

asn

IRSN  
INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

## Démarche de justification

### Principes

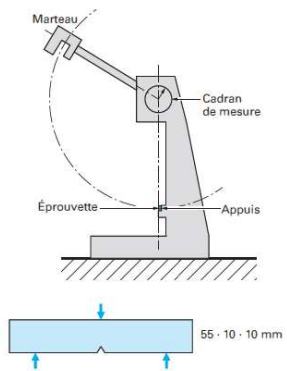
Dialogue technique EPR - 2 décembre 2015

asn

### Principes de la démarche de justification

IRSN  
INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

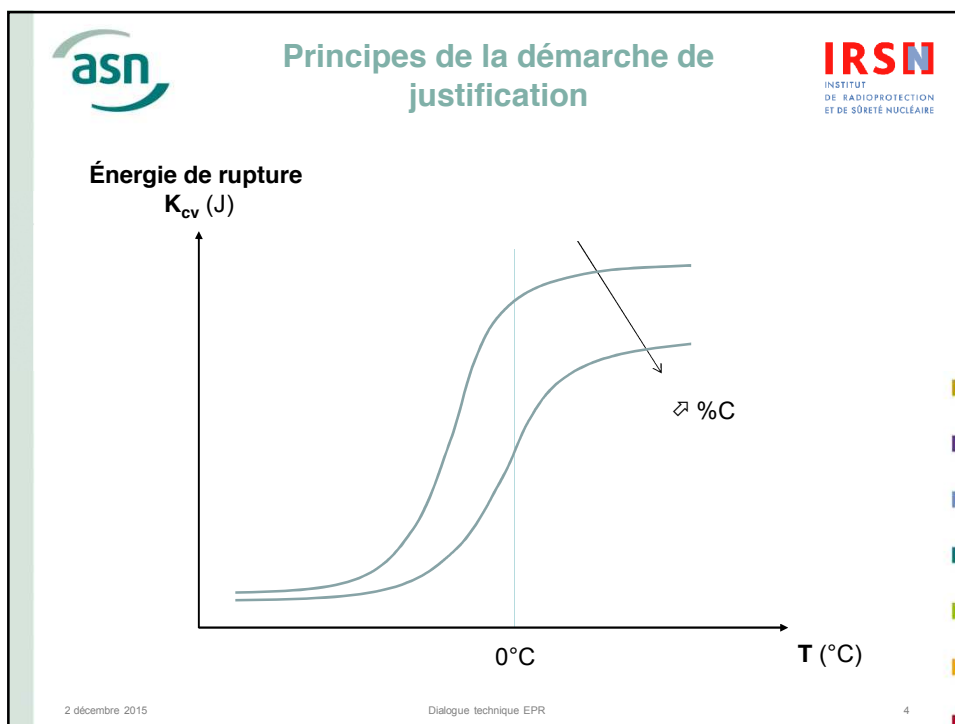
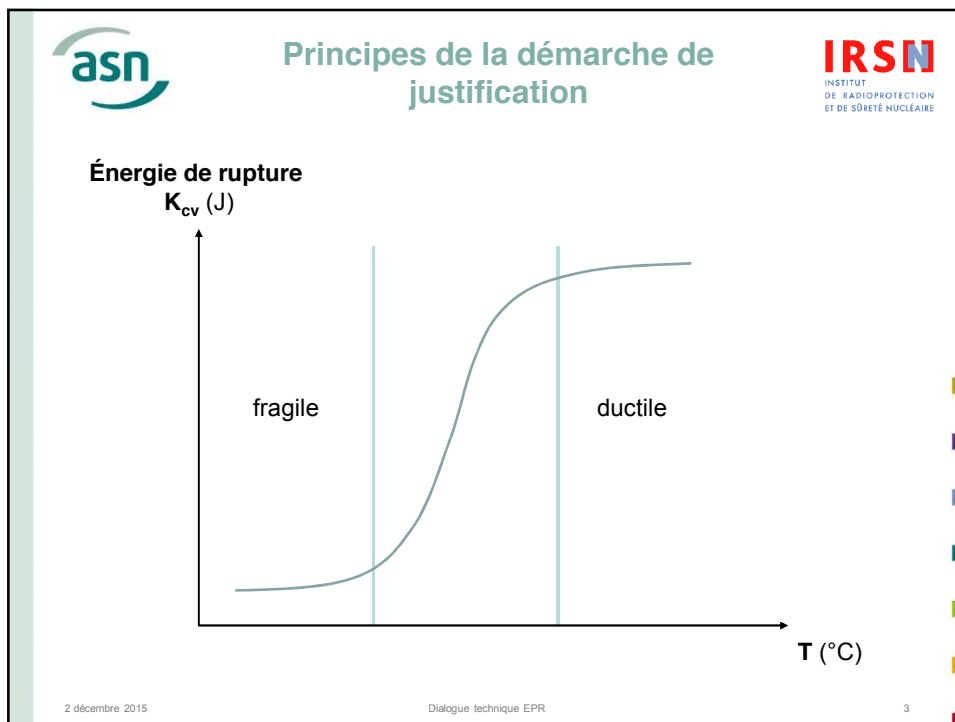
- **Préambule**
  - Rappel
    - Affaiblissement de la **résilience** constatée sur essais (calotte UA)
  - Résilience
    - Énergie de rupture d'une éprouvette entaillée



2 décembre 2015

Dialogue technique EPR

2

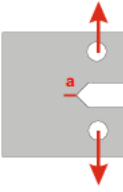


asn **Principes de la démarche de justification** IRSN  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE


- **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

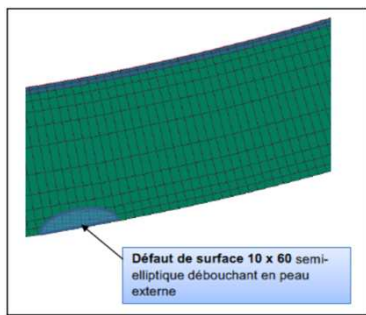
asn **Principes de la démarche de justification** IRSN  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE



$\sigma_c$  : 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

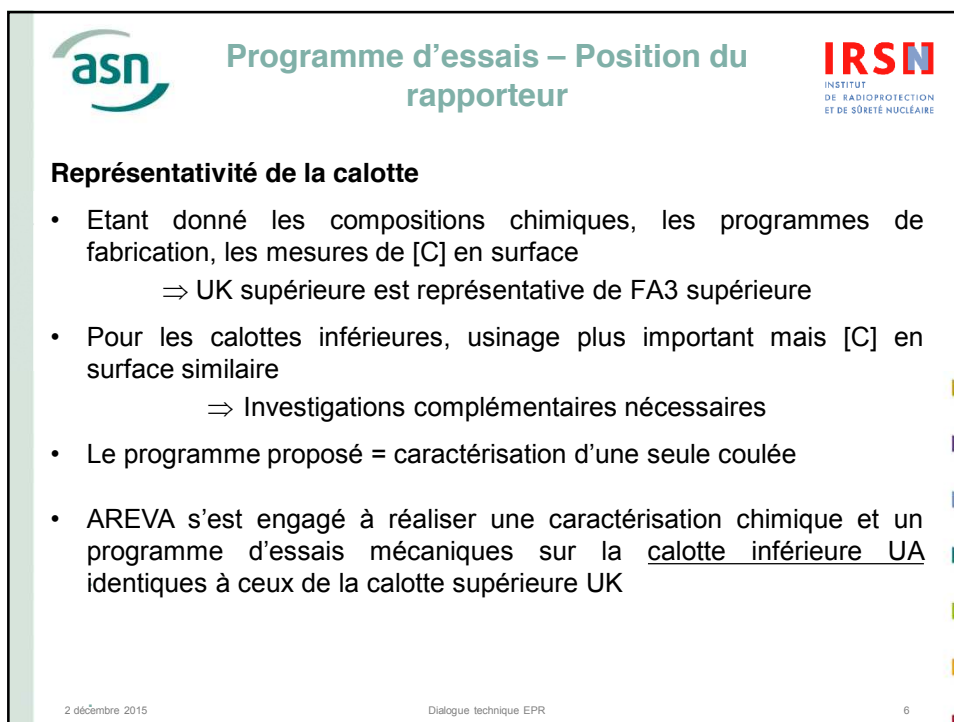
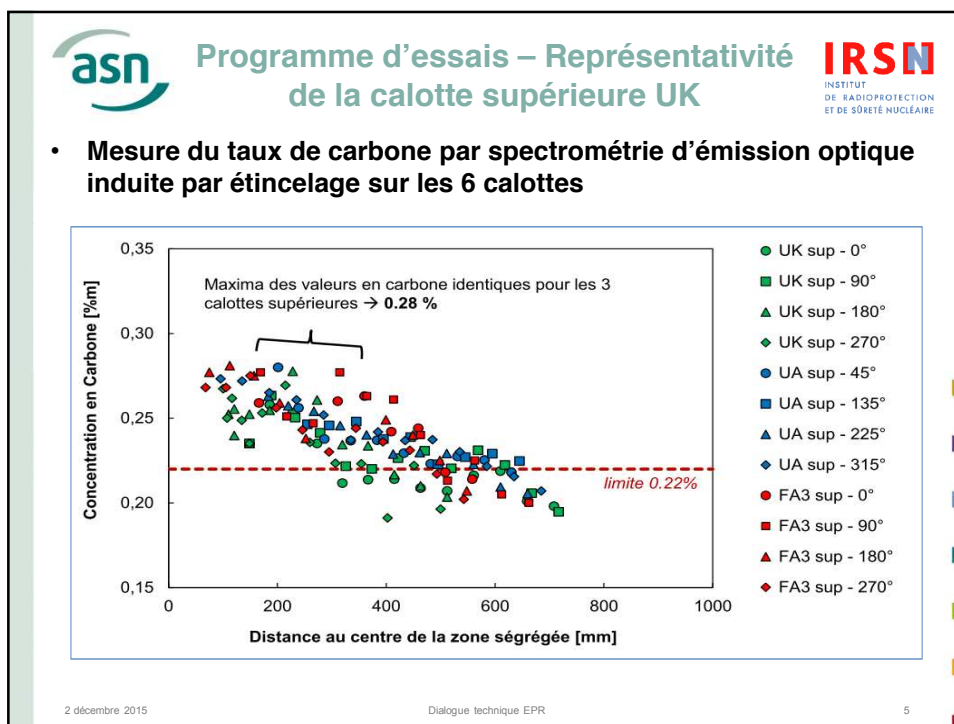


- 6 calottes réalisées par Creusot Forge pour 3 projets :  
UK , UA et FA3
  - Programmes techniques de fabrication identiques
- Des traitement thermiques comparables
- Élaboration des calottes inférieure et supérieure identique jusqu'à l'emboutissage
- Des usinages différents

2 décembre 2015

Dialogue technique EPR

4



asn

Programme d'essais

IRSN  
INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

❑ Programme d'essais proposé sur la calotte supérieure UK

2 décembre 2015

Dialogue technique EPR

7

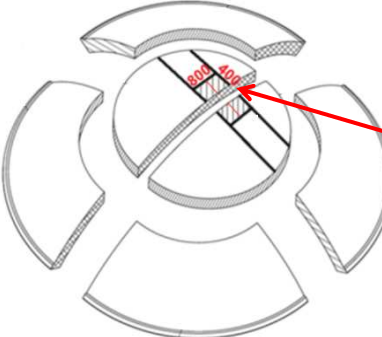
asn

Programme d'essais

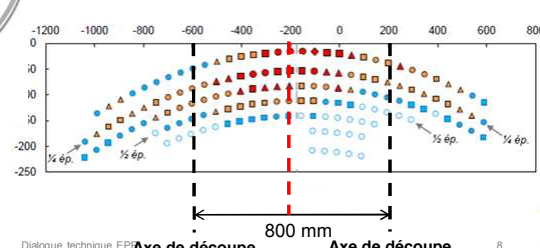
IRSN  
INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**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

10

0

-10

-20

-250

1/4 ép.

1/4 ép.

1/4 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**

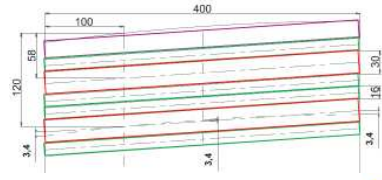
- Cartographie du carbone sur la surface des 2 tranches rouges de chaque morceau de 400 x 400 mm
- Optimisation du positionnement des éprouvettes en fonction de la concentration en carbone

2 décembre 2015 Dialogue technique EPR 10

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

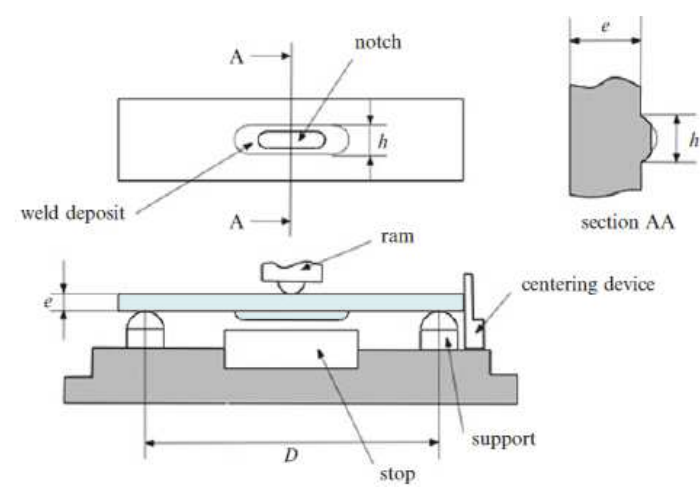
**Programme d'essais proposé par AREVA**

- **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

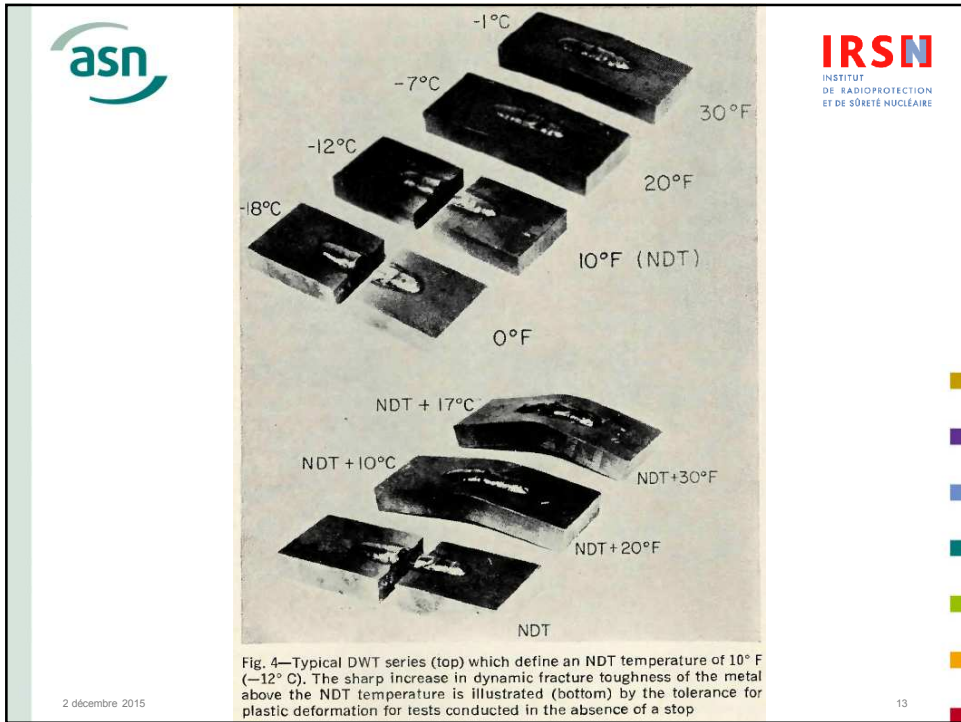




Fig. 4—Typical DWT series (top) which define an NDT temperature of 10° F (–12° C). The sharp increase in dynamic fracture toughness of the metal above the NDT temperature is illustrated (bottom) by the tolerance for plastic deformation for tests conducted in the absence of a stop



# Démarche de justification

## Exploitation des résultats

Dialogue technique EPR - 2 décembre 2015



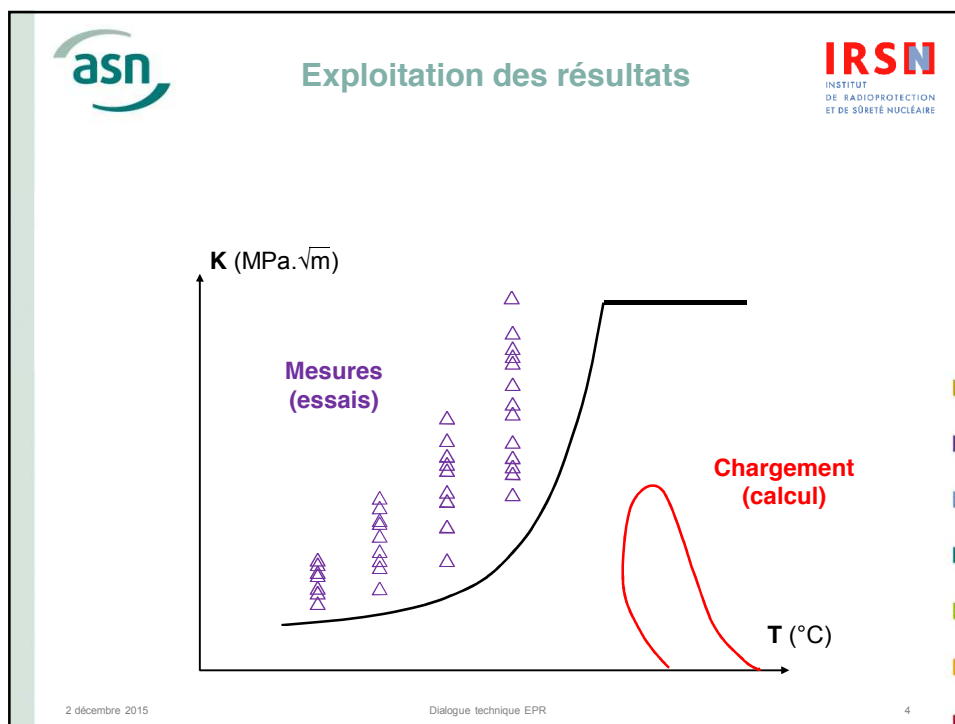
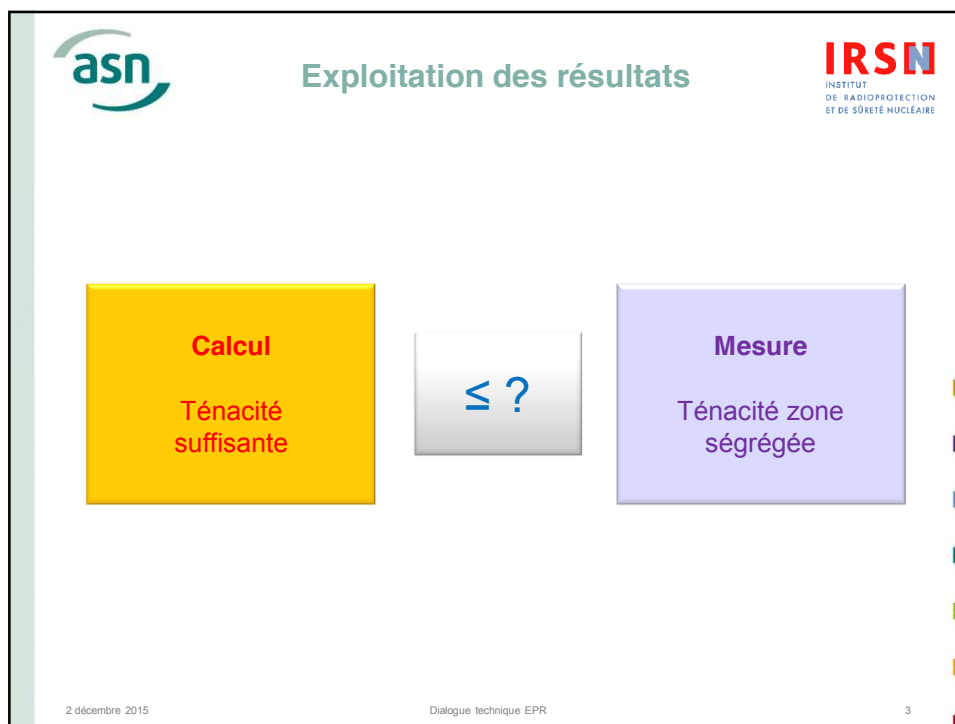
## Objectifs

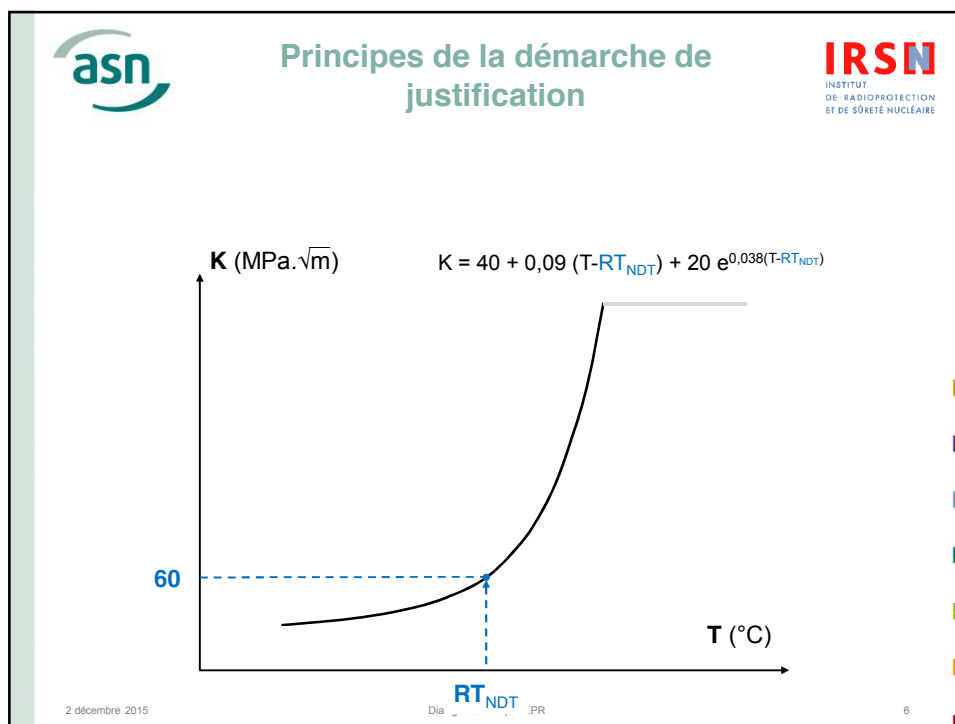
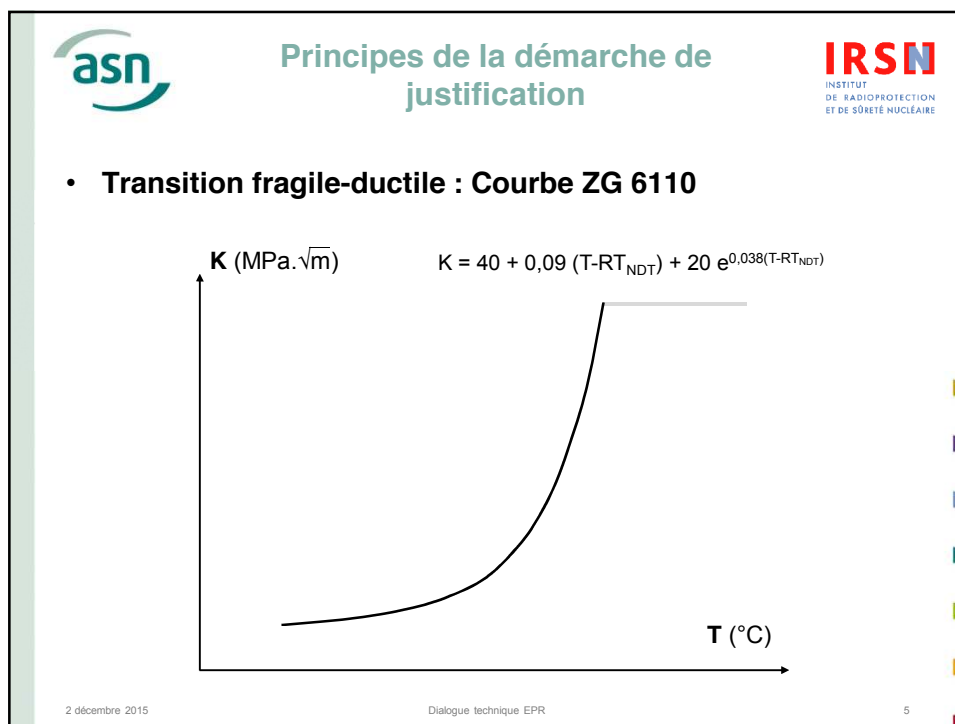
- **Programme d'essais**
  - Vérifier que les propriétés du matériau dans la ZS permettent de préserver des marges significatives par rapport au risque de rupture brutale
  - Vérifier que la présence de la ZS ne remet pas en cause les hypothèses considérées à la conception

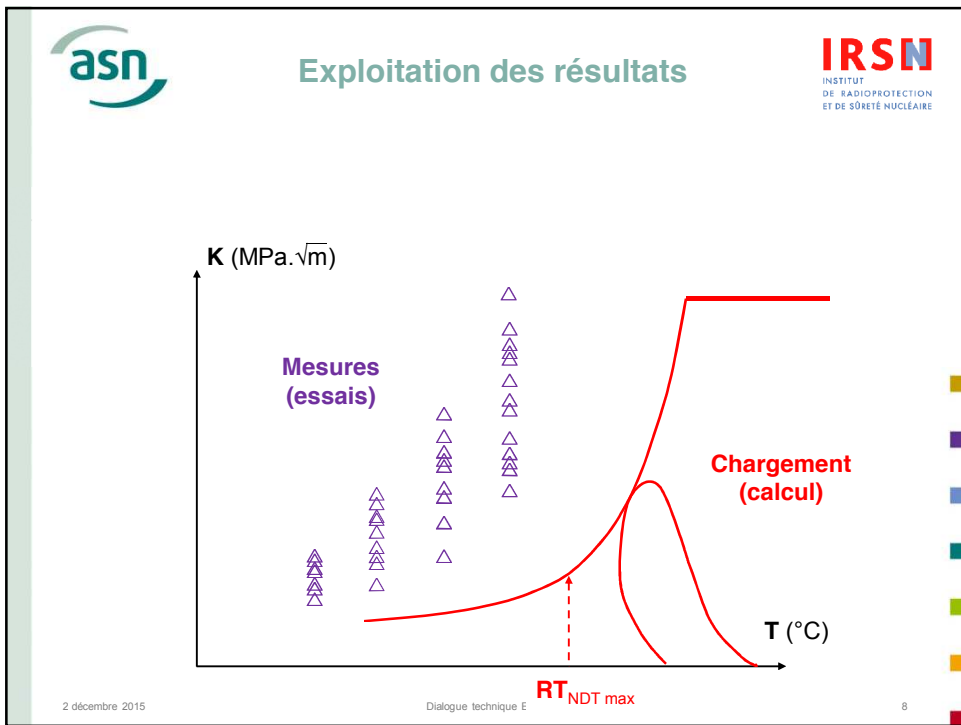
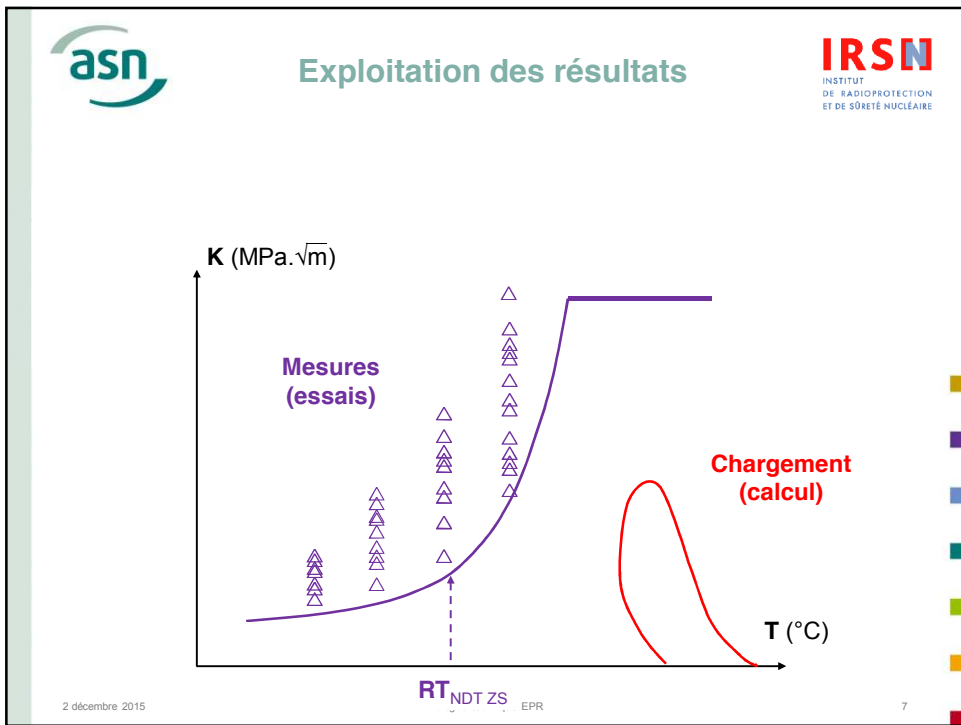
2 décembre 2015

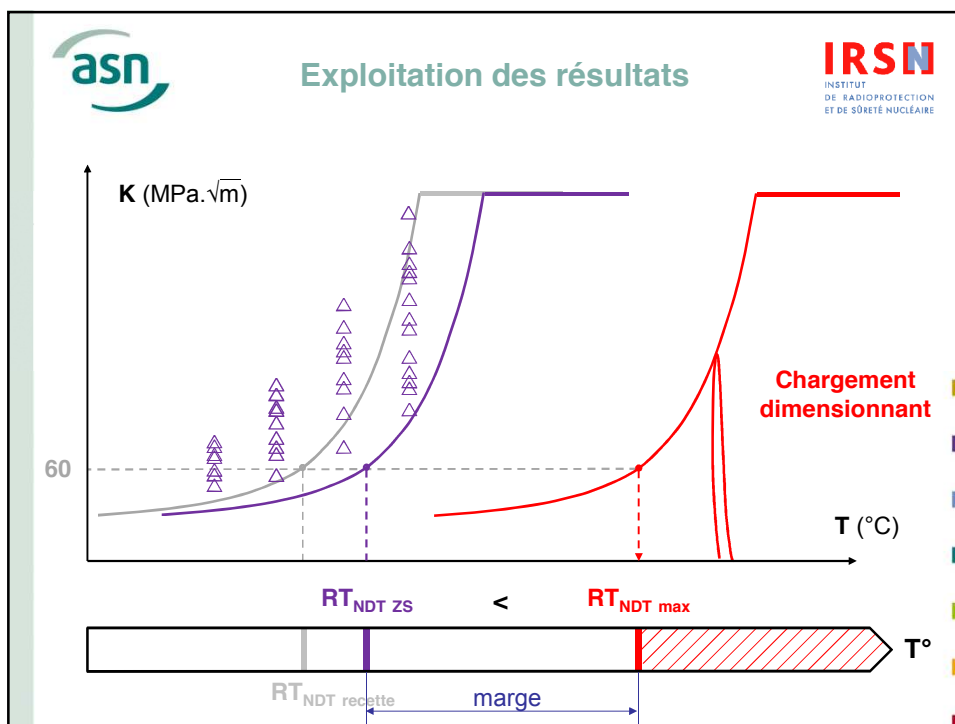
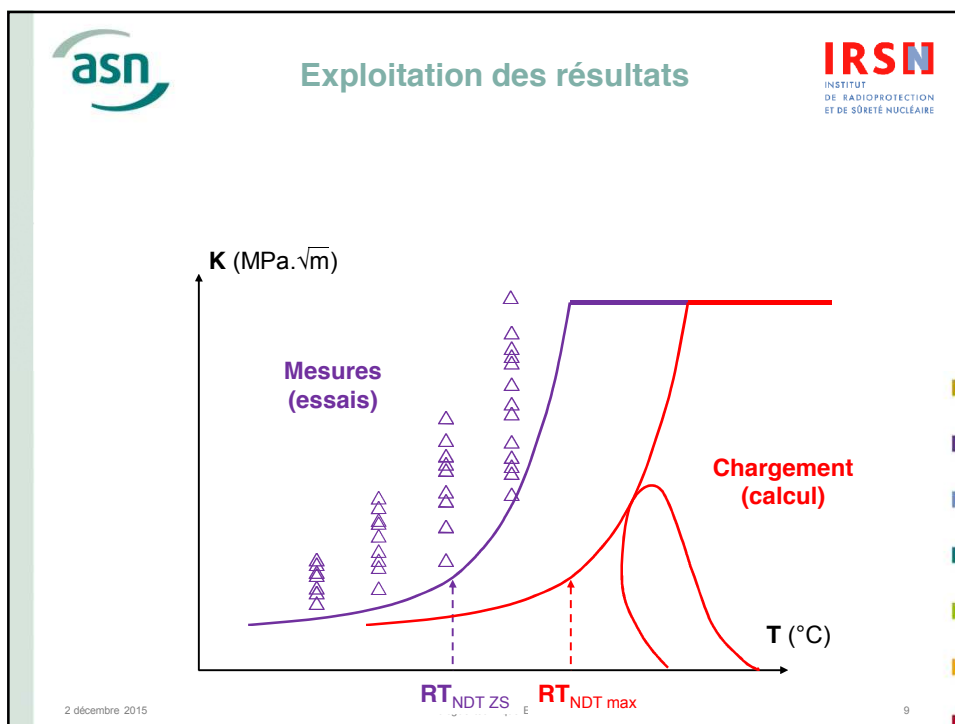
Dialogue technique EPR

2

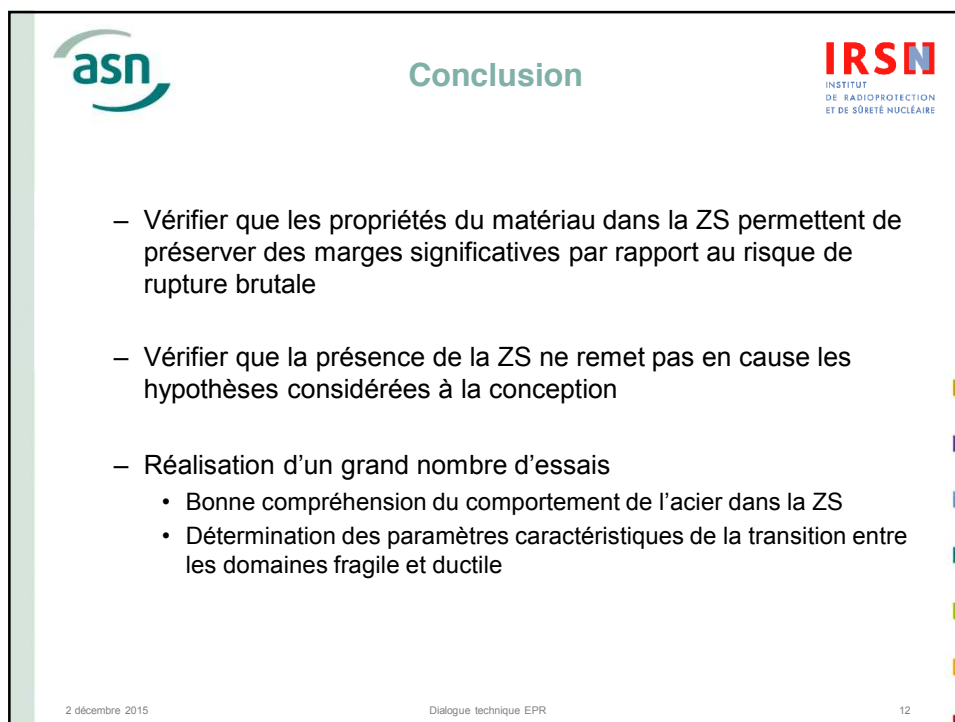
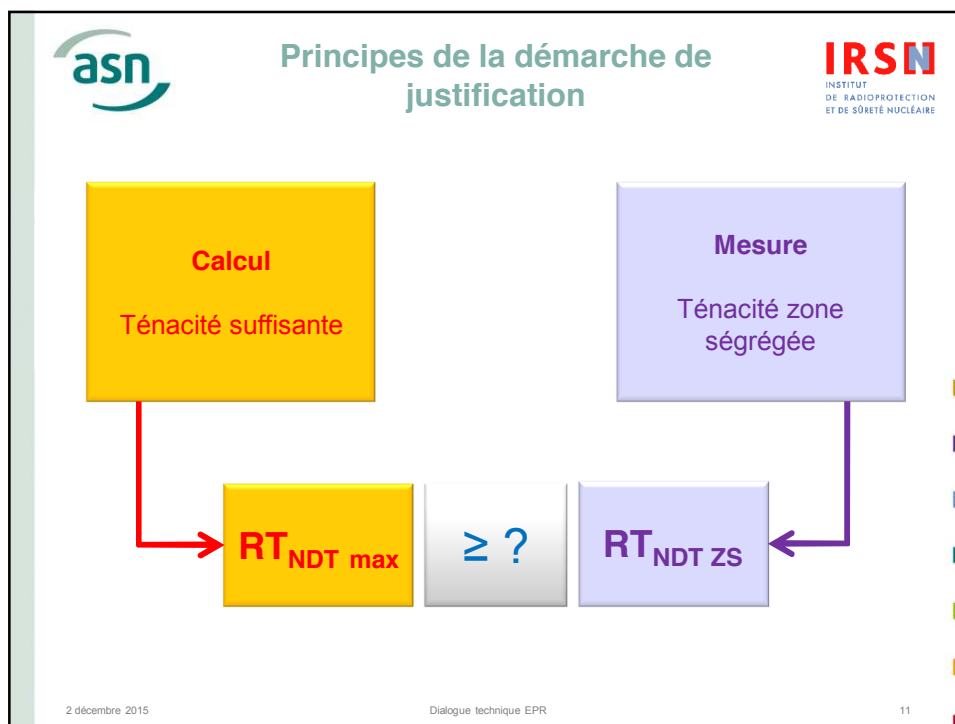












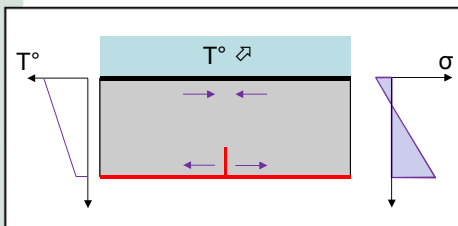


## Détermination de la ténacité suffisante



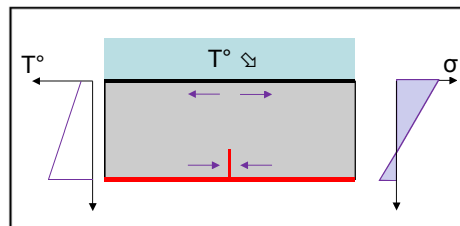
⇒ Défaut postulé en **peau externe**

Choc chaud



⇒ Ouverture du défaut

Choc froid



⇒ Fermeture du défaut