# EPICU03 - Validation de la commande POST_K_BETA dans le cas d'un défaut semi-elliptique.

**Résumé :**

La commande **POST_K_BETA** calcule le facteur d'intensité des contraintes élastique et le facteur d'intensité des contraintes élasto-plastique (dit également « corrigé plastiquement ») aux deux pointes du défaut semi-elliptique sous revêtement, à l'aide respectivement du dépouillement des contraintes aux nœuds issues de la résolution mécanique via la méthode des coefficients d'influence et de la méthode dite de la « correction-β » toutes deux décrites dans le RSE-M.

Ce test valide la détermination des facteurs d'intensité des contraintes d'un défaut semi-elliptique sous revêtement d'orientation longitudinale dans un premier temps et d'orientation circonférentielle dans un second temps au niveau de la pointe du défaut située côté métal de base.

Le transitoire thermo-mécanique considéré étant supposé spatialement uniforme à chaque instant et les propriétés thermiques et mécaniques du revêtement comme du métal de base étant également spatialement invariantes, l'absence de défaut effectif dans le maillage de la zone de cœur de la cuve, qui est inhérente à la présente méthode simplifiée d'analyse de nocivité de défaut, permet alors de réaliser ce test en s'appuyant sur une modélisation axisymétrique de la zone de cœur de la cuve.



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 1 Problème de référence

## 1.1 Géométrie

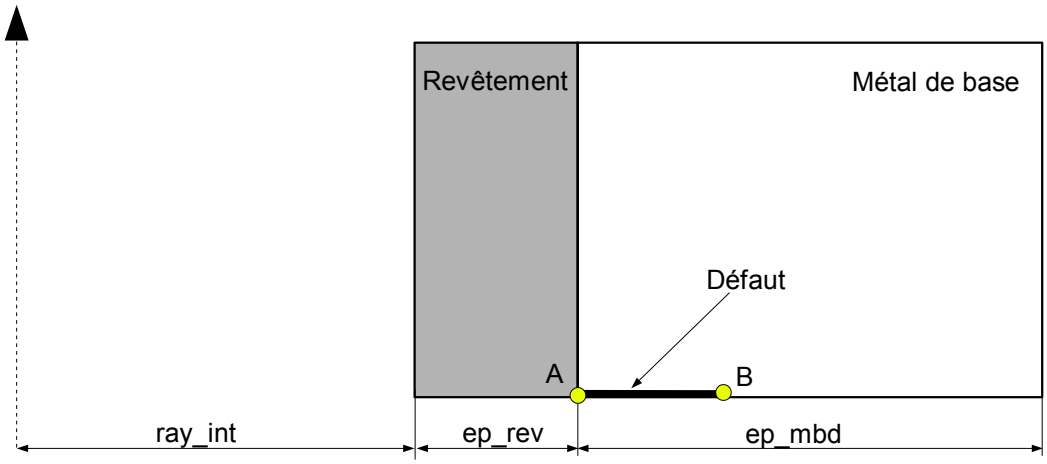
La géométrie étudiée est celle de la zone de cœur d'une cuve générique du palier 1300 MWe.

## 1.2 Défaut considéré

Dans le cadre de la méthodologie simplifiée d'analyse de nocivité de défaut, la méthode de calcul du facteur d'intensité des contraintes élastique via la méthode des coefficients d'influence suppose intrinsèquement l'absence de modélisation effective du défaut dans le maillage. En effet, le maillage permet de calculer dans un premier temps les contraintes aux nœuds et un post-traitement est ensuite appliqué pour calculer le facteur d'intensité des contraintes élastique par la méthode des coefficients d'influence à partir justement de ces contraintes aux nœuds (la méthode est détaillée dans [R7.02.10]).

Pour ce test, le défaut sous-revêtement considéré est semi-elliptique et d'orientation longitudinale dans un premier temps et d'orientation circonférentielle dans un second temps. Sa pointe côté revêtement repose rigoureusement sur l'interface entre le revêtement et le métal de base. Ses dimensions sont les suivantes (voir figure qui suit) :

- profondeur : $prof_{\text{def}} = 5\text{mm}$
- largeur : $2\text{b} = 25\text{mm}$




## 1.3 Description générale du chaînage thermo-mécanique

L'étude consiste en un chaînage thermo-mécanique. Le calcul thermique ainsi que le calcul mécanique sont réalisés sur un même maillage. Le maillage utilisé pour ces deux calculs est constitué uniquement d'éléments du 2ème ordre (maillage dit « quadratique »). Compte tenu des invariances du problème, la modélisation choisie est axisymétrique et seule une maille est utilisée dans le sens de la hauteur de la cuve.



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

## 1.4 Propriétés de matériaux

**Pour le calcul en thermique :**

Deux propriétés sont renseignées, il s'agit de :

- LAMBDA : conductivité thermique isotrope fonction de la température, exprimée en $W.m^{-1}.K^{-1}$,
- BETA : enthalpie volumique en fonction de la température, exprimée en $J.m^{-3}$.

Pour le revêtement :

| Température ( $°C$ ) | **LAMBDA** |
|---|---|
| 0 | 14.7 |
| 20 | 14.7 |
| 50 | 15.2 |
| 100 | 15.8 |
| 150 | 16.7 |
| 200 | 17.2 |
| 250 | 18 |
| 300 | 18.6 |
| 350 | 19.3 |

| Température ( $°C$ ) | **BETA** |
|---|---|
| 0 | 0.000000.E+00 |
| 50 | 1.102100.E+08 |
| 100 | 3.013300.E+08 |
| 150 | 5.014300.E+08 |
| 200 | 7.081300.E+08 |
| 250 | 9.188800.E+08 |
| 300 | 1.132910.E+09 |
| 350 | 1.348980.E+09 |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Pour le métal de base:

| Température ( $°C$ ) | LAMBDA |
|---|---|
| 20 | 37.7 |
| 50 | 38.6 |
| 100 | 39.9 |
| 150 | 40.5 |
| 200 | 40.5 |
| 250 | 40.2 |
| 300 | 39.5 |
| 350 | 38.7 |

| Température ( $°C$ ) | BETA |
|---|---|
| 0 | 0.000000.E+00 |
| 50 | 1.061900.E+08 |
| 100 | 2.903300.E+08 |
| 150 | 4.829100.E+08 |
| 200 | 6.832800.E+08 |
| 250 | 8.921600.E+08 |
| 300 | 1.109440.E+09 |
| 350 | 1.335060.E+09 |

**Pour le calcul en mécanique :**

Cinq paramètres sont renseignés, il s'agit de :

- $E$ : module d'Young, exprimé en $Pa$ ,
- $nu$ coefficient de Poisson(ν=0.3),
- ALPHA : coefficient de dilatation thermique isotrope, exprimée en $°C$ ,
- TEMP_DEF_ALPHA = 20: valeur de la température à laquelle les valeurs du coefficient de dilatation thermique ALPHA ont été déterminées, exprimée en $°C$ .
- VALE_REF = 280 Température de référence $T_{Réf}$ pour laquelle il n'y a pas de déformation d'origine thermique, exprimée en $°C$ .

Pour le revêtement :

| Température ( $°C$ ) | $E$ |
|---|---|
| 0 | 1.985E+11 |
| 20 | 1.97E+11 |
| 50 | 1.95E+11 |
| 100 | 1.915E+11 |
| 150 | 1.875E+11 |
| 200 | 1.84E+11 |
| 250 | 1.8E+11 |
| 300 | 1.765E+11 |
| 350 | 1.72E+11 |

| Température ( $°C$ ) | ALPHA |
|---|---|
| 0 | 1.756E-05 |
| 20 | 1.764E-05 |
| 50 | 1.7787E-05 |
| 100 | 1.8019E-05 |
| 150 | 1.8225E-05 |
| 200 | 1.8575E-05 |
| 250 | 1.8568E-05 |
| 300 | 1.8768E-05 |



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Pour le métal de base :

| Température ( $°C$ ) | $E$ |
|---|---|
| 0 | 2.05E+11 |
| 20 | 2.04E+11 |
| 50 | 2.03E+11 |
| 100 | 2E+11 |
| 150 | 1.97E+11 |
| 200 | 1.93E+11 |
| 250 | 1.89E+11 |
| 300 | 1.85E+11 |
| 350 | 1.8E+11 |

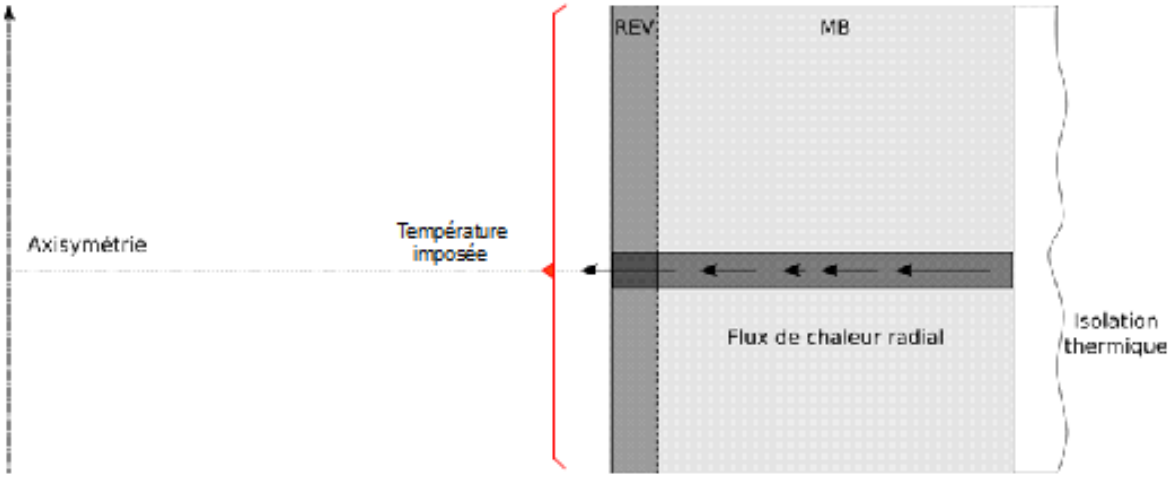
| Température ( $°C$ ) | ALPHA |
|---|---|
| 0 | 1.122E-05 |
| 20 | 1.122E-05 |
| 50 | 1.145E-05 |
| 100 | 1.179E-05 |
| 150 | 1.247E-05 |
| 200 | 1.278E-05 |
| 250 | 1.308E-05 |
| 300 | 1.34E-05 |

## 1.5 Conditions aux limites et chargements

### 1.5.1 Étape 1 : calcul thermique non-linéaire

Les conditions limites appliquées au calcul thermique sont résumées sur la Figure ci-dessous et se décomposent comme suit :

- température imposée en paroi interne,
- isolation thermique en paroi externe.




Un transitoire thermique analytique $T(t,z,\theta)$, avec une température initiale de 280°C, est imposé sur la paroi interne de la cuve. Ce transitoire décrit l'évolution temporelle de la température $T_i$ en paroi interne de la cuve en fonction de la position azimutale $\theta$ et de la position longitudinale $z$, offrant ainsi un transitoire analytique tridimensionnel assez proche d'un transitoire réel.

L'expression analytique du transitoire est fournie dans l'Equation {1}.



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

$$T(t,z,\theta)=T_{is}+T_1\times e^{\frac{-t}{[(\sum_{i=0}^{6}a_k\theta^k)(t_{rg}(1-\frac{z}{H_{cuve}})+t_{rgcuve}\times\frac{Z}{H_{cuve}})]}}+T_2\times\sin(f_{2\mathrm{nd}}\times t)e^{\frac{-t}{t_{r2nd}}} \quad (1)$$

avec la notation suivante :

- $T_{is}$ : température de l'injection de sécurité
- $T_1$ : température de l'amplitude de la décroissance entre la température initiale et la température finale (température de l'injection de sécurité)
- $T_2$ : température des oscillations secondaires autour de la décroissance
- $T_{rg}$ temps de réponse global
- $T_{rgcuve}$ temps de réponse global du bas de la cuve
- $t_{r2nd}$ temps de réponse des oscillations secondaires
- $f_{2\mathrm{nd}}$ fréquence des oscillations secondaires
- $H_{cuve}$ hauteur de la cuve

| $T_{is}(°C)$ | $T_1(°C)$ | $T_{rg}(S)$ | $T_{rgcuve}(S)$ | $f_{2\mathrm{nd}}(Hz)$ | $T_2(°C)$ | $t_{r2nd}(S)$ | $H_{cuve}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 270 | 200 | 700 | 0,05 | 20 | 1000 | 5000 |

| $a_0$ | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ | $a_4$ | $a_5$ | $a_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.01373 | -1.45143E-2 | 1.321E-3 | -8.07773E-5 | 1.60275E-6 | -1.26618E-8 | 3.51716E-11 |

Dans le présent cas-test, on s'intéresse à la position d'azimut $\theta=0$ et de longitude $z=0$ .

### 1.5.2 Étape 2 : calcul mécanique en élasticité linéaire

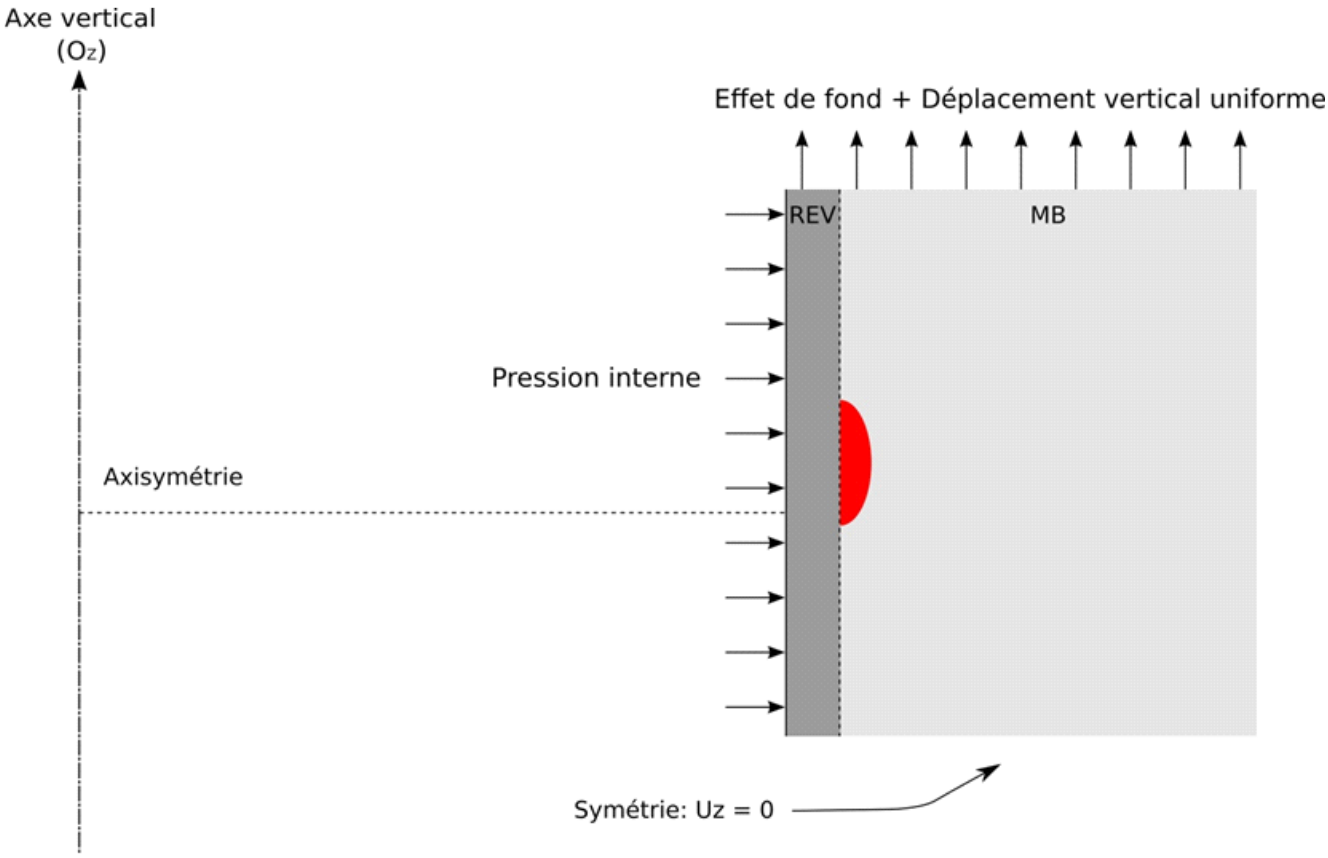
Compte tenu du nombre de points importants constituant le transitoire en pression, celui-ci n'est pas présenté.

Les conditions limites du problème mécanique sont résumées sur la Figure ci-après et se décomposent comme suit :

- pression fluide en paroi interne,
- symétrie selon l'axe $Oz$ sur le segment inférieur,
- effet de fond ainsi que déplacement uniforme selon l'axe $Oz$ sur le segment supérieur.



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)




# 2 Solution de référence

## 2.1 Résultats de référence

Les résultats de référence sont ceux issus d'un calcul similaire effectué à partir de l'outil d'analyse de nocivité de défauts CUVE1D.

## 2.2 Incertitude sur la solution

Les incertitudes sur la solution de référence sont estimés à $2\%$ .



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 3 Modélisation A

## 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 2D , axisymétique (SEG3, QUAD8)

## 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1443
Nombre d'éléments : 578 SEG3, 288 QUAD8.

## 3.3 Grandeurs testées et résultats

Ci-dessous la comparaison des résultats *Aster* par rapport aux résultats de référence.

### 3.3.1 Défaut semi-elliptique d'orientation longitudinale

| Type de valeur | Instant | Type de Référence | Valeur de Référence (Mpa) | Tolérance % |
|---|---|---|---|---|
| K1_MDB | 0.0 | 'AUTRE_ASTER' | 21.12 | 0.75 |
| KCP_MDB | 0.0 | 'AUTRE_ASTER' | 30.44 | 0.5 |
| K1_MDB | 640. | 'AUTRE_ASTER' | 63.96 | 0.75 |
| KCP_MDB | 640. | 'AUTRE_ASTER' | 95.19 | 1.5 |
| K1_MDB | 3400. | 'AUTRE_ASTER' | 23.01 | 0.75 |
| KCP_MDB | 3400. | 'AUTRE_ASTER' | 55.12 | 0.75 |

### 3.3.2 Défaut semi-elliptique d'orientation circonférentielle

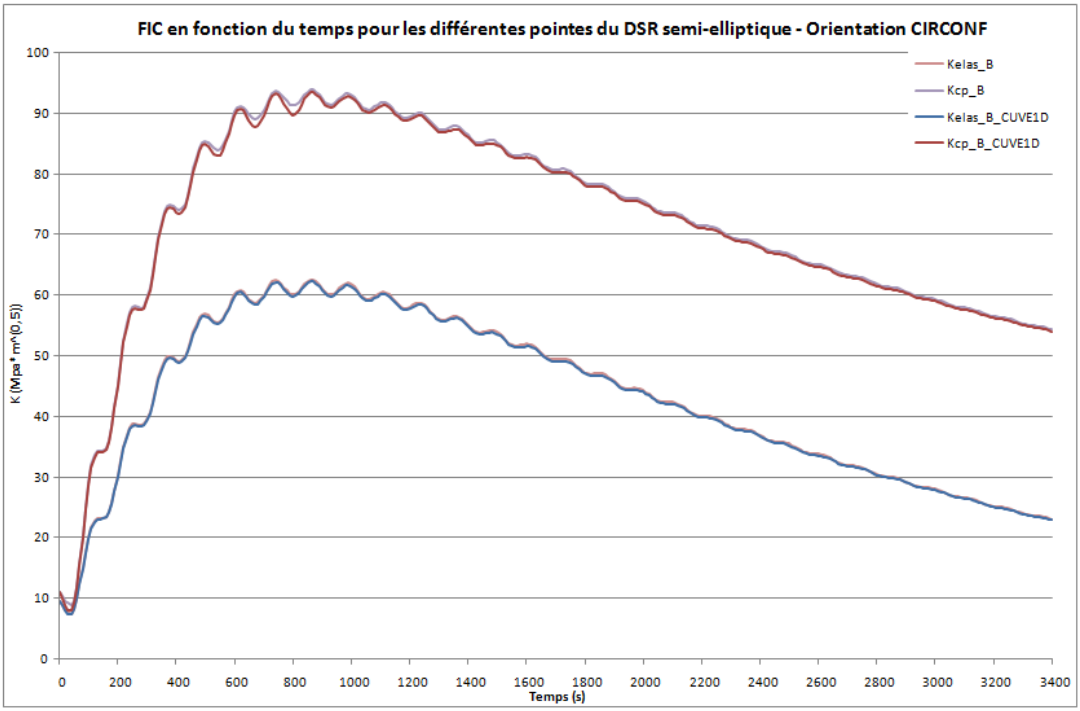
| Type de valeur | Instant | Type de Référence | Valeur de Référence (Mpa) | Tolérance % |
|---|---|---|---|---|
| K1_MDB | 0.0 | 'AUTRE_ASTER' | 9.57 | 0.75 |
| KCP_MDB | 0.0 | 'AUTRE_ASTER' | 11.00 | 0.5 |
| K1_MDB | 640. | 'AUTRE_ASTER' | 59.74 | 0.75 |
| KCP_MDB | 640. | 'AUTRE_ASTER' | 89.61 | 1.2 |
| K1_MDB | 3400. | 'AUTRE_ASTER' | 22.91 | 0.75 |
| KCP_MDB | 3400. | 'AUTRE_ASTER' | 54.05 | 0.75 |

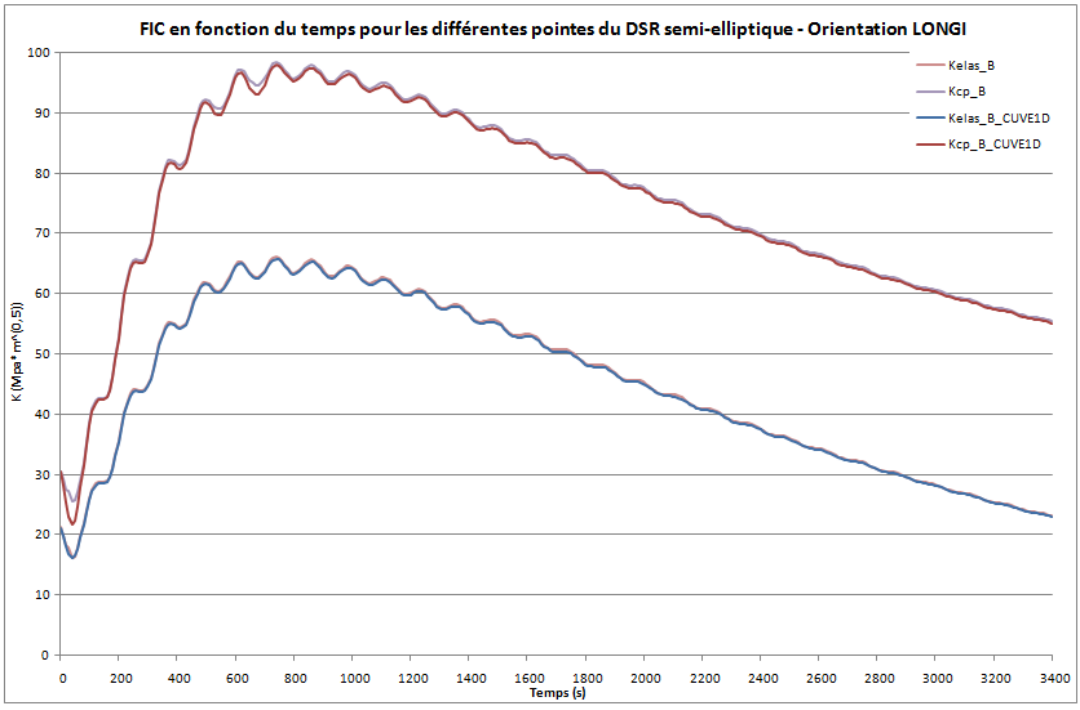


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

## 3.4 Remarques

Sur les figures suivantes sont représentées l'évolution temporelle du facteur d'intensité des contraintes élastique ainsi que l'évolution temporelle du facteur d'intensité des contraintes élasto-plastique (dit « corrigé plastiquement ») au niveau de la pointe B du défaut telles qu'elles sont obtenues avec Code_Aster. Ces évolutions sont également comparées à leurs équivalents fournis dans la solution de référence, les résultats obtenus sont très satisfaisants.






Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 4 Synthèse des résultats

Ce cas test valide l'application de la commande POST_K_BETA au niveau de la pointe B située côté métal de base, dans le cas d'un défaut sous revêtement semi-elliptique d'orientation longitudinale et d'orientation circonférentielle.



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)