

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Impact des anomalies sur la sûreté

Analyse du risque de rupture brutale et appréciation des marges



Crédit photo : ASN

24 février 2017

© IRSN

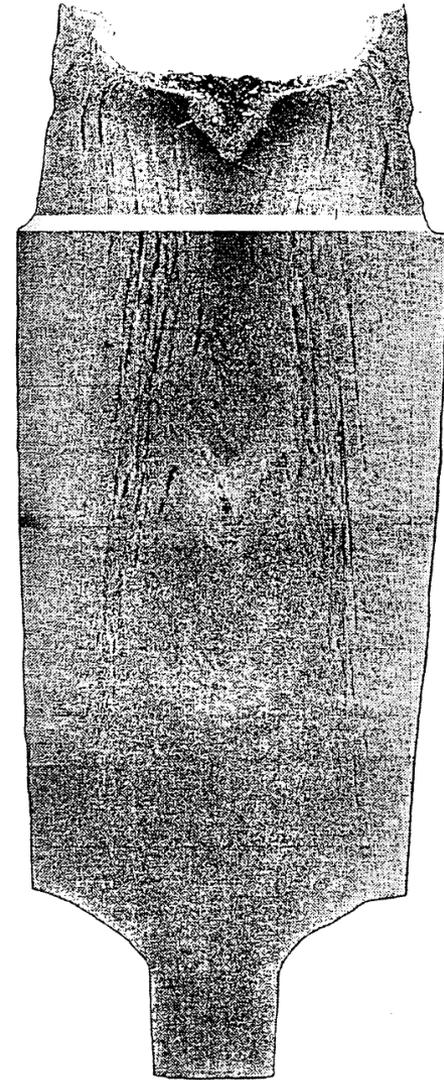
- Constat de départ
- Analyse du risque de rupture brutale
- Deux premiers avis IRSN (été 2016)
- Résultats EDF - été 2016
- Avis de l'IRSN - 30 novembre 2016

Qu'est-ce qu'implique la présence d'une ségrégation dans un composant forgé ?

Quels ont été la nature et l'objet de l'évaluation menée par l'IRSN ?

Le constat

- EDF : Recherche des composants avec un processus d'élaboration comparable aux calottes de FLA3
 - Pièces forgées à partir d'un lingot conventionnel
- Fonds primaires de GV forgés à partir de lingots conventionnels
 - Fonds forgés par AREVA Creusot Forge
 - Fonds forgés par JCFC
 - Lingots de 90 t / 120 t
- Mesures de carbone en surface fonds en service (demande ASN du 22.4.2016)
 - Premières mesures en juin
 - Confirmation présence de ségrégation de C



Conséquences

- Localement $[C] > 0,22 \%$ (RCC-M)
 - Influence sur les propriétés de résilience, ténacité, ductilité

Les données de comportement du matériau prises en compte à la conception sont mises en cause

Ténacité = $f(\text{température})$

- Conception : quelles études impactées ?
- Pourquoi est-ce remis en cause?
- Qu'est-ce qui a été pris en compte à la conception ?

Conséquences

- Reprendre les études de nocivité de défaut :

Analyses du risque de rupture brutale (mécanique)

- En tenant compte d'une RT_{NDT} caractéristique du comportement du matériau dans sa zone la plus ségréguée et non en zone de recette
 - Problème : elle n'a pas été caractérisée...
- Seule la zone ségréguée est à étudier
 - Caractériser son étendue est un préalable

Analyse du risque de rupture brutale ?

Objectif :

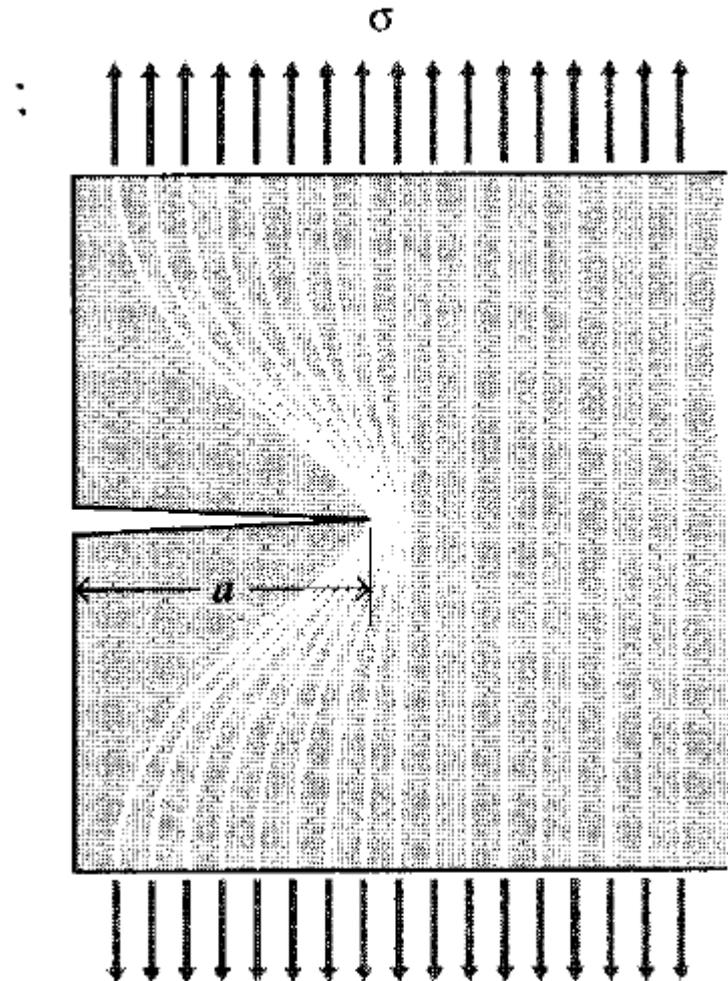
Montrer que le **matériau** constitutif du composant étudié est tel qu'un **défaut** qui n'aurait pas été **détecté** ne présente aucun risque de **s'amorcer** sous l'effet des **chargements** induits en service

Les données d'entrée

- **Matériau** : propriétés mécaniques, notamment ténacité = $f(T) \Rightarrow RT_{\text{NDT}}$
- **Défaut** : dimensions, position
- **Chargements** : température, pression, coefficients de sécurité

Démarche codifiée (RCC-M, annexe ZG)

Analyse du risque de rupture brutale ?



Analyse du risque de rupture brutale ?

Objectif :

Montrer que le matériau constitutif du composant étudié est tel qu'un défaut qui n'aurait pas été détecté ne présente aucun risque de s'amorcer sous l'effet des chargements induits en service

Les données d'entrée

Modifiées par la présence de ségrégation

▪ Matériau : propriétés mécaniques, notamment ténacité = $f(T) \Leftrightarrow RT_{NDT}$

▪ Défaut : dimensions, position

▪ Chargements : température, pression, coefficients de sécurité

Non Modifiés par la présence de ségrégation
Réévalués néanmoins (défense en profondeur)

Grandes lignes de la démarche EDF (juin 2016)

■ Réacteurs concernés

■ Étendue de la zone ségréguée

- Mesures superficielles de teneur en carbone

■ Comportement du matériau

- Hypothèses similaires au dossier calottes EPR FLA3

■ Absence de défauts

- Relecture des rapports de fin de fabrication (RFF)
- Nouveaux contrôles : technique TOFD

■ Reprendre les calculs, réévaluer les chargements

Premiers avis de l'IRSN - été 2016

■ Dossier d'EDF : réacteur n°2 Chinon B

- Analyse du risque de rupture brutale
- Contexte : épreuve hydraulique 3e visite décennale

■ Hypothèses

- Zone ségrégée localisée en face externe du fond
- Décalage RT_{NDT} de 35°C et 70°C
 - Identique dossier calottes EPR FLA3
- Défauts
 - 5 x 30 et 10 x 60
 - Zone courante du fond
- Chargement
 - Épreuve hydraulique

Premiers avis de l'IRSN - été 2016

■ Avis de l'IRSN du 29 juin 2016

- Facteurs de marge calculés
 - Supérieurs à 1 \Rightarrow Stabilité des défauts (postulés)
- \Rightarrow Absence de risque de rupture brutale lors de l'épreuve hydraulique
- Décalage de RT_{NDT} cohérent avec les hypothèses calottes EPR FLA3
 - Rappel : $[C] \leq 0,30 \%$ sur calottes EPR FLA3
 - À confirmer par les mesures à réaliser sur les fonds
- Taille de défaut inférieure à la taille de défaut conventionnel RCC-M
 - Acceptable moyennant des contrôles ad-hoc (TOFD)

Premiers avis de l'IRSN - été 2016

■ Dossier d'EDF : réacteur n°2 Chinon B

- Analyse du risque de rupture brutale
- Toutes situations d'exploitation
- Chargement ⇔ Transitoires TH ⇔ Situations ⇔ Catégories
- Défaut en paroi externe : analyse des « chocs » (thermique) chaud
- Nécessite d'étudier des situations additionnelles en plus de celles du DDS
 - État froid initial (< 100°C), puis réchauffement
 - État refroidi (choc froid), puis réchauffement
 - Sources chaudes : puissance résiduelle, arrivée de « bouchons » d'eau chaude, etc.

Premiers avis de l'IRSN - été 2016

■ Avis de l'IRSN du 11 août 2016

- Retenir d'autres sources chaudes : [réchauffement des épingles GV](#)
- Caractère enveloppe des transitoires étudiés par EDF, discutable en première approche
- Mesures compensatoires pour garantir l'exclusion des situations induisant des chargements dépassant les transitoires étudiées

■ [Mesures compensatoires](#) mises en œuvre par EDF

- Limiter les écarts de température entre GV et RRA
- Exclure redémarrage intempestif des pompes primaires

■ Démarche et conclusions généralisables à tous les fonds respectant les hypothèses EPR FLA3

Résultats des mesures EDF - été 2016

■ Ressuage, TOFD

- Confirme l'absence de défauts

■ Cartographies C (spectrométrie d'étincelage optique)

- Valident les hypothèses pour les fonds Creusot Forge
- Hypothèses **dépassées** sur les fonds JCFC + tubulures
- Ex : TRI1

■ Les différences

- **Taux de carbone au-delà des hypothèses calottes EPR FLA3**
- **Ségrégations au niveau tubulures**

NB : Prélèvements de copeaux [C] < [C] SEO

Analyse du risque de rupture brutale ?

Objectif :

Montrer que le matériau constitutif du composant étudié est tel qu'un défaut qui n'aurait pas été détecté ne présente aucun risque de s'amorcer sous l'effet des chargements induits en service

Les données d'entrée

Modifiées par la présence de ségrégation

▪ Matériau : propriétés mécaniques, notamment ténacité = $f(T) \Leftrightarrow RT_{NDT}$

▪ Défaut : dimensions, position

▪ Chargements : température, pression, coefficients de sécurité

Non Modifiés par la présence de ségrégation
Réévalués néanmoins (défense en profondeur)

Conséquences : nécessité d'un nouveau dossier

■ Matériau : [C] ~ 0,39 % ⇒ quelles propriétés ?

- EDF : extrapolation du décalage RT_{NDT}
- Demande ASN + IRSN : disposer de résultats d'essais

■ Extension de la ségrégation ?

- Pas de caractérisation possible en face interne (revêtement)
- Postulat : défauts en face interne (robustesse de l'étude)

■ Défauts

- Nouvelles zones à contrôler : tubulures

■ Chargements

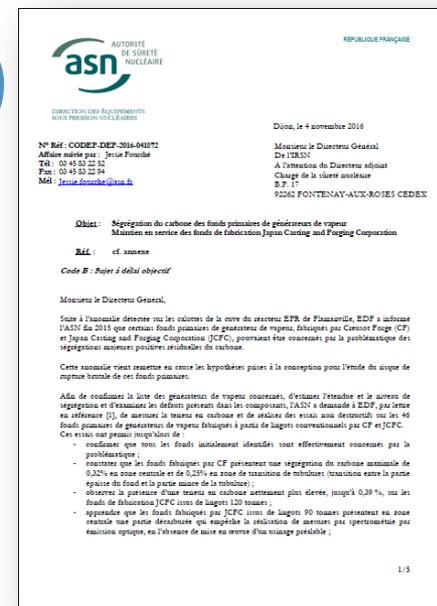
- Prise en compte des chocs froids

Saisine de l'IRSN (4.11.2016)

(1) Absence de défauts

■ Pertinence de l'ensemble des mesures prises par EDF pour s'assurer de l'absence de défauts

■ Adéquation entre les défauts postulés dans les calculs et les défauts détectables



Saisine de l'IRSN (4.11.2016)

(2) Comportement du matériau

■ Caractère approprié et conservatif du décalage de RTNDD établi par EDF en présence d'une ségrégation du carbone proche de 0,4 %

■ Caractère approprié et conservatif du décalage de RTNDD établi par EDF en face interne du bol

■ Pertinence de la courbe de l'annexe ZG du code RCC-M, dans le contexte d'un matériau fortement ségrégré pouvant présenter un décalage de RTNDD inhabituel (supérieur à 100 °C)

■ Hypothèses retenues dans l'analyse mécanique permettant d'évaluer les marges vis-à-vis de l'initiation d'un défaut



Saisine de l'IRSN (4.11.2016)

(3) Modélisation et calculs

Exhaustivité et pertinence de la caractérisation des transitoires de chocs froids sélectionnés par EDF

Efficacité des mesures compensatoires proposées par EDF en cas de chocs froids

Modélisation des fonds, conditions aux limites, chargements

Pertinence de la localisation des défauts et des sections de dépouillement

Résultats des calculs de mécanique



Avis de l'IRSN - 30 novembre 2016

Caractéristiques du matériau ségrégué

- Données d'extrapolation : décalage $RT_{NDT} = 11^{\circ}\text{C} / 0,01 \%$

	Calottes FLA3	Fonds JCFC
[C]	0,29 %	0,39 %
ΔRT_{NDT}	70°C	70 + 110 = 180°C

- Position IRSN : données insuffisantes pour valider l'hypothèse (conservatisme)

Essais complémentaires

- Échantillons prélevés dans la masselotte VB335-B
- Essais de résilience : estimation du décalage de RT_{NDT}
- Essais de ténacité + influence de l'effet de trempe

Avis de l'IRSN - 30 novembre 2016

Matériau : conclusion

- Données d'extrapolation validées car conservatives (11 °C / 0,01 %)
- Hypothèse décalage de RT_{NDT} de 180 °C en face externe : validée
- Hypothèse décalage de RT_{NDT} de 70 °C en face interne : validée
 - [C] estimée à 0,26 % (positionnement de la pièce / lingot)
- Approche annexe ZG : applicable pour de tels décalages

Conclusions confortées par une analyse externe (BelV)

Avis de l'IRSN - 30 novembre 2016

■ Défauts / contrôles

- Contrôles fabrication + contrôles complémentaires adaptés
 - Confirment l'absence de défauts
- Défauts postulés dans les analyse de mécanique : enveloppes des plus grands défauts non détectables

■ Chargements

- Situations de « chocs » froids étudiées et prises en compte
- Mesures compensatoires ou préventives pour exclure des transitoires au-delà de ceux étudiés
- Recommandations de l'IRSN
 - Affiner l'estimation des coefficients d'échange fluide-paroi
 - Dispositions pour éviter le redémarrage intempestif GMPP
 - Mesure supplémentaire / cyclage GV

Analyse du risque de rupture brutale ?

Objectif :

Montrer que le matériau constitutif du composant étudié est tel qu'un défaut qui n'aurait pas été détecté ne présente aucun risque de s'amorcer sous l'effet des chargements induits en service

Les données d'entrée

Modifiées par la présence de ségrégation

▪ Matériau : propriétés mécaniques, notamment ténacité = $f(T) \Leftrightarrow RT_{NDT}$

▪ Défaut : dimensions, position

▪ Chargements : température, pression, coefficients de sécurité

Non Modifiés par la présence de ségrégation
Réévalués néanmoins (défense en profondeur)

Avis de l'IRSN - 30 novembre 2016

Conclusion

- Hypothèses présentées pour analyse du risque de rupture brutale
 - Propriétés du matériau
 - Défauts postulés
- Méthode de traitement, critères inchangés
 - ⇒ **Acceptables**
- Compléments d'analyse demandés pour valider les chargements pris en compte
 - + Mesures compensatoires

Dossiers validés : les analyses transmises au 30/11

- Tous réacteurs 900 MWe sauf : FES1, BUG4, TRI4

Programme sacrificiel nécessaire pour affiner les hypothèses



ACTUALITÉS 07/02/2017 Aktia n° 25 est paru 08/02/2017 #Recherche reçue e https://t.co/... 08/02/2017 Un « Prix des posters électroniques » pour une équipe de l'IRSN 08/02/2017 Nouveaux les résu https://t.co/...	AVIS ET RAPPORTS AVIS AUX AUTORITÉS 01/02/2017 Avis de l'IRSN à l'ASN de janvier 2017 AVIS AUX AUTORITÉS
---	---

www.irsn.fr

Actualités
 Communiqués et dossiers de presse
 Agenda
 Fil d'infos
 Newsletter IRSN
 Contact Presse

Actualités et presse > Communiqués et dossiers de presse

Avis de l'IRSN sur la sûreté des réacteurs équipés de générateurs de vapeur dont les fonds présentent une teneur anormalement élevée en carbone

06/12/2016

Mise à jour du 6 décembre 2016

Le 6 décembre 2016, le Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire (HCTISN) a tenu une réunion plénière au cours de laquelle a été évoquée l'anomalie de fabrication des générateurs de vapeur du parc EDF.

À cette occasion, l'IRSN est revenu sur les expertises réalisées et toujours en cours. L'Institut a notamment présenté une étude de risque de rupture des générateurs de vapeur et son avis sur le traitement de l'anomalie.

» Télécharger la **présentation de l'IRSN du 6 décembre au HCTISN - Anomalies de fabrication de générateurs de vapeur du parc EDF** (PDF, 485 Ko)

Vous pouvez également voir la vidéo de la conférence de presse ASN/IRSN du 5 décembre 2016 à l'adresse suivante :

» Voir la vidéo de la conférence de presse ASN/IRSN du 5 décembre 2016

L'IRSN a remis à l'ASN, le 30 novembre 2016, son avis sur les risques de rupture des générateurs de vapeur (GV) présentant une teneur anormalement élevée en carbone dans l'acier constitutif de leur fond.

Les teneurs en carbone mesurées sur ces fonds sont voisines localement de 0,4 %, à comparer à la valeur maximale attendue de 0,22 %. Cette anomalie a nécessité le réexamen des risques de rupture des GV concernés dans la mesure où les propriétés mécaniques de l'acier sont modifiées.

L'avis concerne les GV des réacteurs de 900 MWe dont les fonds ont été produits par la société Japan Casting and Forging Corporation (JCFC).

L'évaluation des risques de rupture des GV consiste à examiner les risques d'initiation d'une rupture à partir d'un défaut connu ou postulé dans l'acier. Aussi, l'IRSN a particulièrement évalué la taille des défauts postulés par EDF, les chargements sollicitant les défauts, c'est-à-dire les chocs thermiques pouvant affecter les GV dans toutes les conditions de fonctionnement des réacteurs, ainsi que les propriétés mécaniques de l'acier retenues, en tenant compte des premières données fournies par EDF pour de l'acier avec 0,4 % de carbone.

L'évaluation réalisée par l'IRSN a permis de conclure à l'absence de risque de rupture des

AVIS ET RAPPORTS

AVIS AUX AUTORITÉS
 01/02/2017
 Avis de l'IRSN à l'ASN de janvier 2017
 AVIS AUX AUTORITÉS
 16/01/2017
 Nouveaux avis de l'IRSN de décembre 2016
 Consulter tous les avis et rapports >

EN DIRECT SUR TWITTER

08/02/2017 - 15:05 @radioprotection
 #Recherche - Evaluation de la dose biologique reçue en cas de contamination radioactive https://t.co/GBAfuzSsmG https://t.co/YTirLVdHW

08/02/2017 - 15:00 @radioprotection
 Nouveau numéro du trimestriel d'information sur les résultats de la #Recherche à l'IRSN https://t.co/9XbwMBUeLB https://t.co/JPKKTXZHC

08/02/2017 - 12:35 @suretenucleaire
 #Recherche sur les accidents de fusion de coeur : la base de données NUCLEA s'enrichit https://t.co/7zW9xGJFMi https://t.co/FIMM7VtQ

S'abonner aux flux Twitter de l'IRSN >

BASE DE CONNAISSANCES

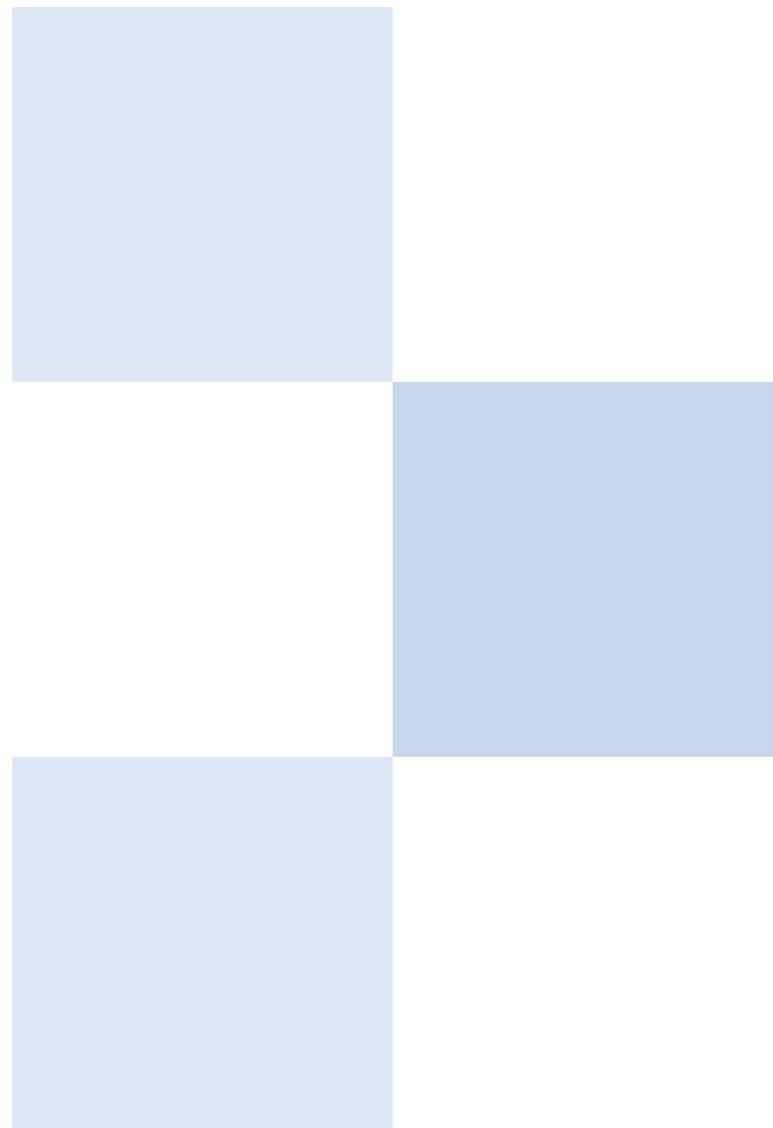
Installations nucléaires
 Sûreté des centrales nucléaires

Santé et Radioprotection
 Surveillance des travailleurs

Environnement
 Etats radiologiques régionaux

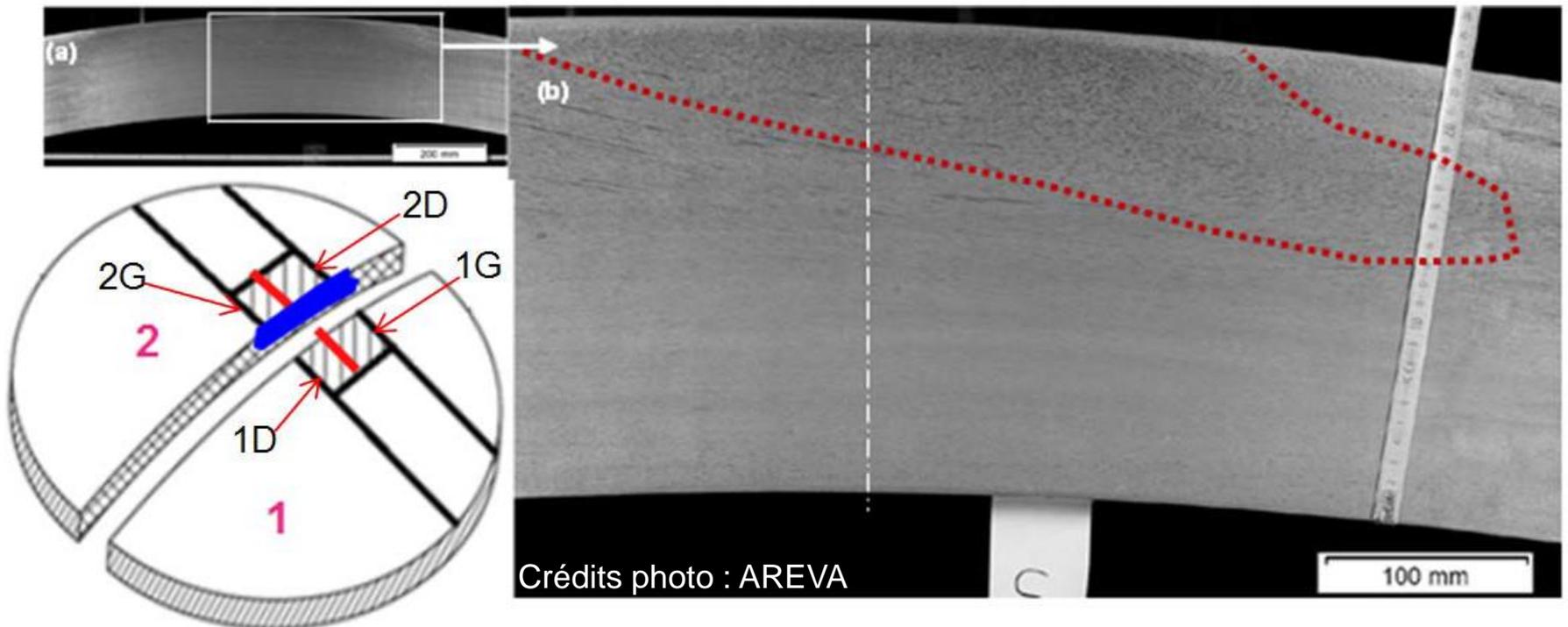
Consulter la base de connaissances >

Annexes



Qu'est-ce qu'une ségrégation ?

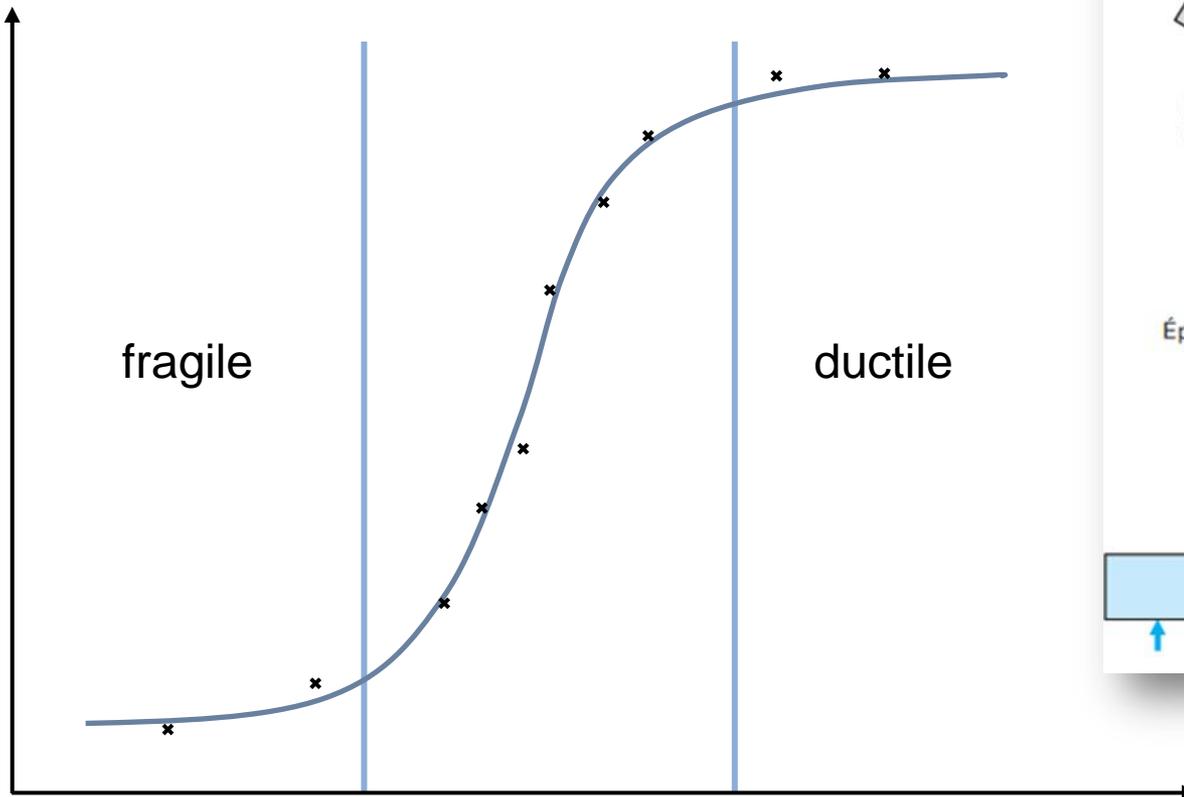
- Examen Macrographique par empreinte au soufre (Baumann) d'une ségrégation de carbone dans une calottes sacrificielle



Résistance à la rupture = résilience

Énergie de rupture

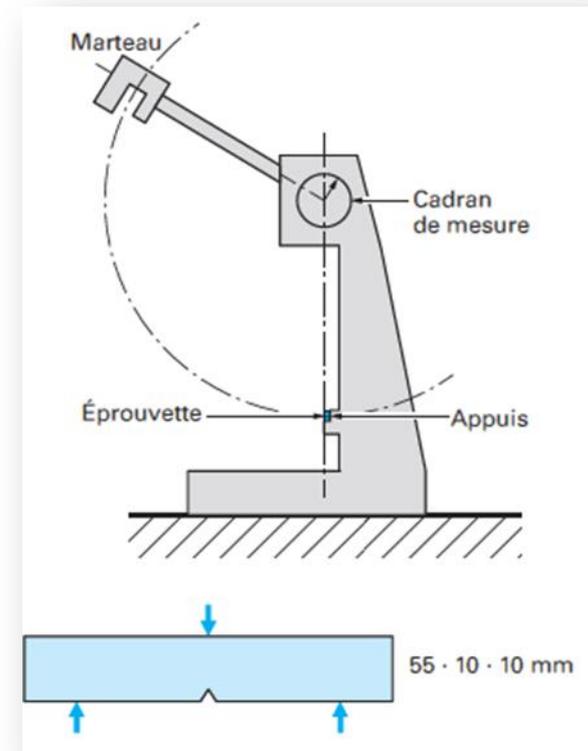
K_{cv} (J)



fragile

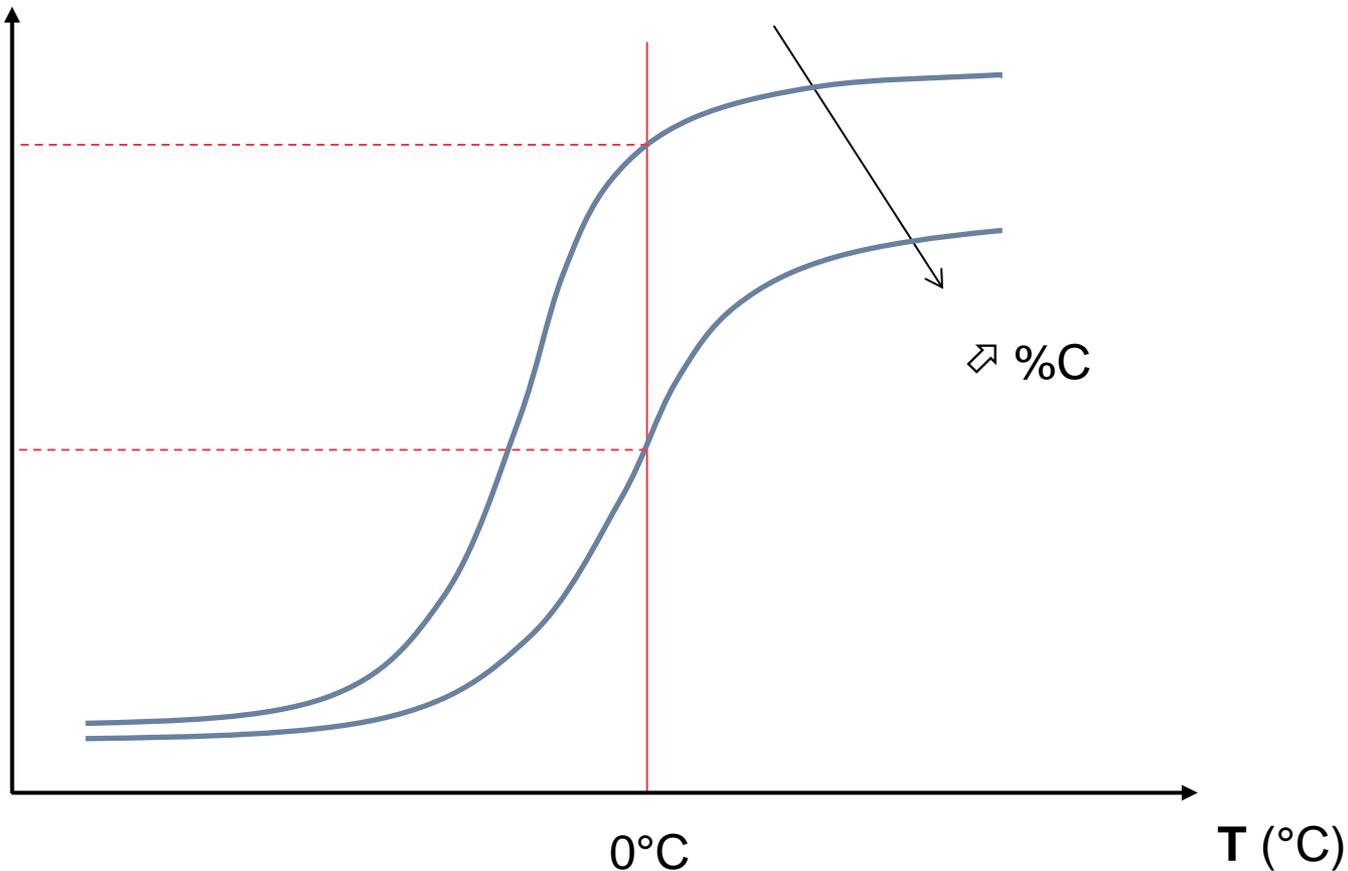
ductile

T (°C)



Influence du taux de carbone (% C)

Énergie de rupture
 K_{cv} (J)



Conception : quelles études impactées ?

■ Baisse de résilience

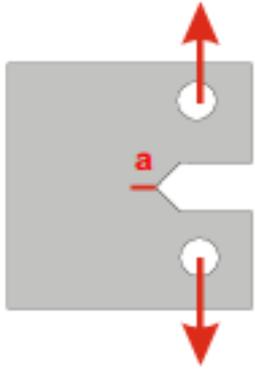
- ↗ ductilité
- ↗ tolérance à la présence de défauts
- Mais...
 - Résilience \neq propriété intrinsèque du matériau
 - Pas de vérification mécanique possible

■ Résilience = indicateur de la ductilité et de la tolérance aux défauts

■ Prévention du risque de rupture

- Ténacité
 - Capacité intrinsèque d'un matériau à résister à la propagation d'une fissure

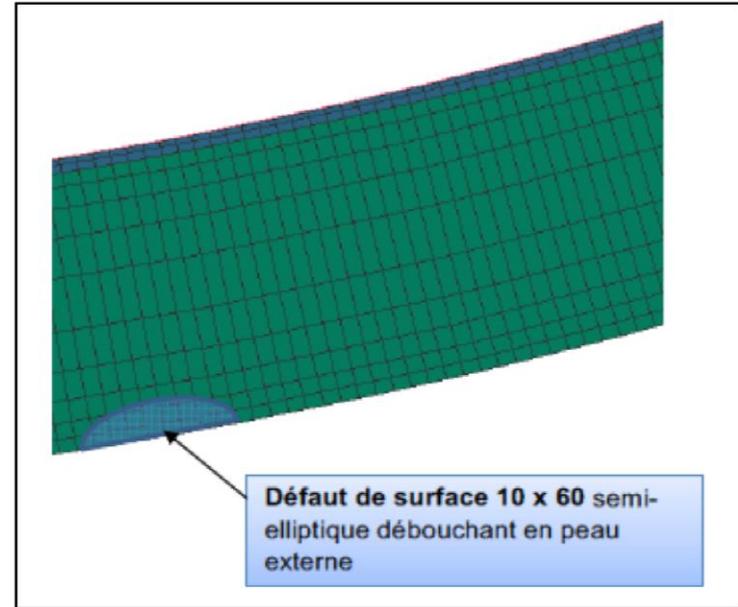
Conception : quelles études impactées ?



σ_c : rupture



$$K_{IC} = \sigma_c \sqrt{\pi a}$$

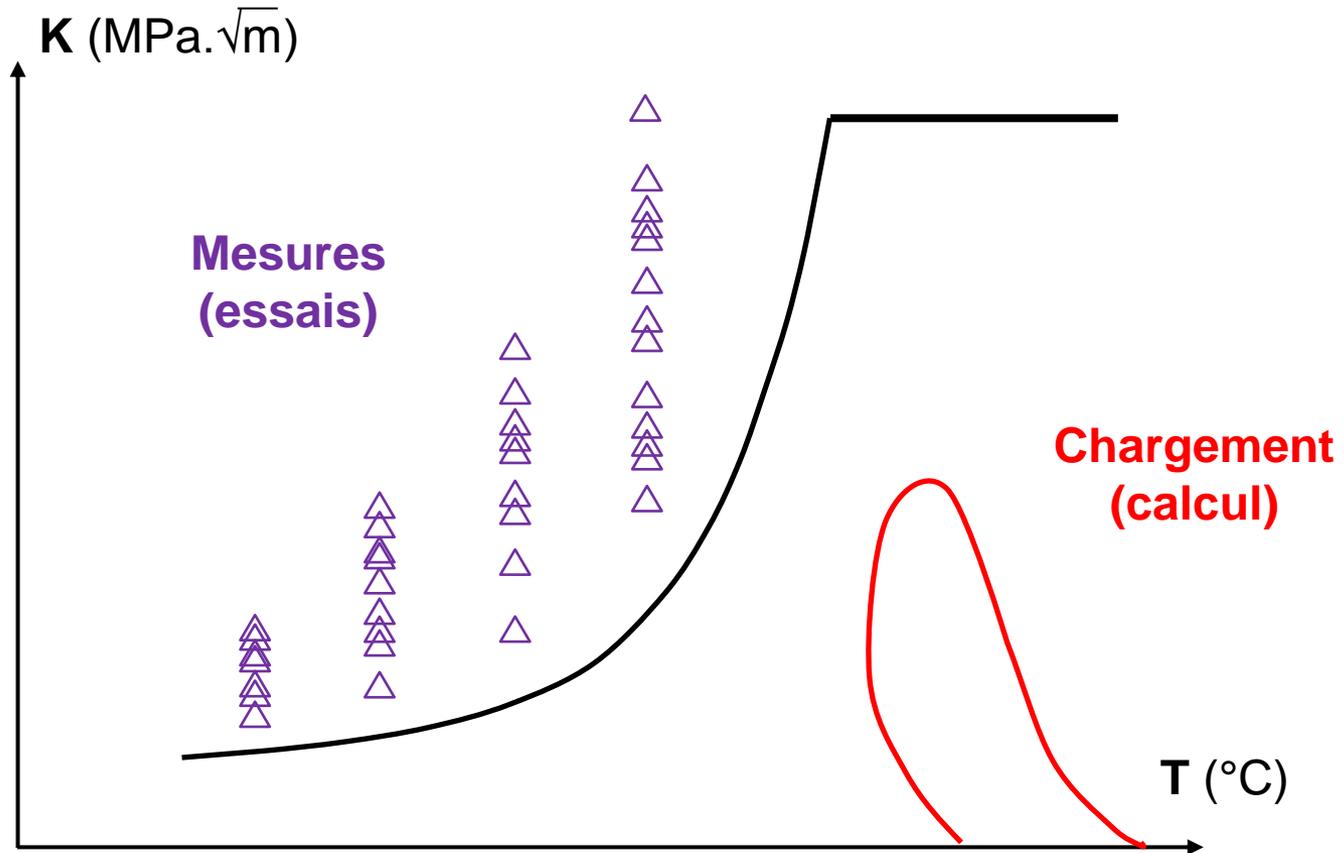


Mesure de la force nécessaire à la propagation de la fissure : ténacité

Calcul des contraintes induites par un défaut postulé dans une structure

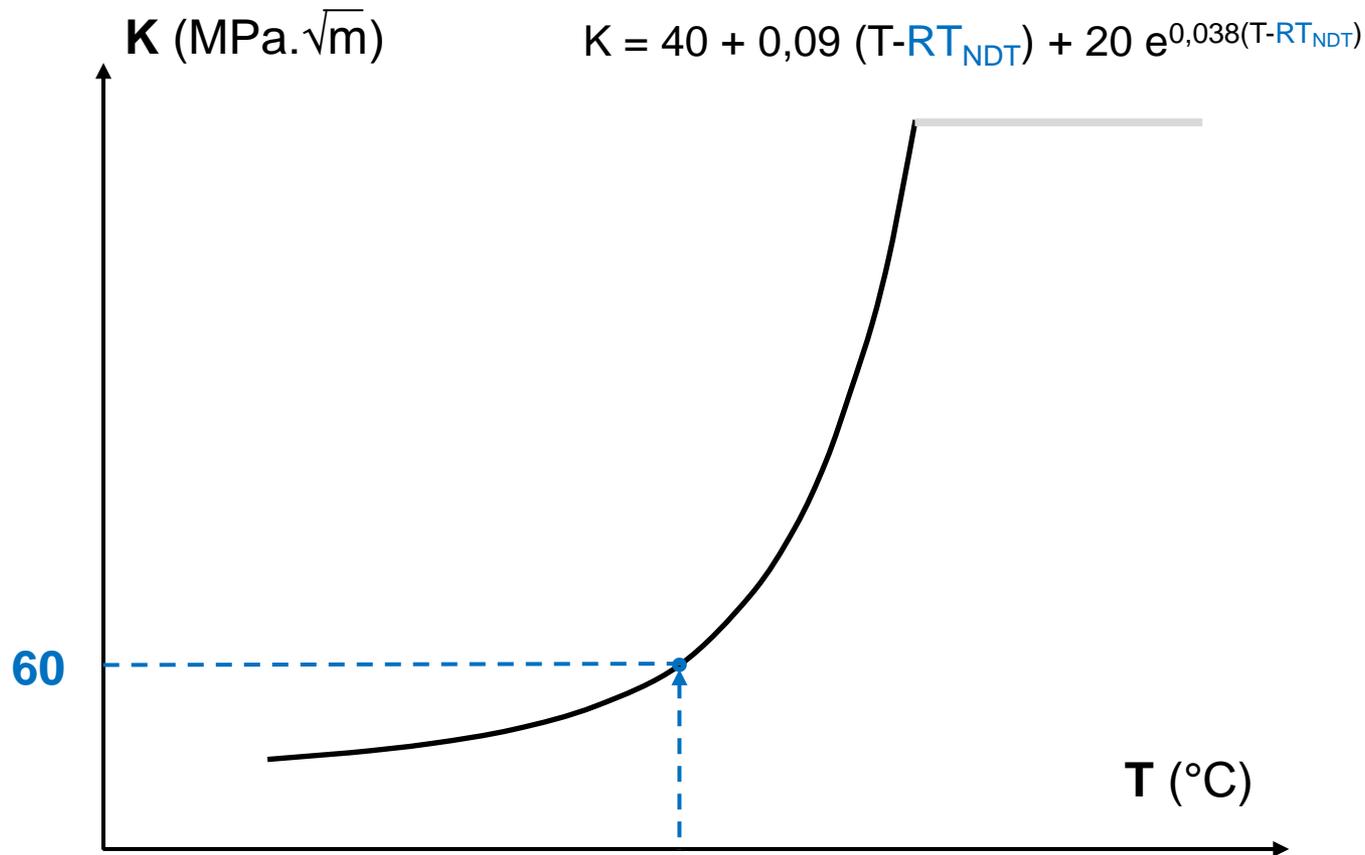


Conception : quelles études impactées ?



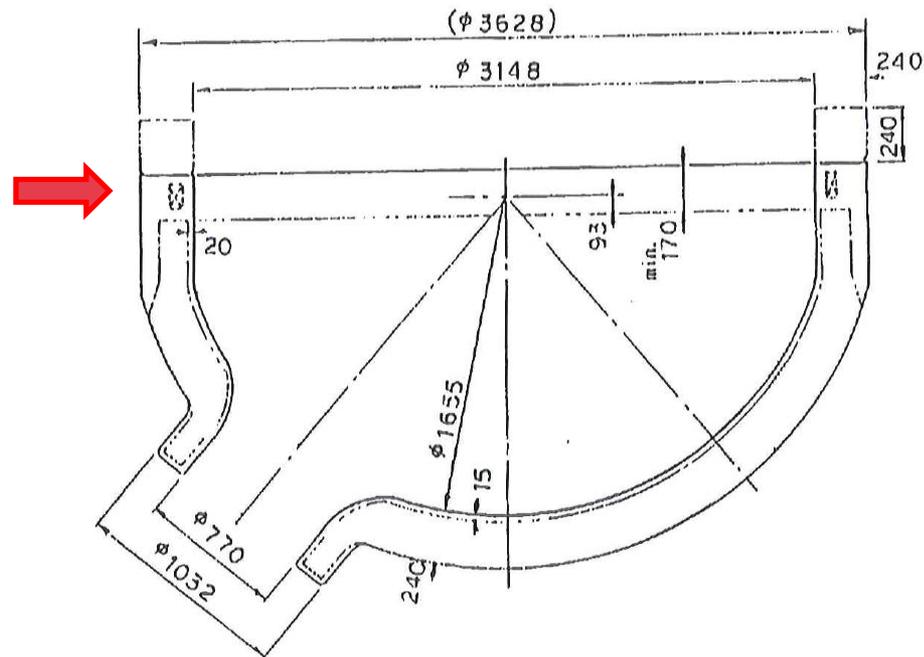
Qu'est-ce qui a été pris en compte à la conception ?

- Courbe de ténacité = $f(T)$ [RCC-M, annexe ZG 6110]



Qu'est-ce qui a été pris en compte à la conception ?

- RT_{NDT} déterminée sur des coupons prélevés en zones de recette



- Approche acceptable uniquement si le matériau est homogène dans tout la pièce (RCC-M)

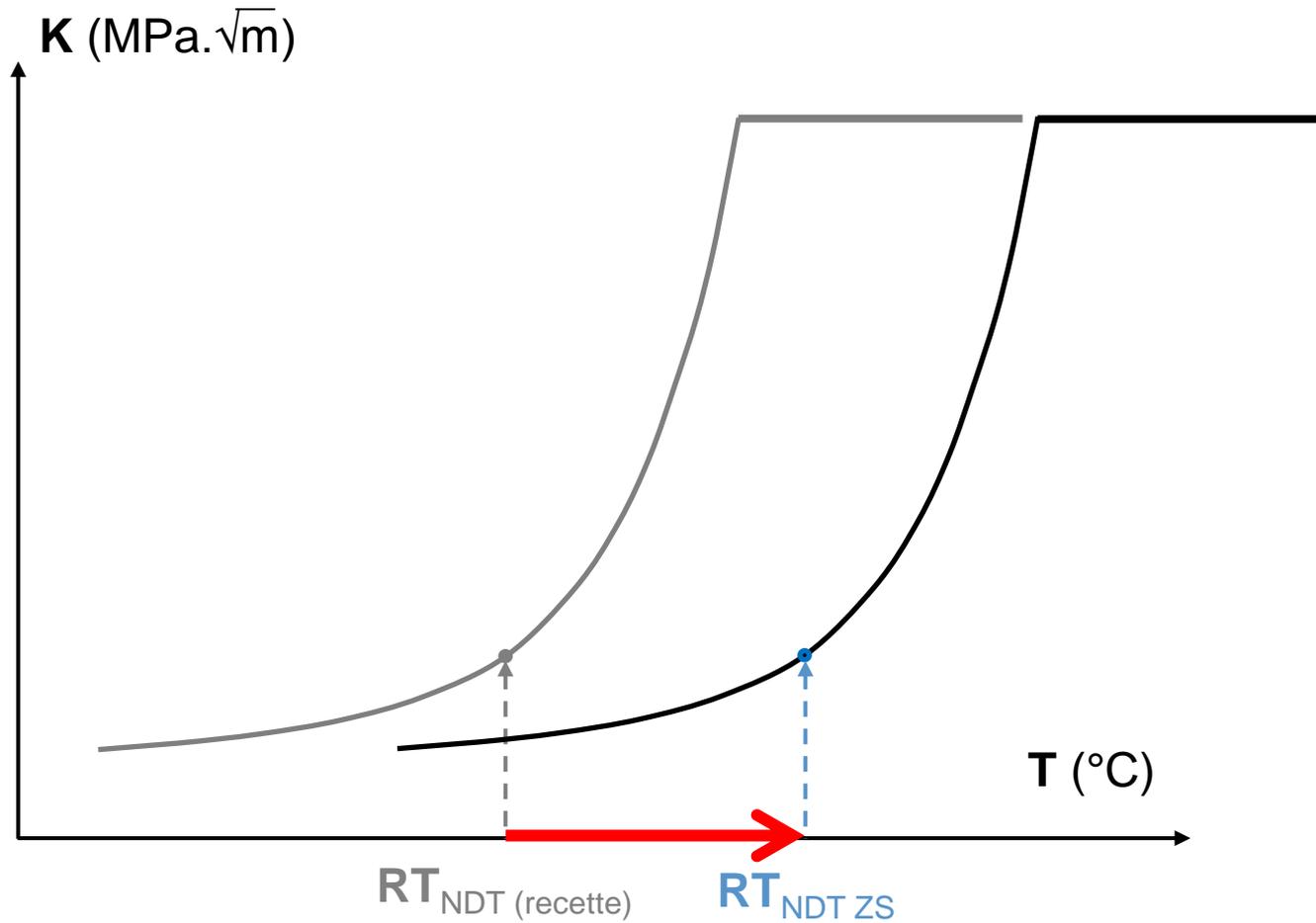


GV et réacteurs concernés

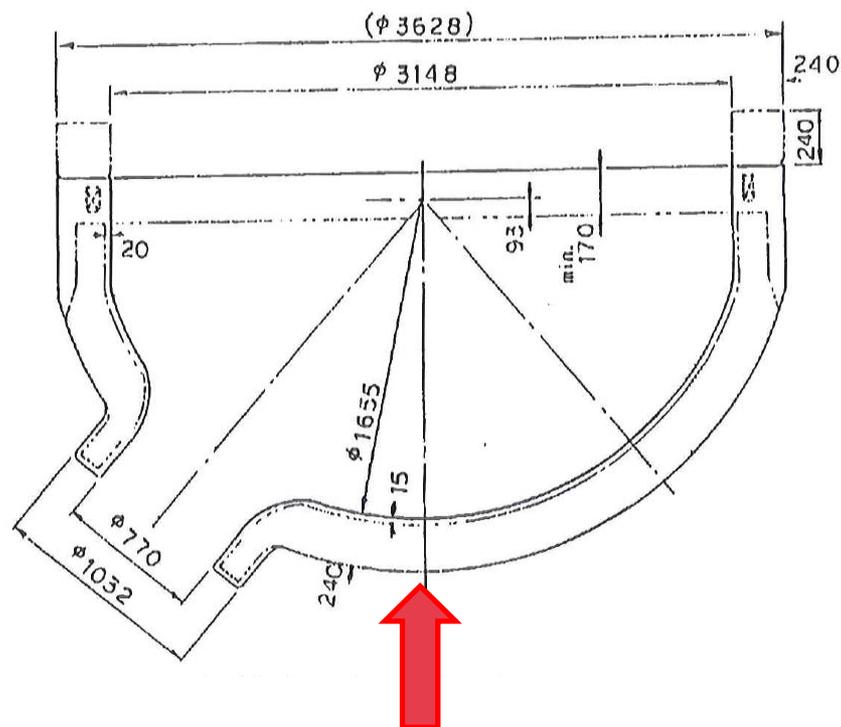
		Ségrégations fond primaire Nb GV concernés		
		ACF	JCFC 90T	JCFC 120T
900	Blayais 1	3		
	Bugey 4	1		2
	Chinon B1	3		
	Chinon B2	3		
	Dampierre 2	3		
	Dampierre 3		2	
	Dampierre 4	3		
	Fessenheim 1			3
	Gravelines 2			1
	Gravelines 4			3
	Saint Laurent B1		2	
	Saint Laurent B2	3		
	Tricastin 1			3
	Tricastin 2			2
	Tricastin 3	1		1
	Tricastin 4			3
N4	Civaux 1		2	
	Civaux 2		2	
		20	8	18
		Total GV		46
		8	4	8
		Total Réacteurs		18



Décalage de RT_{NDT}

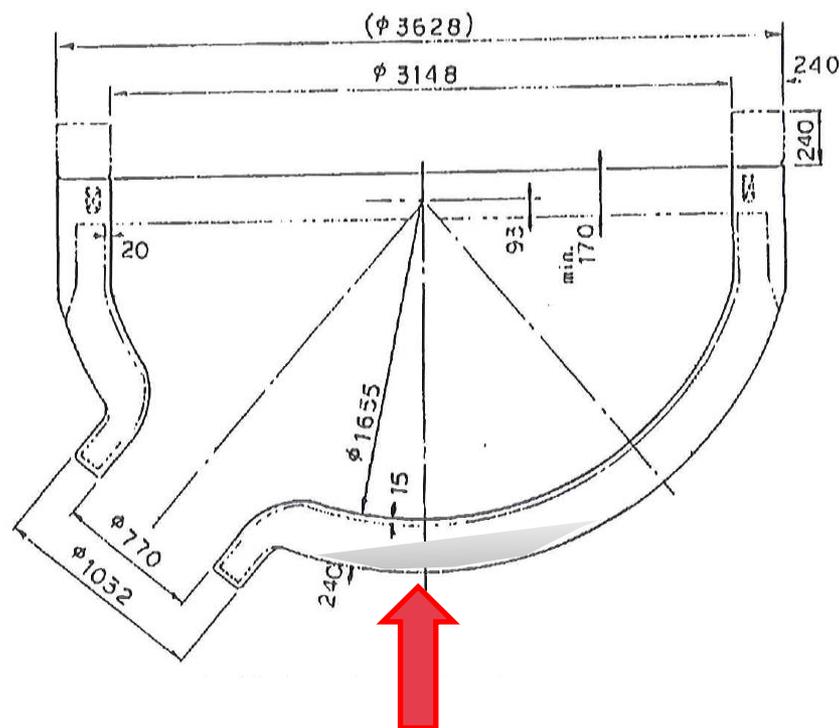


Position des défauts en zone courante



Chargements à considérer

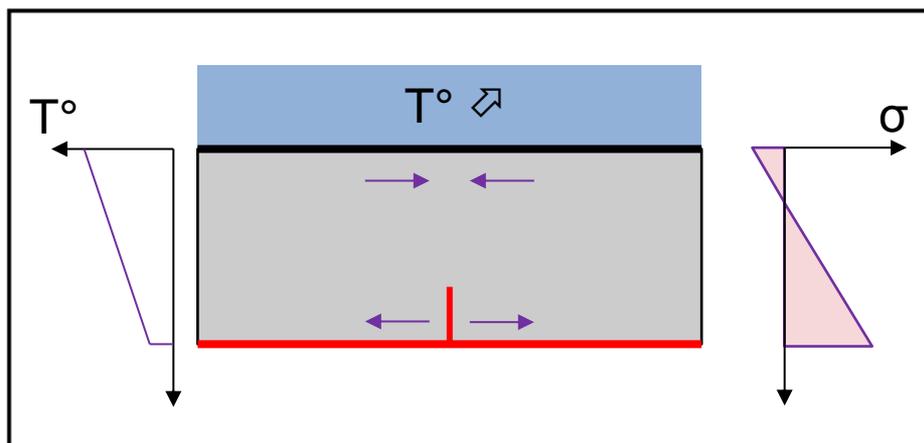
- Défaut postulé dans la zone ségrégée : i.e. en peau externe



Chargements à considérer

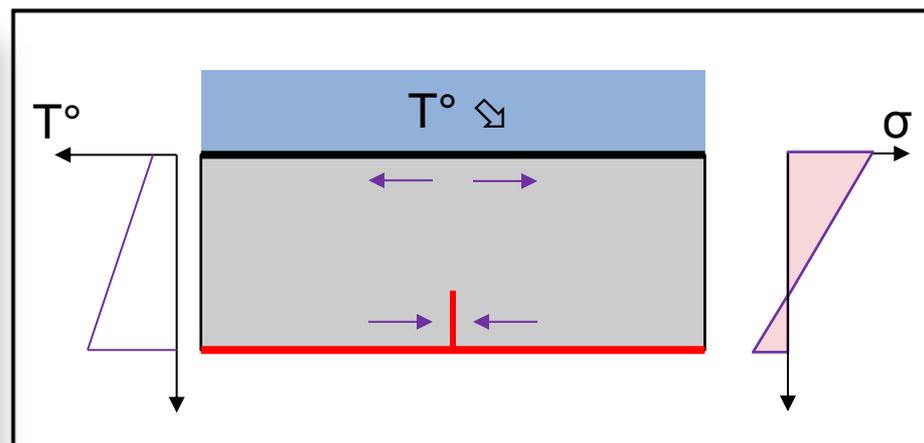
⇒ Défaut postulé en **peau externe**

Échauffement de l'eau



⇒ Ouverture du défaut

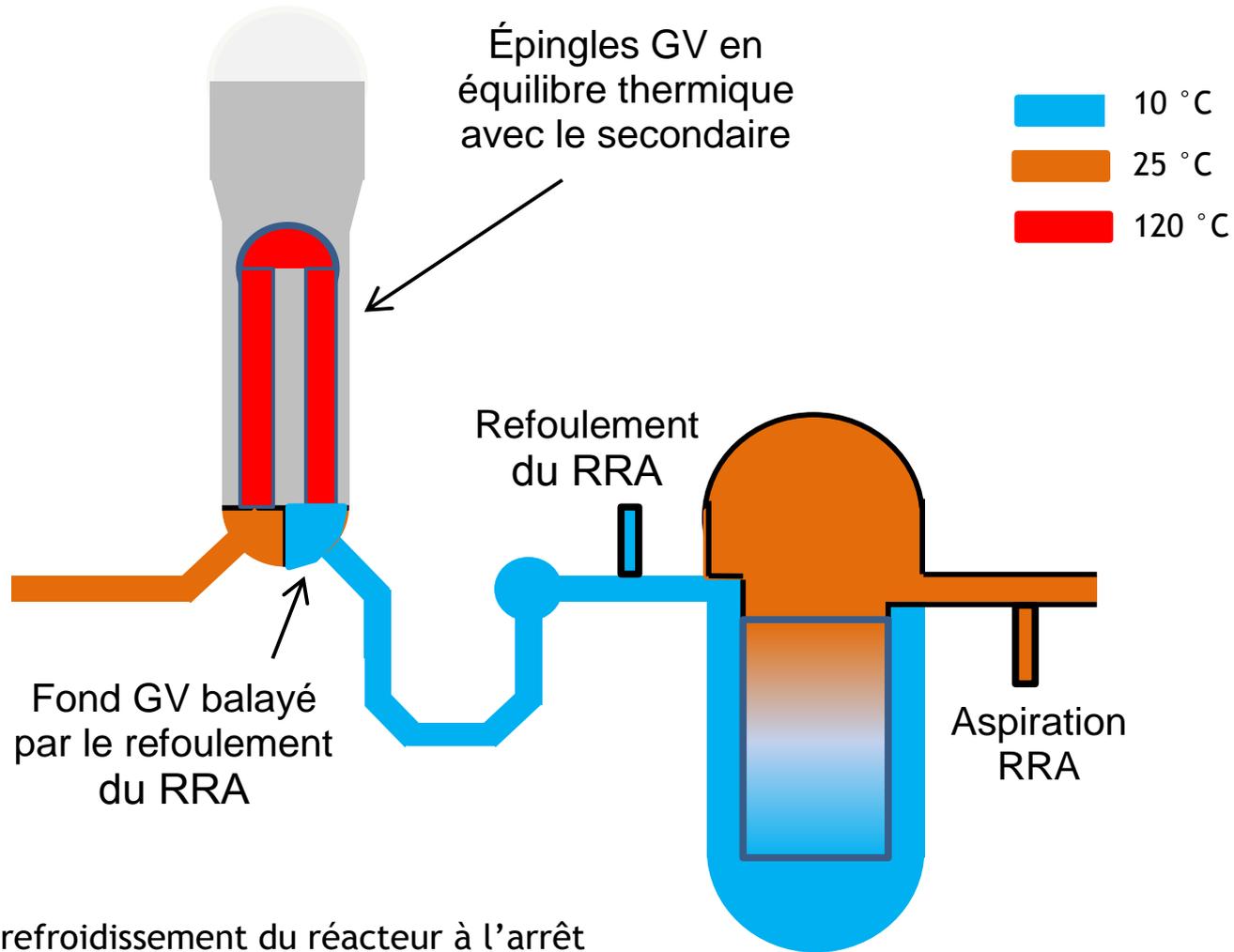
Refroidissement



⇒ Fermeture du défaut



Exemple de situation de choc chaud



RRA : circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt



Prescription 5.7.c

L'arrêt du dernier GMPP doit être réalisé dans les conditions suivantes :

- La température du primaire doit être supérieure à 35°C,
- L'écart de température entre les branches froides et la température de refoulement du RRA doit être inférieure ou égale à 10°C.

Suite à l'arrêt du dernier GMPP, la baisse de température ne sera entreprise qu'après avoir baissé la pression primaire à la valeur limite du domaine d'exploitation (4 bar relatifs).

Mesures compensatoires à garantir pour la mise à l'arrêt

Lors de la confirmation du noyage de la bulle au pressuriseur, s'assurer que conformément aux prescriptions déclinées dans les RCN AR1 (séquences 4 et 5), les vannes d'aspersion principales sont ouvertes afin d'homogénéiser les températures pressuriseur et primaire : $|T_{\text{phase liquide PZR}} - T_{\text{RIC}}| < 15^{\circ}\text{C}$.

En cas d'inefficacité de l'aspersion normale, utiliser l'aspersion auxiliaire si $T_{\text{phase liquide PZR}} - \min(T_{\text{RCV}}, 20^{\circ}\text{C}) < 20^{\circ}\text{C}$. Si ce critère n'est pas vérifié, remonter la température RCV (lue sur RCV 019 MT) au-dessus de 20°C et continuer à refroidir le PZR jusqu'à $T_{\text{phase liquide PZR}} < 40^{\circ}\text{C}$.

En fonctionnement normal, les pompes RCP 002 et 003 PO doivent être arrêtées à une température proche de 60°C (ou dès la phase de purification primaire terminée).

RCP 001 PO doit être la dernière à être arrêtée (voir également prescription 5.7.c des RCN) dans les conditions suivantes :

- La température au refoulement des pompes RRA doit être maintenue au dessus de 30°C, et ce tant que le circuit primaire est pressurisable,
- Les GV sont en équilibre thermique : l'écart entre les températures métal des GV (ou lignes vapeur) et la température refoulement RRA est inférieur à 30°C ($T_{\text{métal GV}} - T_{\text{aval RRA}} < 30^{\circ}\text{C}$).

Dès qu'un GMPP est arrêté, la cellule de son moteur doit être débroschée pour se prémunir d'une remise en service inappropriée.



Mesures compensatoires

Mesures compensatoires à garantir au redémarrage

L'application des mesures compensatoires ci-dessous garantissent la prévention des transitoires décrits dans les sections IV.2.1 à IV.2.3.

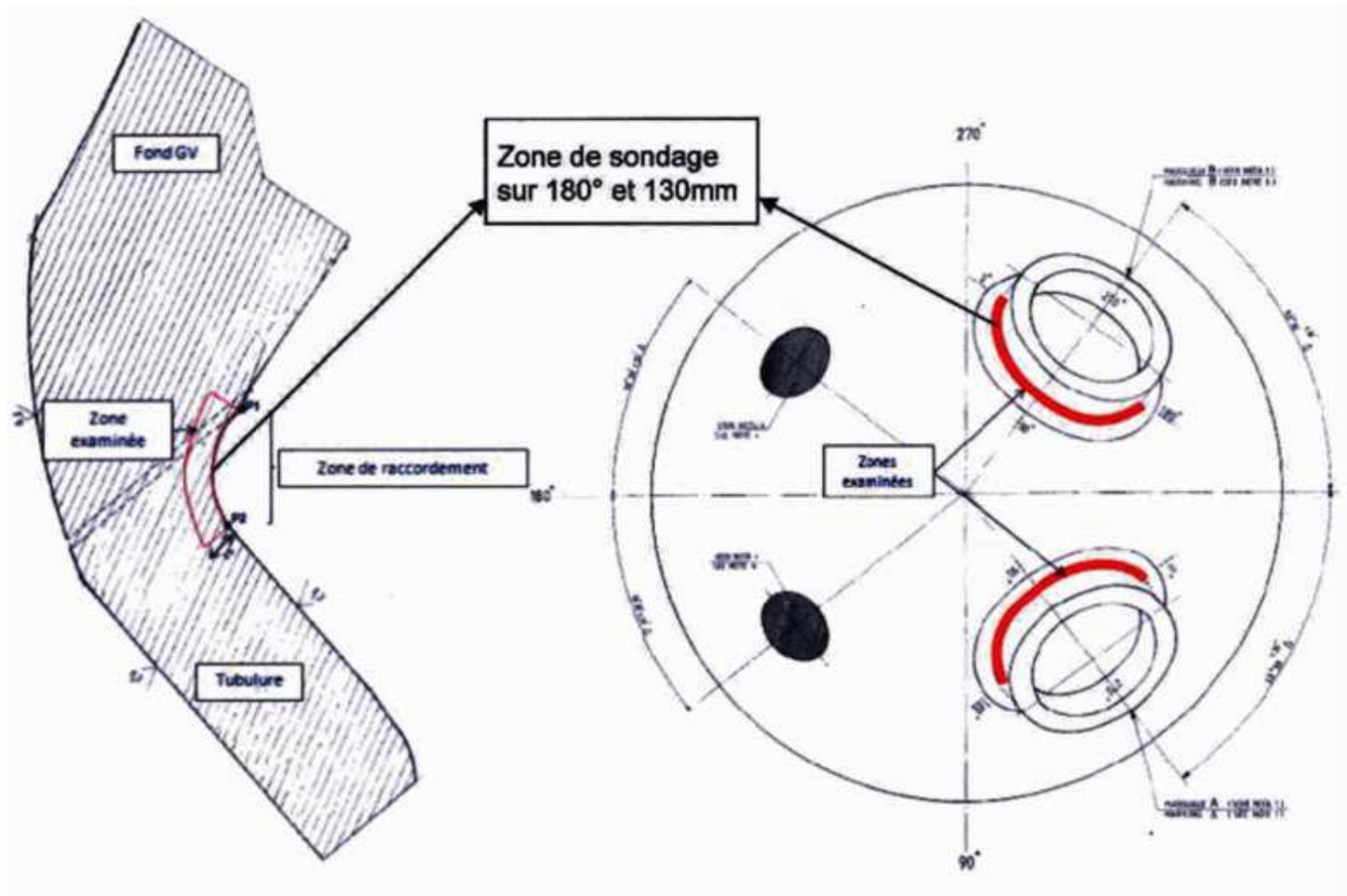
- **Avant démarrage du premier GMPP, RCP 001 PO, s'assurer que :**
 - T refoulement RRA > 30°C,
 - Écart de température amont/aval RF RRA < 30°C par réglage de RRA 012 VP,
 - GV en équilibre thermique : l'écart entre les températures métal des GV (ou lignes vapeur) et refoulement RRA est inférieur à 30°C ($T_{\text{métal GV}} - T_{\text{AVL RRA}} < 30^{\circ}\text{C}$).
- **Après démarrage du premier GMPP :**
 - Après démarrage de RCP 001 PO, chauffer le circuit primaire avec un gradient de température ne dépassant pas 14°C/h jusqu'à ce que la température branche froide soit supérieure à 60°C,
 - Mettre en service les autres GMPP lorsque la température primaire branche froide est supérieure à 60°C.



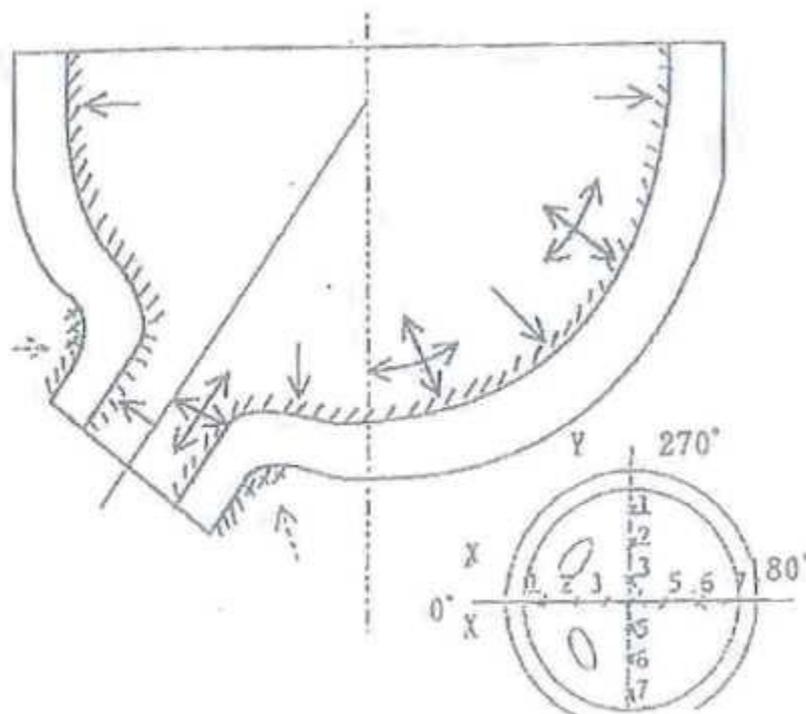
Contrôles sur site : Ressuage, TOFD



Contrôles complémentaires tubulaires



Rappel : contrôles fabrication



1. Examination areas

Entire Inner surface & Outer Surface
of Nozzle(/// Parts)

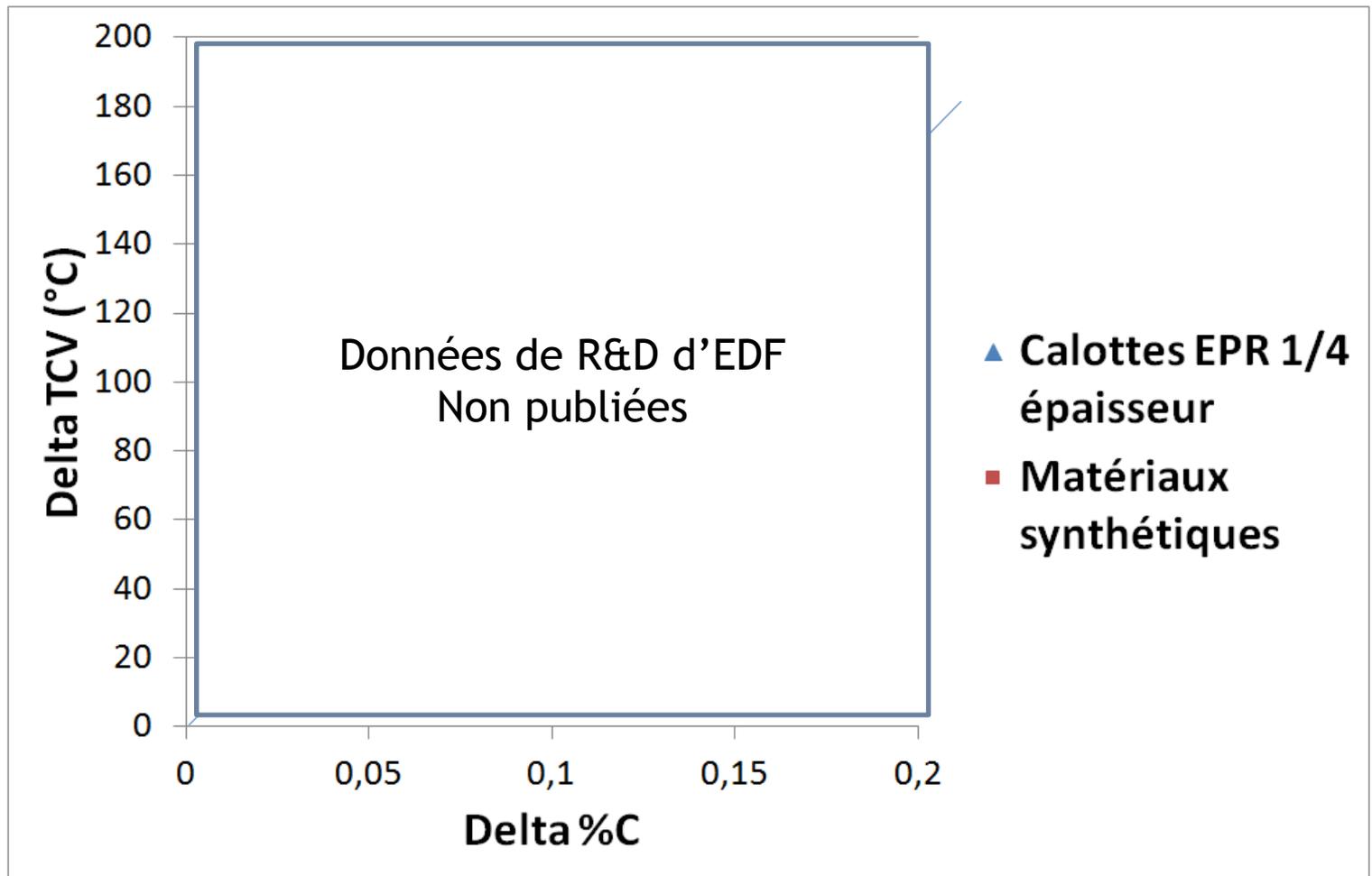
(xxx Parts : MWB45-2(E)) →

2. Beam Direction

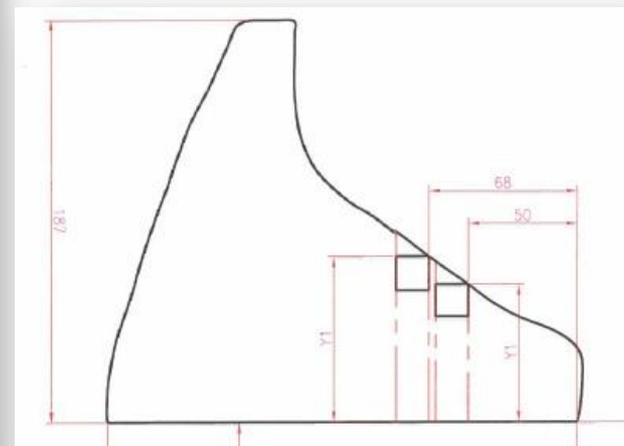
a) Straight Beam method : →

b) Angle Beam method : ↕

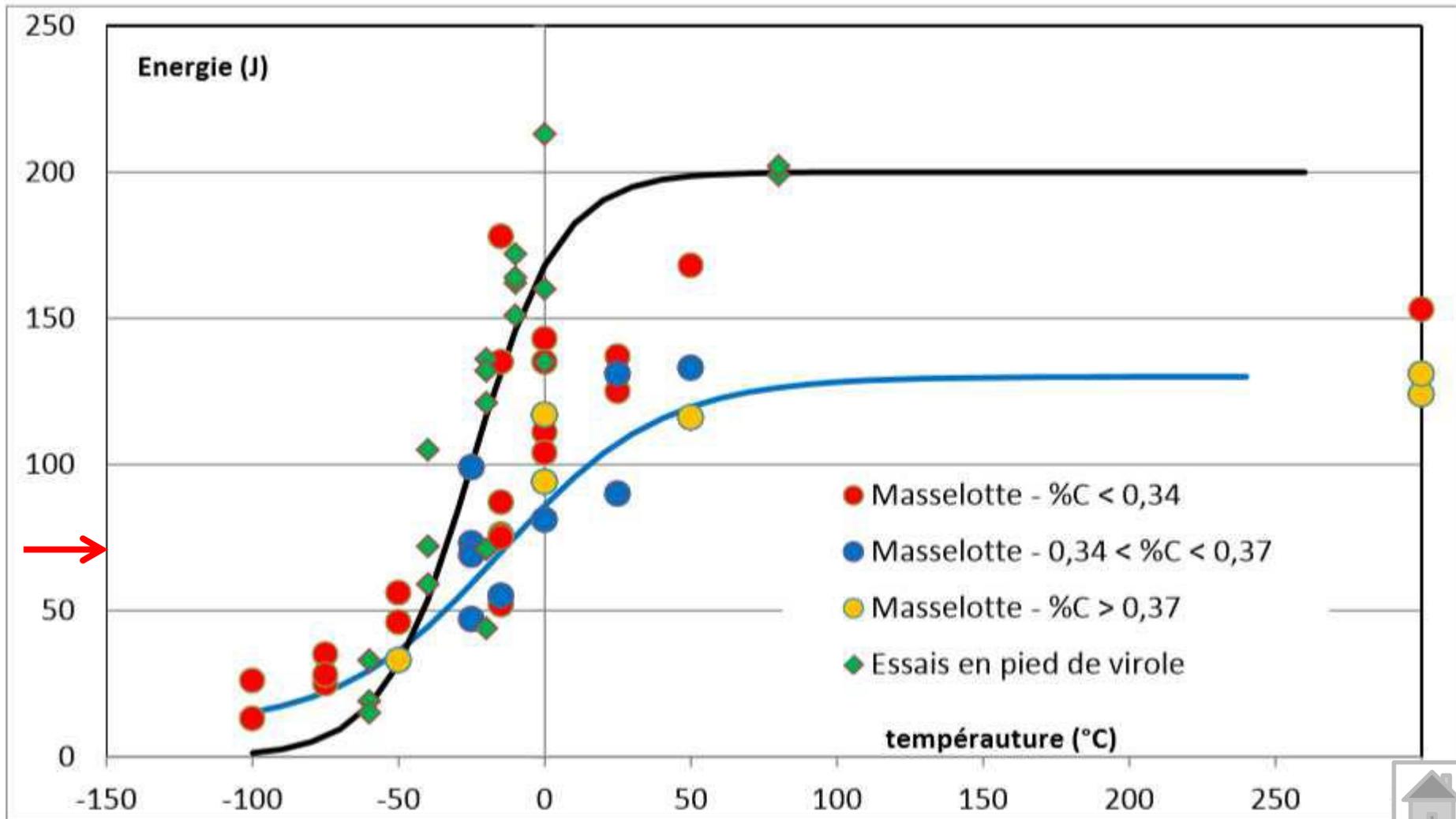
Données d'extrapolation



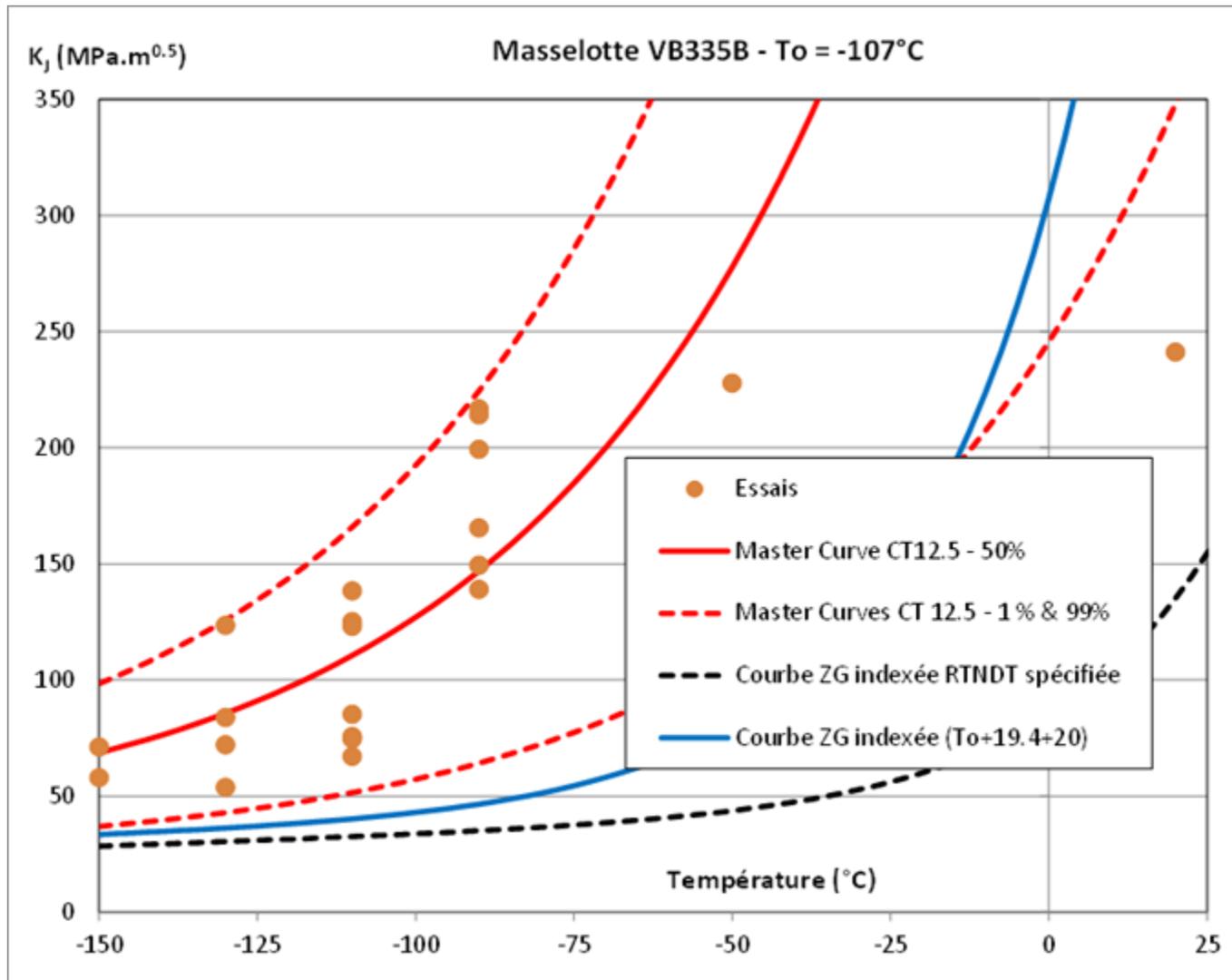
VB335-B - Masselotte



Résultats : essais de résilience



Résultats : essais de ténacité

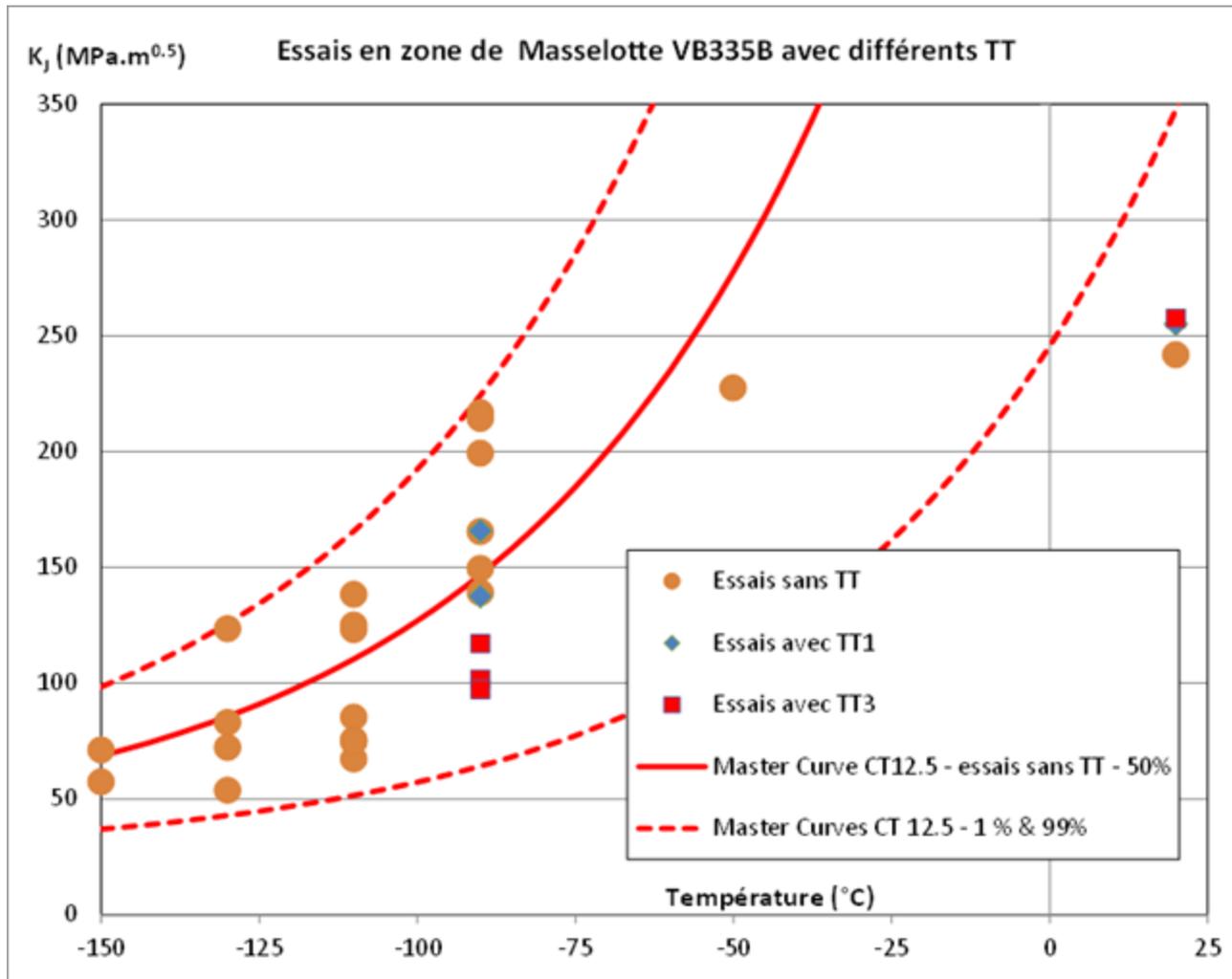


Influence de l'effet de trempe

Tableau 3 : Vitesse de trempe des échantillons de masselotte de la VB335-B ayant fait l'objet d'essais de ténacité

Essais de ténacité	1 ^{er} lot	2 ^e lot	3 ^e lot
Traitement thermique complémentaire	Sans	TT1	TT3
Nb essais	21	3	4
Vitesse de trempe	> 7000 °C/h (Peau)	3000 °C/h	2400 °C/h (~1/4 T)
Teneur en carbone	0,38 % à 0,46 % Moyenne = 0,42%	0,39% et 0,40 %	> 0,43 %

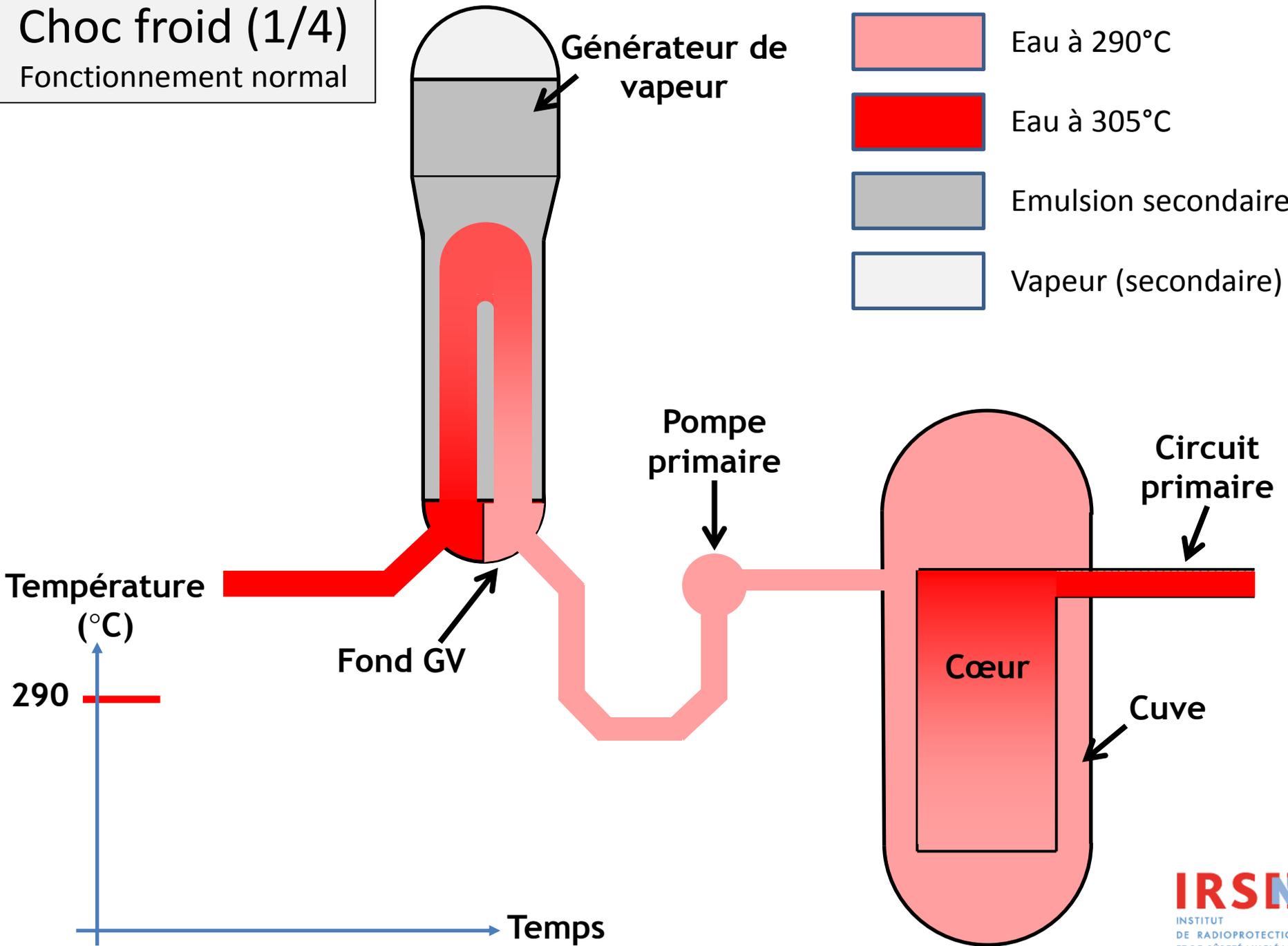
Influence de l'effet de trempe



Choc froid (1/4)

Fonctionnement normal

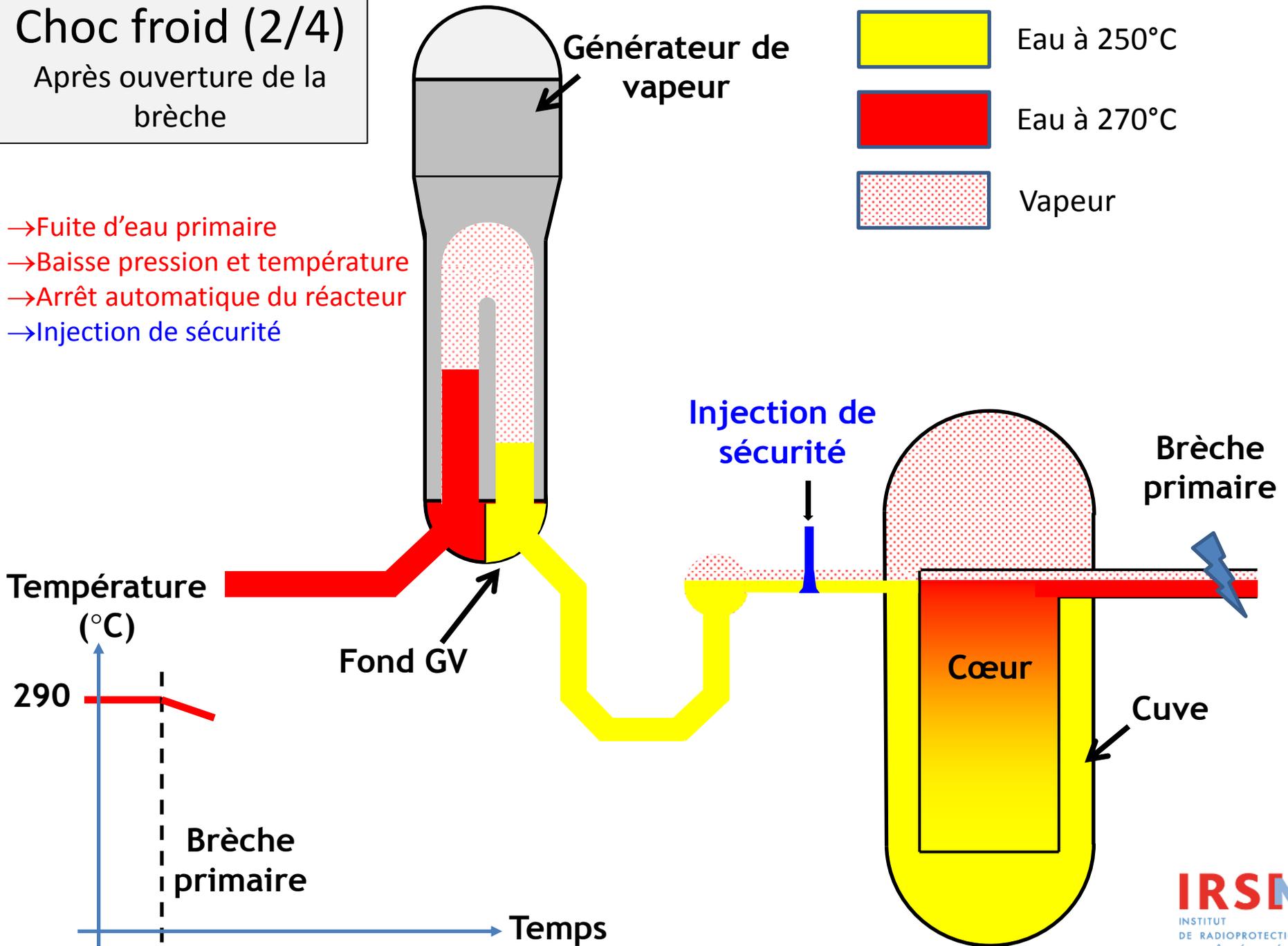
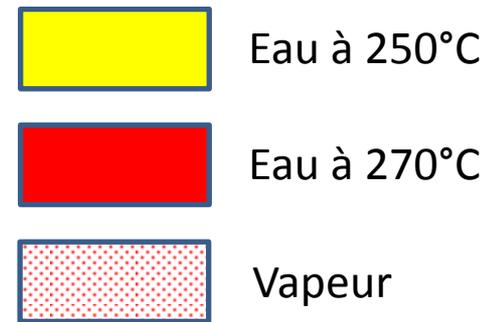
-  Eau à 290°C
-  Eau à 305°C
-  Emulsion secondaire
-  Vapeur (secondaire)



Choc froid (2/4)

Après ouverture de la brèche

- Fuite d'eau primaire
- Baisse pression et température
- Arrêt automatique du réacteur
- Injection de sécurité



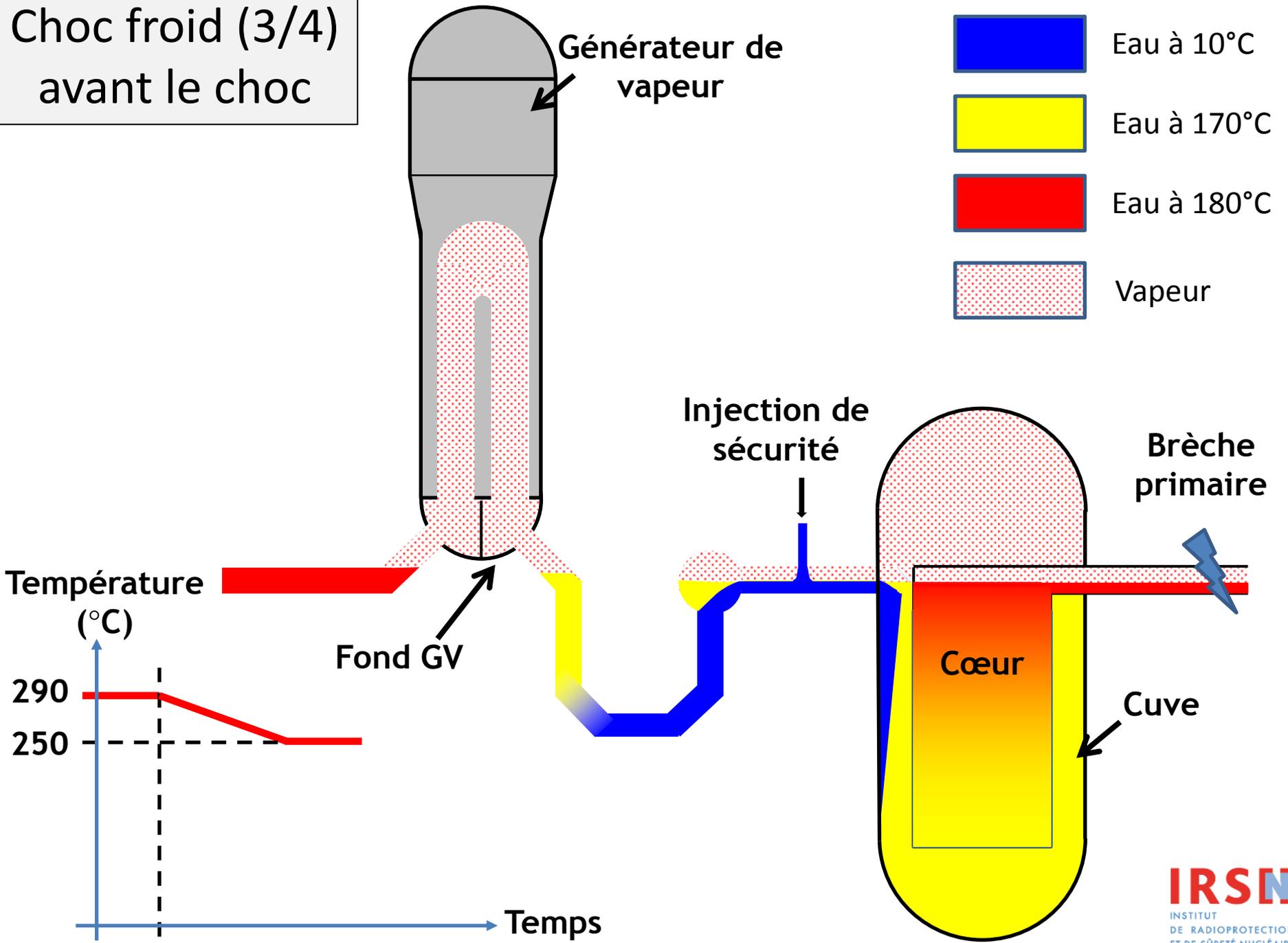
Température (°C)

290

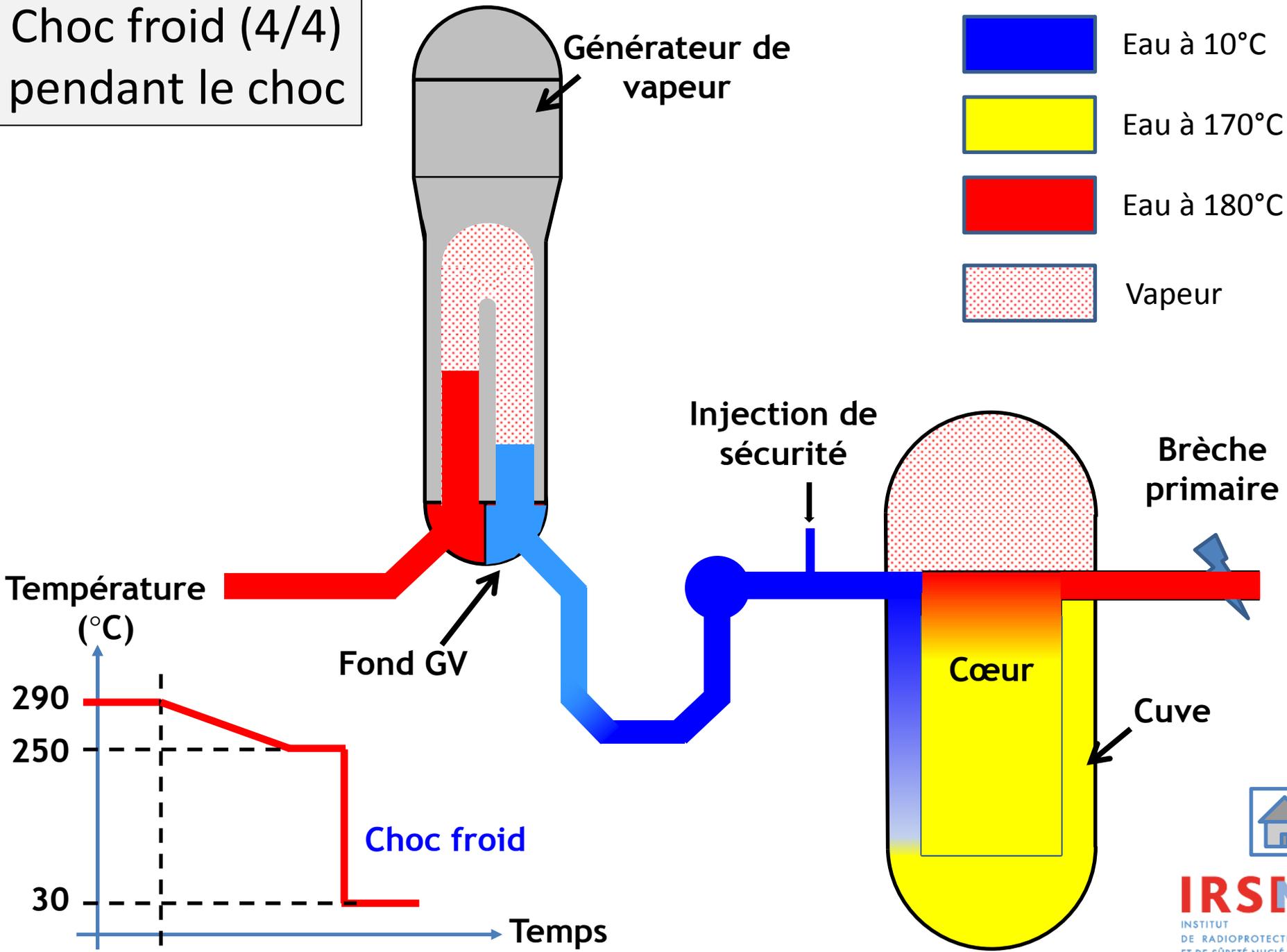
Brèche primaire

Temps

Choc froid (3/4) avant le choc



Choc froid (4/4) pendant le choc



Recommandations (in extenso)

Recommandation n° 1

- L'IRSN recommande qu'EDF définisse, sous six mois, une caractérisation enveloppe des situations de petite brèche primaire (avec et sans reprise de la circulation naturelle), de surpression primaire à froid ainsi que de toutes les situations faisant appel à la conduite en « gavé-ouvert », pour couvrir les chocs froids potentiels correspondants sur les fonds de GV, et réévalue les facteurs de marge associés en justifiant le conservatisme des hypothèses et de la méthode de calcul retenues.

Recommandation n° 2

- L'IRSN recommande qu'EDF retienne des dispositions visant à diminuer la probabilité d'un redémarrage inopportun d'une pompe primaire par l'opérateur à la suite d'un événement d'ouverture intempestive de la vanne qui régule le débit dans les échangeurs du circuit de refroidissement à l'arrêt ayant conduit à arrêter la pompe primaire en fonctionnement.

Recommandation n° 3

- L'IRSN recommande qu'EDF définisse, sous un mois, une mesure compensatoire visant à limiter l'écart entre la température au refoulement du circuit de refroidissement à l'arrêt et la température de l'eau de l'alimentation de secours des générateurs de vapeur dans les situations où un cyclage de ces générateurs est mis en œuvre.



Mesures compensatoires (choc froid)

- Mesures à appliquer lors des arrêts de tranche dès lors que le circuit primaire est monophasique :
 - mesure n° 1 : la vitesse de refroidissement du fluide primaire doit être inférieure à 14°C/h jusqu'à l'arrêt de la dernière pompe primaire
 - mesure n° 2 : en conduite normale, dès qu'une pompe primaire est arrêtée, la cellule de son moteur doit être débouchée pour se prémunir d'une remise en service inappropriée. Si le débit d'eau dans le circuit primaire est nul, il faut s'assurer que l'écart entre la température de l'eau injectée aux joints des pompes primaires et la « température du primaire » est inférieur à 15°C
 - mesure n° 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 (et notamment avec la réalisation des essais périodiques du chapitre IX des règles générales d'exploitation)
- Mesure à appliquer lors des redémarrages de tranches : si les pompes primaires sont arrêtées, il faut s'assurer que l'écart entre la température de l'eau injectée aux joints des pompes primaires et la « température du primaire » est inférieur à 15 °C

