# SSNA126 - Calcul de facteur de marge avec un défaut DDR en axisymétrique

**Résumé :**

L'objectif de ce test est de valider la macro-commande POST_FM de calcul de facteur s de marge dans le cas d'une cuve contenant un défaut de type DDR, en modélisation axisymétrique.



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

# 1 Problème de référence

## 1.1 Géométrie

On considère un cylindre creux de rayon extérieur $R_{ext}=2201.5\,mm$, de rayon intérieur $R_{int}=1994\,mm$, de hauteur $h=1200\,mm$, avec un revêtement intérieur d'épaisseur $e=7.5\,mm$.

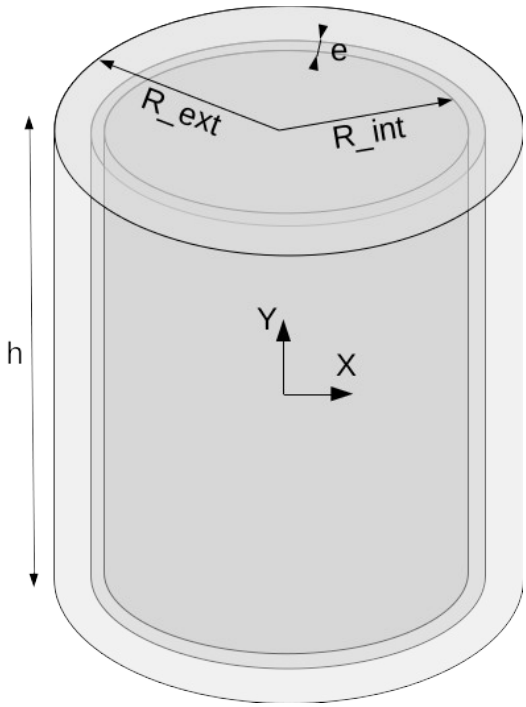



**Figure 1.1-1: Cylindre creux représentant la cuve.**

### 1.1.1 Fissure horizontale

Une fissure horizontale de profondeur $p=4.3\,mm$ est introduite dans la géométrie, générant un fond de fissure $A$ dans le revêtement et un fond de fissure $B$ dans le métal de base de la cuve. Le point $A$ est à mi-hauteur de la cuve et situé à $3.5\,mm$ du bord intérieur.

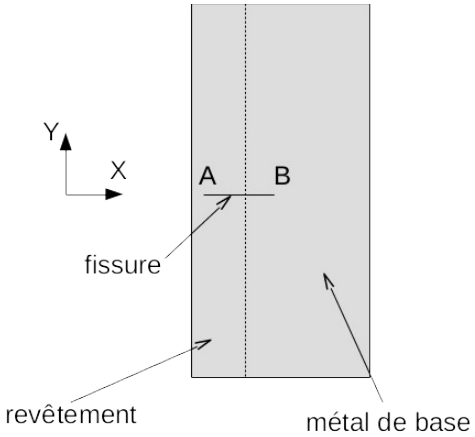



**Figure 1.1.1-1: Vue en coupe de la cuve, avec fissure horizontale.**



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

### 1.1.2 Fissure inclinée à 45°

Une fissure inclinée à $45°$ de profondeur $p=6.1\,mm$ est introduite dans la géométrie, générant un fond de fissure $A$ dans le revêtement et un fond de fissure $B$ dans le métal de base de la cuve. Le point $A$ est à mi-hauteur de la cuve et situé à $3.5\,mm$ du bord intérieur.

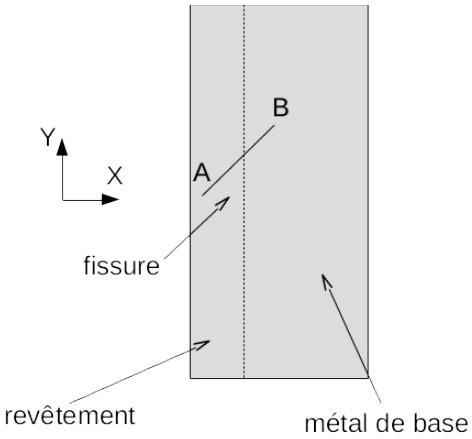
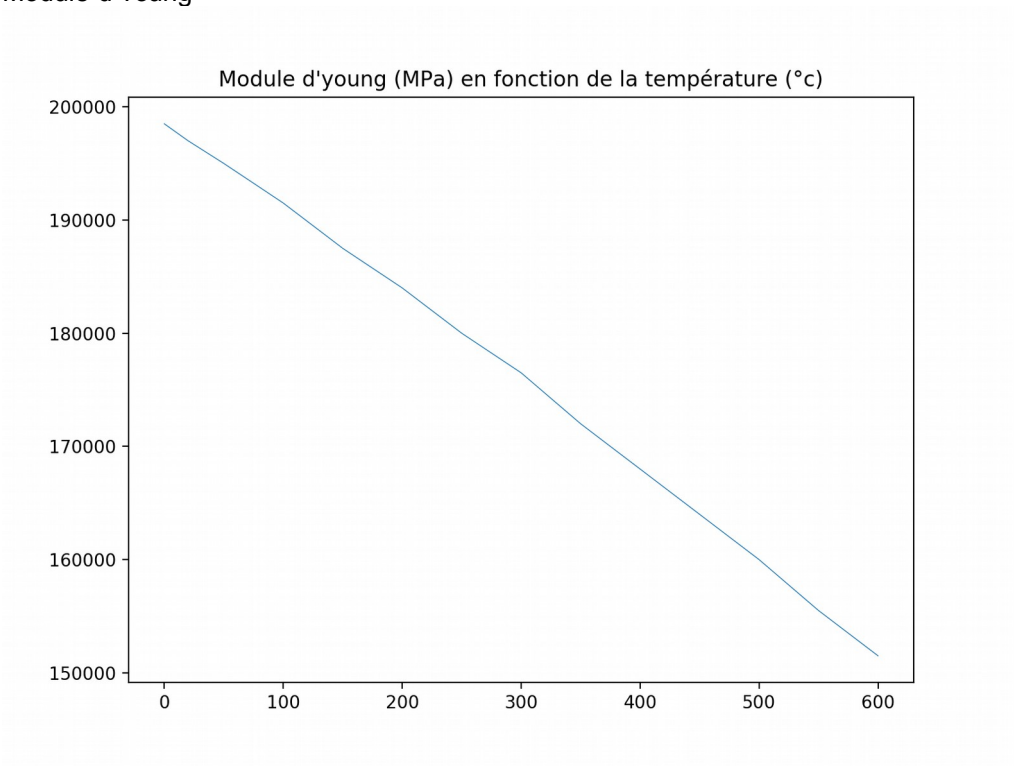



**Figure 1.1.2-1: Vue en coupe de la cuve, avec fissure inclinée.**

## 1.2 Propriétés du matériau

Le matériau est élastique non linéaire donné par des courbes de traction dépendant de la température.

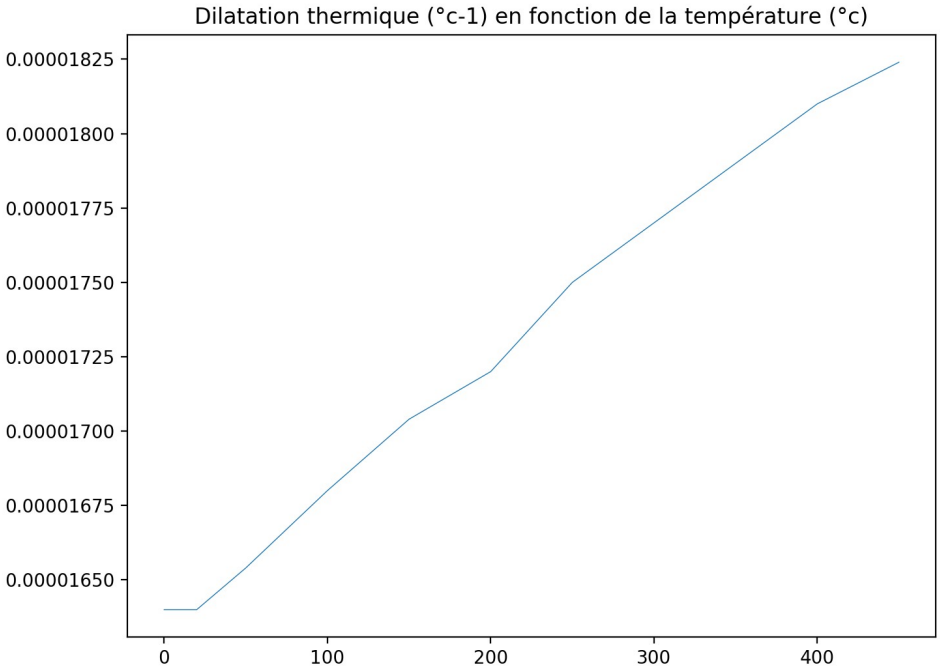
- Coefficient de Poisson $\nu=0.3$
- Module d'Young



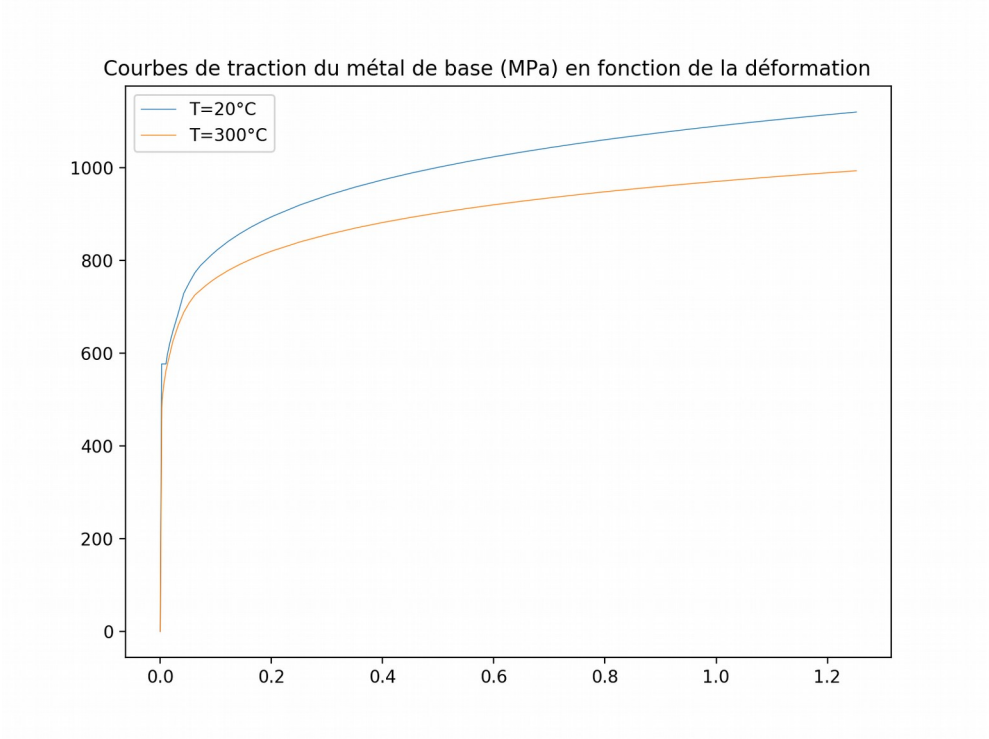



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- Coefficient de dilatation thermique



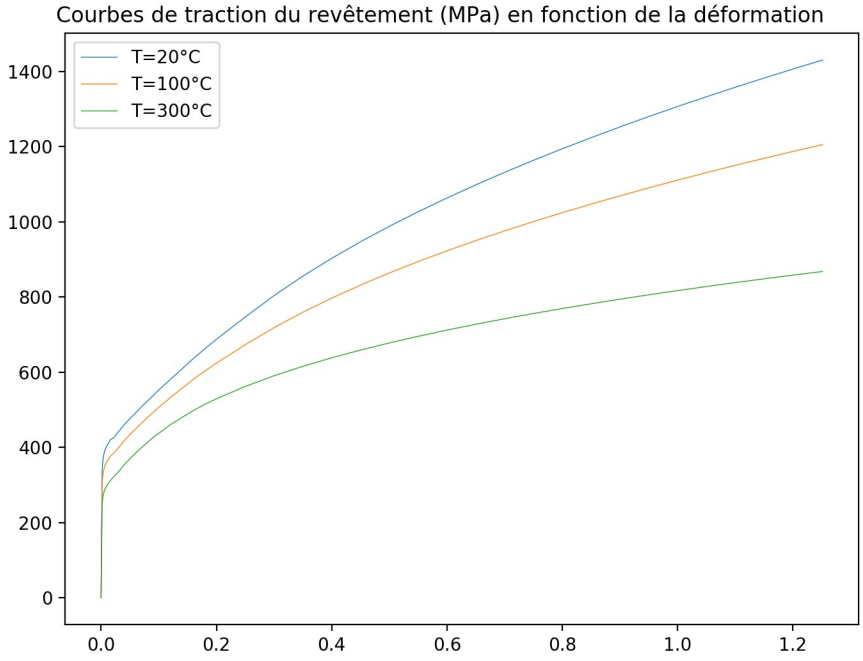

- courbes de traction du métal de base



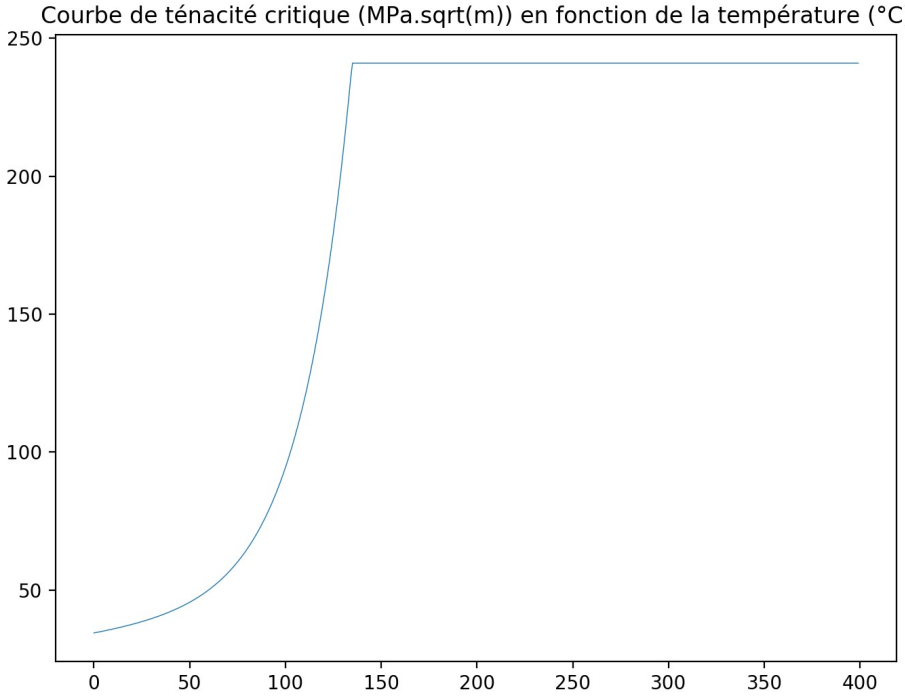



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- courbes de traction du revêtement




La ténacité $K_{IC}$ est donnée sous la forme d'une courbe dépendant de la température, sous le mot clé facteur RUPT_FM de la commande DEFI_MATERIAU, pour le métal de base.

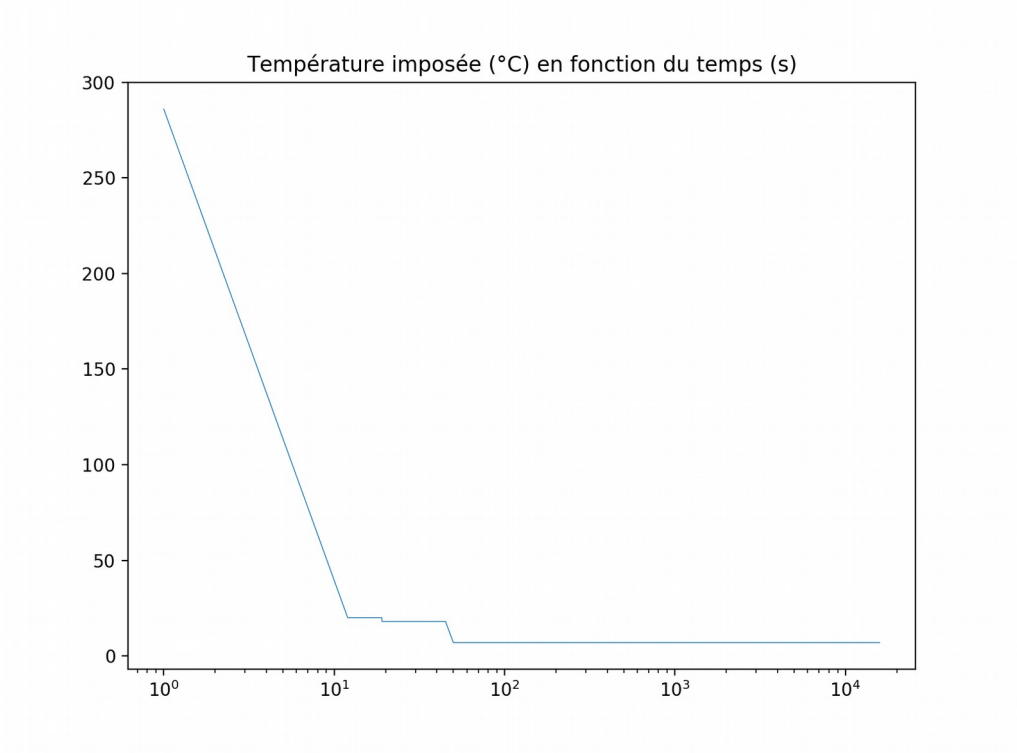



## 1.3 Conditions aux limites et chargements

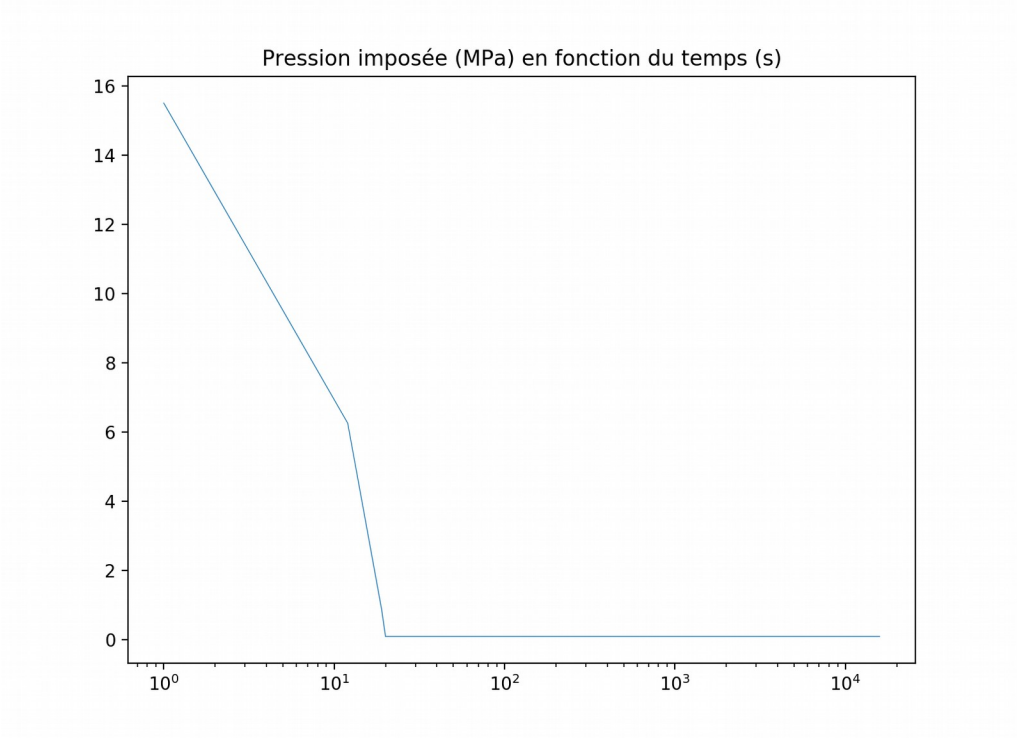


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Un champ de température est obtenu par un calcul thermique. Le profil de température est imposé à l'intérieur de la cuve et varie de 286° à 7°.




On applique un profil de pression à l'intérieur de la cuve.




On bloque les modes de corps rigide.



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

# 2 Solution de référence

## 2.1 Méthode de calcul

L'approche consiste à chaîner les calculs suivants :

- les paramètres de calcul mécanique étant dépendant de la température, un calcul thermique permet de déterminer la variable de commande $TEMP$ ,
- un calcul mécanique en élasticité linéaire,
- un calcul mécanique élastique non linéaire,
- calcul du taux de restitution d 'énergie $G_{ELAS}$ à partir du résultat mécanique linéaire, en fond de fissure $B$ ,
- calcul du taux de restitution d 'énergie $G_{PLAS}$ à partir du résultat mécanique non-linéaire, en fond de fissure $B$ .

Puis les facteurs de marge sont obtenus par post-traitement via python utilisateur des résultats de calcul des taux de restitution d'énergie $G_{ELAS}$ et $G_{PLAS}$ , et de la température $TEMP$ au point $B$ .

On retient les grandeurs suivantes :

1. $KELAS$ : facteur d'intensité des contraintes élastique,
2. $KCP$ : facteur d'intensité des contraintes corrigé plastiquement,
3. $FM_ASN$ : facteur de marge réglementaire.

Ces résultats sont fournis et la validation est de type « AUTRE_ASTER ».

## 2.2 Grandeurs et résultats de référence

On teste les sorties de l'opérateur POST_FM, à savoir les grandeurs suivantes en fond de fissure :

1. $TEMP$ : température en fond de fissure,
2. $KIC$ : ténacité en fond de fissure,
3. $KELAS$ : facteur d'intensité des contraintes élastique,
4. $KPLAS$ : facteur d'intensité des contraintes plastique,
5. $KCP$ : facteur d'intensité des contraintes corrigé,
6. $FM_ASN$ : facteur de marge réglementaire,
7. $FM_PLAS$ : facteur de marge « réaliste ».

## 2.3 Références bibliographiques

[1] Note commune DT / R&D 6125-2111-2018-02348-FR



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

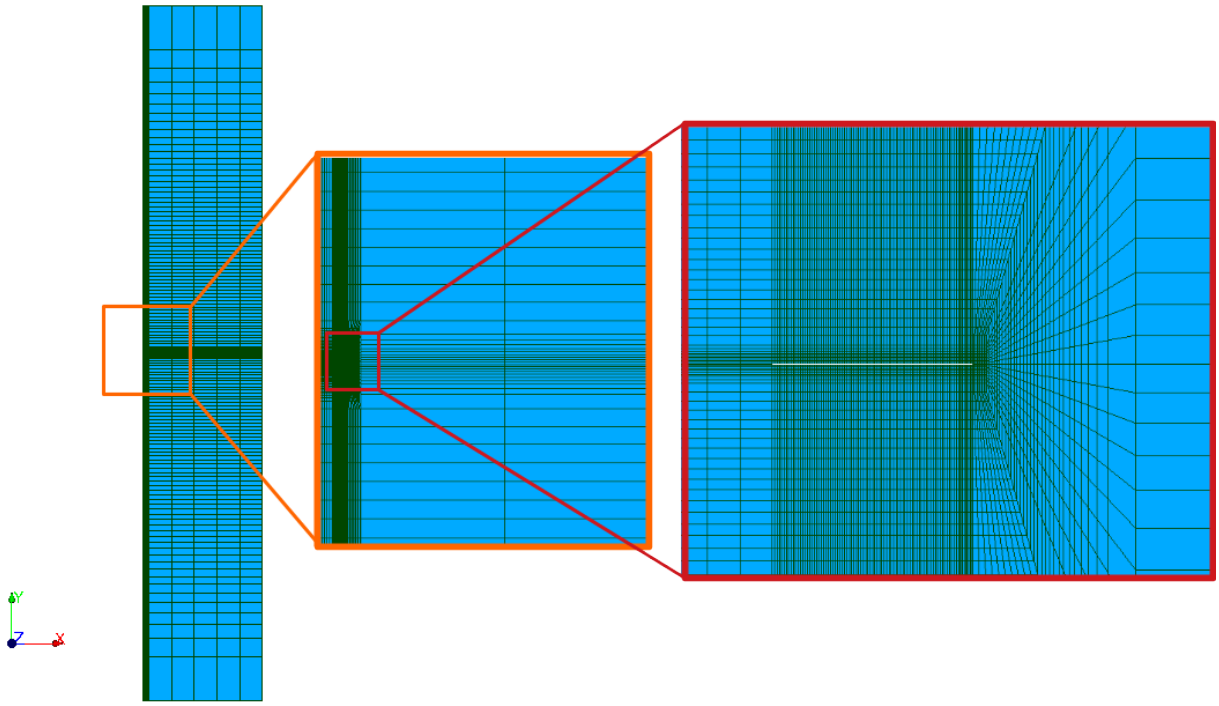
# 3 Modélisation A

## 3.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation AXIS. La fissure est horizontale.

## 3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 22300 éléments de type QUAD8. Le maillage est raffiné au niveau de la fissure et autour du fond de fissure au point $B$ .

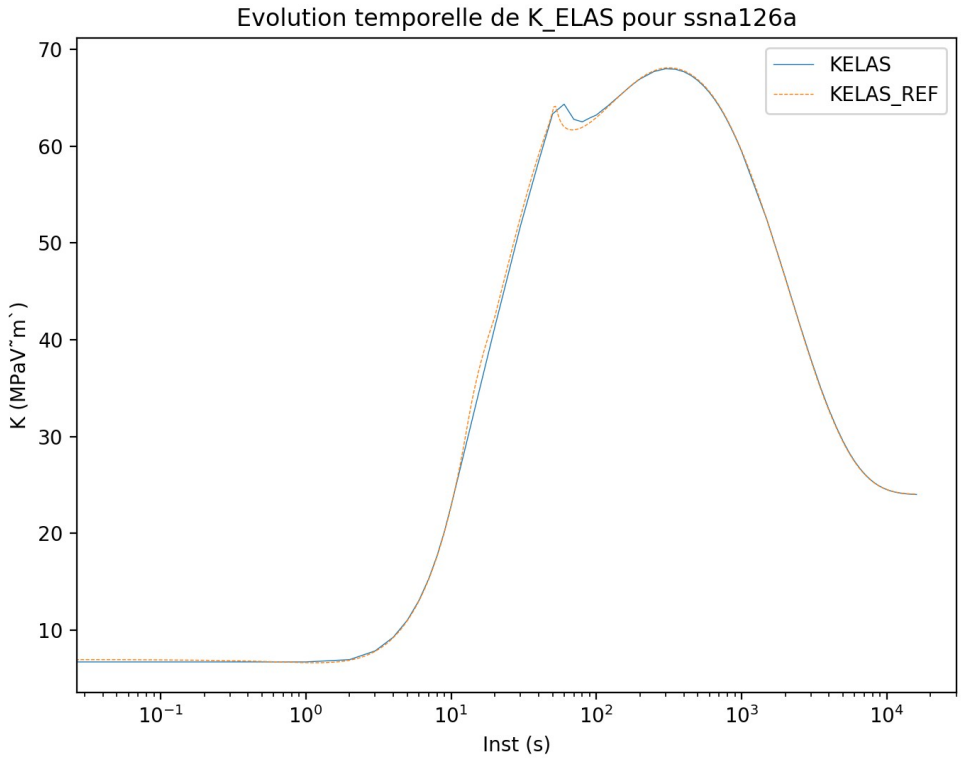


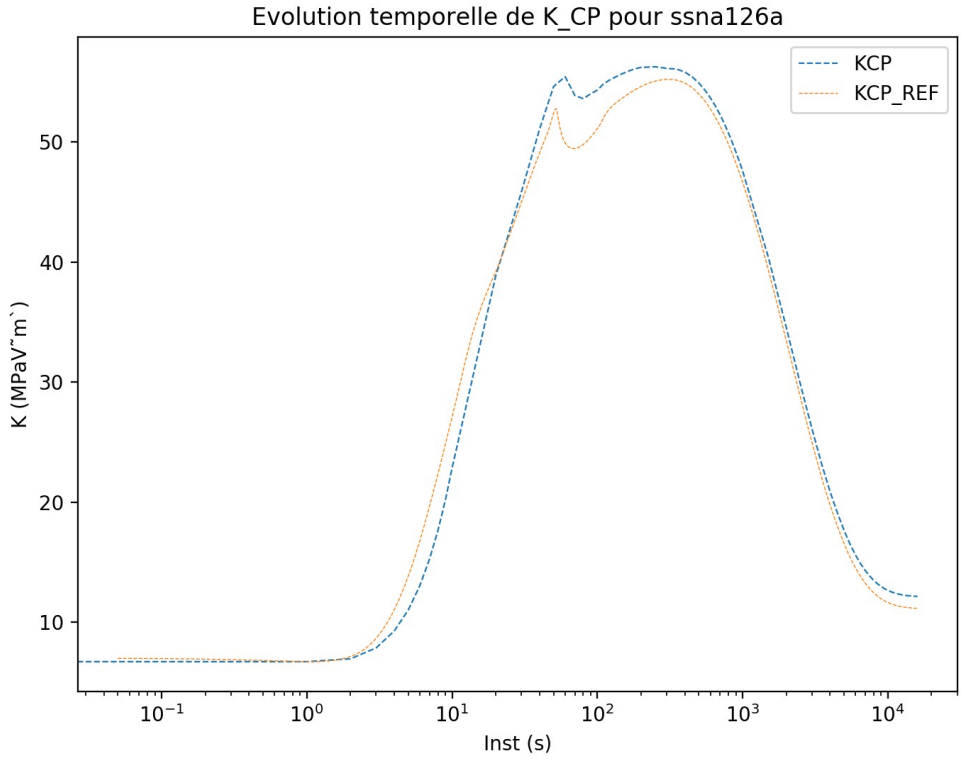
## 3.3 Grandeurs testées et résultats

Les courbes suivantes montrent l'évolution temporelle des grandeurs observées en sortie de l'opérateur POST_FM, ainsi que les valeurs de référence.



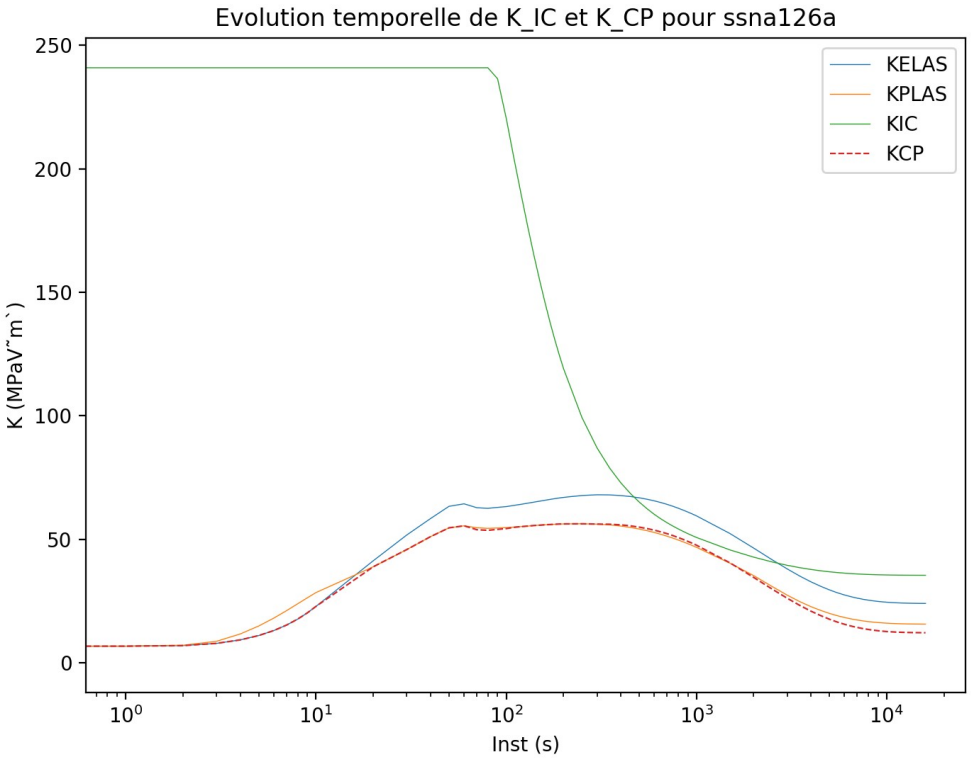
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

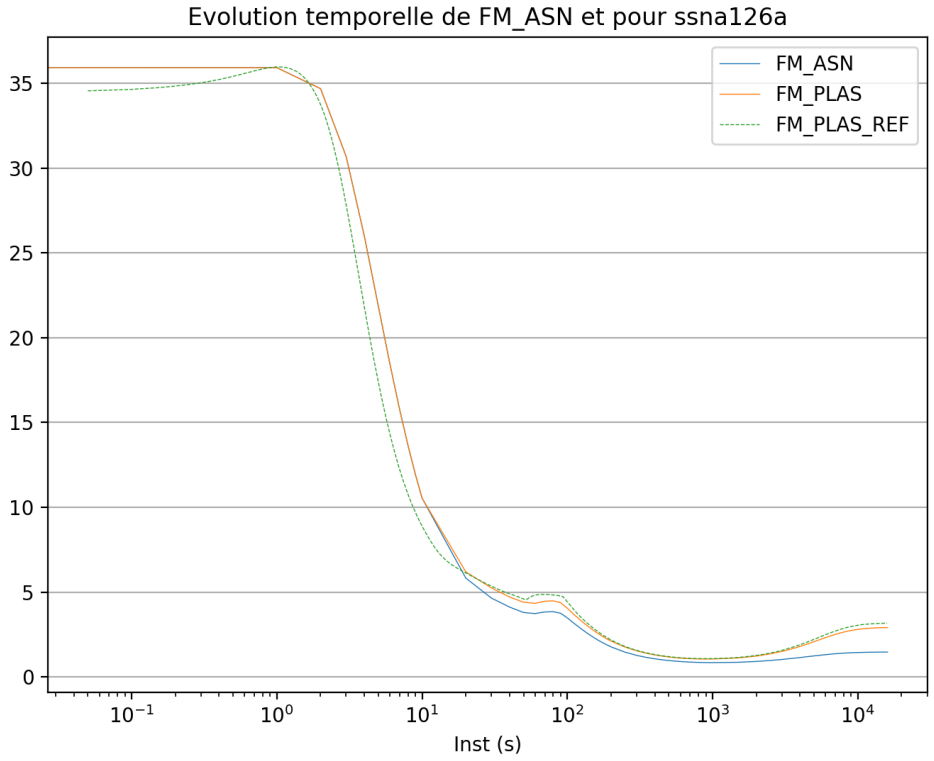





Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)




On teste la table de sortie de l'opérateur POST_FM. Cette table est obtenue au point $B$ .



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

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | Précision |
|---|---|---|---|
| $MIN - TEMP$ | 'NON_REGRESSION' | 7.0527100 | 1e-06 |
| $MIN - KIC$ | 'NON_REGRESSION' | 1120.2936 | 1e-06 |
| $MAX - KELAS$ | 'AUTRE_ASTER' | 2154.0 | 0.2 % |
| $MAX - KPLAS$ | 'NON_REGRESSION' | 1779.6094 | 1e-06 |
| $MAX - KCP$ | 'AUTRE_ASTER' | 1746.6 | 2 % |
| $MIN - FM_ASN$ | 'NON_REGRESSION' | 0.8529907 | 1e-06 |
| $MIN - FM_PLAS$ | 'AUTRE_ASTER' | 1.0838 | 2 % |
| $INST=900 - FM_PLAS$ | 'NON_REGRESSION' | 1.0635249 | 1e-06 |

## 3.4 Remarques

Le maillage étant en $mm$ , les dimensions sont données en $mm$ et les pressions en $MPa$ . L'unité de la ténacité et des facteurs d'intensité des contraintes s'exprime en $MPa\sqrt{mm}$ . Il faut diviser ces valeurs par $\sqrt{1000}$ pour les convertir dans l'unité plus utilisée classiquement : le $MPa\sqrt{m}$ .

On est bien dans le cas d'un défaut de type DDR , défini par la condition $max(KELAS)>max(KPLAS)$ .

La valeur de référence a été calculée via la formule qui détermine $FM_PLAS$ dans le cas d'un DDR. Cette grandeur correspond au facteur de marge réaliste.

Le test informatique zzzz125a est construit à partir des données d'entrée de cette modélisation.



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

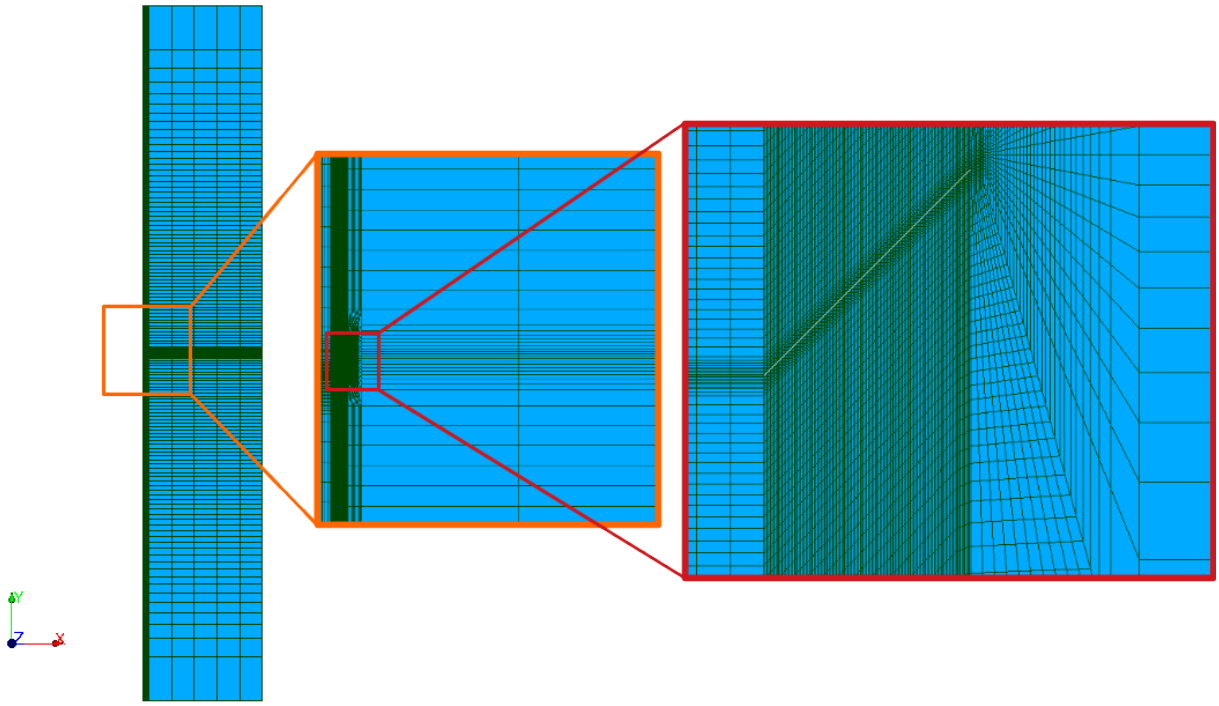
# 4 Modélisation B

## 4.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation AXIS. La fissure est inclinée à 45°.

## 4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 29100 éléments de type QUAD8. Le maillage est raffiné au niveau de la fissure et autour du fond de fissure au point $B$ .

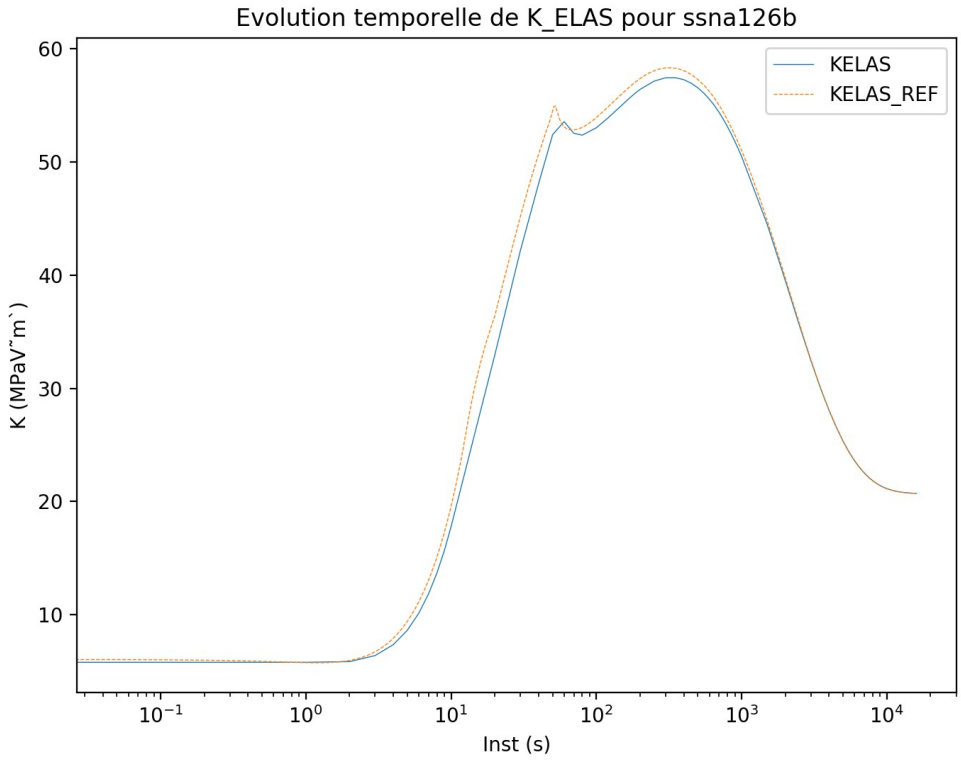


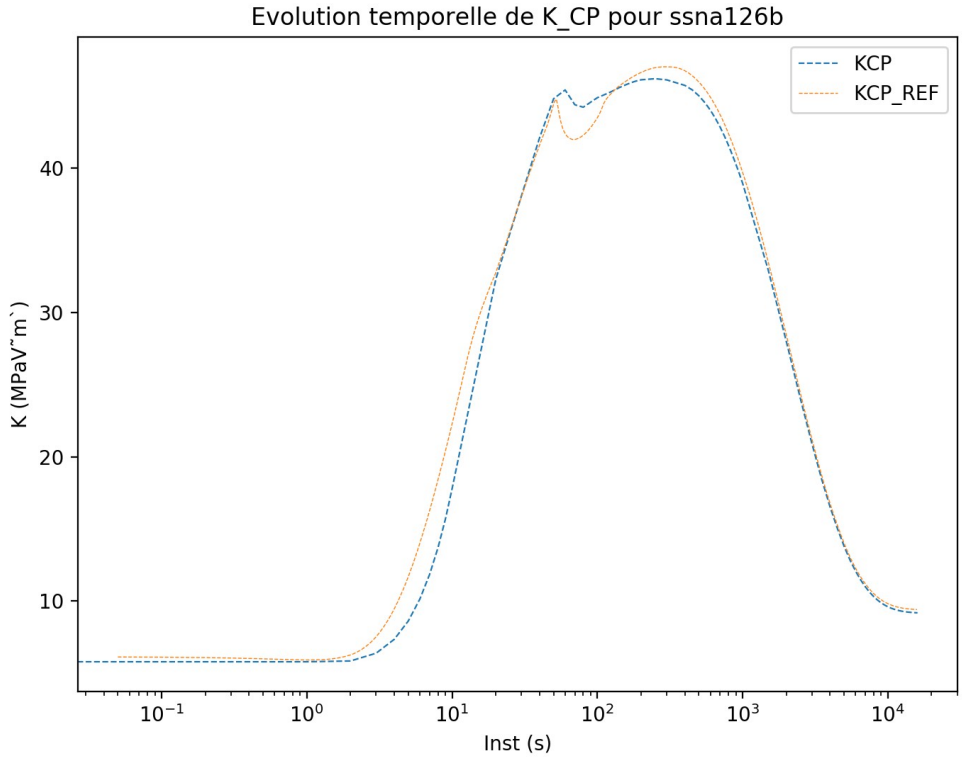
## 4.3 Grandeurs testées et résultats

Les courbes suivantes montrent l'évolution temporelle des grandeurs observées en sortie de l'opérateur POST_FM, ainsi que les valeurs de référence.



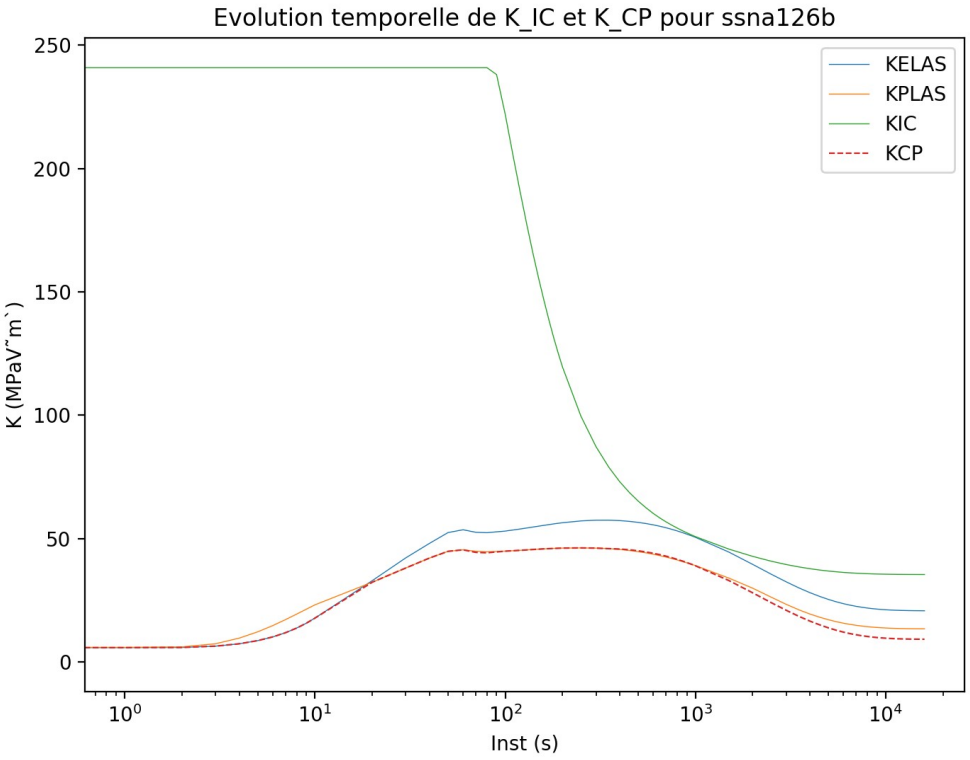
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

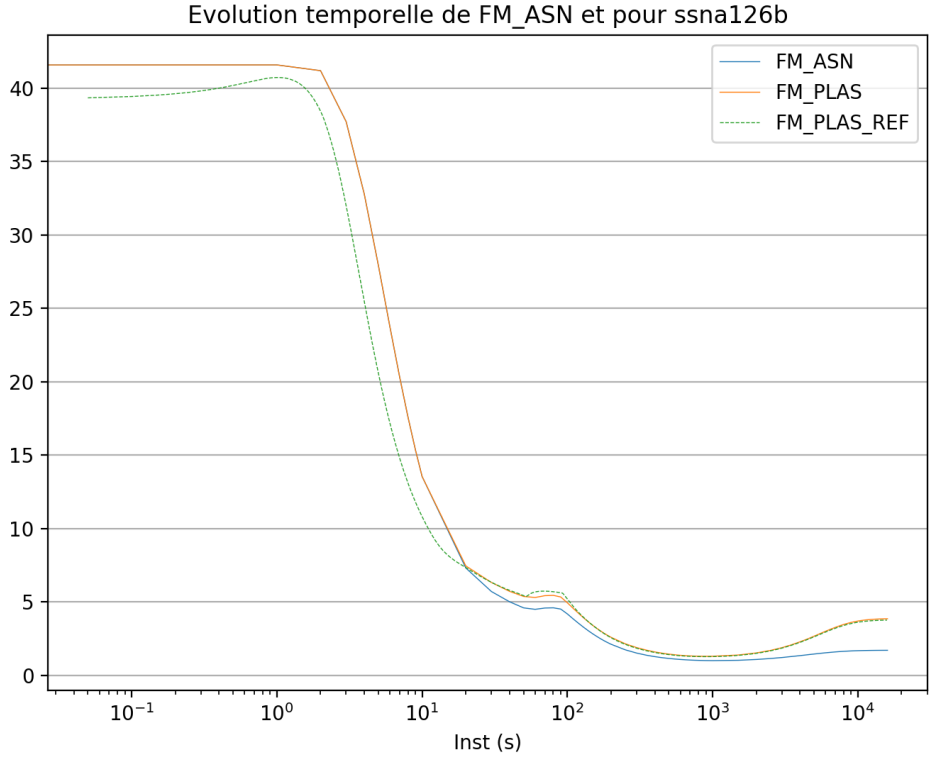





Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)




On teste la table de sortie de l'opérateur POST_FM. Cette table est obtenue au point $B$ .



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

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | Précision |
|---|---|---|---|
| $MIN - TEMP$ | 'NON_REGRESSION' | 7.0528952 | 1e-06 |
| $MIN - KIC$ | 'NON_REGRESSION' | 1120.2944 | 1e-06 |
| $MAX - KELAS$ | 'AUTRE_ASTER' | 1844.7 | 2 % |
| $MAX - KPLAS$ | 'NON_REGRESSION' | 1461.2645 | 1e-06 |
| $MAX - KCP$ | 'AUTRE_ASTER' | 1487.5 | 2 % |
| $MIN - FM_ASN$ | 'NON_REGRESSION' | 1.0055999 | 1e-06 |
| $MIN - FM_PLAS$ | 'AUTRE_ASTER' | 1.2731 | 3 % |
| $INST=900 - FM_PLAS$ | 'NON_REGRESSION' | 1.2997255 | 1e-06 |

## 4.4 Remarques

Le maillage étant en $mm$ , les dimensions sont données en $mm$ et les pressions en $MPa$ . L'unité de la ténacité et des facteurs d'intensité des contraintes s'exprime en $MPa\sqrt{mm}$ . Il faut diviser ces valeurs par $\sqrt{1000}$ pour les convertir dans l'unité plus utilisée classiquement : le $MPa\sqrt{m}$ .

On est bien dans le cas d'un défaut de type DDR , défini par la condition $KELAS > KPLAS$ .

La valeur de référence a été calculée via la formule qui détermine $FM_PLAS$ dans le cas d'un DDR . Cette grandeur correspond au facteur de marge réaliste. Notons que dans ce cas, facteur de marge réglementaire $FM_ASN$ est supérieur à 1, ce qui signifie que la tenue mécanique serait satisfaite dans ce cadre.



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

# 5 Synthèse des résultats

Ce test permet bien de valider les calculs de facteur de marge via l'opérateur POST_FM dans le cadre d'un défaut de type DDR en axisymétrique.
Les écarts obtenus entre les références données et les résultats du cas tests se justifient d'une part par la discrétisation temporelle plus grossière, qui ne permet pas de capturer les profils des chargements imposés. Le champ de température obtenu influence alors toutes les grandeurs de sortie. D'autre part l'implémentation du calcul de $KCP$ par l'opérateur POST_FM est différente des choix faits à l'origine pour l'obtention des résultats de référence.



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