



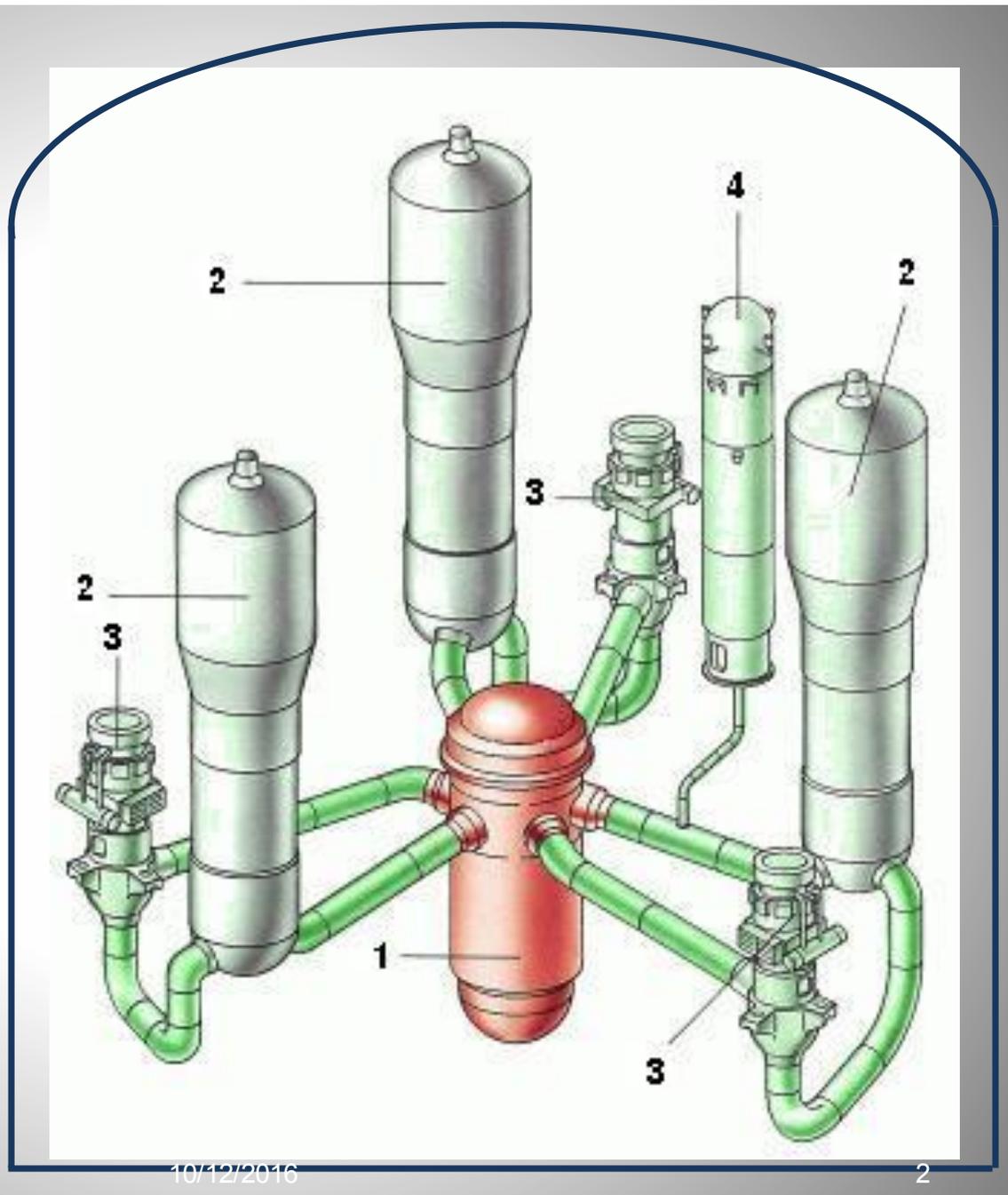
Association des Ecologistes pour le Nucléaire

Anomalies de pièces forgées
utilisées par AREVA

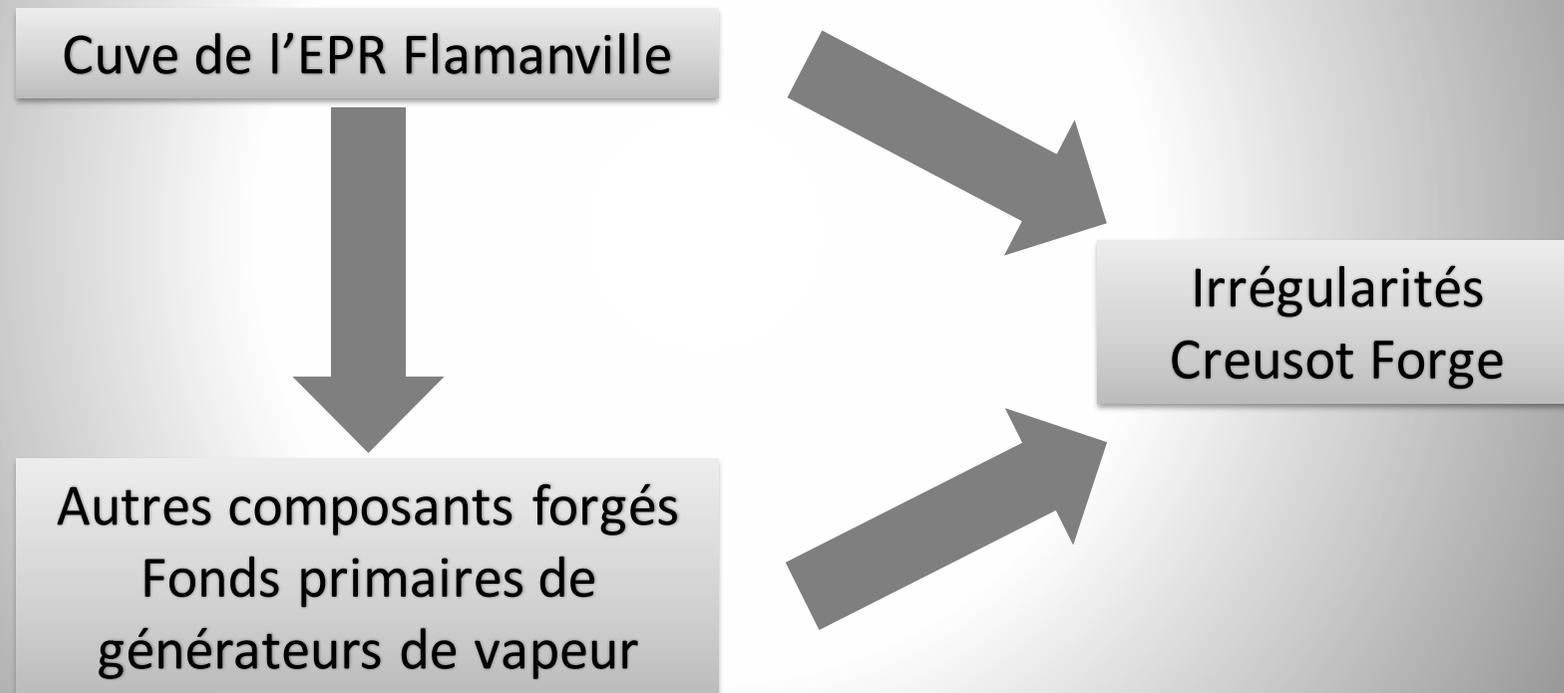
Pourquoi des centrales nucléaires
françaises sont à l'arrêt

Dominique Vignon

La chaudière nucléaire



Du couvercle de Flamanville au réexamen de tous les dossiers de fabrication depuis quarante ans

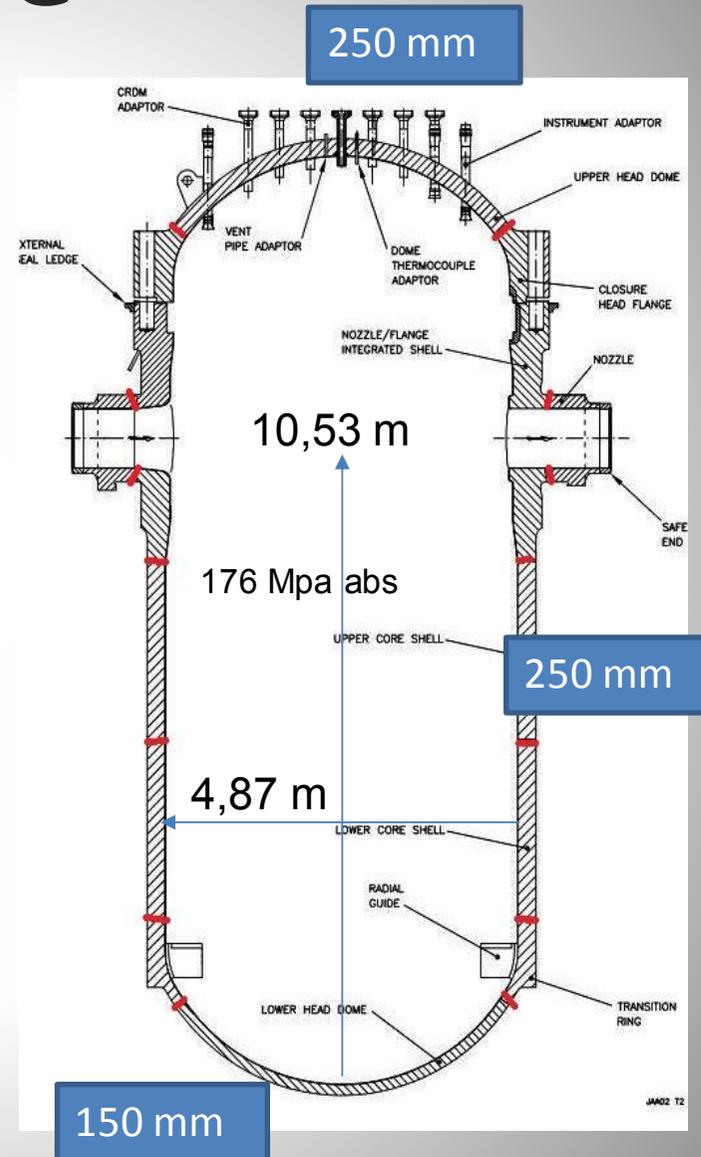
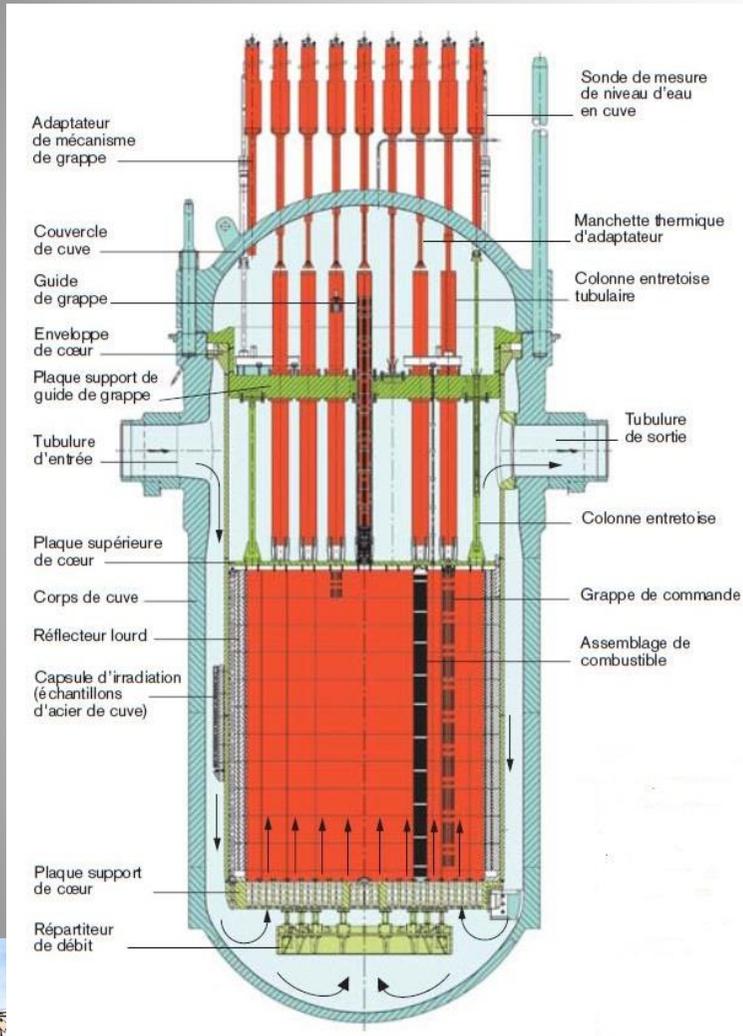


Communiqué ASN à la suite d'inspections initiées par celles-ci-

Cuve Flamanville 3 EPR - 8 avril 2015

- Les essais réalisés à ce stade mettent en lumière un **défaut de maîtrise de la qualité des fabrications**, ayant un impact sur les **caractéristiques mécaniques des matériaux**
- Areva doit justifier que les **phénomènes** en cause sur les calottes du couvercle et du fond de la cuve du réacteur EPR de Flamanville sont bien **identifiés et maîtrisés**
- L'ASN se **prononcera sur le programme** d'essais, contrôlera sa bonne réalisation et instruira le dossier que présentera AREVA pour démontrer la résistance de la cuve du réacteur EPR de Flamanville

La cuve



Caractéristiques

Pression de calcul : 17,6 MPa abs.

Pression de fonctionnement : 15,5 MpPa abs.

Température branche chaude : 328,1 °C

Température branche froide : 295,5 °C

Diamètre interne en partie courante : 4 870 mm

Hauteur de la partie inférieure : 10 532,5 mm

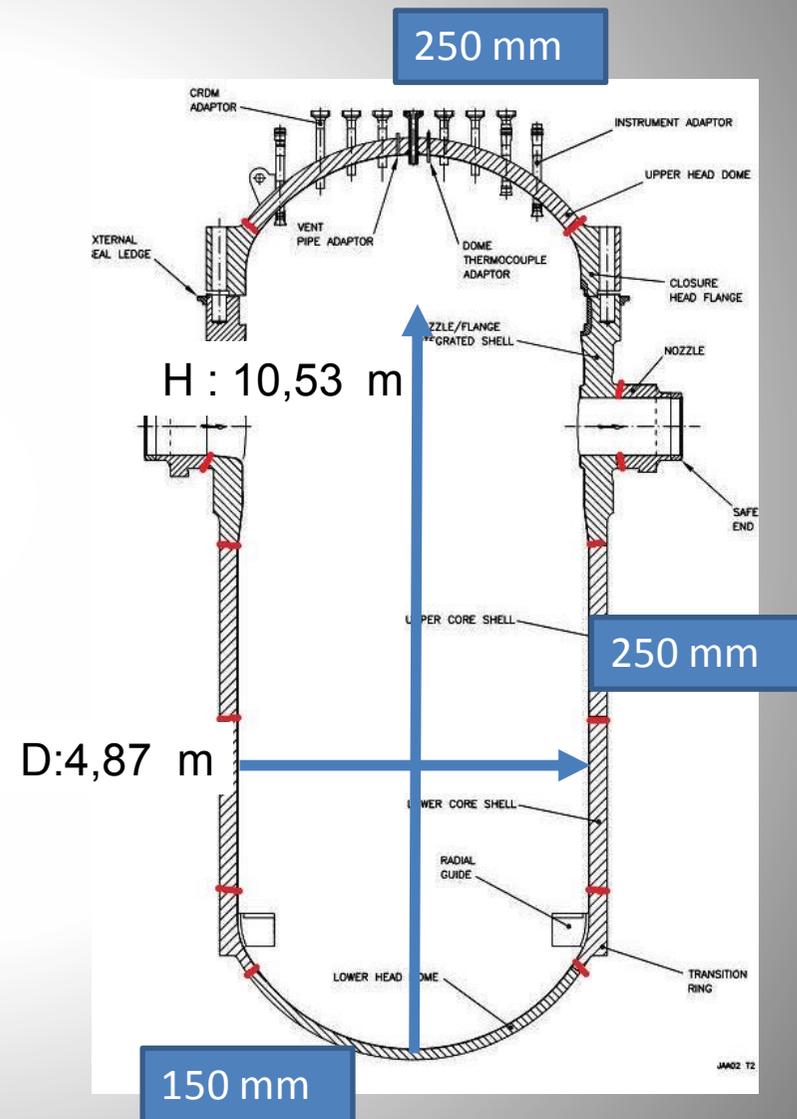
Caractéristiques

- **Matériau : 16MND5** (ASTM A508 Cl.3)
- **Concilier résistance et ténacité**

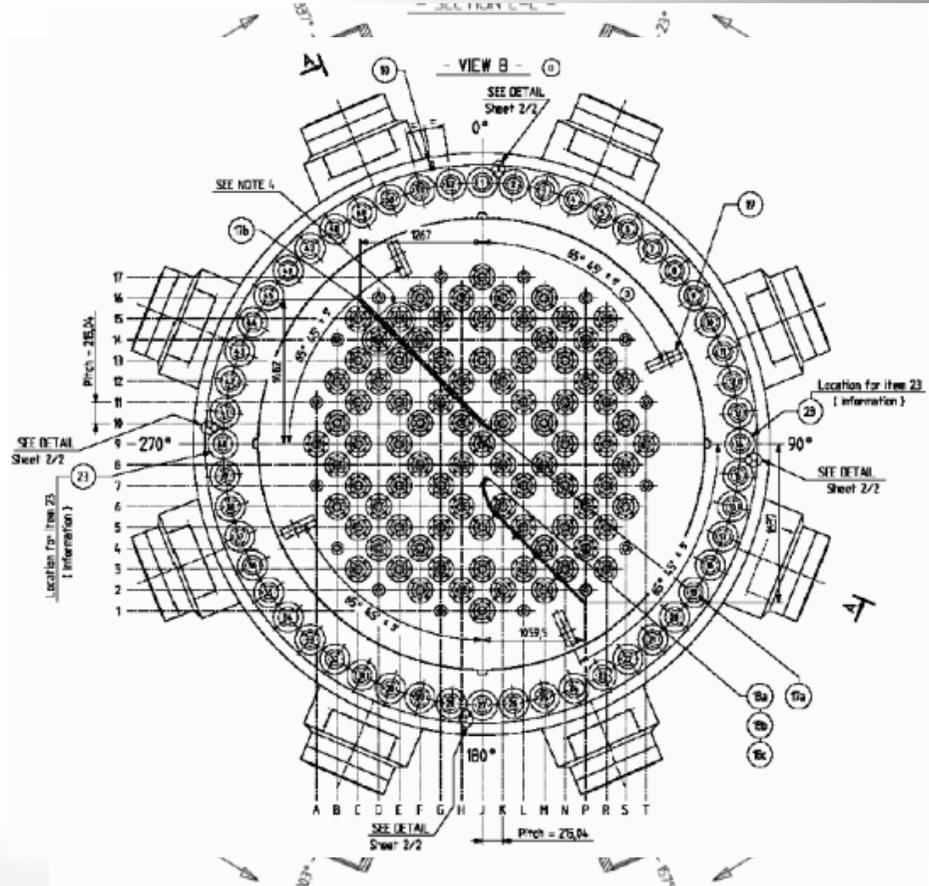
C	Mn	Ni	Mo
0,16	1,30	0,7	0,51

P	S	Si	Cr
0,008	0,006	0,20	0,20

Pression de calcul : 17,6 MPa abs.
 Pression de fonctionnement : 15,5 MPa abs.
 Température branche chaude : 328,1 °C
 Température branche froide : 295,5 °C



Quelques détails



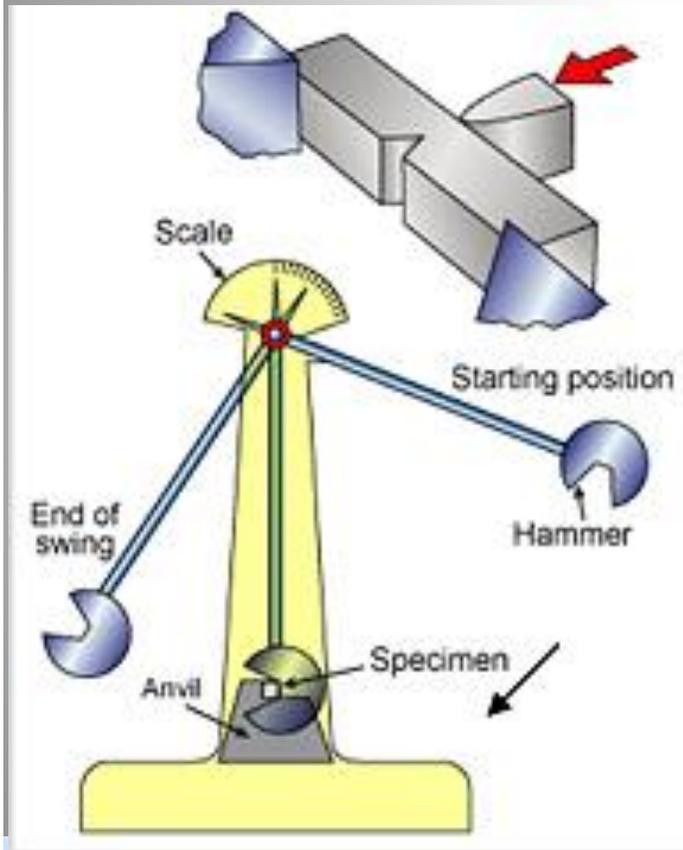
Les critères

- Arrêté ESPN (décembre 2005)
 - > 60 J à 0°C si résistance à la traction > 600 Mpa
- Cuve Flamanville soumise à l'ESPN
 - Guides d'application ESPN postérieurs à la fabrication
- Essais mécaniques dans des zones représentatives (Nine Mile Point – US EPR)
- Résilience 36 J < R < 64 J Moyenne 52 J
- Carbone au centre : 0,30 % pour une valeur visée de 0,22 %
- Les caractéristiques en peau vraisemblablement > ESPN
- Toutes les caractéristiques vraisemblablement > RCCM

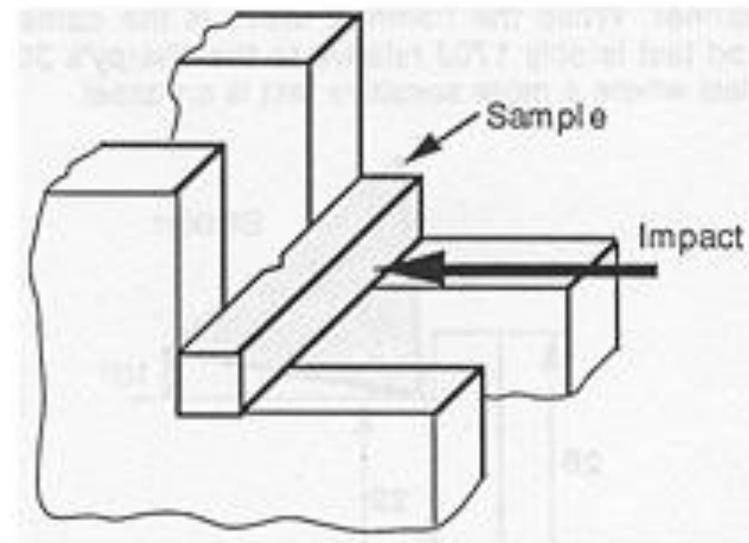


Energie absorbée

Charpy V notch test



Schematic of Testing Machine



Specimen on Anvil



Energie absorbée

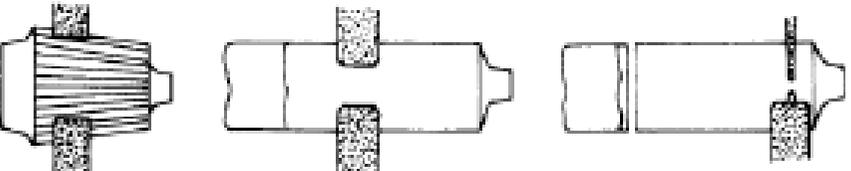
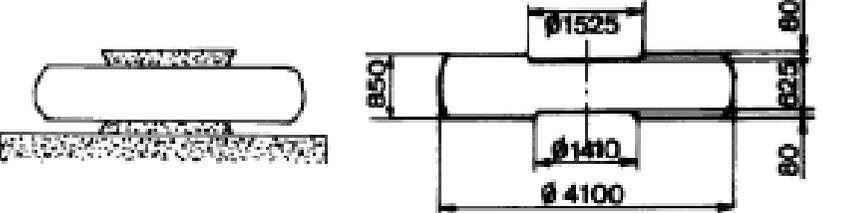
Charpy V notch test



Eprouvettes

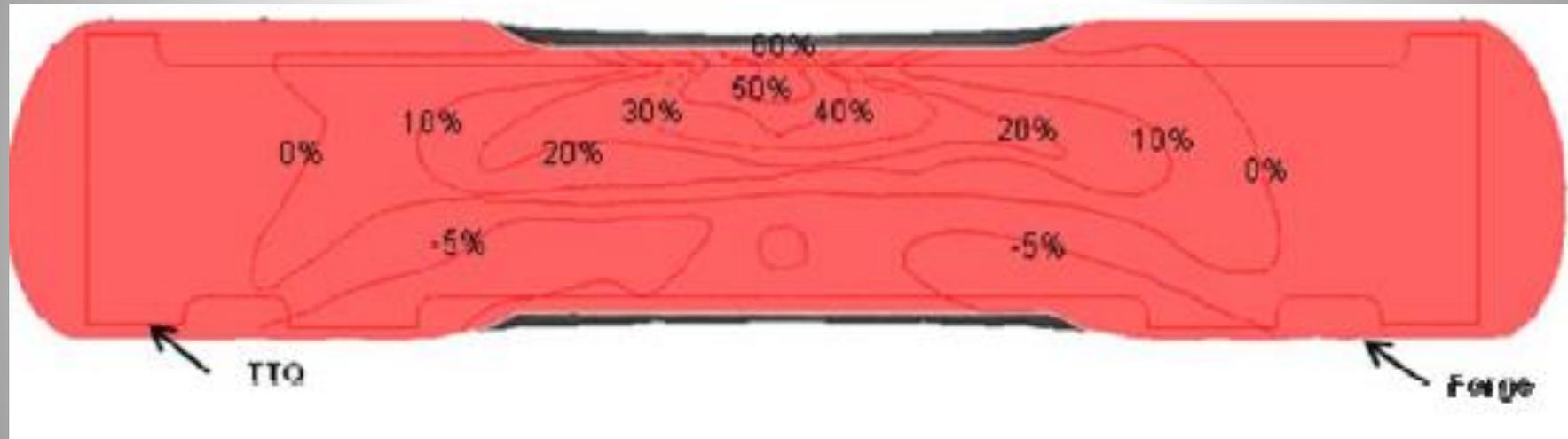


Les opérations de forge

<p>COGGING CUTTING OF TOP AND BOTTOM</p>	
<p>UPSETTING (1st sequence)</p>	
<p>UPSETTING (2nd sequence)</p>	
<p>UPSETTING (3rd sequence)</p>	
<p>UPSETTING (4th sequence) to forging dimensions</p>	 <p style="text-align: right;">dimensions in mm</p>



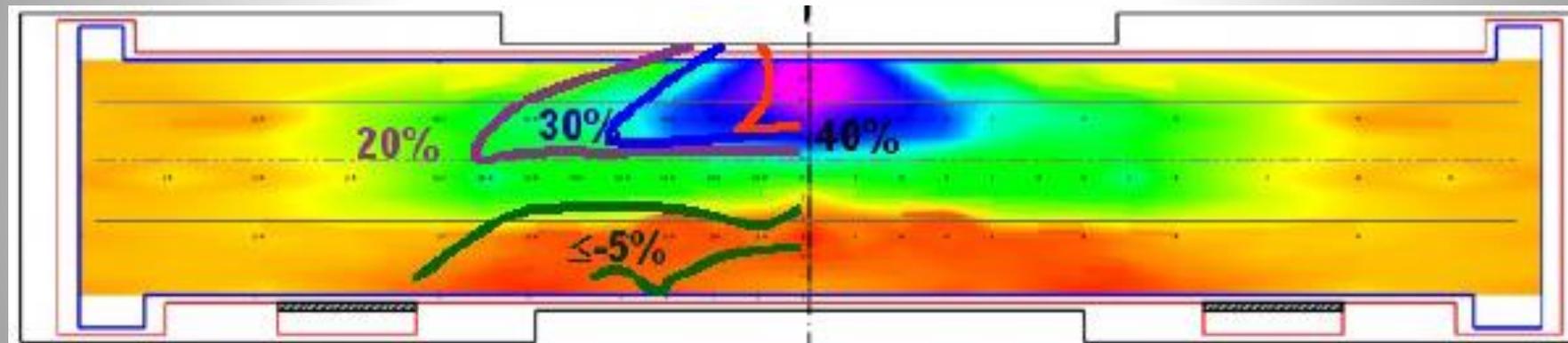
Les pièces ne peuvent pas être homogènes



Mesuré



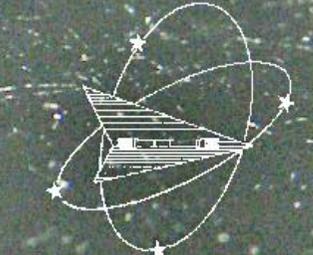
Les pièces ne peuvent pas être homogènes



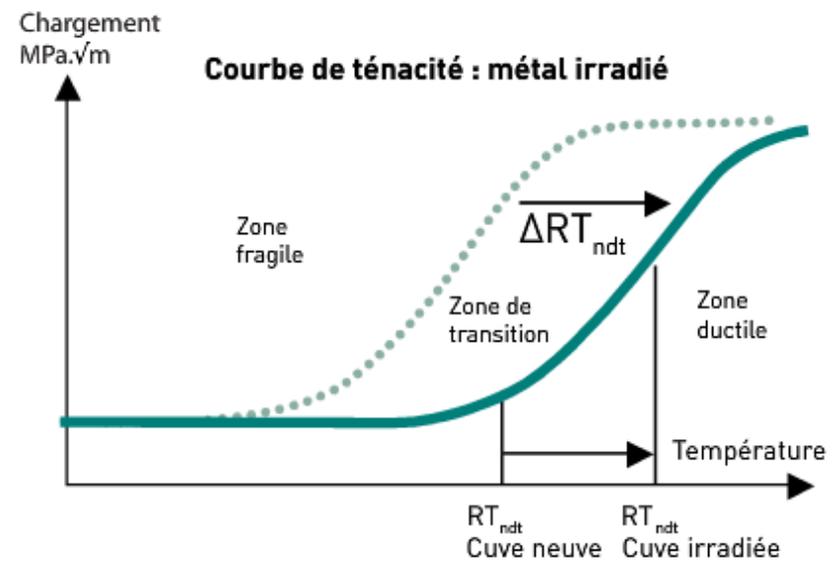
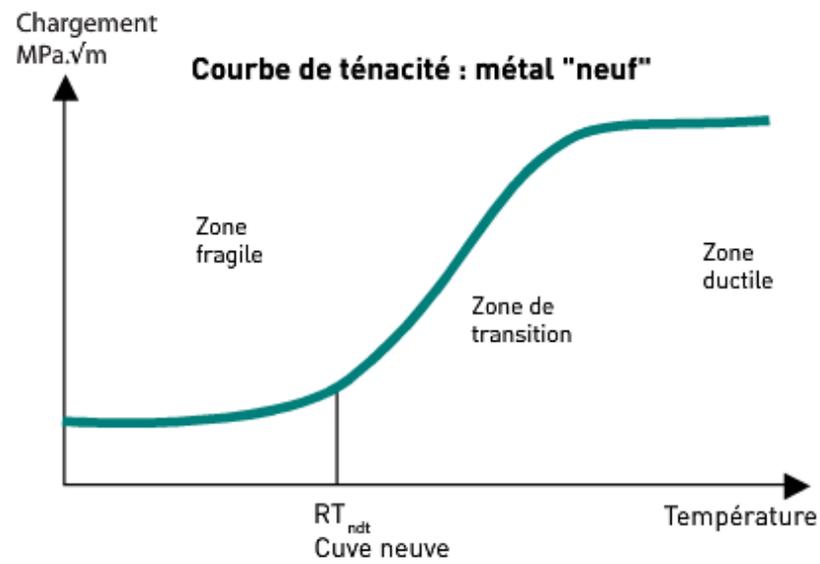


Charpy Impact Testing

Westmoreland Mechanical Testing & Research, Inc.

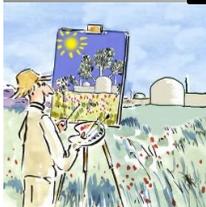


www.wmtr.com



Choc froid et sûreté

- Accident hors dimensionnement
- Initiateurs:
 - Injection de sécurité
 - Rupture de ligne vapeur (SLB)
- Aggravants
 - Irradiation
- Atténuation
 - Dilution
- Les critères



Les critères

- Arrêté ESPN (décembre 2005)
 - $> 60 \text{ J}$ à 0°C si résistance à la traction $> 600 \text{ Mpa}$
- ASME et RCCM
 - Pas d'exigence à 0°C
 - Critère pour 90°F
 - Correspondrait à $\sim 40 \text{ J}$ à 0°C
- Cuve Flamanville soumise à l'ESPN
 - Guides d'application ESPN postérieurs à la fabrication



La situation

- Essais mécaniques dans des zones représentatives (Nine Mile Point – US EPR)
- résilience $36 \text{ J} < R < 64 \text{ J}$ Moyenne 52 J
- Carbone au centre : $0,30 \%$ pour une valeur visée de $0,22 \%$
- Les caractéristiques en peau vraisemblablement $> \text{ESPN}$
- Toutes les caractéristiques vraisemblablement $> \text{RCCM}$



Méthodologie d'analyse du risque de rupture

Sollicitations	Défauts	Matériau
Choc thermiques les plus sévères ?	Etat de santé de l'équipement ?	Propriété mécaniques de l'acier ?
Réexamen des sollicitations pour la localisation concernée par l'anomalie	Réexamen des contrôle de fin de fabrication Contrôles in situ non destructifs	Pas de biopsie possible Mesures in situ non destructrice de la teneur en Carbone
Selon localisation : <ul style="list-style-type: none">• Chocs « chaud »• Chocs « froid »	Etude sur la base du défaut de référence postulée	Essais sur pièces sacrificielles représentatives

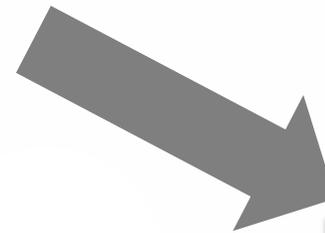
Méthodologie d'analyse approuvée – Dossier justificatif remis fin décembre 2016
Au moins six mois d'instruction post-dépôt du rapport

Extension de la revue de sûreté

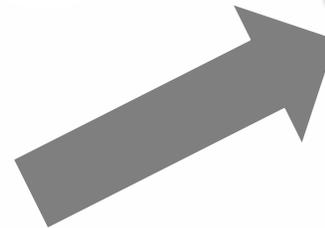
Cuve de l'EPR Flamanville



Autres composants forgés
Fonds primaires de
générateurs de vapeur



Irrégularités
Creusot Forge

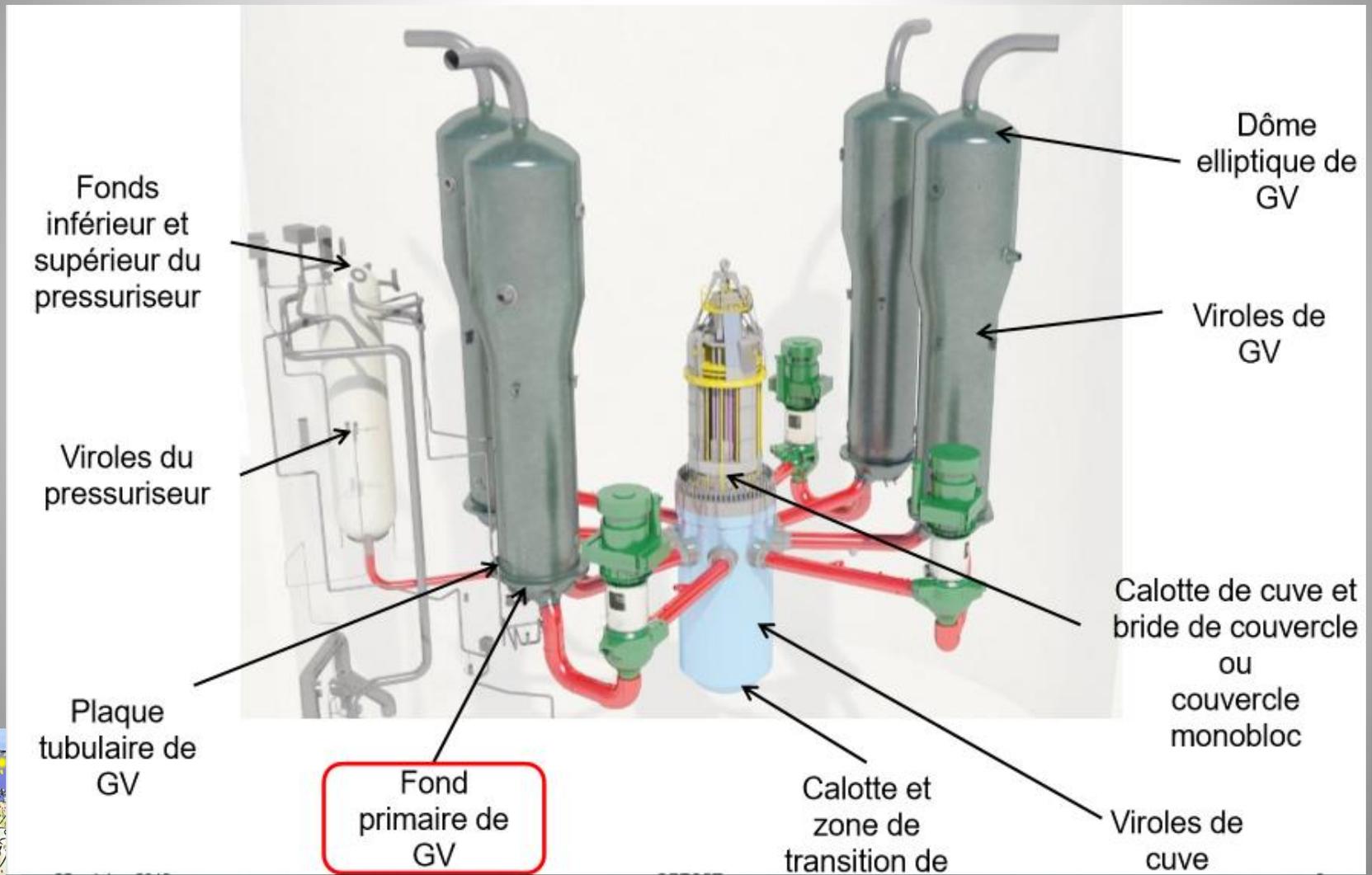


Historique de la forge

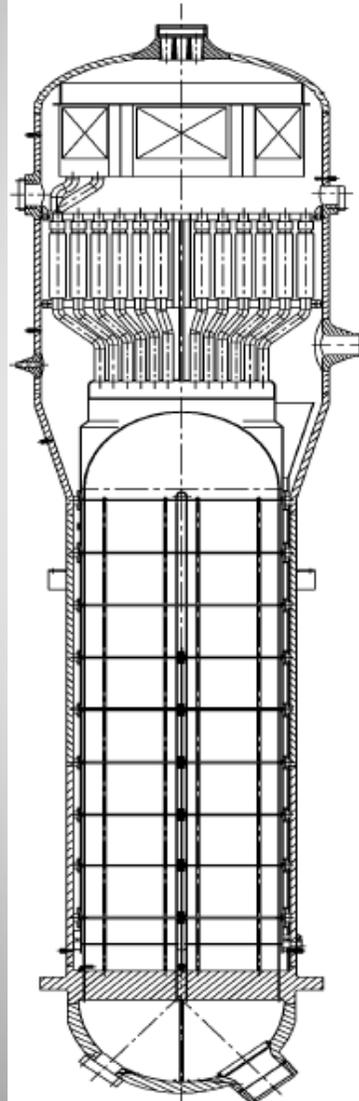
- 1984 – Faillite Creusot Loire
 - Reprise de la forge par Arcelor
 - Transfert au sein du groupe Arcelor à Industeel
- 2003 – Cession à France-Essor (Michel-Yves Bolloré)
- Fin 2006 – Cession à Areva



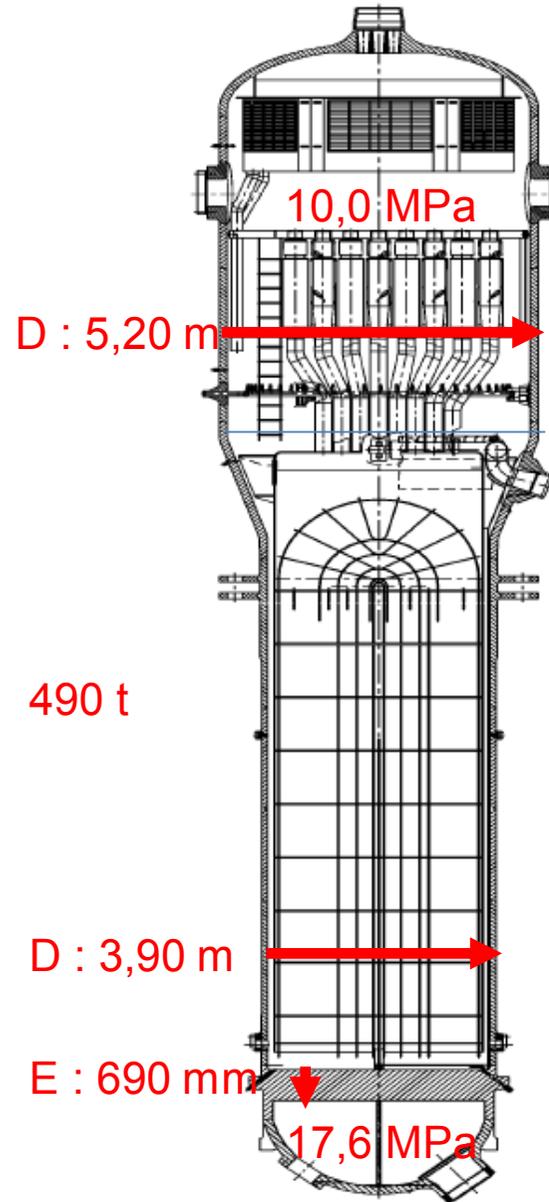
Examen à la demande de l'ASN de tous les composants forgés



N4



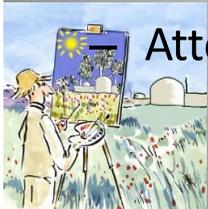
EPR



Fonds primaires de générateurs de vapeur

Concentration en carbone particulièrement élevée sur les fonds primaires fabriqués par Japan Casting & Forging Corporation (JCFC) (12 réacteurs)

- Nécessité de réaliser des contrôles complémentaires sur ces douze réacteurs
 - Contrôles réalisés sur sept réacteurs à l'occasion des arrêts programmés
 - Prescription ASN du 18 octobre : contrôle des cinq autres réacteurs sous 3 mois
- Objectif des contrôles : vérifier que le dossier générique est enveloppe
 - localiser précisément (contrôles non destructifs) la zone présentant une concentration en carbone importante.
 - Vérification que les fonds ne présentent pas de défauts (fissures notamment) susceptibles de conduire à une rupture de la pièce (ultrasons)
- Avis IRSN 30/2016 : dossier générique satisfaisant
- Communiqué ASN 05/12/2016
 - EDF peut demander les autorisations de redémarrage spécifiques



Attente dossiers Réacteurs Civaux

Décision du 18 octobre – Fonds JCFC

Réacteurs	Puissance	État du réacteur	Mesures de la concentration en carbone déjà réalisées	Réacteur concernés par la décision de l'ASN du 18 octobre 2016
Fessenheim 1	900 MWe	En fonctionnement	Non	x
Tricastin 2	900 MWe	En fonctionnement	Non	x
Gravelines 4	900 MWe	En fonctionnement	Non	x
Civaux 1	1450 MWe	En fonctionnement	Non	x
Saint-Laurent B1	900 MWe	En fonctionnement	Réalisées partiellement	
Tricastin 4	900 MWe	A l'arrêt	En cours	x
Bugey 4	900 MWe	A l'arrêt	Réalisées	
Tricastin 1	900 MWe	A l'arrêt	Réalisées	
Tricastin 3	900 MWe	A l'arrêt	Réalisées	
Gravelines 2	900 MWe	A l'arrêt	Réalisées	
Dampierre 3	900 MWe	A l'arrêt	Réalisées	
Civaux 2	1450 MWe	A l'arrêt	Réalisées	



Arguments d'acceptation

- Aucun défaut dans les pièces
- Chocs froids ou chauds très limités
- Introduction de l'étude d'un choc froid théorique
 - passage d'un bouchon d'eau froide résultant de l'injection d'eau de refroidissement des joints de pompes primaires en état d'arrêt à froid
 - redémarrage inopportun d'une pompe primaire à la suite et défaillance de la régulation du système de refroidissement à l'arrêt
- Mesures compensatoires
- Dossier générique à établir pour Civaux 1 et 2



Mesures compensatoires

1. la vitesse de refroidissement du fluide primaire doit être inférieure à 14 °C/h jusqu'à l'arrêt de la dernière pompe primaire
2. en conduite normale, dès qu'une pompe primaire est arrêtée, débrogage du moteur pour se prémunir d'une remise en service inappropriée
3. après arrêt de la dernière pompe primaire, la pression sera amenée à une valeur inférieure ou égale à 7 bar dans les plus brefs délais compatibles avec les contraintes d'exploitation

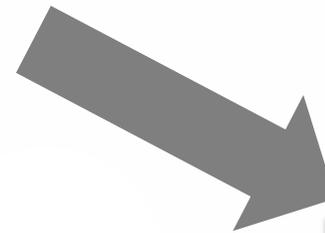


Extension de la revue de sûreté

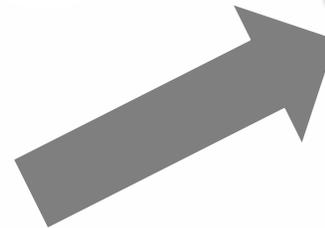
Cuve de l'EPR Flamanville



Autres composants forgés
Fonds primaires de
générateurs de vapeur



Irrégularités
Creusot Forge



Irrégularités Forge du Creusot

- 2015 : Demande de l'ASN de lancer un examen approfondi des pratiques passées au Creusot
- Audit réalisé considéré insuffisant par l'ASN
- 2016 : Nouveaux examens lancés par AREVA
 - Avril : Mise en évidence d'irrégularités dans des dossiers barrés
 - Juillet : Mise en évidence d'irrégularités dans des dossiers non barrés
 - Septembre : lancement d'un examen complet de tous les dossiers nucléaires



L'étendue des irrégularités

- 87 cas
explo
de fak
– don
- EPR d
– don
- 4 colis
- Autre

PLANS POUR CÔTES SUPPLÉMENTAIRES (1/6)

TABLEAU DE COTE

N° plan	Description	Cote	1/6		1/2
			1/6	1/6	
1/6	1/6	0.10	0.10	0.10	0.10
	1/6	0.10	0.10		0.10
1/6	1/6	0.10			
	1/6				
1/6	1/6	0.10	0.10 / 0.10	0.10	0.10
	1/6	0.10	0.10		0.10
1/6	1/6	0.10	0.10	0.10	0.10
	1/6	0.10	0.10		0.10
1/6	1/6	0.10	0.10		0.10
	1/6	0.10	0.10		0.10

en
cours

é
à l'ASN

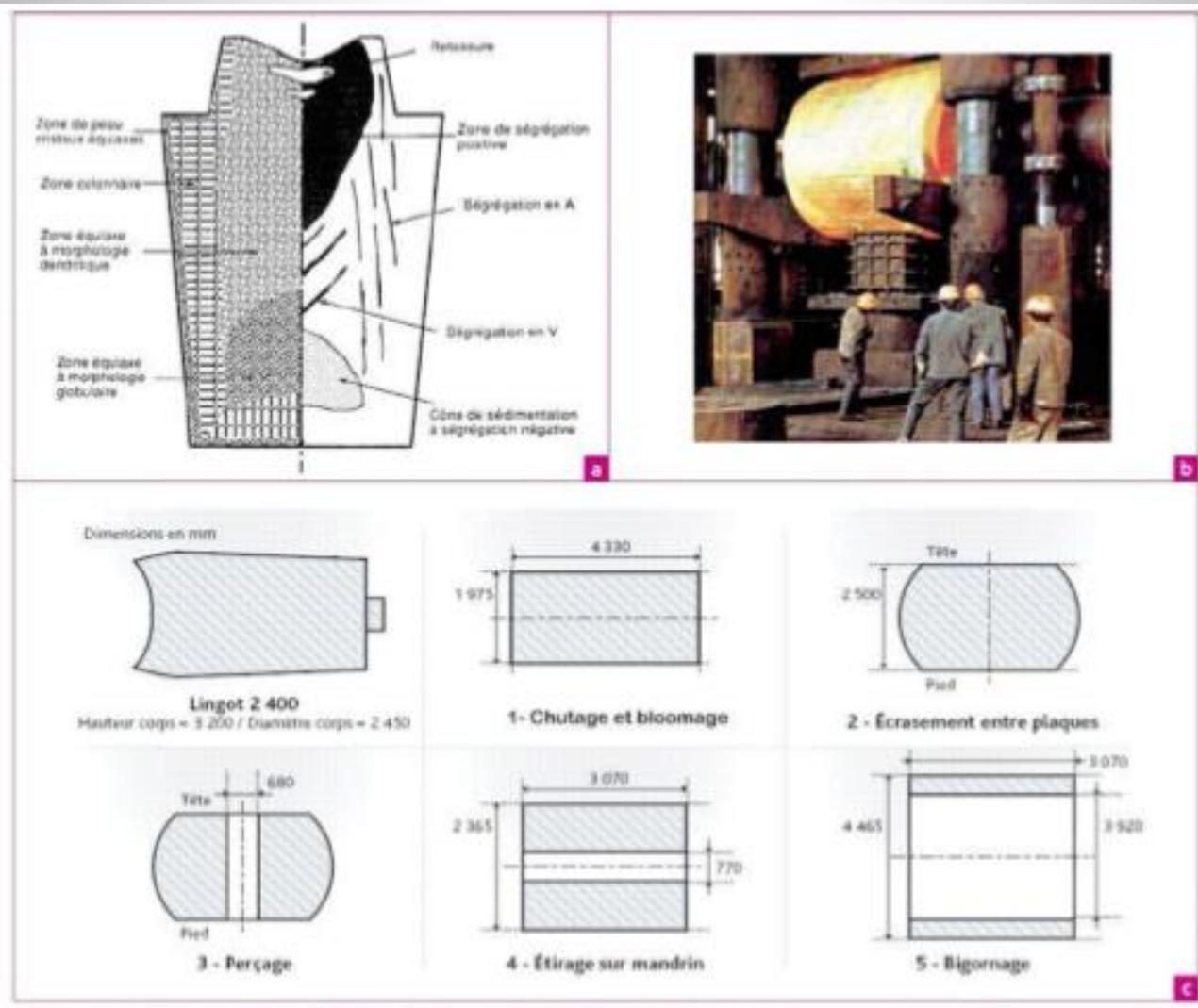


Etendue des irrégularités (suite)

- Dossiers contenant des documents non produits dans le dossier final de fabrication («dossiers barrés »)
 - Procès-verbaux avec des valeurs erronées ou traçant des opérations de fabrication ne figurant pas dans le dossier final
 - Il y a aussi des irrégularités dans des dossiers non barrés
- Interviews de collaborateurs anciens et passés confirmant des pratiques non conformes aux règles d'assurance qualité
 - valeurs « ajustées »
 - préchauffage des éprouvettes Pellini (détermination de la température de transition)
 - défaut de traçabilité des paramètres de forge (valeur visée consignée à la place de la valeur réelle)



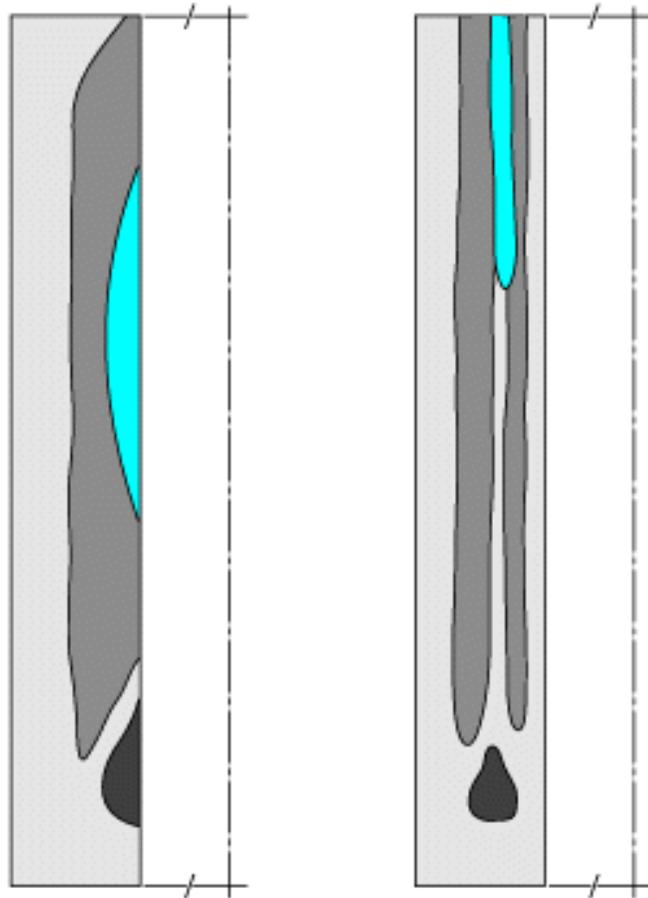
Le forgeage d'un lingot creux





© Uwe Niggemier

Ségrégations Lingot creux ou plein



a lingot plein

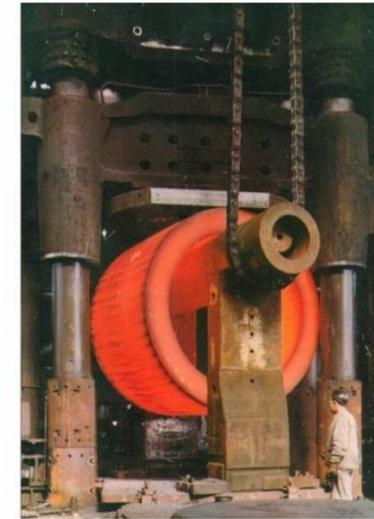
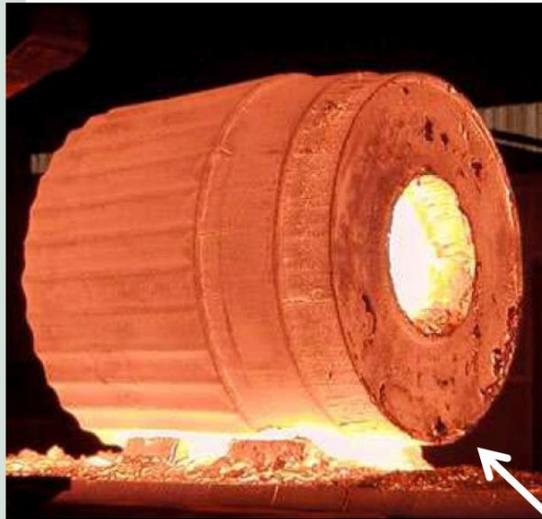
b lingot creux

-  Ségrégation carbone positif $0 \% < \Delta C/C < 15 \%$
-  Ségrégation carbone négative $-15 \% < \Delta C/C < 0 \%$
-  Ségrégation localisées, Type "veines sombres"



GV n° 335 de Fessenheim 2

- Le chutage de la masselotte prévu en cours de forgeage n'a pas été réalisé sur la virole basse en 2008
- Écart aux règles de l'art
- Conséquences pour la sûreté nucléaire potentiellement majeures
- Cette virole aurait dû être rebutée
- L'ASN a suspendu le certificat d'épreuve de ce générateur de vapeur



masselotte

OPECST



GV n° 335 de Fessenheim 2

Extrait du dossier barré

	FICHE INCIDENT QUALITÉ <i>QUALITY NOTIFICATION</i>	N° d'affaire <i>Reference</i>	Document	Rev.	Page
		88571001	FIQ 08 083	1	1/1
		Emetteur <i>Issuing</i>	[REDACTED]		
14, Rue Chateaufort - F1200 LE CREUSOT - Tél. : +33 3 89 80 73 00 - Fax. : +33 3 89 80 73 38					
ORIGINE <i>Origin</i>	<input type="checkbox"/> Fournisseur <i>Supplier</i> <input type="checkbox"/> Client <i>Customer</i>	Client <i>Customer</i> : AREVA			
		Projet <i>Project</i>	N° Cde Client <i>n. Order</i>		
		GV RB III	8857 1001		
Matière <i>Material</i>	Identification / N° de coulée <i>Stamping / Heat N°</i>	Désignation, pièce ou sous ensemble <i>Designation, part or subassembly</i>			
1.4 MDO	Z 5433	VIROLE basse 335			
Détection <i>detection</i>	<input type="checkbox"/> Annexes <i>Annex</i>	Stade de fabrication <i>Operation manufacturing stage</i>			
Date : 09/12/2008		forgeage			
Date : 09/12/2008	D1 CARACTERISTIQUE DE L'ECART <i>Description of the discrepancy</i>			Critères d'acceptation <i>Acceptance standard</i>	
	Impossibilité de couper la chute tête longueur trop juste environ manque environ 400				
<input type="checkbox"/> SANS FNC <i>No NCR</i>	D3 TRAITEMENT DE L'ECART / ACTIONS A ENTREPRENDRE <i>Treatment of the discrepancy / Actions to be performed</i>			Diffusion <i>Distribution</i>	
	SOLUTIONS / ACTIONS A ENTREPRENDRE <i>Resolution / Actions to be performed</i>			<input type="checkbox"/> AQ <input type="checkbox"/> DT / MCQ <input type="checkbox"/> CQ <input type="checkbox"/> GP <input type="checkbox"/> CTRL <input type="checkbox"/> PROD	
S A	Poursuivre la fabrication				
	- Prevenir le CA lors du traçage pour déterminer les suites à donner.				
		Resp. <i>Person(s) in charge</i>	[REDACTED]		

- Irrégularité dans un dossier non barré
- Le chutage de la masselotte prévu en cours de forgeage n'a pas été suffisant sur la virole basse : 10% au lieu de 22% minimum
- Cette virole aurait dû être rebutée

Extrait du dossier remis à l'ASN jusque juillet 2016

Pièce	Taux de chutage Tête	Taux de chutage Pied
VI/001 du GV/GN 322	23%	15%
VI/001 du GV/GN 323	22%	15%
VI/001 du GV/GN 324	23%	14%

**TABLEAU 6: VALEUR DU PARAMETRE ESSENTIEL « TAUX DE CHUTAGE »
POUR LES PIECES DE SERIE**





GV/RP2 n° 385 destiné à Gravelines 5

- Irrégularité dans un dossier non barré détectée suite aux demandes de l'ASN
- Modifications de résultats d'essais mécaniques sur la virole supérieure
- Cette virole aurait dû être écartée

Dossier archivé par Creusot Forge

REPERE	SENS PRELEVEMENT	TEMPE	ENERGIE de RUPTURE (IMPACT ENERGY)			FIBROSITE DUCTILE	EXPANSION LATERALE
			JOULES				
ITEM	ORIENTATION	RATURE °C	IMPOSEE REQUIRED	RESULTATS RESULTS	MOYENNE AVERAGE	FRACTURE VERFORMUNG	expansion seitliche ausdehnung
NR	PROBENLAGE	TEMP	SOLLWERT	ERMITTELT	MITTELWERT	%	mm
Z5887							
VD1	Circonférentiel (Longitudinal)	0°C	≥ 80 Moy.	170	159	80	2.2
VD2	"	"	≥ 60 Indi.	139		50	1.8
VD3	"	"	"	167		75	2.1
AD1	Axial (Travers)	0°C	≥ 80 Moy.	42	83	5	0.7
AD2	"	"	≥ 60 Indi.	42		5	0.7
AD3	"	"	"	165		70	2.2

Dossier remis à l'ASN

REPERE	SENS PRELEVEMENT	TEMPE	ENERGIE de RUPTURE (IMPACT ENERGY)			FIBROSITE DUCTILE	EXPANSION LATERALE
			JOULES				
ITEM	ORIENTATION	RATURE °C	IMPOSEE REQUIRED	RESULTATS RESULTS	MOYENNE AVERAGE	FRACTURE VERFORMUNG	expansion seitliche ausdehnung
NR	PROBENLAGE	TEMP	SOLLWERT	ERMITTELT	MITTELWERT	%	mm
Z5887							
VD1	Circonférentiel (Longitudinal)	0°C	≥ 80 Moy.	170	159	80	2.2
VD2	"	"	≥ 60 Indi.	139		50	1.8
VD3	"	"	"	167		75	2.1
AD1	Axial (Travers)	0°C	≥ 80 Moy.	98	128	25	1.5
AD2	"	"	≥ 60 Indi.	120		40	1.7
AD3	"	"	"	165		70	2.2

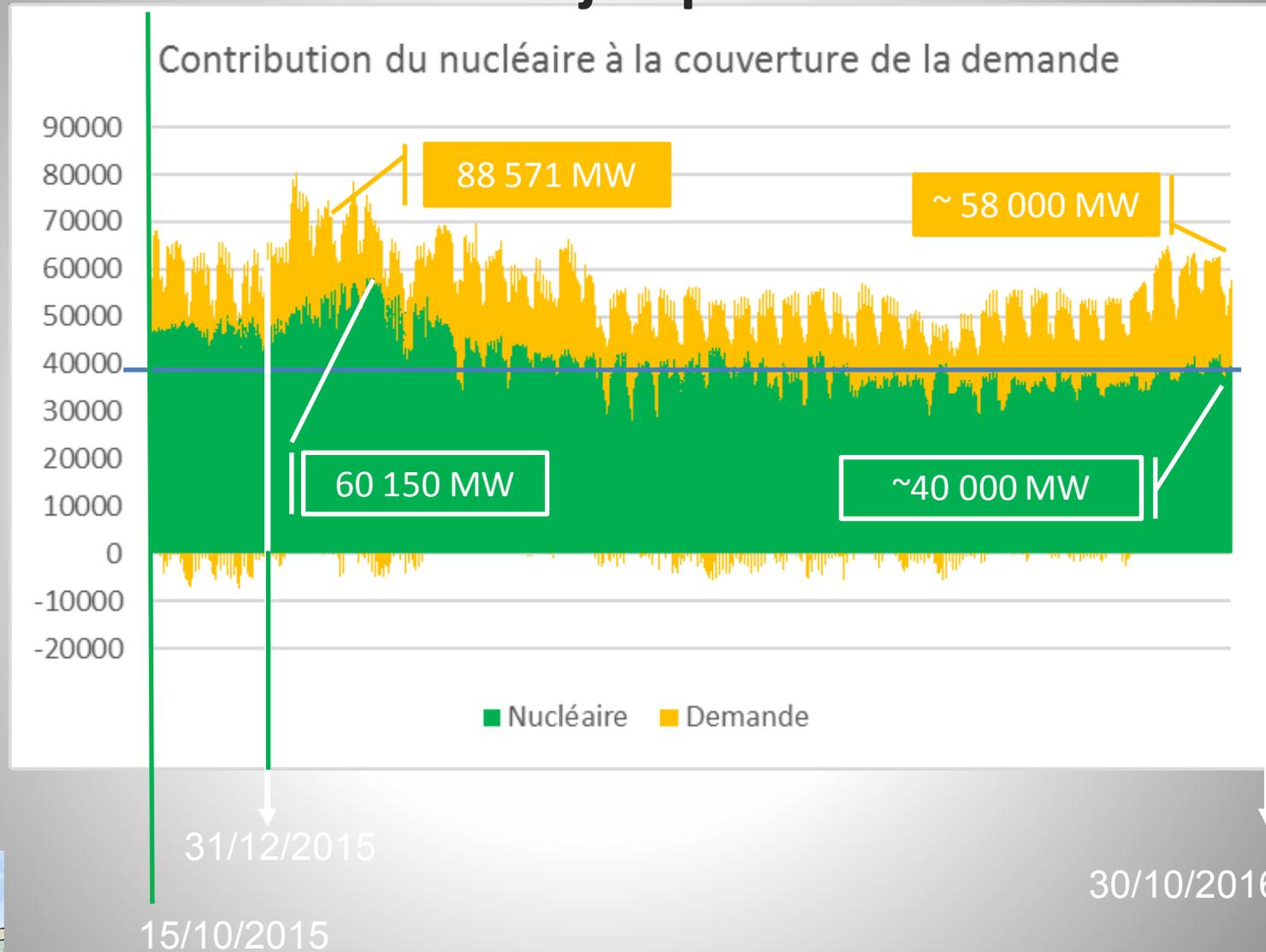


Situation en juin 2016

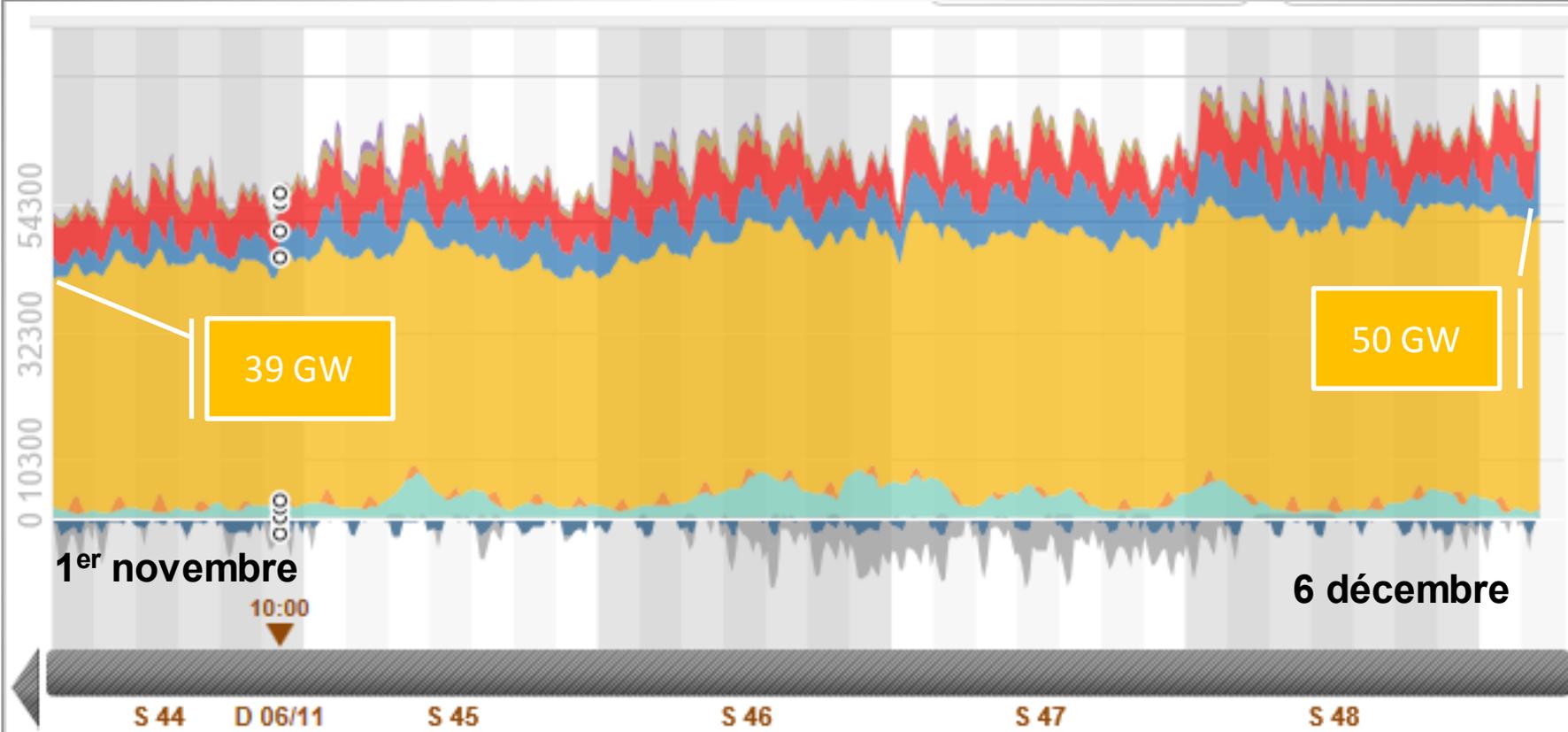
- Pas de bornage du début de l'existence de cette situation
- Aucun dossier barré trouvé depuis la réorganisation de juillet 2012 (confirmé par examen des dossiers)
- Identification de tous les dossiers barrés en cours: 9250 dossiers examinés (Creusot + Archives)
 - 428 dossiers « barrés » dont 269 pour des pièces nucléaires
 - 228 dossiers concernant pièces sur installations nucléaires en fonctionnement ou en construction
 - Reste à examiner: dossiers pièces de fonderie avant 2003 (Industeel)
 - Echantillonnage sur dossiers « non barrés »
- Tous les dossiers barrés ou non vont être repris



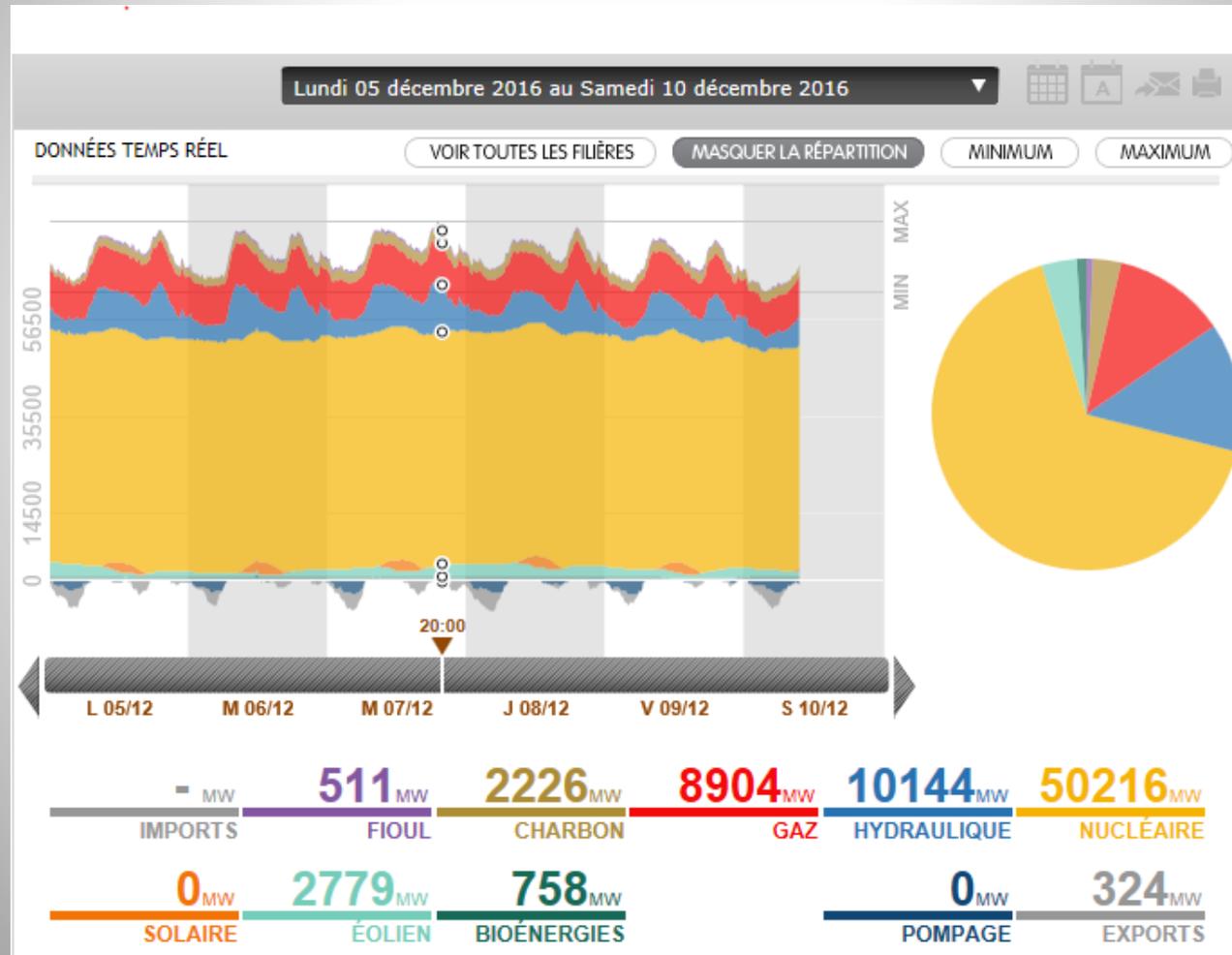
Production d'électricité jusqu'au 30 octobre 2016



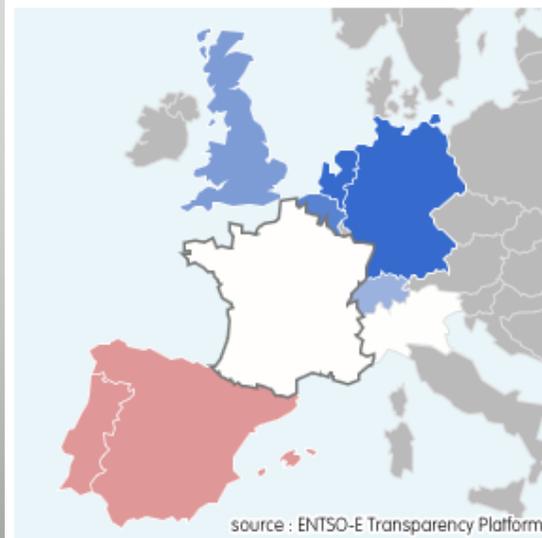
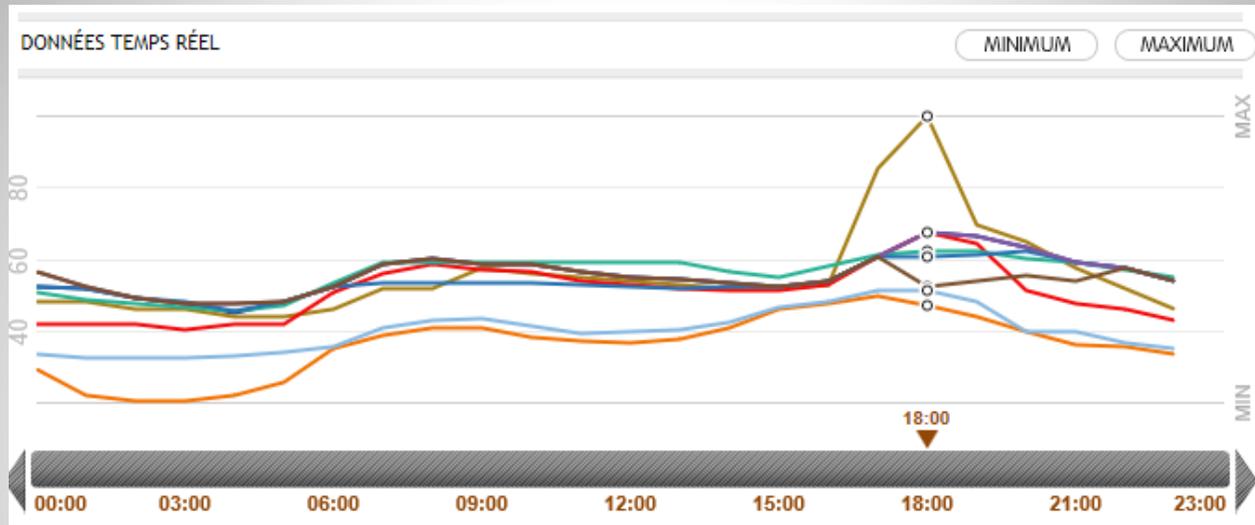
Production d'électricité en novembre et décembre 2016



Semaine du 5 au 10 décembre



Prix le 8 décembre 2016



Écart par rapport à la France €/MWh



50 €/MWh	44,71 €/MWh	37,3 €/MWh
FRANCE	ANGLETERRE	BELGIQUE
22,46 €/MWh	47,97 €/MWh	50 €/MWh
ALLEMAGNE	SUISSE	ITALIE DU NORD
54,69 €/MWh	54,69 €/MWh	27,55 €/MWh
ESPAGNE	PORTUGAL	PAYS-BAS



Offre Accès Régulé Energie Nucléaire Historique (ARENH)

- Offre premier semestre 2017
 - Le Gouvernement a maintenu le prix de 42 €/MWh
- Souscrit : 40,75 TWh
 - Max. annuel : 100 TWh
- Il n'y a pas eu de souscription les précédents semestres



Le message de l'Autorité de sûreté

La situation est devenue, en effet, très préoccupante. D'où la nécessité d'agir avec calme et rigueur. Une anomalie générique a été identifiée sur les générateurs de vapeur, entraînant une procédure de contrôle de grande ampleur.

Ce n'est pas une première: au début des années 1990, une corrosion de tous les couvercles des réacteurs en activité avait été identifiée. À l'époque, EDF avait pu gérer la situation en remplaçant peu à peu tous les couvercles.

En 2013, dans le cadre de la préparation du projet de loi sur la transition énergétique, j'avais averti de la nécessité de pouvoir se passer à intervalles réguliers de 5 à 10 réacteurs, car des problèmes génériques pouvaient être découverts. (...).

