SSNV267 – Sollicitation multiaxiale de la loi KICHENIN_NL : partie viscoélastique

Résumé :

Ce test a pour but de valider l'algorithme d'intégration de la loi de comportement KICHENIN_NL pour sa partie viscoélastique non linéaire. Le problème étudié correspond à un point matériel ; le mode de sollicitation est tel qu'il existe une solution analytique y compris dans le cas non linéaire.

Le problème n'est mis en œuvre qu'en 3D (modélisation A) dans la mesure où la programmation de la relation de comportement ne dépend pas de la dimension d'espace et qu'il n'existe de formulation spécifique ni pour les contraintes planes, ni pour le 1D.

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

1 Problème de référence

Le problème est détaillé dans la référence [1], en particulier l'obtention de la solution analytique. On ne présente ici qu'une description succincte de ses principales caractéristiques. Précision dès maintenant que seule la branche viscoélastique du modèle de comportement KICHENIN_NL est mobilisée ; la branche élastoplastique se limite à de l'élasticité par l'introduction d'un seuil de plasticité suffisamment élevé. La validation de cette seconde branche est réalisée dans [V6.04.268]. Les deux branches étant parallèles, il n'y a pas de couplage autre que la somme des contraintes et des opérateurs tangents, ce qui justifie ce choix de validation.

1.1 Géométrie

Il s'agit d'un test de type « point matériel ». Il s'appuie sur la commande SIMU_POINT_MAT.

1.2 Propriétés du matériau

Le matériau obéit à la loi de comportement visco é lastique K ICHENIN _NL avec comme caractéristiques :

$E^p = 400\,\mathrm{MPa}$	Module d'Young de la branche plastique
$\nu^p = 0.15$	Coefficient de Poisson de la branche plastique
$E^v = 800\,\mathrm{MPa}$	Module d'Young de la branche viscoélastique
$\nu^v = 0.3$	Coefficient de Poisson de la branche viscoélastique
$\nu^d = 0.25$	Coefficient de Poisson de l'amortisseur non linéaire
$n = 0.5$	Exposant de l'amortisseur non linéaire ($\gamma = 2$)
$\eta = 200\,\mathrm{MPa.s}^{1/2}$	Coefficient de viscosité de l'amortisseur non linéaire

1.3 Conditions aux limites et chargements

I l s'agit d'un chargement en c ontraintes imposées dont on verra l'expression au § 2. 1. Il s'appuie sur deux paramètres : un temps caractéristique t_c qui conditionne la vitesse de chargement et une sollicitation en contraintes de l'amortisseur $\boldsymbol{\sigma}^0$.

$t_c = 2.5\,\mathrm{s}$ Temps caractéristique du chargement

$$\boldsymbol{\sigma}^0 = \frac{10}{\sqrt{1.87}} \begin{bmatrix} 1.0 & 0.1 & 0.3 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 \\ 0.3 & 0.5 & 0.4 \end{bmatrix} \mathrm{MPa}$$ Sollicitation de l'amortisseur (en MPa)

1.4 Conditions initiales

L e système est considéré dans son état n aturel à $t = 0$. En particulier la déformation viscoélastique est nulle.

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

On s'appuie sur la méthodologie décrite dans [1] dont on ne présente ici que les résultats nécessaires pour le test. On impose la contrainte suivante :

$$\boldsymbol{\sigma}(t)=s(\frac{t}{t_c})\boldsymbol{\sigma}^{\mathbf{0}}+e^{v}(\frac{t}{t_c})\mathbb{C}^{p}:\boldsymbol{\varepsilon}^{\mathbf{0}}+s(\frac{t}{t_c})\mathbb{C}^{p}:\mathbb{C}^{v-1}:\boldsymbol{\sigma}^{\mathbf{0}}$$

o ù :

$\boldsymbol{\sigma}^{\mathbf{0}}$	sollicitation appliquée à l'amortisseur (paramètre d'entrée du test)
t_c	temps caractéristique du chargement (paramètre d'entrée du test)
$\mathbb{C}^{p}$ et $\mathbb{C}^{v}$	opérateurs d'élasticité des branches plastique et viscoélastique

et

$$s(\bar{t})=\min(\bar{t},1)$$

$$e^{v}(\bar{t})=\begin{cases}\dfrac{\bar{t}^{\gamma+1}}{\gamma+1} & \text{si } \bar{t}\leq 1\\ \dfrac{1}{\gamma+1}+\bar{t}-1 & \text{si } \bar{t}\geq 1\end{cases}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{\mathbf{0}}=\frac{t_c}{\eta^{\gamma}}\left[\boldsymbol{\sigma}^{\mathbf{0}}:\boldsymbol{V}:\boldsymbol{\sigma}^{\mathbf{0}}\right]^{\frac{\gamma-1}{2}}\boldsymbol{V}:\boldsymbol{\sigma}^{\mathbf{0}}$$

$$\boldsymbol{V}:\boldsymbol{\sigma}^{\mathbf{0}}=(1+\nu^{d})\boldsymbol{\sigma}^{\mathbf{0}}-\nu^{d}\,\mathrm{tr}(\boldsymbol{\sigma}^{\mathbf{0}})\boldsymbol{I}$$

L a déformation en réponse à cette sollicitation est alors la suivante :

$$\boldsymbol{\varepsilon}(t)=e^{v}(\frac{t}{t_c})\boldsymbol{\varepsilon}^{\mathbf{0}}+s(\frac{t}{t_c})\mathbb{C}^{v-1}:\boldsymbol{\sigma}^{\mathbf{0}}$$

L a déformation visqueuse et la déformation visqueuse équivalente valent :

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{v}(t)=e^{v}(\frac{t}{t_c})\boldsymbol{\varepsilon}^{\mathbf{0}} \quad ; \quad \varepsilon^{v}_{eq}(t)=e^{v}(\frac{t}{t_c})\sqrt{\frac{2}{3}\boldsymbol{\varepsilon}^{\mathbf{0}}:\boldsymbol{\varepsilon}^{\mathbf{0}}}$$

2.2 Résultats de référence

On s'assurera que la déformation, la déformation visqueuse et la déformation visqueuse cumulée à l'instant $t=2t_c$ correspondent bien aux valeurs analytiques à 1 % près en découpant le chargement en 100 pas ($\Delta t=2t_c/100$).

2.3 Incertitudes sur la solution

Néant.

2.4 Références bibliographiques

[1] E. Lorentz (2022) TUYAUTERIE 3 - Relation de comportement robuste dédiée aux calculs de structure en polyéthylène. Note interne EDF 6125-1723-2022-00150.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'une modélisation 3 D .

3.2 Caractéristiques du maillage

Il s'agit d'un point matériel : il n'y a aucun maillage

3.3 Grandeurs testées et résultats de la modélisation A

On teste la d éformation, la déformation visqueuse (V9 - V14) et la déformation visqueuse cumulée (V8) à l'issue du chargement.

Identification	Référence	Type	Tolérance
EP XX	0.012 364	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-2}
EPYY	- 0.002 863	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-2}
EPZZ	0.000 944	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-2}
EPXY	0.001 903	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-2}
EP X Z	0.005 710	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-2}
EPYZ	0.009 517	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-2}
V8	0.006 446	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-2}
V9	0.004 936	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-2}
V10	- 0.000 871	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-2}
V11	0.000 581	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-2}
V12	0.000 726	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-2}
V13	0.002 177	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-2}
V14	0.005 710	ANALYTIQUE	RELATIF 10^{-2}

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

4 Synthèse des résultats

On note un très bon accord entre la modélisation et la solution de référence. Tous les écarts sont inférieurs à 1 %. En outre, un essai complémentaire, réalisé en marge du test, permet de s'assurer que les écarts se réduisent lorsque le pas de temps diminue, conformément au schéma d'ordre 1 utilisé pour la discrétisation temporelle.

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