

**THÉMATIQUE « ANALYSE DU
RISQUE DE RUPTURE BRUTALE
ET MARGES ASSOCIÉES »**

SYNTHÈSE DES QUESTIONS DE LA SOCIÉTÉ CIVILE

- Par Coralie Pineau (ANCCLI)

• + RISQUE DE RUPTURE BRUTALE



- Pourquoi ne postuler qu'un seul défaut pour le dossier générique ? Que se passerait-il si plusieurs petits défauts existaient à plusieurs dizaines de cm d'écart (ce qui empêcherait leur détection) ?
- Quel est le risque de propagation de fissures et le risque de rupture inter-granulaire ?
- Les cuves de ces réacteurs vieillissants pourraient-elles subir une rupture brutale par un transitoire de choc froid sous pression ?
- Le risque de rupture brutale des cuves nucléaires par choc froid sous pression est-il pris en compte ? Les résultats dépendent-ils des modèles de simulation ?
- Le principe d'exclusion de rupture est-il oublié lorsque la ténacité peut être calculée mais pas mesurée (ce qui implique que l'ensemble du dossier repose sur des calculs et non des mesures) ?
- Comment prendre en compte les interactions entre les différentes sollicitations (fluence, température, pression, irradiation...) ?

• + INCERTITUDES, MARGES ET DÉMONSTRATION ○ D'APTITUDE

- Est-il possible d'appliquer l'arrêté « équipement sous pression nucléaire » (ESPN) aux anciennes cuves (examens complémentaires ? homogénéité ?)
- Est-il possible de préciser une enveloppe des incertitudes existantes ?
- Les dommages causés par l'irradiation de l'acier de la cuve ne pouvant pas être résorbés, une autorisation de poursuite d'exploitation de la cuve reposerait-elle principalement sur une valorisation des marges restantes ? Dans les études permettant de déterminer si, malgré leur vieillissement, les cuves sont toujours conformes aux exigences de sûreté et peuvent poursuivre leur fonctionnement, la validation de leur conformité s'accompagne-t-elle d'une consommation de marges ?
- Comment sera vérifiée la conformité des cuves ? Quelle réglementation sera appliquée pour la vérification de cette conformité ?
- Les marges concernant l'évolution des cuves sont-elles consommées ?



- En ce qui concerne la cuve, EDF doit remettre deux dossiers à l'ASN, l'un portant sur la VD4+10 ans et l'autre sur la VD4+20 ans. Quel est le rôle du dossier VD4+20 ans ? A-t-il pour objectif de consolider la démonstration de sûreté à VD4+10 ans, ou de donner une première indication sur la possibilité d'une exploitation à 60 ans ?
- Les études de sûreté initiales s'appuyaient sur une durée de fonctionnement de 40 ans. La poursuite de fonctionnement conduit-elle à revoir complètement les études de sûreté ou à simplement évaluer l'évolution des marges ?

PROBLÉMATIQUE ET TERMES UTILISÉS

- Par Minh Bao LE (IRSN)

Thématique « Matériaux des cuves et effets de l'irradiation »

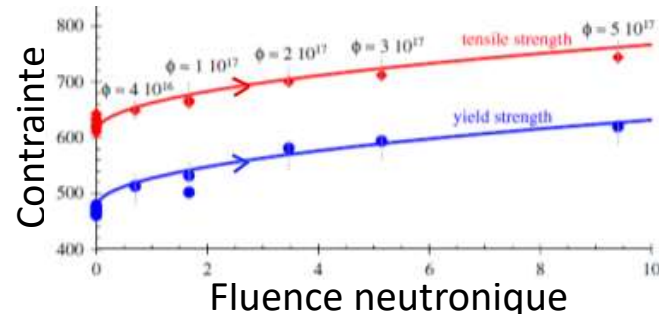
[PROBLÉMATIQUE ET TERMES UTILISÉS

- **Facteur d'intensité de contrainte (FIC)** : grandeur représentant le chargement vu par le matériau comportant une fissure
- **Ténacité** : propriété matériau représentant la capacité du matériau à résister à la propagation d'une fissure
- **Cs** : coefficient de sécurité codifié défini en fonction des catégories des situations. Plus une situation est « fréquente », plus le coefficient de sécurité est important
- **Défaut générique** : un défaut hypothétique de dimensions correspondant à la limite de détection des contrôles. De manière pénalisante, ce défaut générique est postulé à l'endroit le plus irradié des viroles (point chaud)
- **Défauts détectés (ou défauts avérés)** : s'agissant des défauts de fabrication détectés lors des derniers contrôles réalisés dans les viroles de cuve

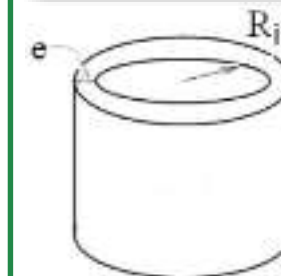
Rappel de l'impact de l'irradiation sur le comportement mécanique de la cuve

Irradiation
neutronique

Durcissement des matériaux



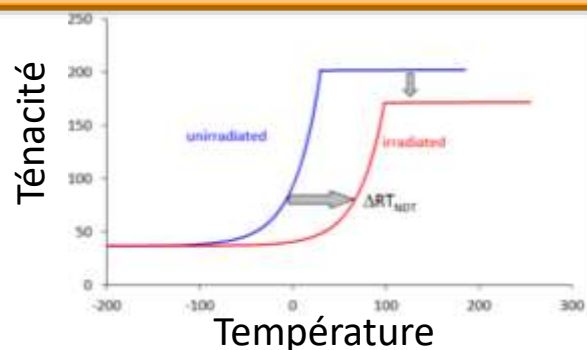
Risque pression : non remis
en cause



$$\sigma_{\text{equiv}} \leq \sigma_{\text{Limite}}$$

$$\sigma_{\text{equiv}} \approx \frac{P \cdot R_i}{e}, \quad \sigma_{\text{Limite}} \nearrow$$

Fragilisation des matériaux

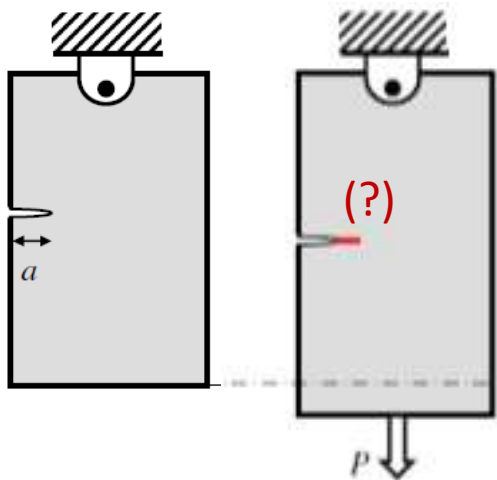


Risque de rupture brutale à
ré-évaluer

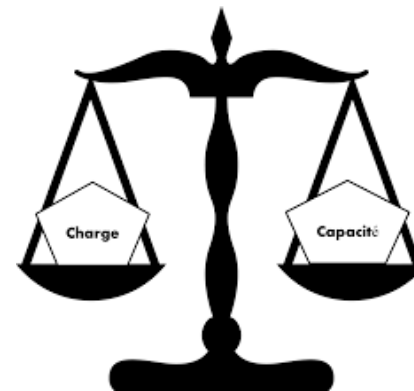
Prise en compte des défauts, des
matériaux irradiés, des sollicitations
thermomécaniques...

La mécanique de la rupture

■ Critère de stabilité de défaut (absence de propagation)



Le défaut se propage-t-il ?



Chargement

\leq

Capacité de la structure

Facteur d'intensité de contrainte

$$K_{cp} = f(\text{sollicitation} \times C_s, \text{défaut})$$

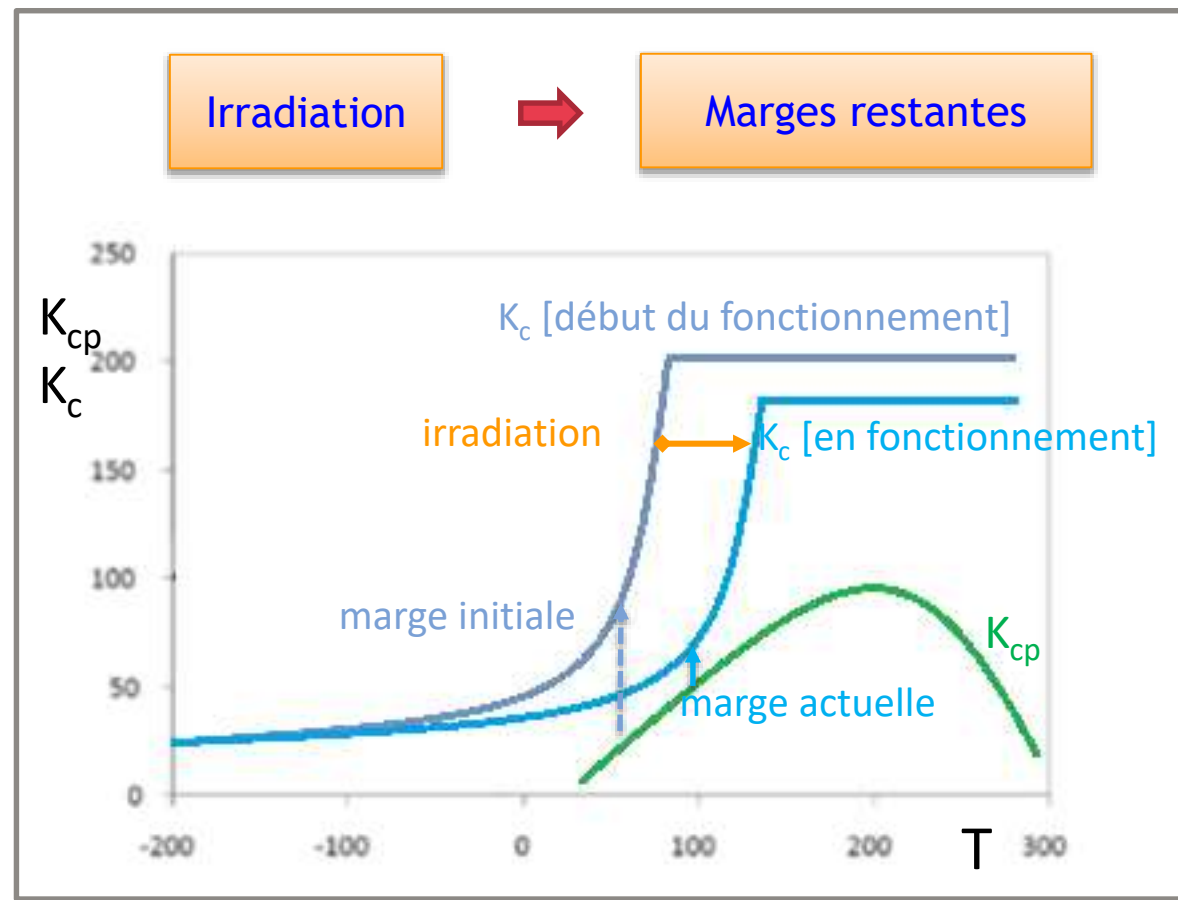
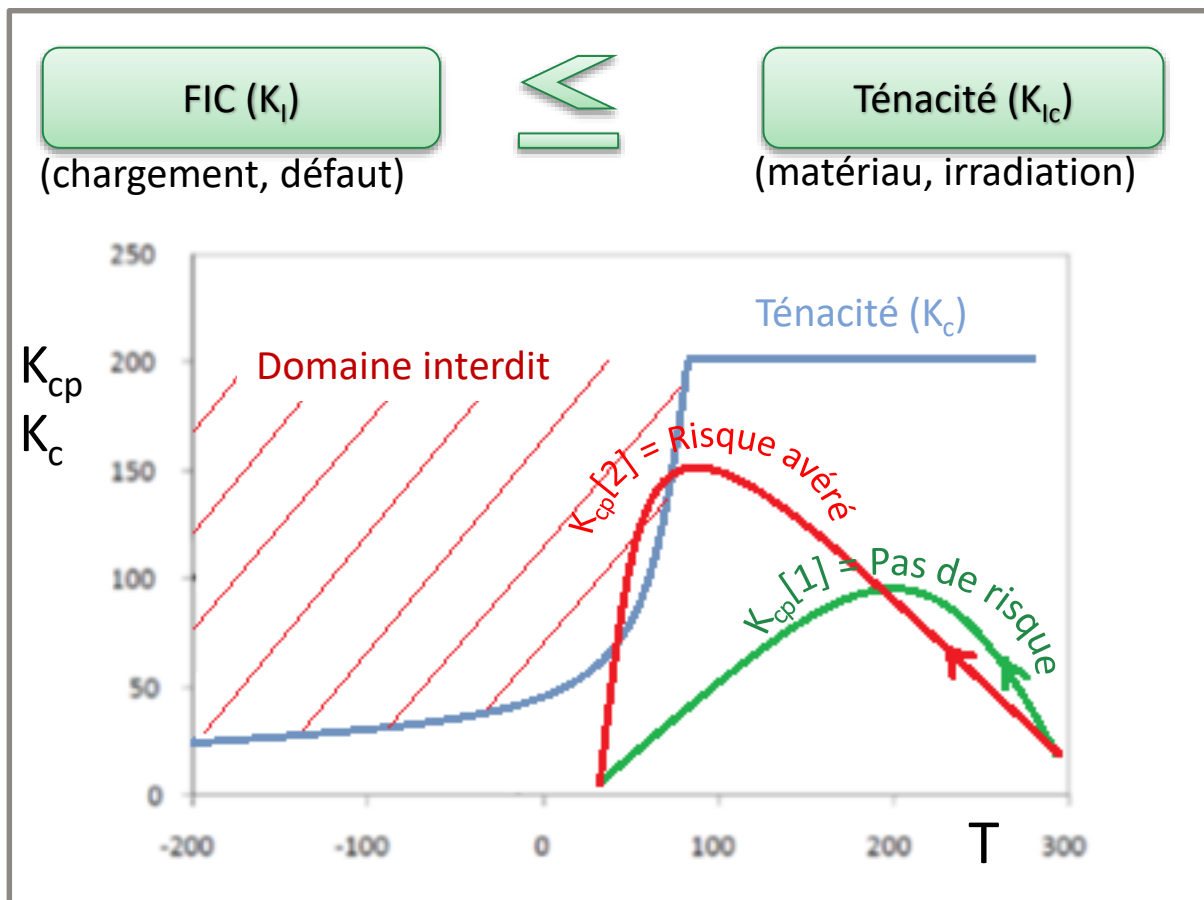
\leq

Ténacité

$$K_c = f(\text{matériau}, \text{irradiation})$$

$$\text{Facteur de marge (Fm)} = K_c / K_{cp} \geq 1$$

Exemple d'une analyse du risque de rupture brutale de de la cuve sous choc thermique



L'exploitant doit justifier que les marges existent toujours malgré le vieillissement sous irradiation de la cuve

DOSSIER D'EDF

- Par Nicolas JARDIN (EDF)

ANALYSE DU RISQUE DE RUPTURE BRUTALE – DOSSIER EDF



- Les défauts génériques sont postulés dans les positions les plus restrictives vis-à-vis de la fluence et du choc froid
 - Défauts longitudinaux pour les viroles et circonférentiels pour les joints soudés
 - La taille est celle du minimum détectable garanti par les examens non destructifs : 5 x 25 mm
- Les défauts détectés sont placés dans leurs positions réelles et le calcul considère leur taille incluant les incertitudes de dimensionnement
- Les calculs mécaniques sont réalisés selon les méthodes classiques couramment utilisées : calculs simplifiés ou calculs 3D
- L'eau de la bâche PTR, conditionnant le choc froid, est prise égale à 7°C pour le défaut générique, et à la température de l'eau de la tranche concernée pour les défauts détectés
- Dans les joints soudés, les contraintes résiduelles sont considérées
- Les coefficients de sécurité de l'Arrêté d'Exploitation sont appliqués sur les chargements
- Résultats :
 - Toutes les situations et tous les défauts sont justifiés
 - Les défauts sont stables
 - Le défaut générique est plus pénalisant que les défauts détectés

PRINCIPAUX SUJETS AYANT FAIT L'OBJET D'UNE EXPERTISE TECHNIQUE ET CONCLUSIONS TIRÉES

- Par Minh Bao LE (IRSN)

Rappel des points examinés par l'IRSN (1/2)

■ **Défauts analysés** : défaut « générique » hypothétique ou défauts détectés sur les cuves

→ Action d'EDF : vérification de l'absence d'évolution des défauts à l'issue des contrôles réalisés lors de la quatrième visite décennale

■ **Fluence** : estimation de la fluence reçue par les cuves par simulation + mesures issues du PSI

→ Évaluation de l'IRSN ne remet pas en cause le niveau de réduction de flux d'environ 45% grâce aux grappes Hf

■ **Matériaux** : évaluation des caractéristiques du matériau de la cuve prenant en compte du vieillissement sous irradiation

→ Réserve de l'IRSN/demande de l'ASN pour un encadrement de la démarche d'exclusion des données atypiques du PSI et pour des analyses particulières pour les cuves concernées par les résultats atypiques du PSI

Rappel des points examinés par l'IRSN (2/2)

■ **Chargements pris en compte :**

→ Contrainte résiduelle : OK pour la valeur retenue par EDF qui est enveloppe des valeurs retenues à l'international dans l'attente des travaux de mesures de contraintes résiduelles représentatives d'une soudure de virole de cuve

→ Chargements thermohydrauliques : l'IRSN a analysé l'exhaustivité et le caractère pénalisant des transitoires retenus par EDF

→ Situations de brèche du circuit primaire : OK pour retenir la brèche de 3 pouces comme étant la limite des brèches primaires classées en 3^e catégorie

■ **Méthode d'analyse** : méthode analytique codifiée ou méthode aux éléments finis avec modélisation du défaut

→ Pas de remarque sur les méthodes utilisées dans la mesure où les conditions de validité sont vérifiées par EDF

Principales conclusions de l'expertise de l'IRSN sur le risque de rupture brutale de la zone de cœur des cuves des réacteurs de 900 MWe pour 10 ans après les VD4

- Têtes de série des VD4 900 MWe : la tenue en service de la zone de cœur des réacteurs n° 1 du Tricastin et n° 2 du Bugey est démontrée jusqu'à VD4 + 10 ans
- L'aptitude au service des cuves non concernées par les résultats atypiques du PSI ou par la présence des défauts avérés est démontrée jusqu'en VD4+10 ans
- Les cuves qui sont concernées par les résultats atypiques du PSI (Chinon B2, Dampierre 2, Dampierre 4) feront l'objet des analyses particulières d'EDF avant leur VD4
- Des analyses complémentaires doivent être réalisées par EDF pour les cuves avec défauts avérés (hors TRI1) avant les VD4 de ces réacteurs (Saint Laurent B1, Saint Laurent B2, Blayais 2, Bugey 5)