# HSNA105 - Expansion d'un cylindre creux infini avec prise en compte des dissipations thermiques dues aux déformations mécaniques

**Résumé :**

L'objectif de ce test est de valider la mise en place d'un couplage thermomécanique avec prise en compte des dissipations thermiques dues aux déformations mécaniques comme source de chaleur dans l'équation de la thermique. Le couplage est réalisé via la méthode classique de la littérature dite de schéma étagé isotherme.

Ce cas test comporte deux modélisations qui correspondent à deux transitoires physiques distincts décrits dans la littérature [2] :

- modélisation A : Cas thermoélastique où l'expansion d'un cylindre provoque son refroidissement ;
- modélisation B : Cas thermoélastoplastique où l'effet de dissipation plastique compense l'effet précédent et entraîne le réchauffement global du cylindre.

Les résultats obtenus sont en bonne corrélation.



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 infini.

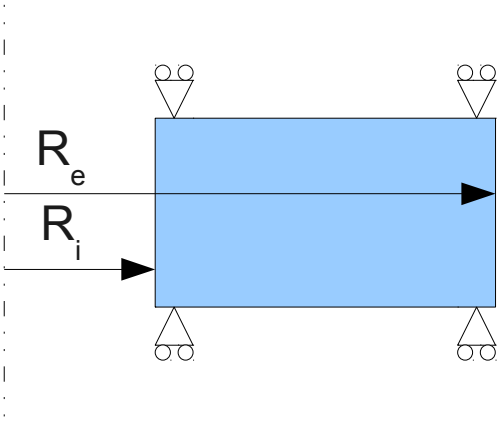



**Figure 1 : Géométrie du cylindre creux**

***Modélisation A :***

Les propriétés géométriques sont :
- Rayon interne $R_i = 10\,mm$
- Rayon externe $R_e = 20\,mm$

***Modélisation B :***

Les propriétés géométriques sont :
- Rayon interne $R_i = 100\,mm$
- Rayon externe $R_e = 200\,mm$

## 1.2 Propriétés du matériau

Les matériaux utilisés dans les calculs utilisent la loi de comportement `VMIS_JOHN_COOK`. Sa fonction d'écrouissage s'écrit de la manière suivante [1] :

$$R(p,\dot{p},T) = \left(A + B\,p^n\right)\left(1 + C\ln\left(\frac{\dot{p}}{\dot{p}_0}\right)\right)\left(1 - \left(\frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}}\right)\right)$$

Nous n'utiliserons pas les termes liés à la dépendance à la température et à la vitesse de déformation plastique. On travaillera alors avec :

$$R(p) = A + B\,p^n$$



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

***Modélisation A :***

On modélise une loi de comportement élastique. On utilise les paramètres mécaniques et thermiques suivants :

- Module d'Young $E=206900\,MPa$
- Coefficient de Poisson $\nu=0.29$
- Limite d'élasticité $A=5.10^{100}\,Pa$
- Pente post-élastique $B=2.10^{10}\,Pa$
- Puissance post-élastique $n=1$
- Masse volumique $\rho=7800\,kg/m^3$
- Coefficient de dilatation $\alpha=1{,}5.10^{-5}\,K^{-1}$
- Conductivité $\lambda=45\,W/(m.K)$
- Capacité calorifique $C_p=460\,J/(kg.K)$
- Température de référence $T_{ref}=293\,K$

***Modélisation B :***

On modélise une loi de comportement élastoplastique équivalente à une loi VMIS_ISOT_LINE . On utilise les paramètres mécaniques et thermiques suivants :

- Module d'Young $E=70000\,MPa$
- Coefficient de Poisson $\nu=0.3$
- Limite d'élasticité en fonction de la température $A(T)=A(T_{ref})(1-w(T-T_{ref}))$
- Limite d'élasticité à la température de référence $A(T_{ref})=70\,MPa$
- Coefficient d'adoucissement linéaire $w=3.10^{-4}\,K^{-1}$
- Pente post-élastique $B=210\,MPa$
- Puissance post-élastique $n=1$
- Masse volumique $\rho=2700\,kg/m^3$
- Coefficient de dilatation $\alpha=2{,}38.10^{-5}\,K^{-1}$
- Conductivité $\lambda=150\,W/(m.K)$
- Capacité calorifique $C_p=900\,J/(kg.K)$
- Température de référence $T_{ref}=293\,K$

## 1.3 Conditions aux limites et chargements

***Modélisation A :***

On impose un déplacement radial de $20\,mm$ à la face interne du cylindre à la vitesse de $1\mathrm{mm}/s$. La température de la face externe est imposée à $T_{ref}$. Les autres faces du cylindre sont considérées comme thermiquement isolées. Le comportement est thermoélastique et l'expansion d'un cylindre provoque donc son refroidissement.

***Modélisation B :***

La surface du cylindre est considéré comme thermiquement isolée. Le déplacement de la face interne du cylindre est de $130\,mm$ appliqué en $1{,}3\,s$. Le comportement est thermoélastoplastique et l'effet de dissipation plastique compense l'effet précédent de refroidissement thermo-élastique pour entraîner le réchauffement global du cylindre.

## 1.4 Conditions initiales

La température du cylindre est égale à $T_{ref}$.



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

# 2 Solution de référence

## 2.1 Méthode de calcul

Les solutions de références pour chacun des deux problèmes sont issus des courbes présentées dans la thèse de L. ADAM. Ces résultats ont été obtenus à l'aide du logiciel METAFOR, développé par l'Université de Liège.

## 2.2 Références bibliographiques

[1] Document U4.43.01, Opérateur DEFI_MATERIAU , manuel d'Utilisation de *Code_Aster*.

[2] L. ADAM, "Modélisation du comportement thermo-élasto-viscoplastique des métaux soumis à grandes déformations. Application au formage superplastique.", Thèse de doctorat, Université de Liège, 2003.

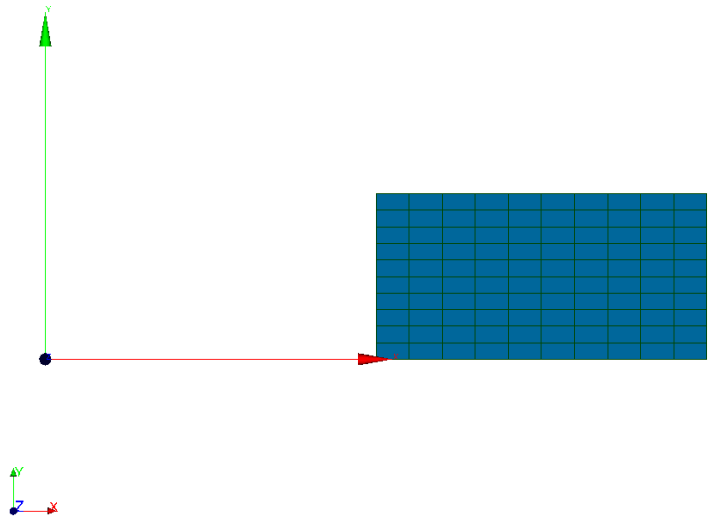


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 3 Modélisation A

## 3.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation AXIS_DIAG pour la thermique et une modélisation AXIS_SI pour la mécanique. Le test introduisant de grandes déformations, on utilise le formalisme GDEF_LOG.



## 3.2 Caractéristiques des maillages

On utilise deux maillages (un pour chaque phénomène).
Pour la thermique, on utilise un maillage d'éléments à interpolation linéaire :

- 100 éléments de type QUAD 4 .
- 121 nœuds .

Pour la mécanique , on utilise un maillage d'éléments à interpolation quadratique :

- 100 éléments de type QUAD 8 .
- 341 nœuds .

## 3.3 Grandeurs testées et résultats

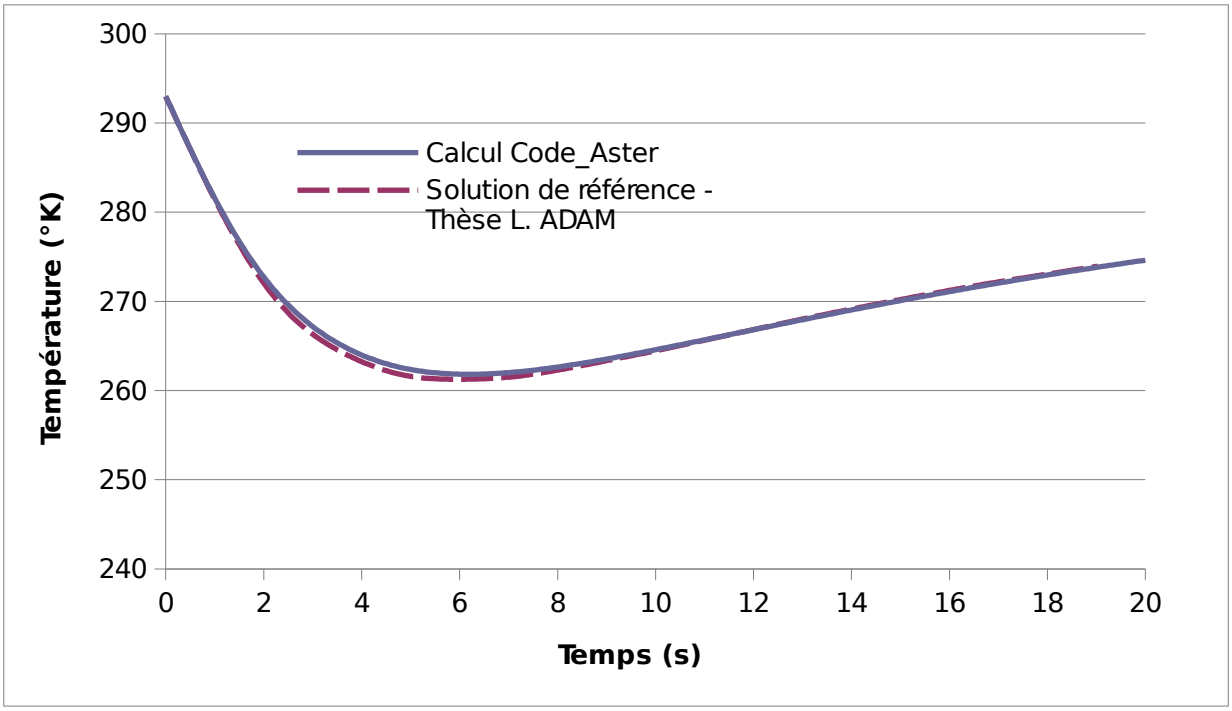
On teste la température sur la paroi interne du cylindre à l'instant $t=6\text{s}$ , qui correspond au pic de refroidissement du cylindre.

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|
| Température en paroi interne | 'SOURCE_EXTERNE' | 261,5 | 0,2% |



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

Nous avons tracé l'évolution de la température de la face interne du cylindre au cours du calcul et nous l'avons comparé au résultat de L. ADAM. On peut voir que nous retrouvons les mêmes résultats.




## 3.4 Remarques

Les résultats obtenus avec le couplage introduit dans Code_Aster donne de bons résultats.

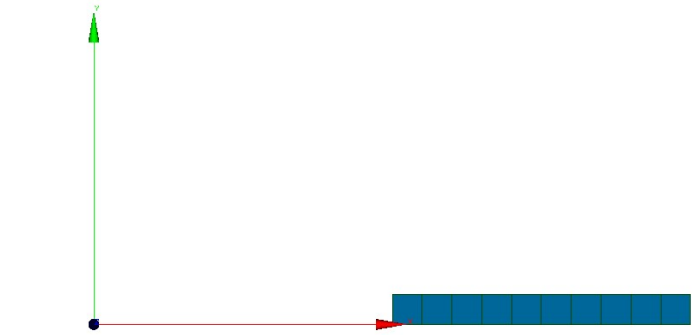


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 4 Modélisation B

## 4.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation AXIS_DIAG pour la thermique et une modélisation AXIS_SI pour la mécanique. Le test introduisant de grandes déformations, on utilise le formalisme GDEF_LOG.





## 4.2 Caractéristiques des maillages

On utilise deux maillages (un pour chaque phénomène).
Pour la thermique, on utilise un maillage d'éléments à interpolation linéaire :

- 22 éléments de type QUAD 4 .
- 22 nœuds .

Pour la mécanique , on utilise un maillage d'éléments à interpolation quadratique :

- 22 éléments de type QUAD 8 .
- 53 nœuds .

## 4.3 Grandeurs testées et résultats

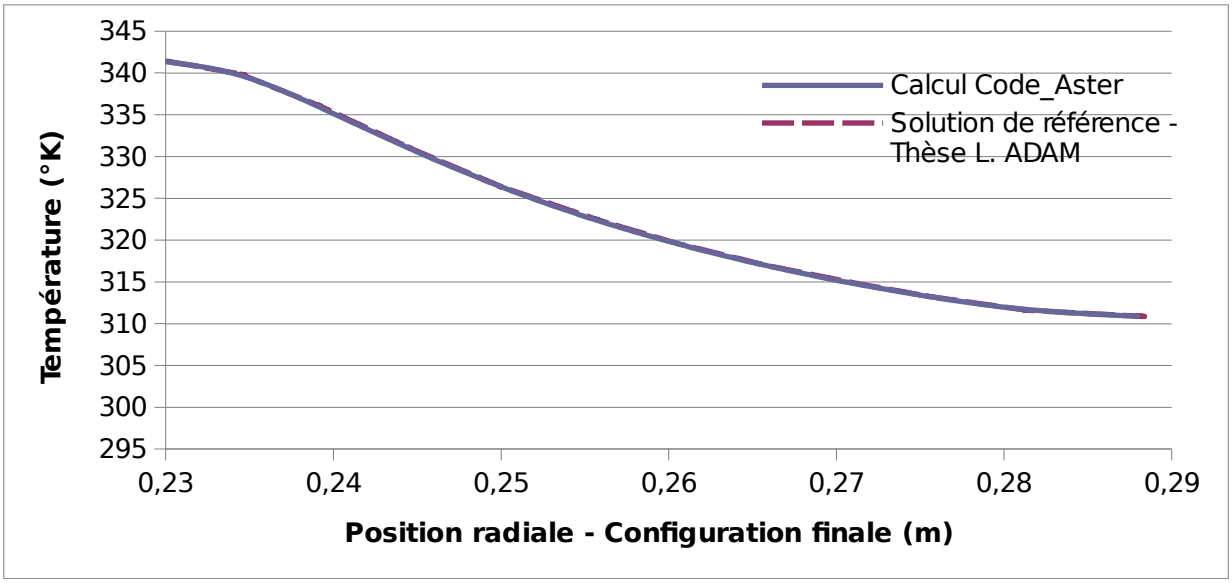
On teste la température sur la paroi interne du cylindre en fin de transitoire.

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|
| Température en paroi interne | 'SOURCE_EXTERNE' | 341,44 | 0,1% |



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

Nous avons la température dans l'épaisseur du cylindre en fin de calcul et nous l'avons comparé au résultat de L. ADAM. On peut voir que nous retrouvons les mêmes résultats.




## 4.4 Remarques

Les résultats obtenus avec le couplage introduit dans Code_Aster donne de bons résultats.



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

# 5 Synthèse des résultats

La méthode de couplage thermomécanique implantée dans les cas tests de *Code_Aster* permet de retrouver des résultats cohérents à ceux de la littérature. La démarche développée dans ces cas tests est suffisamment générique pour être appliquée à n'importe quelle situation.



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