

CORROSION SOUS CONTRAINTE AFFECTANT LES RÉACTEURS EDF

[EXPERTISES DE L'IRSN

ANCCLI du 10 novembre 2022

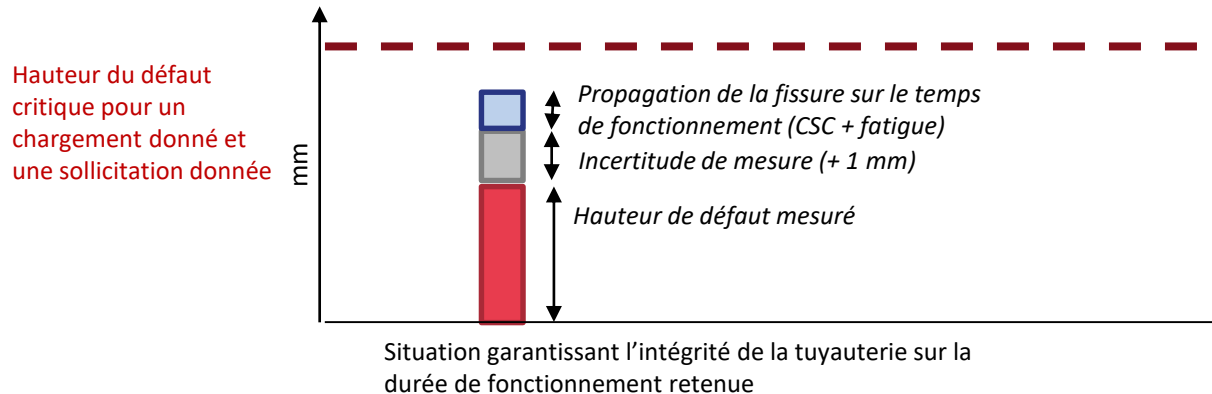
EXPERTISES DE L'IRSN

- Avis IRSN 2022-00066 du 1er avril 2022 – Analyse des procédés d'examen ultrasonore « optimisés »
- Avis IRSN 2022-00131 du 28 juin 2022 – Analyse du risque de rupture brutale
- Avis IRSN 2022-00138 du 6 juillet 2022 – Mesures mises en œuvre sur le parc en exploitation à la suite de la détection de fissures de corrosion sous contrainte sur des tuyauteries auxiliaires du circuit primaire principal
- Avis IRSN 2022-00156 du 21 juillet 2022 – Analyse de sûreté des conséquences associées à l'écart
- Avis IRSN 2022-00189 du 14 septembre 2022 – Analyse des causes : volet chimie des fluides
- Avis IRSN 2022-00203 du 26 octobre 2022 – Centrale nucléaire de Cattenom – Réacteur n°1 – Examen des dossiers de traitement d'écart

ANALYSE DU RISQUE DE RUPTURE BRUTALE

[ANALYSE MÉCANIQUE DE NOCIVITÉ

- Principe : Comparaison du défaut mesuré au « défaut critique ». La hauteur du défaut critique est celle au-dessus de laquelle l'intégrité de la tuyauterie n'est plus garantie
- Les approches « codifiées » sont utilisées à la conception et en exploitation. Elles sont prudentes dans l'objectif de répondre aux exigences réglementaires des équipements sous pression nucléaires

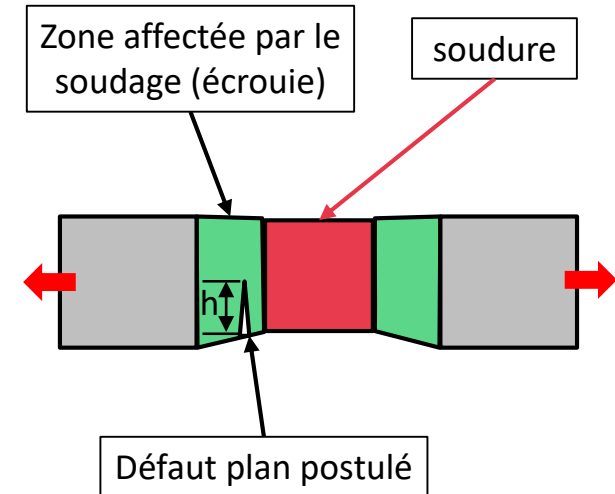


ANALYSE DU RISQUE DE RUPTURE BRUTALE

[PRINCIPE DE DÉTERMINATION DES DIMENSIONS DU DÉFAUT CRITIQUE

Principe :

- Calcul conservatif des forces s'exerçant sur un défaut plan de hauteur h (prise en compte des cumuls de chargements les plus pénalisants et application d'un coefficient de sécurité sur ces chargements)
- Comparaison avec les propriétés de résistance du matériau
- La hauteur critique h correspond à la hauteur maximum pour laquelle l'absence d'initiation de la déchirure est démontrée



ANALYSE DU RISQUE DE RUPTURE BRUTALE

[PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX

- Position IRSN : la valeur de résistance retenue pour le métal est conservative. Elle provient cependant d'essais normalisés. L'applicabilité de cette valeur doit être démontrée pour le cas spécifique de fissures amorcées par CSC
- Engagements EDF :
 - Réalisation d'un programme expérimental afin d'évaluer la résistance du matériau dans les zones affectées par la CSC
 - Les premières mesures de résistance sont réalisées à partir d'essais normalisés sur du matériel déposé
 - EDF initie un programme expérimental sur des éprouvettes comportant une fissure de CSC (essais non normalisés)

CHARGEMENTS ET MODÈLE RETENUS

❑ Approche codifiée comportant des optimisations

- Modification des chargements pénalisants définis dans les Dossiers de Référence Réglementaires (DRR)
- Manque de mesures pour les hypothèses d'entrée des calculs avec stratification thermique (peu de mesures de température en fonctionnement pour les lignes concernées)
- Modèle éléments finis 3D
 - Modélisation « fine » des défauts en 3D, l'approche conservatrice est de retenir un défaut axisymétrique, notamment compte tenu de zones « non couvertes » par les contrôles et des incertitudes sur les chargements

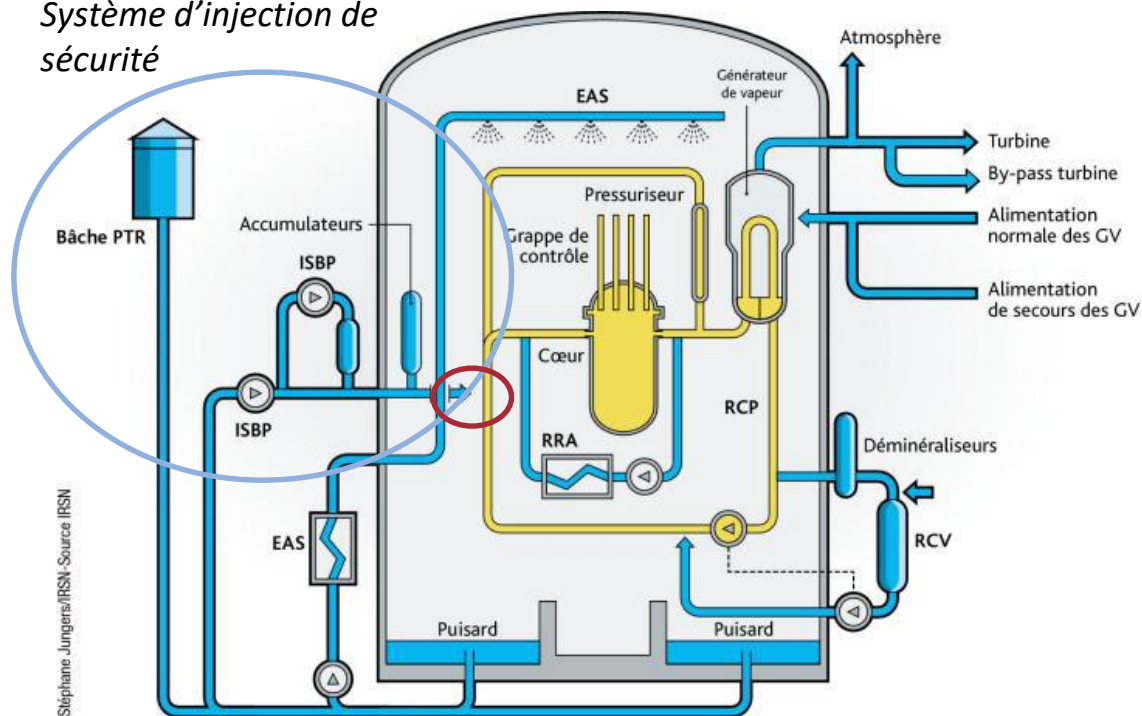


Position IRSN : prudence sur les optimisations apportées à l'approche codifiée qui comporte des conservatismes (*qui sont utiles pour une affaire qui comporte encore beaucoup de questions ouvertes*)

ENJEUX DE SÛRETÉ

[CONSÉQUENCES ASSOCIÉES A LA RUPTURE DE TUYAUTERIES D'INJECTION DE SÉCURITÉ (CAS PÉNALISANT)

Système d'injection de sécurité



Stéphane Jungers/IRSN - Source IRSN

4 lignes d'injection dans les branches froides du circuit de refroidissement principal

Rupture d'une ligne = accident de brèche primaire

Cas d'une brèche couvert par la démonstration de sûreté

Cas de deux brèches simultanées sur deux lignes : pas de fusion du cœur pour les réacteurs de 1300 MWe

MESURES COMPENSATOIRES (DISPOSITION TRANSITOIRE DT 392)

■ Avis IRSN 2022-00138 du 6 juillet 2022

■ Les mesures compensatoires ont pour objectif :

1. la détection précoce de fuites primaires par :
 - le suivi renforcé du débit de fuites primaires (bilan quotidien et suivi des évolutions)
 - l'utilisation de détecteurs incendie pour détecter une fuite de vapeur
2. la limitation de l'occurrence et des conséquences d'une Injection de sécurité (IS) intempestive
3. le renforcement des contrôles en cas de transitoires sollicitant

■ Le dialogue technique avec EDF lors de l'expertise par l'IRSN des mesures compensatoires a conduit EDF à réviser sa proposition initiale, avec par exemple :

- une exigence de disponibilité de l'ensemble des détecteurs incendies à l'issue d'un arrêt programmé
- des précisions sur les règles de programmation des essais périodiques

■ L'IRSN estime satisfaisantes les mesures compensatoires (DT 392)

STRATÉGIE DE TRAITEMENT DES ÉCARTS

- Avis IRSN 2022-00203 du 26 octobre 2022 – Centrale nucléaire de Cattenom – Réacteur n°1 – Examen des dossiers de traitement d'écart

- Pour le réacteur n° 1 de Cattenom, EDF a souhaité différer la réparation de soudures affectées de CSC avec des indications de défauts de hauteur proche de celle du défaut critique (avec cumul des incertitudes et propagation des défauts sur une période de 8 mois)

- L'IRSN considère que la proposition de maintien en l'état ne s'appuie pas sur une démarche suffisamment robuste :
 - « optimisation » des méthodes de calcul codifiées, ne permettant pas de garantir un chargement pénalisant pour les études de rupture brutale
 - Examens non destructifs limité à un échantillon des soudures (environ 1/3 des soudures)
 - Nouveau procédé de contrôle ultrasonore utilisé en mode expertise (pas encore qualifié) sans analyse complète des paramètres influents du contrôle apportant des garanties de détection et de caractérisation en hauteur et en longueur des défauts
 - Couverture incomplète de la zone sensible à la CSC pour certaines soudures (configuration complexe)
 - Un défaut de hauteur proche des limites de justification pour le maintien en service

CONTRÔLE ULTRASONORE AMÉLIORÉ (UTA)

Méthode avancée utilisant des transducteurs ultrasons multiéléments :

- Technique de reconstruction d'images exploitant les signaux ultrasonores acquis par un ensemble d'éléments pour plusieurs tirs ultrasonores
- La connaissance du trajet des ondes ultrasonores dans le matériau est utilisée pour reconstruire les images (ce qui peut conduire à de fortes incertitudes si la géométrie n'est pas bien connue ou si les ondes ultrasonores sont déviées par la géométrie ou la microstructure)

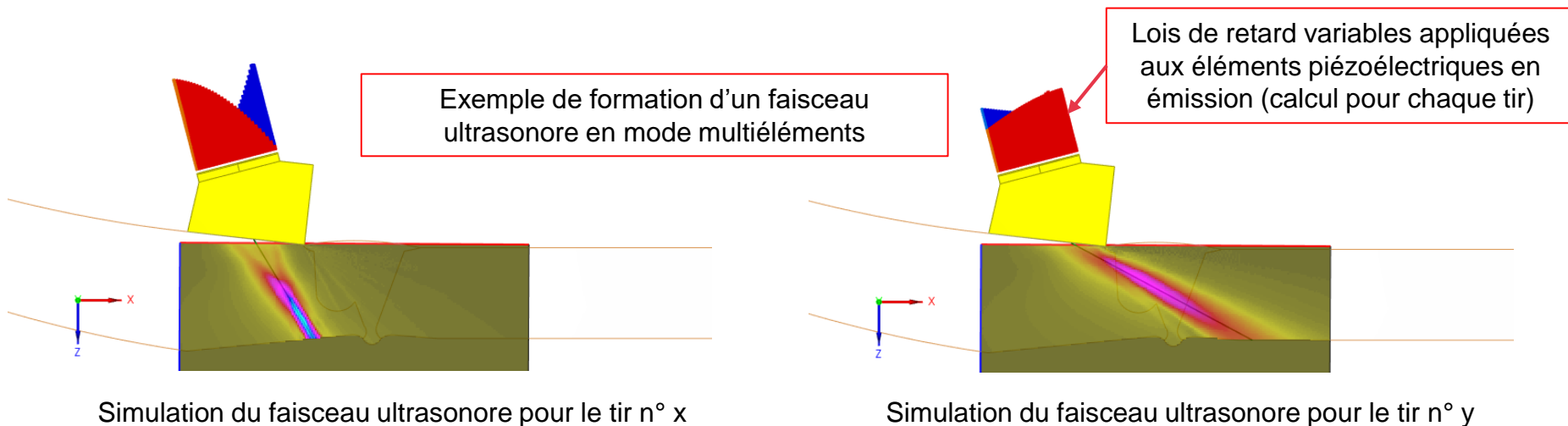
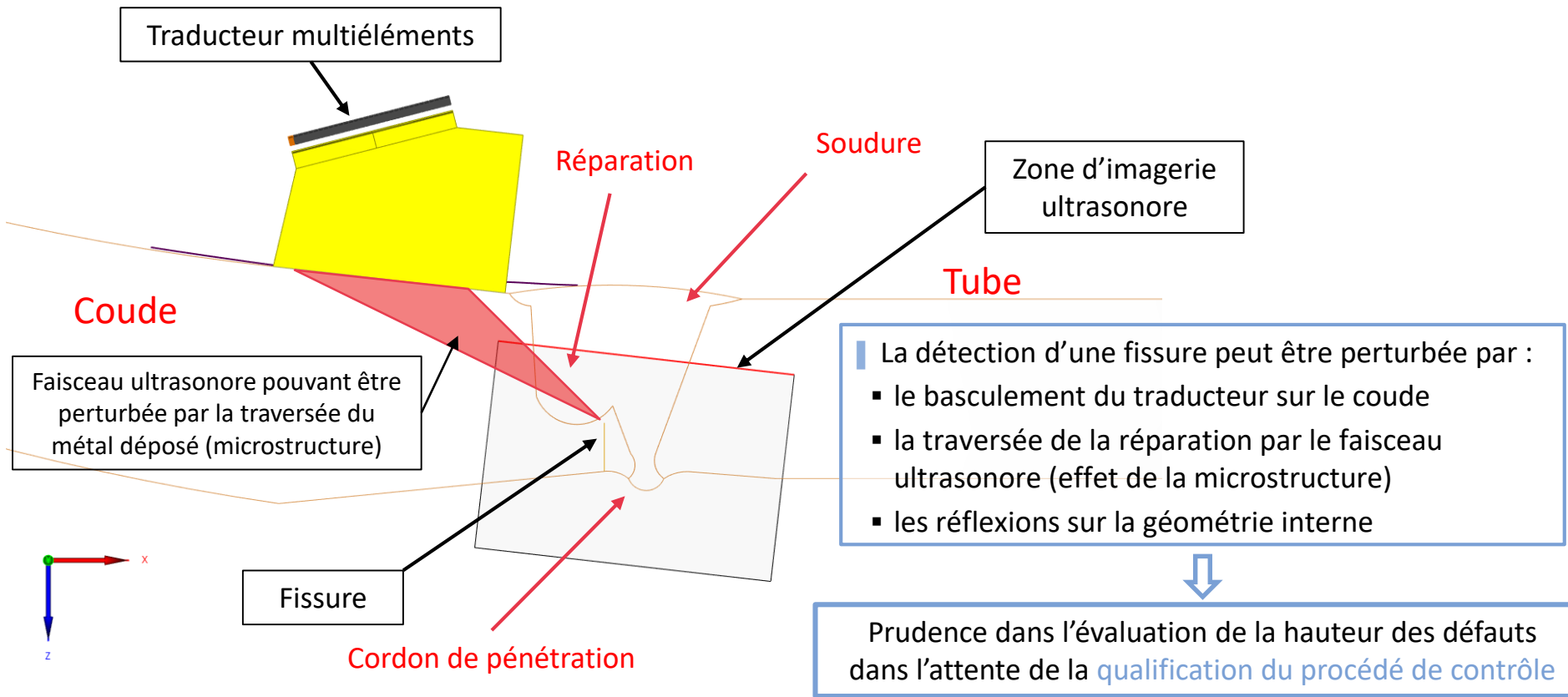


ILLUSTRATION D'UN CONTRÔLE UTA SUR SOUDURE RÉPARÉE



CONCLUSION GÉNÉRALE

- Compréhension du phénomène, multifactoriel, à compléter
- Importance de qualifier le procédé de contrôles par ultrasons récemment développé et de réaliser les contrôles sur l'ensemble des réacteurs, en priorisant les réacteurs de type P'4
- Limitation du risque de CSC ou de la cinétique de propagation des fissures en limitant la teneur en oxygène de l'eau d'appoint au circuit primaire

GLOSSAIRE

- | DRR : Dossiers de référence réglementaires
- | UTa : Technique de contrôle ultrasonore améliorée basée sur l'utilisation de transducteurs multiéléments et utilisant les modes