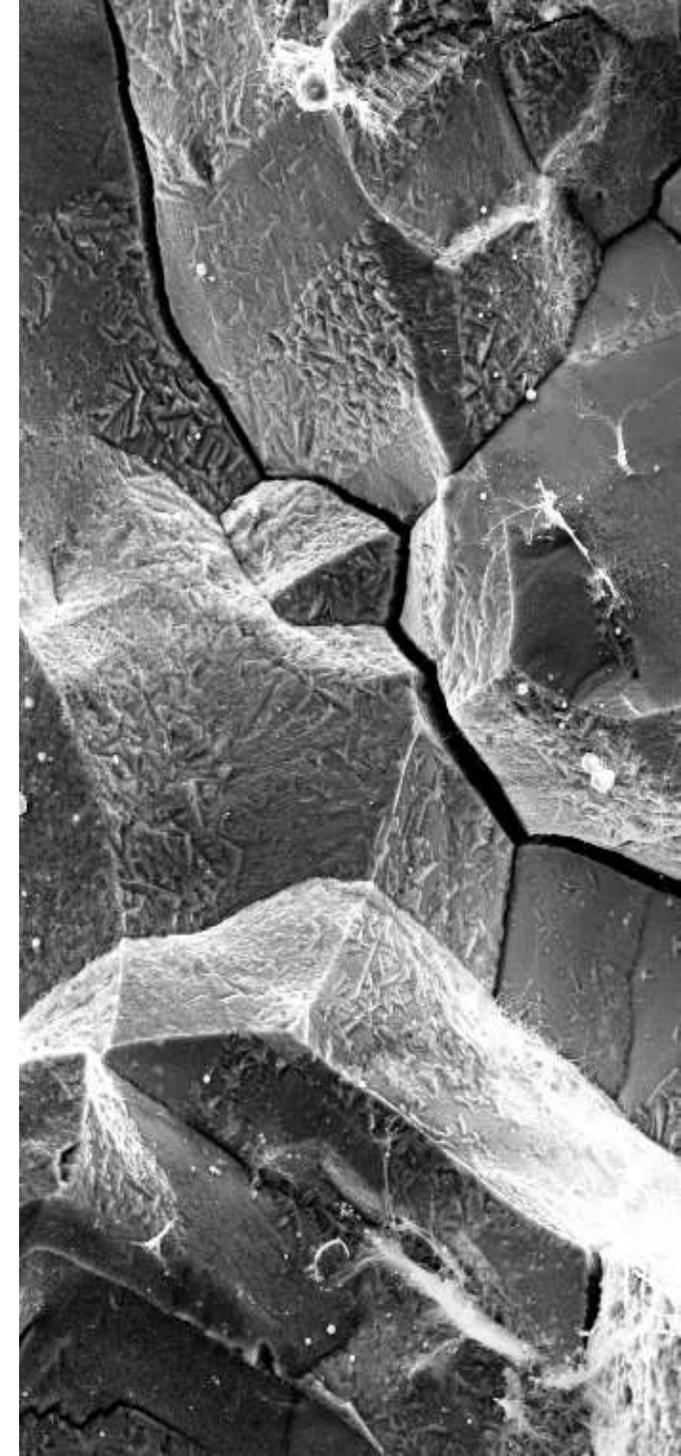


1. CONNAISSANCES THÉORIQUES ET COMPRÉHENSION

Rappel sur la corrosion dans les réacteurs à eau sous pression

Mécanismes principaux :

- La corrosion localisée
- La fatigue
- La corrosion sous contrainte
- La corrosion érosion



1. CONNAISSANCES THÉORIQUES ET COMPRÉHENSION

Rappel sur les Matériaux

Aciers inoxydables

- ferritique : fer-chrome, carbone < 0,1 %
- martensitique : fer-chrome, carbone > 0,1 % (aptés à la trempe)
- duplex : fer-chrome-nickel, structure mixte austénitique-ferritique
- austénitique : fer-chrome-nickel, carbone < 0,1 %

Apporte la résistance à la corrosion

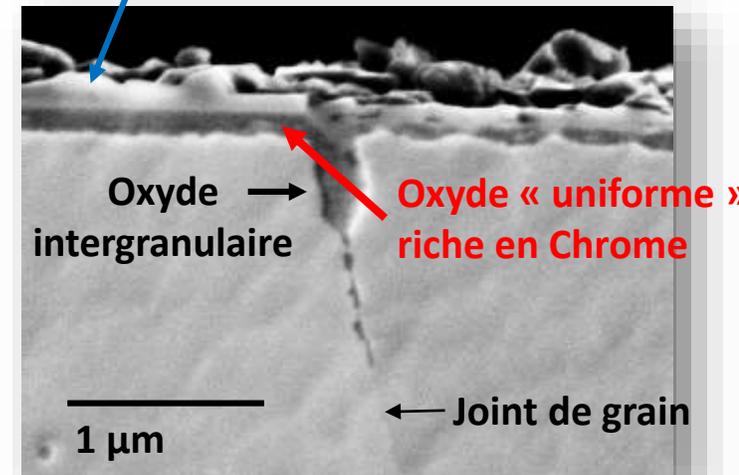
Ductibilité

Dureté

Resistance supplémentaire à la corrosion en conditions extrêmes

	304 L ^{« low » carbon}	316 L
Chrome	17,5 - 19,5 %	16 - 18 %
Nickel	8 - 12 %	10 - 14 %
Carbone	< 0,03 %	< 0,03 %
Molybdène	-	2 - 3 %

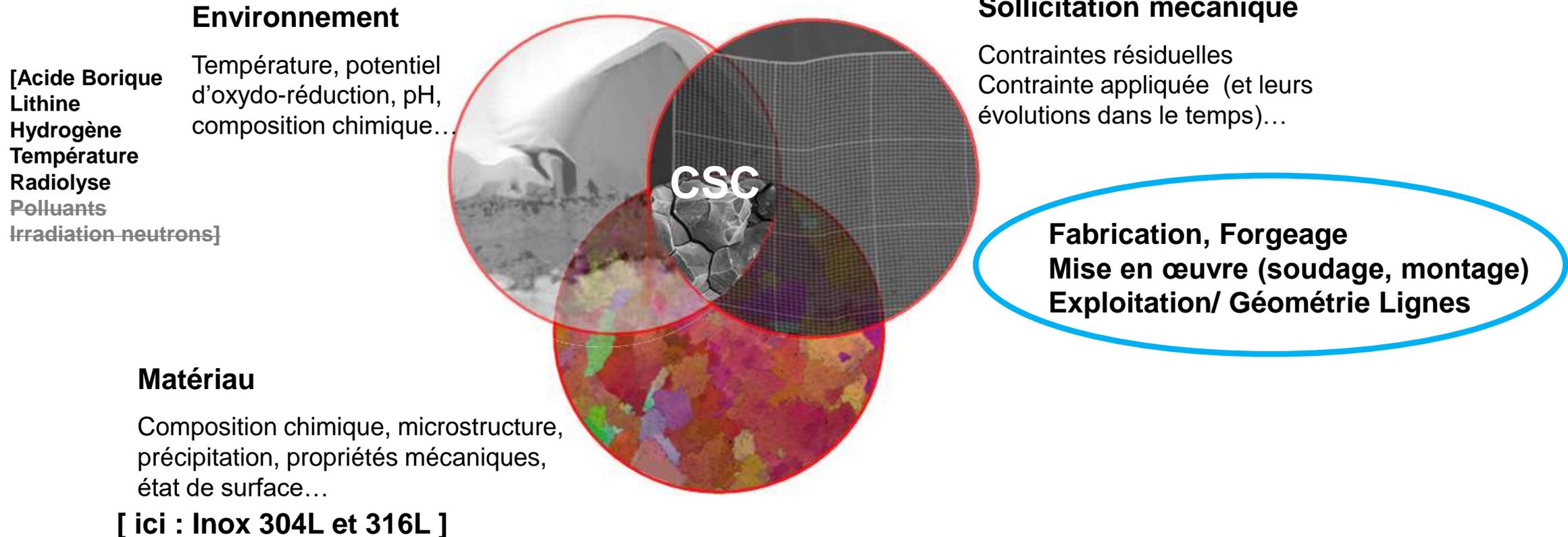
Oxyde externe riche en Fe et Ni



Couche passive riche en Cr :
Cr s'oxyde (Cr_2O_3) beaucoup plus facilement que Fe et Ni, Cr est très peu soluble

CSC DES ALLIAGES AUSTÉNITIQUES DU CIRCUIT PRIMAIRE DES REP : DÉFINITION

La corrosion sous contrainte (CSC) est une fissuration progressive qui résulte d'une interaction locale ($< 1 \mu\text{m}^3$) entre matériau, environnement et sollicitation mécanique à plus grande échelle



→ LA CSC REPOSE SUR DES INTERACTIONS COMPLEXES

→ LES PARAMÈTRES INFLUENTS PEUVENT ÉVOLUER AU COURS DU TEMPS

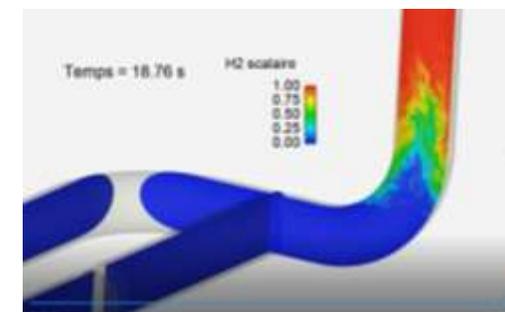
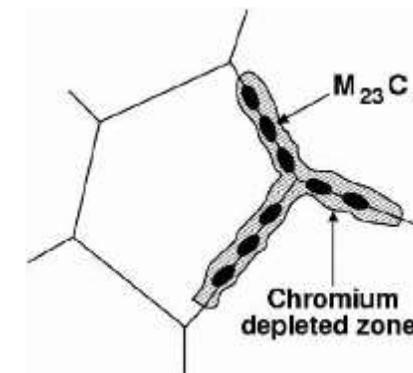
CSC : CONNAISSANCES THÉORIQUES

Perception sur les contributions, à T0 + 6 mois

	Contribution probable à l'apparition de CSC	Commentaires
Composition Coulée	+	Matériaux peu sensibles mais pas insensibles
Etat de surface	- / + / ++	Etat final de soudage
Température	++	>120°C
Polluants	non	Pas détectés
Oxygène	non	Spec OK
Hydrogène (redox, radiolyse)	possible	Spec OK mais stratification
Fabrication Forgeage	/	
Soudage	+	Nb de passes/énergie, largeur du chanfrein
Montage	0 / +	
Contraintes en service	++ / +++	

→ APPROFONDIR LES VÉRIFICATIONS :

- Sur le risque d'appauvrissement en Cr aux joints de grains (sensibilisation) : teneur en C, Nb, Ti, traitements thermiques effectués.
- De la diffusion réelle de l'hydrogène (conséquences sur le potentiel d'oxydo-réduction) dans les cas de stratification (vortex et convection naturelle, bras mort)



2. CONTRÔLES ET EXPERTISES

EDF a engagé un exceptionnel programme de découpe des équipements pour expertiser les soudures déposées, afin de délimiter les zones affectées par la corrosion sous contrainte et caractériser les soudures porteuses de FSI.

Cela concerne 12 réacteurs, actuellement à l'arrêt.

Pour 2022, seront contrôlés :

- dans le cadre de leur programme de maintenance des visites décennales, les réacteurs suivants du palier 900 MW : Tricastin 3, Gravelines 3, Dampierre 2, Blayais 1 et Saint Laurent B2 ;
- concernant le palier 1300 MW, des expertises métallurgiques approfondies vont être réalisées sur les réacteurs de Cattenom 3 et 4, Flamanville 1 et 2, Golfech 1. Celles engagées sur Penly 1 se poursuivront, afin de disposer de données suffisantes pour caractériser précisément le phénomène sur ce palier.

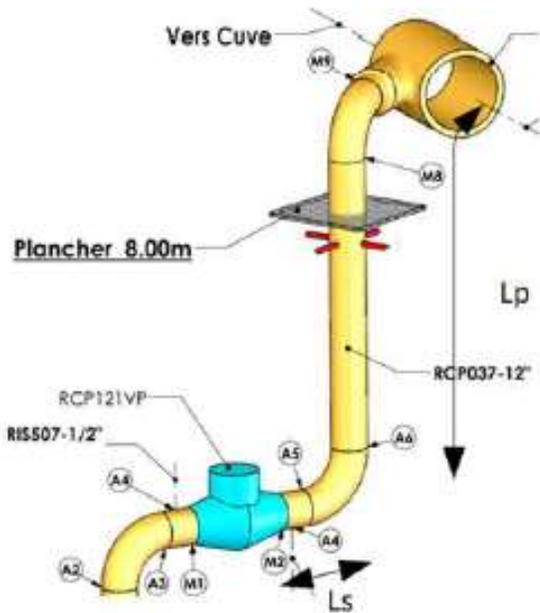
Près de 40 soudures expertisées en laboratoire à date, environ 100 supplémentaires à venir d'ici début juillet 2022

Une présence de défauts variable selon la conception des réacteurs

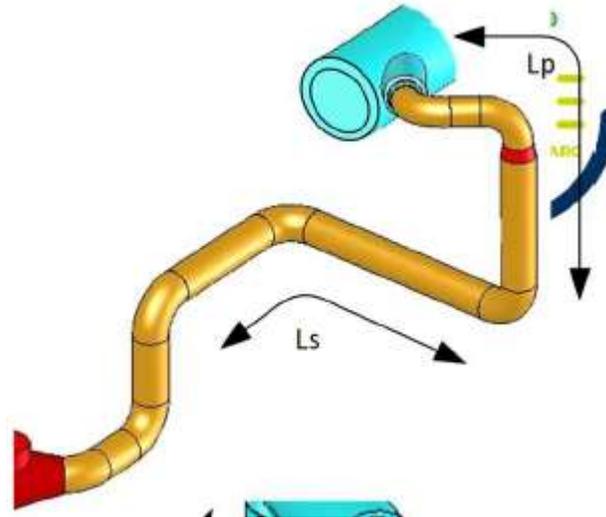
2. COMPRÉHENSION – BORNAGE : CONNAISSANCES ACTUELLES

Zones concernées : abords d'une soudure située à une position sur la ligne où la température est supérieure à 100°C

Effet de la géométrie des lignes (longueur de pénétration du vortex et longueur de stratification) sur la sensibilité à la CSC :
 $N4 > P'4 > P4 > 900 \text{ MW}$

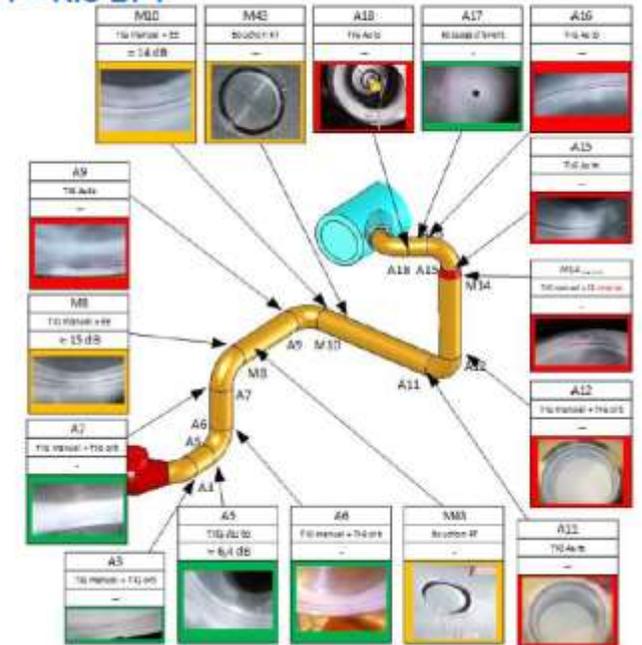


RIS BF 900



RIS BF N4

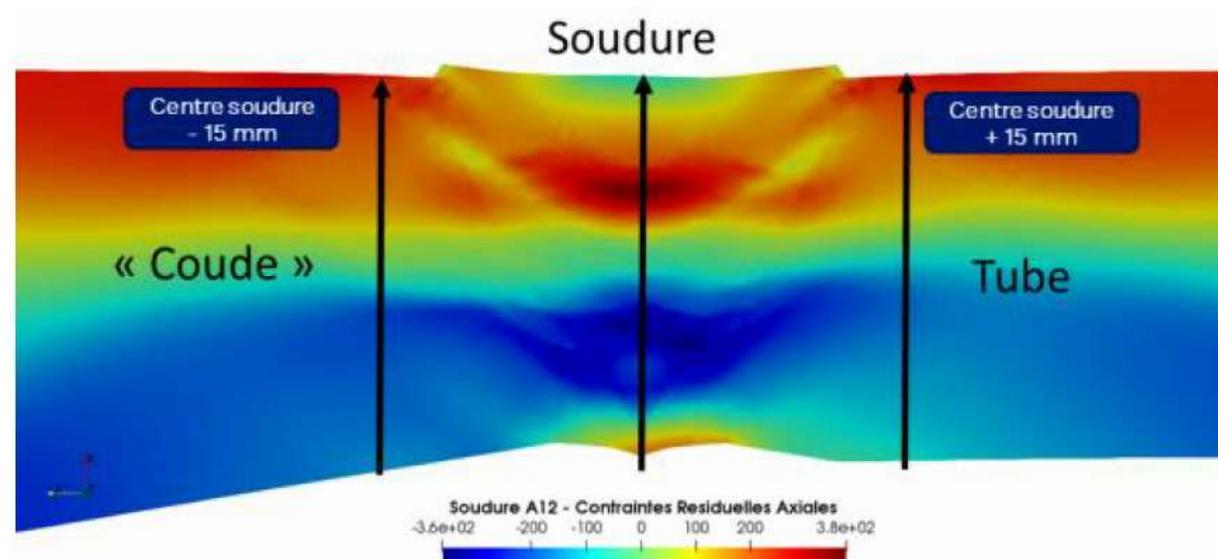
EXPERTISES CIV1 – RIS BF4



2. COMPRÉHENSION – BORNAGE : CONNAISSANCES ACTUELLES

Le soudage est un contributeur à la sensibilité car il génère une zone de compression favorable vis-à-vis de la propagation de la CSC (résultats de simulations de plusieurs soudures), y compris pour une soudure réparée.

Le type de soudure n'est pas un paramètre de premier ordre puisque, sur les circuits affectés, tous les types de soudures présentent des défauts. Les procédés automatisés semblent conduire à des fissurations plus importantes.



- PAS DE POLLUANT IDENTIFIÉ DANS LES SOUDURES EXPERTISÉES
- COMPOSITION DES MATÉRIAUX CONFORME AUX SPÉCIFICATIONS

2. EXAMENS NON DESTRUCTIFS – ÉTAT DES LIEUX ET PERSPECTIVES

END historique :

- Procédé qualifié, utilisé pour le suivi de la fatigue thermique
- Capacités à détecter des défauts de corrosion sous contrainte (CIV1, PEN1, FSI P3 de CHB3)

END amélioré :

- Détection et caractérisation du défaut (profondeur)
- Des premiers résultats encourageants
- Poursuite des développements vers une mise en œuvre industrielle

3. ANALYSE DE SÛRETÉ DES TRANCHES

Résultats des calculs mécaniques qui couvrent les cas expertisés (N4 RIS BF / RRA BC, P'4 RIS BF, CPY RRA) en approche codifiée ou en approche réaliste.

Mesures compensatoires tranche en fonctionnement mises en place depuis le 01/04/22, selon une approche conservative, pour :

- anticiper la détection d'un défaut
- réduire les impacts d'exploitation du type transitoire thermique

Réalisation d'une analyse de sûreté, complétée de calculs, sur la capacité à arrêter les réacteurs en toute sûreté, y compris dans le cas pénalisant de la perte de 2 des 4 lignes des circuits de sécurité.

4. RÉPARATIONS

- Préparation des opérations de réparation des portions de ligne affectées par la corrosion sous contrainte.
- La préparation des chantiers sur les réacteurs concernés est lancée, les premiers dossiers de réparation ont été présentés à l'ASN, en vue de leur instruction.
- EDF a lancé les approvisionnements en tubes et coudes avec des aciéristes européens. Les cadences de production ont été optimisées pour livrer les premières pièces de rechange avant l'été.
- L'ensemble des fournisseurs qualifiés pour réaliser ces activités prépare dès maintenant les interventions.
- Des dizaines de soudeurs ont bénéficié de formations et d'entraînements spécifiques afin de garantir une haute qualité de réalisation.

5. CONCLUSIONS

12 réacteurs (4 du palier N4, PEN1 et GOL1, 6 réacteurs porteurs des FSI) sont à l'arrêt, pour expertise et traitement.

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
- Réalisation d'une analyse de sûreté, complétée de calculs, sur la capacité à arrêter les réacteurs en toute sûreté, y compris dans le cas pénalisant de la perte de 2 des 4 lignes des circuits de sécurité

Début du bornage et d'explications de l'origine de la CSC

- Un impact de la conception de la ligne, complété par l'écroûissage local induit par le soudage
- Un premier classement de la sensibilité des conceptions de lignes qui va être consolidé avec les expertises en cours

Poursuite du programme d'expertise avec des données complémentaires attendues pour début juillet 2022

Poursuite du développement d'un examen non destructif (END amélioré) pour détecter et caractériser des défauts de corrosion sous contrainte (taille des indications)

Lancement des opérations de réparation des lignes



Merci