SSNV172 – Comportements viscoplastiques monocristallins

Résumé :

Ce test permet de valider les comportements mono-cristallins dans une situation uni-axiale. La géométrie traitée est un cube, l'état de contraintes et de déformations est homogène. Afin de tester au mieux les lois de comportement, indépendamment de la définition des systèmes de glissement, on utilise ici un système de glissement particulier, non physique, qui représente un glissement dans une seule direction. Ceci permet de comparer deux des comportements viscoplastiques mono-cristallins, (avec écrouissage cinématique défini par une variable de rappel) au comportement viscoplastique macroscopique de Chaboche.

Pour les autres comportements (en particulier KOCKS_RAUCH) on vérifie seulement la non régression des résultats.

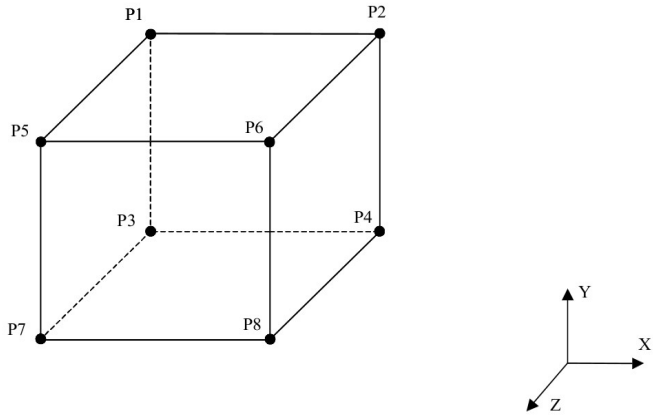
Tous ces tests sont réalisés dans la modélisation A (3D).

La modélisation B permet de valider, toujours par inter-comparaison avec la loi de Chaboche, les comportements monocristallins en 2D (C_PLAN).

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



On définit un point matériel, représenté dans la modélisation A (3D) par un élément de volume $MA1$, contenant les nœuds $P1$, $P2$, $P3$, $P4$, $P5$, $P6$, $P7$ et $P8$.

1.2 Propriétés de matériaux

Comportement élastique avec : Module d'Young : $E=145200\ MPa$
Coefficient de Poisson : $\nu=0.3$

1.2.1 Calcul de référence : comportement VISC_CIN1_CHAB

Il s'agit de la solution de référence utilisée dans les modélisations A et B. Les paramètres matériau sont :

```
CIN1_CHAB=_F(R_0=75.5 MPa
             R_I=85.27 MPa
             B=19.34,
             C_I=10.0 MPa
             K=1.0,
             W=0.0,
             G_0=36.68,
             A_I=1.0,),
LEMAITRE=_F(N=10.0,
            UN_SUR_K=0.025 Mpa^-1
            UN_SUR_M=0.0,),
```

1.2.2 Comportement mono-cristallin de type 1, avec système de glissement UNIAXIAL

Les paramètres utilisés ici, en uni-axial, correspondent à ceux utilisés pour VISC_CIN1_CHAB, en remarquant simplement que $Q=R_I-R_0$. On doit donc obtenir les mêmes résultats que VISC_CIN1_CHAB.

Ces comportements sont testés en 3D (dans la modélisation A) et en 2D contraintes planes (dans la modélisation B).

- Type d'écoulement : **MONO_VISC1** dont les paramètres sont :

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

$c=10\,MPa$, $n=10$, $K=40\,MPa$

- Type d'écrouissage isotrope : **MONO_ISOT1** dont les paramètres sont :
  $R_0=75.5\,MPa \quad b=19.34 \quad Q=9.77\,MPa \quad h=0$
- Type d'écrouissage cinématique : **MONO_CINE1** dont les paramètres sont :
  $d=36.68$

  La famille des systèmes de glissement est : **UNIAXIAL**

  Deux calculs sont effectués : l'un avec intégration locale implicite, l'autre avec intégration locale explicite. On vérifie que ces deux calculs fournissent des résultats identiques (à la discrétisation temporelle près).

1.2.3 Comportement mono-cristallin de type 2, comparable au type 1,avec système de glissement UNIAXIAL

Le comportement du mono-cristal est défini de telle façon que l'on se ramène au comportement de type 1. Les résultats doivent donc correspondre. Les paramètres sont :

- Type d'écoulement : **MONO_VISC2** dont les paramètres sont :
  $n=10$, $k=40\,MPa$, $c=10\,MPa$, $d=0$, $a=0$
- Type d'écrouissage isotrope : **MONO_ISOT2** dont les paramètres sont :
  $R_0=75.5 \quad b_1=19.34 \quad b_2=0 \quad Q_1=9.77\,MPa \quad Q_2=0$
- Type d'écrouissage cinématique : **MONO_CINE2** dont les paramètres sont :
  $d=36.68 \quad M=0 \quad m=0 \quad c=0$

  La famille des systèmes de glissement est : **UNIAXIAL**

  Deux calculs sont effectués : l'un avec intégration locale implicite, l'autre avec intégration locale explicite. On vérifie que ces deux calculs fournissent des résultats identiques à ceux du comportement mono-cristallin de type 1.

1.2.4 Comportement mono-cristallin de type 2, test complet

Les paramètres du comportement du mono-cristal de type 2 sont tous non nuls :

- Type d'écoulement : **MONO_VISC2** dont les paramètres sont :
  $n=10$, $k=40\,MPa$, $c=10\,MPa$, $d=0.1$, $a=0.5$
- Type d'écrouissage isotrope : **MONO_ISOT2** dont les paramètres sont :
  $R_0=75.5 \quad b_1=19.34 \quad b_2=10 \quad Q_1=9.77\,MPa \quad Q_2=10$
- Type d'écrouissage cinématique : **MONO_CINE2** dont les paramètres sont :
  $d=36.68 \quad M=10 \quad m=0{,}1 \quad c=10$

  La famille des systèmes de glissement est : **UNIAXIAL.** Les tests sont de non régression.

1.2.5 Calcul avec le comportement monocristal de type 1 et une élasticité orthotrope

Les paramètres de l'orthotropie correspondent en fait à l'isotropie :

```
ELAS_ORTH=_F(  E_L = 145200.0,
               E_T = 145200.0,
               E_N = 145200.0,
               NU_LT = 0.,
               NU_LN = 0.,
               NU_TN = 0.,
               G_LT = 72600.,
               G_LN = 72600.,
               G_TN = 72600),
```


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

Les résultats doivent donc correspondre au calcul de référence. Deux calculs sont effectués : l'un avec intégration locale implicite, l'autre avec intégration explicite.

1.2.6 Calcul avec le comportement monocristal de type 1 et les systèmes de glissement du ZIRCONIUM

Cinq calculs sont effectués avec cette famille de systèmes de glissement :
1. un calcul de non régression avec la famille définie dans le code
2. un calcul comparatif au premier, en fournissant une table contenant la matrice d'interaction
3. un calcul comparatif aux précédents, avec un polycristal comportant un seul grain,
4. un calcul comparatif aux précédents, en fournissant cinq familles définies à partir d'une table contenant les systèmes de glissement. L'ensemble de ces systèmes correspond à la famille Zirconium. Ceci teste la possibilité de définir des coefficients matériau différents suivant les systèmes de glissement considérés,
5. un calcul identique au précédent, avec un polycristal comportant un seul grain.

1.2.7 Comportement Kocks-Rauch : mono-cristallin, avec système de glissement BCC24

Le comportement du monocristal est défini par l'écoulement : **MONO_DD_KR** dont les paramètres sont :

```
K      = 8.62E-5,
TAUR   = 498.,
TAU0   = 132.,
GAMMA0 = 1.E6,
DELTAG0= 0.768,
BSD    = 2.514E-5,
GCB    = 31.822,
KDCS   = 22.9,
P      = 0.335,
Q      = 1.12,
H1     = 0.25,
H2     = 0.25,
H3     = 0.25,
H4     = 0.25
```

Trois calculs sont effectués avec ce comportement :
1) Un calcul MONOCRISTAL implicite
2) Un calcul MONOCRISTAL explicite
3) Un calcul POLYCRISTAL explicite, avec une seule phase

Ces trois calculs doivent conduire aux mêmes résultats.

1.3 Conditions aux limites et chargements

Nœud $P4$	: $DX=DY=0$
Nœud $P8$	: $DX=DY=DZ=0$
Nœuds $P2$ et $P6$	: $DX=0$
Nœuds $P1$, $P3$, $P5$ et $P7$	: soit $FX=25$, soit $DX=0.001$

Le chargement en force imposée est croissant de $FX=0$ à $FX=25\times0.755\,N$, en un incrément, ce qui conduit à un état de contraintes uniaxial de $75.5\,MPa$ (limite de linéarité)
Le chargement croit ensuite jusqu'à $FX=25\times0.955\,N$ en n incréments. Le calcul de référence est obtenu avec $n=100$. Les calculs monocristallins sont effectués avec $n=20$.

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

En ce qui concerne les comportements MONO_VISC2 et MONO_DD_KR, le chargement est un déplacement imposé variant de 0, à l'instant initial, à 0.001 à l'instant 2, en m incréments.

Pour les résolutions implicites, $m=20$, et pour les résolutions explicites, $m=100$.

Pour la modélisation B le chargement est un déplacement imposé variant de 0, à l'instant initial, à 0.001 à l'instant 3, en 20 incréments.

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

En $3D$, (modélisation A), le premier calcul (comportement VISC_CIN1_CHAB) sert de référence. Les valeurs obtenues au dernier incrément sont (en n'importe quel point de la maille) :

Contrainte	$SIXX$	-9.55E+01
Déformation totale	$EPXX$	-6.76443E-04
Déformation plastique	$EPXX$	-1.87292E-05

Les calculs avec MONO_ISOT1 ou les premiers calculs avec MONO_ISOT2sont validés par comparaison à ce résultat ou par inter-comparaison.

Par contre, les autres calculs (comportements MONO_VISC2, MONO_DD_KR) n'ont pas de valeur de référence. Les tests sont donc de non-régression. De plus, les cinq calculs correspondant au Zirconium n'ont pas de solution de référence mais doivent donner une seule et même solution.

En $2D$, (modélisation B), le premier calcul (comportement VISC_CIN1_CHAB) sert de référence. Les valeurs obtenues au dernier incrément sont (en n'importe quel point de la maille, car on impose une déformation uniforme) :

Contrainte	$SIXX$	95.999316

Les deuxième et troisième calculs (comportement MONOCRISTAL avec système de glissement UNIAXIAL) sont validés par comparaison à ce résultat.

Le troisième calcul utilise une intégration explicite (RUNGE_KUTTA), alors que le deuxième calcul utilise une intégration implicite.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8. Modélisation 3D : 1 élément de volume quadratique : **HEXA8**.
La structure contient un seul grain, l'état de contraintes et de déformations est homogène.

3.2 Grandeurs testées et résultats

3.2.1 Comportement de type 1 : MONO_VISC1 , MONO_ISOT1 , MONO_CINE1

Intégration	Identification	Référence	% Tolérance
implicite	ε_{xx} de EPSI_ELGA	-6.764427E-04	0.10
implicite	ε_{xx} de EPSP_ELGA	-1.87292E-05	2.0
explicite	ε_{xx} de EPSI_ELGA	-6.764427E-04	0.2
explicite	ε_{xx} de EPSP_ELGA	-1.87292E-05	4.0

3.2.2 Comportement de type 2 : MONO_VISC2 , MONO_ISOT2 , MONO_CINE2

Comparaison entre MONO_VISC2 , MONO_ISOT2 , MONO_CINE2 et MONO_VISC1,MONO_ISOT1, MONO_CINE1

Intégration	Identification	Référence	% Tolérance
implicite	ε_{xx} de EPSI_ELGA	-6.76241E-04	0.10
implicite	ε_{xx} de EPSP_ELGA	-1.85279E-05	0.10
explicite	ε_{xx} de EPSI_ELGA	-6.757537E-04	0.10
explicite	ε_{xx} de EPSP_ELGA	-1.804038E-05	0.10

3.2.3 Comportement de type 2 : MONO_VISC2 , MONO_ISOT2 , MONO_CINE2

Non régression pour MONO_VISC2 , MONO_ISOT2 , MONO_CINE2

Intégration	Identification	Référence	% Tolérance
implicite	σ_{xx} de EPSI_ELGA	-95.9311	0.10
implicite	ε_{xx} de EPSP_ELGA	-1.3393175E-03	0.10

3.2.4 Comportement de type 1 avec ELAS_ORTH

Comparaison entre MONO_VISC1 , MONO_ISOT1 , MONO_CINE1, avec ELAS et avec ELAS_ORTH

Intégration	Identification	Référence	% Tolérance
implicite	ε_{xx} de EPSI_ELGA	-6.76241E-04	0.10
explicite	ε_{xx} de EPSI_ELGA	-6.75754E-04	0.10

3.2.5 Comportement de type 1 : MONO_VISC1 , MONO_ISOT1 , MONO_CINE1 pour le ZIRCONIUM

Premier calcul : matrice d'interaction (matrice identité h=0) et systèmes de glissement définis dans Code_Aster :

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

Intégration	Identification	Référence	% Tolérance
Implicite	σ_{xx} de SIEF_ELGA	-212,31	0.1
implicite	ε_{xx} de EPSP_ELGA	-5,3785E-04	0.1
implicite	v_{92} de VARI_ELGA	5,2868E-04	0.1

Deuxième calcul : systèmes de glissement définis dans Code_Aster, matrice d'interaction définie par l'utilisateur (matrice identité, fournie en donnée dans une table). Comparaison avec le premier calcul.

Intégration	Identification	Référence	% Tolérance
Implicite	σ_{xx} de SIEF_ELGA	-212,3	0.1
implicite	ε_{xx} de EPSP_ELGA	-5,3785E-04	0.1
implicite	v_{92} de VARI_ELGA	5,2868E-04	0.1

Troisième calcul : systèmes de glissement définis dans Code_Aster, matrice d'interaction définie par l'utilisateur (matrice identité, fournie en donnée dans une table), et comportement POLYCRISTAL :

Intégration	Identification	Référence	% Tolérance
Polycristal	σ_{xx} de SIEF_ELGA	-212,3	0.1
Polycristal	ε_{xx} de EPSP_ELGA	-5,3785E-04	0.1
Polycristal	v_{99} de VARI_ELGA	5,2868E-04	0.1

Quatrième calcul : systèmes de glissement et matrice d'interaction définis par l'utilisateur :

Intégration	Identification	Référence	% Tolérance
Implicite	σ_{xx} de SIEF_ELGA	-212,3	0.1
implicite	ε_{xx} de EPSP_ELGA	-5,3785E-04	0.1
implicite	v_{92} de VARI_ELGA	5,2868E-04	0.1

Cinquième calcul : systèmes de glissement et matrice d'interaction définis par l'utilisateur, et comportement POLYCRISTAL (une seule phase, pour permettre la comparaison avec les calculs précédents) :

Intégration	Identification	Référence	% Tolérance
Polycristal	σ_{xx} de SIEF_ELGA	-212,3	0.1
Polycristal	ε_{xx} de EPSP_ELGA	-5,3785E-04	0.3
Polycristal	v_{99} de VARI_ELGA	5,2868E-04	0.8

3.2.6 Comportement : MONO_DD_KR

Intégration	Identification	Référence	% Tolérance
implicite	σ_{xx} de SIEF_ELGA	-324.37	0.40
implicite	ε_{xx} de EPSP_ELGA	-8.1822E-04	0.20
explicite	σ_{xx} de SIEF_ELGA	-324.37	0.40
explicite	ε_{xx} de EPSP_ELGA	-8.1822E-04	0.05
Polycristal	σ_{xx} de SIEF_ELGA	-324.37	0.40
Polycristal	ε_{xx} de EPSP_ELGA	-8.1822E-04	0.05

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4.
1 maille **QUAD4**.
Modélisation C_PLAN (par la méthode DEBORST).

4.2 Grandeurs testées et résultats

Deuxième calcul (implicite, MONO_VISC1, MONO_ISOT1, MONO_CINE1)

Identification	Référence	% Tolérance
σ_{xx} de SIEF_ELGA	-95.9993	0.10

Troisième calcul (explicite, MONO_VISC1, MONO_ISOT1, MONO_CINE1)

Identification	Référence	% Tolérance
σ_{xx} de SIEF_ELGA	-95.9993	0.10

5 Synthèse des résultats

Les résultats obtenus sont en bon accord avec la solution de référence. La différence constatée ($3{,}6\%$ au maximum) provient des schémas numériques différents, sensibles à la discrétisation temporelle.

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