



Démarche proposée par AREVA pour justifier de la ténacité suffisante des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR de Flamanville 3

Point d'étape

Dialogue technique EPR – 15 septembre 2016

IRSN/ASN



- ❑ Fin 2014 : détection d'anomalies sur les propriétés du matériau des calottes du fond et du couvercle de la cuve de l'EPR Flamanville 3
- ❑ 30 Avril 2015 : premiers éléments d'un dossier de justification de la ténacité suffisante pour le matériau de ces composants
- ❑ 16 septembre 2015 : rapport commun ASN/IRSN
- ❑ 30 septembre 2015 : réunion du GP ESPN
- ❑ 1er octobre 2015 : avis du GP ESPN
- ❑ Lettre de position de l'ASN CODEP-DEP-2015-043888 du 14 décembre 2015

Démarche AREVA

- Rappels des principes de la démarche de justification
- Programme expérimental

Évolutions de la démarche de justification proposée par AREVA

- Éléments techniques depuis début 2016
- Évolutions de la démarche

Perspectives du dossier



Démarche de justification

Rappel des principes



- Rappel
 - Présence de la zone ségréguée (ZS) sans conséquence sur les risques d'instabilité plastique et de déformation excessive
- Objectif
 - Démontrer que la ténacité du matériau en 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 ZS**
 3. **Comparaison** : vérifier que
Ténacité ZS > Ténacité requise

Ténacité requise

Données d'entrée

- Taille et position de défaut
- Situations et charges
- Critères de l'annexe ZG du RCC-M

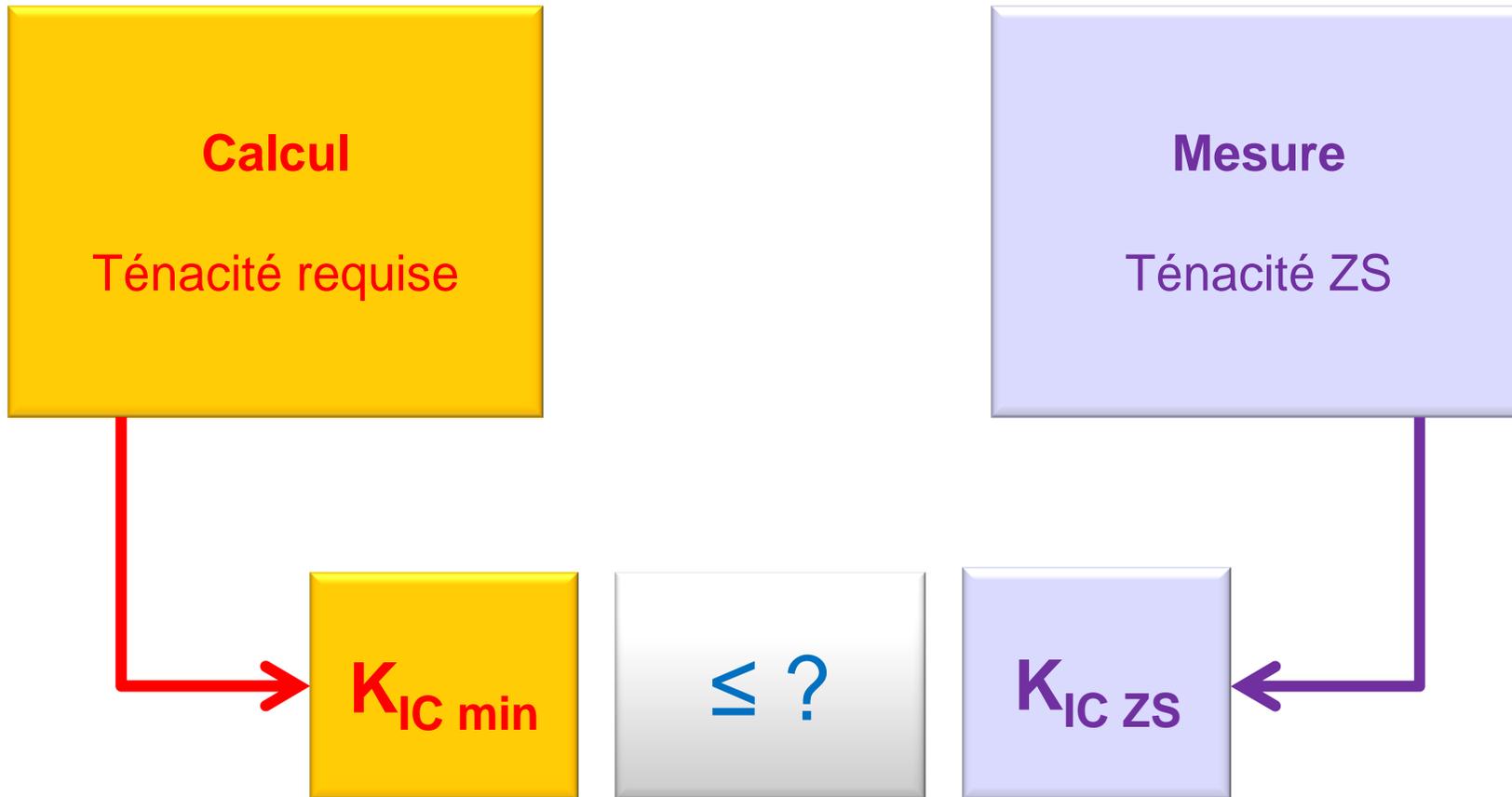


Ténacité ZS

Données d'entrée

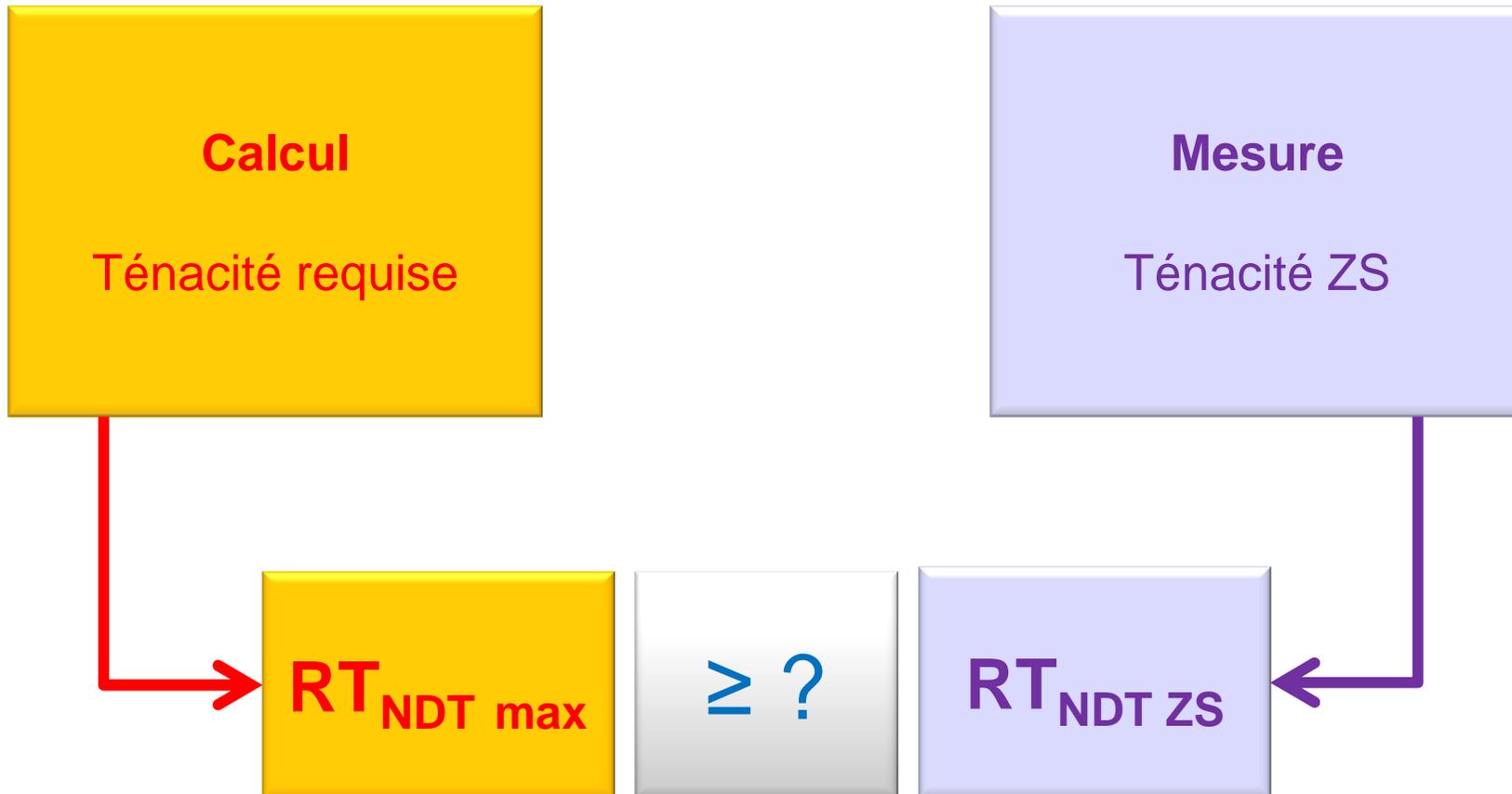
- Pièces représentatives des calottes la cuve de Flamanville 3
- Caractérisation ZS et plan de prélèvement des éprouvettes
- Programme d'essais





$$K_{IC \text{ min}} = K_{CP} \times \text{coef securité}$$





Démarche de justification

Programme d'essais

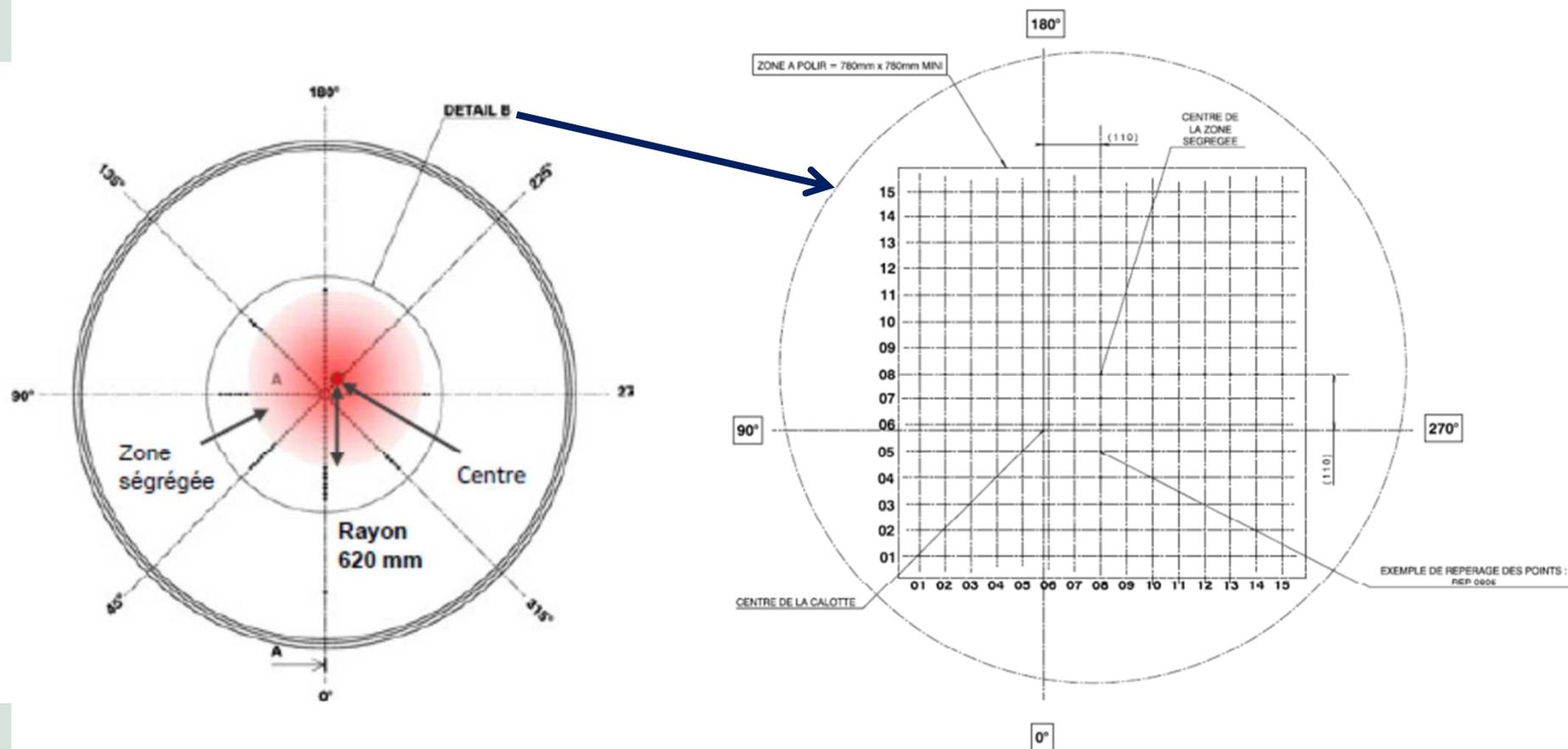


Étapes

1. **Positionnement / orientation de la ségrégation en surface**
2. **Détourage de la partie centrale et sciage en 2 demi-calottes**
3. **Positionnement de la ségrégation dans l'épaisseur**
4. **Découpe de blocs**
5. **Traitement thermique**
6. **Découpe en tranches**
7. **Cartographie**
8. **Plan de prélèvement**
9. **Essais mécaniques**



1. Positionnement / orientation de la ségrégation en surface



Images extraites de documents AREVA ©

2. Détourage de la partie centrale et sciage en 2 demi-calottes

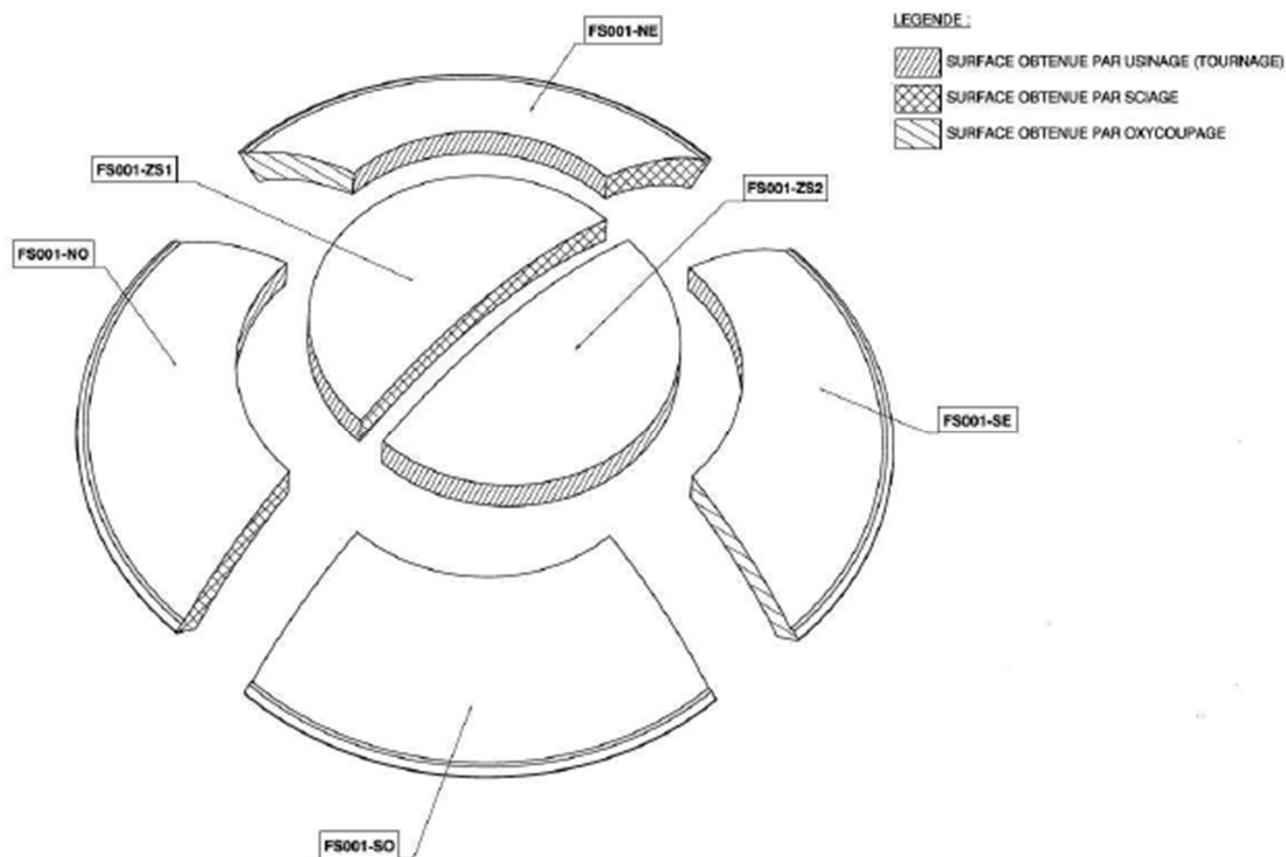
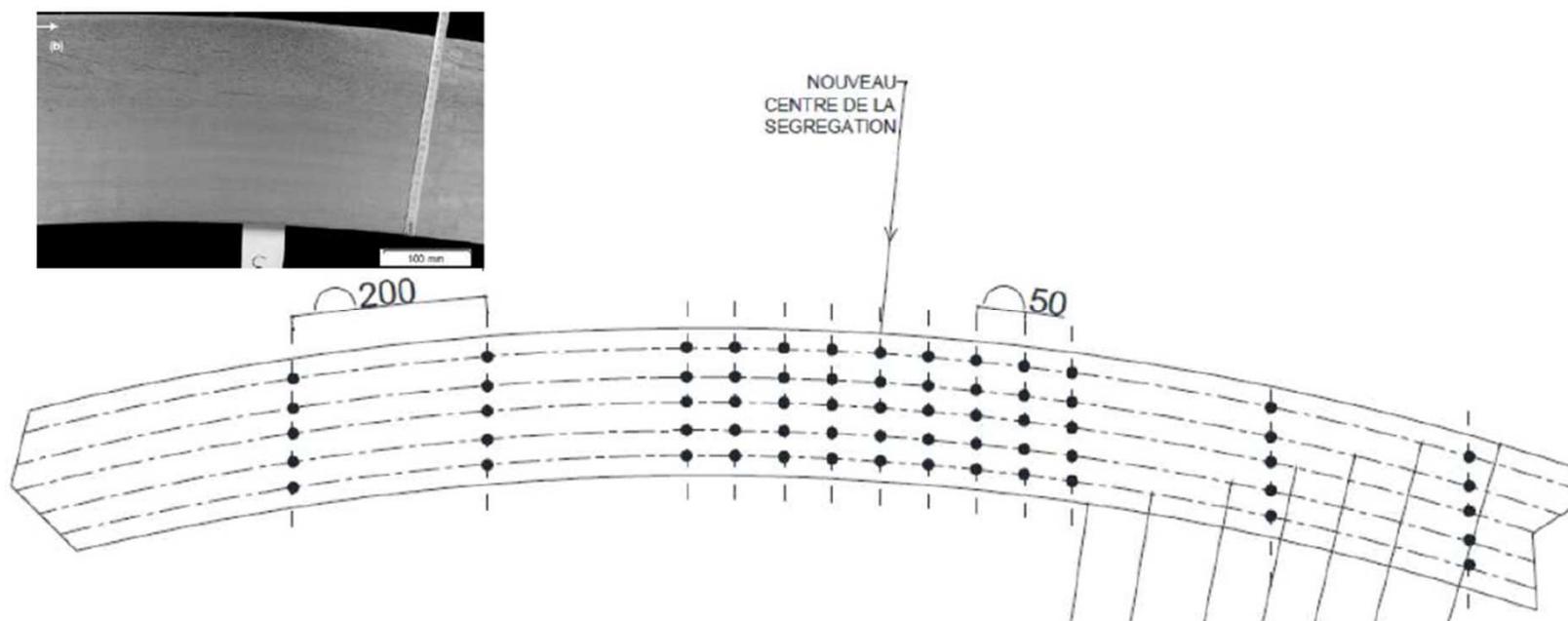


Image extraite de documents AREVA ©



3. Positionnement de la ségrégation dans l'épaisseur



Images extraites de documents AREVA ©



4. Découpe de blocs

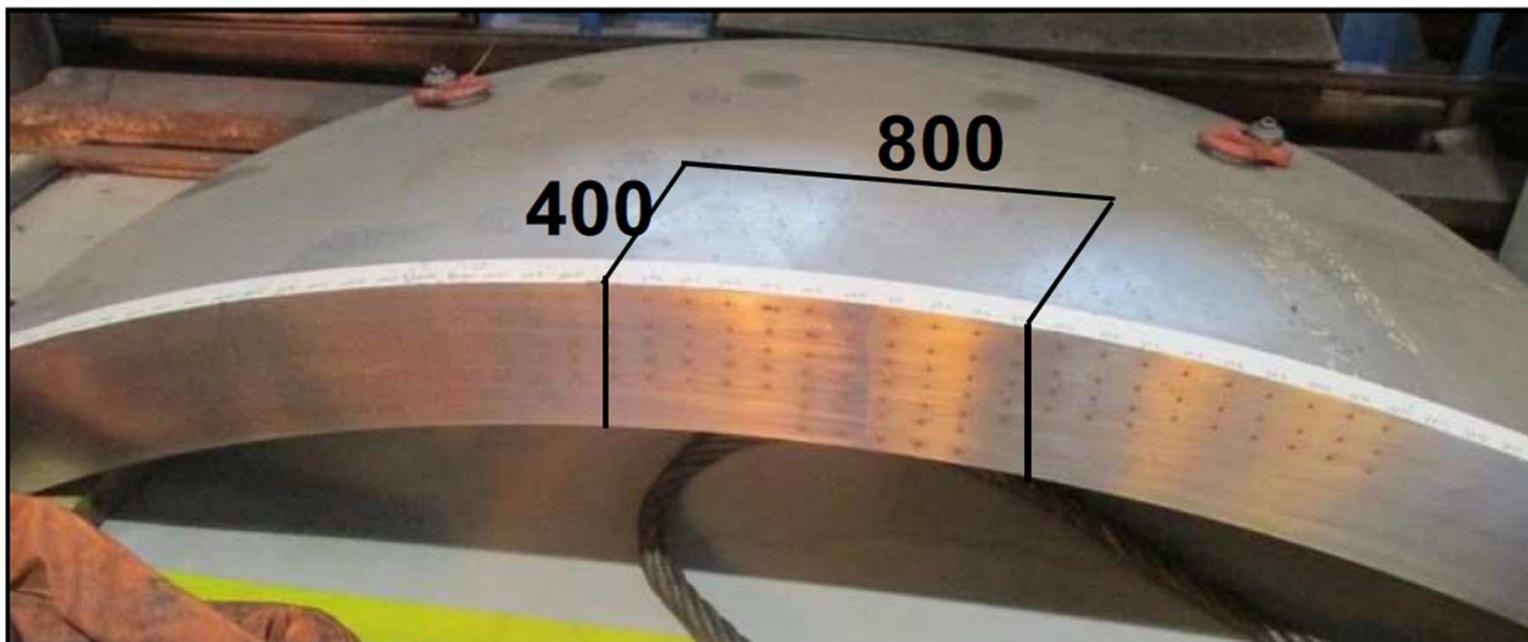
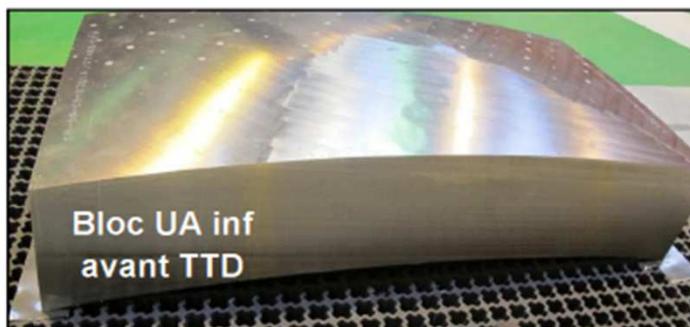


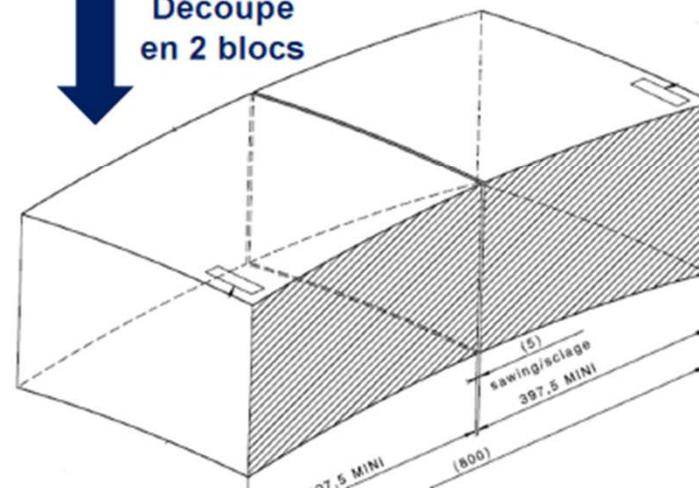
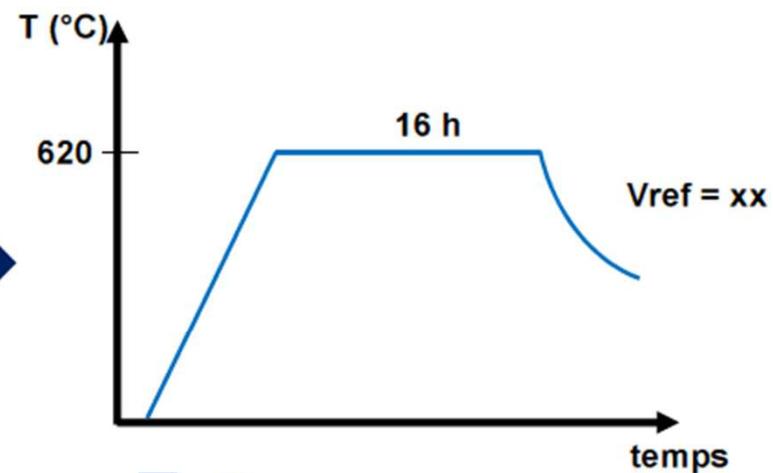
Image extraite de documents AREVA ©



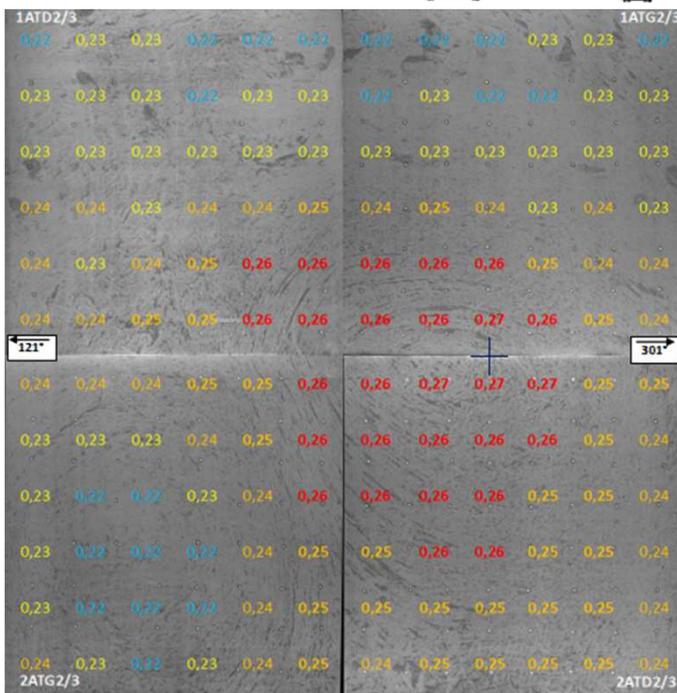
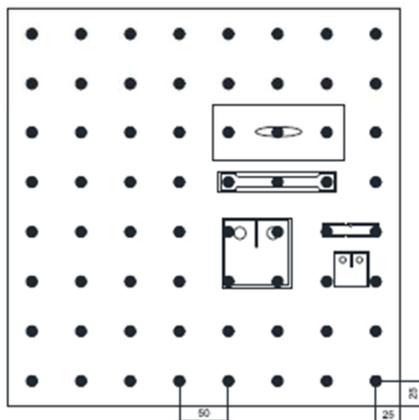
5. Traitement thermique



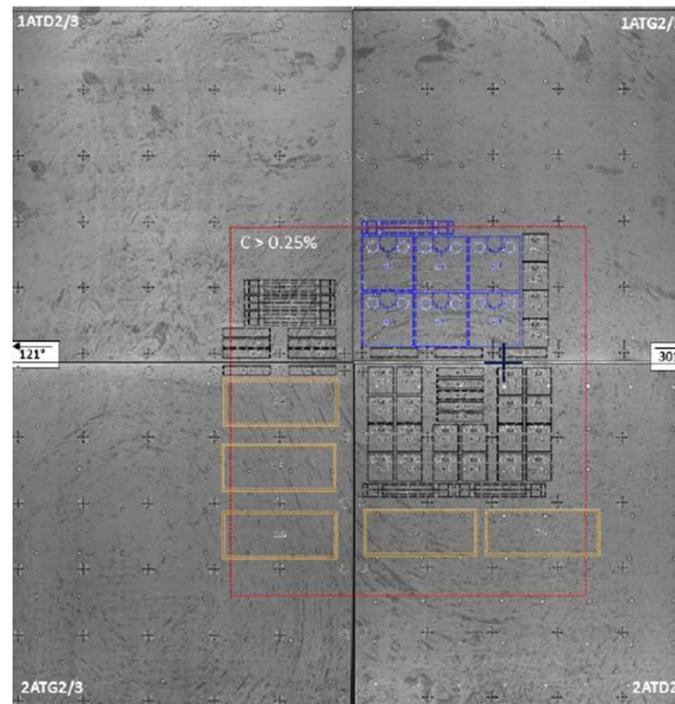
Images extraites de documents AREVA ©



7. Cartographie



8. Plan de prélèvement



8. Plan de prélèvement

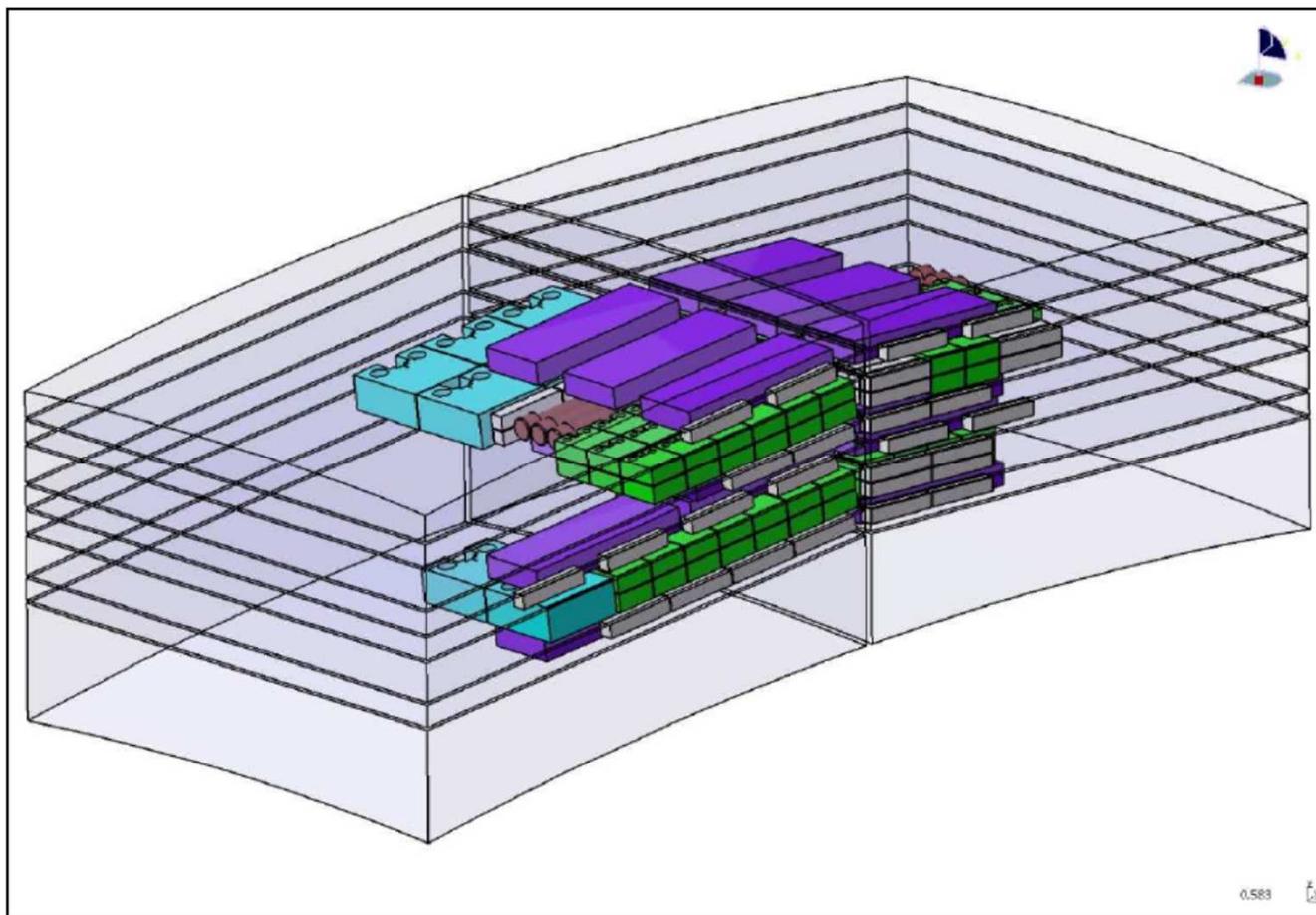


Image extraite de documents AREVA ©



9. Essais mécaniques

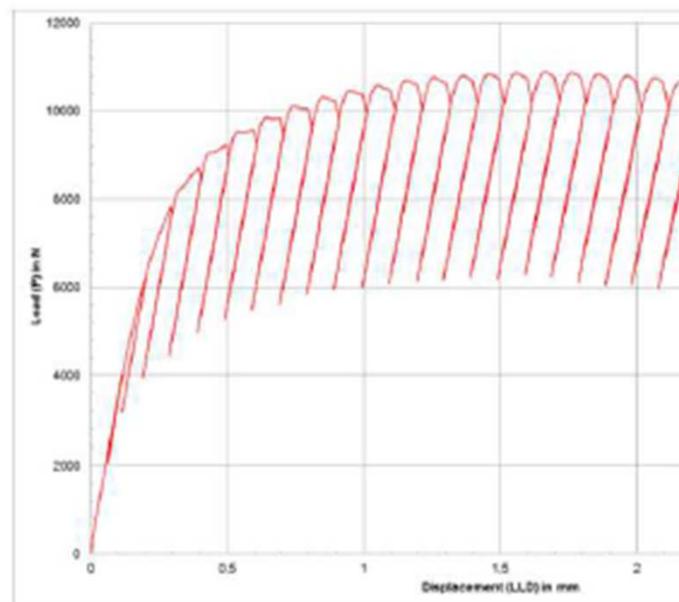
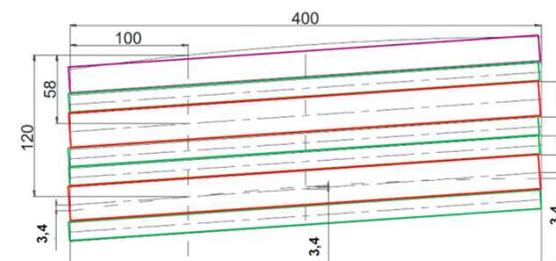


Image extraite de documents AREVA ©



Programme d'essais proposé par AREVA et examiné par l'ASN

Peau	Traction	3 essais de traction à 20°C
	Détermination de la température de transition fragile-ductile RT_{NDT}	12 éprouvettes de résilience 8 éprouvettes Pellini
¼ ép	Essais mécaniques	72 éprouvettes de résilience (courbe de transition) 144 éprouvettes de ténacité de type CT12,5 (domaine fragile) 12 éprouvettes de ténacité de type CT25 (domaine de transition) 15 éprouvettes standards de traction (interprétation des CT et ambiante)
	RT_{NDT}	12 éprouvettes de résilience 8 éprouvettes Pellini
	RT_{NDT}	12 éprouvettes de résilience 8 éprouvettes Pellini
½ ép	Essais mécaniques	44 éprouvettes de résilience (courbe de transition) 84 éprouvettes de ténacité de type CT12,5 (domaine fragile) 8 éprouvettes de ténacité de type CT25 (domaine de transition) 11 éprouvettes standards de traction (interprétation des CT et ambiante)
	RT_{NDT}	12 éprouvettes de résilience 8 éprouvettes Pellini



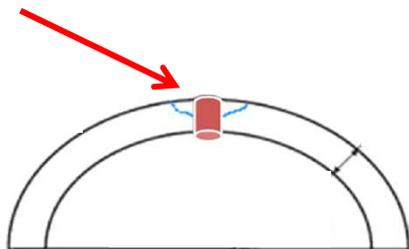
Évolutions de la démarche de justification proposées par AREVA

Éléments techniques depuis début 2016

1. Carotte centrale de la calotte supérieure UA
2. Incertitudes des mesures de teneur en carbone
3. Caractérisation des teneurs en carbone et macrographies

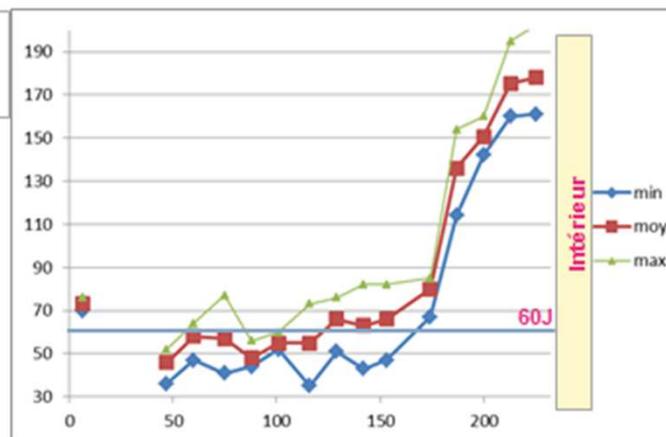
1. CALOTTE SUPÉRIEURE UA

Carotte centrale



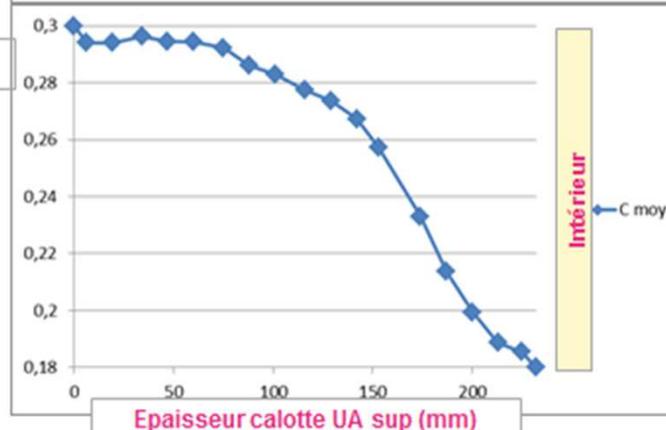
- Complément de caractérisation à mi épaisseur, puis sur toute l'épaisseur de la carotte centrale
- Résilience (0°C) à mi-épaisseur < 60 J
- Allongement à $T_{amb} < 20\%$ (18,4% sur éprouvette réduite)
- Remontée des valeurs de résilience et baisse de la teneur en C entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{3}{4}$ épaisseur

Résilience fct ep.
« min » et « moy »



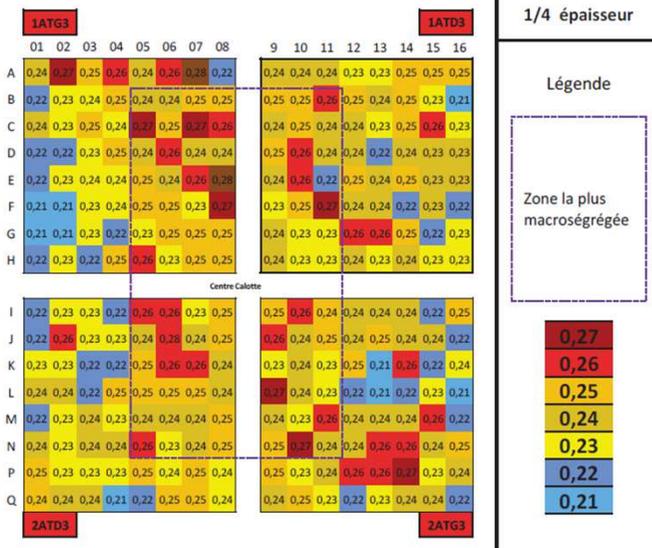
%C sur éprouvettes

Valeurs en peau en pied
et en tête par
spectrométrie laboratoire



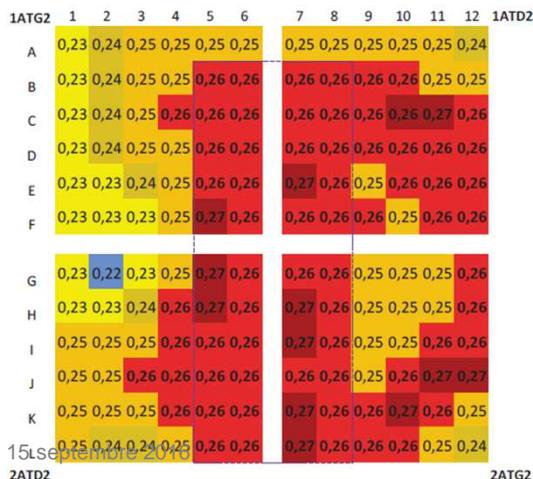
Images extraites de documents AREVA ©

UK sup 1/4 épaisseur (spectro portative)



Images extraites de documents AREVA ©

UK sup 1/4 épaisseur (copeaux)



En 2015 : précision de la mesure [C] par spectrométrie par étincelage portative = $\pm 0,01 \%$

En 2016 : estimation d'incertitudes

▪ spectrométrie d'émission optique par étincelage portative :

$\pm 0,038 \%$ pour [C] mesurée de 0,25 %
(incertitude de l'ordre de ± 10 à 15 %)

▪ analyse chimique élémentaire par ICP-MS sur copeaux :

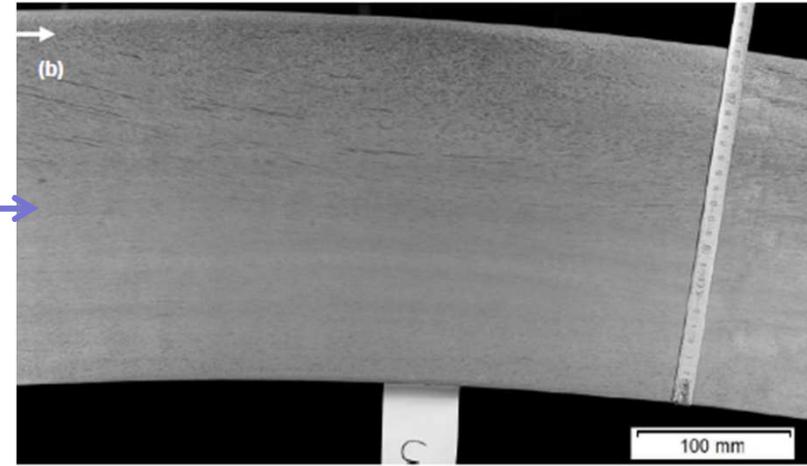
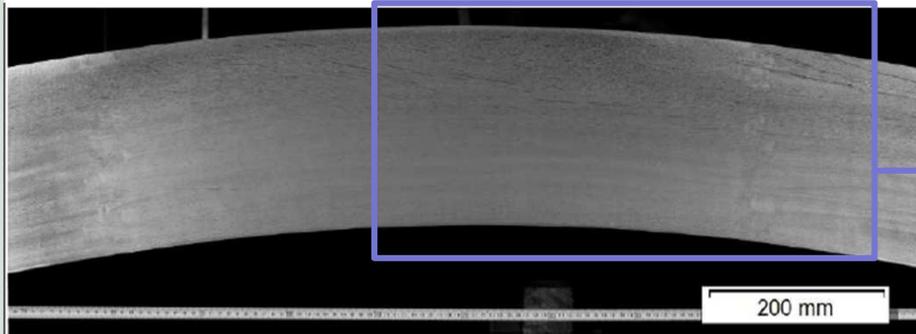
$\pm 0,013 \%$ pour [C] mesurée de 0,25 %
(incertitude de $\pm 5 \%$)

On observe :

- en valeur absolue : valeurs différentes
- en relatif : positionnement de la zone ségréguée similaire

Questionnement sur les mesures réalisées par spectro portative sur les calottes de Flamanville 3

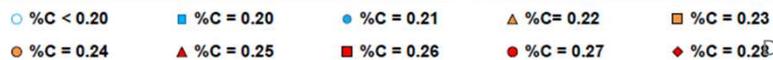
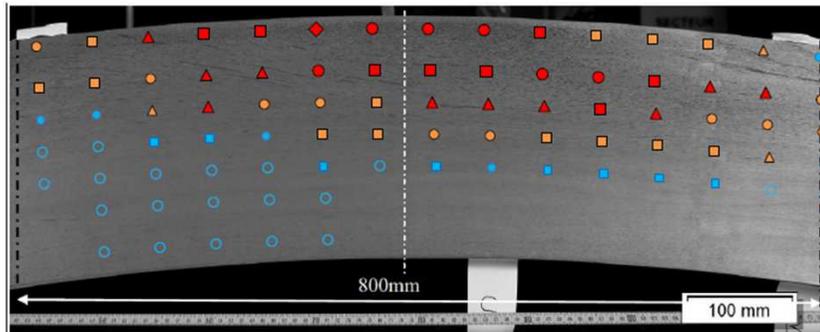
3. Caractérisation zone ségrégée macrographies



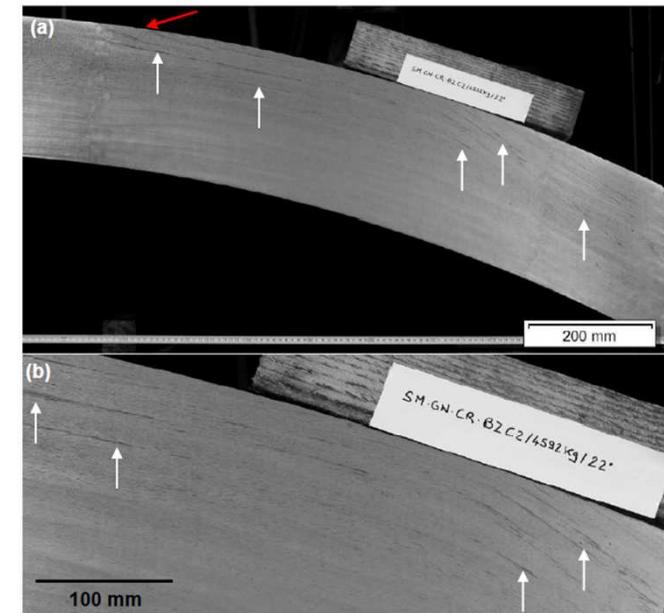
Observations similaires sur toutes les calottes observées

La macroségrégation

- présente dans la partie centrale
- ne correspond pas au centre géométrique de la calotte
- peut se déporter dans l'épaisseur

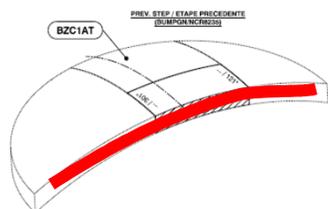


Périphérie
→ veines
sombres



Images extraites de documents AREVA ©

3. Caractérisation des teneurs en C dans l'épaisseur (spectro portative)



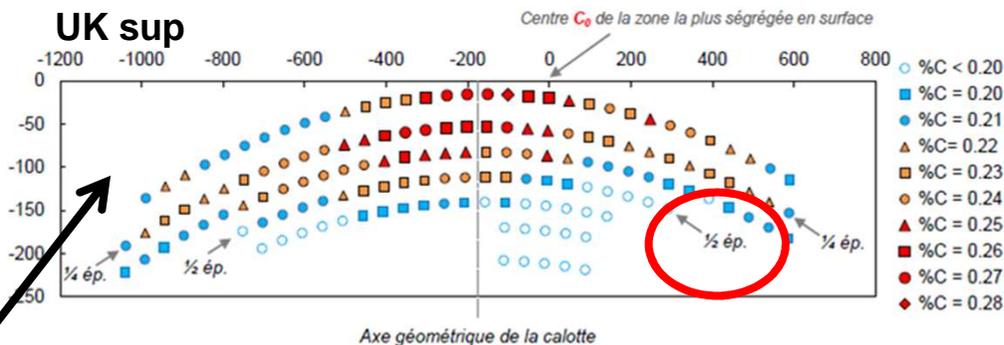
[C] > 0,25%

Calotte supérieure UK
jusqu'à 1/2 épaisseur

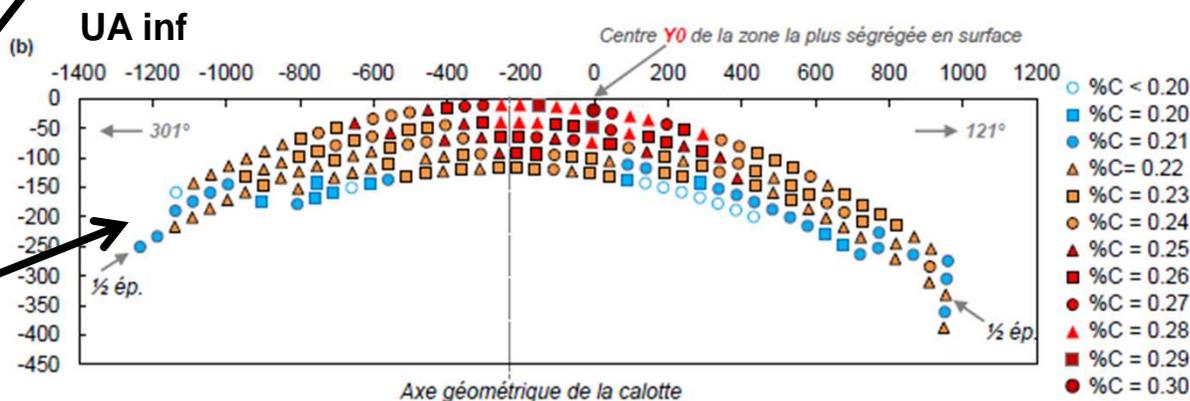
Calotte inférieure UA
jusqu'à 3/4 épaisseur

Calotte supérieure UA
jusqu'à 3/4 épaisseur

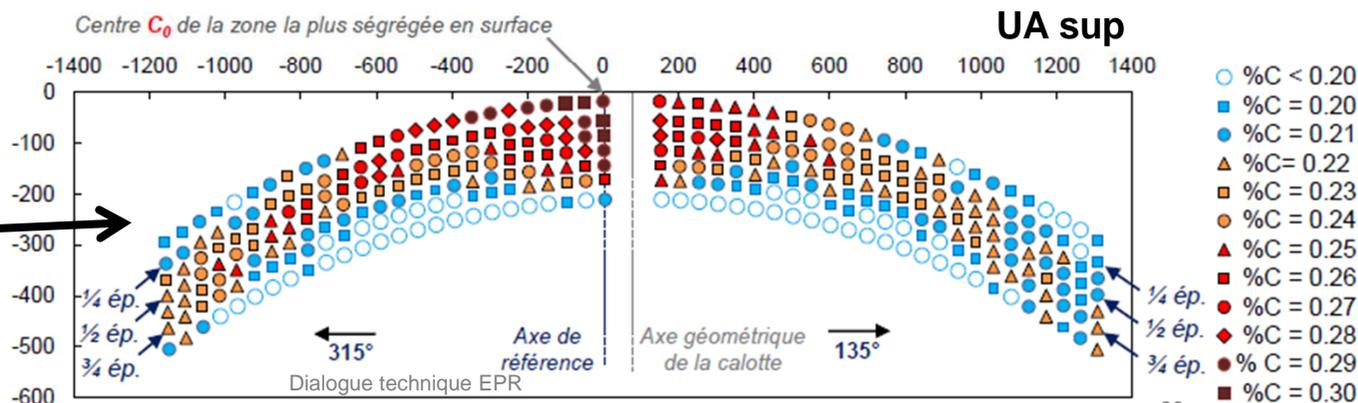
UK sup



UA inf

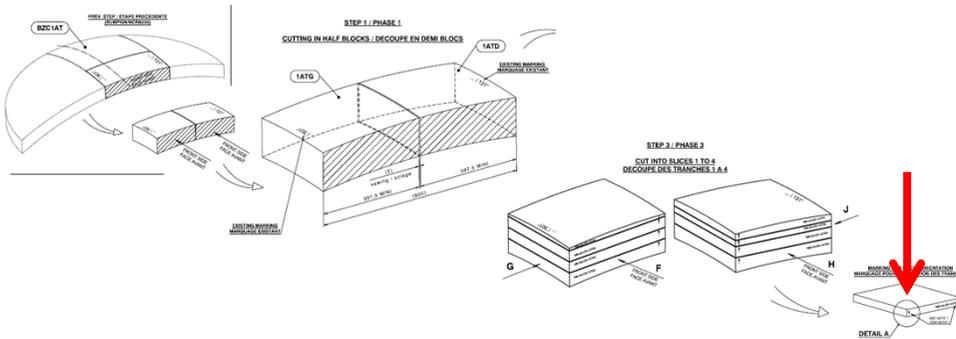


UA sup

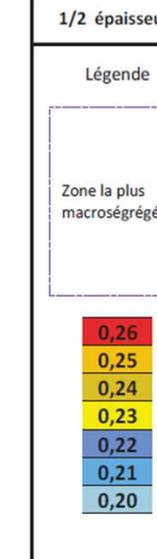
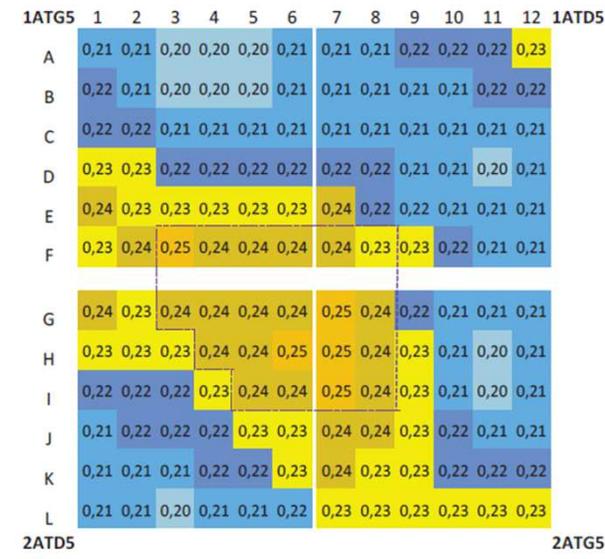
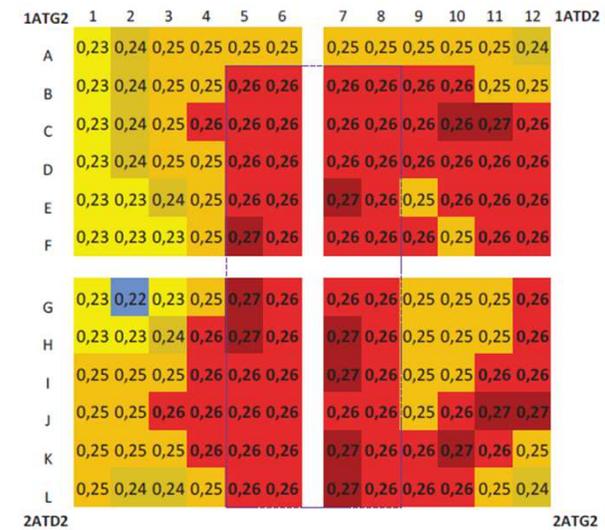


Images extraites de documents AREVA ©

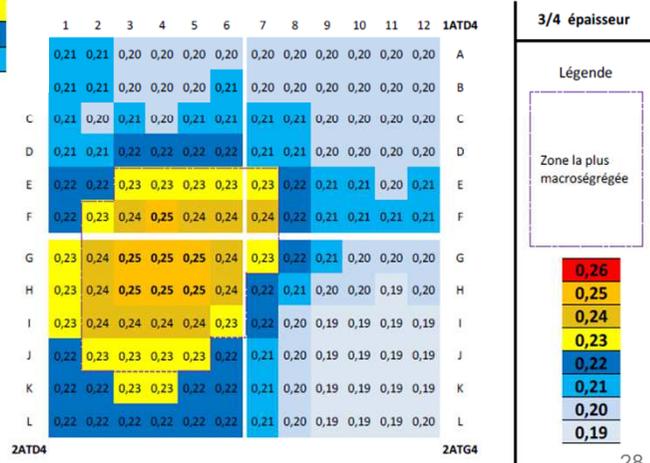
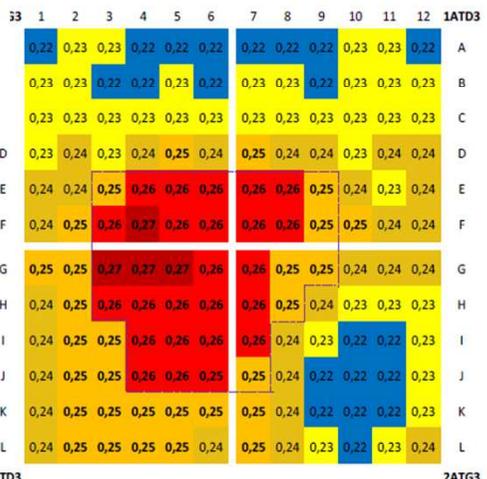
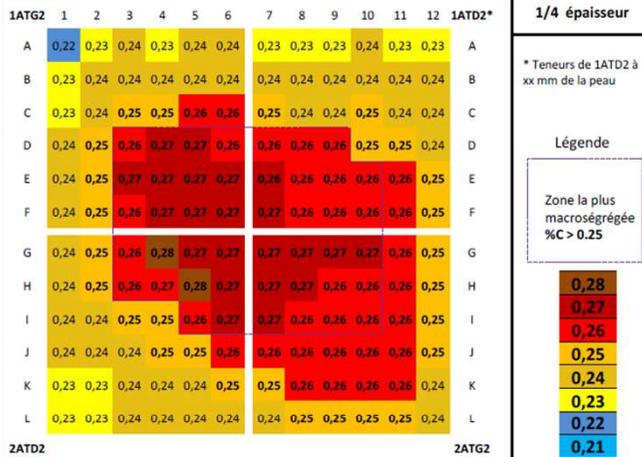
3. Caractérisation des teneurs en C Calotte supérieure UK



- Caractérisation par profondeur
- Représentation avec mesures sur copeaux privilégiée compte tenu des incertitudes
- $[C] > 0,25\%$ jusqu'à $\frac{1}{2}$ épaisseur
- Fluctuation du positionnement de la zone ségréguée dans l'épaisseur



3. Caractérisation des teneurs en C Calotte inférieure UA



- [C] > 0,25% jusqu'à 3/4 épaisseur
- Fluctuation du positionnement de la zone ségrégée dans l'épaisseur

Images extraites de documents AREVA ©

Évolutions de la démarche de justification proposées par AREVA

En cours d'instruction



1/ Résultats sur la carotte centrale de la calotte supérieure UA (*[C] plus élevée ; A% < 20% ; Résilience < 60J à mi-épaisseur*)

AREVA propose de compléter le dossier en :

- ajoutant la **calotte supérieure UA** dans le programme d'essais, en définissant un plan de prélèvement aux objectifs similaires à ceux des deux autres calottes sacrificielles (calottes supérieure UK et inférieure UA)
- étendant les essais jusqu'au $\frac{3}{4}$ **épaisseur des 2 calottes UA**, en réalisant un plan de prélèvement similaire à $\frac{1}{2}$ et $\frac{1}{4}$ épaisseur
- complétant le dossier des situations et charges en étudiant les **chocs froids avec un défaut à $\frac{3}{4}$ épaisseur**
- fournissant un dossier sur la **déchirure ductile** et réaliser des essais de traction supplémentaires en zone ségréguée à température ambiante

2/ Mesures et résultats de teneurs en carbone

→ Questionnement de la représentativité des calottes

AREVA propose de compléter la démarche sur ce point avec :

- de nouvelles mesures de teneur en carbone sur les calottes de Flamanville 3
 - Spectrométrie par étincelage portative
 - Appareil de mesure avec incertitude plus faible
 - Maillage plus fin⇒ Traitement statistique afin de « compenser » les incertitudes

- l'introduction de la notion de famille de composants pour évaluer la représentativité des calottes entre elles

- ❑ Définition et construction de la famille des calottes :
 - **paramètres chimiques cohérents à la coulée** (teneurs en carbone à la coulée proches de 0,18 %)
 - **gammes de fabrication identiques** (lingots de 157 tonnes, lingotière de type 2550, taux de ségrégation majeure positive visés de l'ordre de 40 % à 65 %)
 - **profil de trempe équivalent** (effets de trempe similaires, associés à des usinages réalisés après traitement thermique de qualité de dimensions voisines)

- ❑ Données nécessaires pour évaluer l'appartenance à la famille :
 - étendue de la ségrégation
 - **positionnement** relatif des pièces dans le bloom initial
 - teneurs en **carbone en surface**

Dans ce but, AREVA a :

→ valorisé un programme de R&D dit « **MOPPEC** »

→ en tenant compte des différentes **sources d'incertitude**

- Programme MOPPEC (modèle de prédiction des propriétés des pièces écrasées)
 - programme R&D réalisé entre 2010 et 2015
 - Initialement destiné à la prédiction des propriétés des pièces écrasées
 - pièces sacrificielles (bloom similaire à celui des calottes, fond primaire, plaque tubulaire, dôme elliptique GV)
 - caractérisation [C] dans une tranche du bloom
 - bloom MOPPEC \Rightarrow bloom de référence

- Valorisation du bloom de référence du programme MOPPEC pour la famille des calottes de cuve EPR
 - analyse des enregistrements de fabrication (perte au feu, chutage tête et pied, usinage)
 - mise en œuvre de modèles numériques de simulation

\rightarrow reconstitution du positionnement théorique des composants dans le bloom de référence

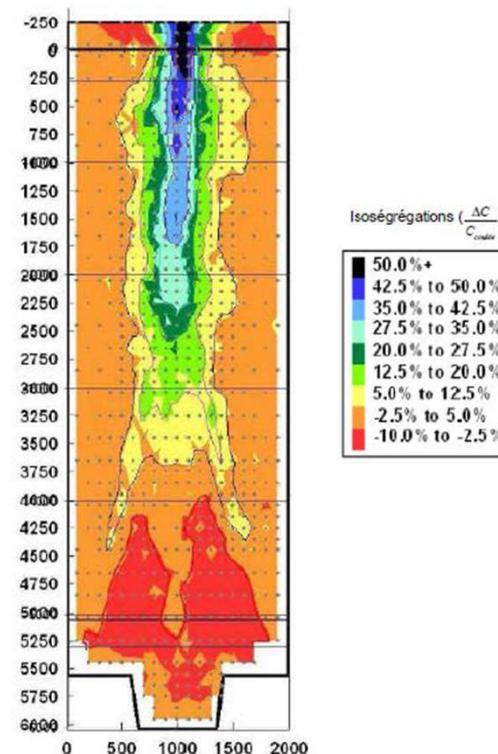


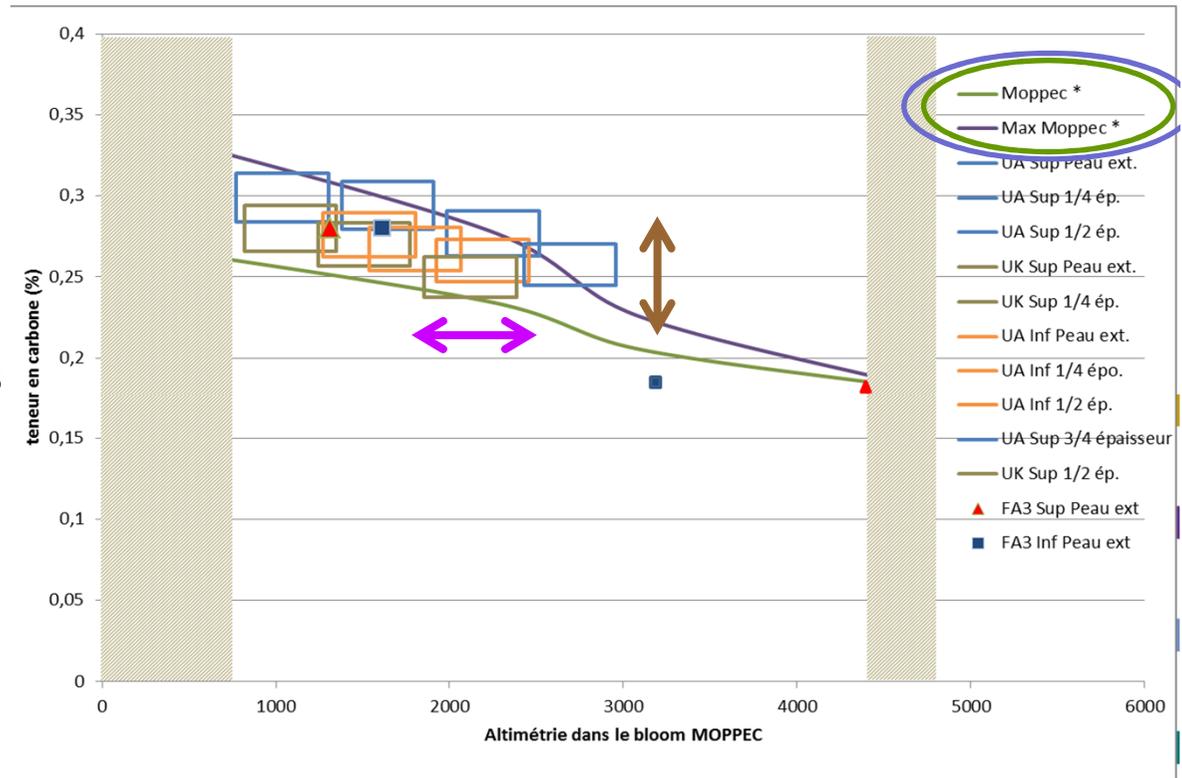
Image extraite de documents AREVA ©

Reconstitution du positionnement de chaque calotte dans le bloom de référence

Image extraite de documents AREVA ©

- ❑ Prise en compte des incertitudes associées au bloom
 - Non détection de valeurs maximales de [C] lors de l'analyse du bloom de référence
 - Variabilité de la ségrégation au sein de plusieurs blooms
- Création de bornes **inf** et **sup** à partir des [C] du bloom de référence

- ❑ Comparaison des résultats des calottes avec le bloom de référence
- intégration des incertitudes liées
- au **positionnement reconstitué**
 - aux **mesures [C]**



Travaux en cours sur l'estimation de ces incertitudes

Des résultats et des dossiers à venir...

Prochaines étapes



❑ Résultats attendus sur les calottes sacrificielles

- Pour **septembre 2016**
 - ✓ Résultats des essais de la calotte supérieure UK
 - ✓ Résultats des essais de la calotte inférieure UA $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$ épaisseur
- Pour **fin 2016**
 - ✓ Résultats des essais de la calotte inférieure UA $\frac{3}{4}$ épaisseur
 - ✓ Résultats des essais de la calotte supérieure UA toutes les épaisseurs

❑ Autres résultats attendus

- Résultats du contrôle de fond de cuve
- Nouvelle caractérisation en [C] des calottes supérieure et inférieure de Flamanville 3

❑ Prise en compte des résultats de la revue qualité des usines d'AREVA NP



Dossier final pour fin 2016

- Le dossier s'étoffe et se complexifie
 - Architecture du dossier
 - Représentativité
- Dossier final prévu par AREVA fin 2016

Instruction à mener

- Instruction par l'IRSN et l'ASN
- GP ESPN saisi pour avis
- Position ASN sur l'aptitude de la cuve à être mise en service

Poursuite de la démarche de transparence



Discussion

