



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**



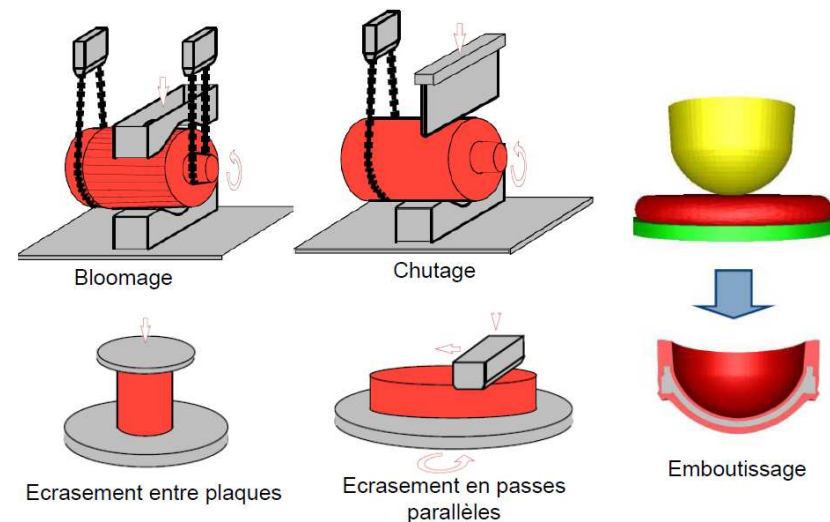
Représentativité des calottes sacrificielles



- 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

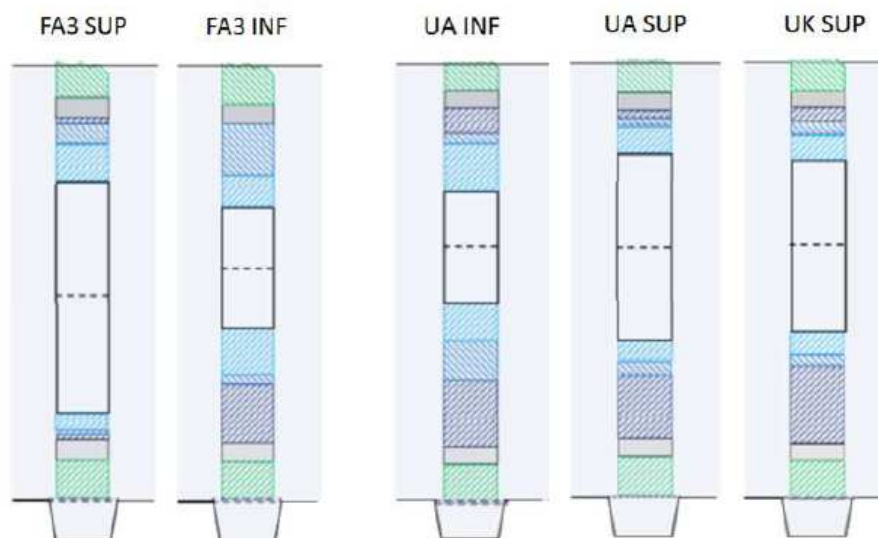


- Analyse des paramètres influençant les valeurs de carbone et la position de la zone ségrégée
- Paramètres de coulée et de solidification du lingot
- Paramètres et données de forgeage
 - Différence sur une des opérations de forgeage sur FA3 sup (écrasement de la partie centrale de la pièce)
 - Conséquences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

- 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

Images extraites de documents Areva NP ©

- **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)



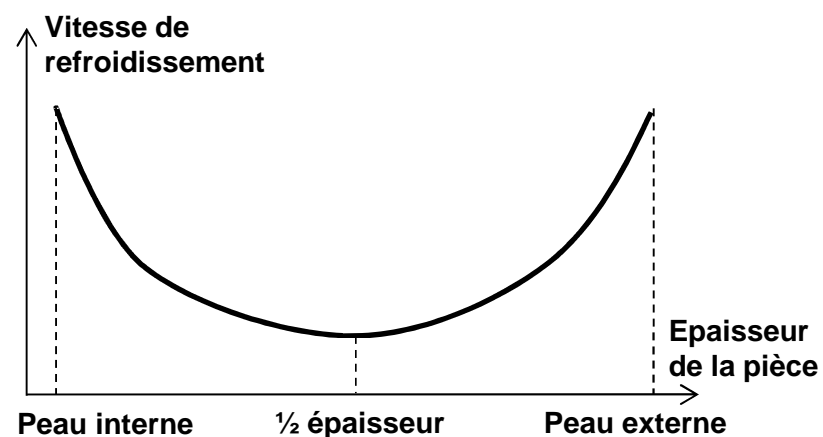
- **Données documentaires et analytiques**

- 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)





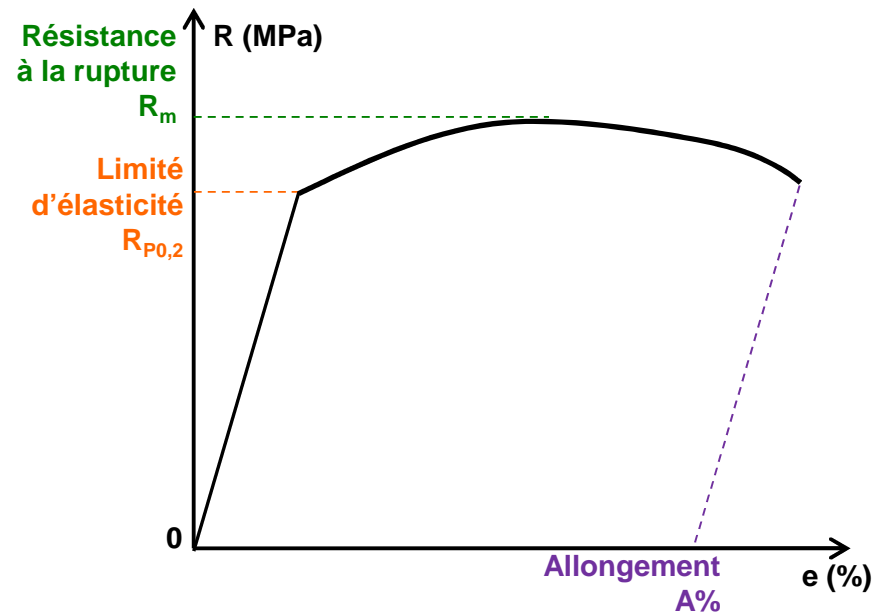
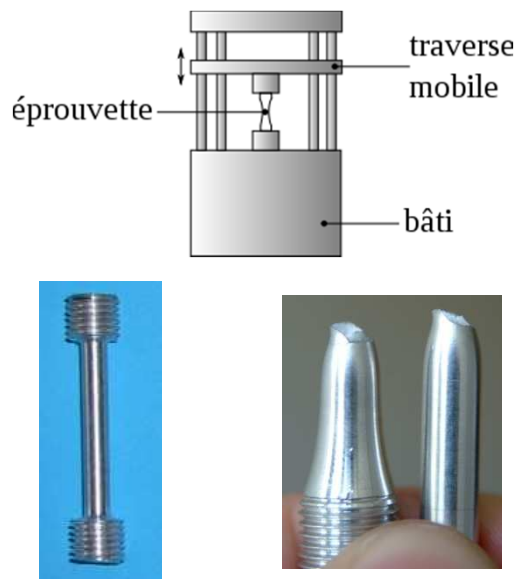
Représentativité des calottes sacrificielles



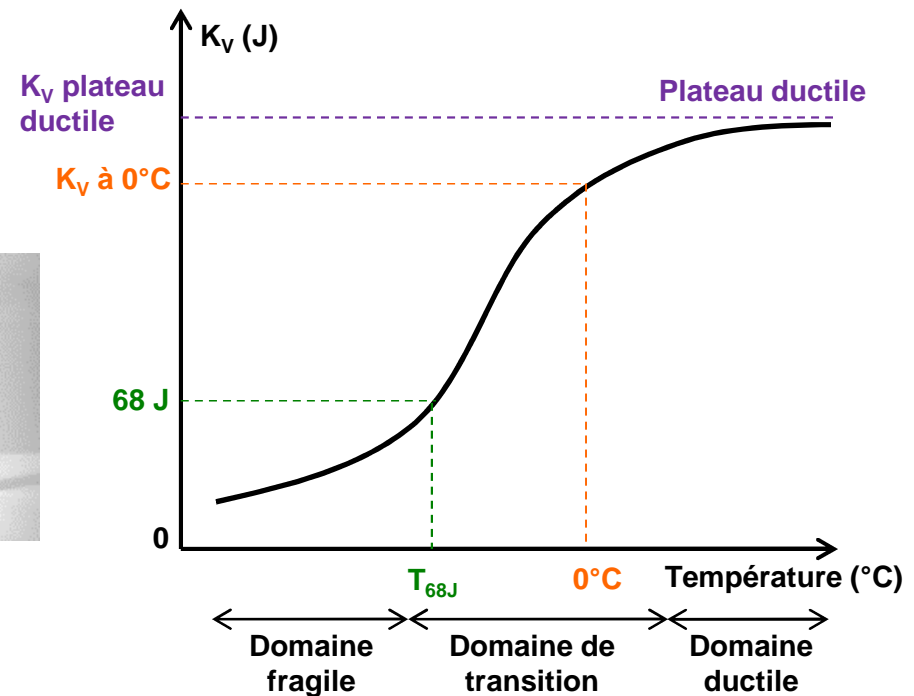
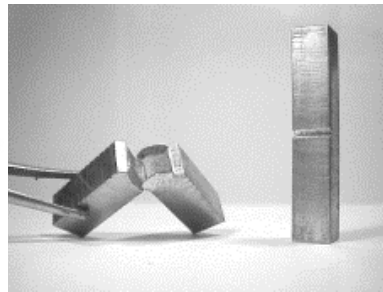
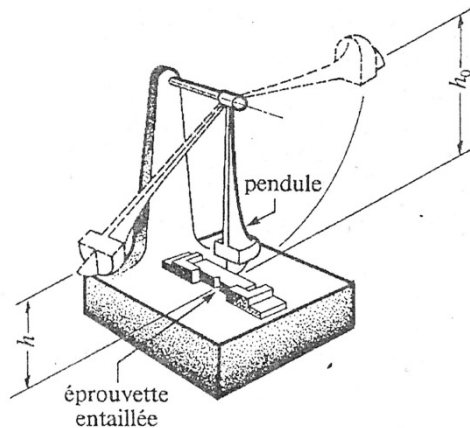
- Principes de la démarche de justification de la représentativité d'Areva NP
- Comparaison des paramètres prépondérants
- **Comparaison des propriétés mécaniques**
- Bilan



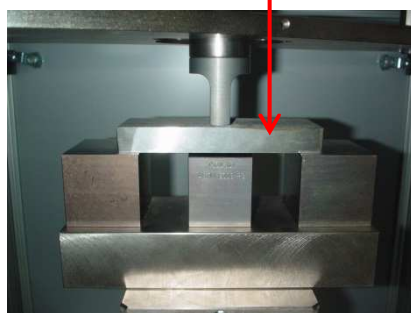
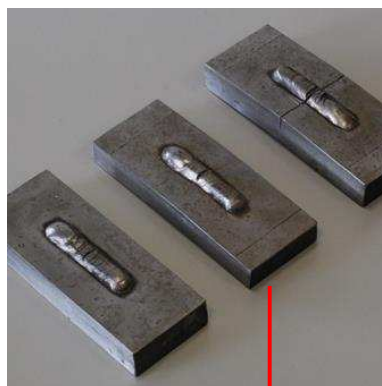
- **Données expérimentales déterminées dans le cadre des essais de recette lors de la fabrication et du programme d'essais**
 - Essais de traction



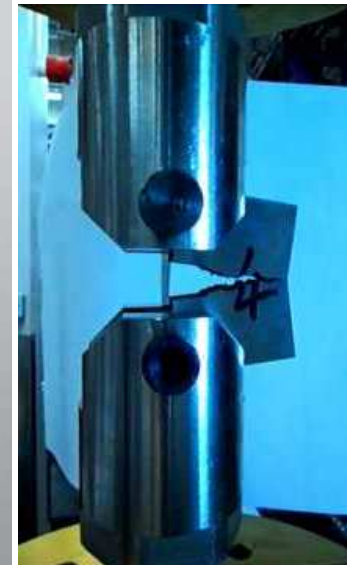
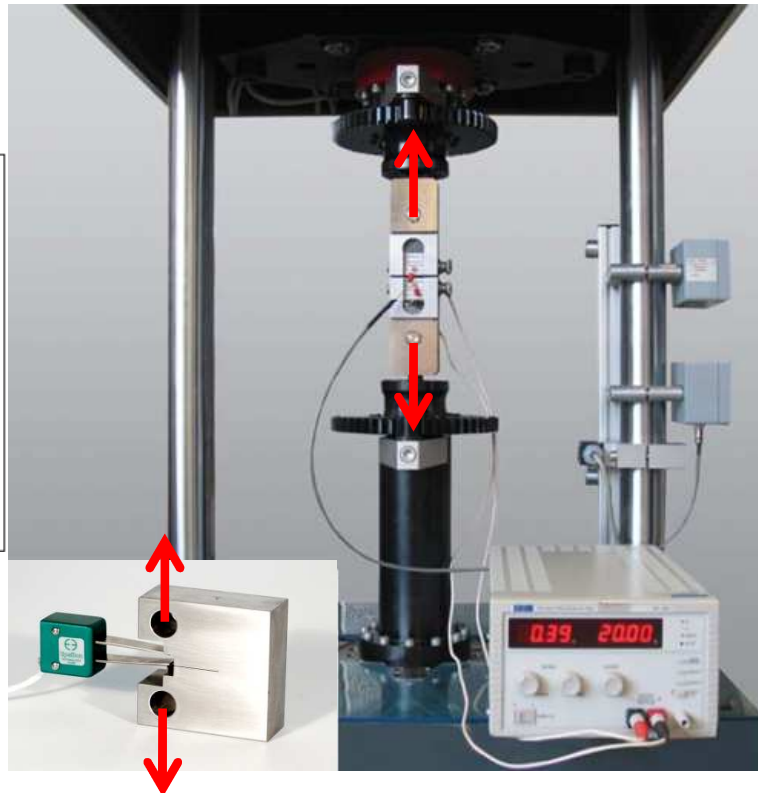
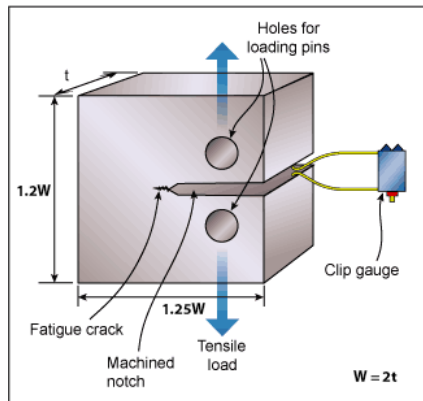
- **Données expérimentales déterminées dans le cadre des essais de recette lors de la fabrication et du programme d'essais**
 - Essais de traction
 - **Essais de résilience**



- **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 ségrégée dans les lingots

Images extraites de documents Areva NP ©

