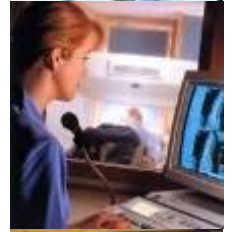




Ségrégations en carbone : Aspects techniques – températures de transition

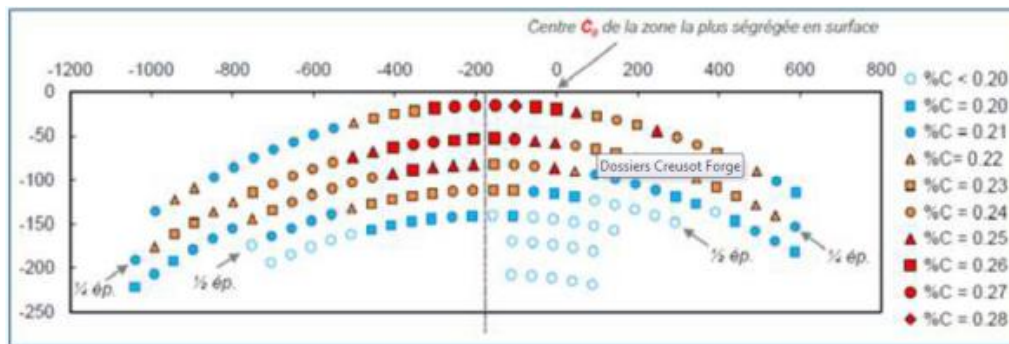


CLIS Fessenheim – 28 novembre 2017



Rappel : détection de l'écart

- Découverte d'anomalies dans la composition de l'acier de certaines parties de la cuve et du couvercle de l'EPR : **concentration en carbone supérieure à l'attendu**, pouvant impacter les propriétés de tenue mécanique.



- Cette anomalie démontre que **les conditions de fabrication des pièces forgées ne pouvaient pas garantir l'homogénéité de la concentration en carbone** dans les pièces finales.
- Un excès de carbone peut réduire la ténacité de l'acier, et donc sa résistance aux phénomènes accidentels extrêmes.



Quel impact en termes de sûreté ?

Enjeu pour la démonstration de sûreté

- Problème : **concentration locale en carbone [C] > 0,22% (RCC-M)**
 - Impact sur les propriétés du matériau : résilience, ténacité, ductilité.
- Les données sur le comportement mécanique de l'acier prises en compte lors du design de l'installation sont potentiellement modifiées.
 - En particulier, impact sur la fonction “Ténacité selon la température” : déplacement de la température de transition RT_{NDT}

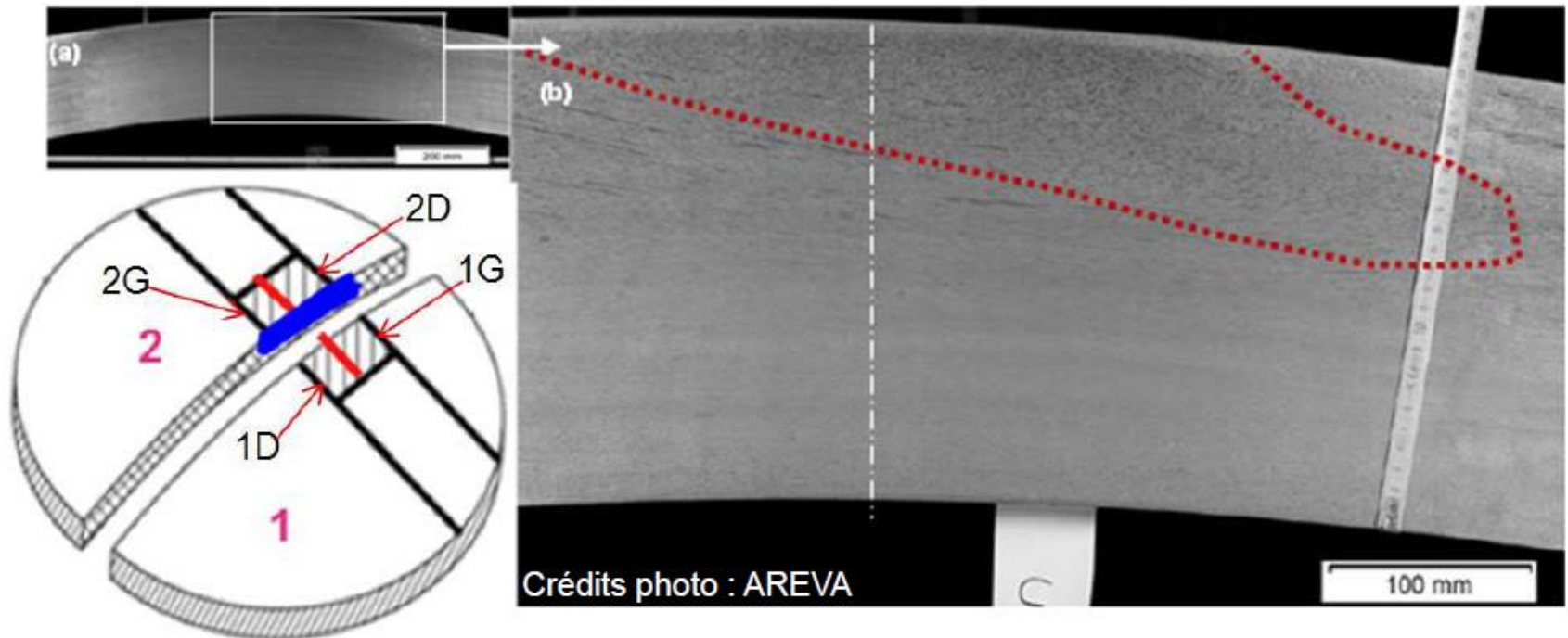


- **Quel impact sur le design des composants et leur démonstration de sûreté ?**
Le risque de rupture brutale doit être recalculé.
- **Quelles étaient les hypothèses des études initiales de dimensionnement ?**
 RT_{NDT} doit être considérée dans les zones les plus ségréguées. L'étendue des zones ségréguées doit être analysée en préalable.
- **Les conclusions de la démonstration de sûreté sont-elles toujours valables ?**

Aspects techniques : Localisation de la zone ségrégée

- Exemple : localisation d'une zone ségrégée (ZS):

(image : empreinte au soufre d'une zone ségrégée dans un dôme de cuve d'une pièce sacrificielle) :

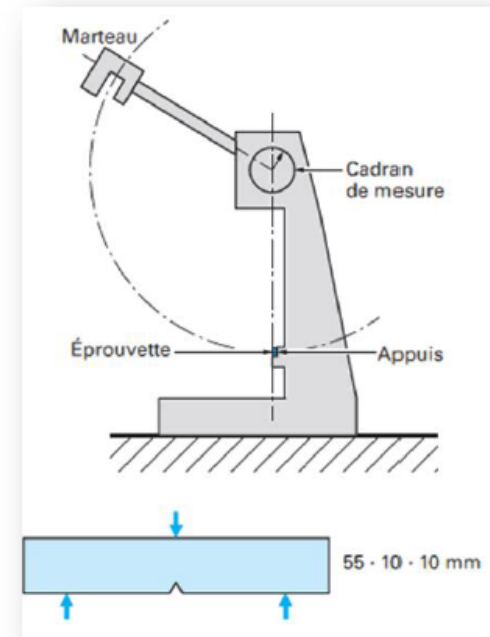
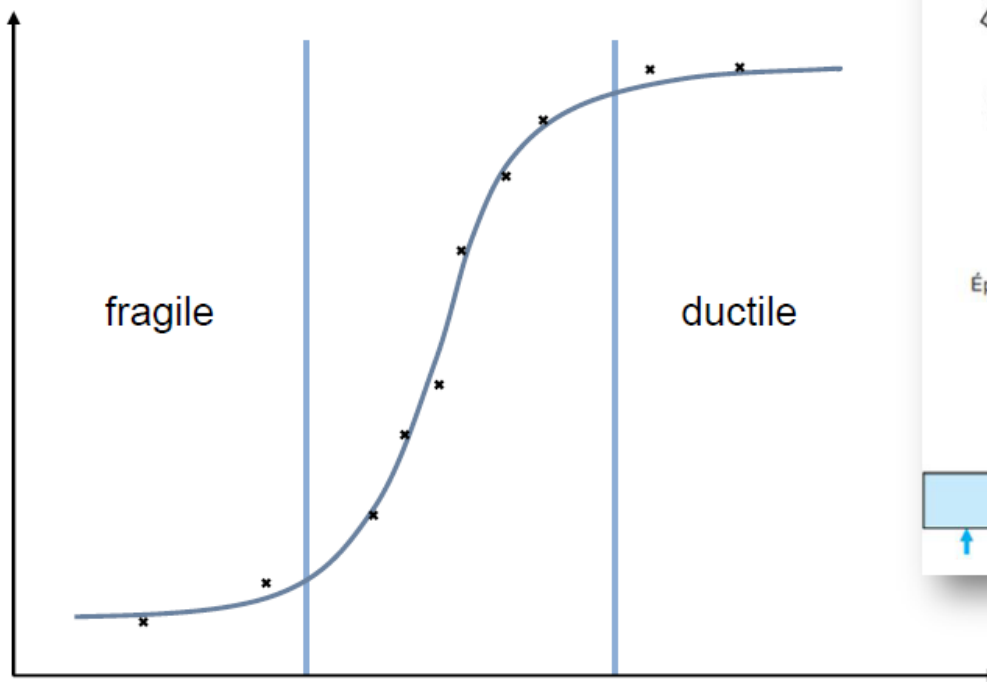


Aspects techniques : courbe de résilience

- Résilience : énergie de rupture en fonction de la température

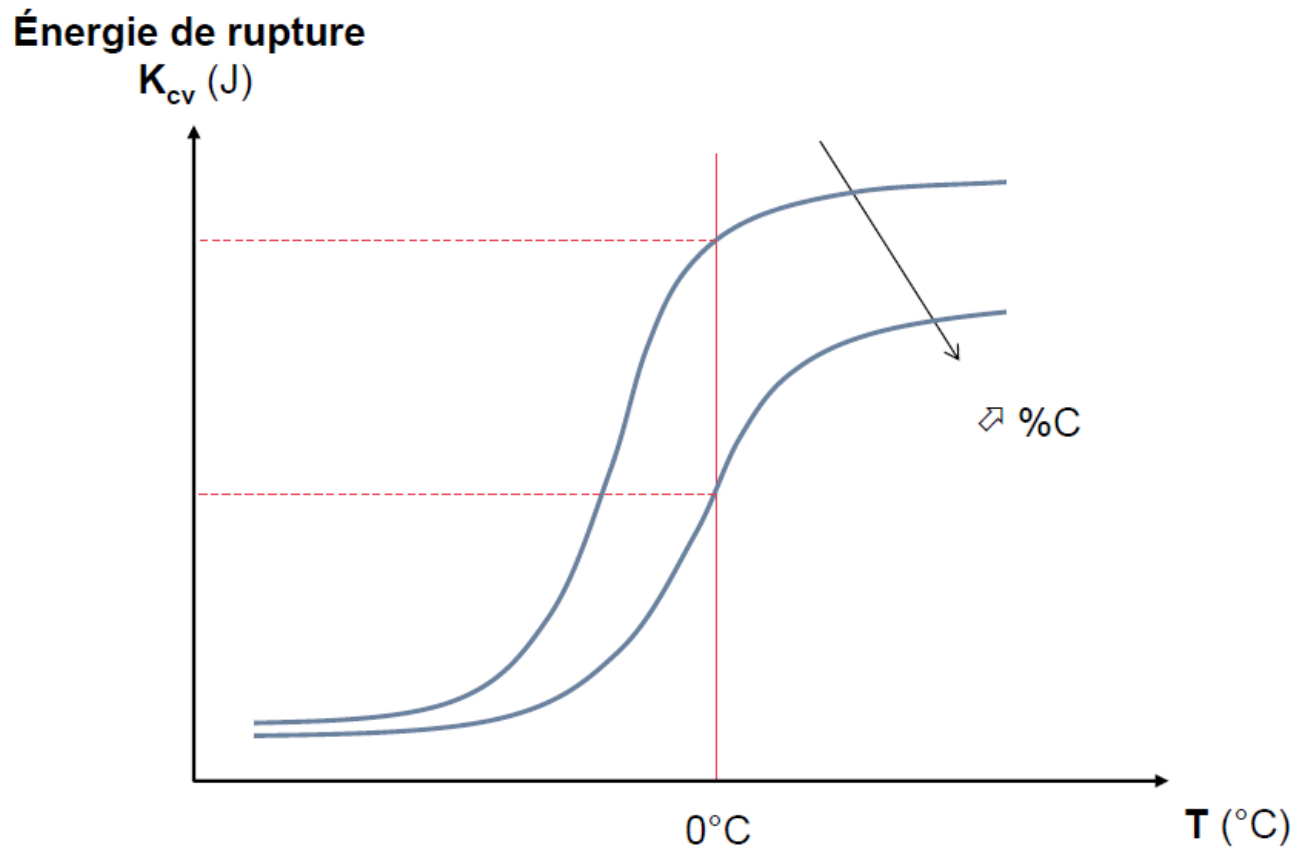
Énergie de rupture

K_{cv} (J)



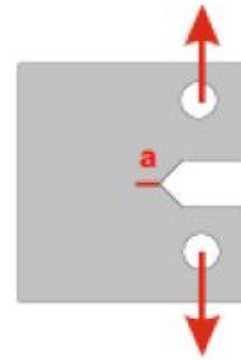
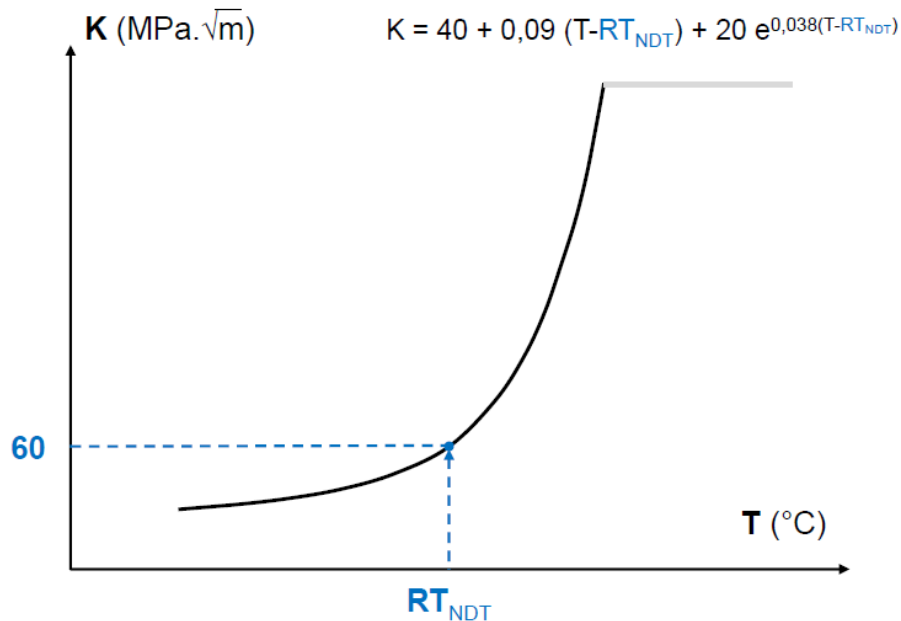
Aspects techniques : courbe de résilience

- Courbe de résilience : influence de la concentration en carbone



Aspects techniques : ténacité

- Ténacité : résistance à la propagation d'un défaut, fonction de la température**
(courbe RCC-M définie en annexe ZG 6110)



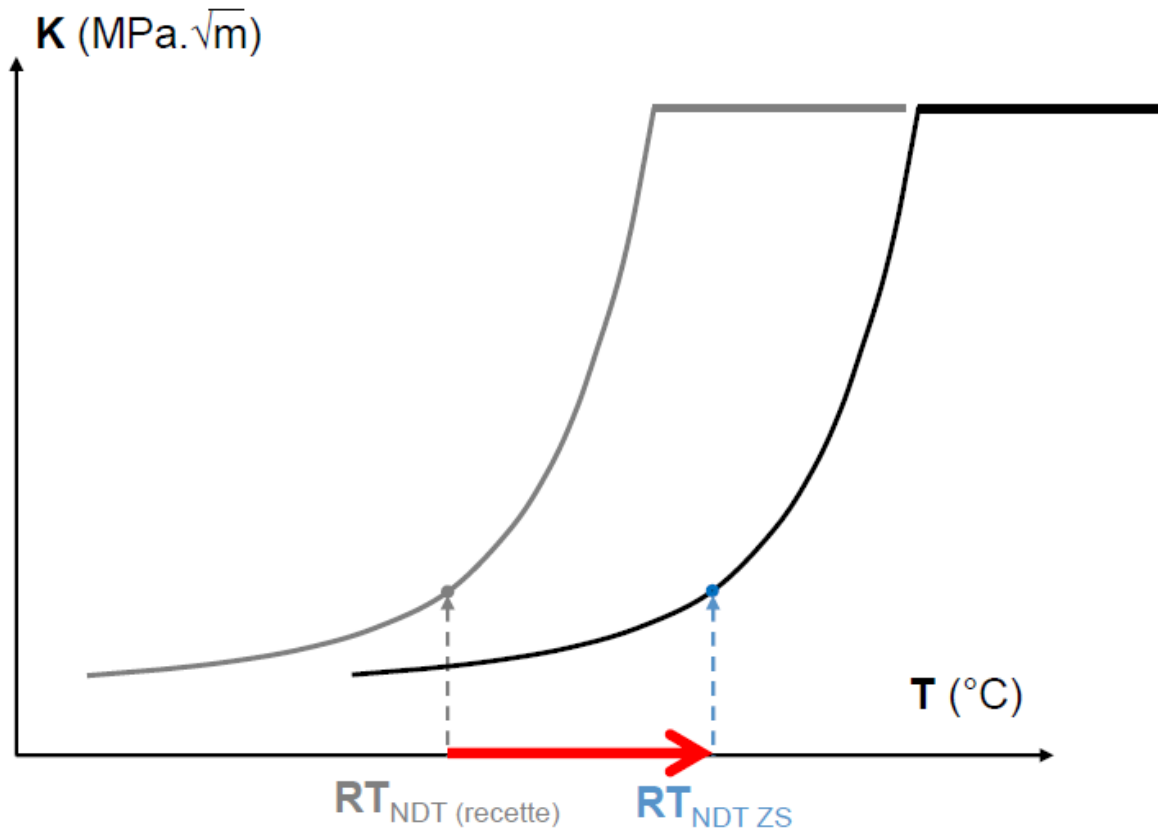
σ_c : rupture



$$K_{IC} = \sigma_c \sqrt{\pi a}$$


Aspects techniques : ténacité


- Ténacité : influence de la concentration en carbone – déplacement de la température de transition RT_{NDT}




Aspects techniques de la démonstration de sûreté

- Enjeu de la démonstration : **prouver que le matériau utilisé dans le composant étudié a les propriétés mécaniques nécessaires pour empêcher la propagation d'un défaut sous les contraintes thermiques et mécaniques en conditions de service normales ou accidentelles.**
- Données d'entrée :
 - **Matériau** : propriétés mécaniques, notamment ténacité / température (RT_{NDT})


Impacté par la ségrégation en carbone
 - **Défauts potentiels** : taille et position

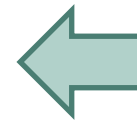

Non impacté
 - **Contraintes en service** : température, pression, + marges de sûreté.


Non impacté
- NB: la méthodologie doit respecter les préconisations du référentiel professionnel et réglementaire RCC-M annexe ZG.

Aspects techniques de la démonstration de sûreté

■ Premières études remises par EDF :

- **Matériau** : propriétés mécaniques, notamment ténacité / température (RT_{NDT})
- **Défauts potentiels** : taille et position
- **Contraintes en service** : température, pression, + marges de sûreté.



[C] ~ 0,30%, RT_{NDT} décalée de 35°C à 70°C



5x30 and 10x60 mm en peau externe



Conditions de l'épreuve hydraulique

➤ Expertise IRSN :

- Les facteurs de marge calculés sont > 1 , donc les défauts éventuels sont stables (pas de risque de rupture brutale dans les conditions de l'épreuve hydraulique).
- Le déplacement de RT_{NDT} considéré est cohérent avec les hypothèses de concentration en carbone représentatives du dôme de l'EPR mais doit être **recoupé par des analyses chimiques** pour les autres composants.
- Les tailles de défauts prises en hypothèse sont acceptables **sous réserve de la réalisation de contrôles locaux** confirmant l'absence de défaut plus grand.
- **D'autres conditions de service doivent être étudiées (transitoires de température).**

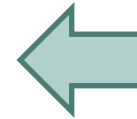
Aspects techniques de la démonstration de sûreté

- **Nécessité d'approfondir les premières études :**
 - Les concentrations en carbone mesurées sur d'autres pièces dépassent celles de la cuve de l'EPR ; **l'étude doit être étendue à des concentrations allant jusqu'à 0,39%** (et pas seulement 0,29%) notamment pour les pièces JCFC → RT_{NDT} déplacée de $70+110=180^{\circ}\text{C}$.
 - La **zone ségréguée** considérée n'est pas limitée au centre des dômes pour les générateurs de vapeur JCFC mais est **aussi présente au voisinage des soudures des tubulures**.
 - La vérification de l'absence de défauts est possible pour la peau externe des pièces, mais pas pour la peau interne : **les hypothèses de taille de défaut doivent être étendues** à tout défaut indétectable, notamment en peau interne.
 - Les **conditions de service transitoires** doivent être soit étudiées, soit exclues par des mesures complémentaires de conduite (mesures compensatoires).
 - La validité de la courbe RCC-M doit être confirmée pour des décalages majeurs de RT_{NDT} .

Aspects techniques de la démonstration de sûreté

■ Etudes complémentaires remises par EDF :

- **Matériau** : propriétés mécaniques, notamment ténacité / température (RT_{NDT})
- **Défauts potentiels** : taille et position
- **Contraintes en service** : température, pression, + marges de sûreté.



[C]~0,39%, RT_{NDT} décalée de 70°C à 180°C



5x30 and 10x60 mm dans des zones étendues (internes)



Conditions de l'épreuve hydraulique) + chocs thermiques en service.

➤ Expertise IRSN :

- Les données d'entrée de l'étude sont valables ; les données de fabrication et les contrôles complémentaires sont adaptés pour la détection de défauts.
- Les contraintes thermiques et mécaniques en service sont correctement prises en compte, sous réserve que certaines dispositions de conduite complémentaire soient mises en place pour **prévenir les chocs thermiques** (maintien des marges de sûreté).
- **La méthode peut être utilisée pour la démonstration de sûreté des pièces forgées.**
- Les connaissances devront continuer à être développées par des programmes d'analyse de pièces sacrificielles.



www.asn.fr

