

IRSN

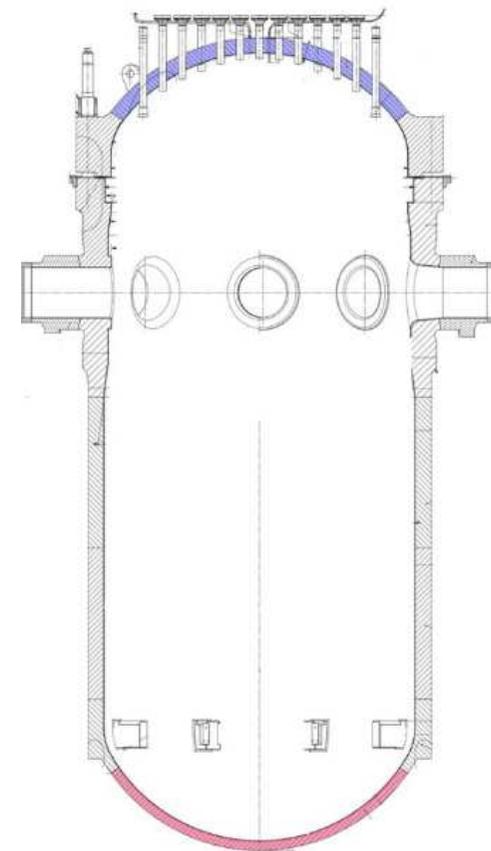
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

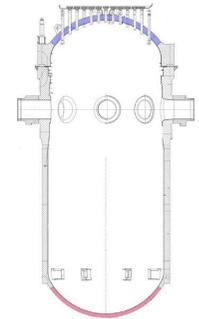
Réunion HCTISN - Cuve EPR 27 janvier 2016



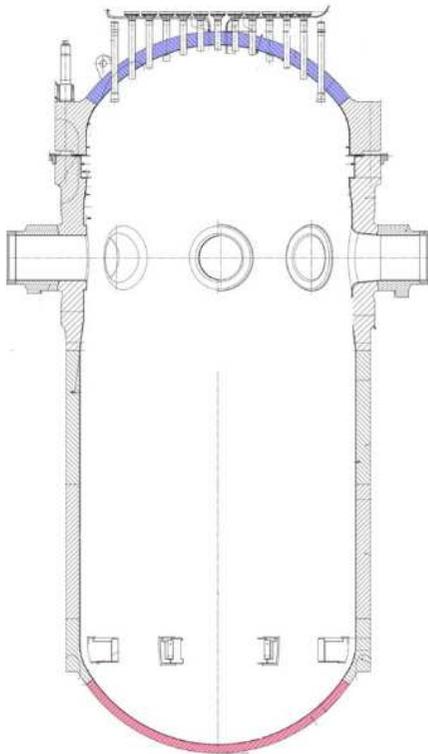
Sylvie CADET-MERCIER
IRSN Directrice nouveaux
réacteurs, démarches de sûreté



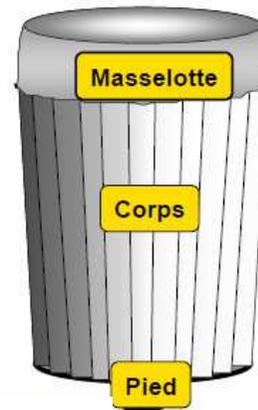
- Origine de la concentration en carbone localement élevée dans les calottes
- Les anomalies observées (non-respect du critère de résilience)
- Le programme d'essais proposé par AREVA
- Instruction menée dans le cadre du GP ESPN et conclusions
- Le futur



Fabrication

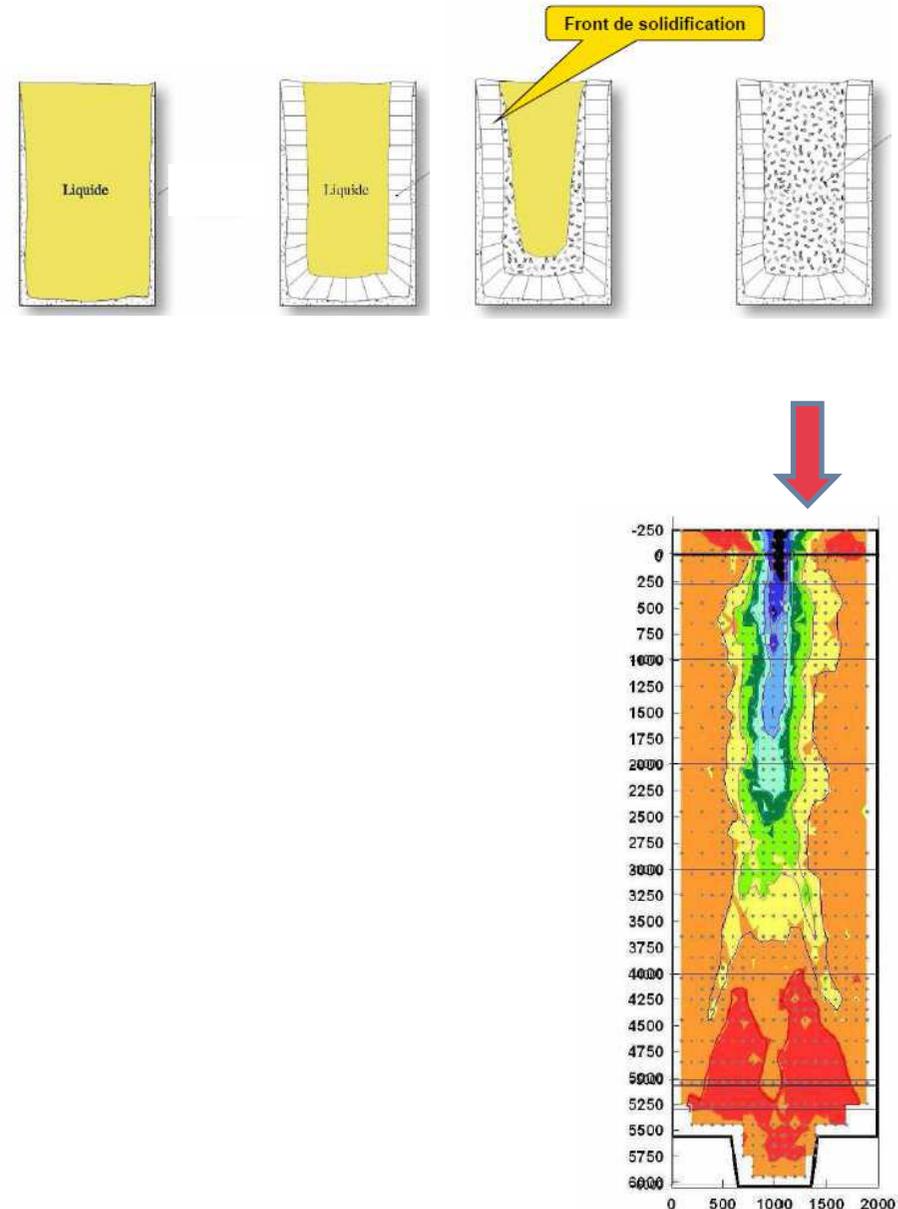


- Un nouveau procédé de fabrication des calottes
- Un gros lingot « favorisant » des concentrations locales élevées en carbone lors de la solidification (ségrégations)



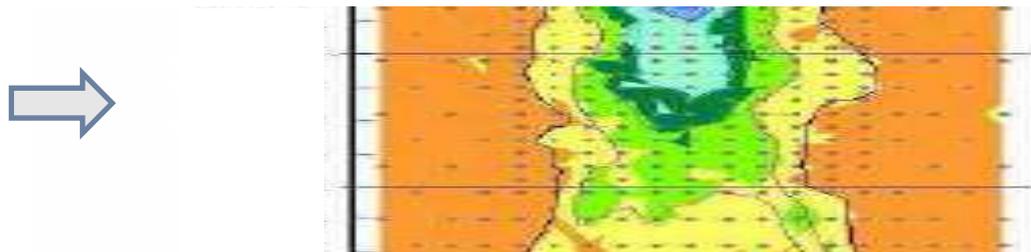
Origine de la concentration en carbone localement élevée dans les calottes

- La phase liquide s'enrichit en carbone lors de la solidification :
- En tête, **ségrégation majeure positive**, risque de propriétés mécaniques de ténacité affaiblies
- En pied de lingot, **ségrégation majeure négative**, risque de propriétés mécaniques en traction moins élevées

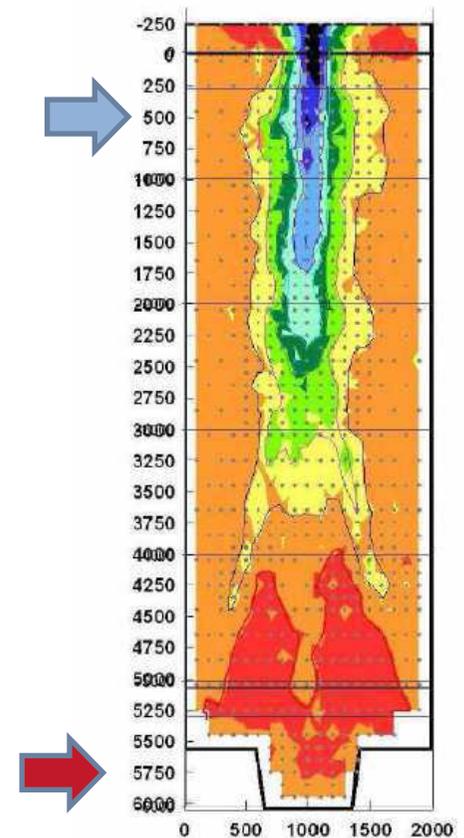


Origine de la concentration en carbone localement élevée dans les calottes

- Chutage (**haut** et **bas** pour éliminer zones de concentrations fortes (pour garantir la résilience) et faibles (garantir les propriétés de traction) puis forgeage et mise en forme (emboutissage)



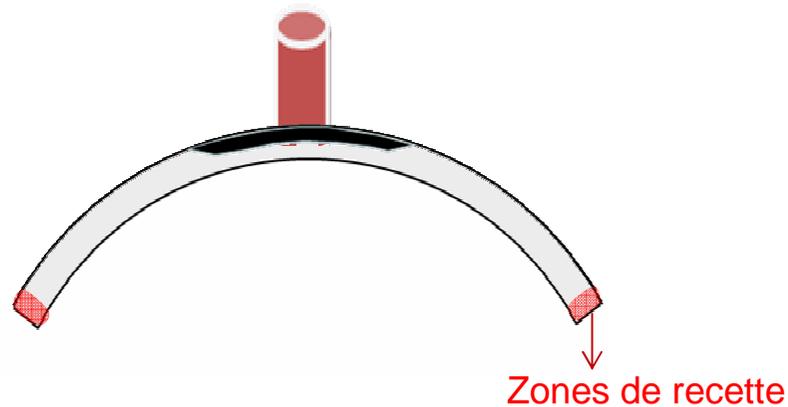
- Mais persistance de fortes ségrégations en peau externe



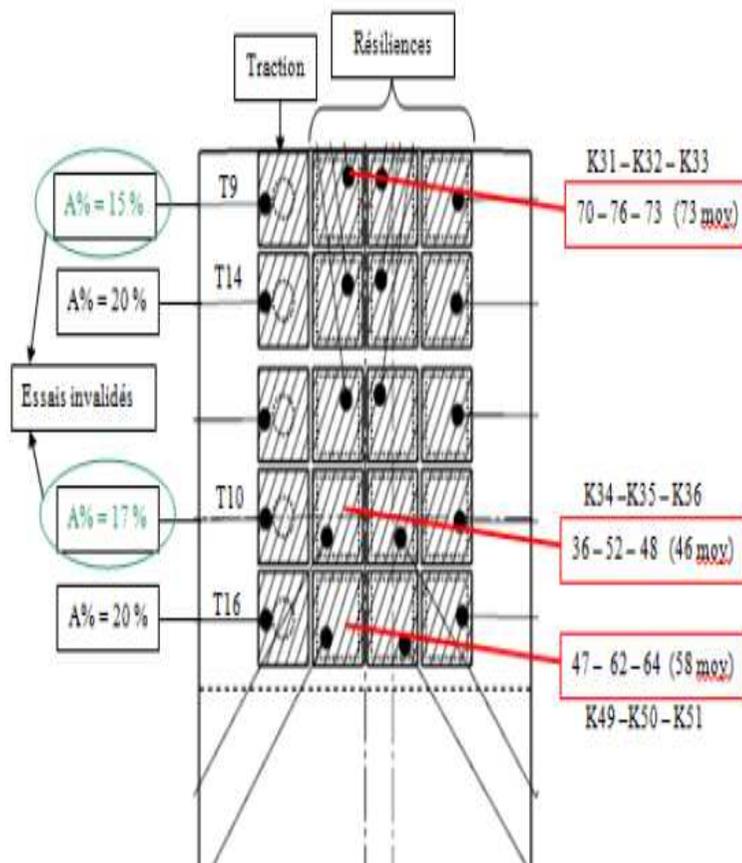
- A la demande de l'ASN, réalisation d'essais complémentaires



- Choix d'une calotte représentative
- Essais destructifs dans une carotte centrale



- Valeurs de résilience **inférieures au critère** dans une carotte de calotte supérieure EPR

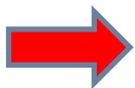


Résilience

Premiers essais 1/4 ep. : **36, 52 et 48J**

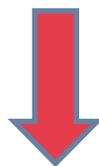
Seconds essais 1/4 ep. : **47, 62 et 64J**

Moyenne **52 J** pour 60 J minimum



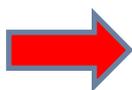
Sur les éprouvettes de résilience (peau et 1/4 épaisseur),
mesure de **[C] ≈ 0,3%** supérieure à la teneur maximale 0,22%

- Avis IRSN début avril imputant le non-respect du critère au procédé de fabrication retenu (lingot plein)
- Proposition fin avril d'un programme d'essais par AREVA pour justifier la tenue mécanique des calottes



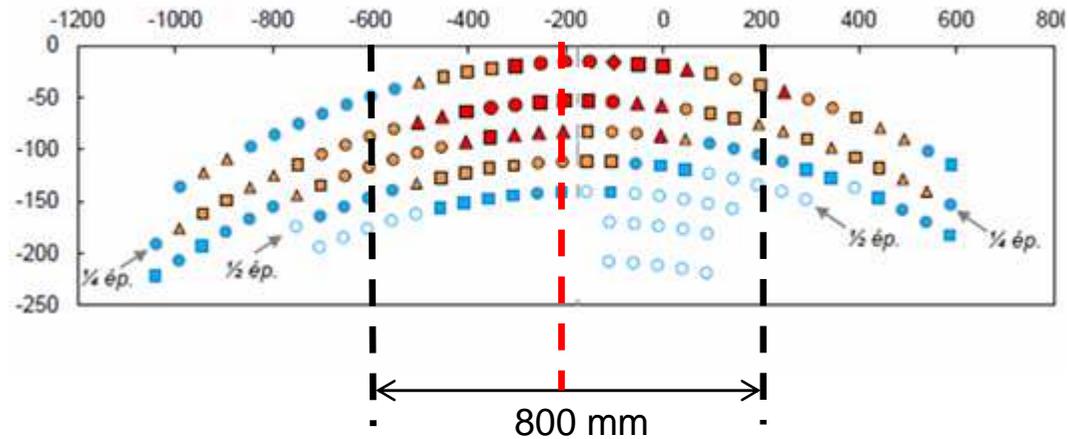
Objectifs

- Déterminer l'étendue de la zone de ségrégation majeure positive (teneur en carbone supérieure à 0,22%)
- Déterminer les caractéristiques mécaniques des zones fortement ségréguées

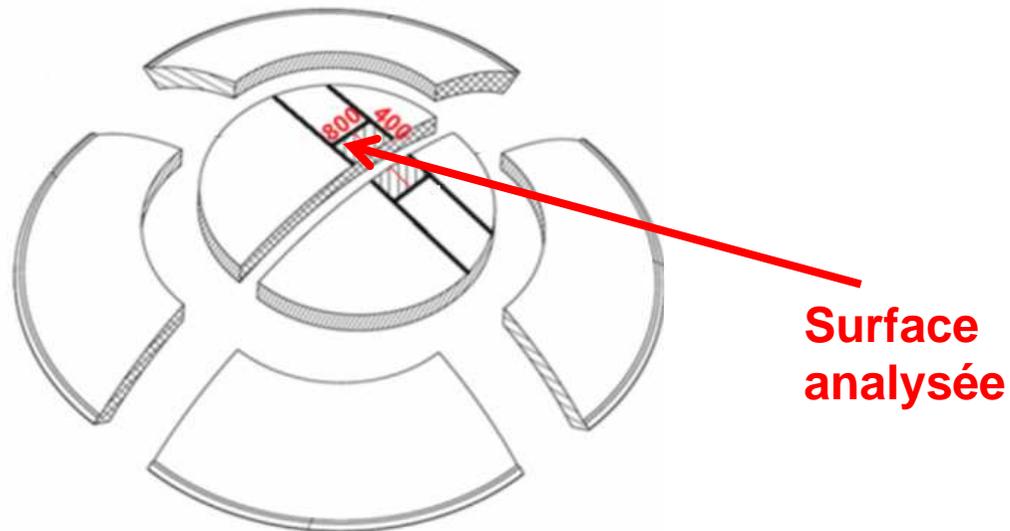


Programme d'essais réalisé sur une calotte supérieure et une calotte inférieure

Concentration en carbone dans l'épaisseur



Dans une calotte supérieure, 2 morceaux de 800 x 400 mm



Réalisation d'essais

En peau

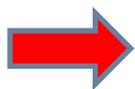
- 3 essais de traction à 20 °C

¼ et ½ épaisseur : essais mécaniques

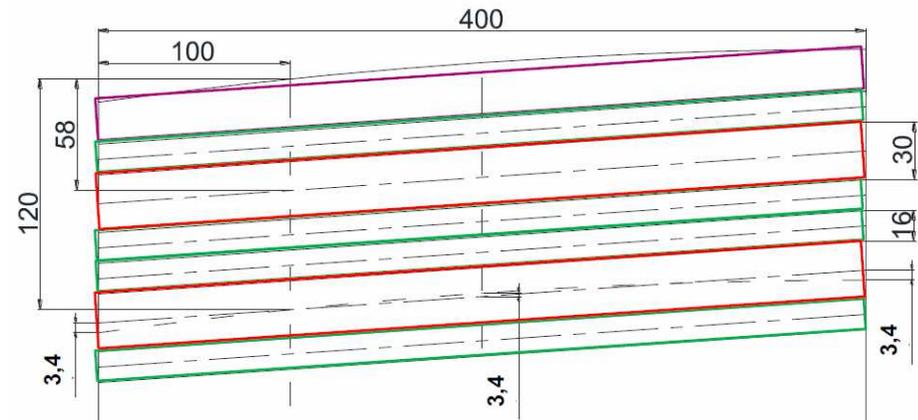
- 18 éprouvettes de résilience
- 48 éprouvettes pour essais de ténacité (domaine fragile)
- 6 éprouvettes pour essais de ténacité (domaine ductile)
- 8 éprouvettes de traction

Détermination de la température de transition fragile-ductile

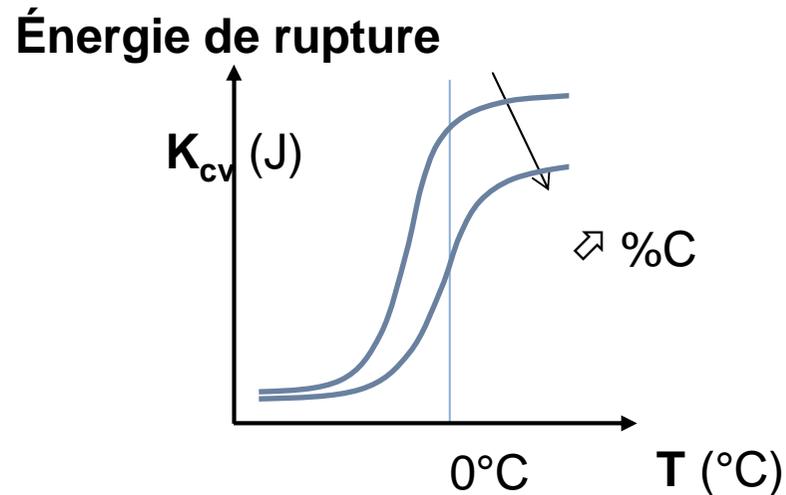
- 12 éprouvettes de résilience
- 8 éprouvettes Pellini



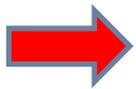
Détermination des caractéristiques mécaniques des zones fortement ségréguées



- Caractéristiques mécaniques
- Résilience plus faible (due à la concentration en carbone)

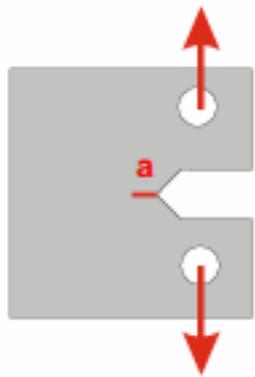


- Résilience \neq propriété intrinsèque du matériau
↪ indicateur de la ductilité et de la tolérance aux défauts
- Prévention du risque de rupture : caractéristique mécanique d'intérêt



Ténacité : Capacité d'un matériau à résister à la propagation d'une fissure

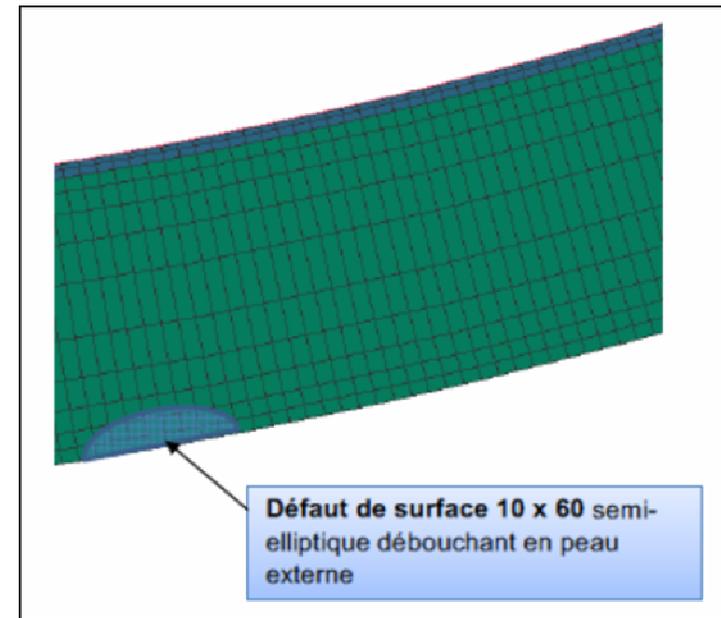
Ténacité : Capacité d'un matériau à résister à la propagation d'une fissure



σ_c : rupture

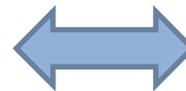


$$K_{IC} = \sigma_c \sqrt{\pi a}$$



Mesure de la force nécessaire à la propagation de la fissure : ténacité

Calcul des contraintes induites par un défaut postulé dans une structure



■ Démarche de justification d'AREVA

Démontrer que la ténacité du matériau en zone ségréguée est suffisante pour prévenir le risque de rupture brutale

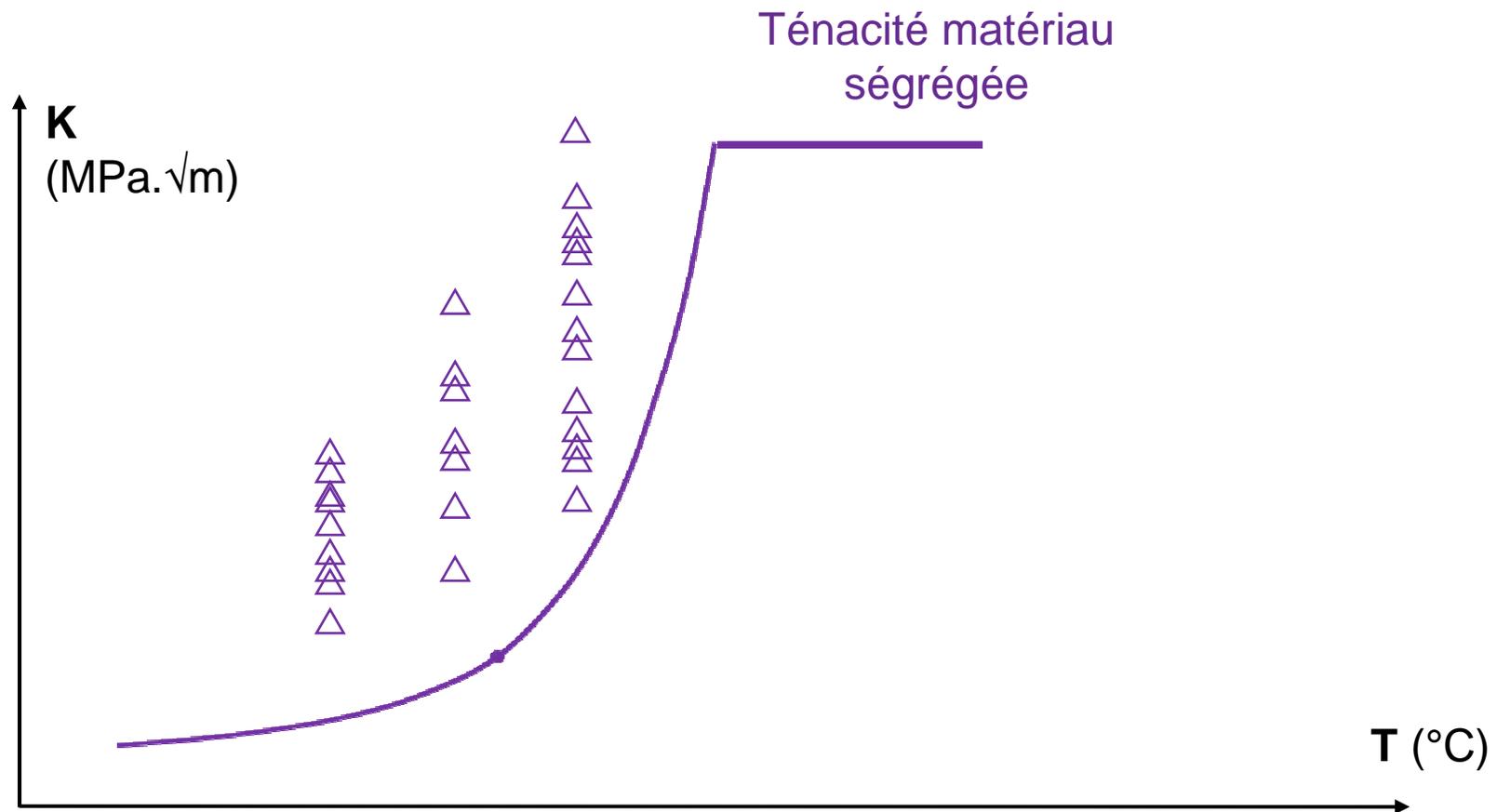
■ Démarche en 3 étapes

1. **Mesure** de la **Ténacité** du matériau en zone ségréguée
2. **Calcul** du **chargement** au regard du risque de rupture brutale
3. **Vérification**

Ténacité matériau > **Chargement en situation accidentelle**

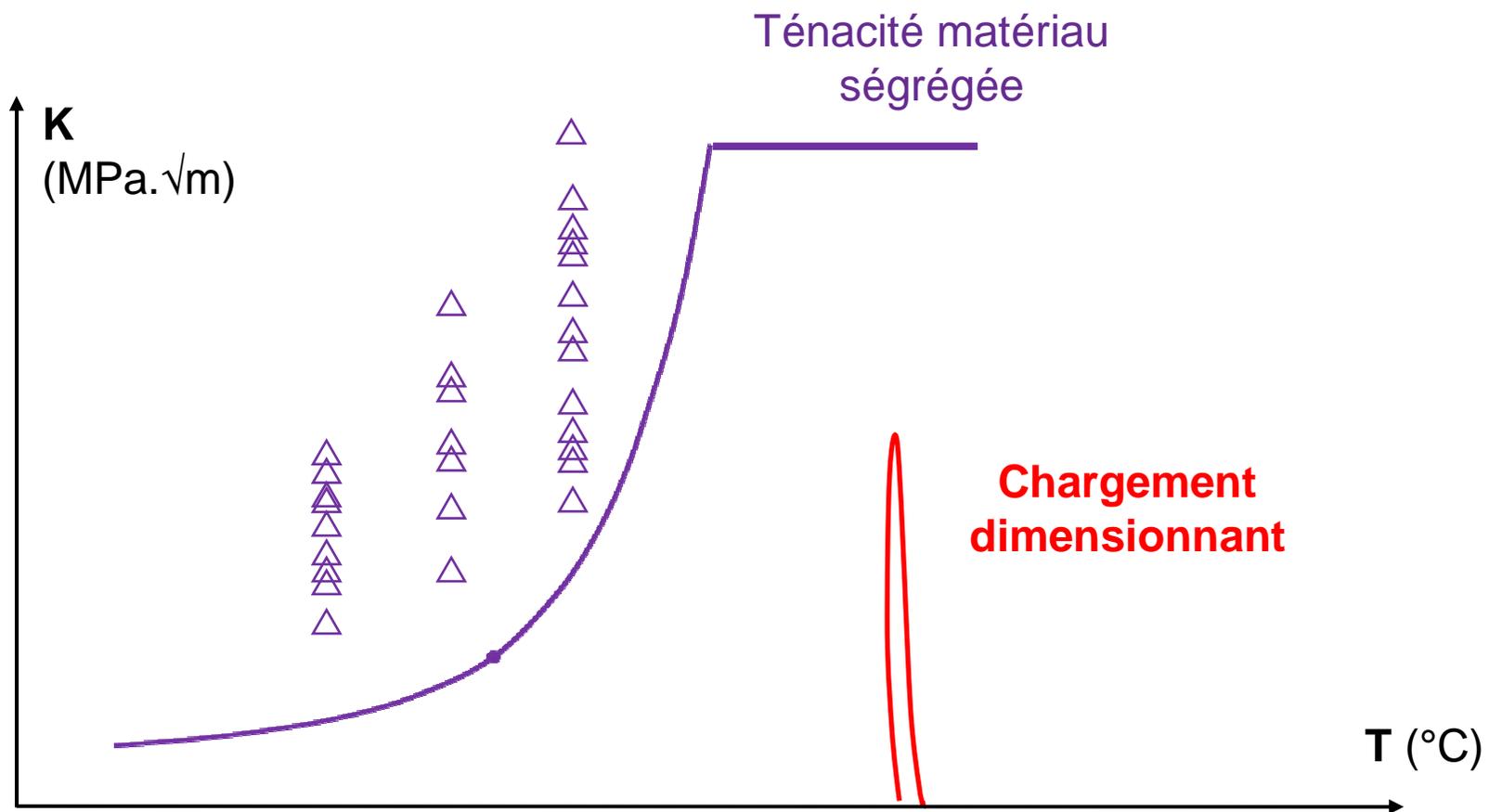
■ Démarche en 3 étapes

1 - Mesure de la Ténacité du matériau en zone ségrégée



■ Démarche en 3 étapes

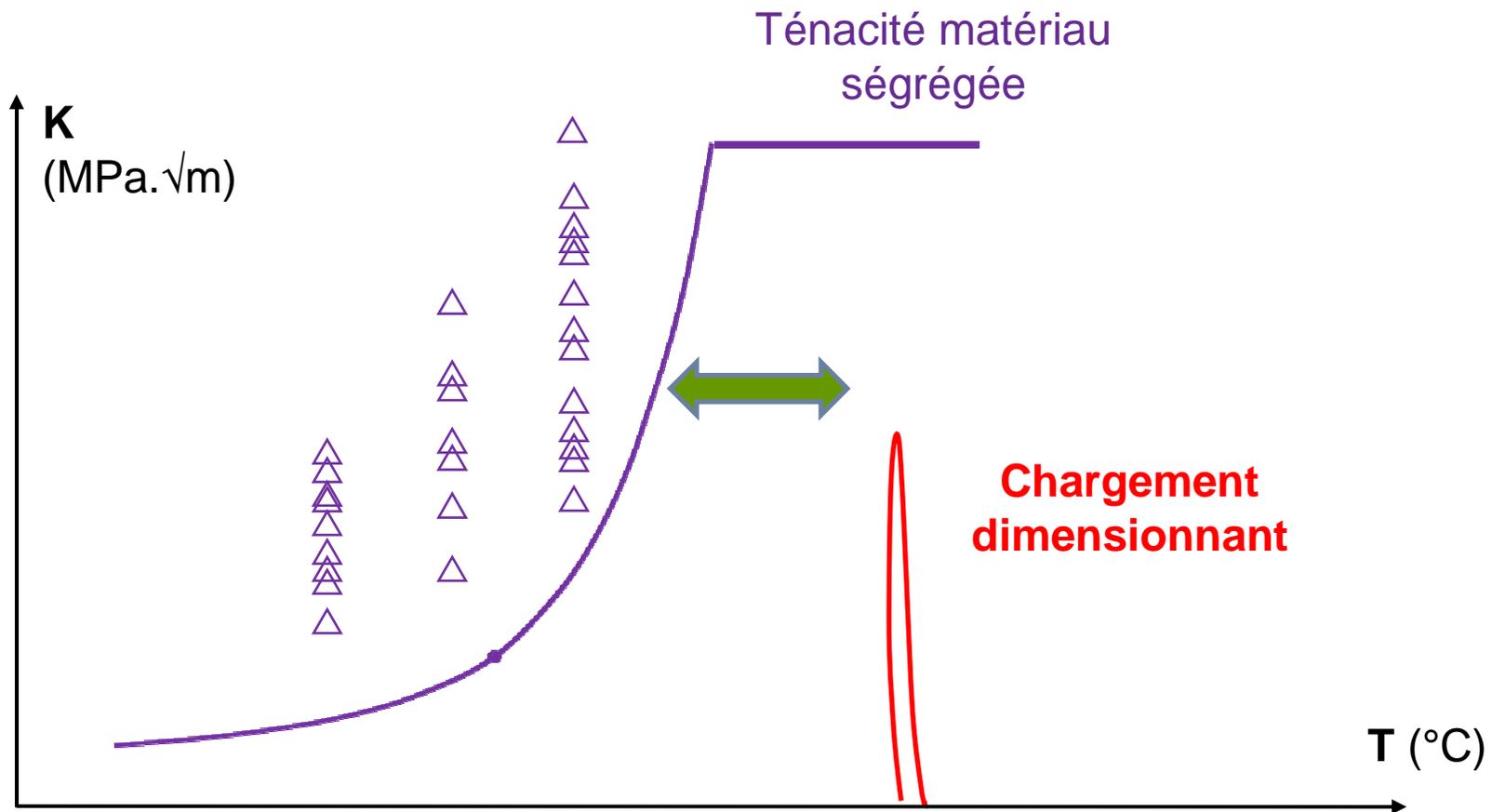
2 -Calcul du **chargement dimensionnant** au regard du risque de rupture brutale



■ Démarche en 3 étapes

3 - Vérification

Ténacité matériau > Chargement en situation accidentelle



■ Respect des exigences ESPN

□ Meilleure technique disponible

D'autres procédés de fabrication auraient permis d'éviter le phénomène de ségrégation majeure positive constaté

□ **Qualification technique** : Identifier toutes les zones qui présentent un risque d'hétérogénéité et définir la qualité attendue du matériau pour ces zones, en lien avec la conception

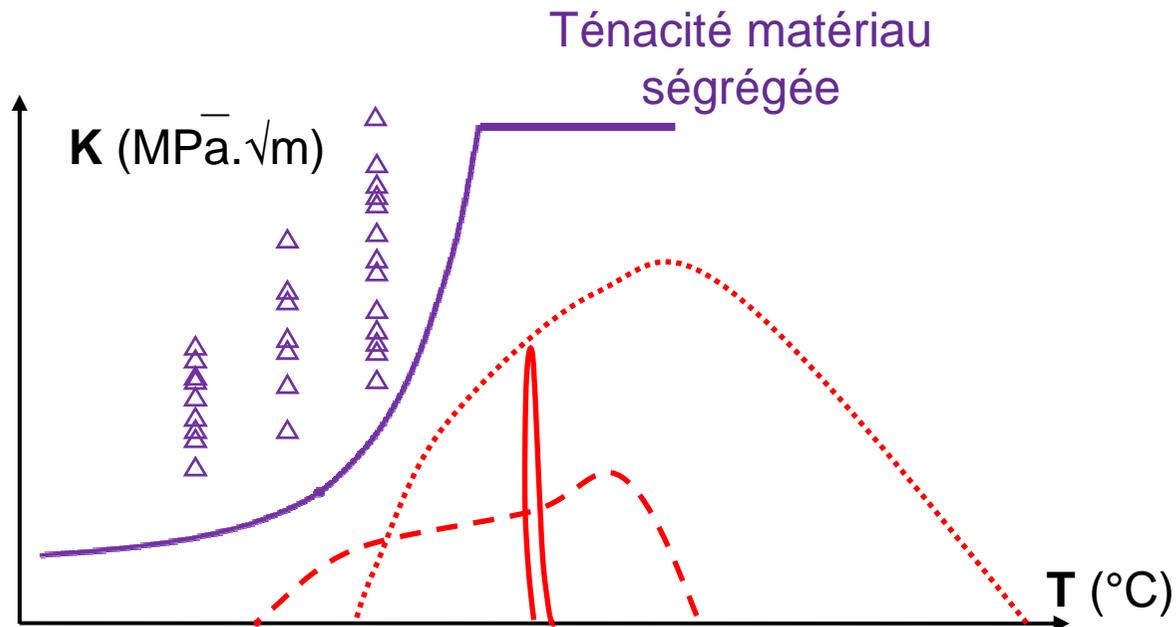
Risque d'hétérogénéité mal apprécié et conséquences mal quantifiées par AREVA

↳ Procédé ne permettant pas d'atteindre la qualité attendue

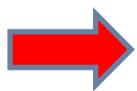
□ Matériaux suffisamment ductiles et tenaces cuve (Allongement après rupture au moins égal à 20%, Energie de flexion par choc sur éprouvette ISO V au moins égale à 60 J)

Non respect du critère de résilience

- Liste des situations conduisant à des **chargements** sur les calottes : avis IRSN prévu au 1^{er} semestre 2016



- Dossier AREVA sur les résultats d'essais prévu au 1^{er} semestre 2016
- Instruction ASN/IRSN sur ce dossier



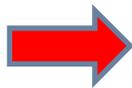
GP ESPN pour statuer sur l'acceptabilité des caractéristiques mécaniques au regard des chargements au **2d semestre 2016**

Présentation ASN/IRSN et discussions autour des thèmes suivants

- Fabrication
- Programme d'essais -> Ténacité minimale
- Exploitation des résultats d'essais



- ✓ Réunion jugée positive
- ✓ Le dialogue a permis l'appropriation des enjeux
- ✓ Certains points restent à approfondir
- ✓ Forte attente sur « comment on en est arrivé là »
- ✓ Coordination nécessaire avec le groupe HCTISN
- ✓ Réflexions sur les suites à donner



Réunions programmées le 6 avril 2016 puis en juin

- Position ASN
- Représentativité calottes