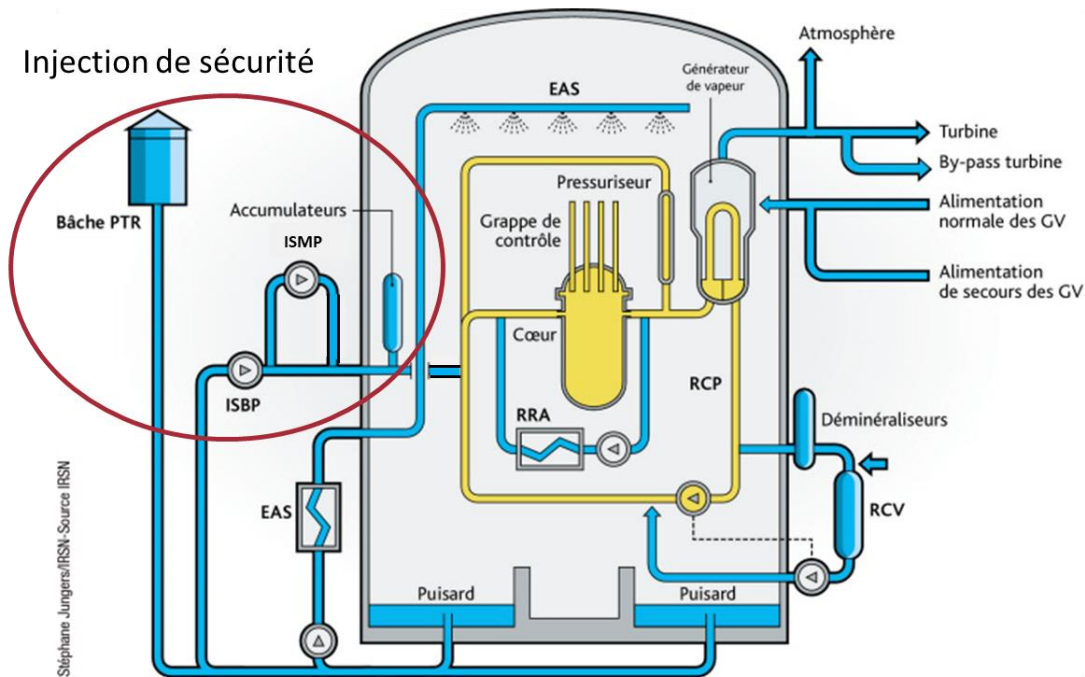


ENDOMMAGEMENT PAR CORROSION SOUS CONTRAINTE DE TUYAUTERIES CONNECTÉES AU CIRCUIT PRIMAIRE PRINCIPAL DES REP

EXPERTISES EN COURS

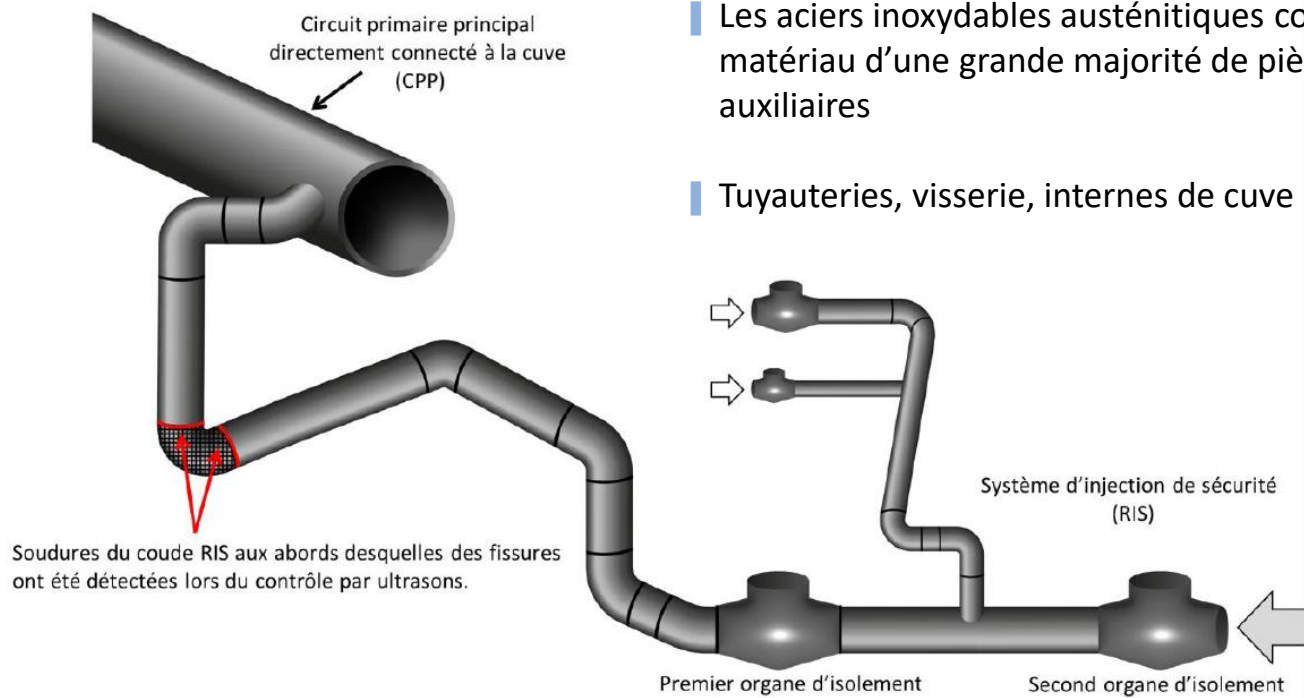
Les circuits concernés



Sur les réacteurs N4 (Chooz B) il y a :

- 4 lignes connectées aux 4 branches froides du circuit primaire avec :
 - une injection « moyenne pression »
 - des accumulateurs « passifs »
 - une injection « basse pression »
- 2 lignes connectées à 2 des branches chaudes du circuit primaire
- le système est réparti en deux « trains » de sauvegarde indépendants (pompes, alimentation électrique secourue...)
- la démonstration de sûreté est faite en supposant un train perdu (aggravant unique)

Premières fissures détectées sur la portion de tuyauteries en aval de l'organe d'isolement : risque de brèche primaire



Les aciers inoxydables austénitiques constituent le matériau d'une grande majorité de pièces du CPP et des auxiliaires

Tuyauteries, visserie, internes de cuve

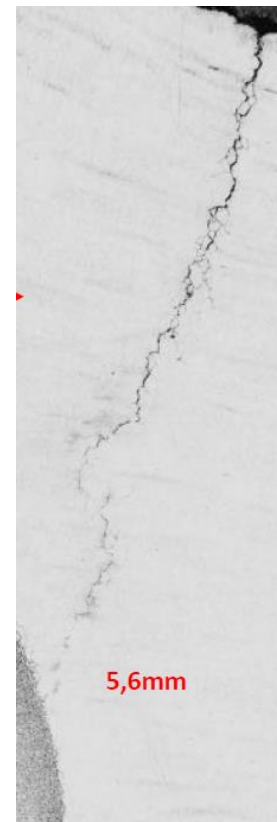
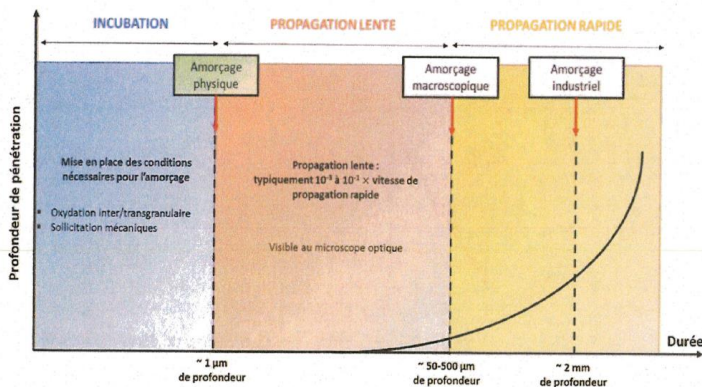
Ligne d'injection de sécurité en branche froide sur le N4

La fissuration par corrosion sous contrainte

- Phénomène connu, répandu dans l'industrie conventionnel, mais qui reste relativement rare dans les réacteurs de type REP (~150 cas recensés entre 1983 et 2022)
- Des fissures apparaissant après une période d'incubation, non détectables avant, puis qui se propagent à une vitesse variable
- Phénomène activé thermiquement : plus la température est élevée, plus les fissures s'amorcent tôt et plus elles se propagent vite, pour un chargement mécanique et un environnement chimique donnés.



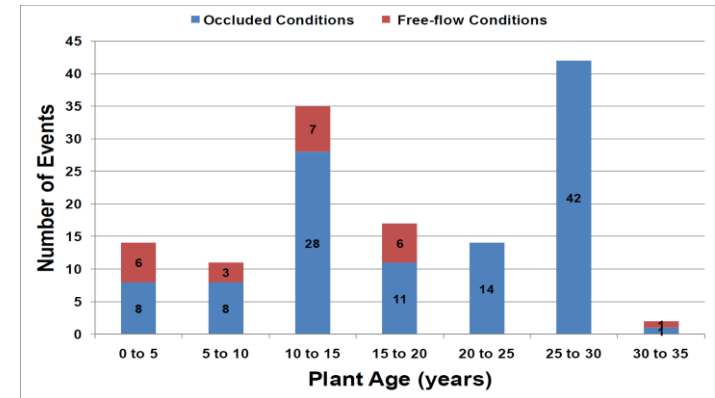
Exemple issu de la littérature



Défaut détecté sur Civaux 1

Le retour d'expérience international

- Peu de cas rencontrés sur les REP, contrairement aux réacteurs à eau bouillante, du fait des :
 - Règles de conception (limitation des contraintes)
 - Règles de fabrication (limitation des niveaux d'écrouissage)
 - Règles d'exploitation (contrôle de la chimie)
- Quelques cas de corrosion recensés, mais nombre faible au regard du nombre de composants, réacteurs et années de fonctionnement.
- Nombre de soudures inspectées relativement faible (sondage avec une proportion variant selon les exploitants : 10-25% des soudures auxiliaires)
- Des méthodes de contrôle variables – Des défauts découverts souvent à la suite d'une fuite.
- Cas peu étayés, 83% des cas en milieu « occlus » ou non nominal



▶ REX EDF très atypique en termes d'étendue

Les examens non destructifs : plusieurs procédés disponibles

[PROCÉDÉS VOLUMIQUES ET SURFACIQUES

- Détection des défauts enfouis dans la pièce (ultrasons [UT], radiographie [RT])
- Détection des défauts à la surface (courants de Foucault ou ressuage par exemple)

Leur combinaison permet d'optimiser la détection et la caractérisation de fissures par CSC de dimensions de l'ordre de quelques millimètres, dans le volume des tuyauteries en acier inoxydable

Pour le suivi en service, l'END par ultrasons est privilégié : pas d'émission de rayonnement ionisant et mise en œuvre possible sur une tuyauterie remplie d'eau (performance dégradée des END par radiographie dans ces conditions)

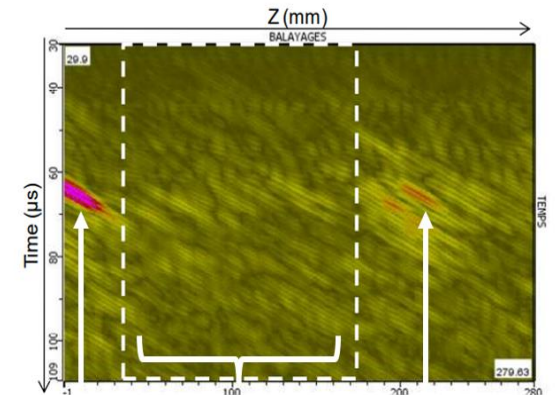
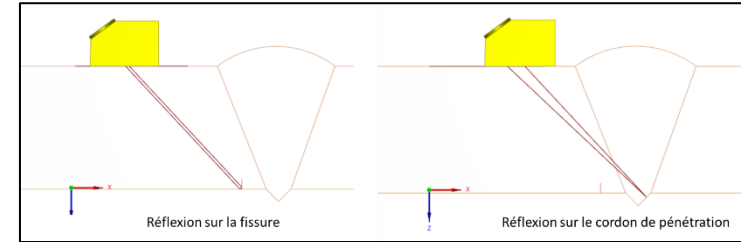
[LIMITES DE LA R&D

- Amorçage de fissures de CSC très difficile en laboratoire, sur des matériaux représentatifs
- Difficulté de déduire des critères d'ingénierie précis d'identification des zones à risque

Les examens non destructifs par ultrasons

[PRINCIPE DE LA MESURE

- Lors de sa propagation, si l'onde ultrasonore rencontre une discontinuité (par exemple une fissure), elle est réfléchiée et son écho est enregistré puis analysé par le contrôleur
- Pour les pièces en acier inoxydable, l'onde interagit lors de sa propagation avec la structure métallurgique spécifique de ces aciers et un ensemble d'échos ultrasonores est alors réfléchi par la structure métallurgique, appelé bruit de structure. Dans ce cas, l'écho réfléchi par une fissure peut être couvert par le bruit de structure. L'enjeu pour le contrôleur est de discriminer un écho dit « parasite » provenant du bruit de structure d'un écho provenant d'une fissure
- Pas de moyen non-destructif de déterminer la profondeur d'une fissure à l'heure actuelle : analyses en labo



Echo réfléchi par un bord de pièce Echos réfléchis par la structure métallurgique Echo réfléchi par un défaut

Simulation de l'examen ultrasonore d'une pièce comportant un défaut

Connaissance actuelle / actualité

[RECHERCHE DES CAUSES

- Zones concernées : abords d'une soudure située sur une ligne où la température est élevée
- Effet de la géométrie des lignes : longueur de pénétration du vortex et longueur de la stratification :
 - Ecart de température entre la génératrice inférieure et la génératrice supérieure
 - Moment de flexion de forte intensité

[ACTUALITE

- END « optimisés » : beaucoup de faux positifs
- CSC RIS P4 : petites indications sur des réacteurs du palier P4 en cours de caractérisation au LIDEC (Chinon)

Les sujets expertisés par l'IRSN (1/2)

[AVIS PUBLIÉS

- Avis 2022-00066 du 1^{er} avril 2022 : Analyse des procédés d'examen ultrasonore « optimisés »

[EXPERTISES EN COURS – PROCHAINS AVIS IRSN DURANT L'ÉTÉ

- Justifications de la tenue mécanique des zones concernées (rupture brutale : matériau, cumul des chargements, prise en compte des contraintes résiduelles de soudage)
- Dispositions compensatoires DT 392 : détection anticipée de fuite (bilan de fuite primaire et détection incendie) et limitation de l'occurrence des transitoires les plus sollicitant pour les lignes d'injection de sécurité – EDF a prévu de mettre à jour la DT le 1^{er} août
- Etudes des conséquences d'une ou plusieurs ruptures de ligne d'injection

[RÉUNION DU GROUPE PERMANENT D'EXPERTS AUPRÈS DE L'ASN

- Séance le 22 septembre consacrée à la corrosion sous contrainte

Les sujets expertisés par l'IRSN (2/2)

[AUTRES SUJETS INVESTIGUES PAR L'IRSN

- Analyse du REX
- Compréhension du phénomène (causes profondes de la CSC : matériau et mécanique (contraintes), paramètres influents (volet chimie primaire...), cinétique...)
- Nouveaux moyens de contrôle (UT améliorés, ETV, CF)
- ...