

Analyse des conséquences de l'anomalie des calottes de la cuve du réacteur EPR de Flamanville sur leur aptitude au service

Analyse de la représentativité des pièces sacrificielles





Représentativité des calottes sacrificielles



- **Principes de la démarche de justification de la représentativité d'Areva NP**
- **Comparaison des paramètres prépondérants**
- **Comparaison des propriétés mécaniques**
- **Bilan**

• Principes

- Identifier les paramètres influençant la résistance à la rupture brutale
- Comparer ces paramètres entre les calottes sacrificielles et les calottes de FA3
- Objectif : déterminer si les calottes sacrificielles sont suffisamment représentatives pour utiliser leurs propriétés mécaniques (issues du programme d'essais) lors de l'analyse de mécanique des calottes FA3

• Areva NP a retenu deux facteurs prépondérants pour les propriétés de ténacité

- Teneur en carbone : [C] ↗ ténacité ↘
- Effet de trempe :
vitesse de refroidissement ↗ ténacité ↗



- Areva NP a comparé les paramètres influençant ces deux facteurs prépondérants et les propriétés mécaniques
- ANP s'est appuyé sur les dossiers de fabrication, des simulations numériques et des essais physiques



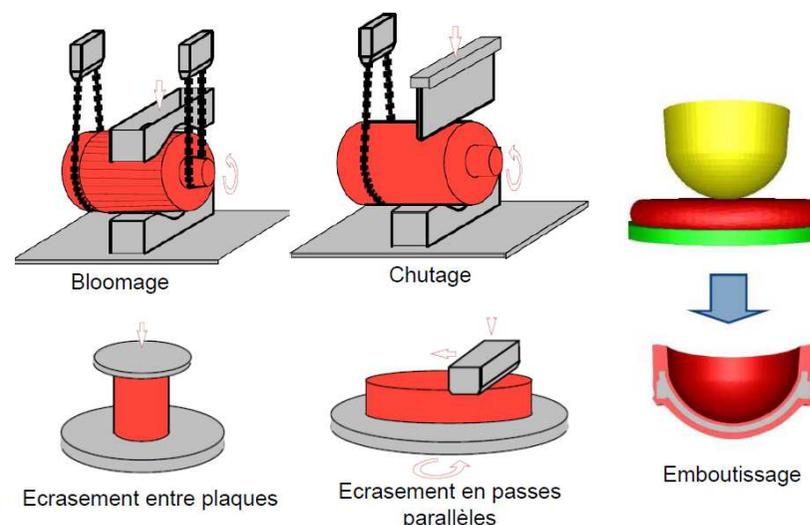
Représentativité des calottes sacrificielles



- Principes de la démarche de justification de la représentativité d'Areva NP
- **Comparaison des paramètres prépondérants**
 - **Paramètres influençant la teneur en carbone**
- Comparaison des propriétés mécaniques
- Bilan

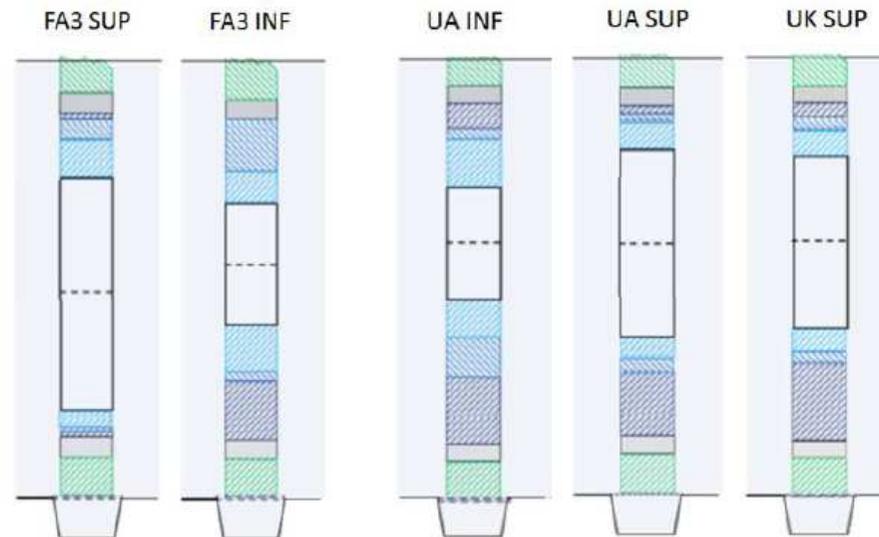


- Analyse des paramètres influençant les valeurs de carbone et la position de la zone ségrégée
- Paramètres de coulée et de solidification du lingot
- Paramètres et données de forgeage
 - Différence sur une des opérations de forgeage sur FA3 sup (écrasement de la partie centrale de la pièce)
 - Conséquences sur la profondeur et l'étendue de la ségrégation faibles



Images extraites de documents Areva NP ©

- **Paramètres relatifs à l'enlèvement de matière**
 - Areva NP a mis en évidence l'importance des usinages



Représentation des calottes dans un bloom de référence

Images extraites de documents Areva NP ©

- **La position des calottes sacrificielles est plus pénalisante que celle des calottes FA3, vis-à-vis de la présence de ségrégations positives résiduelles en tête**
- **Pas d'écart susceptible de conduire à des différences significatives de la teneur maximale en carbone et de la répartition de la zone ségrégée dans les lingots**



- **Données expérimentales de teneur en carbone**

	Teneur en carbone			
	A la coulée	Sur éprouvettes du programme d'essais	En surface interne	Max en surface externe
UA Sup	0,18 %	0,18 %	0,19 %	0,30 %
UK Sup	0,19 %	0,18 %	0,19 %	0,29 %
FA3 Sup	0,18 %	0,18 %	0,17 %	0,31 %
UA Inf	0,18 %	0,17 %	0,18 %	0,32 %
FA3 Inf	0,18 %	0,19 %	0,16 %	0,30 %

- **Les taux de carbone des calottes FA3 ne les singularisent pas par rapport aux trois calottes sacrificielles**

- Principes de la démarche de justification de la représentativité d'Areva NP
- **Comparaison des paramètres prépondérants**
 - Paramètres influençant l'effet de trempe
- Comparaison des propriétés mécaniques
- Bilan



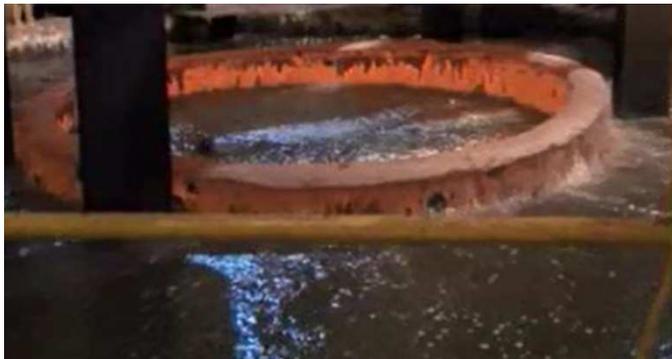
Bain de trempe (eau)

- **Données documentaires et analytiques**

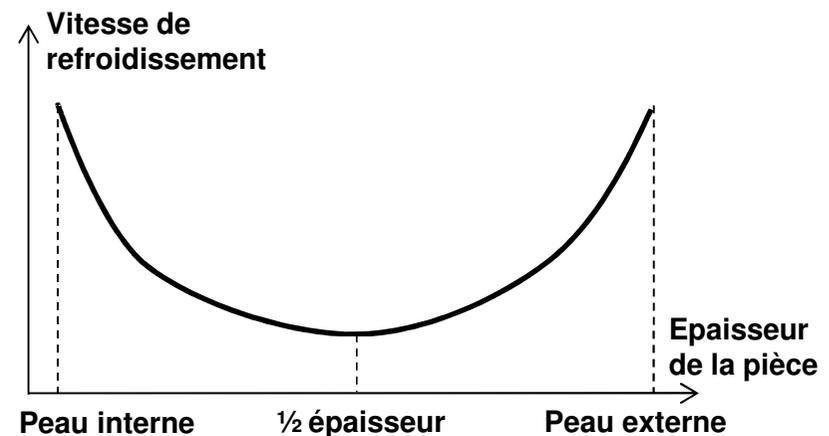
- Conditions de réalisation de l'opération de trempe (temps de transfert four-bain, fluide de trempe, agitation du bain de trempe)
- Épaisseurs des pièces

→ Areva NP utilise ces données pour estimer la vitesse de refroidissement de la pièce

Images extraites de documents Areva NP ©



Bain de trempe (eau)

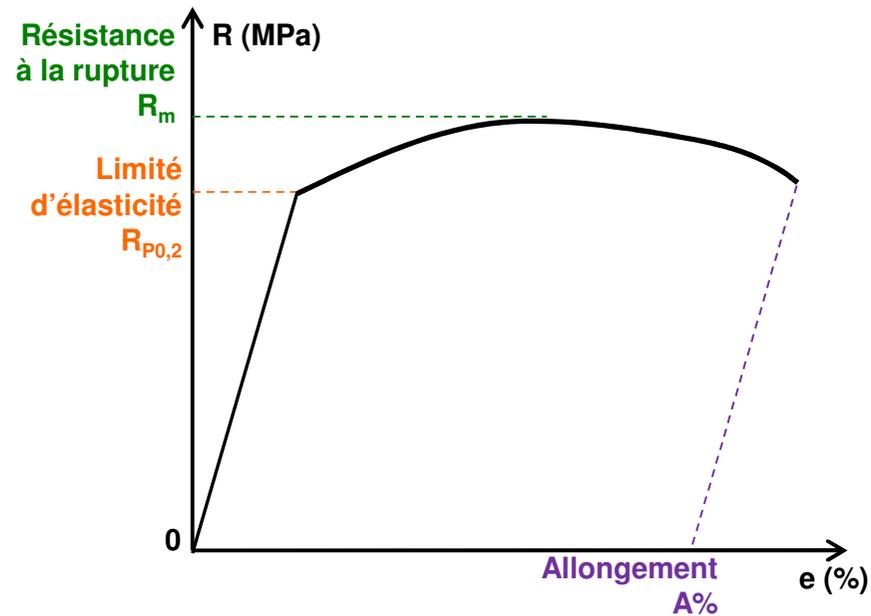
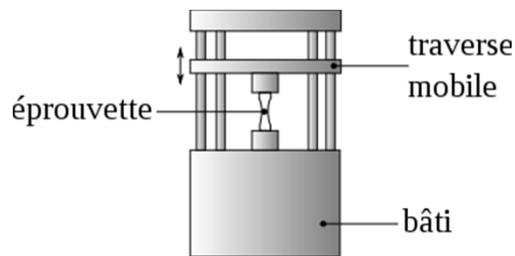


Représentativité des calottes sacrificielles

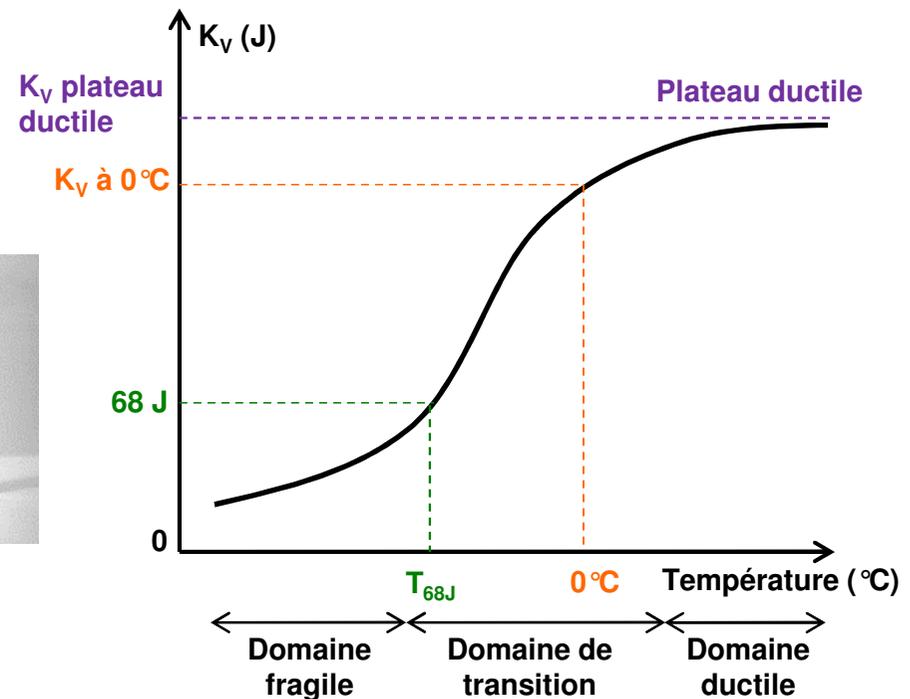
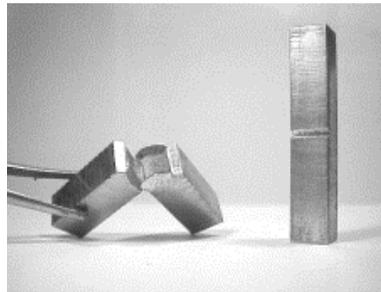
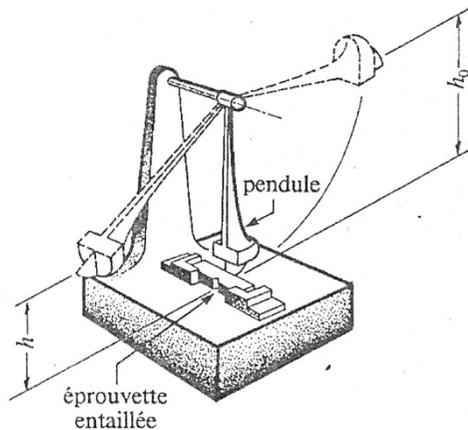
- Principes de la démarche de justification de la représentativité d'Areva NP
- Comparaison des paramètres prépondérants
- **Comparaison des propriétés mécaniques**
- Bilan



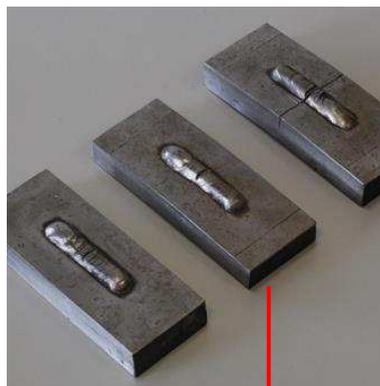
- **Données expérimentales déterminées dans le cadre des essais de recette lors de la fabrication et du programme d'essais**
 - Essais de traction



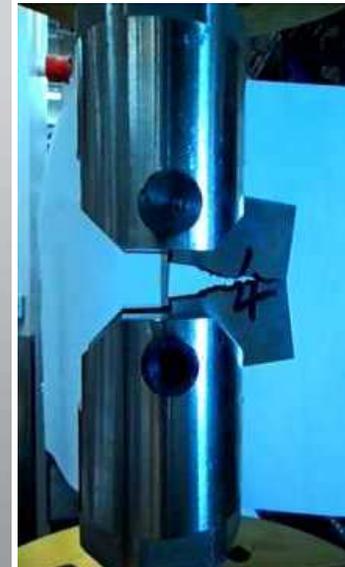
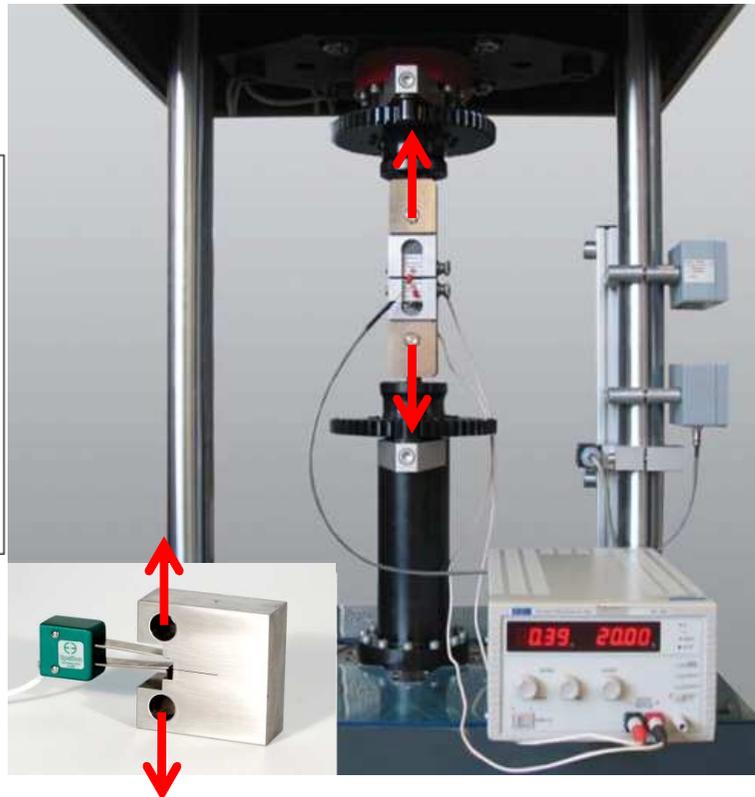
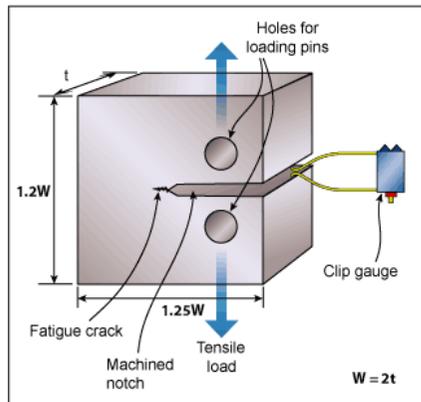
- **Données expérimentales déterminées dans le cadre des essais de recette lors de la fabrication et du programme d'essais**
 - Essais de traction
 - **Essais de résilience**



- **Données expérimentales déterminées dans le cadre des essais de recette lors de la fabrication et du programme d'essais**
 - Essais de traction
 - Essais de résilience
 - **Essais Pellini**



- **Données expérimentales déterminées dans le cadre des essais de recette lors de la fabrication et du programme d'essais**
 - Essais de traction
 - Essais de résilience
 - Essais Pellini
 - **Essais de ténacité**



Calotte	UA sup	UK sup	FA3 sup	UA inf	FA3 inf
$R_{p0,2} \% \text{ moy à } T_{\text{ambiante}}$	481 MPa	472 MPa	457 MPa	469 MPa	486 MPa
$R_m \text{ moy à } T_{\text{ambiante}}$	626 MPa	613 MPa	600 MPa	608 MPa	622 MPa
$A \% \text{ min à } T_{\text{ambiante}}$	26 %	26 %	25 %	24 %	24 %
RT_{NDT}	-35 °C	-45 °C	-30 °C	-30 °C	-20 °C
$K_V \text{ moyen à } 0 \text{ °C}$	238 J	214 J	184 J	246 J	234 J
T_{68J}	-48 °C	-55 °C	-40 °C	-68 °C	-50 °C
$K_V \text{ plateau ductile}$	218 J	214 J	223 J	225 J	213 J
T_0	-126 °C	-115 °C	-94 °C	-134 °C	-126 °C

- Valeurs comparables à celles connues pour ce type de matériau
- Valeurs cohérentes les 5 calottes



Représentativité des calottes sacrificielles



- Principes de la démarche de justification de la représentativité d'Areva NP
- Comparaison des paramètres prépondérants
- Comparaison des propriétés mécaniques
- **Bilan**



- Le choix des deux facteurs prépondérants pour l'analyse de la représentativité est acceptable
- La justification de la représentativité s'appuie sur l'analyse d'une **quantité importante de paramètres et de données**, supérieure à ce qui est pratiqué aujourd'hui
- Ce surcroît est **nécessaire** dans le cadre du traitement d'une **non-conformité** et au regard de **l'indisponibilité de l'ensemble des données propres aux calottes FA3**



- **Garanties apportées sur la représentativité satisfaisantes**
- **Ces propriétés peuvent être utilisées comme données d'entrée des analyses de mécanique (méthode avec ses propres conservatismes)**
- **Toutefois des différences entre calottes difficiles à juger au plan quantitatif**
 - Dates de fabrication des calottes (entre 2006 et 2013)
 - Indisponibilité de données des calottes FA3
 - Variabilité naturelle des propriétés mécaniques
- **L'appréciation des propriétés du matériau des calottes FA3 doit se faire selon une démarche dont le conservatisme présente des garanties**

Discussion



- **Paramètres de coulée et de solidification du lingot**
 - Pas d'écart susceptible de conduire à des différences significatives de la teneur maximale en carbone et de la répartition de la zone ségréguée dans les lingots

Images extraites de documents Areva NP ©

