



Procédé d'élaboration des calottes de la cuve de l'EPR de Flamanville 3 et démarche de qualification

Dialogue technique EPR - 2 décembre 2015





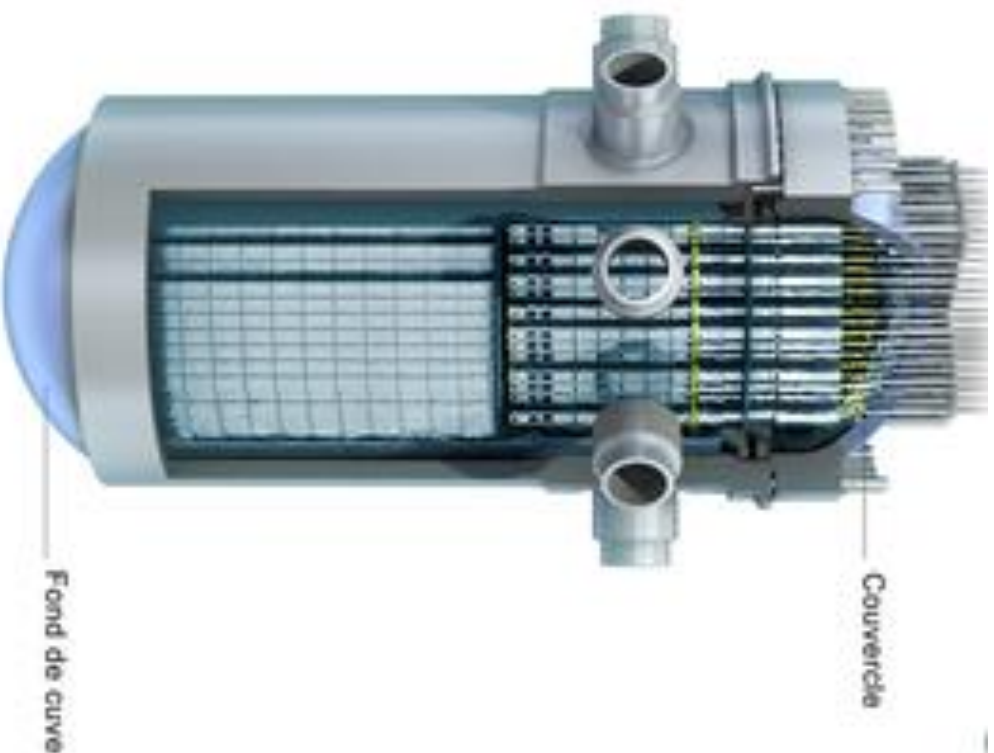
SOMMAIRE

- Caractéristiques de la cuve**
- Procédé d'élaboration des calottes**
- Démarche de qualification**



- Caractéristiques de la cuve**
- Procédé d'élaboration des calottes
- Démarche de qualification





Absence de pénétration dans le fond inférieur
Pénétrations supplémentaires dans le couvercle
de la cuve pour l'instrumentation du cœur

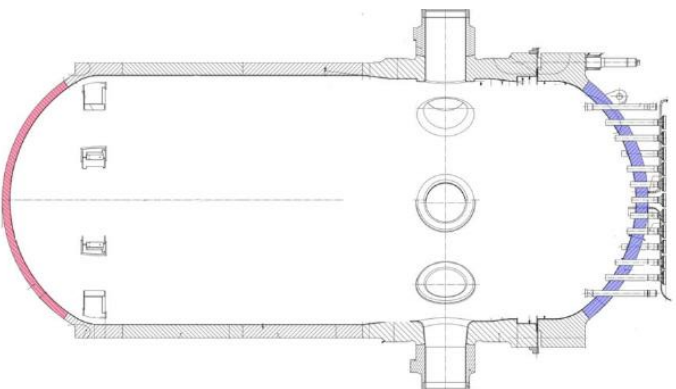
Calottes commandées par AREVA à Creusot
Forge réalisées en acier 16 MND5 en 2006 et
2007

Calotte supérieure, 107 traversées, diamètre
extérieur de 4720mm pour une épaisseur de
232mm

Calotte inférieure, diamètre de 4675mm pour
une épaisseur de 147mm

- Caractéristiques de la cuve
- Procédé d'élaboration des calottes**
- Démarche de qualification





Tôle (flan < 190 mm)

- Élaborée à partir de lingot de poids inférieur à 50t

Lingot forgé (flan > 190 mm)

- Lingot à solidification dirigée (LSD)
 - poids variant entre 45t et 60t
 - technique propre à Creusot Forge
 - 1300MWe et N4
- Lingot conventionnel (LCO)
 - poids variant de 150t à 220t
 - technique utilisée chez JSW et CF
 - Couvracles monobloc 900MWe et EPR

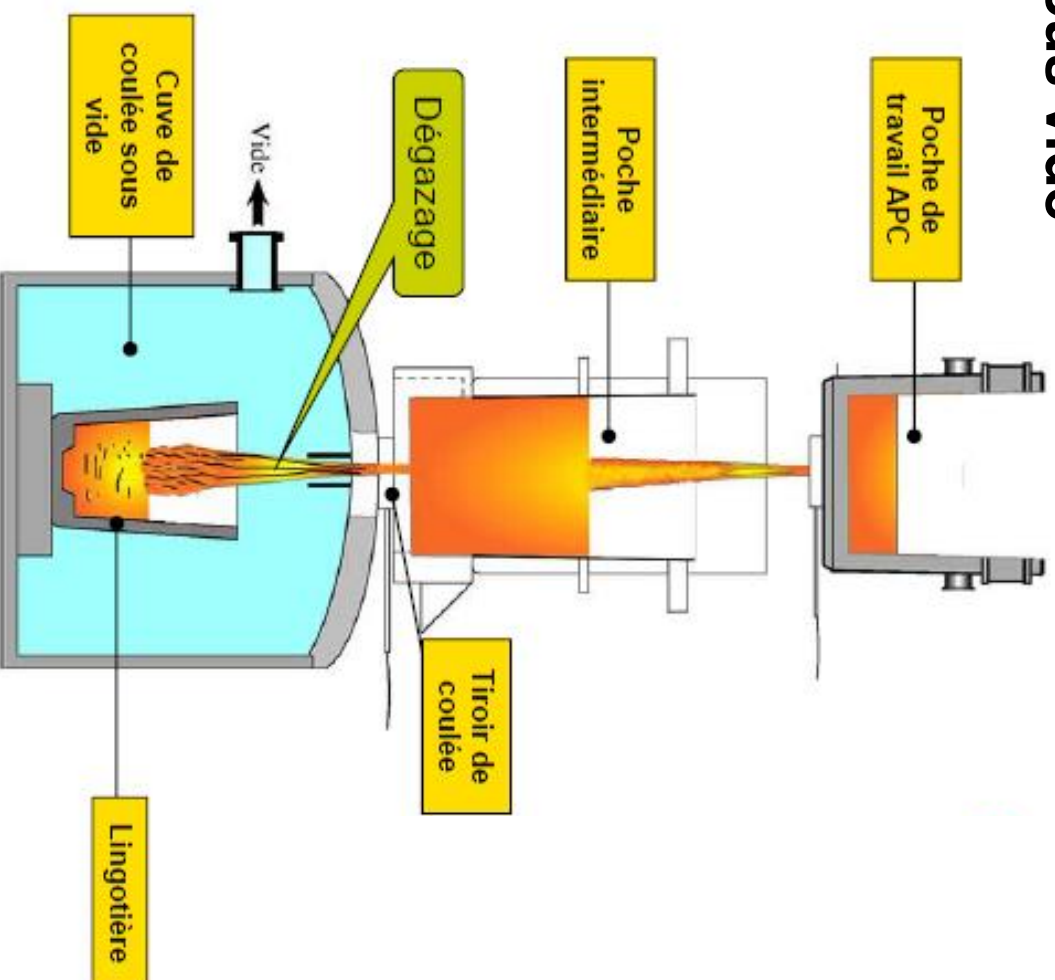
Tôles ou lingot forgé



Flan varie de 150 mm (900MWe) à 470mm (monobloc 900MWe)

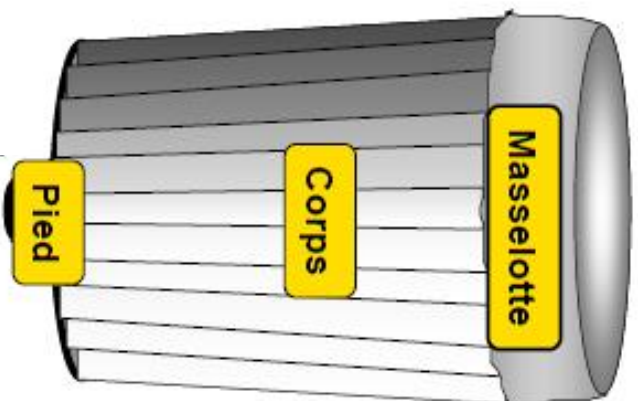


Coulée sous vide



APC : Affinage en poche chauffante

► Lingots **Conventionnel (LCO)**



Spécificités :

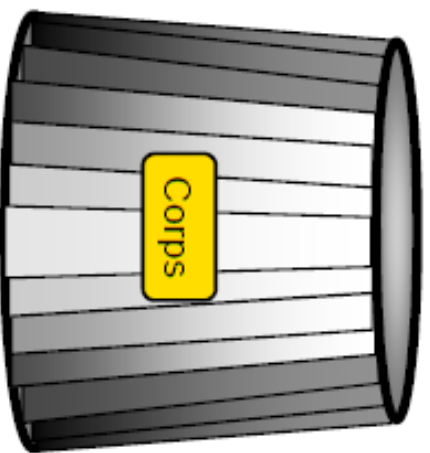
- Côté grande base, une partie tronconique lisse appelée « masselotte »
- Côté petite base, le pied

▶ **Lingot à Solidification Dirigée (LSD)**

◆ 2 types de LSD:

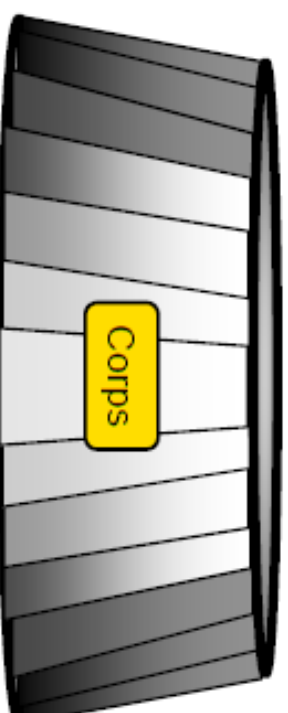
LONGS

0,6 < Hauteur/Diamètre < 1,2



COURTS

Hauteur/Diamètre ≤ 0,6



Spécificités :

- Absence de masselotte
- Utilisation de poudres exothermiques
- Côté grande base en bas

La dimension du **flan de la calotte du couvercle** est de \varnothing 5800 mm
épaisseur 300 mm :

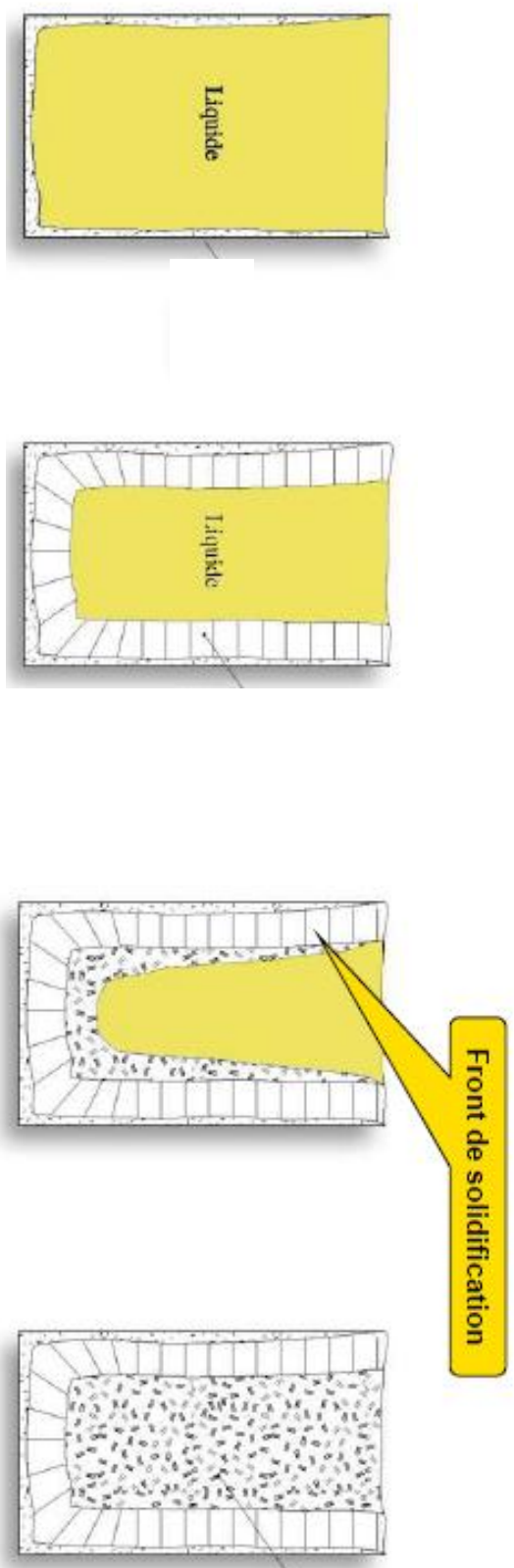
- élaboration de tôle pas réalisable
- **lingot LSD pas possible d'après AREVA, technique pas examinée pour une telle épaisseur et taux de corroyage* insuffisant**



Recours au Lingot conventionnel de 157t

Pour des raisons de rationalisation, AREVA a retenu, pour la calotte inférieure, un flan de même caractéristique alors que le composant final a une épaisseur plus faible

*Taux de corroyage : Selon le RCC-M, le coefficient de corroyage représenté, dans chaque région de la pièce, le rapport des longueurs d'un élément de métal, mesurées dans la direction parallèle à celle de corroyage, après et avant l'opération de forgeage.

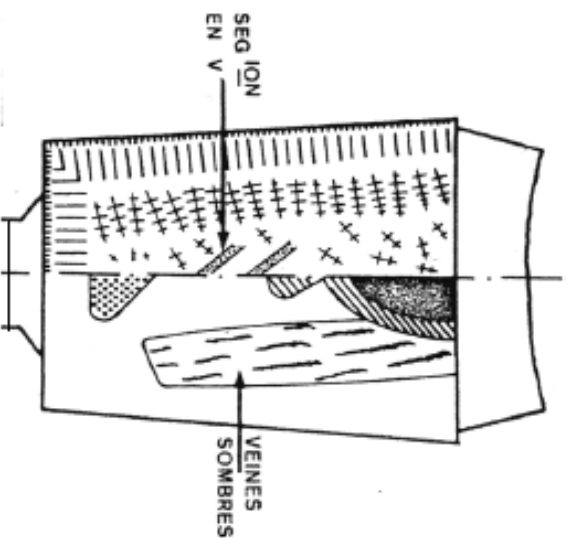


- La solidification commence sur les parois
- Impact sur la structure du matériau

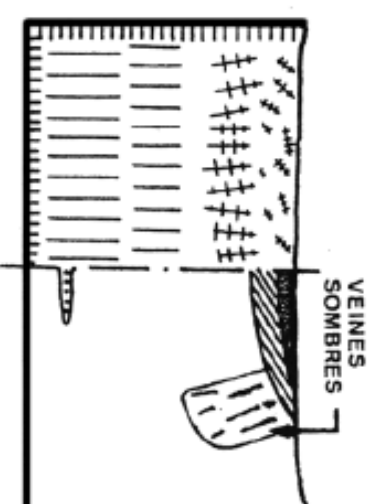


► Structures de solidification et de la macroségrégation

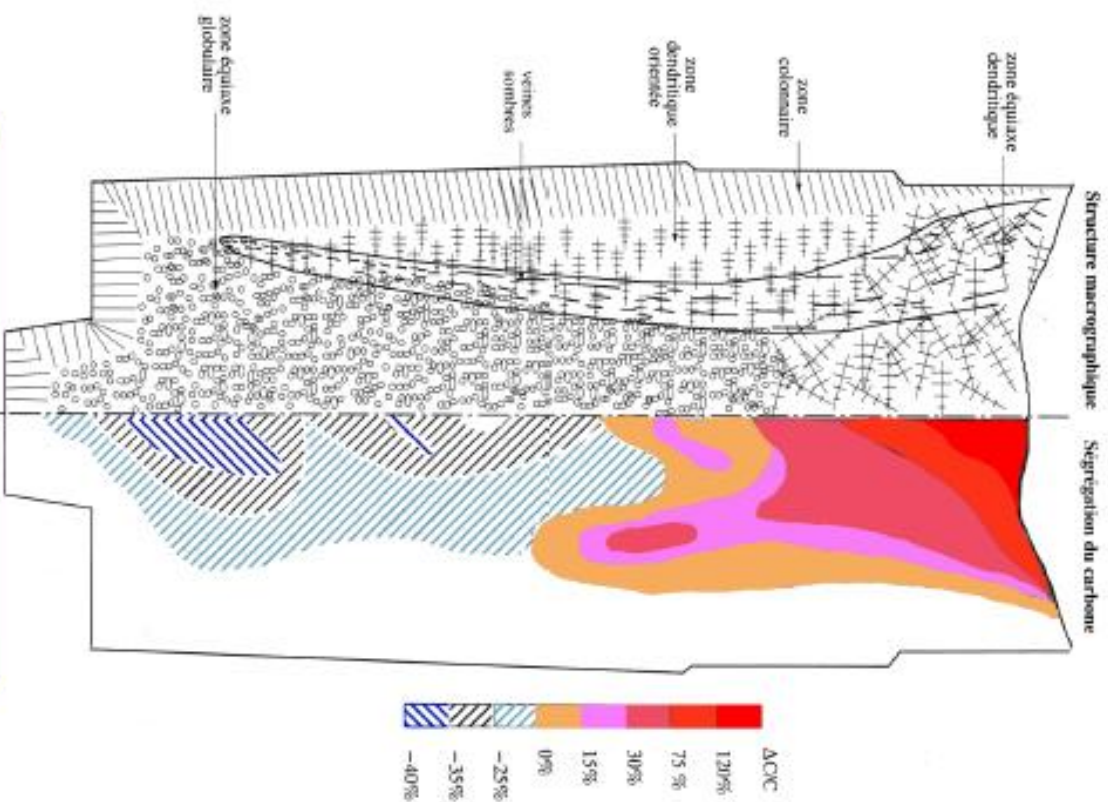
lingot conventionnel



LSD court



	CRISTAUX BASALTIQUES	■	Δ C/C > 50%
±±	CRISTAUX BASALTIQUES RAMIFIES	▨	Δ C/C > 20%
		▩	SEGREGATION INVERSE



Structure et ségrégation du LCO

Lors de la solidification, la phase liquide s'enrichit en carbone :

- En pied de lingot, ségrégation majeure négative, risque de propriétés mécaniques en traction moins élevées

- En tête, ségrégation majeure positive, risque de propriétés mécaniques de ténacité affaiblies

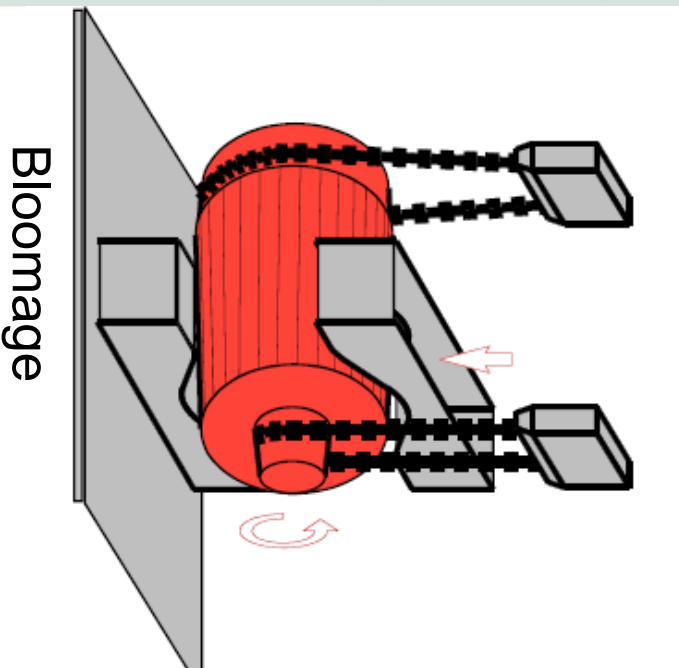
Ce taux de ségrégation dépend du rapport H/D et des éléments d'alliage

⇒ **Importance de maîtriser ce risque d'hétérogénéité**

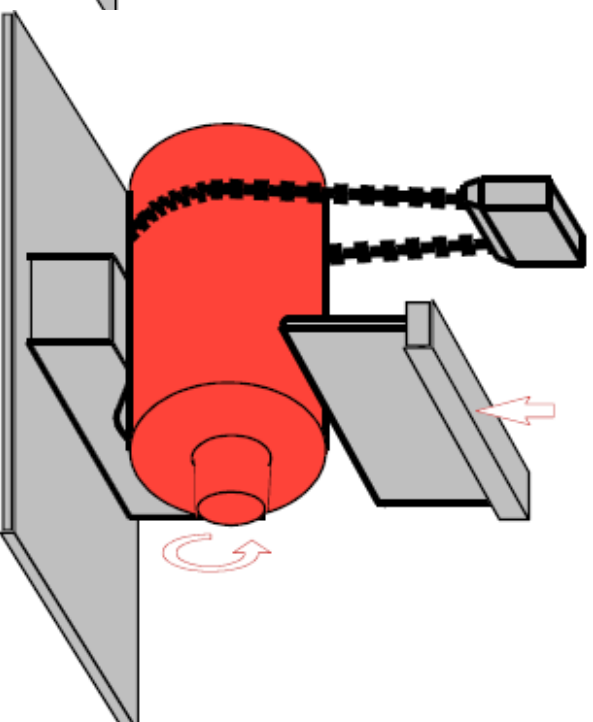
AREVA a retenu une gamme de fabrication conduisant à

- Positionner la surface à revêtir côté pied du lingot ([C] élevée impacte la soudabilité)
- Éliminer les zones de ségrégation négative : garantir des propriétés mécaniques en traction satisfaisantes
- Positionner les zones de ségrégation positive côté extérieur des calottes mais absence de garantie de l'élimination complète de ces zones

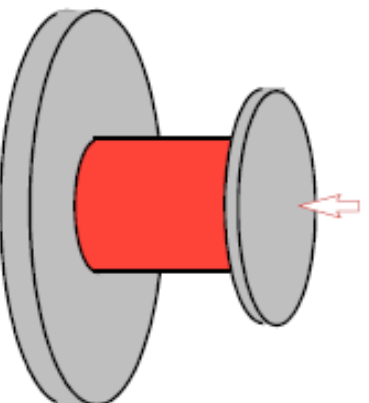
Gamme forçage	Calotte inférieure FA3	Calotte couvercle FA3
Lingot		
Bloomage		
Ecrasement entre plaque		
Ecrasement en passes parallèles		
Usinage en vue emboutissage		
Emboutissage		



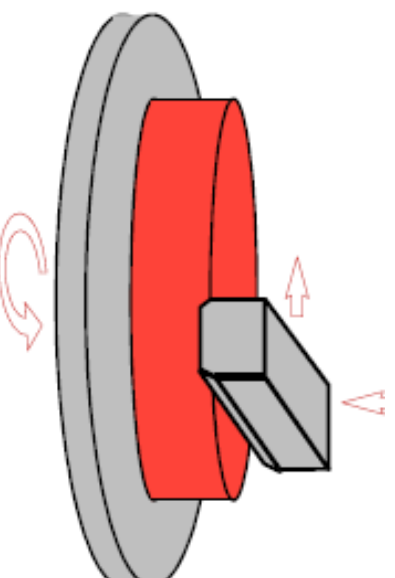
Bloomage



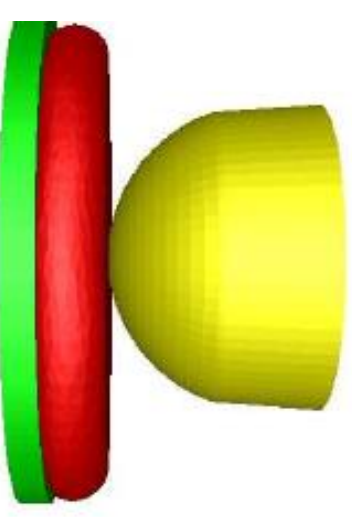
Chutage



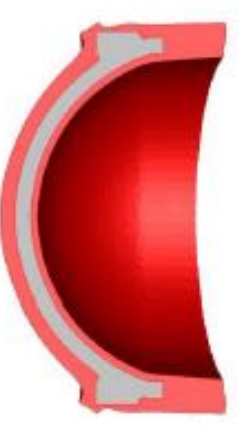
Ecrasement entre plaques



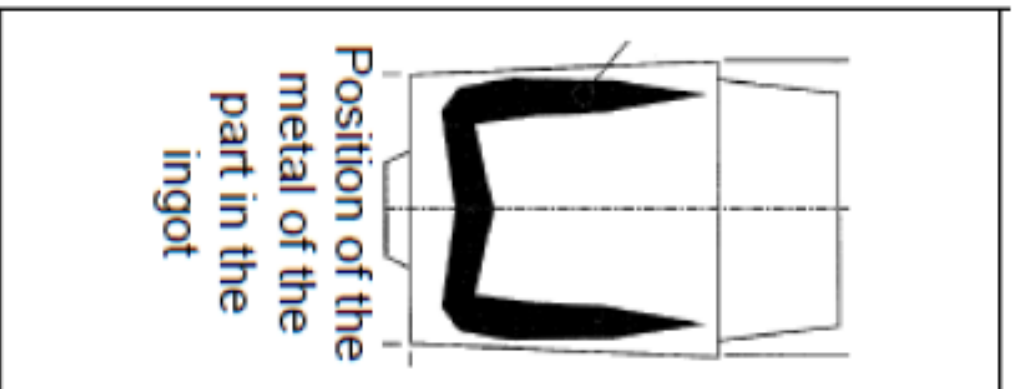
Ecrasement en passes parallèles



Emboutissage



Choix du procédé



- **A la même période, les calottes de la cuve de l'EPR de Olkiluoto et des deux couvercles monobloc 900MWe :**
 - réalisées chez JSW à partir d'un lingot conventionnel de 157t
 - présentent des garanties sur l'absence des ségrégations majeures positives
- **Garanties apportées par le mode de forgeage**

- Caractéristiques de la cuve
- Procédé d'élaboration des calottes
- Démarche de qualification



Arrêté du 12 décembre 2005

« le fabricant identifie préalablement à la fabrication les composants qui présentent un risque d'hétérogénéité de leurs caractéristiques [...] L'ensemble des opérations de la fabrication fait l'objet d'une qualification technique [...]».

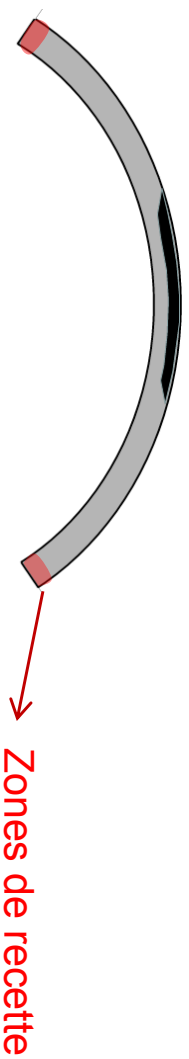
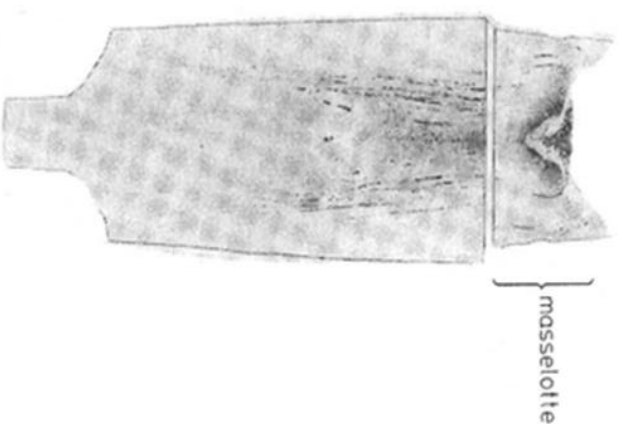
Le fabricant a identifié les calottes de cuve de FA3 comme des composants soumis à l'exigence de qualification technique

- Identifier toutes les zones qui présentent un risque d'hétérogénéité
- Définir la qualité attendue du matériau pour ces zones, en lien avec la conception
- Définir les essais destructifs et les essais non destructifs qui permettent de caractériser l'effet des hétérogénéités

1^{ère} phase : jusqu'à 2010

- Les modalités de justification de l'exigence de qualification technique n'étaient pas stabilisées
 - AREVA a utilisé, au début des fabrications, le chapitre M140 du code RCC-M pour satisfaire l'exigence de qualification technique
 - En 2008, l'ASN indique que M140 ≠ qualification technique
 - Dans ce contexte, en 2006, des questions précises sur les risques liés aux ZS+ dans les calottes de cuve ont été posées par l'ASN
 - Convergence sur la démarche de qualification technique :
 - 2010, le contenu type des dossiers de qualification technique
 - 2011, les essais à réaliser (pièce sacrificielle)
- Pour les calottes de cuve dont la fabrication a débuté avant la convergence sur la qualification technique, un dossier mis à jour a été fourni en 2010**

2^{ème} phase (2010 à 2012) : compléments apportés au dossier initial



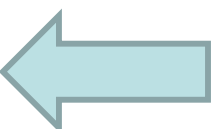
Après analyse du dossier et échanges, AREVA a proposé début 2012 de compléter le dossier de qualification pour caractériser l'effet du poids et du taux de chutage dans la zone la plus pénalisante :

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

Nota : Essais en zone de recette réalisés à l'issue de l'élaboration des calottes, résultats conformes

3^{ème} phase (2012 à 2014) réalisation des essais complémentaires

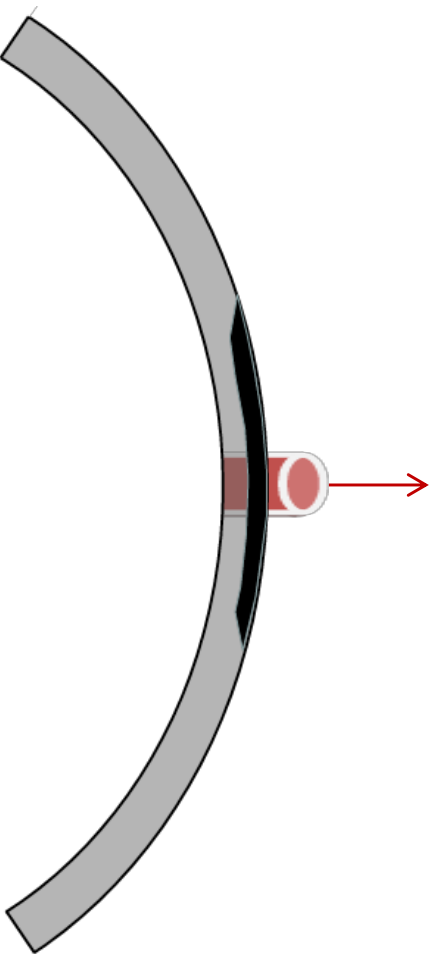
AREVA réalise des essais sur une carotte prélevée dans une calotte élaborée avec la même gamme de fabrication que celle de FA3 : UA supérieure



Objectif : caractériser l'effet de la ségrégation majeure positive sur les caractéristiques mécaniques

AREVA, interrogé par l'ASN, considère que les critères matériaux fixés par l'arrêté du 12 décembre 2005 seront respectés dans la carotte centrale

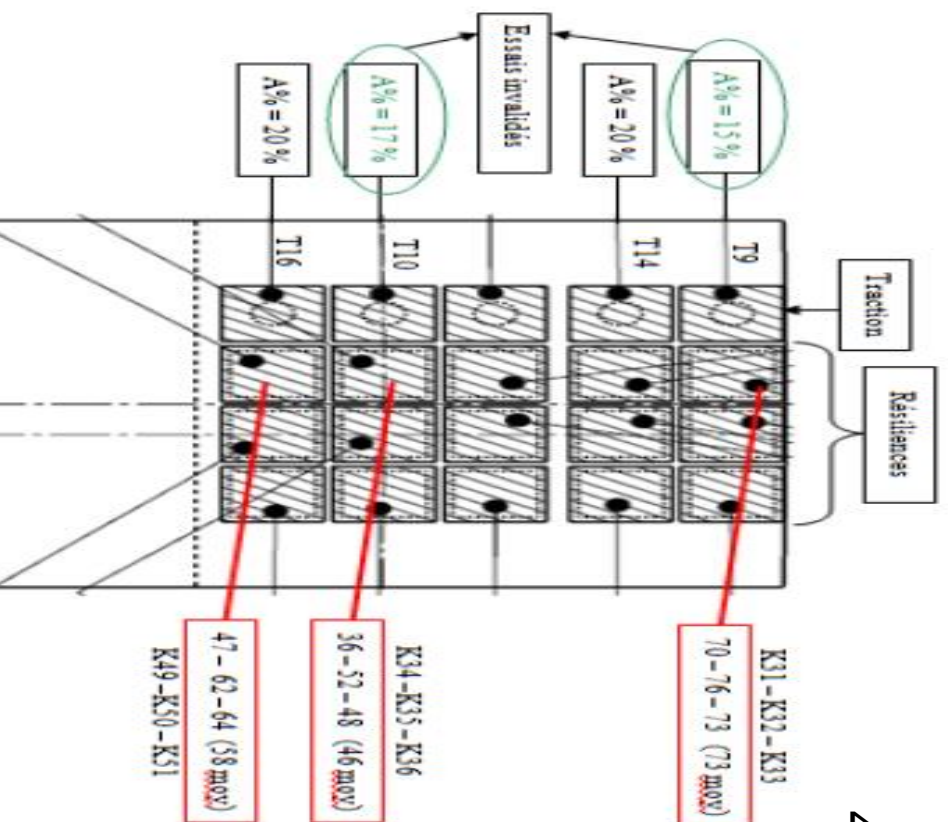
3^{ème} phase (2012 à 2014) réalisation des essais complémentaires



Essais réalisés sur la
calotte supérieure UA

Diamètre de la carotte
d'essai 80mm

3^{ème} phase (2012 à 2014) réalisation des essais complémentaires



47mm

Taux de carbone

Teneur visée : 0,22%

Allongements à la rupture

20% (conforme à l'arrêt^é ESPN)

Résilience

Premiers essais ¼ ep. : **36**, **52** et **48J**

Seconds essais ¼ ep. : **47**, 62 et 64J

Moyenne **52J** pour 60 J minimum

Sur les éprouvettes de résilience en

peau et 1/4 épaisseur

mesure de [C] ≈ 0,3%



LA QUALIFICATION TECHNIQUE



3^{ème} phase (2012 à 2014) réalisation des essais complémentaires

Expertises complémentaires

- mesures de carbone sur surface externe de la calotte UA
- examens métallographiques sur les éprouvettes de résilience

AREVA conclut que les valeurs de résilience sont à relier à la présence de ségrégation majeure positive de carbone ($\Delta C/C > 50\%$)

