

asn

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Démarche de justification

Principes

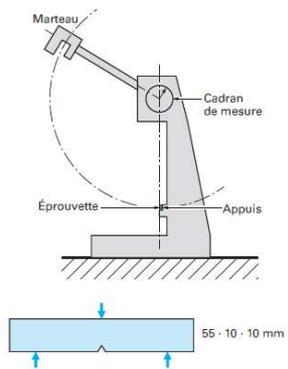
Dialogue technique EPR - 2 décembre 2015

asn

Principes de la démarche de justification

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

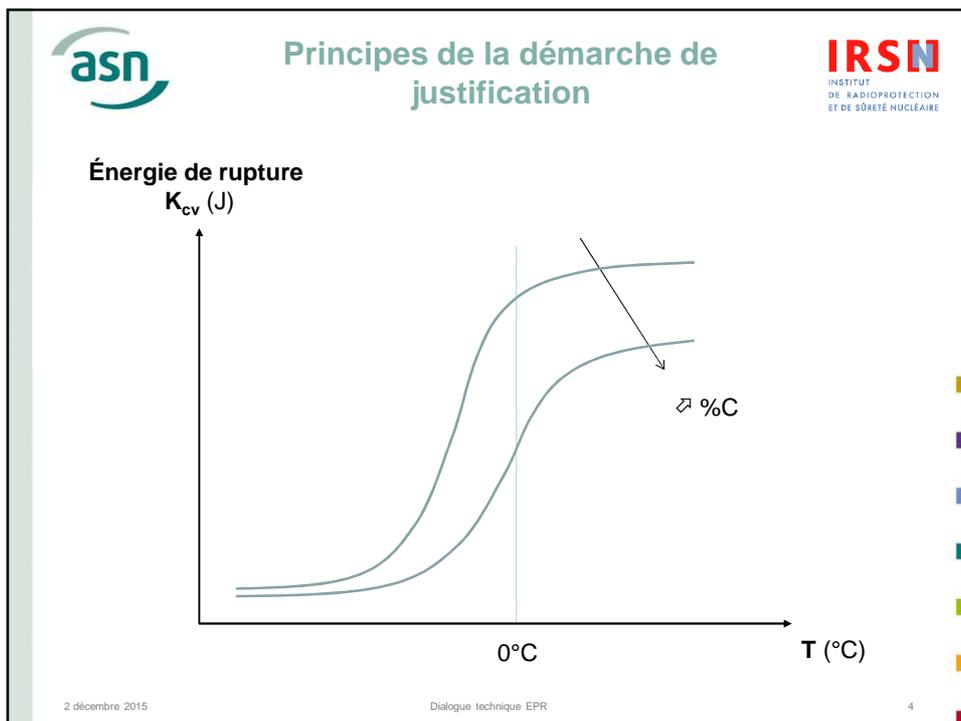
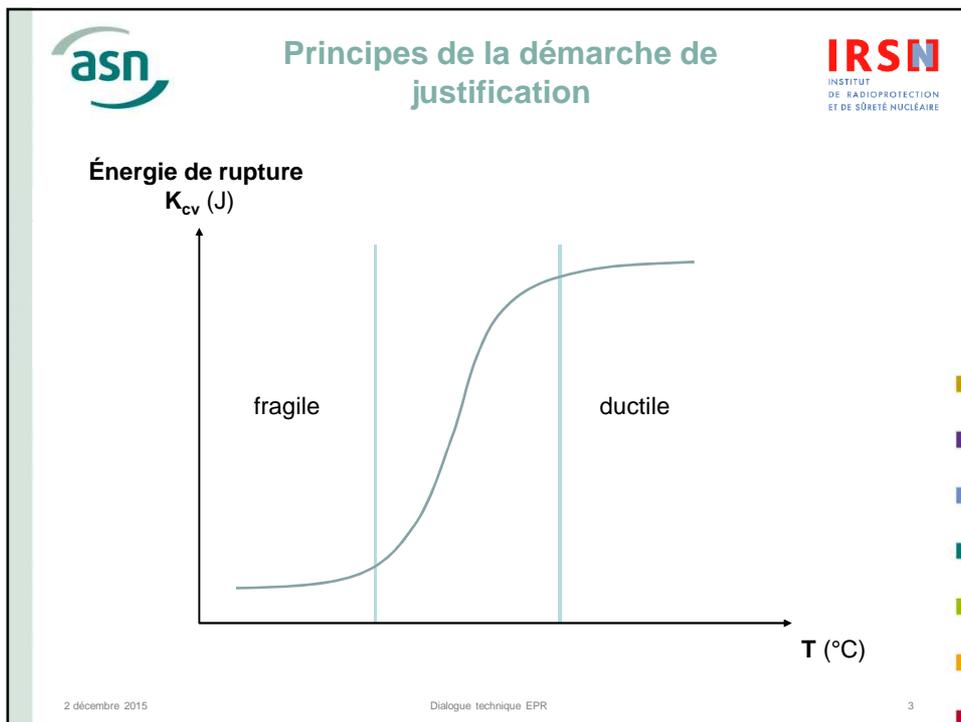
- **Préambule**
 - Rappel
 - Affaiblissement de la **résilience** constatée sur essais (calotte UA)
 - Résilience
 - Énergie de rupture d'une éprouvette entaillée



2 décembre 2015

Dialogue technique EPR

2

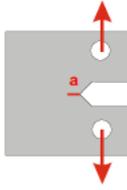


asn **Principes de la démarche de justification** IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

- **Baisse de résilience**
 - ↯ ductilité
 - ↯ tolérance à la présence de défauts
 - Mais...
 - Résilience ≠ propriété intrinsèque du matériau
 - Pas de vérification mécanique possible
- **Résilience = indicateur de la ductilité et de la tolérance aux défauts**
- **Prévention du risque de rupture**
 - Ténacité
 - Capacité d'un matériau à résister à la propagation d'une fissure

2 décembre 2015 Dialogue technique EPR 5

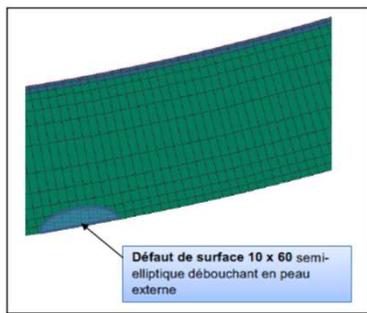
asn **Principes de la démarche de justification** IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE



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

↔

2 décembre 2015 Dialogue technique EPR 6



Principes de la démarche de justification



- **Objectif**
 - Démontrer que la ténacité du matériau en zone ségréguée (ZS) est suffisante pour prévenir le risque de rupture brutale
- **Démarche en 3 étapes**
 1. **Calcul** de la **Ténacité requise** pour prévenir le risque de rupture brutale (ou *ténacité suffisante*)
 2. **Mesure** de la **Ténacité du matériau en zone ségréguée**
 3. **Comparaison** : vérifier que
Ténacité en zone ségréguée > **Ténacité requise**

2 décembre 2015 Dialogue technique EPR 7



Principes de la démarche de justification



Calcul

Ténacité
suffisante

≤ ?

Mesure

Ténacité en zone
ségréguée

2 décembre 2015 Dialogue technique EPR 8



Démarche de justification

Programme d'essais

Dialogue technique EPR - 2 décembre 2015



Objectif et examen du programme d'essais



L'objectif :

- Étendue de la zone de ségrégation majeure positive
- Caractéristiques mécaniques des zones fortement ségréguées, principalement la ténacité

=> Choix d'une calotte représentative

2 décembre 2015

Dialogue technique EPR

2



Programme d'essais



❑ **Représentativité de la calotte choisie : calotte supérieure UK**

2 décembre 2015

Dialogue technique EPR

3



Programme d'essais – Représentativité de la calotte supérieure UK

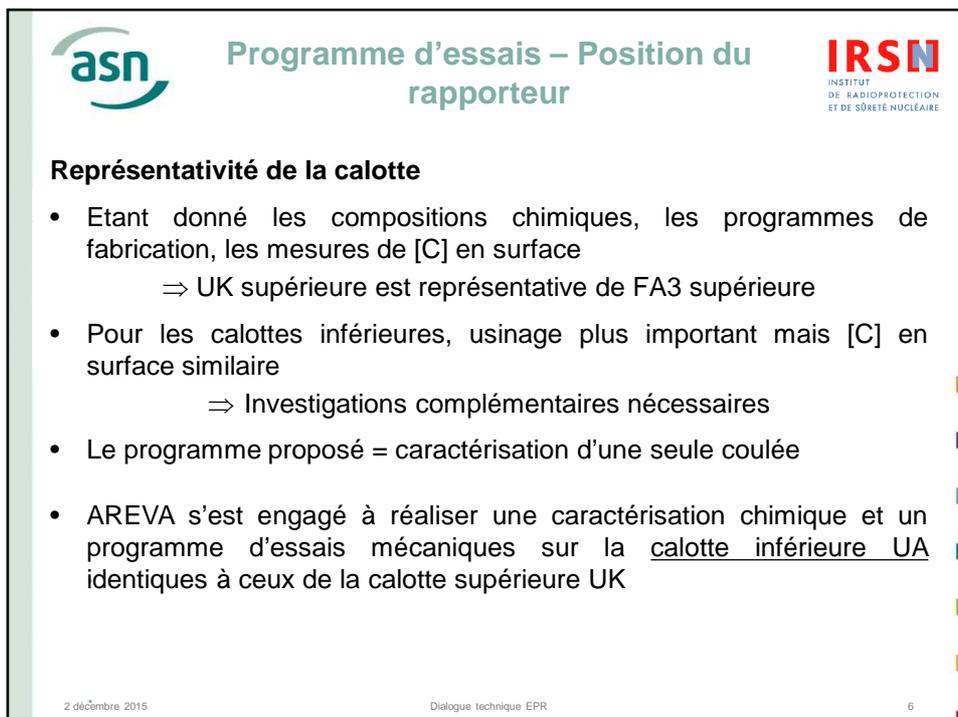
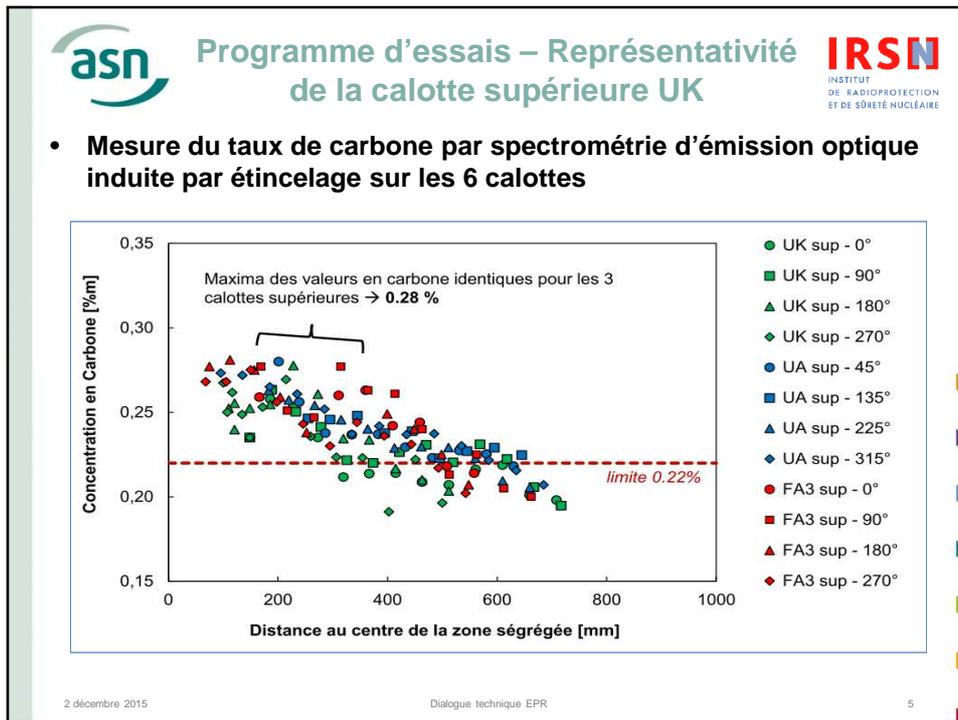


- 6 calottes réalisées par Creusot Forge pour 3 projets :
UK , UA et FA3
 - Programmes techniques de fabrication identiques
- Des traitement thermiques comparables
- Élaboration des calottes inférieure et supérieure identique jusqu'à l'emboutissage
- Des usinages différents

2 décembre 2015

Dialogue technique EPR

4



asn **Programme d'essais** **IRSN**
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLEAIRE

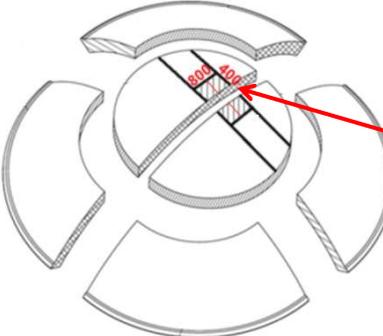
Programme d'essais proposé sur la calotte supérieure UK

2 décembre 2015 Dialogue technique EPR 7

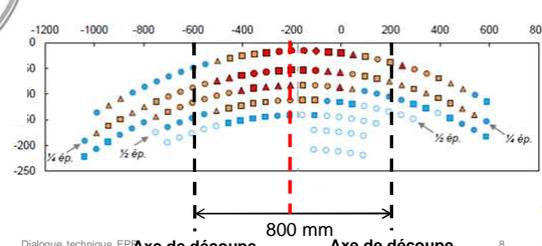
asn **Programme d'essais** **IRSN**
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLEAIRE

Programme d'essais proposé par AREVA

- 2 morceaux de 800 x 400 mm coupés en 2
- 4 morceaux de 400 mm x 400 mm



Surface analysée



-1200 -1000 -800 -600 -400 -200 0 200 400 600 800

0

100

200

300

400

500

600

700

800

-250

1/4 ép.

1/2 ép.

1/2 ép.

1/4 ép.

800 mm

Axe de découpe

Axe de découpe

2 décembre 2015 Dialogue technique EPR 8

asn **Programme d'essais** **IRSN**
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Programme d'essais proposés par AREVA
- 7 tranches dans chacun des 4 morceaux de 400 x 400 mm

2 décembre 2015 Dialogue technique EPR 9

asn **Programme d'essais** **IRSN**
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Programme d'essais proposé par AREVA

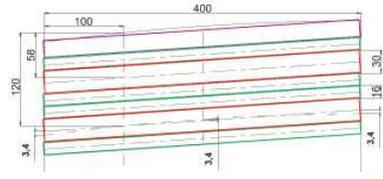
- Cartographie du carbone sur la surface des 2 tranches rouges de chaque morceau de 400 x 400 mm
- Optimisation du positionnement des éprouvettes en fonction de la concentration en carbone

2 décembre 2015 Dialogue technique EPR 10

asn **Programme d'essais** **IRSN**
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

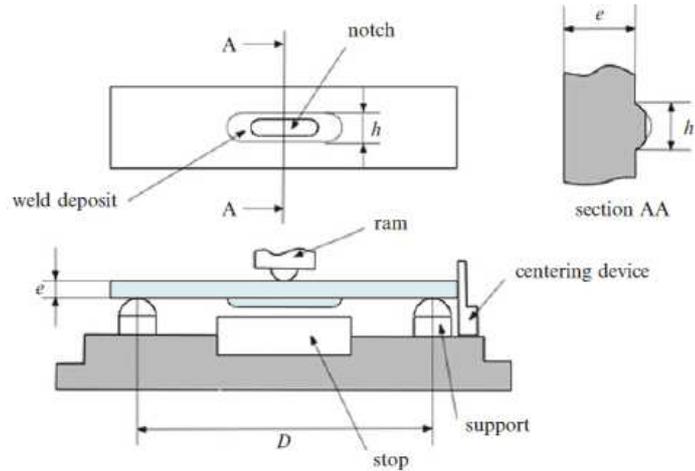
Programme d'essais proposé par AREVA

- **En peau**
 - 3 essais de traction à 20°C
- **¼ et ½ épaisseur : essais mécaniques**
 - 18 éprouvettes de résilience
 - 48 éprouvettes de type CT12,5 (domaine fragile)
 - 6 éprouvettes de type CT25 (domaine ductile)
 - 8 éprouvettes standards de traction
- **Entre les tranches à ¼ et ½ épaisseur : détermination de la température de transition fragile-ductile (RT_{NDT})**
 - 12 éprouvettes de résilience
 - 8 éprouvettes Pellini

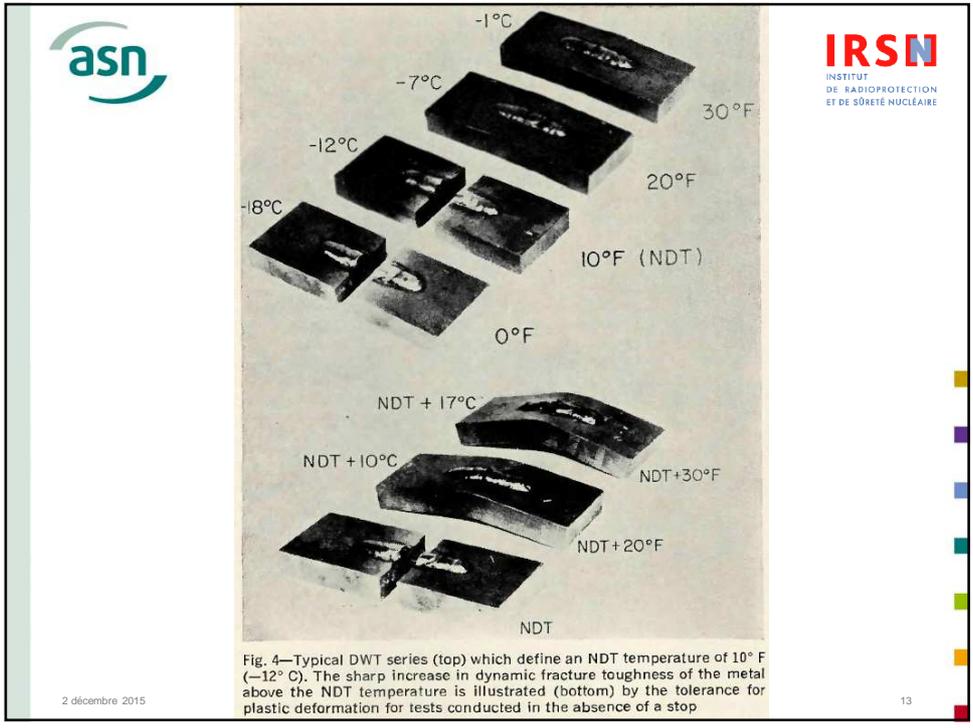


2 décembre 2015 Dialogue technique EPR 11

asn **Essais de Pellini** **IRSN**
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE



2 décembre 2015 Dialogue technique EPR 12





Démarche de justification

Exploitation des résultats

Dialogue technique EPR - 2 décembre 2015



Objectifs

- **Programme d'essais**
 - Vérifier que les propriétés du matériau dans la ZS permettent de préserver des marges significatives par rapport au risque de rupture brutale
 - Vérifier que la présence de la ZS ne remet pas en cause les hypothèses considérées à la conception

2 décembre 2015

Dialogue technique EPR

2

asn **IRSN**
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Exploitation des résultats

Calcul

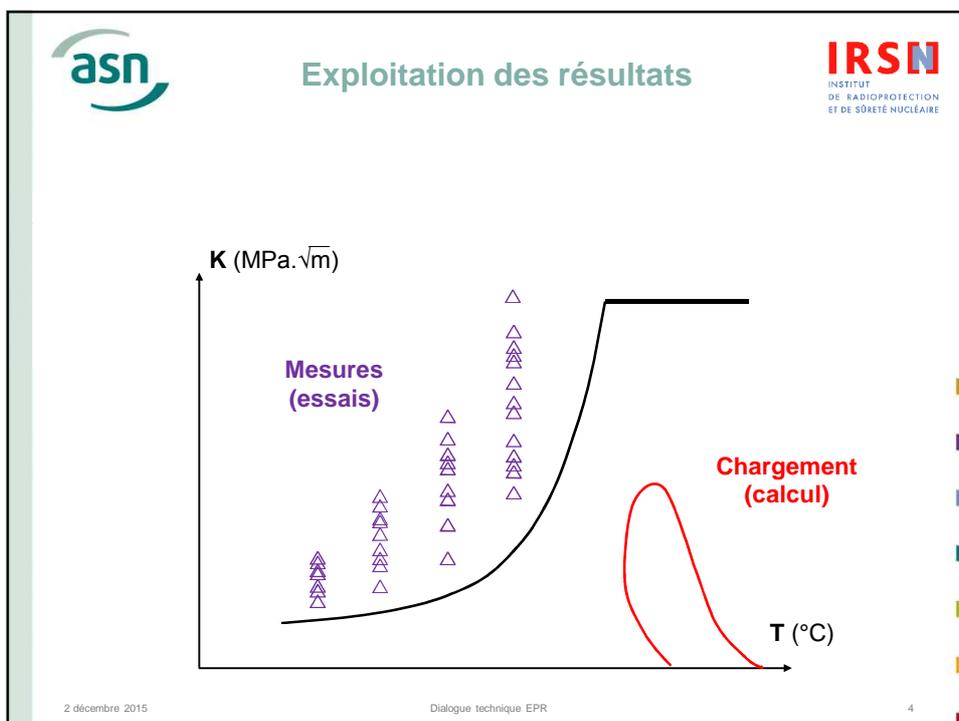
Ténacité
suffisante

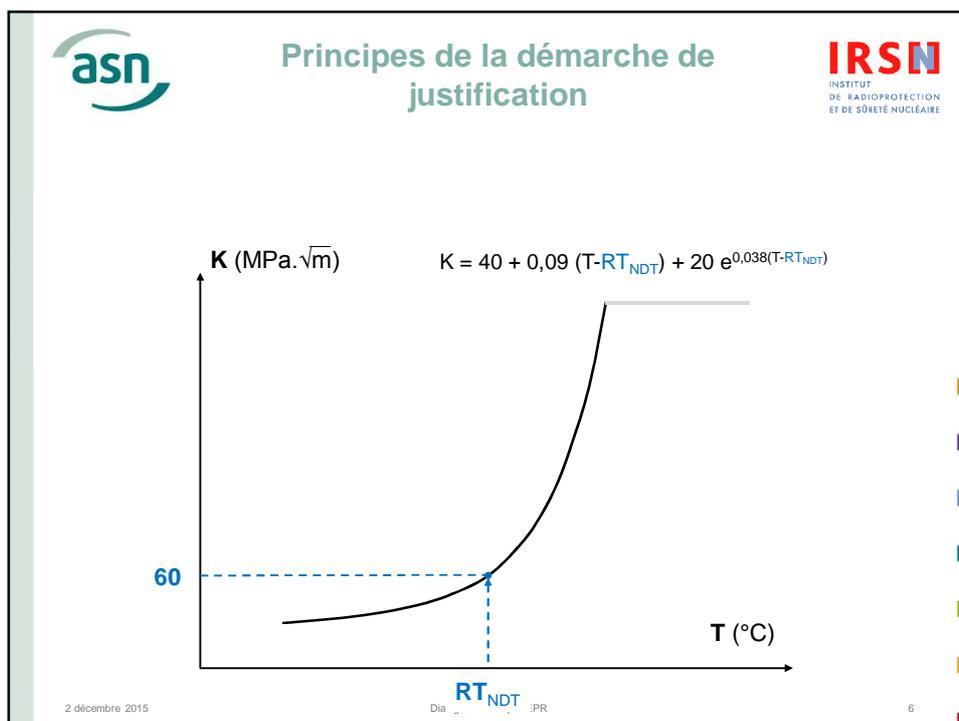
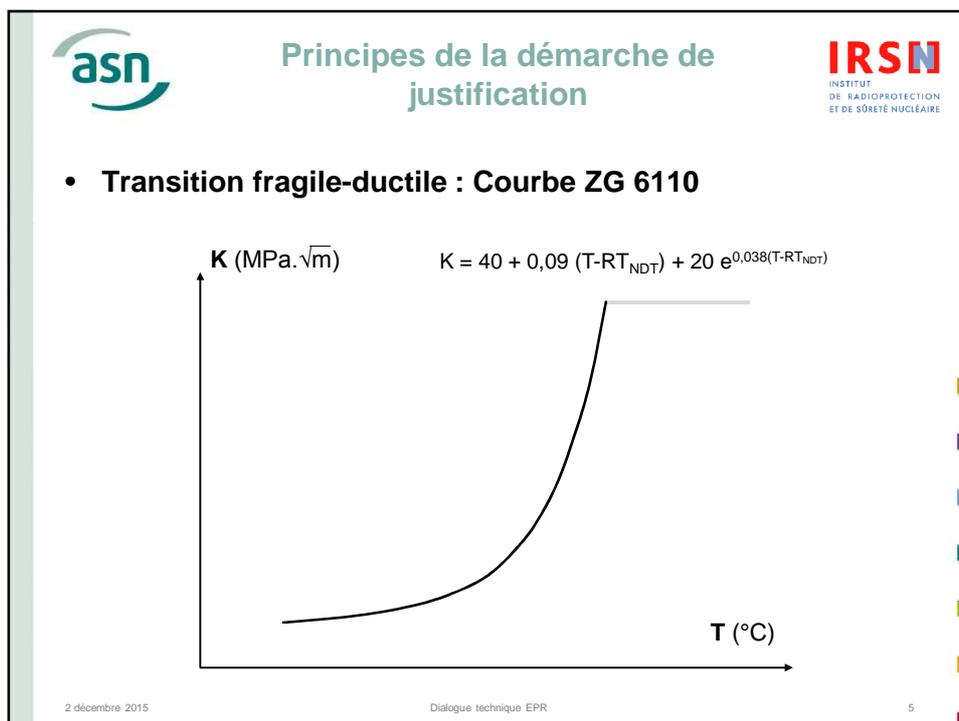
$\leq ?$

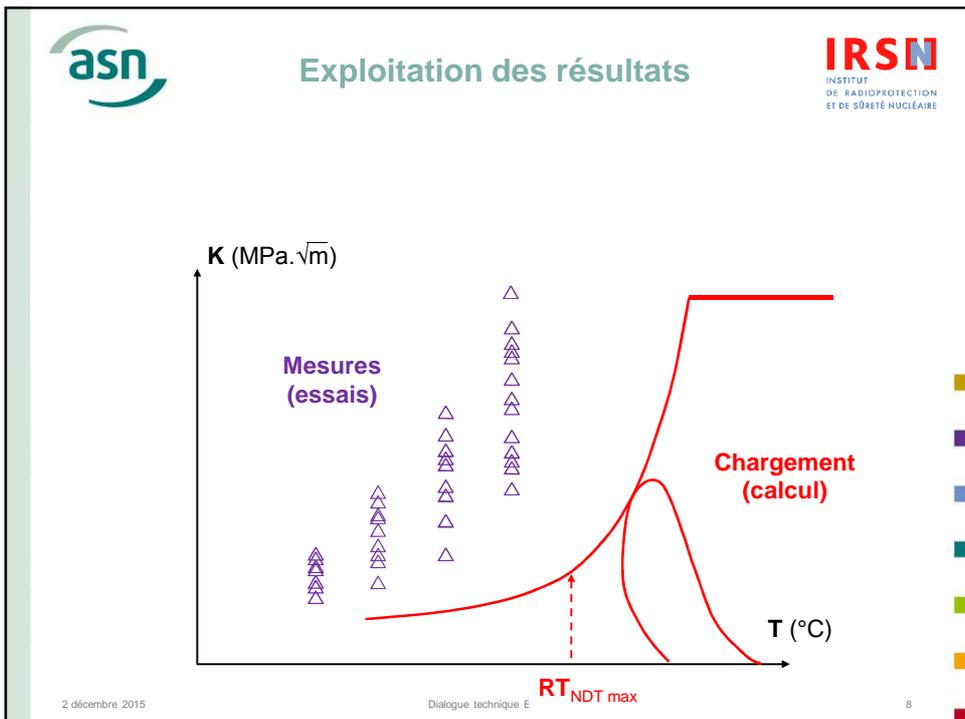
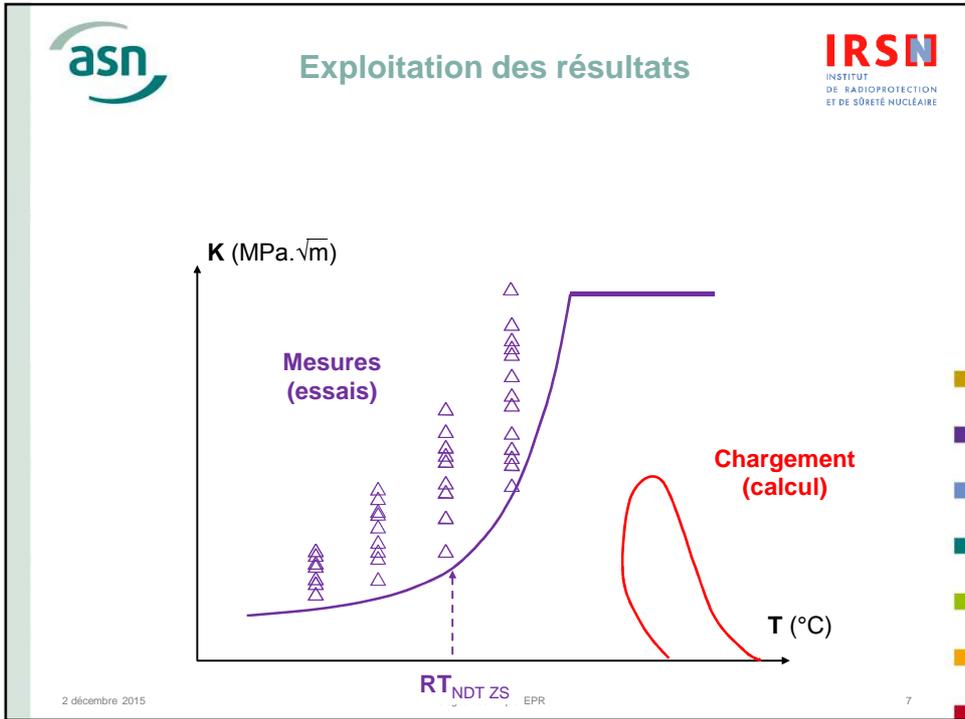
Mesure

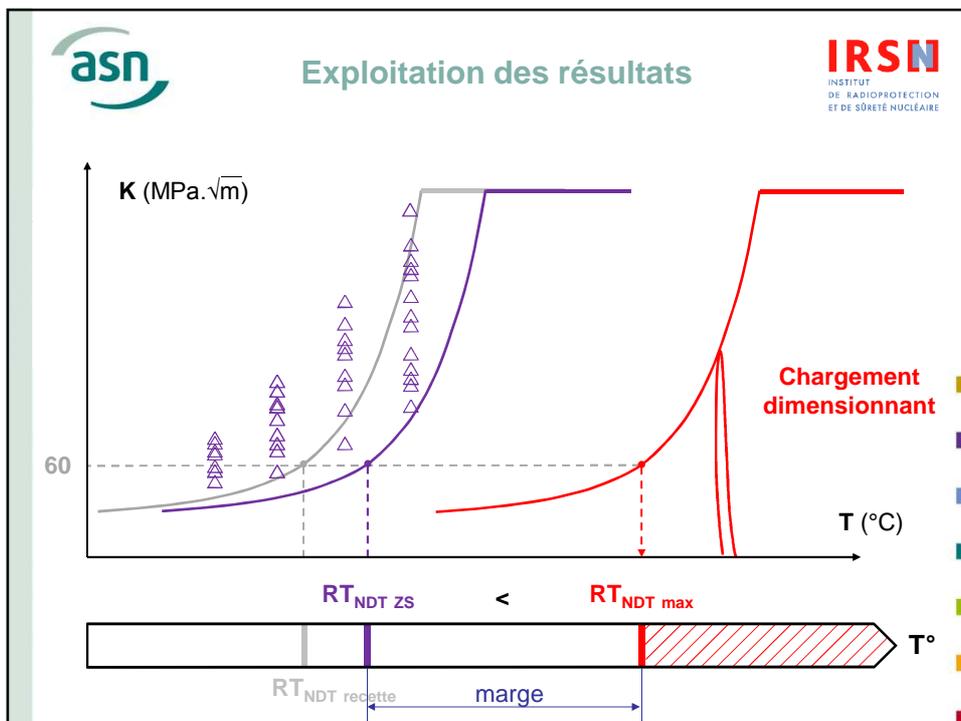
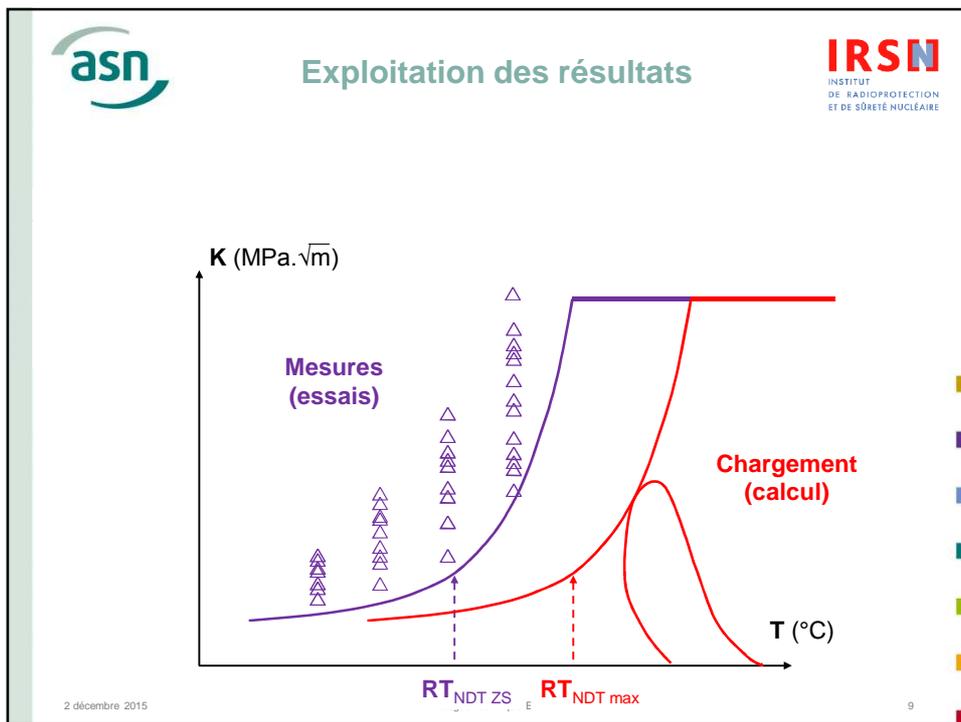
Ténacité zone
ségréguée

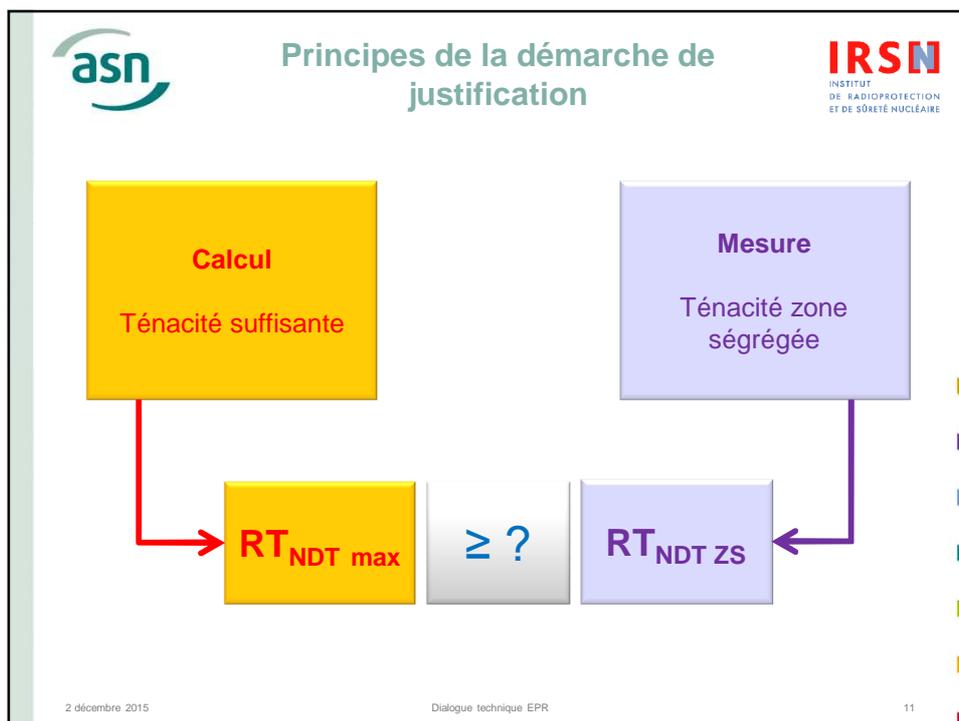
2 décembre 2015 Dialogue technique EPR 3











asn

Conclusion

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

- Vérifier que les propriétés du matériau dans la ZS permettent de préserver des marges significatives par rapport au risque de rupture brutale
- Vérifier que la présence de la ZS ne remet pas en cause les hypothèses considérées à la conception
- Réalisation d'un grand nombre d'essais
 - Bonne compréhension du comportement de l'acier dans la ZS
 - Détermination des paramètres caractéristiques de la transition entre les domaines fragile et ductile

2 décembre 2015

Dialogue technique EPR

12

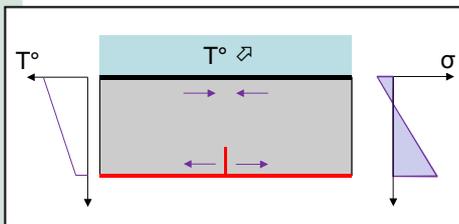


Détermination de la ténacité suffisante



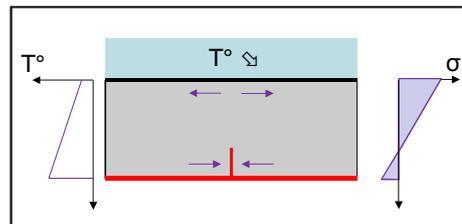
⇒ Défaut postulé en **peau externe**

Choc chaud



⇒ Ouverture du défaut

Choc froid



⇒ Fermeture du défaut