SSLA103 - Calcul du retrait de dessiccation et du retrait endogène sur un cylindre

Résumé :

Ce cas-test a pour but de valider le calcul du retrait de dessiccation et du retrait endogène. Il teste également la possibilité de faire dépendre les caractéristiques matériaux de l'hydratation et du séchage (dans le cas du modèle de Mazars). Il s'agit d'un cylindre qui subit un séchage et une hydratation uniforme. La température varie également.

Le cylindre est modélisé par quatre éléments quadrangles à 8 nœuds pour les modélisations A , C , E et F et par un élément HEXA20 pour la modélisation B . Pour les modélisations A et B , le comportement est supposé élastique, ce qui permet de valider le calcul de retrait à la fois avec STAT_NON_LINE et avec MECA_STATIQUE. La modélisation C permet de valider le calcul de retrait avec la loi de MAZARS (sans activation de l'endommagement). La modélisation E valide le calcul de retrait avec la loi ENDO_ISOT_BETON (avec méthode de NEWTON et méthode IMPLEX) et la modélisation F le couplage ENDO_ISOT_BETON / BETON_UMLV_FP

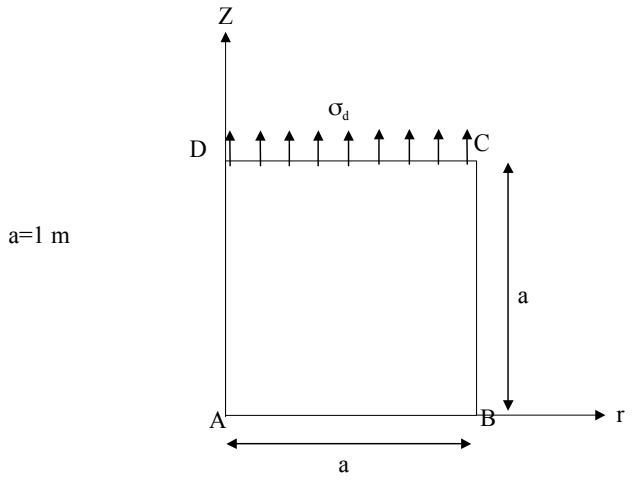
Les résultats obtenus par c*ode_aster* sont identiques à la solution analytique de référence.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Éprouvette cylindrique.



1.2 Propriétés de matériaux

Pour les modélisations A et B, le matériau est supposé élastique et les caractéristiques matériaux sont constantes pour pouvoir valider le calcul avec MECA_STATIQUE,
Pour la modélisation C, on utilise la loi de MAZARS et certains paramètres dépendent de l'hydratation et du séchage.
La modélisation E permet de tester la loi ENDO_ISOT_BETON, avec méthode de NEWTON et IMPLEX, et la modélisation F le couplage ENDO_ISOT_BETON / BETON_UMLV_FP, sachant que les paramètres matériaux de la loi BETON_UMLV_FP sont choisis de telle sorte qu'on n'ait pas de fluage et donc qu'on retrouve le comportement de la loi ENDO_ISOT_BETON. Dans les deux cas, les caractéristiques matériaux sont constantes.
Signalons qu'étant donné le chargement (dilatation, hydratation et séchage libre), aucun endommagement ne se développe : on retrouve donc dans tous les cas, la solution élastique.

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

Modélisation A et B : Élasticité isotrope

$E=30000\,MPa$
$\nu=0.2$
$\kappa=1.66\,10^{-5}(l/m^3)^{-1}$
$\beta_{endo}=1.5\,10^{-5}$
$\alpha=1.0\,10^{-5}\circ C^{-1}$

Modélisation C : MAZARS

$E=10000\,MPa$ pour $C=100l/m^3$
$30000\,MPa$ pour $C=80l/m^3$
$\nu=0.25$ pour $h=0$
0.15 pour $h=1$
$\kappa=1.66\,10^{-5}(l/m^3)^{-1}$
$\beta_{endo}=1.5\,10^{-5}$
$\alpha=1.0\,10^{-5}\circ C^{-1}$

$A_c=1.4$
$A_t=1.0$ pour $C=100l/m^3$
0.8 pour $C=80l/m^3$
$B_c=2000$
$Bt=10000$ pour $h=0$
11000 pour $h=1$
$\varepsilon_{d0}=10^{-4}$
$k=0.7$

Modélisation E : ENDO_ISOT_BETON

$E=30000\,MPa$
$\nu=0.2$
$\kappa=1.66\,10-5(l/m^3)^{-1}$
$\beta_{endo}=1.5\,10^{-5}$
$\alpha=1.0\,10^{-5}\circ C^{-1}$

$\sigma_y^t=4.0\,MPa$
$\sigma_y^c=53.4\,MPa$
$E_t=-1.0\,10^3\,MPa$

Modélisation F : ENDO_ISOT_BETON/BETON_UMLV_FP

Voir modélisation $E+$
$k_r^s=10^{19}$ MPa
$k_i^s=10^{19}$ MPa
$k_r^d=10^{19}$ MPa
$\eta_r^s=10^{19}$ MPa.j
$\eta_i^s=10^{19}$ MPa.j
$\eta_r^d=10^{19}$ MPa.j
$\eta_i^d=10^{19}$ MPa.j

1.3 Conditions aux limites et chargements

Sur le côté AB : $u_z=0$

On fait varier uniformément sur la structure :

1) la température de $T=20\,°C$ au temps initial jusqu'à $T=120\,°C$ au temps final
2) la teneur en eau de $100\,l/m^3$ au temps initial jusqu'à $80\,l/m^3$ au temps final
3) l'hydratation varie de 0. au temps initial à 1. au temps final.

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

Etant donnée la nature des sollicitations, la déformation totale est uniquement due au retrait et à la dilatation thermique. En conséquence, on a :

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \varepsilon^{th} + \boldsymbol{\varepsilon}^{rd} + \boldsymbol{\varepsilon}^{re} = \alpha(T - T_{ref})\mathbf{I}_d - \kappa(C_0 - C)\mathbf{I}_d - \beta h \mathbf{I}_d$$

avec :

- T , la température au temps t
- T_{ref} , la température de référence
- C_0 , la teneur en eau initiale (taux d'humidité $\mathrm{HR}=100\%$).
- C , la teneur en eau au temps t
- h , le degré d'hydratation au temps t
- α , le coefficient de dilatation
- κ , le coefficient de retrait de dessiccation
- β , le coefficient de retrait endogène

Les déformations élastiques étant nulles dans ce problème, les contraintes sont nulles, ainsi que l'endommagement dans le cas des modélisations avec la loi de MAZARS et ENDO_ISOT_BETON.

2.2 Résultats de référence

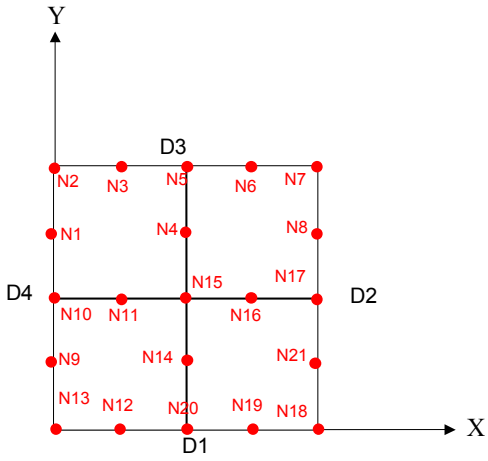
On vérifie la valeur de la déformation après 3600 jours, ainsi que la contrainte. On vérifie également que la déformation plastique est nulle, ainsi que l'endommagement pour les modélisations concernées. Les résultats sont testés avec STAT_NON_LINE ainsi qu'avec MECA_STATIQUE (pour les modélisations A et B).

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation est de type AXIS.



Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

```
FACE_IMPO =_F(GROUP_MA = D1, DY= 0.)
```

Les champs de température TEMP1, de séchage SECH1 et d'hydratation HYDR1 sont appliqués à tout le modèle.

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 21
Nombre de mailles et types : 4 QUAD8

3.3 Grandeurs testées et résultats

Pour le calcul avec STAT_NON_LINE (avec COMPORTEMENT), on teste les composantes du tenseur des déformations EPSI_NOEU après 3600 jours. On vérifie également que les contraintes SIEF_NOEU sont nulles ainsi que la déformation plastique (EPSP_NOEU).
Pour le calcul avec MECA_STATIQUE, on teste les composantes du tenseur des déformations EPSI_NOEU après 3600 jours. On vérifie également que les contraintes SIGM_NOEU sont nulles.

Calcul STAT_NON_LINE

Variables	Instant	Type de Référence	Référence	tolérance
ε_{xx}	3600	ANALYTIQUE	6.53 10^{-4}	0.50%
ε_{yy}	3600	ANALYTIQUE	6.53 10^{-4}	0.50%
ε^{p}_{xx}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
ε^{p}_{yy}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006

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

σ_{xx}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
σ_{yy}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006

Calcul MECA_STATIQUE

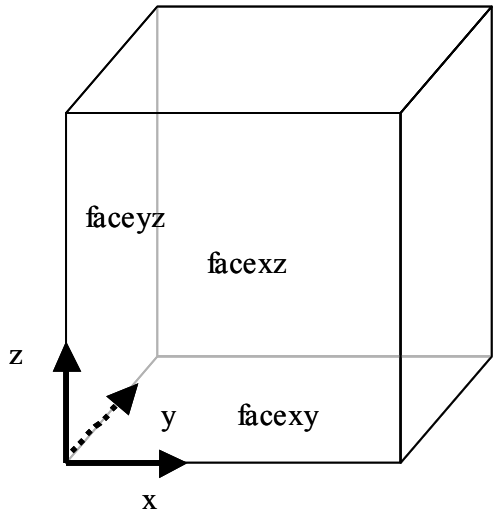
Variables	Instant	Type de Référence	Référence	tolérance
ε_{xx}	3600	ANALYTIQUE	$6.53\ 10^{-4}$	0.50%
ε_{yy}	3600	ANALYTIQUE	$6.53\ 10^{-4}$	0.50%
σ_{xx}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
σ_{yy}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation est de type 3D.



Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

```
FACE_IMPO =(        _F(GROUP_MA = 'FACEXY', DZ= 0.),
                    _F(GROUP_MA = ' FACEXZ' , DY= 0.),
                    _F(GROUP_MA = ' FACEYZ' , DX= 0.))
```

Les champs de température TEMP1, de séchage SECH1 et d'hydratation HYDR1 sont appliqués à tout le modèle.

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 20
Nombre de mailles et types : 1 HEXA20

4.3 Grandeurs testées et résultats

Pour le calcul avec STAT_NON_LINE (avec COMPORTEMENT), on teste les composantes du tenseur des déformations EPSI_NOEU après 3600 jours. On vérifie également que les contraintes SIEF_NOEU sont nulles ainsi que la déformation plastique (EPSP_NOEU).

Pour le calcul avec MECA_STATIQUE, on teste les composantes du tenseur des déformations EPSI_NOEU après 3600 jours. On vérifie également que les contraintes SIGM_NOEU sont nulles.

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

Calcul STAT_NON_LINE

Variables	Instant	Type de Référence	Référence	tolérance
ε_{xx}	3600	ANALYTIQUE	6.53 10^{-4}	0.50%
ε_{yy}	3600	ANALYTIQUE	6.53 10^{-4}	0.50%
ε_{xx}^{p}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
ε_{yy}^{p}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
σ_{xx}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
σ_{yy}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006

Calcul MECA_STATIQUE

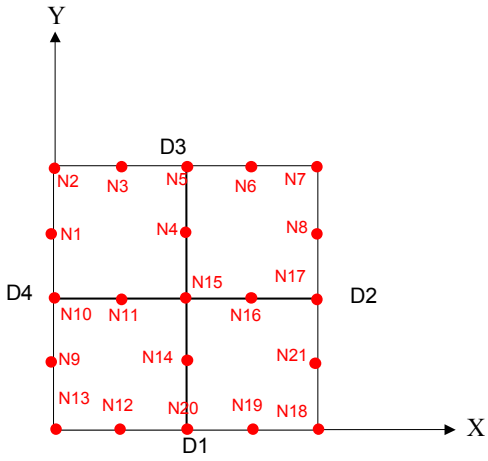
Variables	Instant	Type de Référence	Référence	tolérance
ε_{xx}	3600	ANALYTIQUE	6.53 10^{-4}	0.50%
ε_{yy}	3600	ANALYTIQUE	6.53 10^{-4}	0.50%
σ_{xx}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
σ_{yy}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation est de type AXIS.



Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

```
FACE_IMPO =_F(GROUP_MA = D1, DY= 0.)
```

Les champs de température TEMP1, de séchage SECH1 et d'hydratation HYDR1 sont appliqués à tout le modèle.

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 21
Nombre de mailles et types : 4 QUAD8

5.3 Grandeurs testées et résultats

Pour le calcul avec STAT_NON_LINE, on teste les composantes du tenseur des déformations EPSI_NOEU après 3600 jours. On vérifie également que les contraintes SIEF_NOEU sont nulles ainsi que la déformation plastique (EPSP_NOEU) et la variable d'endommagement (VARI_NOEU, V1).

Variables	Instant	Type de Référence	Référence	Tolérance
ε_{xx}	3600	ANALYTIQUE	6.53 10^{-4}	0.50%
ε_{yy}	3600	ANALYTIQUE	6.53 10^{-4}	0.50%
ε^{p}_{xx}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
ε^{p}_{yy}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
σ_{xx}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
σ_{yy}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006

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

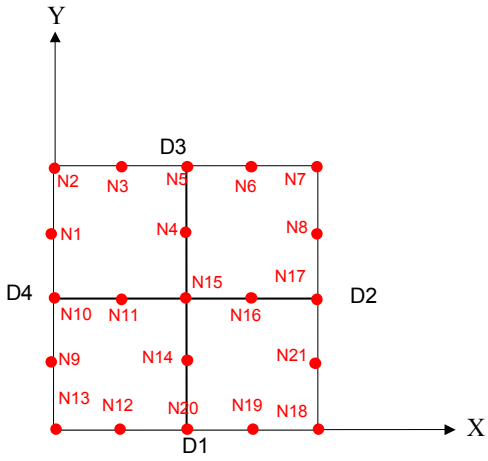
D	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006

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

6 Modélisation E

6.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation est de type AXIS.



Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

```
FACE_IMPO =_F(GROUP_MA = D1, DY= 0.)
```

Les champs de température TEMP1, de séchage SECH1 et d'hydratation HYDR1 sont appliqués à tout le modèle.
On utilise la méthode de résolution de NEWTON et IMPLEX avec 2 pas de charge.

6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 21
Nombre de mailles et types : 4 QUAD8

6.3 Grandeurs testées et résultats

Pour le calcul avec STAT_NON_LINE, on teste les composantes du tenseur des déformations EPSI_NOEU après 3600 jours. On vérifie également que les contraintes SIEF_NOEU sont nulles ainsi que la déformation plastique (EPSP_NOEU) et la variable d'endommagement (VARI_NOEU, V1).

Variables	Instant	Type de Référence	Référence	Tolérance
ε_{xx}	3600	ANALYTIQUE	6.53 10^{-4}	0.50%
ε_{yy}	3600	ANALYTIQUE	6.53 10^{-4}	0.50%
ε^{p}_{xx}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
ε^{p}_{yy}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
σ_{xx}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006

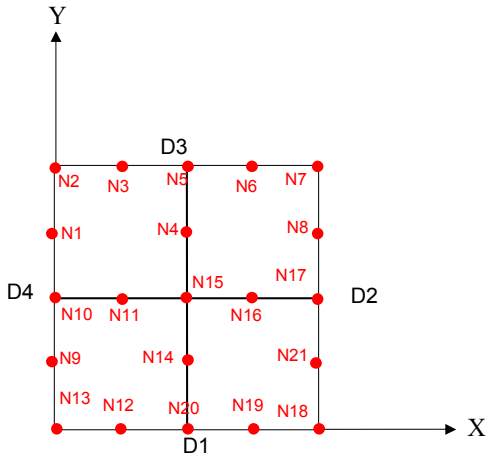
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

σ_{yy}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
D	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006

7 Modélisation F

7.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation est de type AXIS.



Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

```
FACE_IMPO =_F(GROUP_MA = D1, DY= 0.)
```

Les champs de température TEMP1, de séchage SECH1 et d'hydratation HYDR1 sont appliqués à tout le modèle.

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 21
Nombre de mailles et types : 4 QUAD8

7.3 Grandeurs testées et résultats

Pour le calcul avec STAT_NON_LINE, on teste les composantes du tenseur des déformations EPSI_NOEU après 3600 jours. On vérifie également que les contraintes SIEF_NOEU sont nulles ainsi que la déformation plastique (EPSP_NOEU) et la variable d'endommagement (VARI_NOEU, V1).

Variables	Instant	Type de Référence	Référence	Tolérance
ε_{xx}	3600	ANALYTIQUE	$6.53\ 10^{-4}$	0.50%
ε_{yy}	3600	ANALYTIQUE	$6.53\ 10^{-4}$	0.50%
ε_{xx}^{p}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
ε_{yy}^{p}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006

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

σ_{xx}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
σ_{yy}	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006
D	3600	ANALYTIQUE	0.	1,00E-006

8 Synthèse des résultats

Les résultats obtenus avec le *Code_Aster* sont identiques à la solution analytique. On a ainsi validé le calcul de la dilatation thermique et des retraits endogène et de dessiccation pour le modèle élastique, que ce soit avec STAT_NON_LINE ou MECA_STATIQUE, ainsi que pour la loi de Mazars, pour la loi ENDO_ISOT_BETON et pour le cas du couplage BETON_UMLV_FP/ENDO_ISOT_BETON. Signalons que les modélisations A et B permettent également de valider le calcul des retraits pour les lois VMIS_ISOT_TRAC et VMIS_ISOT_LINE qui utilise la même routine que ELAS.

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