
L'approche énergétique en mécanique de la rupture

Yves Mézière (SEPTEN), Yves Wadier (AMA)

SOMMAIRE

- 1. Bases théoriques et Validation**
- 2. Mise en œuvre dans Code_Aster**
- 3. Application Industrielle**

1. Bases théoriques (1)

- ***L'idée :***

*Rester dans le cadre **énergétique** de l'Approche Globale Classique (à domaine de validité limité) et définir un paramètre d'initiation à domaine de validité plus étendu (cadre élastoplastique).*

- ***Le principe :***

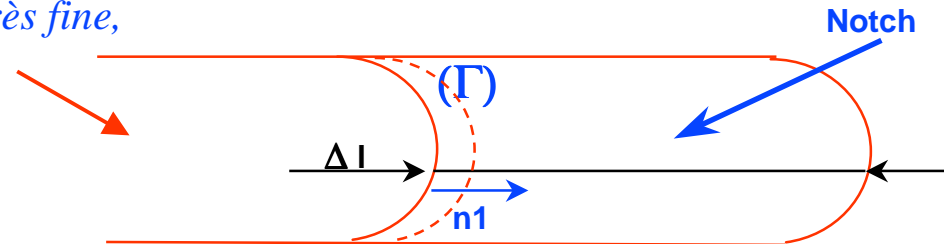
*Utilisation du principe de **minimisation de l'énergie** proposé par Francfort Marigo (minimum global, hypothèse de Griffith) :*

$$\min_{\text{champs}\Delta S} [W_{pot} + G_c \Delta S]$$

1. Bases théoriques (2)

- Modélisation de la fissure par une entaille :

- la fissure est représentée par une entaille très fine,
- la solution numérique est régulière,



--- > PAS DE DEPENDANCE VIS A VIS DU MAILLAGE,

- Le paramètre G_P (initiation) :

$$G_P = \max_{\Delta l} \left[\left(\int_{Notch} (w_e \cdot dS) \right) / \Delta l \right]$$

- simple à calculer,
- on peut prévoir le caractère progressif ou brutal de la propagation,
- lien avec l'approche globale classique (approche en J)

1. Bases théoriques (3)

- Procédure de mise en oeuvre :

1/ *identification de G_{PC}* via un calcul d'essai sur CT connaissant la ténacité J_C ,

2/ *prédiction de l'initiation* sur la structure considérée en utilisant le critère $G_P = G_{PC}$

- Définition d'une probabilité de rupture :

- - - > de façon analogue à la probabilité du modèle de BEREMIN :

$$\text{BEREMIN} \quad - - - > \quad \text{Pr} = 1 - \exp\left[-a \left(\frac{\sigma_w}{\sigma_u}\right)^m\right]$$

$$G_P \quad - - - > \quad \text{Pr} = 1 - \exp\left[-a \left(\frac{K^{GP}}{K^{GP0}}\right)^m\right]$$

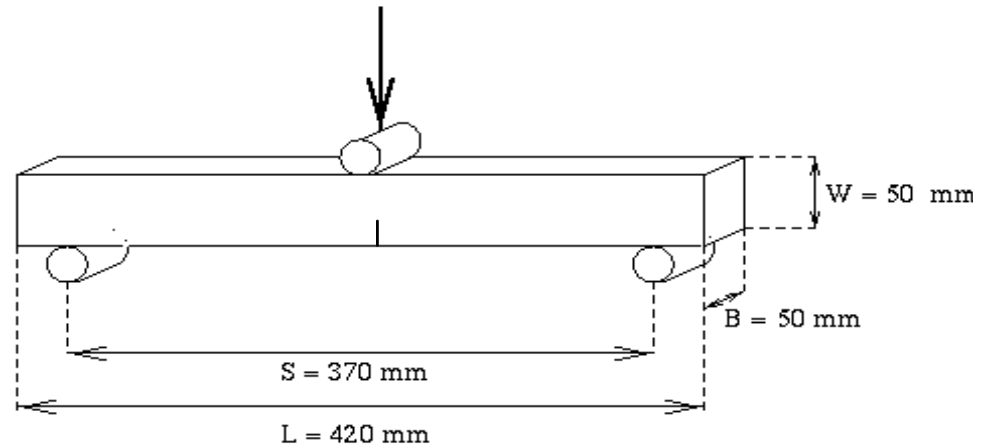
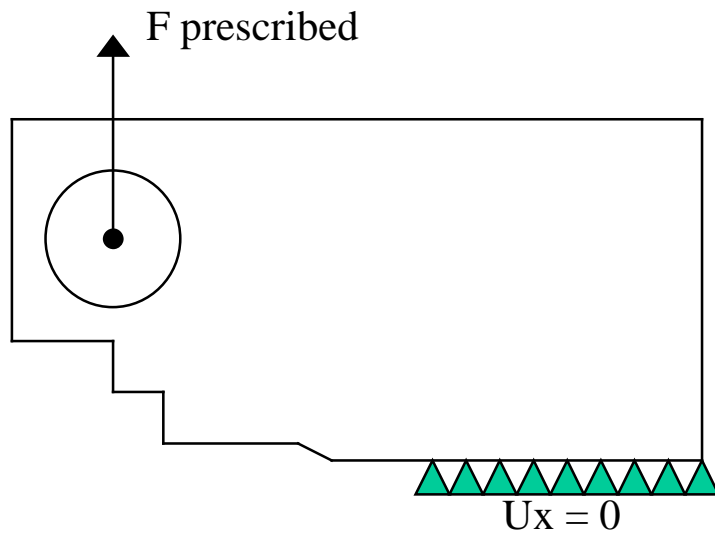
- Le paramètre G_P (*propagation*) :

$$G_P^{\text{PROPAGATION}} = \max_{\Delta l} \left[\left(W(\Delta l) - W(0) \right) / \Delta l \right]$$

- - - > W : énergie potentielle définie sur toute la structure

- - - > prédiction de la propagation finie, brutale (instantanée) de la fissure

VALIDATION : PROJET EUROPEEN VOCALIST (1)



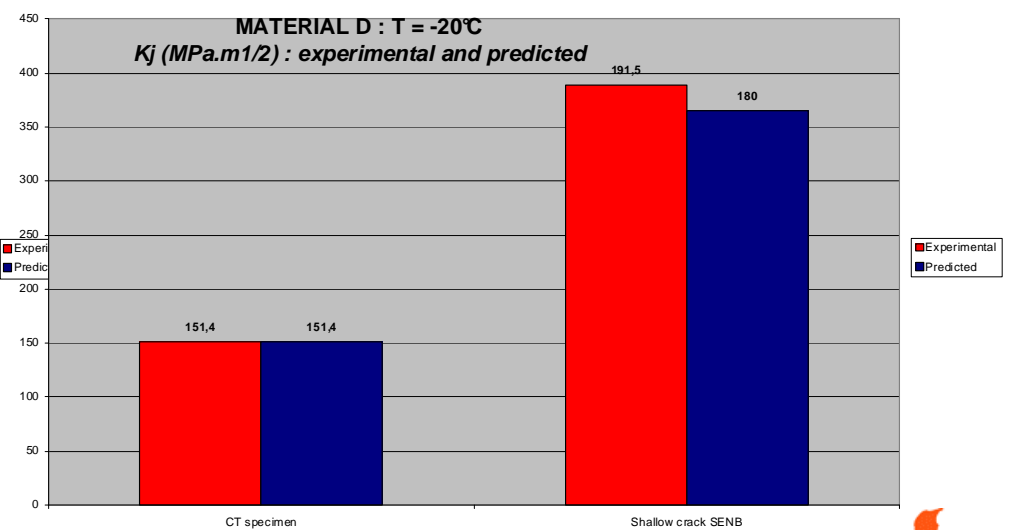
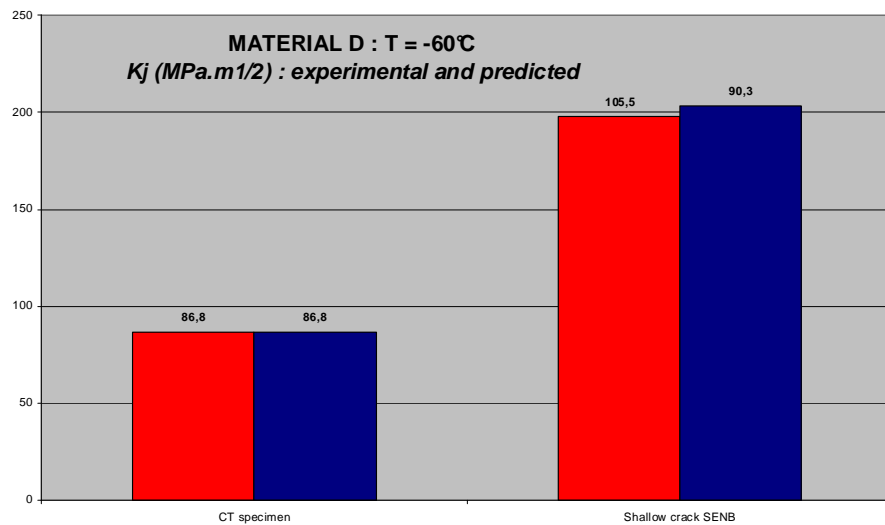
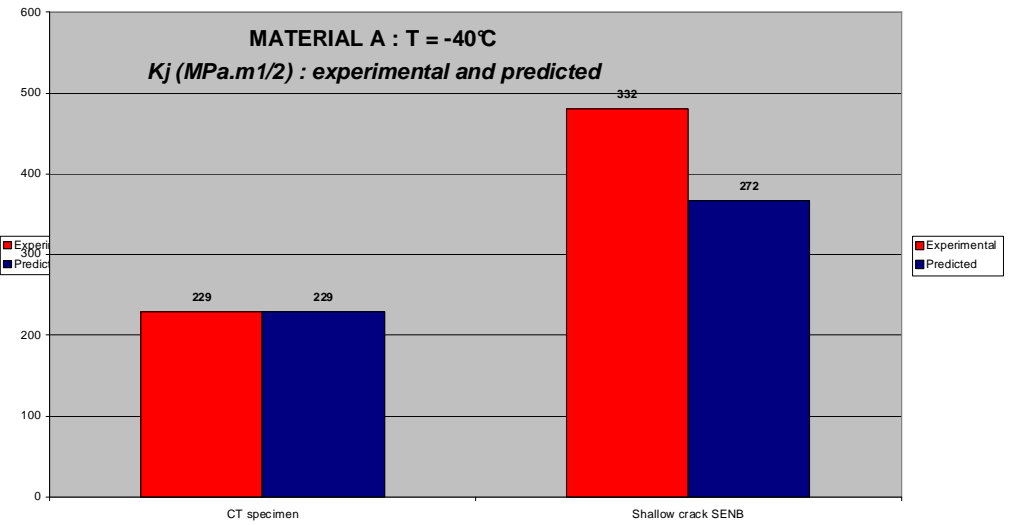
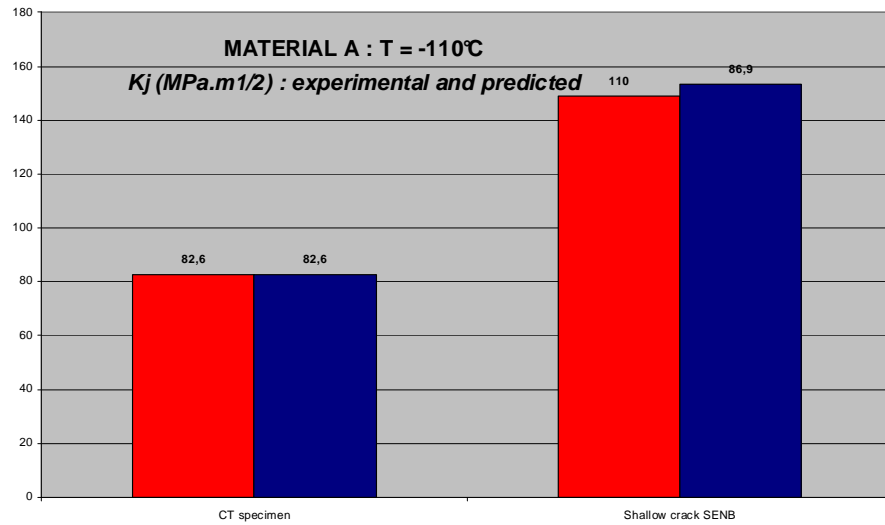
Grand Défaut :

$$a / w = 0.5$$

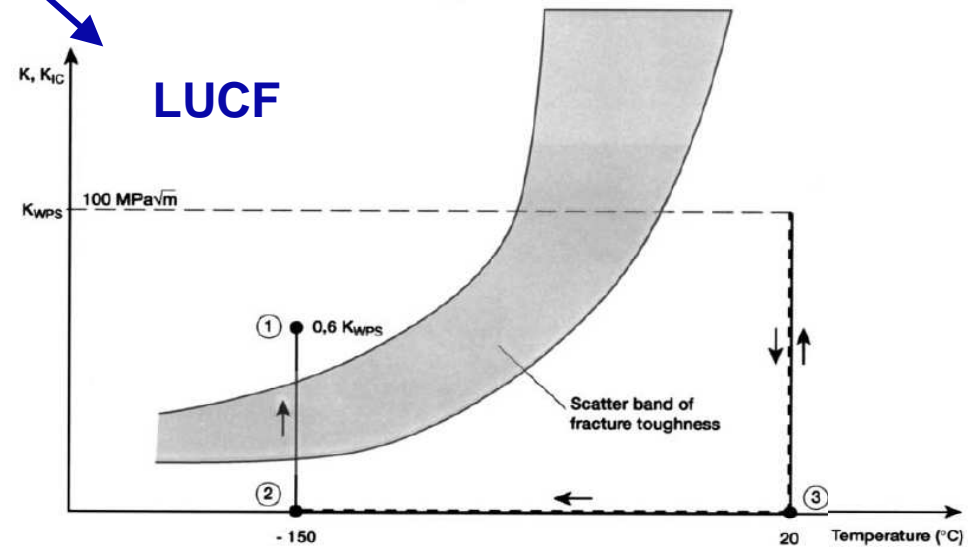
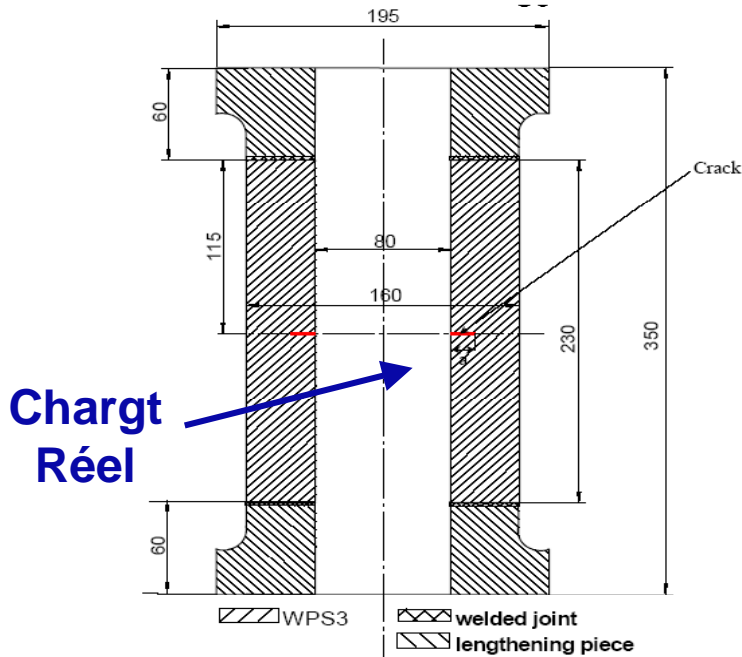
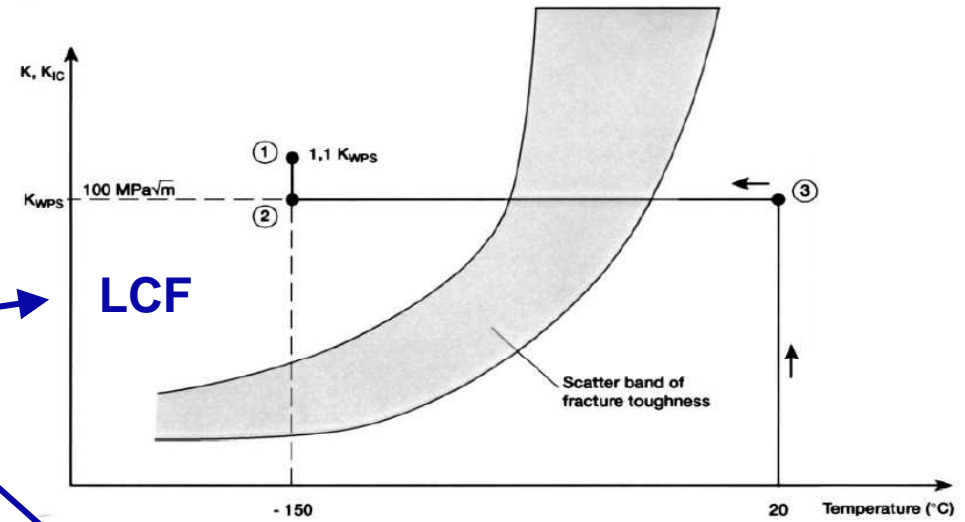
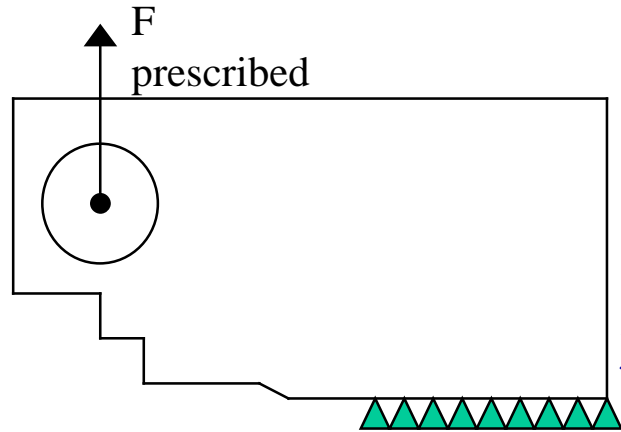
Petit Défaut :

$$a / w = 0.1$$

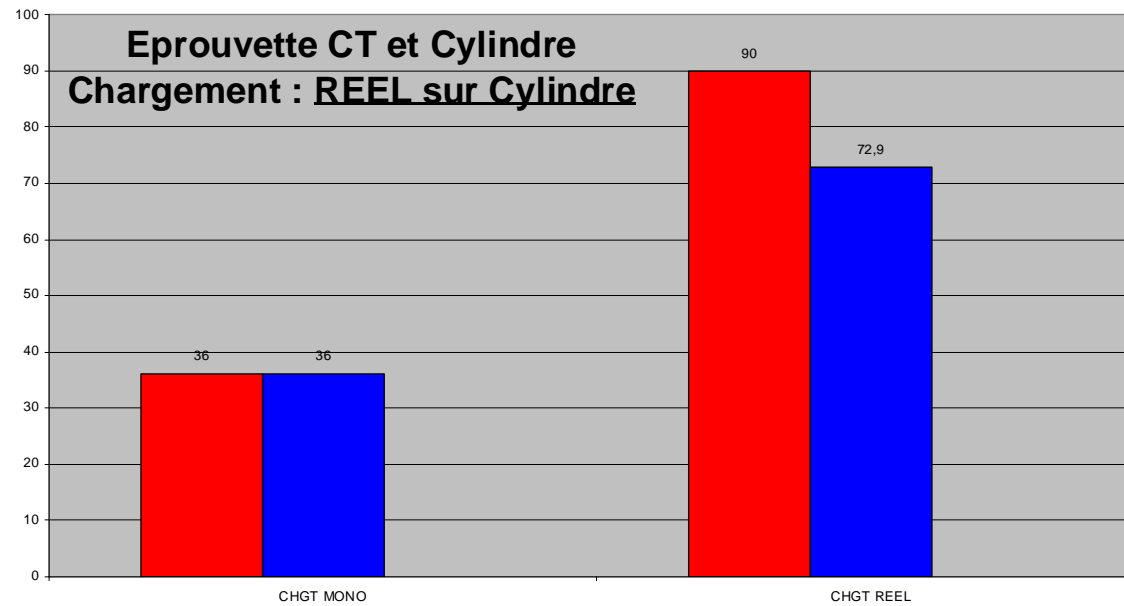
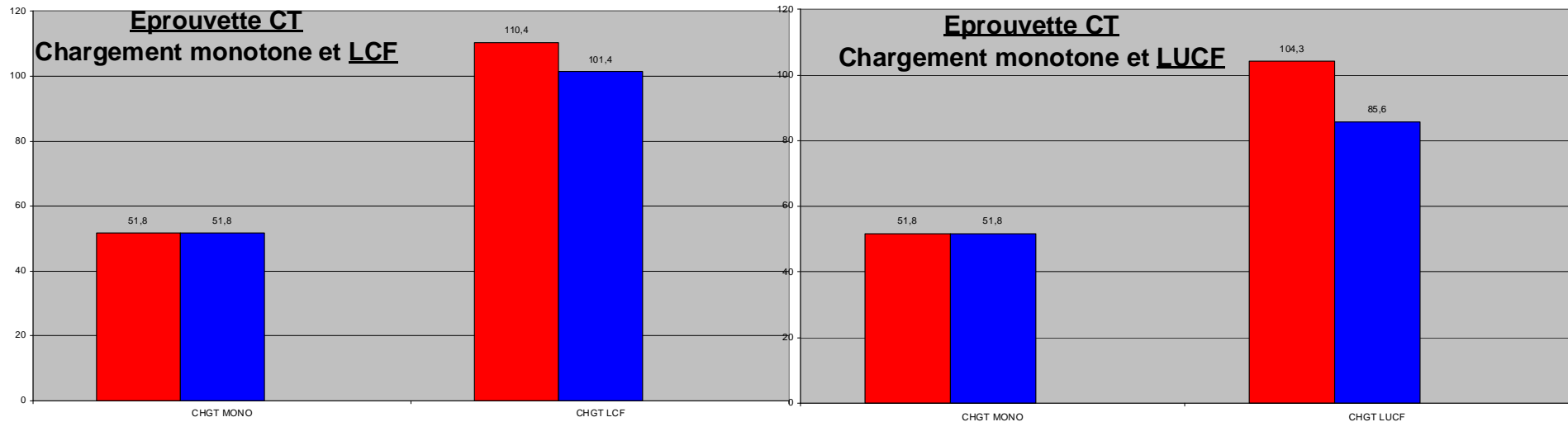
VALIDATION : PROJET EUROPEEN VOCALIST (2)



VALIDATION : PROJET EUROPEEN SMILE (1)



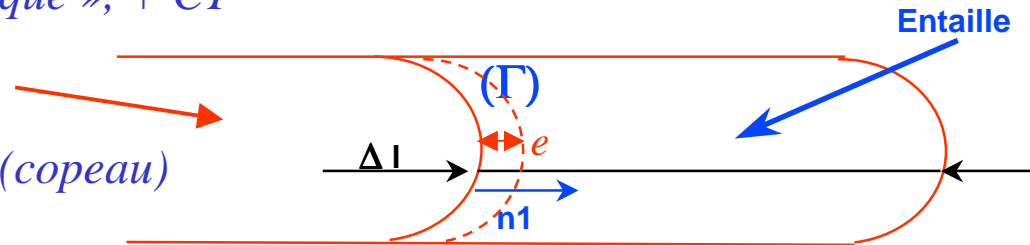
VALIDATION : PROJET EUROPEEN SMILE (2)



2. Mise en œuvre dans *Code_Aster*

1. Maillage de la structure fissurée + une éprouvette CT

- *structure fissurée « classique », + CT*
- *fissure - - - > entaille*
- *paramètres : R , Δl , e (copeau)*



2. Calcul mécanique éprouvette + structure

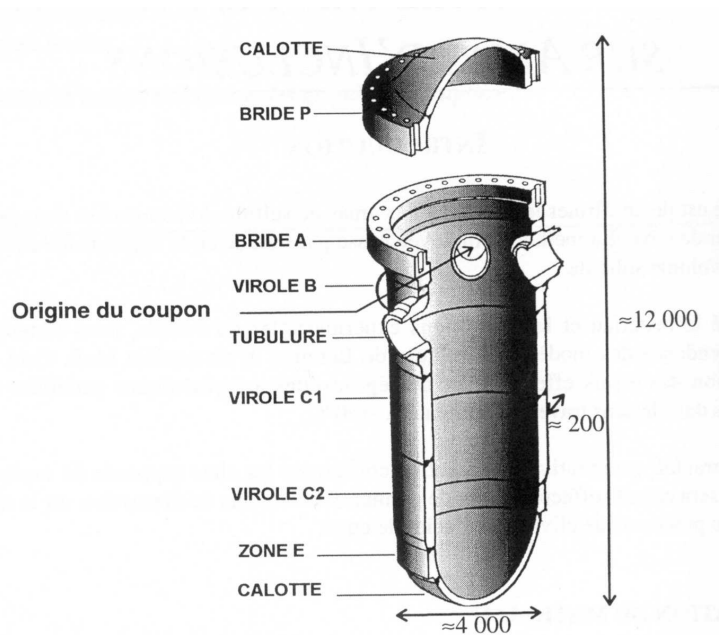
- *CALC_THETA,*
- *CALC_G_THETA : pour identification de G_{PC}*

3. Calcul du paramètre G_p

- *POST_ELEM : W-élastique, et recherche du max (PYTHON)*
- *Cas test : SSNP131, puis : MACRO*

3. APPLICATION « INDUSTRIELLE »

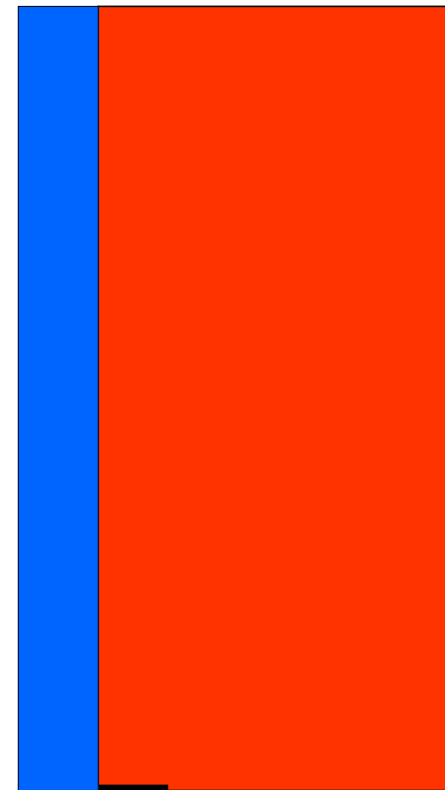
Calcul des FM pour une virole de cuve



Irradiation

Défaut sous revêtement

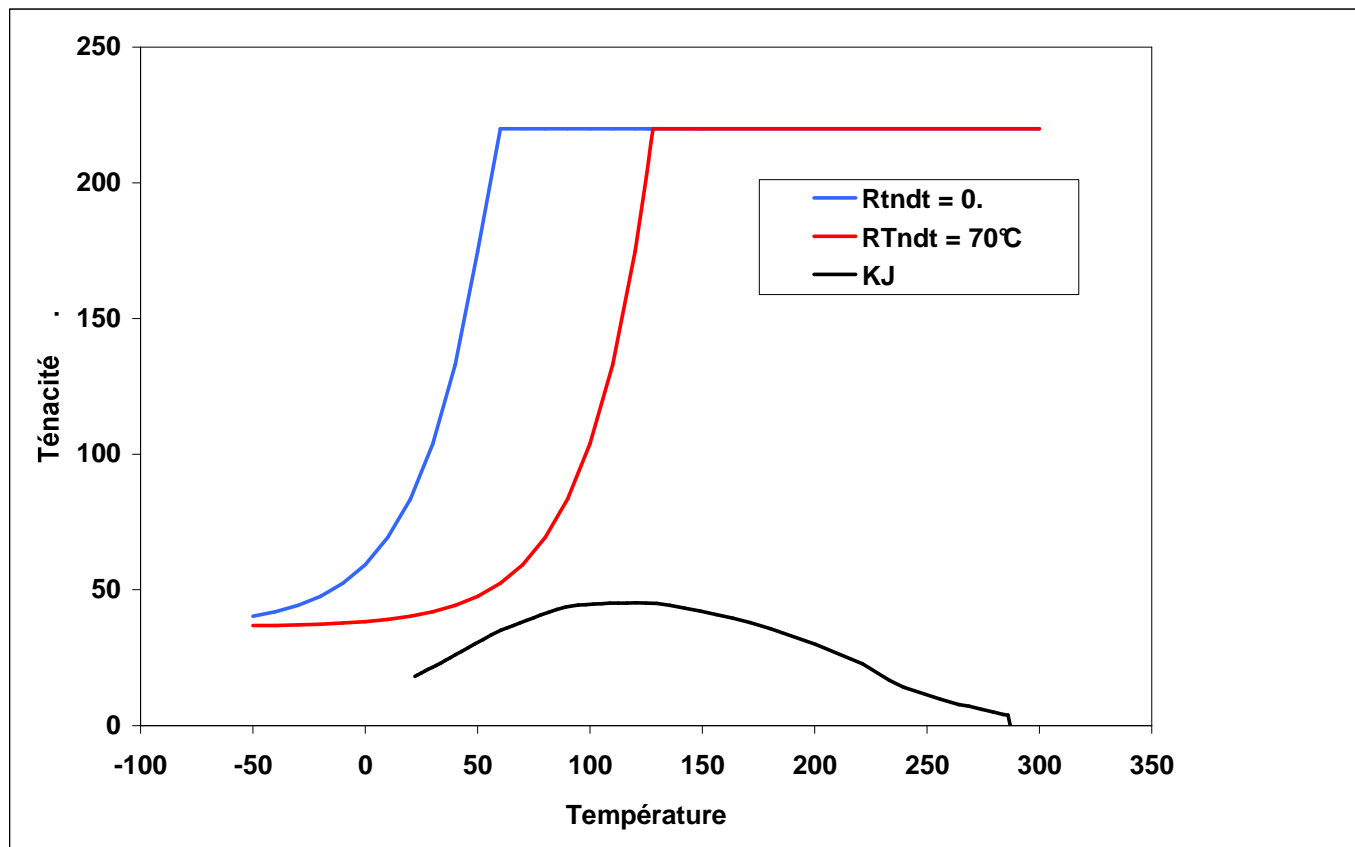
Choc froid pressurisé



Défaut bande circonférentiel

3. METHODE DE CALCUL DES MARGES

Marge : Ecart entre la courbe de ténacité du matériau prenant en compte le décalage dû à l'irradiation et la force fissurante de la structure



3. IDENTIFICATION de $KG_pC(T)$: PRINCIPE

Identification de $KG_pC(T)$:

$$KG_p(T) = \sqrt{\frac{E(T)G_p(T)}{(1 - \nu^2)}}$$

La valeur critique de $KG_p(T)$ est la valeur de $KG_p(T)$ correspondant à l'effort qui donne la ténacité $K_{IC}(T)$ (courbe de référence du RCC-M)

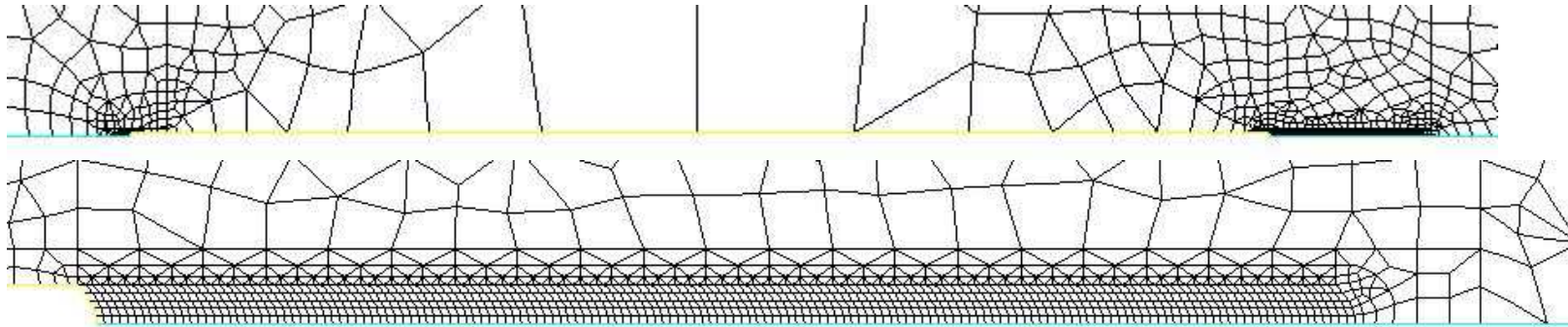
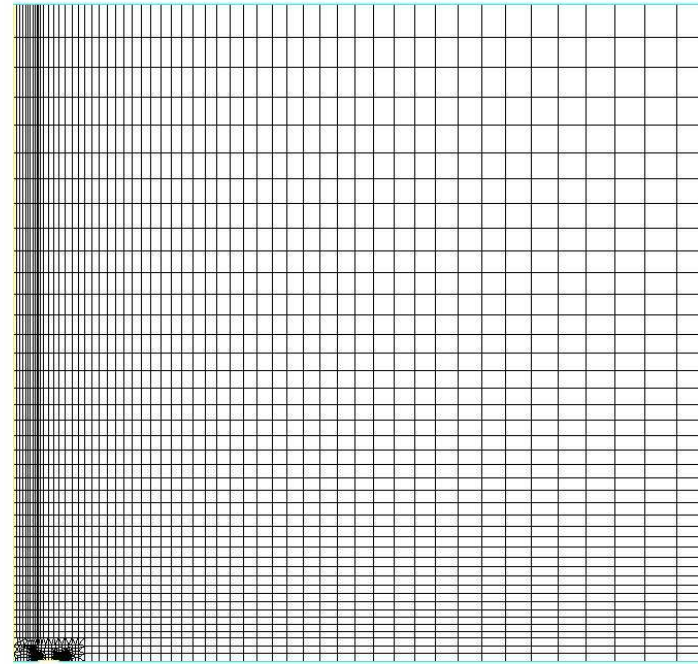
➤ Réaliser des calculs aux éléments finis élasto-plastiques d'une éprouvette CT avec la même entaille et les mêmes données (matériau, loi de comportement...) que la virole de cuve

➤ T donné $K_{IC}(T)$ (courbe codifiée)

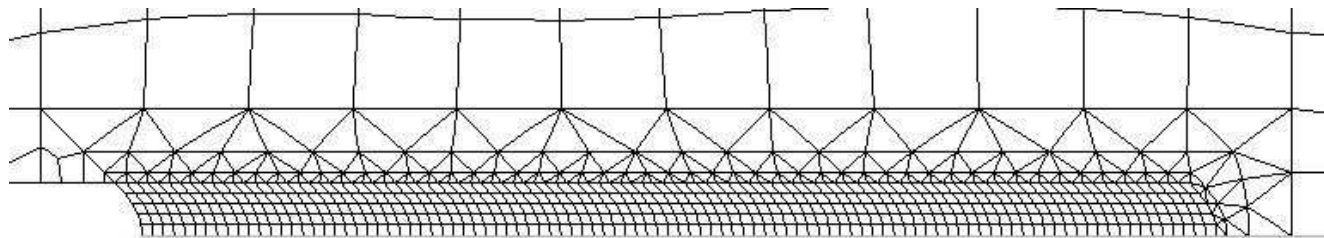
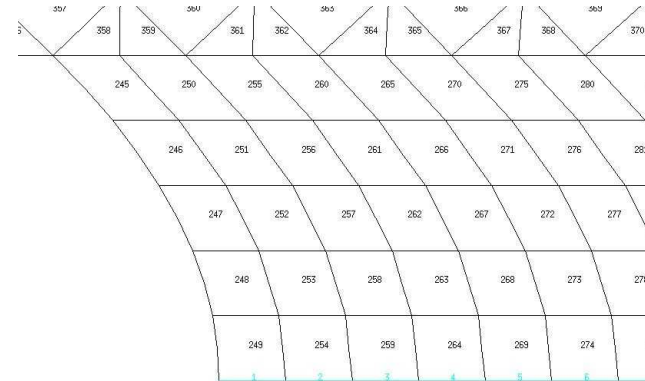
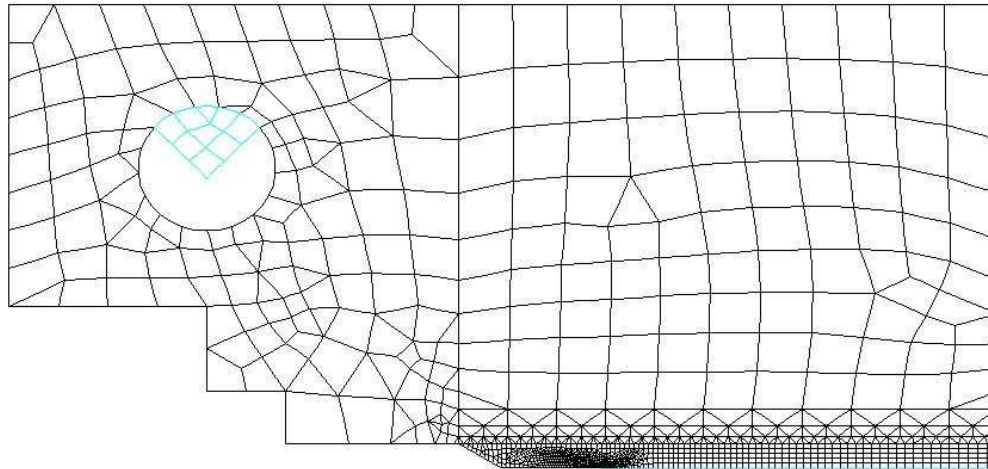
F_c tel que $KJ(T, F_c) = K_{IC}(T)$

$KG_pC(T) = KG_p(T, F_c)$

3. MAILLAGE (1)



3. MAILLAGE (2)



3. DONNEES

MATERIAU : dossier cuve

DSR = 6,2 mm

RTndt = 70°C

Transitoires (REP 900) :

-PBP3P (1D) : Petite brèche primaire 3 pouces avec puissance résiduelle minimale

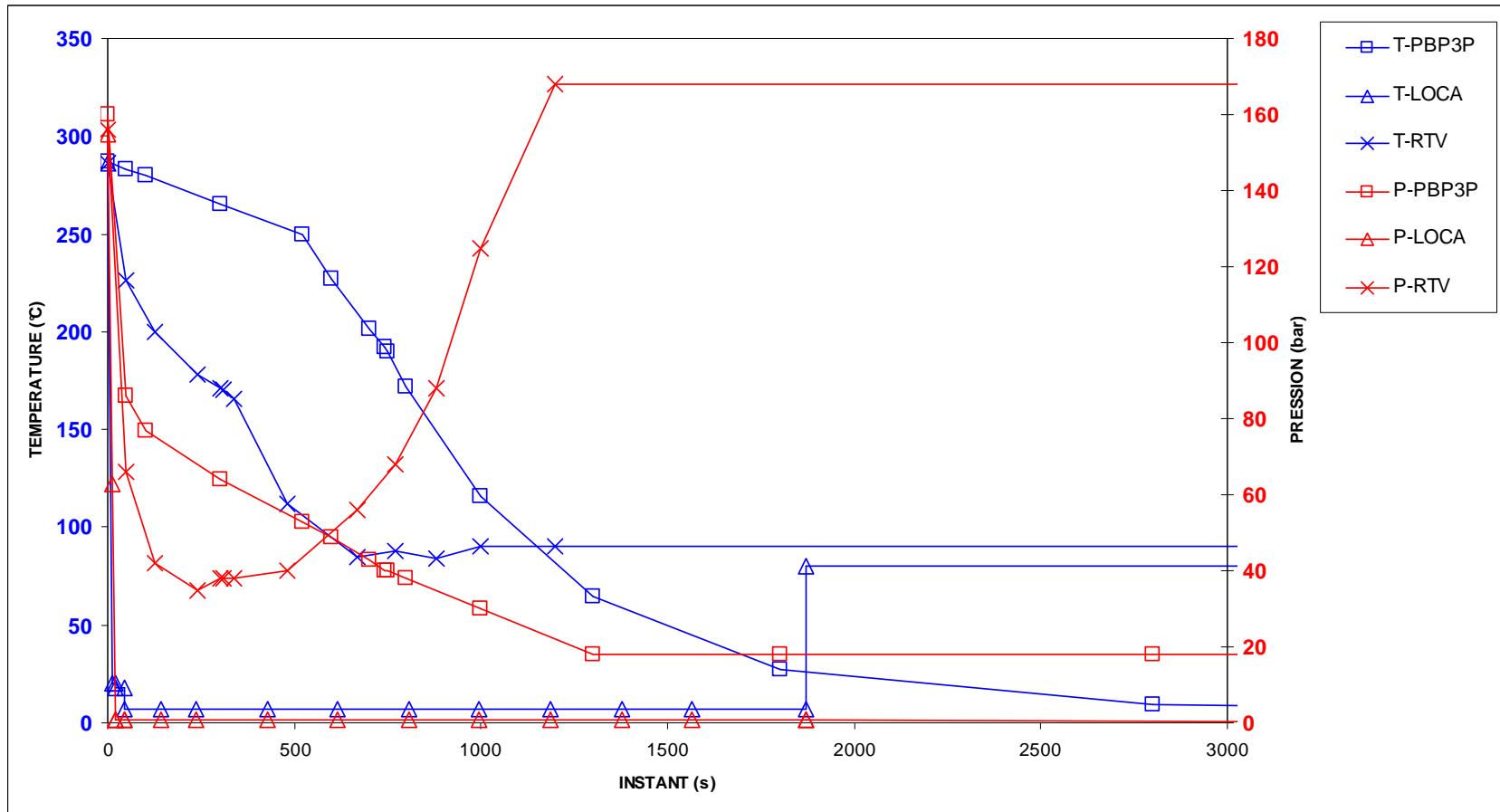
-LOCA : Rupture importante de tuyauteries primaires

-RTV : Grosse brèche en amont des vannes principales d'isolement vapeur

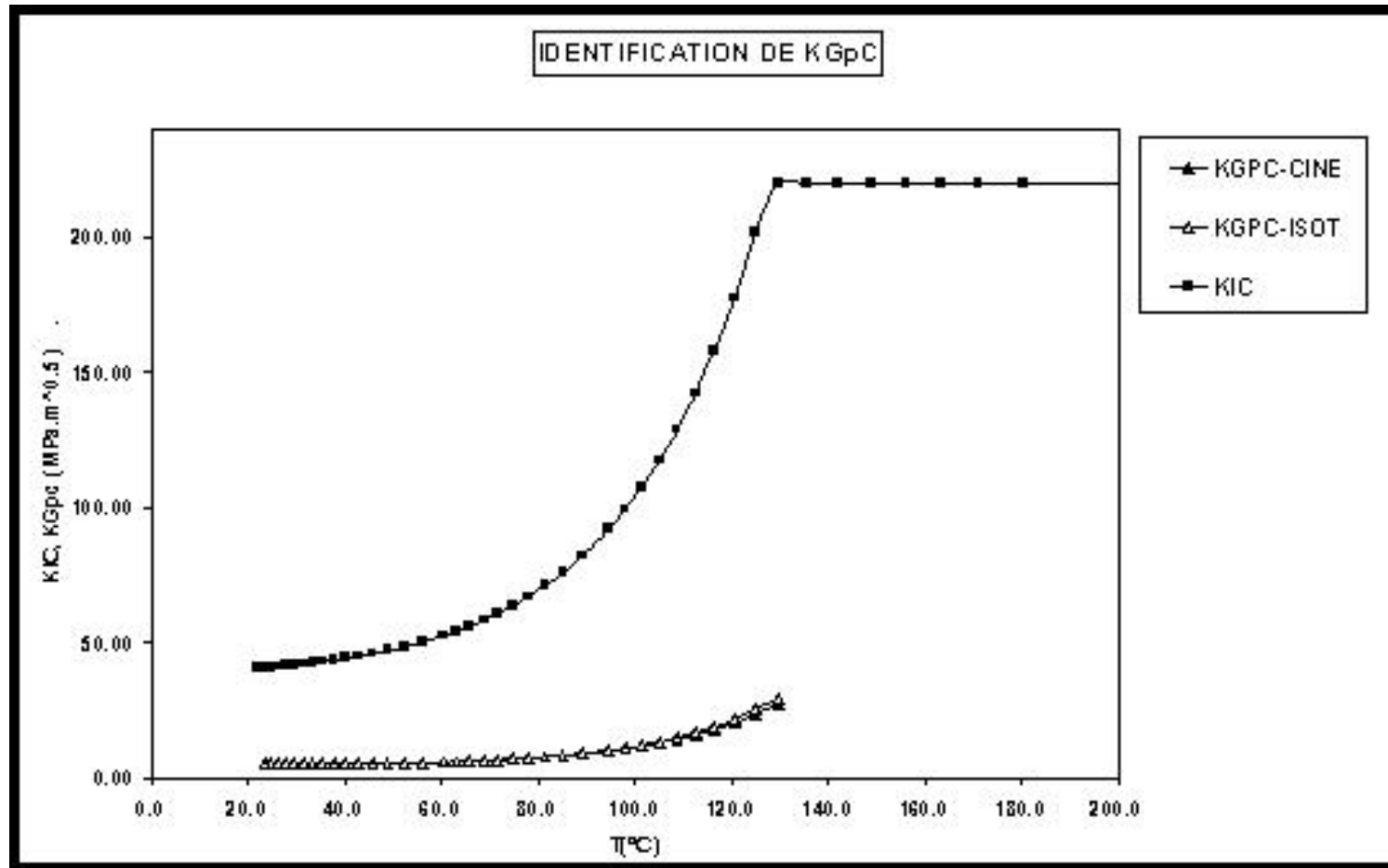
Entaille de 25 microns (copeaux de 5 microns, 5 copeaux dans l'épaisseur de l'entaille)

3. TRANSITOIRES

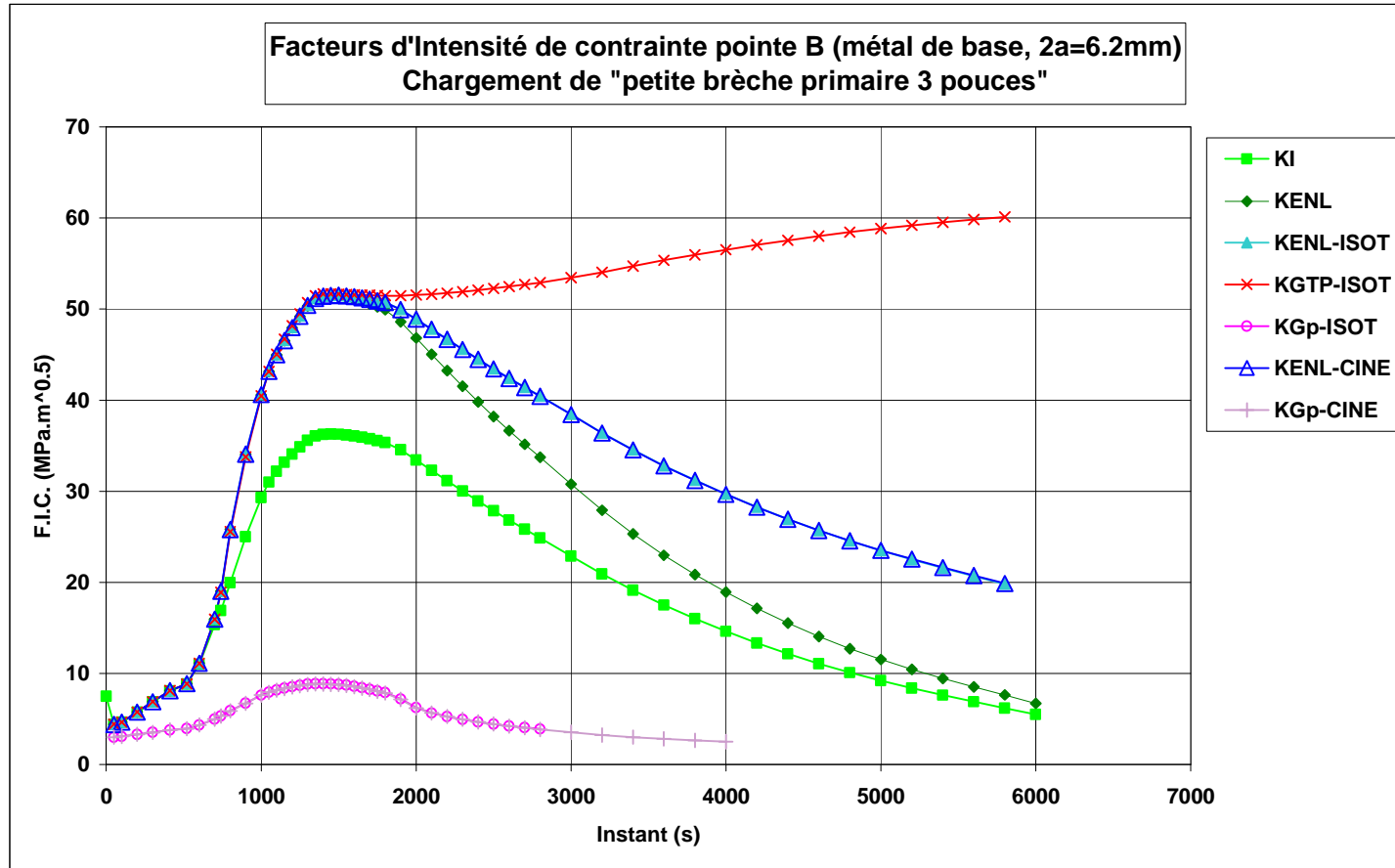
Transitoires (REP 900) : PBP3P (1D), LOCA, RTV



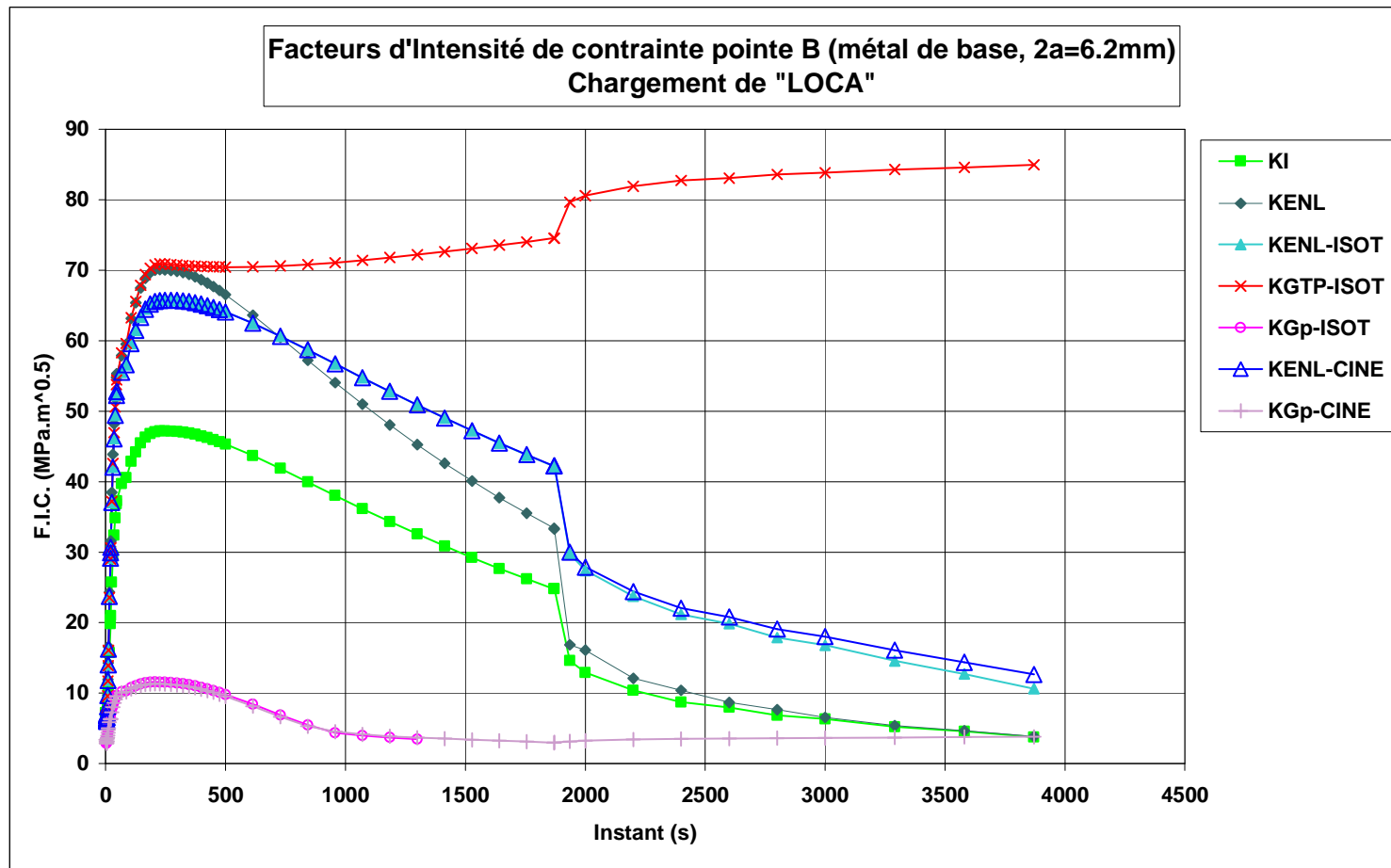
3. IDENTIFICATION DE KGpC (T) : RESULTAT



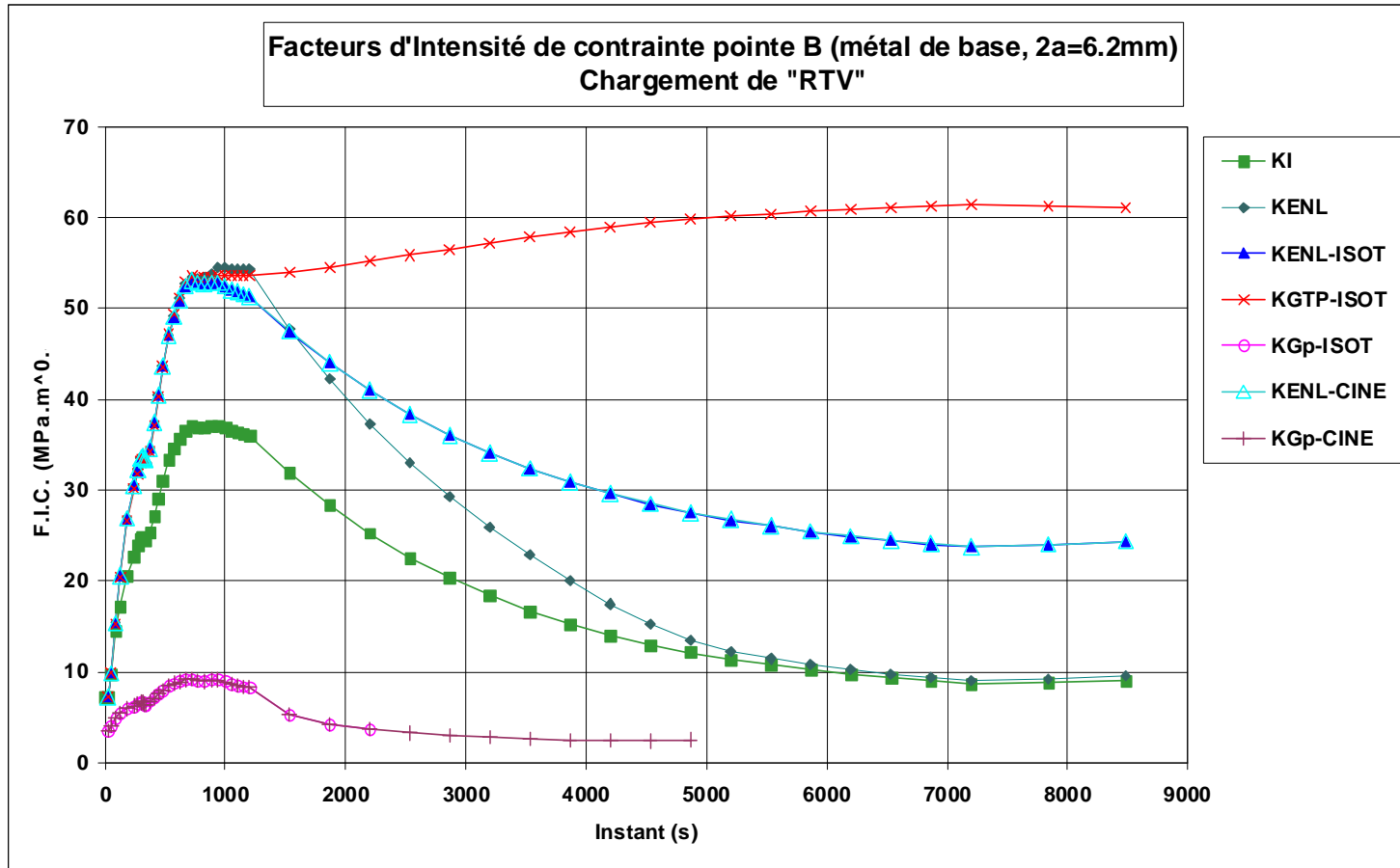
3. PETITE BRECHE PRIMAIRE 3 pouces



3. LOCA



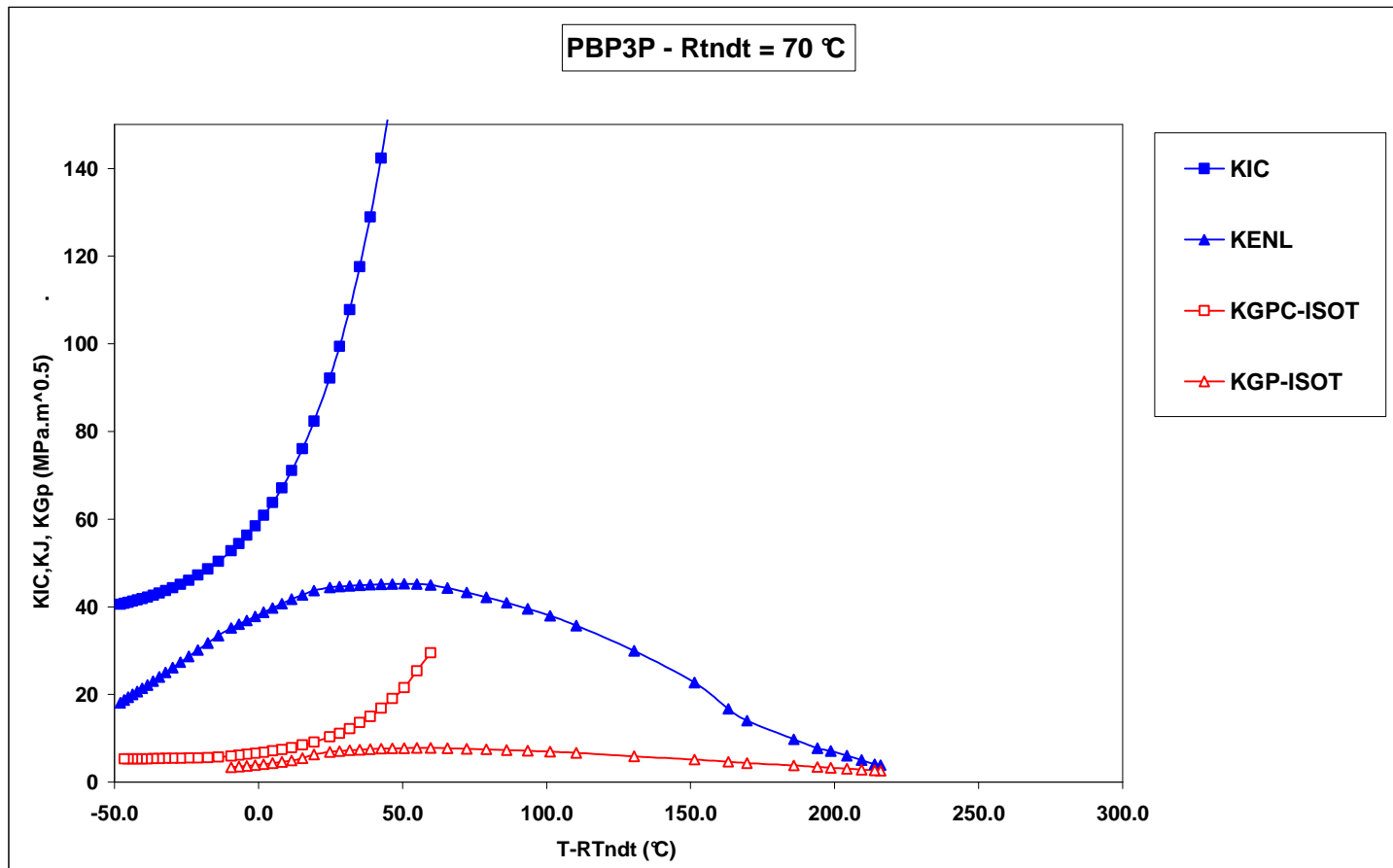
3. RTV



3. RESULTATS : Comparaison entaille - fissure

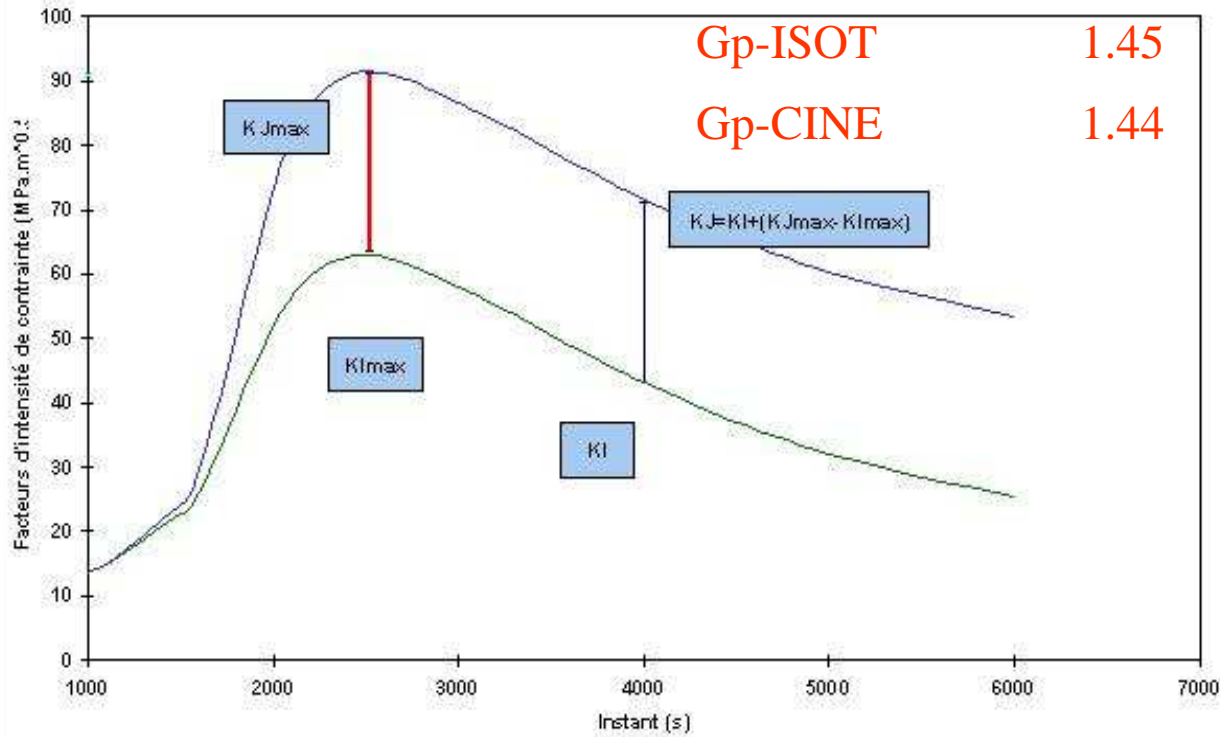
	FISSURE		ENTAILLE 25 μm				
	K_I tmax	K_{JENL-} ISOT tmax	K_I tmax	K_{JENL} tmax	$K_{JENL-ISOT}$ tmax	K_{GTP} tmax	$K_{JENL-CINE}$ tmax
PBP3P	36.0	50.7	36.3	51.4	51.5	51.6	51.5
LOCA	46.5	64.6	47.2	70.1	65.7	70.8	65.8
RTV	36.7	50.6	37.1	54.5	52.8	53.7	52.8

3. MARGES (1)



3. MARGES (2)

	PBP3P	LOCA	RTV
ENL	1.50	1.10	2.78
ENL-ISOT	1.49	1.19	3.05
ENL-CINE	1.49	1.19	3.02
Gp-ISOT	1.45	1.13	3.83
Gp-CINE	1.44	1.15	3.12



CONCLUSION

- *Le paramètre G_p est un paramètre à **validité générale** dans le cadre élasto-plastique. Il reste en particulier valide en cas de **décharge**, mais aussi en cas de chargement non proportionnel, présence de contraintes résiduelles, etc.*
- *L'approche énergétique basée sur le paramètre G_p a donné lieu à de nombreuses **études de validation** : Projets Européen **VOCALIST**, **SMILE**, Projets **CUVE**, autant pour la prédiction de l'**initiation** que pour celle de la **propagation / arrêt**.*
- *L'approche énergétique a fait l'objet de la restitution d'un **Cas-Test** dans Code_Aster, et va faire prochainement l'objet du développement d'une **MACRO**.*
- *Sur un exemple d'application industrielle (DSR de cuve soumis à un transitoire thermique), l'approche énergétique donne des **résultats cohérents avec ceux de l'approche Dossier** et pourrait permettre, dans certains cas, de **gagner des marges**.*